المـــواد
للمعماريين والبنّائين

المنظمة العربية للترجمة

آرثر ليونز

المـــواد للمعماريين والبنّائين

ترجمة

محمد أحمد السمارة

مراجعة

د. حسن الشريف د. هيثم الناهي

توزيع: مركز دراسات الوحدة العربية

الفهرسة أثناء النشر ـ إعداد المنظمة العربية للترجمة
ليونز، آرثر
المواد للمعماريين والبنّائين/ آرثر ليونز؛ ترجمة محمد أحمد السمارة؛ مراجعة حسن الشريف وهيثم الناهي.
864 ص. ـ (تقنيات استراتيجية ومتقدمة ـ البناء والتشييد؛ 3)
يشتمل على فهرس.
ISBN 978-614-434-021-9
1. البناء. 2. مواد البناء. أ. العنوان. ب. السمارة، محمد أحمد (مترجم). ج. الشريف، حسن (مراجع). د. الناهي، هيثم (مراجع). هـ. السلسلة.
691

«الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة
عن اتجاهات تتبناها المنظمة العربية للترجمة»

Lyons, Arthur
Materials for Architects and Builders

© Authorised Translation from the English Language
Edition Published by Routledge, a Member of the Taylor and Francis Group, 2010.

© جميع حقوق الترجمة العربية والنشر محفوظة حصراً لـ:

المنظمة العربية للترجمة
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2090 1103 ـ لبنان
هاتف: 753031 ـ 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)
e-mail: info@aot.org.lb - Website: http://www.aot.org.lb

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2407 2034 ـ لبنان
تلفون: 750084 ـ 750085 ـ 750086 (9611)
برقياً: «مرعربي» ـ بيروت / فاكس: 750088 (9611)
e-mail: info@caus.org.lb - Website: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، آب (أغسطس) 2013

المحتويات

تقديم 7
نبذة عن المؤلِّف 9
مقدّمة الطبعة الرابعة 11
شكر 13
مُقدّمة المُترجم 17
1 ـ الآجُرّ والأشغال الآجُرّية 19
2 ـ البلوك وأشغال البلوك 83
3 ـ الكلس والإسمنت والخرسانة 119
4 ـ الخشب ومنتجاته 225
5 ـ المعادن الحديديّة وغير الحديديّة 343
6 ـ القار (الحُمر) ومواد تغطية الأسطح المستوية 443
7 ـ الزجاج 473
8 ـ المواد الخزفية 541
9 ـ الأحجار والأحجار المصبوبة 561
10 ـ المواد البلاستكية 601
11 ـ البلاستيك والإسمنت والجص المسلحة بالألياف الزجاجية 645
12 ـ مواد الطّينة والألواح 665
13 ـ مواد العزل 683
14 ـ موانع التسرّب وحشوات الإغلاق والمواد اللاصقة 717

15 ـ الدهانات وصباغ الخشب والورنيش والألوان 747
16 ـ المواد والمكونات الموفرة للطاقة 769
17 ـ المواد البيئية والمعادة التدوير 789
18 ـ الاستدامة 803
الثبت التعريفي 821
ثبت المصطلحات 825
الفهرس 855

تقديم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة
ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي انتُقيت في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والاجتماعي والتقني. ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة تلبية للسياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ (2007م) الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نصّ على ما يلي: "تعزيز حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال والإعلام والإنترنت، وفي مجالي العلوم والتقنية".

ثانياً: "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد خمس عشرة تقنية استراتيجية هي: المياه، والبترول والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات والضوئيات، والفضاء والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة، والرياضيات والفيزياء، والطبية والصحية، والزراعية، والبناء والتشييد.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعّل أيضاً ما جاء في البند أولاً عن حضور اللغة العربية على الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى

العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات عديدة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب المهمة، وبخاصة العلمية منها، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع يُعمل به.

تشتمل السلسلة التي بين أيدينا على ثلاثة كتب في كل من التقنيات المعتمدة ضمن "السياسة الوطنية للعلوم والتقنية" وقد اختيرت بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامة المهتمين، وقد يغطي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وقد تم بفضل الله الانتهاء من المجموعة الأولى من السلسلة وعددها ثلاثة وثلاثون كتاباً شملت التقنيات الإحدى عشرة الأولى إضافة إلى كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة. وها نحن ندشن المجموعة الثانية التي تغطي بقية التقنيات الخمس عشرة.

ولقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000م، وألا يكون ضيِّق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي سيترجم عنها مكتوبة باللغة التي ألّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار، ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور المجموعة الثانية من هذه السلسلة، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها المترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز. كما أشكر اللجنة العلمية للسلسة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 10/ 3/ 1434 هـ
رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

نبذة عن المؤلِّف

الدكتور آرثر ليونز (Arthur Lyons)، هو مؤلِّف لعدَّة كُتب عن مواد البناء. كان سابقاً مديراً للجُودة ومُحاضراً رئيسياً وزميلاً معلماً لمواد البناء في مدرسة لايستر للعمارة في كليّة الفنون والتصميم في جامعة دو مونتفورت في لايستر، المملكة المتحدة. تلقَّى تعليمه في كلٍّ من كليّة ترينيتي هول كامبردج وجامعتي ورويك (Warwick) ولايستر في مجالات العلوم الطبيعية وعلوم البوليميرات، وحصل على دبلوم الدراسات العُليا في المُحافظة على المباني معمارياً. كان محاضراً لمواد البناء في مدارس العمارة والمساحة لمدَّة 35 عاماً. كتقديرٍ لخدماته للمعماريين والعمَارة تمَّ تكريمه بعُضويّةٍ لمدى الحياة في جمعيّة لايسترشير وروتلاند للمعماريين، كما أنّه زميل في أكاديمية التعليم العالي. يحافظ الدكتور آرثر ليونز على اهتماماته النَّشِطة في العمَارة من خلال تواصله مع الجمعيّة المحلّية للعمَارة في جامعة دو مونتفورت. بالإضافة لهذا الكتاب قام آرثر ليونز بكتابة فصولٍ في **الدليل المِتري ـ معطيات التخطيط والتصميم** (*Metric Handbook - Planning and Design Data*) الطبعة الثالثة 2008، المطبعة المِعمارية وفي **دليل لمواد التشييد** (*ICE Manual of Construction Materials*)، 2009، معهد المهندسين المدنيين، وفي **الكِتاب المرجعي لمواد التشييد** (*Construction Materials Reference Book*)، 2010، بتروورث هاينمان.

مقدّمة الطبعة الرابعة

لقد تمّ تأليف كتاب **المواد للمعماريين والبنّائين** كمقدّمة لتعريف الطلاّب في المرحلة الجامعية الأولى وفي مستوى الدبلوم الوطني للخصائص البصريّة والفيزيائيّة لأوسع مجال من مواد البناء. تمَّ تحسين الطبعة الرابعة بشكل كبير بإضافة المزيد من الصور الملوّنة من أجل توضيح المواد، وفي العديد من الحالات شَرحُ استخداماتها في الأبنية المُتميّزة معمارياً. يُحيط الكتاب بالقضايا البيئيّة الواسعة من خلال أقسام تتناول توفير الطاقة والمواد المُعادة التدوير. كما أنّ هناك فصلاً إضافياً عن الاستدامة يعكس الجدلَ الحالي المُتعلّق بالتغيُّر المناخي والجهود التي تقوم بها الحكومات لخفض انبعاثات الكربون وتصحيح ظاهرة ارتفاع درجة حرارة الأرض. هناك ثمانية عشر فصلاً تُغطّي المجال الواسع من المواد المُدرجة تحت عناوين مِعياريّة. يصِفُ كلُّ فصل تصنيع المواد المُختلفة وخصائصها المُميزة واستخداماتها النموذجية، وذلك بهدف ضمان تطبيقاتها الصحيحة مع الانتباه إلى آثارها البيئيّة.

تقوم المعايير الأوروبيّة بتولّي المهمة عن المعايير البريطانية السابقة، وقد تمّ حتى الآن إصدار المعايير الأوروبية لمُعظم المواد الأساسية. وقد أدّى هذا بشكلٍ عام إلى ازدياد عدد المعايير المُتعلّقة بمواد البناء. ومع ذلك، في بعض الحالات، فإنّ المعايير الأوروبية والبريطانية ما زالت قائمةً معاً ولذلك تمّ تضمينها في النص والمراجع.

لقد تمّ وصف كلّ من المواد الجديدة والقديمة المُعاد اكتشافها، وذلك حيثما أصبحت هذه المواد مُندمجة بشكل جيّدٍ في عمليات البناء المعياريّة، بالإضافة إلى المُنتجات المُبتكرة التي بدأت تتلقّى قبولاً عاماً. وعموماً تمّ تجاهُل المواد الأخرى التي لم تعُد مستخدمةً إلا إذا أدّى الاهتمام المُتزايد بالقضايا البيئية إلى تجدُّد

الاهتمام بها. تمَّ استخدام المُصطلحات الكيميائية في حدِّها الأدنى المطلوب لفهم نِطاق كلِّ موضوع، واستُخدمت بشكل ملحوظ فقط في سياق شرح بُنية المواد اللدنة أو اللدائنيّة [البلاستيك]. كما تمَّ حصر البيانات المُجدولة ضمن مستوى المعلومات المُناسب لاستخدام الطلبة. وتمَّ وضع قائمة مكثّفة بالمؤلفات ومصادر المعلومات التِّقنيّة في نهاية كلّ فصل لتسهيل العودة مباشرة إلى المراجع عند الضرورة.

تمّ توضيح النص جيداً بأكثر من 270 رسمة توضيحيّة وصورة ملوّنة، تُبيّن إنتاج المواد ومظهرها واستخداماتها المُناسبة، إلا أنّه ليس المقصود بها تبيان تفاصيل التشييد لأنّ هذه موضّحة في الكُتب المعيارية لتشييد الأبنية. تمّ أخذ الاهتمامات البيئية بما فيها التصاميم الحريصة على الطاقة وآثار الحريق بالاعتبار تلقائياً، كجزء من الفهم العام للمواد المختلفة.

يُعدُّ هذا الكتاب مادّة قراءة مهمة للدرجات العُليا والأساسية ولطلاب درجة (BTEC) ودرجة (GNVQ) المُتقدّمة في العمَارة والبناء والمساحة والتشييد، وكذلك للدارسين في المجال الواسع لمواضيع البيئة المبنيّة وللراغبين في فهم المبادئ المُتعلّقة بالاستخدام المُناسب لمواد التشييد.

آرثر ليونز

كانون الثاني/ يناير 2010

شكر

إنّني أشكر الدعم الذي تلقيته من مدرسة لايستر للعمارة في كليّة الفنون والتصميم في جامعة دو مونتفورت في لايستر، وكذلك البروفسور بريان فورد من مدرسة البيئة المبنيّة في جامعة نوتنغهام. وأرغب بشكر زوجتي سوزان لمُشاركتها ودعمها خلال فترة إنجاز هذا العمل، وكذلك ابنتيَّ كلير وإليزابيث لتشجيعهما المستمرّ. إنني مدين للعديد من مُصنّعي مواد البناء من أجل تزويدهم لي بالأدبيات التجارية ولسماحهم بإعادة طباعة بياناتهم ومُخططاتهم المنشورة. إنني مُمتنٌّ لكلٍّ من مالكي المباني وممارسي العَمارة ومصوريهم لسماحهم بتضمين صورهم في الكتاب، ولمكتب قرطاسية جلالة الملكة، ومؤسسة بحوث البناء، ومعهد المعايير البريطاني والمؤسسات التجارية لتضمين موادهم في الكتاب.

أودُّ أن أشكر المنظمات التالية لإعطائها الإذن لي باستخدام رسومها:

جمعيّة منتجات الخرسانة الهوائية (Aircrete Products Association). (الشكل 3.2)؛ شركة آنجل رينغ المحدودة (Angle Ring Company Ltd.) (الشكل 10.5)؛ السيراميك المعماري (Architectural Ceramics) (الأشكال 6.8 و9.8 و10.8)؛ جمعية الإسمنت البريطانية (British Cement Association) (الأشكال 5.3 و9.3 و23.3)؛ مجلس تقييم النوافذ البريطاني (British Fenestration Rating Council) (الشكل 17.7)؛ معهد المعايير البريطاني (British Standards Institute) (الأشكال 8.2 و 28.5). تمّ منحي الموافقة على إعادة طباعة مقتبسات من BS EN 771 الجزء (2003 :1) و(BS 6915:2001) من قبل (BSI). يُمكن الحصول على الكودات المعيارية البريطانية بشكل ملفّات (PDF) أو مطبوعة من متجر الـ (BSI) على الإنترنت www.bsigroup.com/shop أو بالاتصال بخدمة الزبائن في

(BSI) من أجل النسخ المطبوعة فقط: هاتف .9001 8996 20(0)44+ البريد الالكتروني cservices@bsigroup.com؛ مؤسسة بحوث البناء (Building Research Establishment) (الأشكال 3.2 و15.4 و18.9). الصور من (GBG 58) وDIGEST (476 و(IP 10/1) تمّت إعادة طباعتها بموافقة من باغريدج للطوب ذات المسؤولية المحدودة (Baggeridge Brick Plc.) (BRE)؛ (الأشكال 22.1 و24.1 و25.1)؛ مورد التشييد (Construction Resources) (الشكل 39.4)؛ جمعية تطوير النحاس (Copper Development Association) (الأشكال 23.5 و 25.5)؛ كوروس (Corus) (الأشكال 2.5 و 4.5 - 6.5 و11.5 و13.5 و16.5)؛ إ. هـ. سميث (E. H. Smith) (الشكل 8.8)؛ تكنولوجيا البلوك الزجاجي (Glass Block Technology) (الشكل 5.7)؛ هانسون المحدودة للطوب (Hanson Brick Ltd.) (الشكل 5.1)؛ إيبستوك المحدودة للطوب (Ibstock Brick Ltd.) (الأشكال 3.1 و9.1 و10.1 و12.1 و15.1 و21.1 و9.2)؛ الصناعات الكيميائية الإمبراطورية ذات المسؤولية المحدودة (Imperial Chemical Industries Plc.) (الشكل 4.15)؛ جيمس وابنه المحدودة (James & Son Ltd.) (الشكل8.11)؛ المملكة المتحدة المحدودة KME UK) (Ltd. (الشكل 25.5)؛ جمعيّة مُتعهدي الرصاص (Lead Contractors Association (Ltd. (الأشكال 27.5 و29.5)؛ جمعية الصفائح الرصاصية (Lead Sheet Association) (الشكل 26.5)؛ ليغناسايت المحدودة (Lignacite Ltd.) (الشكل 7.2)؛ ميك للعمارة (Make Architects) (الشكل 1.4)؛ مارشالز ذات المسؤولية المحدودة (Marshalls Plc.) (الشكل 14.2)؛ جمعية مصنعي الإكساء والأسقُف المعدنية (Metal Cladding and Roofing Manufacturers Assiciation) (الشكل15.5)؛ ميترا المحدودة للمعادن غير الحديدية وراينزينك (Metra Non-ferrous Metals Ltd. And Rheinzinc) (الشكل 31.5)؛ مونودراوت (Monodraught) (الشكلان 6.16 و7.16)؛ نظام الألوان الطبيعي (NCS - Natural Color System®) مُلك لمعهد الألوان الإسكندينافي (AB) ستوكهولم 2009. المرجعيات إلى (NCS) الموجودة في هذا المطبوع هي بموافقة من معهد الألوان الإسكندينافي AB(الشكل 3.15)؛ منتجات الحجر الطبيعي المحدودة (Natural Stone Products Ltd.) (الشكل 13.9)؛ بيلكينغتون ذات المسؤولية المحدودة (Pilkington Plc.) (الأشكال 6.7 و9.7 و11.7 و24.7 و25.7). الصور أُعيدت ـ طباعتها بموافقة من بيلكينغتون ذات المسؤولية المحدودة؛ بايروبيل (Pyrobel) (الشكل 15.7)؛ منتجات عزل أسقف المباني (Ruberoid Building Products)

(الشكل 3.6)؛ شركة سيكيوريغلاس المحدودة (أي الزجاج الأمين) (Securiglass Company Ltd.) (الشكل 13.7)؛ سميث أوف ديربي (Smith of Derby) (الشكل 2.11)؛ سولار سنشري (أي القرن الشمسي) (Solar Century) www.solarcentury.com (الأشكال 2.16 و3.16)؛ أحجار ستانكليف Stancliffe Stone (الأشكال 3.9 و4.9 و8.9)؛ معهد الإنشاءات الفولاذية (Steel Construction Institute) (الأشكال 7.5 و12.5)؛ اتحاد الأحجار في بريطانيا العظمى (Stone Federation of Great Britain) (الشكل 6.9)؛

ترادا المحدودة للتكنولوجيا (TRADA Technology Ltd.) (الأشكال 15.4 و20.4)؛ ترينت المحدودة للخرسانة (Trent Concrete Ltd.) (الأشكال 23.1 و20.3 و21.3 و21.9 و5.11 و6.11)؛ وجمعية تطوير الزنك (أي التوتياء) (Zinc Development Association) (الشكل 31.5).

تمّ في النص استخدام الأسماء العامة (العلميّة) لمواد ومكونات البناء أينما كان ذلك ممكناً. إلا أنّه في حالات قليلة تكون المنتجات مُحدَّدة جداً بحيث أصبح من الضروري استخدام أسمائها التجارية المُسجّلة. وفي هذه الحالات تمّت كتابة الأسماء التجارية بالأحرف المائلة في النص.

مُقدّمة المُترجم

لقد تمّ بعونه تعالى ترجمة كتاب المواد للمعماريين والبنّائين لنقل المعرفة إلى المكتبة العربية بُغية تعريف الطلاب ومهندسي العمارة والمهندسين المدنيين بالخصائص البصريّة والفيزيائية لمجال واسع من مواد البناء. يتألّف الكتاب من ثمانية عشر فصلاً تغطي مجالاً واسعاً من المواد، تمّ تبويبها تحت عناوين رئيسيّة. يصف كل فصل تصنيع المواد المختلفة وخصائصها المُميّزة واستخداماتها النموذجية، وذلك بهدف ضمان استخدامها الصحيح مع الانتباه إلى آثارها البيئيّة.

تمّ توضيح الكتاب جيّداً برسومات توضيحية وصور ملونة، تُبيّن إنتاج المواد ومظهرها واستخداماتها المناسبة، غير أنّه لم يكن القصد وضع تفاصيل تنفيذية لأنّ ذلك متوفّر في كتب قياسية حول تشييد الأبنية. ولقد غطّى الكتاب المواضيع البيئيّة بما فيها التصاميم الحريصة على الطاقة.

تمّ تضمين المعايير الأوروبية وأحياناً البريطانية في النص والمراجع لمُعظم المواد الأساسية للرجوع إليها عند توصيف المواد بُغية استخدامها الصحيح وفي المكان المناسب. كما حُصرت البيانات ضمن مستوى المعلومات المناسب للطلبة والمهندسين. وتمّ وضع قائمة مُكثّفة بالمؤلفات وبمصادر المعلومات في نهاية كلّ فصل لتسهيل العودة إليها عند الضرورة.

يُعدُّ هذا الكتاب مادة قراءة مُهمة لطلاب ومهندسي العمارة والمهندسين المدنيين، وكذلك للدارسين لمواد البناء والراغبين في معرفة مواصفاتها وفهم استخداماتها المناسبة.

أيار/ مايو 2013

محمد أحمد السمارة

1

الآجُرّ والأشغال الآجُرّية

مقدّمة

الآجُرّ القرميد (Bricks) في الأصل صلصال (الغَضَار) (Clay) نَديّ مُقولب يدوياً (Hand-Moulded) ومُجفَّف تحت أشعة الشمس (يدعى بالعربية اللّبِنُ Adobe). ولا تزال هذه الطريقة هي المُثلى في بعض المناطق التي تتمتّع بالمناخ الجاف. أما شُواء الآجُرّ الصلصالي فيعود تاريخه إلى ما يزيد على 5000 سنة، إذ يُعتبر اليوم عمليةً صناعيةً معقّدةً ومتحكّماً فيها إلى درجة كبيرة، مع أنّه لم يطرأ أي تبديل على مبدأ شَيّ الصلصال لغرض تحويله من حالته اللّدنة الطبيعية إلى مادة خزفيّة متينة ثابتةِ الأبعاد لا تحتاج إلا إلى القليل من الصيانة.

إنَّ استخراج الصلصال وصنع الآجُرّ يستهلكان طاقةً كبيرة، تتسبَّب في انبعاث كميات كبيرة من ثاني أوكسيد الكربون وغيره من المُلوّثات بما فيها ثاني أوكسيد الكبريت. كذلك قد ينتج من استخراج الصلصال آثار بعيدة المدى على الوسط البيئي، مع أنّه جرى في بعض المناطق تحويل تلك الحُفر القديمة الخاصة بالصلصال إلى ملاذ للطيور أو أنّها استُخدمت كمنتجعات. ومهما يكن الأمر، فإنّ الأعمال الآجُرّية الجيّدة البناء تعيش طويلاً ولا تحتاج إلى صيانة كبيرة، مع أنّ ملاط الإسمنت البورتلاندي يحول دون تدوير لِبنات الآجُرّ إفرادياً، فالمادة التي تنتج من سحقه كثيراً ما تُستعمل ركاماً في البناء.

تُعدّ كاتدرائية إيفري (Evry) الأنيقة الواقعة بالقرب من باريس (الشكل 1.1) التي صمّمها ماريو بوتا (Mario Botta) مثالاً على الاستخدام الحديث للأعمال الآجُرّية. أما كاتدرائية القديس سانت كوربينيان (Saint Corbinian) فقد شُيّدت بـ 670,000 آجُرّة ودُشنت عام 1997. فالمبنى قد عرض التفاصيل الداخلية والخارجية

الجميلة. فمن الخارج يرتفع شكل أسطواني لينتهي بدائرة من الشجر، ومن الداخل يعلو المذبح بُنية طنْف (إفريز داعم) يشدُّ النظر عالياً حتى نافذة السقف المركزية، كما تمّ تفصيل الأعمال الآجُرّية الداخلية الثلاثية الأبعاد بدقّة لتوفّر التجاوب الصوتي المطلوب.

الآجُرّ الصلصالي

يُتيح المجال الواسع للصلصال الصالح لصنع الآجُرّ في المملكة المتحدة (UK) إمكانية تنويع المنتجات، فقد ازداد تنويع عمليات تشكيل الآجُرّ وإنهاء سطوحه وضبط شروط شيّه نتيجةَ خلط الصلصال (Blending Clays). وفي أوائل هذا القرن كان لمعظم المناطق أشغالها الآجُرّية المُختصّة بها ومنتجاتُها المميزة. ومع هذا أدَّت سهولة النقل على الطرق واستمرار الاندماج في الصناعة إلى تناقص أعداد المُنتجين الكبار، ولم يبقَ من المصانع الصغيرة المُستقلّة إلا القليل. ويتميَّز معظم الآجُرّ المُنتج في المملكة المتحدة بأنه وحدات بناء من الصلصال المشوي عالية الكثافة ((High Density Fired-Clay Masonry (HD))، حيث تزيد كثافتُه الجافّة الإجمالية (Gross Dry Density) على 1000 kg./ m^3. ويُشير المعيار الأوروبي (European Standard) (BS EN 771-1:2003) إلى وحدات بناء من الصلصال المشوي متدنيّة الكثافة (Low Density)، والتي سنأتي على وصفها في الفصل الثاني.

إنّ المكونات الأساسية للصلصال الصالح لصنع الآجُرّ هي السيليكا (الرمل) (Silica) والألومينا (Alumina)، مع كميات مُتفاوتة بحسب مصدرها من الحوّار (Chalk) والكلس (الجير) (Lime) وأوكسيد الحديد (Iron Oxide) وغير ذلك من المكوّنات الثانوية مثل الصلصال الناري (Fireclay). ويستخدم أكثر المصنّعين البريطانيين صلصال أكسفورد الأدنى (Lower Oxford Clays) في بدفوردشاير (Bedfordshire) وبكينغهامشاير (Buckinghamshire) وكامبردجشاير (Cambridgeshire) لإنتاج آجُرّ فلتون (Fletton Brick)، حيث يحتوي هذا الصلصال على بعض المركّبات الكربونية (Carbonaceous Contents) التي تُقلّل من مقدار الوقود اللازم لشَيّ الآجُرّ، وتخفض من تكاليفه وتُعطيه بُنيةً أكثر مسَاميّة. ومن أنواع الآجُرّ الأخرى القوية الألوان والمميزة بشكل خاص آجُرّ ستافوردشاير الأزرق (Staffordshire Blues) وأكرينغتون الأحمر (Accrington Reds) المصنّعان من

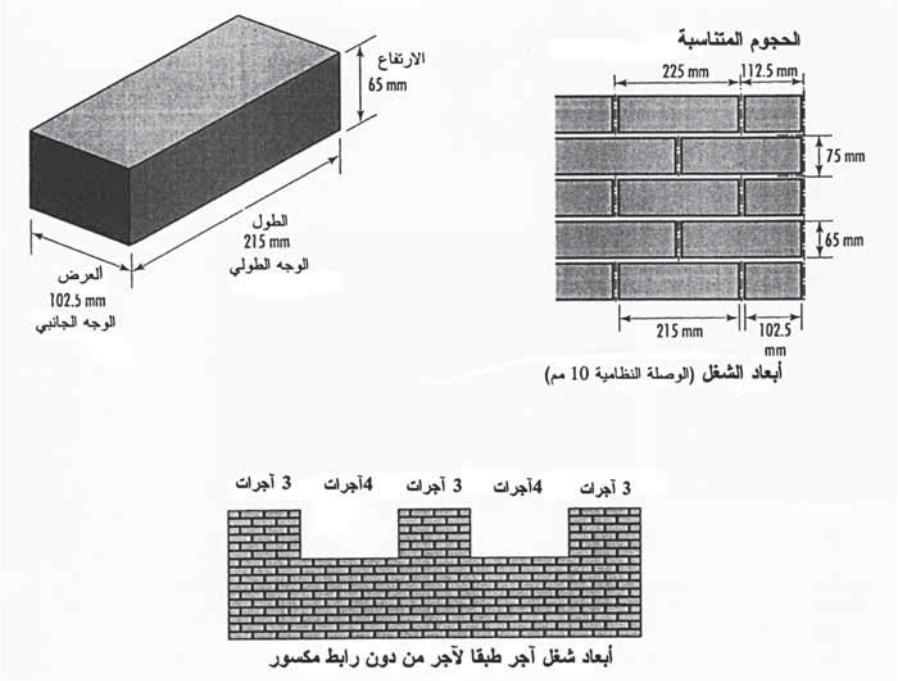
صلصال يحتوي على مقادير عالية من الحديد، وآجُرّ لندن ستوكس الأصفر (Yellow London Stocks) من صلصال إيسكس (Essex) وكنت (Kent) الحوّاري بمحتوياته القليلة من الحديد.

(الشكل 1.1) بناء آجُرّي ـ كاتدرائية إيفري، إسّون، فرنسا. المعماري ماريو بوتا. تصوير آرثر ليونز.

الحجم

في أوروبا لم يتمّ تحديد أبعاد وحدات البناء الصلصالية في المعيار (BS EN 771-1:2003)، أمّا في المملكة المتحدة فحُدِّد المعيار المِتريّ للآجُرّ في الملحق الوطني للمعيار (BS EN 771-1:2003) على أساس 215 mm x 102.5 x 65، مع أنَّ هذه الأبعاد لا تُعدّ مُلزمة. وتشير هذه الأبعاد بالترتيب إلى الطول فالعرض فالارتفاع. هذه الأبعاد الخاصة بالمملكة المتحدة تُكافئ تلك المُحدَّدة في المعيار (BS 4729:2005)، والتي تتعلّق بالأشكال والمقاسات الخاصة بالآجُرّ. ويُراوح الوزن المعياري للآجُرّة بين 2 و 4 kg، ويمكن حملها بسهولة بيد واحدة. إذ يساوي الطول (215 mm) ضعف العرض البالغ (102.5 mm) مضافاً إليها 10 mm للوصلة

المعيارية، ويساوي كذلك ثلاثة أضعاف الارتفاع (65 mm) مضافاً إليها وصلتان معياريتان (الشكل 2.1).



(الشكل 2.1) الآجُرّ والمقاسات المتناسقة.

ترتكز منظومة التنسيق المعياريّة في صناعة البناء (BS 6750:1986) على النموذج (M) بطول 100 mm ومضاعفاته 3M و 6M و 12M و 15M و 30M و60M. وبالنسبة إلى الأشغال الآجُرّية المِتريّة فإنَّ الوحدة الأساسية هي 3M أو 300 mm. وعليه فإنّ أربعة مداميك من الآجُرّ ارتفاع كل منها 65 mm مع وصلاتها تُعطي ارتفاعاً يساوي 300 mm، وأربع آجُرّات على نسق مع الوصلات تعادل 900 mm.

يبيّن الجدول 1.1 نوعين من حدود التسامح في أبعاد وحدات البناء الآجُرّي ـ بما فيها الآجُرّ المِتري ـ التي تتعلّق بالجذر التربيعي لأبعاد حجم الشغل. وتعتمدُ القياسات على نماذج عشوائية من عشر آجُرّات. والحسابات المُعتمِدة على استخدام الجذر التربيعي لحجم الشغل تضمن أنّ حدود التسامح البُعدي مناسبة للمجال الواسع من مقاسات وحدات البناء الصلصالية المُستخدمة في الاتحاد الأوروبي (BS EN 771-1:2003).

التسامحات

القيمة المتوسطة

وُضعت حدود التسامح من أجل الفرق بين حجم الشغل المذكور (أي :215 و 102.5 و65 mm) ومتوسط قياس العيّنات لكل بعد من أبعاد الآجُرّ الثلاثة (الطول والعرض والارتفاع). وقد صُنِّفت هذه في الفئات التالية: T1 وT2 وTm حيث Tm وهو التسامح المُحدَّد من قِبل المصنّع.

T1 ± 40.0 √ (بعد حجم الشغل) mm أو 3 mm إذا كانت أكبر

T2 ± 25.0 √ (بعد حجم الشغل) mm أو 2 mm إذا كانت أكبر

Tm يُحدِّد مقدار الانحراف بالملّمتر من قبل الصانع.

المجال:

يُحدَّد المجال الأقصى للحجم من أجل أي بُعد بالفئات R1 و R2 و Rm.

R1 6.0 √ (أبعاد حجم الشغل) mm.

R2 3.0 √ (أبعاد حجم الشغل) mm.

Rm مجال يحدد بالملّمتر من قبل الصانع.

الجدول 1.1 التسامح في مقاسات الآجُرّ

أبعاد الآجُرّ (الشغل)	الانحراف الأقصى ± للمتوسط عن أبعاد الشغل المُعلن عنه			المجال الأقصى للحجم في عيّنة من عشر آجُرّات		
	T1	T2	Tm	R1	R2	Rm
الطول 215	6	4	*	9	4	*
العرض 102.5	4	3	*	6	3	*
الارتفاع 65	3	2	*	5	2	*

ملاحظة: حدود Tm وRm هي كما يُصرّح به المُصنّع (يمكن أن تكون أعرض أو أضيق من الفئات الأخرى).

لا يوجد رابط مباشر بين حدود القيمة المتوسطة (T) وتلك الخاصّة بالمجال (R). وعليه فإنَّ الآجُرّ المنسوب إلى الفئة T2 يمكن أن يكون ضمن المجال الأعرض R1. أما فئة الآجُرّ R2 فقد تكون الوحيدة المتطلّبة ضبطاً محكماً في الأبعاد، مثل أشغال الآجُرّ القصيرة المدى.

(الشكل 3.1) الآجُرّ الخطيّ، الصور: بإذن من شركة إيبستوك للآجُرّ (Ibstock Brick Ltd.).

المقاسات البديلة

تطوّرت المعايير المِتريّة من المقاسات الإمبراطورية الأكبر قليلاً، والكثيرة التنوّع، لكنّ التقليدية منها كانت:

9 x 4 $\frac{3}{8}$ x 2 $\frac{7}{8}$ in (229 x 112 x 73 mm) or 8 $\frac{5}{8}$ x 4 $\frac{1}{8}$ x 2 $\frac{5}{8}$ in (219 x 105 x 67 mm)

ويعرض بعض المصنّعين مجالاً يُعادل الأبعاد الإمبراطورية للآجُرّ، بديلاً للارتفاع المناسب (مثلاً: 50 أو 68 أو 70 أو 73 أو 76 أو 80 mm) للربط في الأشغال الآجُرّية الإمبراطورية من أجل الترميم وأعمال الصيانة.

شهِدت سبعينات القرن العشرين كذلك إدخال النموذج المتري (Metric Modular) من الآجُرّ مع تنسيق المقاسات 200 أو 300 mm طولاً و100 mm عرضاً و 75 أو 100 mm ارتفاعاً. ووقد خفّت شعبية هذا الآجُرّ اليوم غير أنّه لا يزال يتيح للمعماري إمكانية زيادة أو إنقاص البروز والمقياس الأفقي (Horizontal Emphasis And Scale) في سياق الشغل الآجُرّي التقليدي.

وثمّة تطوُّر حدث مؤخراً تضمّن إنتاج آجُرّ أطول لإعطاء أفقية زائدة للواجهة الآجُرّية (الشكل 3.1). إذ يتوفّر الآجُرّ بطول 440 mm بمجال كبير من الألوان والبنية للربط العادي أو الربع أو الثالث (Third Bonding) كبديل للربط المكدّس (Stack Bonding) في الحالات غير الحاملة للأحمال (Non-Load-Bearing). وتتضمّن هذه المقاسات 50 x 115 x 240 mm و 290, 327 و 50 x 102 x 440 و65 mm.

تصنيع الآجُرّ الصلصالي

ثمّة خمس مراحل في صناعة الآجُرّ الصلصالي هي:

- استخراج المادة الخام.
- عمليات التشكيل.
- التجفيف.
- الشيّ بالنار.
- التغليف والتوزيع.

استخراج المواد الخام

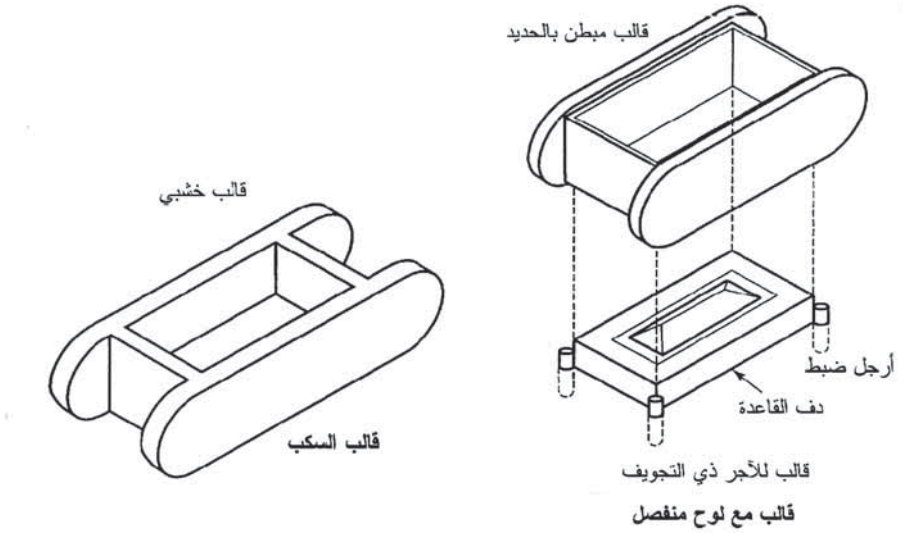
تبدأ هذه المرحلة باستخراج الخامات من المقلَع ونقلها إلى المصنع على حزام دائر وعلى وسائط النقل الطرقية. فتزال أولاً التربةُ السطحية والغطاء الترابي غير المناسب وقد يُستعملان لاستصلاح الموقع بعد استهلاك الصلصال الصالح.

تُنخل المواد الخام للتخلّص من الصخور، ثم تُطحن لتصبح مسحوقاً ناعماً بواسطة سلسلة من الكسّارات والمطاحن، ثم تُنخل نخلاً إضافياً للتخلّص من أية جزيئات أكبر من الحجم المطلوب، وتُضاف إلى الخامات في هذه المرحلة كميّات قليلة من الأصبغة أو أنواع الصلصال الأخرى للحصول على التأثير اللوني المطلوب، فمثلاً: يُضاف ثنائي أوكسيد المنغنيز للحصول تقريباً على آجُرّ أسود، في حين يُعطي الصلصال الناري لوناً بنيّاً كلون خشب الساج (Teak). وفي بعض الأحيان يُضاف سُقاط فحم الكوك (Coke Breeze) إلى الصلصال ليعمل كمصدر للوقود في عمليّة الشيّ بالنار. وأخيراً، وبحسب عمليّة تشكيل الآجُرّ التالية، يمكن أن تُضاف كمية من الماء حتى 25% لإعطاء المزيج اللّدونة المطلوبة.

عمليات التشكيل

الآجُرّ اليدوي

تشمل عملية التصنيع اليدوي إلقاء كُتلة من الصلصال الرطب بالحجم المناسب في قالب خشبي موضوع على نَضُد (Bench). ثم يُزال الفائض من الصلصال بإطار من سلك ويُرفع الآجُرّ نديّاً [أخضر] (Green Bricks). وغالباً ما يكون الآجُرّ (اللبِن) المنتج غير مُنتظم الشكل وحوافّه ليّنة وسطحه متموّج بشكل ملفت. وثمة طريقتان مختلفتان لهذه العملية هما: القَولبة على لوح (Pallet Moulding) والقولبة بالسكب (Slop Moulding). فعند القولبة على لوح يثبّت دفٌّ من خشب بحجم الوجه السفلي للآجُرّة، ويوضع القالب من دون تثبيت على اللوح ويُضبط ارتفاعه بحيث يوفر السُّمْك المطلوب للآجُرّة الندية. ويُرشّ الرمل على القالب واللوح ليسهّل استخراج الآجُرّة الندية التي تُزوَّد بتجويف (Frog) تقعُّرٍ (Depression) على أحد وجهيها العلوي أو السفلي. أما القَولبة بالسكب، فتُوضع قاعدة القالب على النَضُد (Bench) مباشرة، ويبلَّل وجه النَضُد بدلاً من رشِّه بالرمل بحيث يُمكن رفع الآجُرّة الندية بسهولة، ويكون وجهاها السفلي والعلوي أملسين على العكس من الآجُرّة المُقولبة على اللوح (الشكل 4.1).



(الشكل 4.1) قوالب الآجُرّ المصنع يدوياً.

عملية الطين الليّن

أصبح التصنيع اليدوي اليوم غالباً مؤتمتاً، بحيث يُقذف الصلصال ميكانيكياً في قوالب مرشوشة بالرمل سلفاً، ثم يُزال الطين الفائض ويُحرَّر الآجُرّ من القوالب. يحتفظُ الآجُرّ المُصنّع من الطين الليّن بالكثير من الخصائص التي يتّصف بها الآجُرّ المُصنّع يدوياً غير أن تكاليفه أقل.

الآجُرّ المضغوط

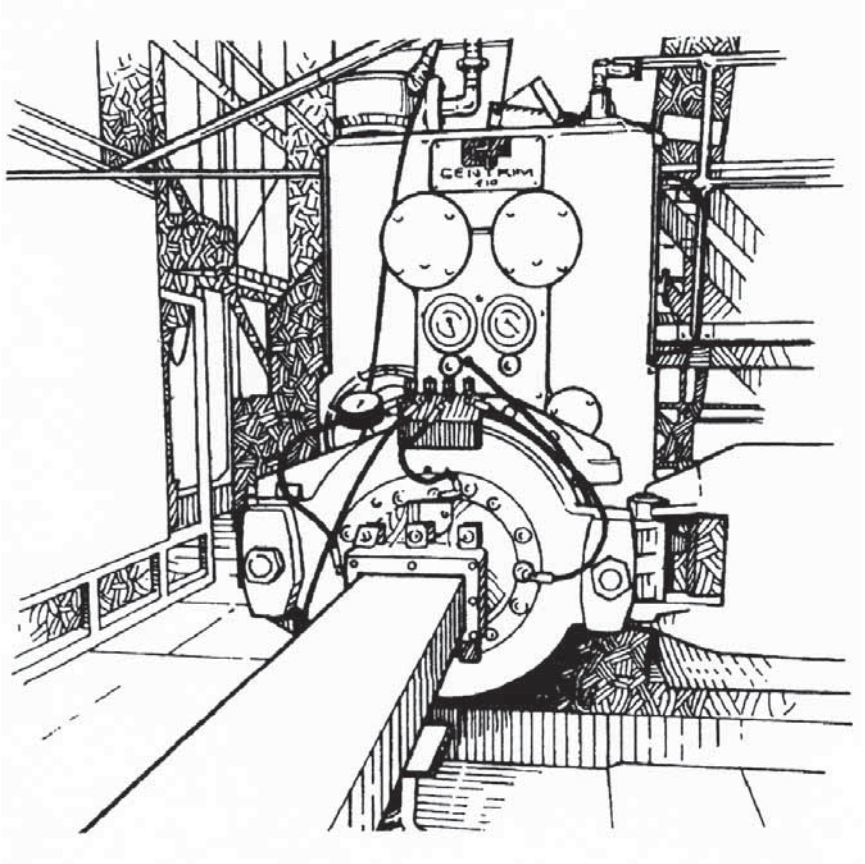
في عملية الآجُرّ نصف الجاف (Semi-Dry) المُستخدمة في تصنيع آجُرّ فلتون (Fletton) تخضع الكميّة المُناسبة من الصلصال لأربع مراحل ضغط مُتوالية داخل قوالب فولاذية لإنتاج الآجُرّ الندي. ولهذا النوع من الآجُرّ عادةً تجاويف عميقة على الوجه السفلي. وفي ما يتّصل بآجُرّ الواجهة، يمكن أن يُزخرف كلا الجانبيين وأحد الوجهين الطوليين بوساطة سلسلة من الأُسطوانات الدوّارة. ويمكن رشّ الماء لترطيب السطح يتبعه دفقَةٌ من مزيج الرمل مع الصباغ لإعطاء الآجُرّ إنهاءً بوجه رملي.

تطبّق في أنواع الصلصال التي تتطلَّب كميات أكثر من الماء عمليةُ اللدائن الجاسئة (أي الشديدة الصّلابة) (Stiff Plastic) وفيها تُدفع كتلة الصلصال دفعاً إلى داخل القالب. وفي هذه الحالة لا حاجة للضغط إلا مرة واحدة لتشكيل الآجُرّة. وغالباً ما يكون في الآجُرّ الهندسي المُصنّع بهذه الطريقة تجاويف ضحلة على كلا الوجهين العلوي والسفلي. إلا أنَّه في جميع الحالات يحسب حجم القالب بحيث يراعى الانكماش المُتوقّع عند التجفيف والشيّ بالنار.

الآجُرّ المشكل بالبثق والمقطع بالسلك

في هذه العملية يعبّأ الصلصال الذي يحتوي على نسبة 25% ماء في آلة بثق لولبيّة ترُصّ الصلصال وتطرد الهواء، وتدفعه في قالب مُتطاول بحيث يتشكّل عمودٌ أبعادُه مساوية لطول الآجُرّ الندي وعرضه (الشكل 5.1). ويمكن عندئذٍ إعطاء سطح العمود النسيجَ المطلوب أو تمليسه قبل تقطيع العمود إلى آجُرّات مفردة بسلسلة من الأسلاك. وغالباً ما تظهر على الوجه السفلي للآجُرّ المُشكَّل بالبثق آثار سحبِ الأسلاك عند التقطيع. أمّا الآجُرّ المُثقّب المقطّع بالأسلاك فيُشكّل من خلال وضع قضبان أو أسنان بين آلة البَثق اللولبية والقالب. ويحفظ التثقيب الآجُرّ ويساعد على

تجفيفه وشيّه بالتساوي من دون أي خسارة في متانته. ولكن لا يتحسّن الأداء الحراري كثيراً بوجود الفراغات.



(الشكل 5.1) الآجُرّ المشكل بالبثق والمقطّع بالسلك.

التجفيف

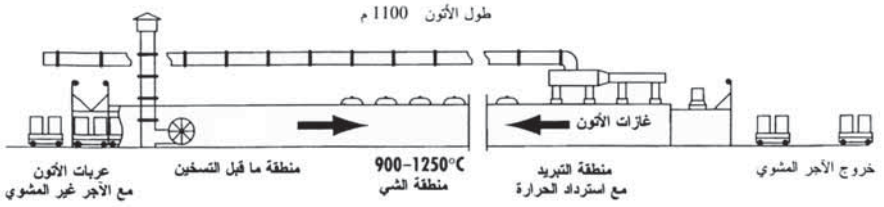
لمنع تشقُّق وتشوُّه الآجُرّ عند شيّه بالنار يجب أن يُترك الآجُرّ الندي المُنتج من الصلصال المرطّب ليجفّ وينكمِش. ويعتمد الانكماش على محتوى الرطوبة ويساوي عادة 10% من كل بُعد من أبعاد الآجُرّ. كما يوضع الآجُرّ الندِيّ مكشوفاً ومرتَّباً على شكلٍ شطرنجي لضمان تبخُّر الرطوبة بشكل مُنتظم. حيث يُصَفُّ هذا الآجُرّ أو يُمرّر في غرفة التجفيف المدفّأة بالحرارة المفقودة من عملية الشيّ بالنار، وتُضبط درجات حرارة التجفيف ومستويات الرطوبة بعناية لضمان حدوث الانكماش من دون تشويه.

الشَيّ

يُستخدم كلٌّ من الفرن المُتقطّع (Intermittent Kiln) والفرن المُتواصل (Continuous Kiln) لشيّ الآجُرّ. فيُستخدم الفرن المتقطّع لشيّ الآجُرّ على دفعات، بحيث يوضع الآجُرّ في الفرن ويُشوى ثم يُبرّد ثم يُخرج منه. وفي الفرن المتواصل تكون عملية الشيّ مستمرةً بلا توقف، فإما يُمرر الآجُرّ النديّ في الفرن في منطقة ثابتة الحرارة، أو تتحرّك النار تدريجياً حول سلسلة من الحُجرات المُتصلة التي تَحوي الآجُرّ الندي. وكلا المنظومتين أكثر كفاءةً للطاقة من العمليات المُتقطّعة. وعموماً في حالة الإنتاج الكميّ يُستخدم الفرن النفقي المُستمر (الشكل 6.1) (Continuous Tunnel Kiln) وفرن هوفمان (الشكل 7.1) (Hoffmah Kiln). وتُستخدم الأفران المُحكمة (Clamps Kilns) والأفران المُتقطّعة المُحمّاة بحرق الغاز (Intermittent Gas-Fired Kilns) للمنتجات الخاصة. ووفقاً لتركيب الصلصال وطبيعة المنتجات المطلوبة تُحدَّد درجات الحرارة لتلبيد (Sinter) الصلصال أو تزجيجه (Vitrify). ويحدث الاختلاف في تلوُّن الآجُرّ، الذي يسمى علامات القُبلة (Kiss Marks)، عندما يكون الآجُرّ على تماسٍ ببعضه البعض داخل الفرن، وهو ما يبدو واضحاً تماماً في آجُرّ فلتون.

الفرن النفقي

يحمّل الآجُرّ في الفرن النفقي بارتفاع 14.10 آجُرة على عربات الفرن التي تتحرّك تدريجياً خلال مناطق التسخين. فالشيَ بالنار ومن ثم التبريد والتحكُّم الدقيق في درجات الحرارة والسرعة المناسبة للعربات يؤمّن شيَ الآجُرّ الندي شيّاً صحيحاً بأقل استهلاك للوقود، الذي يكون عادةً من الغاز الطبيعي. وتُحدَّد درجة الحرارة القصوى للشيّ في حدود 940 ^{o}C إلى 1200 ^{o}C بحسب نوع الصلصال، غير أنها في الحالات الطبيعية في حدود 1050 ^{o}C، ومتوسّط زمن البقاء في الفرن ثلاثة أيام. ويؤثر محتوى جوّ الفرن من الأوكسجين في لون الآجُرّ الناتج. إذ عادة ما تُستخدم الحرارة العالية ومحتوى الأوكسجين المُنخفض في صنع الآجُرّ الأزرق، أمّا المحتوى العالي من الأوكسجين فيحوِّل أوكسيد الحديد في الآجُرّ إلى اللون الأحمر.



(**الشكل 6.1**) الفرن النفقي.

فرن هوفمان

عُرفَ هذا الفرن منذُ عام 1858، وهو فرنٌ متواصل تنتقّل فيه النار حول سلسلة من الحُجرات التي يمكن أن تكون مُتصلةً في ما بينها عند فتح صمامات تنظيم الحرارة. ويشتمِل هذا الفرن أيضاً على 12 أو 16 أو 24 حُجرة، مع أنَّ الرقم 16 هو الغالب في كل التصاميم. وتُملأ هذه الحجرات بنحو 100.000 آجُرّة نديّة، وتكون الحُجرات في مواجهة النار وتتحرّك حولها فتسخّنها أولاً، ثم يحين دور الشيّ لدرجة حرارة تتراوح من (960 °C إلى 1000 °C)، ويتبع عملية الشيَ بالنار هذه التبريد ومن ثم التفريغ، فالملء من جديد بالدفعة التالية. وينتقل هذا التتابع حجرة فحجرة بواقع حجرةً واحدة في اليوم لتكتمل عملية الشي في ثلاثة أيام. كما أن الوقود المعتاد لهذه العملية هو الغاز الطبيعي مع أنه في بعض المصانع قد يستعمل الفحم الرديء أو غاز الميثان الناتج عن المكبات.

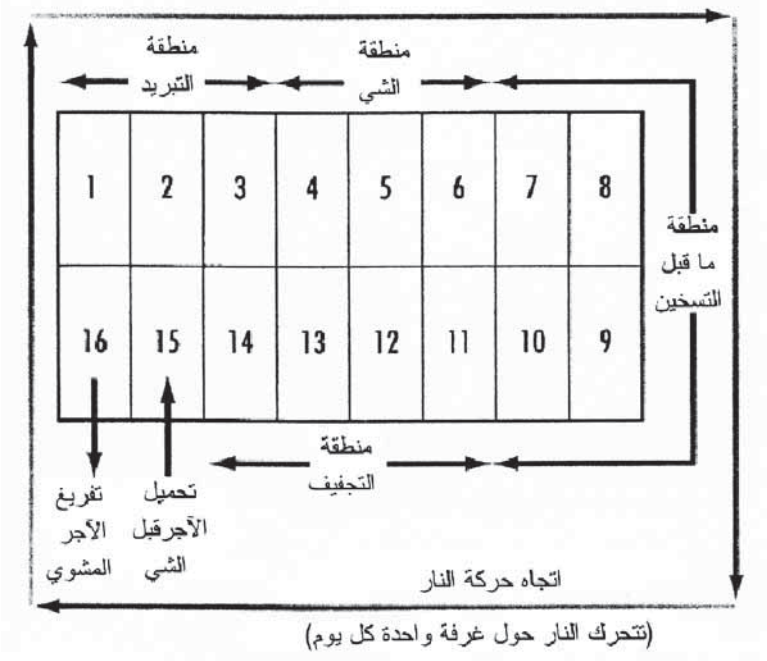
أفران الشي بالغاز المتقطعة

كثيراً ما تُستخدم الأفران المُتقطّعة التي تحرق الغاز لشي الكميات الصغيرة، وخاصة الآجُرّ المعد للاستخدام الخاص. فقد يكدّس الآجُرّ في إحدى هذه المنظومات على قاعدة خرسانية وينزّل الفرن المُتحرّك فوق الآجُرّ لتتمّ عملية الشيّ. ويمكن التحكّم في شروط الشيّ بدقّة بحيث تُماثل شروط الأفران المتواصلة.

الفرن المُحكم

يتلخّص أساس الشيّ بالفرن المُحكم (Clamps) في تضمين الصلصال بواسطة إسقاط فحم الكوك عليه إذ يعمل كمصدرٍ رئيس للطاقة أثناء الشيّ. ففي العمليات التقليدية تُكدّس طبقات الآجُرّ غير المشوي وطبقات من سقط فحم الكوك بالتبادل بعضها فوق بعض ثم تُطيّن وتُختم جيّداً ببقايا الآجُرّ والصلصال. تضرم النار في

الكتلة بمواد قابلة للاشتعال وتترك فيها حتى تشوى لمدة أسبوعين إلى خمسة أسابيع. وبعد الشيّ بالنار تُنتقى الآجُرّات يدويّاً لأنّها تخرج متفاوتة في ما بينها بصورة كبيرة، فمنها ما هو ناقص الشيّ ومنها ما أُفرط في شيّه. وفي الوقت الحاضر قد يُشوى بعض الآجُرّ المشكَّل يدويّاً بمشابك على الغاز بحيث يُمكن التحكم تماماً في عملية الشيّ، غير أنّها لا تزال تُنتج آجُرّاً فيه لطخات سوداء على سطوحها بسبب مُحتواها من الفحم المحترق.



(الشكل 7.1) مخطط فرن هوفمان.

التغليف والتوزيع

يُزال الآجُرّ التالف والمتكسّر قبل التغليف. ثُم يُحزم معظم الآجُرّ في رزم تضمّ 300 ـ 500 آجُرّة بحيث يمكن نقلها بسهولة بواسطة رافعة شوكيّة وعلى مركبات طرق خاصة. أمّا الآجُرّ ذو الأشكال الخاصة فغالباً ما يُحزم في ألواح خشبية.

مواصفات الآجُرّ الصلصالي

لدى توصيف أي آجُرّ معيّن من الضروري تحديد المعايير المُفتاحية التي لها

صلة بشكله وديمومته ومظهره. فالمعيار الأوروبي (Bs En 771-1:203) يتطلّب أقل وصف شامل لوحدات البناء، بما فيها رقم المعيار الأوروبي وتاريخه (مثلاً: Bs En 771-1:203) ونوع الوحدة (مثلاً: الكثافة العالية ـ Hd) والأبعاد والتسامح من القيمة الوسطى والهيئة (مثلاً: هل هو آجُرّ مُصْمَت أو مجوف) ومقاومة الضغط ومقاومة التجمُّد/ الذوبان. كذلك قد يُتطلّب توصيف إضافي بالاستناد إلى الاستعمال النهائي، وحسب المقتضى قد يشتمِل ذلك الكثافةَ الجافة، ومجالَ التسامح بالأبعاد، وامتصاص الماء، والخصائص الحرارية، والمحتوى المِلحيّ الفاعل القابل للذوبان، وحركة الرطُوبة، والتفاعل مع النار، وقابلية نفوذ البخار. وفي ما يتصّل بصناعة البناء، يتضمّن التصنيف عادة بعض الأوصاف التقليدية هي:

- مكان المصدر والاسم الخاص (مثلاً: ستافوردشاير أزرق أملس).
- تركيبة الصلصال (مثلاً: صلصال غولت (Gault) أو ويلد (Weald) أو أوكسفورد من الطبقات السفلى أو إتروريا مارل (Etruria Marl)، أو كيوبر مارل (Keuper Marl) (حجر ميرشن الطيني (Mercian Mudstones) أو الطَفَل (Shale)).
- التنوّع ـ الاستعمال التقليدي (مثلاً: الصنف A الهندسي، عادي أو واجهة).
- النمط ـ الشكل وعملية التصنيع (مثلاً: مُصْمَت، مُجوّف، مُقطّع بالسلك).
- المظهر ـ اللون ونسيج السطح (مثلاً: أحمر مرجاني بسيط).

التنوّع

يصنّف الآجُرّ على أنه عامّ (عادي) أو آجُرّ واجهة أو هندسي.

الآجُرّ العام (العادي)

ليس للآجُرّ العادي (Common Bricks) إنهاءٌ مرئي، ويُستعمل بالتالي في أشغال البناء العامة، وخاصة حيث سيُطلى بالدهان أو الجصّ أو عندما يكون مخفياً بأشغال الإنهاء.

آجُرّ الواجهة

يُصنّع آجُرّ الواجهة (Facing Bricks) ويُنتقى بحيث يكون مظهره النهائي جذّاباً. ويَنتج اللون الخاص، الذي يجب أن يكون موحّداً أو مُتعدّد الألوان، نتيجةَ خلطة الصلصال المُستعمل وشروط الشيّ. كذلك قد يكون سطح الآجُرّ أملس أو

نسيجياً أو رملياً حسب الطلب. ويتمّ الحصول على مَظهر بائس قليلاً، شبيه بالآجُرّ المُستصلح، بتقليب الآجُرّ غير المشويّ أو المشويّ داخل برميل دوّار. ويُستعمل آجُرّ الواجهة في معظم أشغال الآجُرّ التي يطلب فيها منظرٌ نهائي جميلٌ ودائم.

الآجُرّ الهندسي

الآجُرّ الهندسي (Engineering Bricks) كثيف ومزجَّج يتحمّل الأحمال، وقليلُ الامتصاص للماء. يُشير الملحق الوطني (NA) (الإعلامي) للمعيار (Bs En 771-1:2003) إلى خصائص صنفين (A وB) من صلصال الآجُرّ الهندسي ولا سيّما متانتهما الدنيا تحت الضغط، والنسبة المئوية القصوى لامتصاصهما الماء ومقاومتهما التجمُّد/ الذوبان ومحتواهما من الملح القابل للذوبان (الجدول 2.1). يُستعمل الآجُرّ الهندسي لإسناد الحمولات الثقيلة وفي الأماكن التي تحتاج إلى التقليل من آثار الصدم وامتصاص الماء أو الهجوم الكيميائي إلى الحدّ الأدنى. ويأتي غالباً إمّا بلون أحمر أو أزرق عموماً، ويكون أيضاً أغلى ثمناً من أنواع آجُرّ الواجهة الأخرى المُصنّعة آليّاً بسبب درجات الحرارة الأعلى اللازمة للشيّ.

النَّمَط

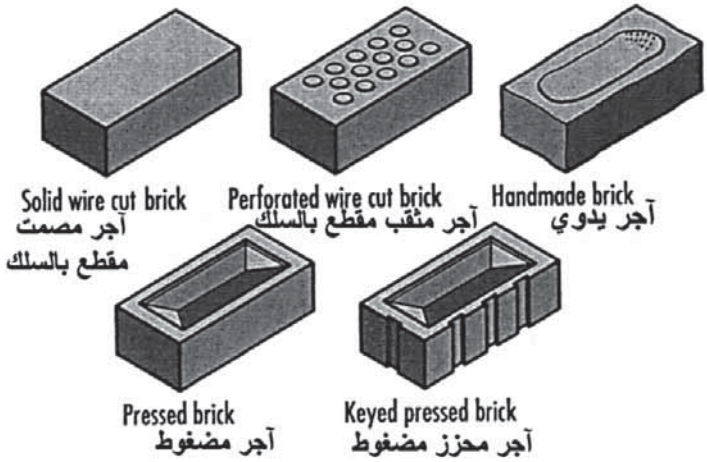
يدلُّ النمَط على شكل الآجُرّ، ويحدِّد هل هو مُصْمَت (Solid) أو مُجوّف (Frogged) أو خلوي (Cellular) أو مثقّب (Perforated) أو أنَّ له شكلاً خاصاً (Special Shape) (الشكلان 8.1 و9.1). ويمكن أن يكون الآجُرّ مُجوّفاً من وجه واحد أو من الوجهين العلوي والسفلي، ويمكن أن تكون الثقوب قليلة وكبيرة أو كثيرة وصغيرة. أمّا الآجُرّ الخلوي فله تجوفات (Cavities) على أحد طرفيه. أما الآجُرّ المُحزّز (Keyed) فيستعمل لإحكام ارتباطه بالطينة الجصيّة أو الإسمنتية. وبسبب تنوّع أنماط الآجُرّ الكثيرة يُطلب من المصنِّع تقديم تفاصيل عن اتجاه الثقوب ونسبتها في كلِّ الحالات.

من أجل ضمان المتانة القصوى ومقاومة عوامل الطبيعة وعزل الصوت يجب أن يوضع الآجُرّ وتجاويفه إلى الأعلى بحيث تملأ بالمِلاط تماماً. أما الآجُرّ المزدوج التجويف فيجب أن يكون التجويف الأعمق فيه من الأعلى. وعلى كل حال كثيراً ما يُشيّد الآجُرّ وتجاويفه إلى الأسفل توفيراً للنفقة ومن أجل السرعة واختصار الوزن الميت للبناء. ولا شكَّ أنَّ هذا يؤدي في النهاية إلى إنقاص قدرة الآجُرّ على التحمُّل.

الجدول 2.1 خصائص الآجُرّ الصلصالي الهندسي

الخصائص الفيزيائية	الآجُرّ الصلصالي الهندسي	
	الصنف A	الصنف B
الخصائص المُحدِّدة		
المتانة الدنيا تحت الضغط (Mpa)	ك 125 ⩽	ك 75 ⩽
امتصاص الماء الأقصى (٪ من الكتلة)	< 4.5 و(Dpc1)	< 7.0 و (Dpc2)
خصائص تقليدية إضافية		
الكثافة الجافة الصافية (kg/m^3)	ك 2200 ⩽	ك 2100 ⩽
صنف مقاومة التجمُّد/ الذوبان	F2	F2
صنف مُحتوى الملح الفاعل القابل للذوبان	S2	S2

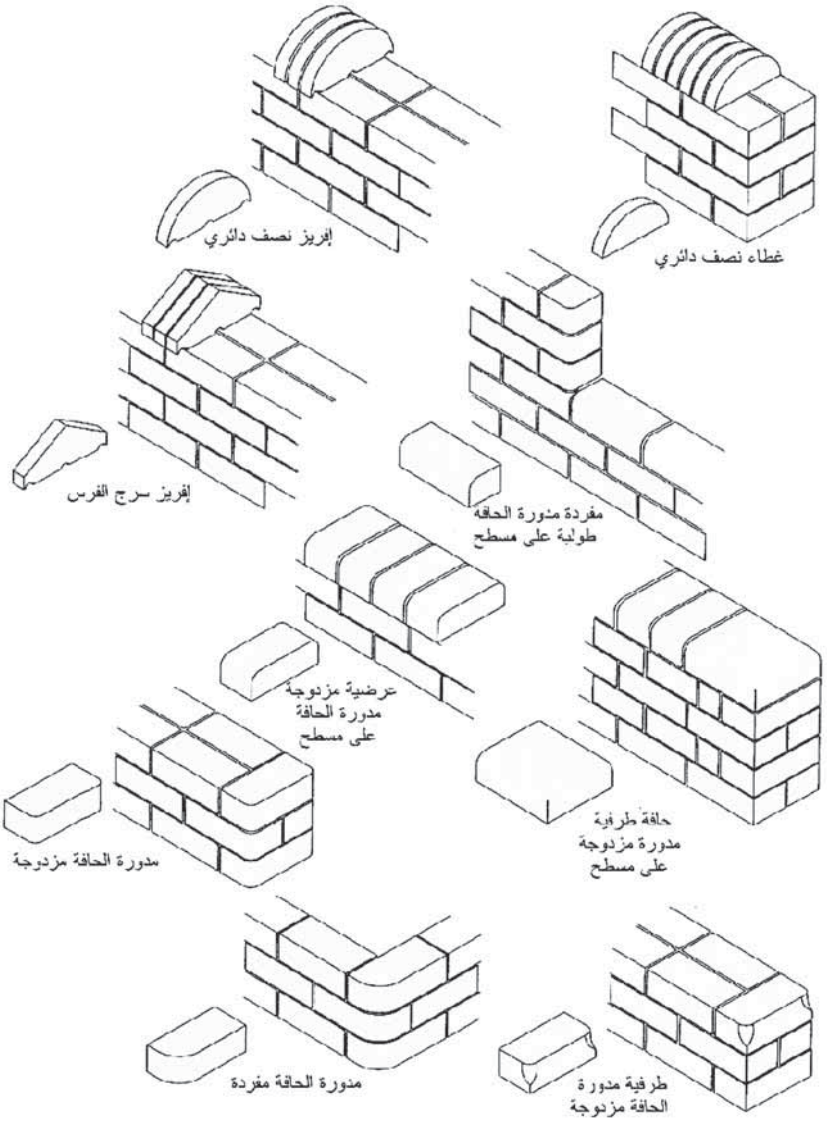
ملاحظة: إنّ حدود امتصاص الماء لكلّ أنواع الآجُرّ الصلصالي المُستعمل في مداميك منع الرطوبة في المباني (Damp-Proof Courses Dpc 1) وفي الأشغال الخارجية (Dpc 2) مُضمّنة في الجدول.



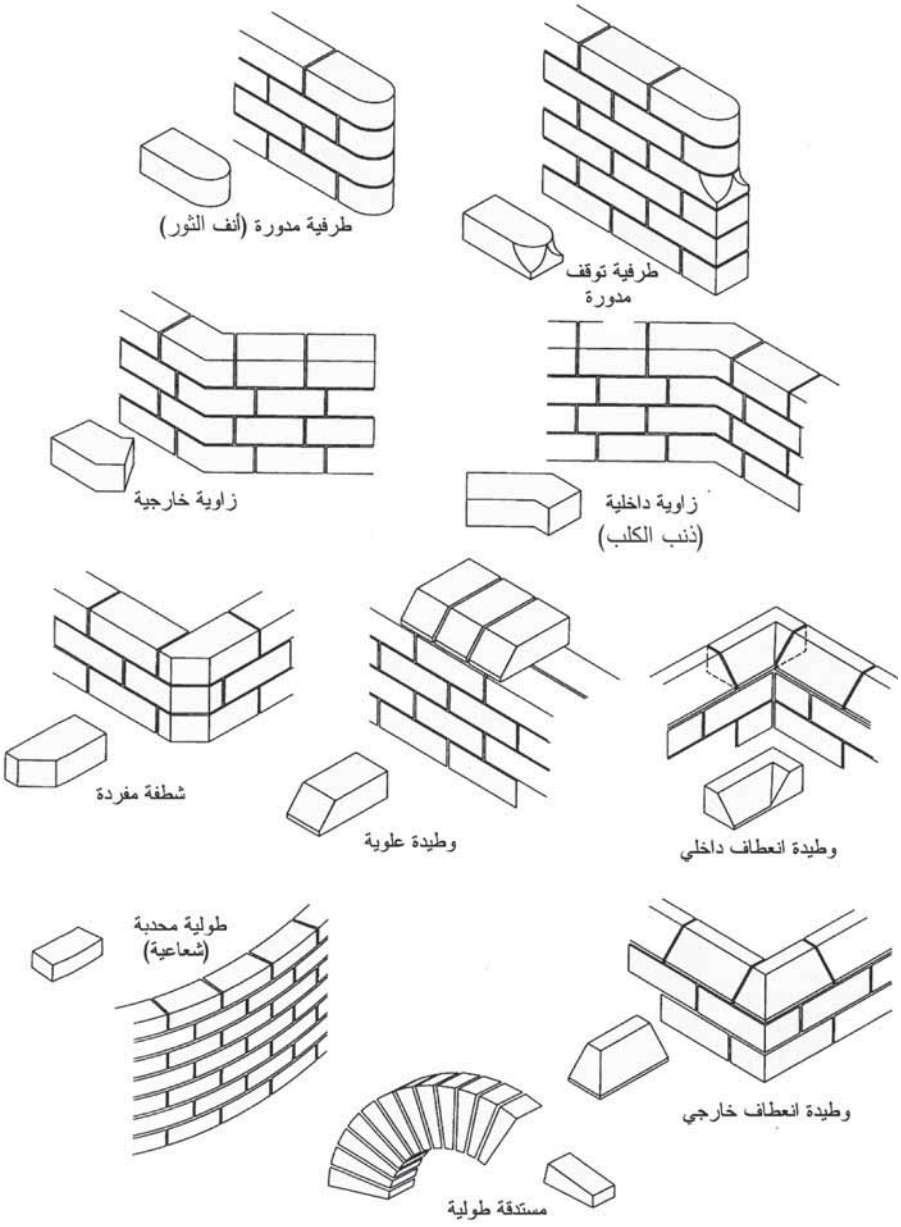
(الشكل 8.1) أنماط الآجُرّ.

الآجُرّ الخاص المعياري

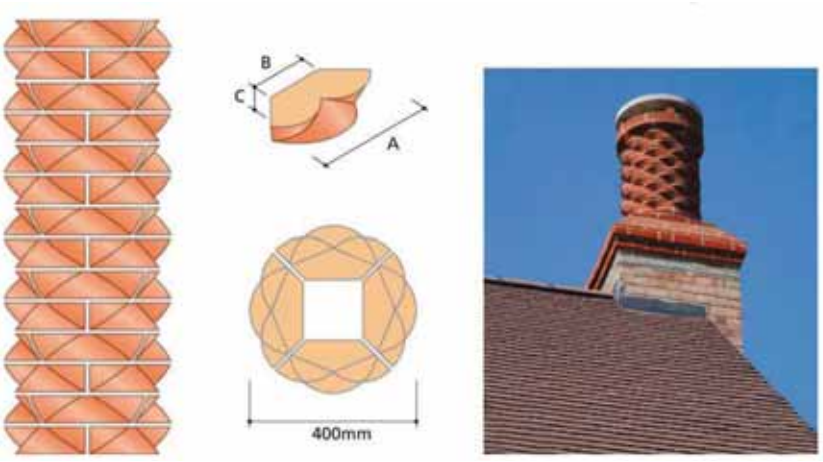
يزداد الميل إلى استعمال أشكال الآجُرّ الخاصة إلى درجة كبيرة بهدف تحسين النوعية المعمارية لأشغال الآجُرّ. يوضح المعيار البريطاني (Bs 4729:2005) مجالَ الآجُرّ الخاص النظامي الذي يمكن أن يصنع ليتماشى مع الآجُرّ المعياري النظامي (الشكل 9.1).



(الشكل 9.1) أنماط الآجُرّ الخاص. الصورة بإذن إيبستوك للآجُرّ.



(الشكل **9.1**) تابع .



(الشكل **9.1**) تابع .

تسميات الآجُرّ الخاص المعياري:

آجُرّ زاوي ومشطوف (Angle And Cant Bricks)

مدور الحافة (أنف الثور) (Bullnose Bricks)

إفريز وغطاء (Copings And Cappings)

آجُرّ الوطيدة (الحافّة) (Plinth Bricks)

آجُرّ قوسيّ (مقوّس) (Arc Bricks)

آجُرّ شعاعيّ (Radial Bricks)

آجُرّ عسكريّ (Soldier Bricks)

آجُرّ مكعّب (Cuboid Bricks)

آجُرّ الربط (Bonding Bricks)

آجُرّ رقيق (إكساء) (Bricks Slips)

كثيراً ما يُنتج المُصنّعون أيضاً آجُرّاً لأغراض خاصة (خاص جداً) بناءً على طلب من المعماري أو البنّاء. ولا شكّ في أنّ تسليم الآجُرّ الخاص يتطلّب وقتاً أطول من الآجُرّ العادي، وغالباً ما يؤدّي شيّ هذا الآجُرّ بصورة مُستقلّة إلى

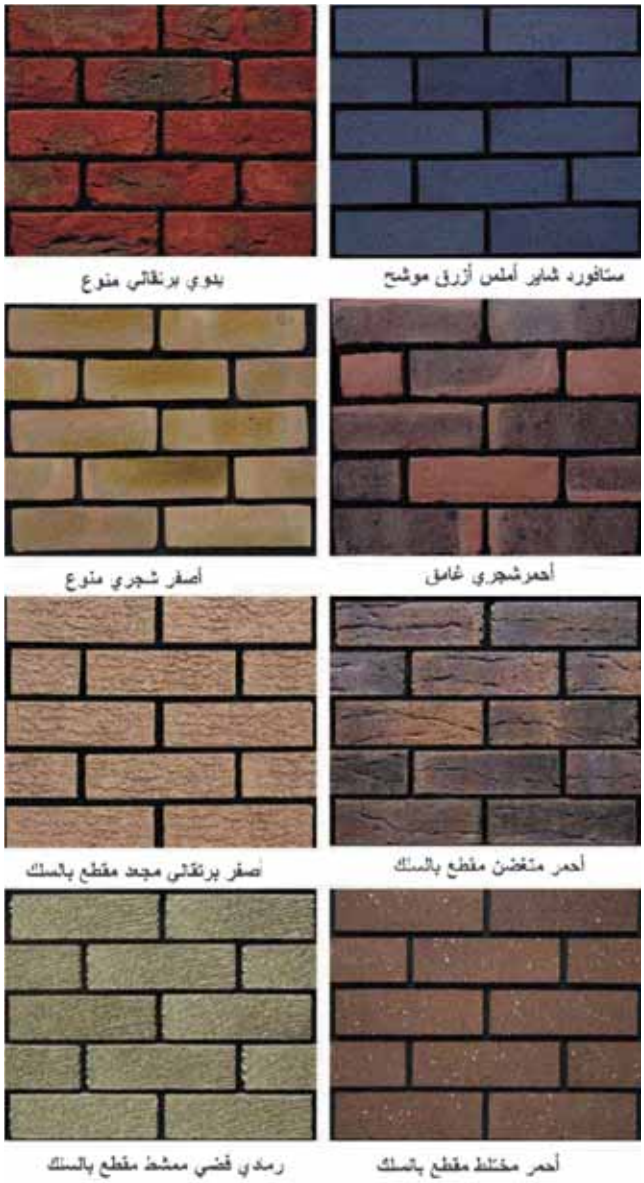
الحصول على بعض الاختلاف في الألوان بين الآجُرّ الخاص والآجُرّ المعياري، حتى ولو كان الصلصال من نوع واحد. أمّا الآجُرّ الخاص الأكثر تعقيداً فيصنّع يدوياً ولا سيّما الذي يحتاج إلى قوالب لها شكل خاص، مع أنّه يمكن أنْ يصنع بعضه بتعديل شكل الآجُرّ المعياري قبل شيّه. ويشمل مجال الأشكال المُعدّلة آجُرّ الأفاريز والأغطية (من أجل زوايا تصاوين الشرفات والجدران الحرّة من دون سند جانبي)، والمدوّر الحواف (لتفاصيل الزوايا، كحواف النوافذ والأبواب) والوطيدة (لتفاصيل الطنوف والركائز) والمشطوف (لزاويا الانعطاف) والمقوّس والآجُرّ الرقيق (لتغطية العتبات من الخرسانة المسلّحة. . .إلخ). كذلك يصنع الآجُرّ الخاص بقص الآجُرّ المعياري ثم لصق القطع إذا اقتضى الأمر بمادّة لاصقة. وتمتاز هذه الطريقة بضمان الحصول على اللون الصحيح المماثل للآجُرّ المعياري. وينتج الكثير من الآجُرّ الرقيق وساق الكلب (Dog Leg) والمقوّس للعقود (Arch Voussoir) بهذه الطريقة. كذلك يُمكن لشركات قص الآجُرّ المُتخصصة تقديم الآجُرّ من أجل عمليات الترميم والصيانة كتجديد واجهة محطة قطارات سانت بانكراس (St. Pancras) الأنيقة في لندن.

المظهر

مجال ألوان الآجُرّ المُنتج في المملكة المتحدة واسع. إذ تتراوح الألوان بين الأصفر البرتقالي الفاتح (Buffs) والرمادي والأصفر مروراً بالأحمر القرنفلي الفاتح وحتى الأحمر الفاقع والأزرق والبني والأزرق المائل إلى السواد، وذلك بناءً على نوع الصلصال وشروط الشيّ، إلى جانب إضافات من الأصبغة أو تطبيق الرمل على وجوه الآجُرّ (Sand Facing). ويمكن أن تكون الألوان موّحدة أو مُنوّعة على سطح الآجُرّة الواحدة أو مُنوّعة من آجُرّة إلى أخرى. حيث تختلف أشكال الآجُرّ بين المضبوطة تماماً والمدوّرة الحروف، ويختلف نسيجها بين الأملس الناعم والمُرمّل والعميق الطيات بحسب عملية التشكيل (الشكل 10.1).

ونظراً لاختلاف لون الآجُرّ من دفعة إلى أخرى فمن المهم أن تُخلط جيداً بعضها مع بعض، ويفضَّل أن يتمَّ ذلك في المصنع قبل رزمها في طرود، أو تخلط في الموقع. وإن لم ينفذ ذلك بشكل كافٍ قد يظهر حزام عرَضي من لون مُخالف أثناء تركيب الآجُرّ. قد يتعرّض الآجُرّ المُرمّل لتلف سطوحه أثناء التداول فينكشف اللون التحتي للآجُرّ، لإنَّ تشذيب حواف الآجُرّ بلون بينيّ يبدو للنظر أقل ضرراً. وثمة عامل مهم هو استعمال الآجُرّ الأملس في الأماكن المُعرّضة لسيلان ماء

المطر، مثل طبات النوافذ (Cills) وطبّات التصاوين والمسابح (Copings) بدلاً من الآجُرّ البسيط، لأنَّ هذا الأخير سيتشرّب الماء ويتبقّع. كما يجب أن يُوضع الآجُرّ المُصنّع يدوياً ذو الطيات العميقة (الشكل 11.1) بحيث يكون **التجويف** إلى أعلى فيسمح التغضن أو التشقُّق بسيلان الماء عن سطح البناء الآجُرّي.



(الشكل 10.1) المجال التقليدي للآجُرّ الصلصالي وألوانه.

(الشكل 11.1) آجُرّ هوبكنز برومِلي الأحمر اليدوي.

يتوافر الآجُرّ المُزجَّج بمجال واسع وألوان كثيرة، ويُستعمل أحياناً لتأثيره الجمالي (الشكل 12.1) أو ربّما لمقاومته الكتابة عليه. ويصنّع هذا الآجُرّ في عملية من مرحلتين تشتَمل على شيٍّ أوليّ للآجُرّ النديّ حتى مرحلة **النضج** (Biscuit Stage)، ويلي ذلك تطبيق **طبقة رقيقة** من طلاء زجاجي شفّاف ثم شيّه مرة أخرى. كما يُمكن صناعته في عملية من مرحلة واحدة، بحيث يُطلى الآجُرّ النديّ بطلاء شفاف ثم يُشوى مرة واحدة. ويعرض الصانعون لهذا النوع من الآجُرّ مجالاً قياسياً من الألوان قد يصل فيه الاختيار لمجال الألوان الشامل (RAL Colour Range). كما يمكن أن يكون الآجُرّ مُزجّجاً بالكامل أو مزجّجاً جزئياً، وعادة تتوافر الأشكال الخاصة بحسب الطلب.

إنّ المنظر المقبول لآجُرّ الواجهة وجودة تشييده يخضعان للتقييم عادة وفقاً للوحة مرجعية مساحتها لا تقلُّ عن 1 m^2 بموجب المعيار (Pas 70: 2003)، وتُشيّد هذه اللوحة في الموقع بآجُرّات تُنتقى عشوائياً وتشمل نماذج من اللون والرابط والملاط والوصلات المُقترحة. ويجب أن يكون كل ما يُسلّم من الآجُرّ والشغل مُطابقاً بعد ذلك لتلك اللوحة المرجعية.

(الشكل 12.1) آجُرّ مزجَّج، أوانٍ مُختارة ومنزل أطلسيّ في لندن، شُيّد من قِبَل شركة براون للعمارة.

الديمومة

مقاومة التجمّد بالصقيع

يصنّف الآجُرّ في واحدة من ثلاث فئات هي: F2 و F1 و F0 بحسب مقاومته للصقيع وفق اختبار معياري للتجمُّد (الجدول 3.1). والفئة F2 هي الوحيدة

المقاومة تماماً للتجُّمد وللذوبان [للجليد] المتكررين في شروط الإشباع بالماء. أما الفئة F1 فيكون الآجُرّ منها متيناً، إلا إذا تعرض للتجمّد والذوبان المتكررين في شروط الإشباع. وبالتالي فإنّ فئة الآجُرّ F1 يجب ألا تستعمل في الحالات المعرّضة كثيراً، مثل تحت الطبقات المانعة للرطوبة وتصاوين الشرفات وآجُرّ الطبات الطرفية، ولكنه مناسب للجدران الخارجية المُحمية من الإشباع بالمياه بتفاصيل مقبولة. أما الفئة F0 فيجب ألا يستخدم إلا في الأماكن غير المعرّضة أو المحميّة بكسوة أو المستخدمة داخلياً.

الجدول 3.1 تصنيف مقاومة التجمُّد/ الذوبان والمُحتوى من الملح الفاعل المحلول في الآجُرّ الصلصالي

فئة التحمُّل	مقاومة التجمُّد/ الذوبان
F2	البناء مُعرّض لشروط قاسية
F1	البناء مُعرّض لشروط متوسطة
F0	البناء غير مُعرّض
	المحتوى الفاعل من الملح الذائب
S2	صوديوم/ بوتاسيوم % 0.06 مغنيزيوم % 0.03
S1	صوديوم/ بوتاسيوم % 0.17 مغنيزيوم % 0.08
S0	لا توجد متطلبات

محتوى الملح الذائب

يُحدَّد محتوى الآجُرّ من الملح الذائب في ثلاث فئات: مُنخفض (S2) وعادي (S1) ومن دون حدود (S0) (الجدول 3.1). وتُعطى للفئتين S2 وS1 الحدود القصوى للمحتوى من ملح الصوديوم/ البوتاسيوم والمغنزيوم. إذ يأتي المحتوى المِلحي من الصلصال الطبيعي أو من نتائج الاحتراق عند الشيّ. حيث يمكن أن تُسبِّب الأملاح الذائبة تملُّحاً (Efflorescence) في حين يُمكن أن تتسرّب الكبريتات (السلفات) الذائبة من الآجُرّ إلى المِلاط أو أي كسوة فتسبِّبَ انتفاخها أو تفكُّكها. فإذا استُعمل الآجُرّ في مكان مُعرّض يجب أن يُلصق الآجُرّ من الفئتين S1 وS0 برابطٍ من المِلاط الإسمنتي المُقاوم للسلفات.

التملُّح (ظهور الملح على سطح الآجُرّ)

يظهر التملُّح أحياناً على شكل طبقات أو بقع بيضاء على سطح الآجُرّ الحديث البناء (الشكل13.1). وسبب ذلك يعود إلى رشح الرطوبة المحتوية على الأملاح داخل الآجُرّ والملاط إلى سطحه حيث يتبخّر الماء تاركاً أملاحاً متبلورة. وفي الشروط الجيّدة تختفي هذه البقع من دون تأثير ضار في غضون سنة. أمّا عند تعرّض أشغال الآجُرّ باستمرار إلى دورة من البَلل والجفاف فإنّ التملُّح يزداد طوال الوقت، ويزداد تراكم الأملاح المتبلورة وتتمدّد تحت السطح (**التملُّح الزاحف**) مما قد يتسبَّب في تفتُّت وجه الآجُرّ أو تقشُّره.

التبقُّع

قد يتلطّخ سطح الآجُرّ بالإسمنت في أثناء التشييد أو يرشح الكلس من الملاط الجديد (الشكل 14.1) وفي كلا الحالتين تجب إزالة الفائض بالفرشاة وغسله من دون إشباع الآجُرّ.

(الشكل 13.1) التملُّح.

(الشكل 14.1) رشْح الكلس على شغل الآجُرّ.

الخصائص الفيزيائية للآجُرّ

متانة مقاومة الضغط

يتوفَّر الآجُرّ الصلصالي العالي الكثافة (HD) بمقاومة ضغط (Compressive Strength) بين 5 MPa وإلى ما يزيد على 100 MPa. أمّا شروط الاستعمال العام في المداميك المانعة للرطوبة والاستعمال الهندسي فهي مبينة في الجدول 2.1.

ولتحديد قوة تحمُّل الآجُرّ يُسوّى كلا الوجهين العلوي والسفلي حتى يتسطّحا ويتوازيا تماماً، ثم يُسحق الآجُرّ من دون ملء فراغات التجاويف. وعندما تكون التجاويف مُتجِّهة نحو الأعلى لتملأ عند البناء تحسب قوة السّحق (MPa) بناءً على مساحة التحميل الصافية. أمّا إذا لم يتمّ ملء التجاويف والفراغات فتُحدَّد قوة السحق بناءً على المساحة الكلية لوجه الآجُرّ.

تشرُّب الماء وامتصاصه

يُصبح مستوى تشرُّب الماء حرجاً حين يكون المُراد استعمال الآجُرّ في مداميك مانعة للرطوبة، أو استعماله آجُرّاً هندسياً. فالحدود المناسبة له مبيّنة في الجدول 2.1. حيث يتراوح التشرُّب عموماً ما بين 1% و35%. وقد حُدِّدت معدلات امتصاص الماء لمُعظم صُنّاع الآجُرّ على أنها القيم العليا التي قد تؤثر في عملية تشييد الآجُرّ. فالآجُرّ ذو معدل الامتصاص العالي يتشرّب بالماء من الملاط بسرعة، مما يجعل المِلاط غير لَدن بما فيه الكفاية ليسمح بتصحيح وضع الآجُرّ مع تقدُّم العمل. وعلى العموم فإنَّ معدلات الامتصاص المُنخفضة (1.0-2.0 kg/m^2 في الدقيقة) تُعدُّ ميزة جيدة. ففي الطقس الحار قد يُبلّل الآجُرّ ذو معدل الامتصاص العالي بماء نظيف قبل تركيبه، ولكن أي فائض من الماء قد يتسبَّب في تعويم الآجُرّ فوق فرشة الملاط ويزيد في خطر التملُّح والتبقُّع لاحقاً.

حركة الرطوبة والحرارة

بعد عملية الشيّ بالنار يتشرّب الآجُرّ رطوبةً من الجوّ ويتمدَّد بشكل غير عكوس بنسبة تصل إلى 0.1% كحدٍّ أقصى. فيُنصح عندئذٍ بألا يُستعمل الآجُرّ لمدة أسبوعين بعد الشيّ على الأقل (مع أنه من المُعترف به الآن أنّ عملية التمدُّد غير العكوس هذه قد تستمِّر بمعدل متناقص لمدة 20 سنة). أمّا الحركات الناتجة من الرطوبة والحرارة اللاحقة فمُعظمها عكوسة، ويُسمح بفواصل تمدُّد (وصلات حركة (Movement Joints)) بمقدار 1 mm في المتر الواحد من شُغل الآجُرّ، بحيث تكون المسافة بين مراكز الفواصل 12-10 m في الجدران المحصورة (المُقيّدة) (Restrained Walls) و15 m كحدّ أقصى. أمّا الجدران غير المحصورة أو المحصورة قليلاً فيجب أن تكون المسافة 8-7 m. كما يجب أن تكون المسافة بين فواصل التمدُّد الأفقية 12 m تقريباً، لأنَّ الحركة الشاقولية تكون من مرتبة الحركة نفسها في الاتجاه الأفقي. وفي الجدران الخارجية غير المُسلّحة وغير الحاملة يسمح أن تكون المسافة القصوى بين فواصل التمدُّد الشاقولية 15 m (المعيار: NA To BS EN 1992-2: 2006).

يُمكن أن تُصنع فواصل التمدُّد الضرورية في كثير من المباني غير الظاهرة للعيان بوضع تفاصيل مدروسة أو بحيث تبدو جزءاً من التصميم نفسه. والمكان المُناسب لفواصل التمدُّد يكون عند اتصال شكلين إنشائيين مختلفين، كأن يكون

هناك مُتاخمة (Abutments) بين الجدران والأعمدة أو حيث يتبدّل ارتفاع الجدار أو سُمكه. وبدلاً من ذلك، عند وجود تفصيل ما في التصميم كانعطافات أشغال الآجُرّ أو الزوايا الداخلية (المعكوسة) أو وجود تراجعات للمزاريب المطرية، يجب استعمال مادة مالئة لفواصل التمدُّد، مثل البوليتين الخلوي (Cellular Polythene) أو البولي يوريثان (Polyurethane) أو الرغوة المطاطية (Foam Rubber)، لأنَّ هذه المواد سهلة الانضغاط. حيث يجب أن يكون مع الملاط المالئ للحلول (الكحلة) مركبٌ لاصق مَرن مثل البولي سلفايد الثنائي (Two-Part polysulphide).

حركة الرطوبة النموذجية العكوسة =0.02%

الحركة الحرارية النموذجية العكوسة = 0.03%

الحركة الحرارية = $5 - 8x10^{-6}$ deg C^{-1}

الناقليّة الحرارية

تعتمد الناقليّة الحرارية لأشغال الآجُرّ على الكثافة ومحتوى الرطوبة، إلاّ أنّ الآجُرّ الصلصالي عموماً ما هو إلا عازل حراري ضعيف. ويُقدّم صانعو الآجُرّ الناقلية الحرارية عند محتوى رطوبة معياري 5% لأشغال الآجُرّ المكشوفة، ويمكن أن يعطوا الناقلية الحرارية عند محتوى رطوبة 1% لأشغال الآجُرّ المحمية.

إنّ استعمال الآجُرّ بناقلية حرارية متوسطة W/M K 0.96، منظومة نموذجية مملوءة التجويف جزئياً هي:

mm 102.5 أشغال آجُرّية من دون تلبيس (Fairfaced)

mm 50 تجويف صافٍ

mm 50 طبقة عازلة من بولي يوريثان القاسي (λ= W/mK 0.023)

mm 100 أشغال بلوك خفيف الوزن (λ= W/m K 0.15)

لوح جصي على مادة لاصقة ليّنة (Dabs)

تُعطى القيمة U = W/m^2 K 0.27

تُراوح الناقليّة الحراريّة للآجُرّ الصلصالي بمحتوى 5% رطوبة عادة بين 0.65 و 1.95 W/m K

مقاومة النار

الآجُرّ الصلصالي مُقاوم جيّد للنيران بمحافظته على ثباتِه وتماسكه وخصائص عزله. ويبيّن المعيار (BS 5628 -3 2005) أنَّ بناءً من الآجُرّ الصلب الحمّال بسماكة 100 mm و200 mm على التوالي يؤمّن 120 دقيقة و360 دقيقة من مقاومة النيران. ويصنَّف الآجُرّ الذي تقل فيه المواد العضويّة عن 1% تلقائياً بالرمز A1 في التصنيف الأوروبي في ما يتعلّق بمقاومة النيران.

الخصائص الصوتية

تعدُّ أشغال الآجُرّ الجيّدة النوعية حاجزاً فاعلاً للصوت المحمول في الهواء شريطةَ عدم وجود فراغات خلال الملاط يمرُّ فيها الصوت. ويجب أن تكون جميع وصلات الآجُرّ مختومة وتجاويفه مملوءة لتحقيق الكتلة الضرورية في وحدة المساحة وتجنُّب مسارات للهواء.

عند التقاطع بين جدار بلوك الفجوة الفاصل وجدار بلوك وآجُرّ خارجي يجب إغلاق فجوة الجدار الفاصل بحاجز مَرن، فإذا كانت الفجوة الخارجية غير مملوءةٍ تماماً بعازل حراري فلا يُمكن تخفيف انتقال الصوت بما يتماشى مع شروط الأداء المُحدَّدة في قواعد البناء للجزء E.

أمّا امتصاص أشغال الآجُرّ للصوت في مجال التردُّدات العادية فمنُخفض إلى حدٍّ ما ويتناقص أكثر باستعمال طينة كثيفة أو طِلاء. وعلى كلٍّ، فإنّ استعمال الطينة الحاجزة للصوت أو إضافة حاجز مُنفصل من ألواح الجصّ المدعوم بمادة ماصّة يُحسّن من عزل الصوت.

ضَبْط الجودة

يستخدم كثير من صُنّاع الآجُرّ اليوم نُظمَ ضمان الجودة تلبيةً لمعايير الجودة الثابتة (Consistent Standards) التي يتطلَّبها الزبون. وهذا ما يفرض على المُصنّعين توثيق كل إجراءاتهم العمليات يّة ووضع معايير تخضع لها منتجاتهم. تتِمُّ مراقبة النوعية بالجمع بين نظام مراقبة ذاتيّة داخلية ومعاينتين إلى أربع معاينات اعتباطية مُستقلّة في السنة. وتخضع كلٌّ من محتويات النشرات الفنية والمنتجات نفسها لهذا التدقيق.

الآجُرّ الصلصالي غير المشوي (اللَّبِن)

يُنتج الآجُرّ الصلصالي غير المشويّ المُعدّ للاستعمالات الداخلية غير الحمّالة من صلصال أقلّ مُلاءمة للآجُرّ المعياري المشويّ. فالآجُرّ الترابي يتطلّب فقط استهلاكاً مُنخفضاً من الطاقة ليجفّ، وله احتمالات عالية لإعادة التدوير (Recyclability). ويمتاز بمنع تكاثُف الرطوبة وتنظيم الرطوبة النسبية للبيئة الداخلية. كما يجب أن يُبنى الآجُرّ الترابي بالصلصال أو بملاط من الكلس المائي (Hydraulic Lime) المُعتدل ويُنهى (يُكسى) بكسوة مساميّة (Breathable Finish) كالطين أو الجصّ الكلسي، أو يُطلى بالكلس أو بطلاء نَفوذ. ويشمل هذا المنتَج الآجُرّ المُثقّب شاقولياً إنهاءاتٍ ملساء أو مُحزَّزة وبمقاسات mm 220x105x67 و220x105x133 mm (الشكل 15.1). وتُراوح متانتُه على الضغط بين 2.9 وحتى 3.8 Mpa.

(الشكل 15.1) الآجُرّ غير المشوي (اللَّبن) والبلوك غير المشويّ. الصورة بإذن (Ibstock Brick Ltd).

الآجُرّ الصلصالي المستصلح

يُنتقى الآجُرّ المُستصلح غالباً لأسباب جماليّة، غير أنّ مظهره لا يكفل ديمومته. ومقاومته للجليد غير أكيدة على وجه الخصوص ولا يصلح اختبار عيّنة من أجل تصنيف كامل الشحنة. ويمكن أن يتفاوت الحجم الإمبراطوري لهذا الآجُرّ كثيراً، فقد تكون بعض المواد ملوثةً بالكبريتات أو قابلة للتملُّح من الأملاح الذائبة التي امتصّتها. ومع ذلك فإنَّ خصائص متانة الآجُرّ المُستصلح وامتصاصه الماء

مناسبةٌ للبناء على المستوى المحلي (Domestic-Scale Construction). ويُعدّ آجُرّ الرصف المستصلح الذي تعرّض سابقاً للجليد ذا ديمومةٍ مقبولة، أما آجُرّ الجدران فقد لا يكون معمِّراً إذا ما استُعمل للرصف.

شُيِّدت مؤخراً بعض الأبنية باستعمال المِلاط الكلسي، بالتحديد من أجل احتمال إعادة تدوير الآجُرّ المِتري في نهاية العمر المفيد للمبنى. لأنّ إزالة الملاط الكلسي عن الآجُرّ أسهل بكثير من إزالة ملاط الإسمنت البورتلاندي الحديث. فمن أصل 2500 مليون آجُرّة يجري تفكيكها كل عام في المملكة المتحدة تقريباً لا يُستصلح إلا نحو 5% فقط، في حين يُسحق نصف ذلك العدد تقريباً ليُستعمل مالئاً صلباً.

أشغال الآجُرّ

أشغال الآجُرّ الصلصالي

للربط ولِلون المِلاط ولشكل الوصلات تأثير بصري مهم في أشغال الآجُرّ. ويمكن تأكيد تأثير ذلك كلِّه كأحد معالم البناء، أو تقليص أثر المِلاط الرابط للآجُرّ إلى الحدّ الأدنى. أضفْ إلى ذلك أنّ استعمال الآجُرّ المُتعدِّد الألوان مع ألوان مُكملة أو مُتباينة للزوايا والحواف والأُطر وحتى التصاميم المنحوتة يمكن أنْ يُعطي تأثيراً هائلاً في المظهر العام للبناء. كما أنّ التأثير الثُلاثي الأبعاد للمداميك المُسنَّنة والأطناف البارزة يقدّم للمُصمّم فُرصاً أكثر لاستغلال تأثير الضوء والظلّ. إنَّ بروزاً بمقدار 10-15 mm يكفي عادةً لإعطاء الأثر البصري من دون التسبُّب في زيادة التعرُّض للتبقُّع أو التلف بسبب الصقيع. ويعطي شُغل الآجُرّ المُنحني (Curved) المُشيَّد بآجُرّ طوليّ مُتجانب منظراً جبهياً ومُعلَّقاً يَبرز بشكل خاص في الضوء المائل (Oblique Light). يُمكن كذلك إعطاء مَعلم بصري بتبديل البُنية المُنحنية الصغيرة الأقطار بترتيب تشييد الآجُرّ عرْضيّاً كبديل عن استعمال الآجُرّ المُنحني الكبير القطر.

يُبيّن المنظر الخارجي **للإحياء القوطي** لمبنى الملكة التابع لجامعة دو مونتفورت، بمدينة لايستر (The Gothic Revival exterior of the Queens Building De Montfort University, Leicester) (الشكل 16.1) التأثير البصري لشغل الآجُرّ المُتعدد الألوان ولِبناته الخاصة (Voussoir Specials). ويستفيد هذا البناء العالي

الكفاءة من الطاقة إلى أقصى حدّ في الإضاءة والتدفئة والتهوية الطبيعية، ويستعمل الجدران الحجريّة السميكة للتخفيف من درجات الحرارة العُليا والدنيا. أمّا الملاط الذي يتماشى مع البناء الآجُرّي الخارجي الأحمر المُرجاني فيخفِّف من التأثير البصري للآجُرّات المفردة ويُعطي مظهر مُسطّحات بدلاً من الجدران. وقد تحقَّق ذلك بتأثير اللون والظل الذي تمنحه المعالم المُتعدِّدة الألوان والطنف المتناسقة مع فتحات التهوية والأبراج. وقد اختير الآجُرّ الخاص وتفاصيل الركائز والأُطر بلون كادميوم الأحمر العميق والفضي المصفر (Cadmium Red And Silver Buff) لإظهار التباين مع ألوان آجُرّ لايسترشاير الأحمر المُميّز.

المِلاط

المِلاط ضروري لأشغال الآجُرّ لتوفير سطح الارتكاز (Bearing) له وليكون لاصقاً بين الآجُرّات. ويجب أن يكون الملاط أضعف من الآجُرّة المُفردة ليضمن ألاّ تسبِّب أية حركة لاحقة تشقُّقات مرئية في الآجُرّ، مع أنّه قد يكون للمزيج الضعيف جداً أثرٌ عكسي في ديمومة الشغل كلِّه. فتتألَّف خَلطة المِلاط إمّا من مزيج إسمنت/ كلس/ رمل أو إسمنت حجري/ رمل أو إسمنت/ رمل مع مادّة مُلدنة. أمّا البدائل المناسبة للإسمنت البورتلاندي فمبينة في الجدول 4.1 وفقاً للمعيار (PD 6678: 2005). وعندما تُعيَّر الخلطة بحسب الحجم، لا بدَّ من وجود تسامح في كُتلة الرمل الرطب. ويبيّن الجدول 5.1 الأصناف الخمسة للخلطة. وهناك خلطة تقليدية 1:1:6 (رمل: كلس: إسمنت) (M4) ورمزها (iii) وهي مُلائمة عموماً وذات ديمومة للمباني المُنخفضة الارتفاع، ولكن قد يكون من الأفضل اختيار مِلاط أقوى لأشغال الآجُرّ المحسوبة البُنية أو من أجل مقاومة أكبر للتجمّد بالصقيع في الأماكن المُعرَّضة (المكشوفة).

وفي ما يتعلَّق بالملاط **المُصمَّم** وفقاً للمعيار (BS EN 998-2:2005) فإنَّ مواصفاته تعتّمد على أدائه المستند إلى متانته على الضغط M مقدرة بميغا باسكال (MPa) عند عمر 28 يوماً. ومن أجل أنواع المِلاط الموصوفة يُطلب الجمع بين نِسب المكوِّنات والمتانة على الضغط عند عمر 28 يوماً. ومن المهمّ عند إعادة تكحيل أشغال الآجُرّ القديم أن تُلائِم مساميةُ الآجُرّ خصائصَ المِلاط في حَبس الماء. لأنَّ هذا يمنع فَقد الماء بشكل مُفرط من المِلاط قبل حدوث الإماهة (Hydratin) التي قد تتسبَّب في تجعُّد الكحلة.

الجدول 4.1 الإسمنت المناسب للملاط (PD 6678:2005)

الإسمنت	المعيار	الرمز
إسمنت بورتلاندي	BS EN 197-1	CEM 1
إسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات	BS 4027	
إسمنت الخبث البورتلاندي	BS EN 197-1	CEM II/A- S or II/B-S
إسمنت الرماد المُتطاير البورتلاندي	BS EN 197-1	CEM II/A- V or II/B-V
إسمنت الجير البورتلاندي	BS EN 197-1	CEM II/A- LL(L)
إسمنت حجري (مالئ لا عضوي غير الكلس)	BS EN 413-1	صنف MC
إسمنت حجري (كلس)	BS EN 413-1	صنف MC

(الشكل 16.1) أشغال آجُرّ تزييني ـ مبنى الملكة، جامعة دو مونتفورت، لايستر. المعماريون (Short Ford & Associates) الصورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

يسمح استعمال المِلاط الكلسيّ، كما هو الحال في مبنى مؤسسة البُحوث البيئية للمباني في غارستون، واتفورد (The Building Research Establishment environmental building in Garston, Watford) بإعادة استعمال الآجُرّ من جديد في نهاية دورة حياة المبنى. لأنّ تدوير الآجُرّ المُشيّد بملاط قوي من الإسمنت البورتلاندي غير مُمكنٍ إلا كرُكام.

تُصنَّف الرمال من أجل مزيج الملاط عادة وفقاً للمعيار (BS EN 13139: 2002) إلى فئات يُشار إليها بزوج من أقطار فتحات الغربال هما d/D ويدلان على حدود المقاس الأدنى والأعلى بالملّمتر على التوالي. ويجب أن تكون مُعظم مقاسات حبّات الرمل موزعةً بين الحدّين المذكورين. وأفضل تدرُّجات الرمل هي 0\1 mm و0\2 mm و0\4 mm و0\8 mm و4\2 mm و8\2 mm. عادةً يمرُّ بين 85 و 99% من الرمل من خلال الفتحة الكبرى للغربال، كما يجب أنْ يُمرَّ نحو 0 و20% من خلال الفُتحة الصغرى للغربال. لأنَّ التدرُّجات التي تحتوي نواعم أكثر (63 ميكرون فما دون) تتطلَّب إسمنتاً أكثر لتحقيق نفس المتانة والديمومة اللتين يوفِّرهما خليط مِلاط مُكافئ بمحتوى أقل من الرمل الناعم.

الجدول 5.1 تسميات مزيج المِلاط وتصنيفه

تسمية الملاط	صنف الملاط	رمل: كلس: إسمنت	رمل: إسمنت حجري	رمل مع ملدن: إسمنت
(i)	M12	1:0:3 - 1:¼:3		
(ii)	M6	1:½:4 - 1:½:4:½	1 : 2½ - 1 : 3½	1:3 - 1:4
(iii)	M4	1:1:5 - 1:1:6	1:4 - 1:5	1:5 - 1:6
(iv)	M2	1:2:8 - 1:2:9	1 : 5½ - 1 : 6½	1:7 - 1:8
(v)	M1	1:3:10 - 1:3:12	1 : 6½ - 1:7	1:8

ومن الناحية المِثاليّة، يجب أن تُصمَّم الأشغال الآجُرّية بحيث تضمن أقل قصٍّ للآجُرّ، وأنْ يُبنى بعرض موحَّد للوصلات وبتنسيقها شاقولياً (Perpends). ويجب أن يُحافظ على شغل الآجُرّ في أثناء البناء نظيفاً ومحميّاً من المطر والصقيع، وذلك للتقليل من مخاطر أضرار الصقيع والتبقُّع والتملُّح. ويمكن أن تُطلى أشغال الآجُرّ خارجياً أو تُلبَّس بالبلاستر داخلياً إذا توفّر الربط الميكانيكي من

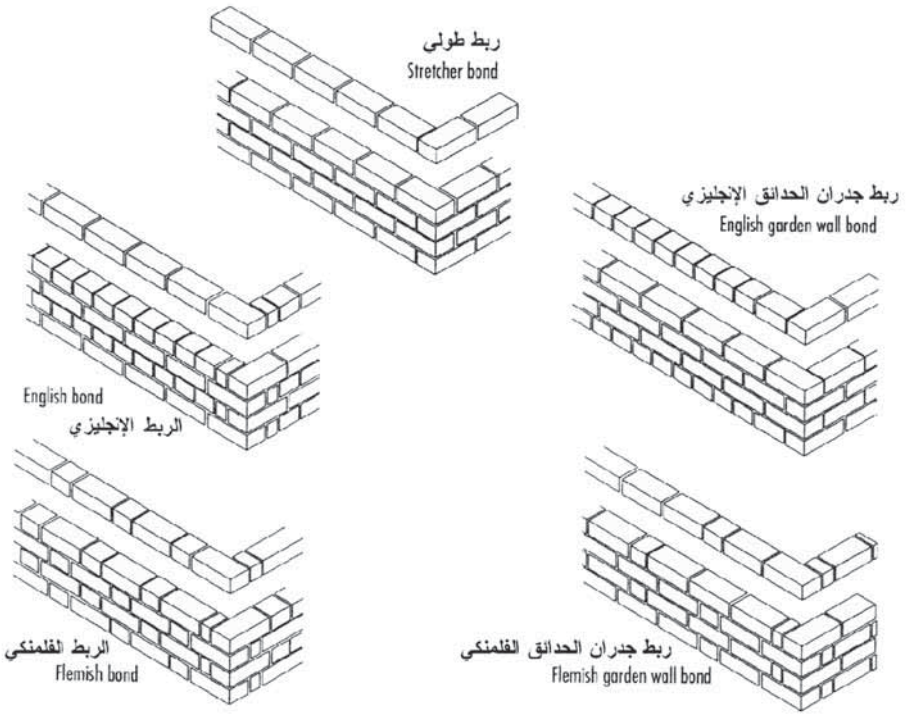
طريق الوصلات المناسبة أو استعملت آجُرّات ربط (Keyed Bricks). ومن أجل إعادة تكحيل أشغال الآجُرّ الموجود سابقاً من الضروري أن يتماشى رمل الملاط بعناية مع البناء الأصلي وأن يستعمل الملاط الكلسي حيث استعمل في التشييد الأصلي.

الربط

يبيّن الشكل 17.1 تأثير الربط في أشغال الآجُرّ. فالربط الطوليّ هو المعيار الأساس للجدران ذات الفجوات (Cavity Walls)، وعادة ما يستعمل ترتيب التراكب النصفي (Half-Lap Bond)، غير أنّه يمكن تحقيق زيادة في المظهر الأُفقي بربط أقل من قياسي باستخدام أرباع أو أثلاث آجُرّات. وفي أشغال الصيانة التراثية قد يكون من الضروري استعمال أنصاف آجُرّات (قطع عَرضية) لتتماشى مع مظهر الربط في الجدران الآجُرّية المُصْمتة. وهناك إمكانية تنويع أكثر بالنسبة إلى الجدران المؤلّفة من صفّ آجُرّ واحد، وأكثرها شيوعاً الربط الإنجليزي والربط الفلمنكي. حيث يستعمل الربط المكافئ الإنجليزي والفلمنكي بالدرجة الأولى لجدران الحدائق، الذي يضمُّ عدداً أكبر من الآجُرّات الطولية، لتشييد الجدران المؤلَّفة من صف واحد من الآجُرّ، لأنَّ الإقلال من عدد الآجُرّات العرضية يسهّل تشييد جدارن جميلة الوجه من الجانبين (لا تحتاج إلى تلبيس) (Fairface). وتكون لوحات أشغال الآجُرّ بزخرفة متعرّجة (الربط المُتراكب Raking Bond) أو تكون المداميك المسنَّنة على شكل سنِّ الكلب (Dog Tooth) وهذه يمكن أن تولّد معالم ممتعة كما هو الحال في الأشغال الآجُرّية من العهد الفيكتوري.

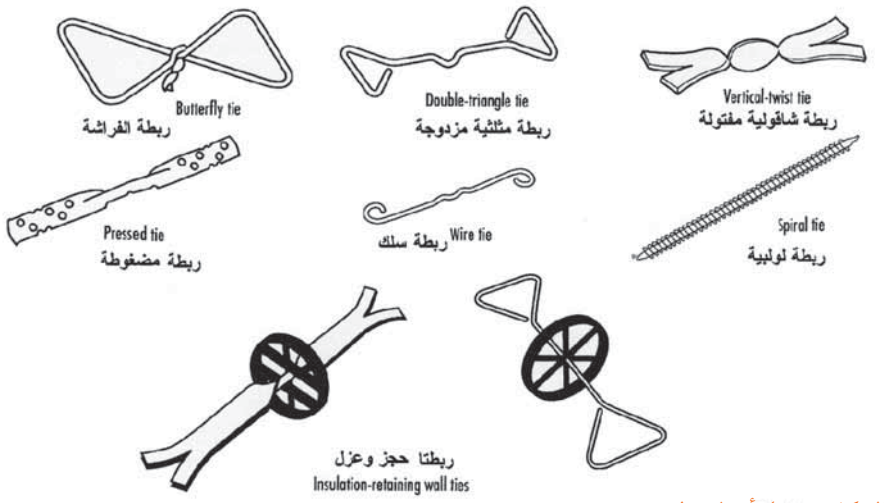
في كلِّ الأشغال الآجُرّية ذات الفجوة يجب استعمال أربطة للجدران (Wall Ties) مصنّعة من الفولاذ المُغلفن أو الفولاذ غير القابل للصدأ أو البولي بروبيلين (Polypropylene) ومطابقة للمعيار BS (EN 845-1: 2003) ويجب أن تركّب طبقاً للمعيار (BS 5628-3: 2005) بارزة إلى أسفل ومستوية أو مائلة نحو الأسفل (25 ك) باتجاه الطبقة الخارجيّة. وتصنّف أربطة الجدران على أنماط من 1 إلى 4 وفق المعيار (BS 5628) بحسب متانتها واستعمالها المناسب، وتعتمد أطوالها على عرض الفجوة (الجدول 6.1). وتنصّ أنظمة البناء على استعمال النمطين A وB. فالنمط A يشمل الأربطة على شكل فراشة، أمّا النمط B فيشمل الأربطة المثلثيّة المزدوجة. وتوصَّف الأربطة المصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ لكلِّ أعمال البناء. ويُقدَّر عُمْر خدمتها الأدنى بنحو 60 عاماً وفقاً للنشرة (DD 140-2: 1987).

وتتوافر أربطة جدران منخفضة الناقليّة الحرارية مُصنّعة من ألياف البازلت المركّبة (Composite Basalt Fiber) ولاصق من راتنجيات الإيبوكسي (Epoxy Resin).



(الشكل 17.1) ربط الآجُرّ.

عندما لا تُحقِّق وصلات المِلاط الأفقية التنسيق بين طبقتي البناء يجب استعمال أربطة مائلة خاصة بالجدران ذات الفجوة (Slope-Tolerant Cavity Wall Ties). حيث يجب أن تَشبك الأربطة الجدارية طبقةَ العازل الموجودة في الفجوة مع طبقة الجدار الداخلية. وفي جميع الأحوال يجب أن تبقى الفجوة والعَزل والأربطة غير ملوّثة بسَقْطِ الملاط وغيره من المُخلّفات باستخدام لوح واق. حيث تستعمل أربطة الجدران غير المتناظرة لتثبيت الآجُرّ بالخشب أو مع أشغال البلوك المعماري ذي الوصلات النحيفة. كما تُحنى أربطة الجدران التي تسمح بالحركة أو تنزلق داخل نُظم شقوق مثبّتة على إحدى طبقتي الآجُرّ، حيث تتوافر أربطة الجدران اللولبية لربط الآجُرّ الجديد إلى الجدران القائمة.



(الشكل 18.1) أربطة الجدران.

الجدول 6.1 أربطة الجدران حسب المعيار (BS 5628-1: 2005)

النمط	السماكة الدنيا للطبقة mm	العرض الاسمي للفراغ mm	طول الرابط mm
الأنماط 1 أو 2 أو3 أو 4 بالاعتماد على الحمل التصميمي وعرض الفجوة	75	ك75 ⩽	200
	90	100 ـ 76	225
	90	125 ـ 101	250
	90	150 ـ 126	275
	90	175 ـ 151	300
	90	300 ـ 176	ك 50 mm مغروسة في كل طبقة

ملاحظات:

النمط 1 ـ بناء: للاستعمالات الثقيلة. مناسب لمعظم أشغال البناء باستثناء الحالات التي يُتوقّع فيها حركات تفاضلية كبيرة

النمط 2 ـ بناء: استعمالات عامة. مناسب لبناء حتى 15 m فوق مستوى

الأرض، عندما يشيد طبقتان بسماكة متماثلة في مجال 150 ـ 90 mm سرعة الريح الأساسية القصوى 31 m\sec.

النمط 3 ـ بناء: أساسي. كالنمط 2 ولكن سرعة الريح الأساسية القصوى أقل من 25 m\sec.

النمط 4 ـ بناء. للاستعمالات الخفيفة. مناسب للسكن بارتفاع حتى 10 m، عندما يُشيّد بوجهين بصلابة وسماكة مُتماثلة في مجال 150 ـ 90 mm مناسب لمعظم الجدران الفجوة الفاصلة الداخلية.

تخضع كلُّ المواصفات للتحقُّق من طريق الحساب.

الطول الأدنى االواجب غرسه في كل طبقة 50 mm.

يجب أن توضع أربطة الجدران في الطبقات بسماكة 90 mm أو أكثر بمعدل 2,5 رابط لكل متر مربع. أمّا الجدران الأقل سُمكاً فتحتاج إلى أربطة أكثر.

الملاط الملون

لألوان الملاط تأثير عميق في المظهر العام لشغل الآجُرّ، حيث يشكل الملاط 17% من مساحة سطح شغل الآجُرّ في حالة الربط الطولي مع وصلة معيارية 10 mm. وهناك طيف واسع من الملاط الملوّن بألوان خفيفة يُمكن استعماله لمماشاة لون الآجُرّ أو التباين معه، بحيث يبرز الآجُرّ كوحدات أو يوحَّد شغل الآجُرّ كُلُّه. ويحتوي الملاط الملوّن على صبغات خاملة تُمزج في المصنع بمواصفات دقيقة لضمان مطابقةٍ وثيقةٍ للألوان بين الدفعات. فأحياناً قد يبهَت الملاط الأسود بتأثير رشْح الكلس إلى السطح. ويمكن استعمال الملاط الملوّن بشكل مُبتكر لزيادة التأثير البصري لشغل الآجُرّ، بل وابتكار تصاميم على مقاطع من شغل الآجُرّ الموحّد اللون، حيث يجب ألا تتجاوز كمية الصباغ 10% من وزن الإسمنت.

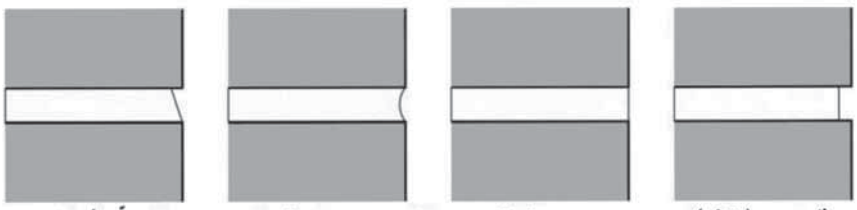
كذلك يمكن أن تُعدّل ألوان الملاط باستعمال خِضاب بعد الجفاف، غير أنَّ تطبيق ذلك يتخلّل السطح بـِ 2 mm فقط، وبالتالي يُستعمل ذلك أكثر في الأعمال العلاجية. أمّا الألوان الداخلة في صميم الجسم فهي أكثر ديمومة من تلك التي تُطلى على السطوح.

مقاطع الوصلات

المجال المعياري لمقاطع الوصلات مُبيّن في الشكل 19.1. ومن المهم أن يكون المعيار الرئيس هو سيلان الماء كي يُمنع الإشباع المفرط للبناء ومما قد

يتسبّب بإلحاق الضرر به. إذ يتمُّ عادةً تنفيذ وصلات الأشغال الآجُرّية مع تقدُّم عملية البناء. وهذه أرخص وأفضل طريقة لأنَّها تُسبِّب أقل اضطراب في فرشة المِلاط. حيث يتمّ التكحيل بتجريف الملاط **الندي** من الوصلة بعمق 13 ـ 20 mm، يليه إعادة ملئها بملاط جديد. ويُعدُّ ذلك ملائماً إذا لم يكن بالإمكان الحصول على المنظر الظاهريّ عند التركيب مباشرة، كأن يكون المطلوب نموذجاً معقّداً من وصلات المِلاط الملوّن لغايات جماليّة مثلاً.

تُظهر الوصلات الغائرة المربّعة (Square Recessed Joints) شغلَ الآجُرّ بإبراز شكل الوصلة، غير أنّها يجب ألا تُستعمل إلا مع الآجُرّ ذي الديمومة العالية الامتصاص وفي ظروف محمية، والأكثر من ذلك، يجب أن يكون الغور محدوداً بعمق لا يزيد على 6 mm. أمّا الوصلة المجوّاة (Weathered Joint) فتُبرز الضوء والظلّ في شغل الآجُرّ، في حين تُتيح مقاومةً جيّدة لعوامل التجوية في كل الحالات باعتبارها وصلةً متقنة الصنع. تُستعمل الوصلة المستوية (Flush Joint) إذا كان المطلوب عدم إبراز مظهرها الخارجي، ولكنّ الوصلة ذات الغَور المقوّس (Curved Recessed Joint) (مسكة الدلو (Bucket Handle))، التي تُضغط بالأدوات، تُعطي مظهر وخصائص تجوية أفضل. ويجب ألا يلطّخ المِلاط بوجه الآجُرّ، لأنّه من الصعب إزالته لاحقاً من دون استعمال حمض مزيل أو الغسيل بنفث الماء.

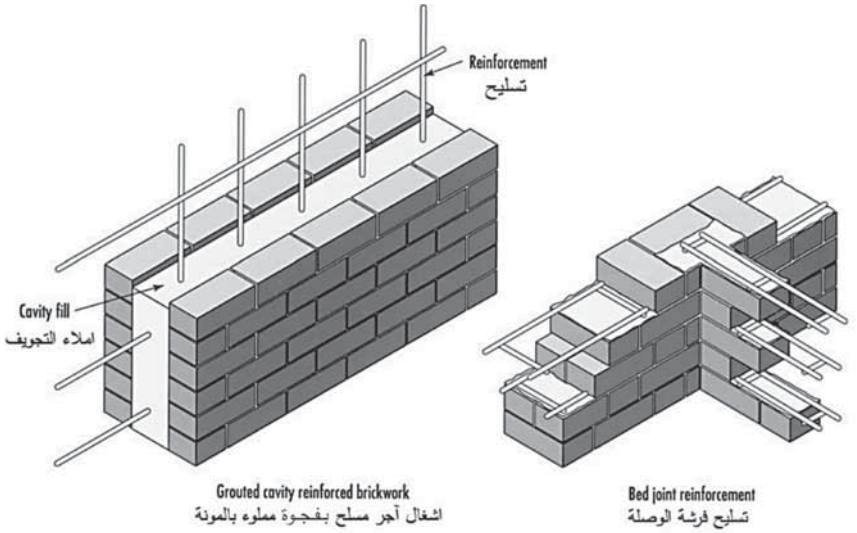


(**الشكل 19.1**) مقاطع الوصلات.

أشغال الآجُرّ المُسلَّح

قد يتمّ تنفيذ التسليح شاقولياً أو أفقياً (الشكل 20.1). تُسلّح الوصلة الأفقية عادةً بقضبان فولاذ أوستيني غير قابل للصدأ (Austenitic Stainless Steel)، على أن تُحاط كليّةً بالمِلاط بسمك 15 mm على الأقل. ومن أجل استمرارية التسليح في الجدران الطويلة يجب أن تكون نهايات القضبان مُتراكبة بما فيه الكفاية. يُعدّ التسليح الشاقولي ممكناً في جدران الفجوة أو ذات الجيوب، حيث تترك فراغات

داخل شغل الآجُرّ ثم يوضّع التسليح والخرسانة بعد انتهاء البناء. ويجب الحذر عند استعمال الرجّاجات (Vibrators) لرصّ الخرسانة في البناء الجديد.



(الشكل 20.1) أشغال الآجُرّ المسلح.

أشغال الآجُرّ التزييني

يُحاكي البلاط الآجُرّي [القرميد] التأثير البصري للبلاط المُعلّق. إذ تبرز الحافة المُشذّبة لكلّ آجُرّة عن المدماك الذي تحتها لتُعطي مظهر البلاط. وتُثبّت الآجُرّات بملاط سمكه 10 mm متراجع بمقدار 15 mm عن الوجه الأمامي مع ترك وصلة شاقولية بمقدار 1 mm فقط بحيث يبدو القرميد مُلتصقاً ببعضه. وهناك مجال متنوّع من الألوان بوجه أملس ومُرمّل مع آجُرّ خاص مناسب لانعطاف الزوايا. شغل الآجُرّ يجب أن يسبق شغل البلوك بعدّة مداميك لضمان ختم الوصلات الداخلية الشاقولية. ومن ثم تستخدم بلاطات الآجُرّ تقليدياً لإكساء الواجهات الجانبية للمنازل ذات السطوح المائلة (Gable-Ends).

يُمكن أن يُشكِّل الآجُرّ المكيّف المُقطّع (الشكل 21.1)، الذي يُناسب شغل الآجُرّ النظامي، هيئات ذات ظلال جيّدة. ومن أشكال هذا الآجُرّ أسنان المنشار والكروي والهرمي والمتموّج بألوان مختلفة ليكوِّن نهاية العمل بصور مختلفةٍ ومنتجةٍ لوحات بارزةَ المعالم أو متداخلةً مع شغل الآجُرّ النظامي.

(الشكل 21.1) آجُرّ مُشكّل المقطع. الصورة بإذن (Ibstock Brick Ltd.).

يُمكن تصنيع لوحات وزخارف وجداريات ومنحوتات معقَّدة بتصاميم مُفردة سواء للمباني الحديثة ولأعمال التجديد أو لترميم **المنحوتات الطينية** (الترّاكوتا الفيكتورية) (Victorian Terracotta) العائدة إلى العصر الفيكتوري. إذ تُنحت التصاميم على طريقة النحت النافر (Bas-Relief) الصلب الناعم بألوان شغل الآجُرّ أو تقولب من الصلصال غير المشويّ بوحدات صغيرة نسبياً توصل مع بعضها في الموقع بملاط يتماشى معها. أمّا الوحدات المتكرّرة فيتم تشكيل صلصالها في قوالب خشبية مناسبة، ليعطي النحت النافر بعمق بين 10 و30 mm الظلّ والتباين الكافيين لأغلب الملامح النحتية كي تُرى، مع تأكيد مراعاة مسافات المشاهدة وزواياها. وأما المنحوتات الآجُرّية الكبيرة فيمكن أن تُصنّع الوحدة بكاملها من اللبِن النديّ مع سماحيات مناسبة لوصلات الملاط وتقلصات التجفيف. وبعد ذلك يُنحت التصميم ويرقّم ويجزّأ ويشوى ويُعاد تجميعه في الموقع.

(الشكل 22.1) شغل آجُرّ تزييني منحوت. الصورة بإذن (Baggeridge Brick Plc.).

الآجُرّ الرقيق الملاط

إنّ استعمال الآجُرّ الرقيق الملاط مع وصلات تراوح بين 2 و6 mm يُخفف كثيراً من المظهر المرئي لوصلات الملاط من 17% للوصلات القياسية 10 mm في أشغال الآجُرّ إلى 8% فقط للوصلات القياسية 4 mm. ويزداد هذا التأثير باستعمال الملاط اللاصق (الصمغي) (Glue-Mortars) الذي يُستعمل لإحداث وصلة مُتراجعة (Recessed Joint). وبذلك تصبح الوصلة خطّاً ظليلاً، يُحدِّد لون الآجُرّ ونسيجه المظهرَ المرئي الإجمالي للجدار كله. ولأنَّ الملاط اللاصق أقوى من الملاط العادي ويمتاز بخاصية المدّ فإن نمط شغل الآجُرّ لا يتقيّد بطريقة الربط الطولي القياسي. ويُنفذ الملاط اللاصق في خطين على كلا الوصلتين الشاقولية والأفقية، وبالتالي فإنّ الآجُرّ المُصْمت أو المثقّب، لا المجوّف سطحه (Frogged Bricks)، هو الأنسب. وتُستعمل أربطة جدران الآجُرّ رقيق الملاط وألياف تسليح صُنعيّة خاصة بالوصلات الأفقية (Aramid) حسب الحاجة. ولعلّ هذا النظام يوفّر للمُصمّم المُبدع بدائل جماليّة كبيرة.

أشغال الآجُرّ المُسبق التجميع

إنّ استعمال الآجُرّ المُسبق التجميع المُستند إلى إطارات من الخرسانة المسلّحة أو من الفولاذ يُقدّم للبناء مستوى أعلى من التحكم في الجودة وسرعة

التشييد في الموقع (الشكل 23.1). كما يُفسح المجال لابتكار تفاصيل وأشكال مُعقّدة، كالعُقود الطويلة المُنخفضة التي قد تكون غالية أو مستحيلة في البناء التقليدي للآجُرّ. ويُنتج المُصنّعون الاختصاصيون ألواحاً كبيرة كاملة من الخرسانة المسبقة الصنع المكسوّة بآجُرّ كامل أو برقائق منه.

عادةً تُثقَب الأوجه الخلفيّة لرقائق الآجُرّ بزوايا مائلة ثم تُدخّل في الثقوب أسلاكٌ من فولاذ غير القابل للصدأ وتثبّت بمادة لاصقة راتنجية. حيث تُصفُّ رقائق الآجُرّ موجهةً إلى الخارج بفواصل داخل قالب اللوح قبل إضافة التسليح الفولاذي وصبِّ الخرسانة، ثم تُكحّل الرقائق لتعطي المظهر المطلوب لشغل الآجُرّ.

(الشكل 23.1) أشغال آجُرّ مسبق التجميع. الصورة بإذن (Trent Concrete Ltd.).

إنّ ألواح الآجُرّ المُصنّعة في المعمل لِتكون بأبعاد الجدران المُصْمتة وبارتفاع طابق واحد، والتي تحتوي على فتحات النوافذ والأبواب والتمديدات الكهربائية، تُمكّن من التركيب السريع في الموقع لأعمال التشييد على النطاق المحلي. ويقوم

أحد المُصنّعين بتأمين وحدات النوافذ المُشيّدة على إطارات فولاذية لتركيبها بسهولة في الموقع. كما يمكن أن تكون هذه الألواح مُكحّلة سلفاً أو تترك غير مُستكمَلة ليتمَّ تكحيلُها في الموقع.

منظومات الإكساء بالآجُرّ

حدثت ثورة مميّزة في المباني ذات الواجهات الآجُرّية بتطوير رقائق الآجُرّ (Brick Slips) وبلاط الآجُر (Brick Tiles) كمنظومات إكساء مُصمَّمة لإعطاء مظهر وديمومة شغل الآجُرّ التقليدي مع إنقاص زمن البناء. ففي نُظم تشييد الجدران الخارجية من البلوك الخرساني المهوّى (Aerated) بسماكة 215 mm، يُكسى وجه الجدار الخارجي بلوح من البوليستيرين (Polystyrene) العازل المُشكَّل بالبثق ويطبَّق فوقه رقائق الآجُرّ بسُمك 16 mm مثبّتة على شبك مكيّف الشكل سلفاً (Pre-Formed Grid)، فيعطي مظهر طبقة خارجية من الآجُرّ. وتكون ألواح شبكة البوليستيرين مُتراكبة فيما بينها لضمان إحكام الوصلات الأفقية ضدَّ الماء (Watertight) ولها ألسنة وثقوب لتتشابك مع بعضها شاقولياً. يُدهن البوليستيرين باللاصق وتُحشر رقائق الآجُرّ في مكانها بفاصل أفقي مناسب. ثم يُحقن المِلاط بوساطة مسدس حقن أو كيس ملاط ويملّس وفق شكل الوصلة المطلوب. ولدى استعمال البلوك الجيّد العزل يمكن أن يُحقق هذا البناء قيماً (U-Values) منخفضة إلى درجة 0.27 W/M^2.

ثمّة نظام بديل يستعمل مقاطع الفولاذ المغلفنة الملبّسة باللدائن (البلاستيك) تُثبّت على الجدار البنيوي (الشكل 24.1). وبعد ذلك تثبّت بلاطات الآجُرّ ذات الشكل الخاص بنظام الفولاذ بفواصل شاقولية مناسبة، ثم يطبّق الملاط (تقليدياً من نمط المزيج 1:1:6) بوساطة مسدّس حقن ويسوّى بالشكل المطلوب، وغالباً ما يكون على شكل الثُّلم المقوّس إلى الداخل (الشكل يد الدلو). يتمّ تصنيع مجال من البلاطات الخاصة بأشكال مكعبة (Dados) أو وطيدة (قاعدة العامود) (Plinths) أو طبات (Cills) أو زوايا خارجية (External Returns) لتعطي مظهر شغل الآجُرّ التقليدي. ولأنّ شغل الآجُرّ هذا غير بُنيوي هناك مجال من نماذج الربط بين القطع، بما فيها خيارات الفرك (التشبيك) (Stack) والتربيع (Quarter) والقطري. ويتيح هذا النمط من البناء المُسبق الصنع إمكانات التشييد بعيداً عن الموقع، ويقدِّم بعض المصنّعين ألواح بلاطات الآجُرّ المُشكّلة سلفاً حيث تكون جاهزةً لتثبيتها في أماكنها.

(الشكل 24.1) منظومات إكساء الآجُرّ. الصورة بالإذن من (Courtesy of Corium, a division of Baggeridge Brick Plc.).

ثمّة استعمال آخر لمنظومات رقاقات الآجُرّ بسماكة 20 mm من أجل إكساء أشغال الآجُرّ المتدنيّة النوعية أو التي شُيّدت من البلوك فتحسّن أشغال الآجُرّ غير المليَّس (Fairfaced).

الرصف بالآجُرّ الصلصالي

يُنتج العديد من صانعي الآجُرّ مجموعةً واسعة من بلاط الآجُرّ المسطح والمشطوف (Chamfered) المخصص لأعمال الرصف مع مجال واسع من لوازم التبليط المطابقة. غالباً ما يكون الآجُرّ المعدّ للرصف المرن المستدق الطرف (Nibbed) لضبط الفواصل ضبطاً صحيحاً. وتوفر هذه المادة مقياساً إنسانياً (Human Scale) للأعمال المدنية الصعبة (Hard Landscape) في المساحات الفسيحة والمواقع العامة وخاصةً إذا ما استعملت النماذج والألوان استعمالاً مبتكراً. تشمل النماذج التقليدية (الشكل 25.1) عظم السُّمك (Herringbone) والرصف المُتتابع (Running Bond) والرصف المتراصّ (Stack Bond) وحبكة السلة (Basket-Weave) وكذلك استخدام المُحدِّدات والأُطر (Borders And Bands). ومهما يكن الأمر،

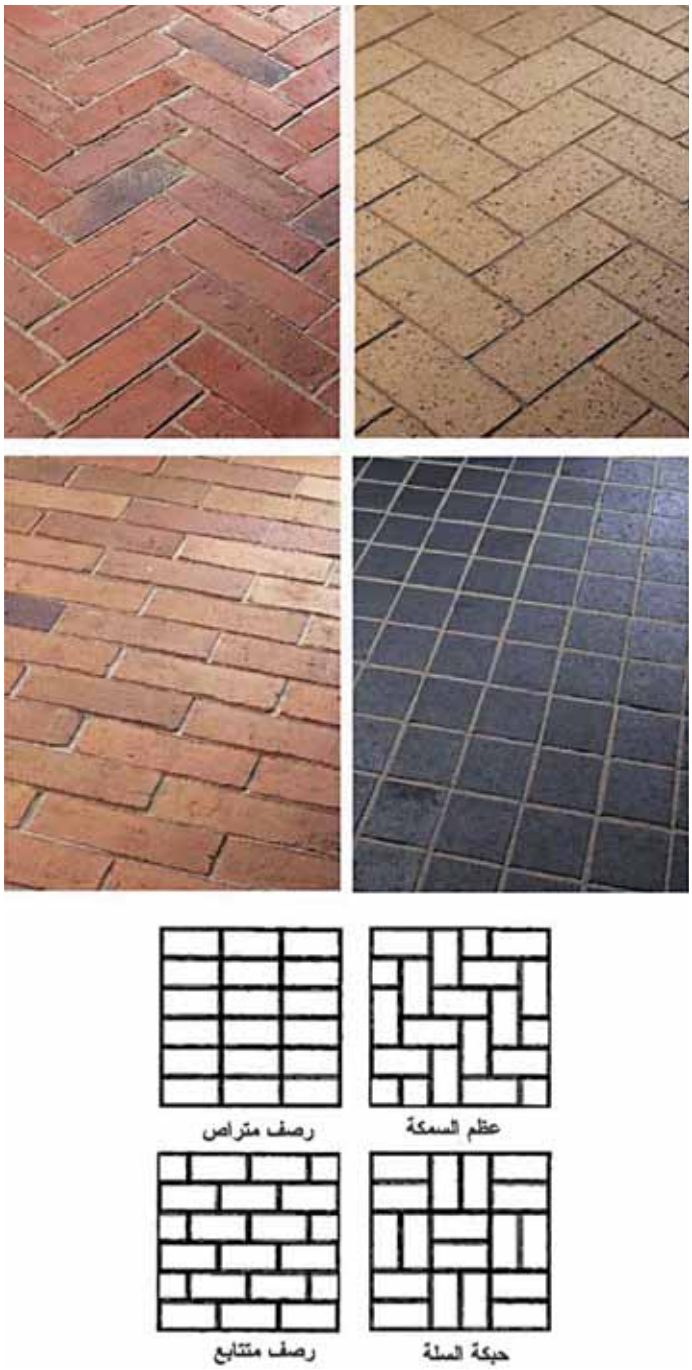
تجب الإشارة إلى أن المقاسات لا تتناسق كلُّها مع ترتيب عظم السُّمك أو حبكة السلة. وتشمل تصاميم الآجُرّ المكيّف المقطّع على شكل المعين الزخرفي (Decorative Diamond) ونماذج ألواح الشوكولاتة (Chocolate-Bar Patterns) وكذلك الترتيب المُعدّ للمُشاة (Pedestrian-Management Texturing). كما يمكن أن يُرصف آجُرّ التبليط على أرضية صلبة مع وصلات ملاط أو على أرضية مرنة مع إدخال الرمل الناعم بين البلاطات بالفرشاة. ولا بدَّ من وجود حاجز للحافة (طرف للحافة) لمنع انزياح البلاطات جانبياً.

يحدِّد المعيار البريطاني (BS EN 1344: 2002) السماكة الدنيا للبلاط بـ 40 mm و30 mm للرصف المَرن والرصف الجاسئ على التوالي. ومع ذلك يستعمل عموماً البلاط بسماكة 50 mm للرصف المرن وبسماكة 60 mm إذا كان الرصف خاضعاً لحركة مرور المركبات (BS 7533-1: 2001). يبين الجدول 7.1 المقاسات المعيارية، وتُصنَّف البلاطات الصلصالية على أساس مقاومة الجليد وذوبانه. وتعدُّ البلاطات المرموز لها بـ (FP0) غير صالحة لشروط الصقيع المُشبع، في حين يمكن استعمال البلاطات الموسومة بالرمز (FP100) في شروط الجليد/ الذوبان. ويصنّف المعيار (BS EN 1344: 2002) بلاطات الرصف في خمس فئات (T0 إلى T4) طبقاً لمتانة الانكسار بالعرض، بحيث تكون الفئة الدنيا (T0) مناسبة للرصف الصلب فقط. وتصنّف مقاومة الانزلاق لبلاطات الرصف غير المصقولة على أنها عالية أو متوسطة أو منخفضة أو منخفضة جداً. ويجب أن يُؤخذ هذا العامل بعين الاعتبار بشكل خاص في شروط البلَل لضمان سلامة المُشاة ووسائط النقل. ويصِفُ المعيار (BS 7533) (الأقسام 1 و2 و3 و9 و13) تصميمَ الرصف ببلوك الآجُرّ ذي الاستعمالات الثقيلة والخفيفة، وكذلك الرصف المرن والجاسئ والنَّفوذ للماء على التوالي.

الجدول 7.1 مقاسات العمل المعيارية لآجُرّ الرصف

الطول (mm)	**العرض** (mm)	**السمك** (mm)
215	102.5	50
215	102.5	65
210	105	50
210	105	65
200	100	50
200	100	65

(الشكل 25.1) الترتيب التقليدي لآجُرّ الرصف الصلصالي الجاسئ للمواقع العامة في برمنغهام الصورة بإذن (Baggeridge Brick Plc.).



(الشكل **25.1**): تابع .

(الشكل 25.1): تابع.

آجُرّ سيليكات الكالسيوم

أوّل ما أنتج آجُرّ سيليكات الكالسيوم تجارياً الذي يعرف أيضاً باسم آجُرّ الكلس الرملي (Bricks Sandlime) أو الكلس الصوّاني (Flintlime Bricks)، في ألمانيا سنة 1894، ومن بعدها في المملكة المتحدة سنة 1905. وكان يستعمل في بادئ الأمر كالآجُرّ العادي، غير أنّه في الخمسينات من القرن العشرين استُغلّت ديمومته في الأساسات. وتوصّلت الأبحاث في تصميم الخلطات وتطوير عمليات الإنتاج إلى إنتاج مجال كامل من صنوف الآجُرّ الحمّال ذي المظهر الجميل. يعدّ آجُرّ سيليكات الكالسيوم مُنافساً من حيث السعر ويحتل 3% من سوق الآجُرّ في المملكة المتحدة.

الحجم

إنَّ الحجم المعمول به لآجُرّ سيليكات الكالسيوم هو 215x102.5x65 mm، وهو حجم الآجُرّ الصلصالي نفسه مع حجم نسق 225x112.5x75 mm يمكنه أن يسمح بفواصل من الملاط مقدارها 10 mm على العموم فإنَّ آجُرّ سيليكات الكالسيوم أكثر دقة من حيث الشكل والحجم من الآجُرّ الصلصالي المشوي، الذي لا بدَّ وأن يتشوّه في أثناء الصنع. لذا حَدَّد المعيار (BS EN 771-2: 2003)

التسامحات في أبعاد آجُرّ سيليكات الكالسيوم وهي عموماً 2 mm في كل بعد من أبعاده في ما عدا طبقة الملاط الرقيقة التي يراعى أن يكون التسامح الأقصى فيها 1 mm بالارتفاع، حيث إنَّ التسامح الفعلي أقل من ملّيمتر عادة. أما الآجُرّ ذو السماكة الإمبراطورية فيمكن صنعه حسب الطلب.

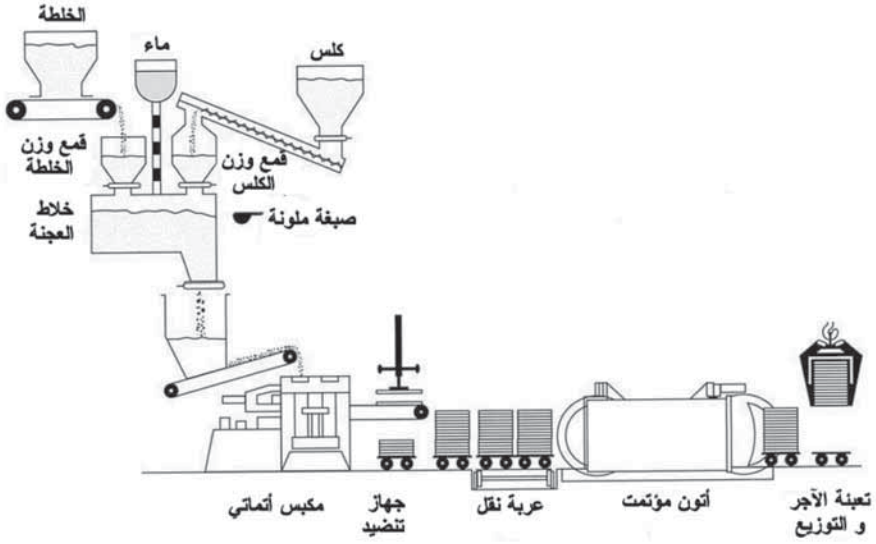
تصنيع آجُرّ سيليكات الكالسيوم (آجُرّ الكلس الرملي وآجُرّ الكلس الصوّاني)

تتألّف المواد الخام من السيليكات (90% تقريباً) والكلس المُطفأ (Hydrated Lime) ومسحوق الصوان (Crushed Flint) وصبغات ملوّنة وماء. فإذا استُعمل الكلس الحي (Quicklime) فيجب ترطيبه بالكامل قبل ضغط الآجُرّ لمنع تمدُّده عند المعالجة بالبخار. ويستعمل مزيج من الرمل والكلس والماء لصنع آجُرّ سيليكات الكالسيوم الأبيض الطبيعي. ولدى إضافة الصبغات الملونة أو حصى الصوّان المسحوق إلى المكونات المعيارية أو تطبيق النسيج المرغوب فيه على سطح الآجُرّ نحصل على مجال عريض من الإنهاء الأملس البسيط والمحكم.

يتمّ مزج المواد بنسبها الموائمة ثم تُضغط في قوالب الآجُرّ الموضوعة على عربات مُنخفضة ثم تُدخل إلى فرن (مُوصدة) (Autoclave) وتُعرّض لضغط البخار (0.8 ـ 1.3 MPa) لمدّة 4 ـ 15 ساعة في درجة حرارة 180 مئوية (الشكل 26.1). مما يؤدي إلى تفاعل الكلس الحي كيميائياً مع أسطح جزيئات الرمل فتغلفها بسيليكات الكالسيوم المائية التي تملأ معظم الفراغات بين جزيئات الرمل. وتتفاعل سيليكات الكالسيوم لاحقاً ببطء مع ثنائي أوكسيد الكربون فتنتج كربونات الكالسيوم مع تزايد تدريجي في متانة الآجُرّ.

المظهر

ينتجُ من عملية التصنيع آجُرّ دقيق الشكل والأبعاد أملس السطح إن لم يُرَد إعطاؤه نسيجاً معيّناً. أمّا مجال الألوان فكبير جداً ويراوح بين الأبيض والموشّح مروراً بالأحمر الغامق والأزرق والبني والأخضر والأصفر بدرجاتها. ويميل المظهر الخارجي لشغل الآجُرّ هذا إلى إبراز دقّة الصنع. ويبدو الآجُرّ أكثر هشاشةً من الآجُرّ الصلصالي وبالتالي أكثر عرضة للتلف عند حوافه.



(الشكل 26.1) تصنيع آجُرّ سيليكات الكالسيوم.

مواصفات آجُرّ سيليكات الكالسيوم

الأنماط

يتوافر آجُرّ سيليكات الكالسيوم بنوعيه المُصْمت وذي سطح الاستناد المجوّف (Frogged). وينتج المصنّعون مجالاً واسعاً من الآجُرّ الخاص وفقاً للمواصفة BS (4729: 2005)، أمّا الآجُرّ الخاص جداً ورقائق الآجُرّ لإكساء واجهات الخرسانة المسلحة فيكون بناء على طلب الزبائن.

الديمومة

يتَّصفُ آجُرّ سيليكات الكالسيوم بمقاومة جيدة للصقيع، ولكن يجب ألا يتعرّض بصورة متكرِّرة للمحاليل الملحية أو الحوامض أو جريان مياه صناعية تحتوي على المغنيزيوم أو كبريتات الأمونيوم. لكون هذا النوع من الآجُرّ يحتوي على كميات قليلة جداً من الأملاح، وبالتالي لا يمكن أن يحدث تملُّح أو تسرّب الكبريتات إلى الملاط من داخل الآجُرّ. والآجُرّ في حدّ ذاته مقاوم لهجوم الكبريتات ويمكن استعماله تحت الأرض مع ملاط بإسمنت مناسب مقاوم للكبريتات. وعلى كل حال، لا يجوز استعمال آجُرّ سيليكات الكالسيوم للرصف حيث يُتوقّع حدوث تملح شتوي.

الخصائص الفيزيائية

مقاومة الضغط

يُحدّد المعيار البريطاني (Bs En 771-2: 2003) مجال صنوف تحمُّل الضغط كما في الجدول 8.1.

الوزن

يُراوح وزن معظم واحدات آجُرّ سيليكات الكالسيوم المعيارية بين 2.4 و3.0 kg.، غير أنّ كثافتها تراوح بين ما دون 500 وحتى 2200 kg./ m^3.

امتصاص الماء

يتراوح امتصاص الآجُرّ للماء ما بين 8 و15% من وزنه.

التمدُّد والتقلص بالرطوبة والحرارة

على العكس من الآجُرّ الصلصالي الذي يتمدّد بعض الشي، فإن آجُرّ سيليكات الكالسيوم يتقلّص. ويزداد التقلّص إذا أصبح الآجُرّ رطباً قبل الاستعمال، وبالتالي يكون من الضروري حماية أكوام الآجُرّ في الموقع من الإشباع.

الجدول 8.1 مقاومة الضغط الدنيا لآجُرّ سيليكات الكالسيوم

صنف متانة مقاومة الضغط	مقاومة الضغط المعيارية (MPa)
5	5.0
7.5	7.5
10	10.0
15	15.0
20	20.0
25	25.0
30	30.0
35	35.0
40	40.0
45	45.0
50	50.0
60	60.0
75	75.0

كما تجب حماية أشغال الآجُرّ غير المنتهية من الإشباع والتجمُّد أثناء التشييد. إذ إنَّ الحركة العكوسة بسبب الرطوبة تكون أكبر في آجُرّ سيليكات الكالسيوم منه في الآجُرّ الصلصالي، وعليه يجب أن تكون فواصل التمدّد على مسافات بين 7.5 و9.0 m. ويجب ألا يملأ فراغ الفواصل بمواد صلبة. وعلى العموم يجب استعمال خلطة ملاط ضعيف (أي 1 : 2 : 9 إسمنت : كلس : رمل) باستثناء ما تحت مستوى المدماك المانع للرطوبة والطبات لمنع الشقوق المرئية في الملاط أو في الآجُرّ.

حركة الرطوبة النمطية العكوسة = $\pm$ 0.05%

حركة الحرارة النمطية العكوسة = $\pm$ 0.05%

الحركة الحرارية = $\pm$ 8-14x10^{-6} deg C^{-1}

الناقلية الحرارية

الناقلية الحرارية لآجُرّ سيليكات الكالسيوم مماثلة لناقلية الآجُرّ الصلصالي ذي الكثافة نفسها. تراوح الناقلية الحرارية لآجُرّ سيليكات الكالسيوم بين 0.6 W/m K (الصنف 20) و 1.3 W/m K (الصنف 40).

متانة مقاومة الحريق

إنّ مقاومة آجُرّ سيليكات الكالسيوم للحريق مماثلة لتلك التي للآجُرّ الصلصالي، فإذا كانت سماكة أشغال آجُرّ سيليكات الكالسيوم 100 mm فإنه يتيح 120 دقيقة مقاومة نيران، وأما إذا كان سُمكه 200 mm فيتيح مقاومةً لمدة 360 دقيقة طبقاً للمعيار (BS 5628-3:2005). ويبيّن هذا المعيار أن هذه الفروقات هامشية فقط في مقاومة النيران بين آجُرّ سيليكات الكالسيوم والآجُرّ الصلصالي. كما يعرف آجُرّ سيليكات الكالسيوم أوروبياً (مع أقل من 1% من المواد العضوية) بالصنف الأوروبي (A1) من حيث تفاعله مع النيران.

الخصائص الصوتية

الخصائص الصوتية تتعلّق بالكتلة وهي على هذا الأساس فهي مُماثلة لخصائص الآجُرّ الصلصالي ذي الكثافة المساوية.

أشغال آجُرّ سيليكات الكالسيوم

إنَّ معظم اعتبارات التصميم لشغل آجُرّ سيليكات الكالسيوم هي نفسها المطبّقة في الآجُرّ الصلصالي. غير أن آجُرّ سيليكات الكالسيوم أكثر شعبية لخصائصه العاكسة للضوء بشكل خاص، كالمناور (Light Wells) والفناءات الداخلية المفتوحة (Atria). كما أنَّ مظهره الناعم المتغضن بسطحه غير الحالك ملائم خصوصاً لبعض الإنهاءات

الداخلية ويشكِّل أساساً مناسباً للإنهاءات بالدهان. كما أنَّ استعمال المِلاط الملون المتمِّم يزيد في جمالية استخدام الآجُرّ القوي الألوان. وتمنحه دقة أبعاده مِيزة في عملية التشييد، إضافة إلى رخص تكاليفه مقاربةً لتكاليف الآجُرّ الصلصالي.

يبيّن التصميم الداخلي لمبنى الملكة في جامعة دو مونتفورت، لايستر (De Montfort University, Leicester) (الشكل 27.1) فاعلية استخدام آجُرّ سيليكات الكالسيوم لخَلق حيّز داخلي مُنار. مع الربط الفلمنكي العاجيّ لشغل الآجُرّ، حيث يتمّ إدراج أحزمة مقيّدة متعدِّدة الألوان ووصلات قويّة لأركان البناء المنفرجة. لإنّ دقة شغل الآجُرّ تُبرز نقاء الشكل الداخلي وتعكس فروع الهندسة التي يشتمِل عليها البناء.

(الشكل 27.1) أشغال آجُرّ سيليكات الكالسيوم، مبنى الملكة، جامعة دو مونتفورت، لايستر المعماريون (Short Ford & Associates) الصورة (Lens-based media).

الآجُرّ الخرساني

أنتج التطوّر في استعمال مخضبات أوكسيد الحديد مجموعة واسعة من الآجُرّ الخرساني الثابت اللون. وغدا الآجُرّ الخرساني اليوم مُنافساً قويّاً من حيث الأسعار ويحتل نحو 10% من سوق الآجُرّ الإجمالي.

الحجم

لا تُشير المواصفة البريطانية (BS 6073-2: 2008)، التي تُعدُّ دليلاً لتطبيقات المواصفة الأوروبية (BS EN 771-3: 2003)، إلى المقاسات المعيارية للآجُرّ الخرساني، غير أنها تتحدث عن وحدات إغلاق المداميك (غلقات) (Coursing Units) من الخرسانة الحصوية كما هو في الجدول 9.1. وعلى كل فإن الملحق الوطني (Na) (المُعرّف) للمواصفة الحالية (Bs En 771-3:2003) ما زال مؤشراً لمقاسات الشغل الآجُرّي في المملكة المتحدة بما فيه الوحدة 215x103x65 mm المتعلّقة بالآجُرّ الصلصالي.

وبفضل عمليات التصنيع يمكن صنع الآجُرّ الخرساني بتسامحات صغيرة بحيث يمكن تحقيق ارتصاف دقيق للآجُرّ بسهولة في الموقع. ويمكن تشييد جدران من أنصاف الآجُرّات الجميلة الواجهة (Fairfaced) من كلا الجانبين.

تصنيع الآجُرّ الخرساني

يصنع الآجُرّ الخرساني من مزيج من الحصويات الكثيفة (أي الحجر الكلسي المطحون والرمل) والإسمنت تحت ضغط مرتفع في قوالب فولاذية. ويُضاف إلى المزيج حتى 8% من خضاب أوكسيد الحديد بحسب درجة اللون المطلوبة وعمقه لتغليف جزيئات الإسمنت التي ستشكِّل كتلة صلبة مع الحصى. إنَّ استعمال الحصى الملوّن يزيد كذلك في مجال الألوان. كما أنَّ عملية التصنيع الدقيقة تنتج آجُرّاً ذا حواف نظيفة.

المظهر

ثمَّة مجال واسع متوافر من الألوان بما فيها الألوان المتعدِّدة، بدءاً من الأحمر والأصفر البرتقالي الفاتح والأصفر وحتى الأخضر والأسود. أما السطح فيراوح بين الأملس وبين المماثل للحجر الطبيعي بما في ذلك ميزات الآجُرّ المصنع يدويّاً والآجُرّ الصلصالي ذي النقش. ونظراً لوجود مجال واسع من الصباغ

المُستعمل في التصنيع، فمن الممكن مطابقة الآجُرّ الخرساني المُصنّع حديثاً مع الآجُرّ الصلصالي القديم والمُجوّى من أجل ترميم المباني القديمة أو توسعتها.

الجدول 9.1

المقاسات المعيارية لوحدات صف شغل الآجُرّ الخرساني (BS 6073-2: 2008)

الطول (mm)	**العرض** (mm)	**الارتفاع** (mm)
190	90	65
190	90	90
215	100	65
290	90	90
440	90	60
440	100	65
440	90	140
440	100	140

مواصفات الآجُرّ الخرساني

الأنماط

قد يكون الآجُرّ الخرساني مُصْمتاً أو مثقَّباً أو ذا سطح استناد مُجوّف، كذلك قد يكون عامّاً أو آجُرّ واجهات بحسب الصانع. وقد تترك الوحدات المُخصصة للواجهات معرّضةً للخارج أو غير معرّضة، في حين تُقدّم وحدات الآجُرّ المكشوفة خصائص ظاهرية من دون المزيد من الحماية. كما تحدَّد مقاومة الضغط والكثافات طبقاً لمتطلبات الزبون. ويتمّ إنتاج مجال عادي من الآجُرّ الخاص طبقاً للمعيار BS) (4729: 2005 ولكن يتطلب تسليمه وقتاً أطول كما في حالة الآجُرّ الصلصالي وسيليكات الكالسيوم. ويجب أن يُحدَّد بوضوح مرجع المصنِّع ومتانة السحق والأبعاد ونمط الآجُرّ على كل طرد (رزمة) (Package) من طرود الآجُرّ الخرساني. ويجب أن يُستعمل الآجُرّ الخرساني ذو المقاومة العالية على الضغط تحت الأرض حيث يوجود مستويات مرتفعة من الكبريتات، طبقاً للتصنيف المحدَّد في القانون البريطاني الخاص رقم 1 الخاص بالخرسانة في الأرض العدوانية BRE Special)

.(2005) Digest 1, Concrete In Aggressive Ground)

الديمومة

الآجُرّ الخرساني مقاوم للتجمّد بالصقيع ولهذا يصلح للاستعمال في كل مستويات التعرُّض الطبيعية، ويزداد قساوةً ومتانة، ككلِّ المنتجات الخرسانية، مع تقدُّم الزمن. ويمكن صُنع الآجُرّ الخرساني، كآجُرّ سيليكات الكالسيوم، خالياً من أيّة أملاح قابلة للذوبان، ولهذا يُعدُّ غير قابل للتملح. ولكن لا يجوز استعماله في الأماكن التي فيها سوائل أو أحماض صناعية.

المواصفات الفيزيائية

الوزن ومقاومة الضغط

الوزن المعياري للآجُرّة الخرسانية عادة 3.2 .kg بحسب تركيبها. ويبين الجدول 10.1 أنَّ مقاومة الضغط لواحدة الآجُرّ الخرساني تقع في المجال 2.9 إلى 40.0 MPa (BS 6073-2:2008).

الجدول 10.1 المقاومة النموذجية لواحدات الآجُرّ الخرساني (BS 6073-2: 2008)

متانة مقاومة الضغط (MPa)
2.9
3.6
7.3
8.7
10.4
17.5
22.5
30.0
40.0

ملاحظات: المقاومة 10.4 وحتى 40.0 MPa ضمناً تخصُّ واحدات الخرسانة الحصوية فقط لا الخرسانة المساميّة.

امتصاص الماء

امتصاص الماء تقليدياً هو 8% ولكن معدّل الآجُرّ الهندسي أقل من 7% بعد 24 ساعة من غمره بالماء البارد، وهو مناسب للشروط العدوانية كالجدران الاستنادية ويناسب تحت مستوى المداميك المانعة للرطوبة وغرف التفتيش.

حركة الرطوبة والحرارة

ينكمش الآجُرّ الخرساني عند التجفيف عادة بنسبة 0.04% وكحدّ أقصى 0.06%. أمّا الحركة الناجمة فيه عن الرطوبة والحرارة فهي أكبر من تلك التي تحصل في آجُرّ سيليكات الكالسيوم، ويجب أن تكون فواصل التمدد عند كل 5 ـ 6 m. وبسبب حركة الرطوبة هذه يجب ألا يبلَّل الآجُرّ قبل تشييده للتغلّب على الامتصاص الزائد، وإنّما يجب ضبط مقدار رطوبة الملاط طبقاً لذلك. ويجب أن تُحمى رزم الآجُرّ في الموقع من مياه المطر ومن الصقيع والثلج.

الناقلية الحرارية

الناقلية الحرارية للآجُرّ الخرساني مماثلة لناقلية الآجُرّ الصلصالي وآجُرّ سيليكات الكالسيوم بالثكافة نفسها. وينصح بعدم ملء الفجوة بين طبقتي الجدار بالكامل وتركها فارغةً لمنع تسرب الماء إلى الطبقة الداخلية.

تراوح الناقلية الحرارية للآجُرّ الخرساني بين 1.4 و 1.8 W/mK.

يمكن تحقيق مستوى مقبول من العزل الحراري للجدران الخارجية باستعمال الآجُرّ الخرساني. ويكون نظام الملء الجزئي للفجوات كما يلي:

آجُرّ خرساني للواجهة 102.5 mm

حيز هوائي صافي 50 mm

عازل بولي يوريثان جاسئ مغطى وجهه برقاقة من القصدير 45 mm (λ = 0.023 W/ m.K)

شغل بلوك خفيف الوزن جيد الأداء 115 mm (λ = 0.11 W/m K)

لوح جصي مثبّت بلاصق 12.5 mm

يُعطي نظام البناء السابق القيمة U = W/M^2 K 0.27 تقريباً اعتماداً على

الناقلية الحرارية للآجُرّ الخرساني المستعمل.

مقاومة الحريق

إنّ مقاومة الآجُرّ الخرساني للنيران مُماثلة للآجُرّ الصلصالي وآجُرّ سيليكات الكالسيوم. ويُصنّف الآجُرّ الخرساني المَحوي على أقل من 1% مواد عضوية على أنه الصنف الأوروبي (A1) في ما يتعلق بمقاومة النيران.

الخصائص الصوتية

الآجُرّ الخرساني الكثيف مناسب لتخفيف انتقال الصوت بالهواء. وهو يُعادل من حيث الوزن الآجُرّ الصلصالي وآجُرّ سيليكات الكالسيوم.

أشغال الآجُرّ الخرساني

في المجال الواسع من خيارات الألوان والنسيج الذي يقدّمه صانعو الآجُرّ الخرساني يصعب غالباً تمييز شغل هذا الآجُرّ عن شغل الآجُرّ الصلصالي بالنظر إلا عن قرب. والانطباع البصري لاستعمال الملاط الملوّن وتفاصيل الوصلات المختلفة مشابه للآجُرّ الصلصالي، غير أنه لا يُنصح باستعمال الوصلات المتراجعة (Raked Joints) في المواضع المكشوفة منه.

نظام الآجُرّ من غير ملاط

يعتمد نظام الإكساء غير البنيوي (Non-Structural Cladding System) على تشبيك وحدات الآجُرّ الخرساني ذات المقطع على شكل (S) مع وحدات خاصة مناسبة لزوايا 45 و90 داخلية وخارجية وكذلك مع مقاطع بلاستيكية على شكل (PVC-U) كقاعدة للشروع في البناء. والانطباع البصري لهذا الأسلوب مماثل لشغل الآجُرّ من دون وصلات الملاط. إنّ هذا النظام مناسب من أجل إكساء الأبنية ذات الأطر الفولاذية أو الخشبية وبارتفاع يصل إلى 18 m. كما يمكن أن يستعمل في بناء الحجر التقليدي أو في أشغال قوالب الخرسانة المعزولة. يقاوم هذا النظام تسرُّب الرطوبة ولكنه غير كتيم للهواء. تراوح ألوانه بين الأصفر البرتقالي والبيج والبني وحتى الأحمر. يتمّ شطف الوصلات الأفقية قليلاً (Chamfered) لتُعطي مظهر مداميك أشغال الآجُرّ النظامية.

المراجع

FURTHER READING

Brick Development Association. 2001: *Use of traditional lime mortars in modern brickwork*. Properties of bricks and mortar generally, No. 1.3.Windsor: BDA.

Brick Development Association. 2001: *Observations on the use of reclaimed clay bricks*. Properties of bricks and mortar generally, No. 1.4.Windsor: BDA.

Brick Development Association. 2005: *The BDA guide to successful brickwork*. 3rd ed. London: Butterworth Heinemann.

British Cement Association. 2005: *BCA guide to materials for mortar*. Camberley: British Cement Association.

Campbell, J.W.P. 2003: *Brick: A world history*. London: Thames and Hudson.

Hammett, M. 1997: *Resisting rain penetration with facing brickwork*. Windsor: Brick Development Association.

Hammett, M. 2003: *Brickwork and paving for house and garden*. Marlborough: Crowood.

Hendry, A.W., Sinha, B.P. and Davies, S.R. 1997: *Design of masonry structures*. 3rd ed. London: E. & F.N. Spon.

Institution of Structural Engineers. 2008: *Manual for the design of plain masonry in building structures to Eurocode 6*. London: ISE.

Knight, T.L. 1997: *Creative brickwork*. London: Arnold.

Kreh, D. 2007: *Masonry skills*. 6th ed. Nantwich: Delmar.

McKenzie, W.M.C. 2001: *Design of structural masonry*. London: Palgrave.

Mortar Industry Association. 2005: *Efflorescence and bloom on masonry*. Data Sheet 8. London: Mortar Industry Association.

Sovinski, R.W. 1999: *Brick in the landscape: a practical guide to specification and design*. Bognor Regis: John Wiley and Sons.

Weston, R. 2008: *Materials, Form and Architecture*. London: Laurence King Publishing.

STANDARDS

BS 743: 1970 Materials for damp-proof courses.

BS 4729: 2005 Clay and calcium silicate bricks of special shapes and sizes. Recommendations.

BS 5628 Code of practice for use of masonry:

Part 1: 2005 Structural use of unreinforced masonry.

Part 2: 2005 Structural use of reinforced and prestressed masonry.

Part 3: 2005 Materials and components, design and workmanship.

BS 6073 Precast concrete masonry units:

Part 2: 2008 Guide for specifying precast concrete masonry units.

BS 6100 Building and civil engineering vocabulary:

Part 0: 2002 Introduction.

Part 6: 2008 Construction parts.

BS 6515: 1984 Specification for polythene dampproof courses for masonry.

BS 6750: 1986 Specification for modular coordination in building.

BS 7533 Pavements constructed of clay, natural stone or concrete pavers.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 3: 2001 Code of practice for masonry.

BS 8103 Structural design of low rise buildings:

Part 2: 2005 Code of practice for masonry walls for housing.

BS 8208 Guide to assessment of suitability of external cavity walls for filling with thermal insulation:

Part 1: 1985 Existing traditional cavity construction.

BS 8215: 1991 Code of practice for design and installation of damp-proof courses in masonry construction.

BS EN 771 Specification for masonry units:

Part 1: 2003 Clay masonry units.

Part 2: 2003 Calcium silicate masonry units.

Part 3: 2003 Aggregate concrete masonry units.

Part 4: 2003 Autoclaved aerated concrete masonry units.

BS EN 772 Methods of test for masonry units: DD CEN/TS Part 22: 2006 Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units.

BS EN 845 Specification for ancillary components for masonry:

Part 1: 2003 Ties, tension straps, hangers and brackets.

Part 2: 2003 Lintels.

Part 3: 2003 Bed-joint reinforcement of steel meshwork.

BS EN 934-3: 2003 Admixtures for masonry mortar.

BS EN 998-2: 2003 Specification for mortar for masonry. Masonry mortar.

BS EN 1015 Methods of test for mortar for masonry.

BS EN 1052 Methods of test of masonry.

BSEN1344: 2002 Clay pavers.Requirements and test methods.

BSEN1365-1: 1999 Fire resistance tests for loadbearing elements.Walls.

BS EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures:

Part 1.1: 2005 Rules for reinforced and unreinforced masonry.

Part 1.2: 2005 Structural fire design.

Part 2: 2006 Design considerations, selection of materials and execution of masonry.

Part 3: 2006 Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures.

NA Part 2: 2006 UK National Annex to Eurocode 6: Design of masonry structures. Design considerations, selection of materials and execution of masonry.

BS EN 13139: 2002 Aggregates for mortar.

PAS 70: 2003 HD clay bricks. Guide to appearance and site measured dimensions and tolerance.

DD 140-2: 1987 Wall ties. Recommendations for design of wall ties.

PD 6678: 2005 Guide to the specification of masonry mortar.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 329: 2000 Installing wall ties in existing construction.

BRE Digest 441: 1999 Clay bricks and clay brick masonry (Parts 1 and 2).

BRE Digest 460: 2001 Bricks, blocks and masonry made from aggregate concrete (Parts 1 and 2).

BRE Digest 461: 2001 Corrosion of metal components in walls.

BRE Digest 487: 2004 Structural fire engineering design: materials and behaviour. Masonry (Part 3).

BRE Digest 502: 2007 Principles of masonry conservation management.

BRE Special digests

BRE SD1: 2005 Concrete in aggressive ground.

BRE SD4: 2007 Masonry walls and beam and block

floors. *U*-values and building regulations.

BRE Good building guides

BRE GBG 62: 2004 Retro-installation of bed joint reinforcement in masonry.

BRE GBG 66: 2005 Building masonry with limebased bedding mortars.

BRE Information papers

BRE IP 10/93 Avoiding latent mortar defects in masonry.

BRE IP 10/99 Cleaning exterior masonry.

BRE IP 11/00 Ties for masonry walls. A decade of development.

BRE IP 3/01 Dynamic stiffness of wall ties used in masonry cavity walls. Measurement procedure.

BRICK DEVELOPMENT ASSOCIATION PUBLICATIONS

Design notes

DN 8: 1995 Rigid paving with clay pavers. M. Hammett and R.A. Smith.

DN 11: 1990 Improved standards of insulation in cavity walls with outer leaf of

facing brickwork. R.W. Ford and W.A. Durose.
DN 12: 1991 The design of curved brickwork. M. Hammett and J. Morton.
DN 13: 1993 The use of bricks of special shape. M. Hammett.
DN 15: 1992 Brick cladding to timber frame construction. B. Keyworth.

Building note

BN 1: 1991 Brickwork. Good site practice. T. Knight.

Technical information paper

TIP 10: 1988 Brickwork dimension tables.

Technical paper

Lilley, A.A. Flexible brick paving: application & design 1990: *Highways & Transportation* 10(37).

ADVISORY ORGANISATIONS

Brick Development Association, The Building Centre, 26 Store Street, London WC1E 7BT, UK (0207 323 7030).

Mortar Industry Association, Gillingham House, 38-44 GillinghamStreet, LondonSW1V1HU,UK(020 7963 8000).

2

البلوك وأشغال البلوك

مقدّمة

التنوّع في البلوك الخرساني التجاري الواسع المجال يبدأ من الكثيف إلى الخفيف الوزن؛ ويُعطي هذا التنوع مجالاً من قوة التحمّل وخصائص العزل الصوتي والحراري. وعندما يتطلّب الأمر أن يكون شغل البلوك مرئياً داخلياً أو خارجياً يُقدّم البلوك غير المُليّس (Fairfaced) تشكيلةً مختلفة من النسيج والألوان على مختلف مسافات الرؤية مقارنة بتلك المتعلّقة بأعمال الآجُرّ التقليدي. ويُبدي مظهر أشغال البلوك الخارجية مقاومةً جيدة للعوامل الجوية شريطة إعطاء اهتمام كافٍ لجودة المواد وتفاصيل جريان مياه الأمطار. ولأشغال البلوك مزايا اقتصادية معتبرة بالمقارنة مع أشغال الآجُرّ في ما يتعلّق بسرعة البناء، وخاصة إمكانية رفع البلوك الخفيف الوزن بيد واحدة.

وعلى الرغم من استعمال البلوك الصلصالي بشكل واسع في تشييد الأبنية في أوروبا فقد بقي الطلب عليه ضعيفاً في صناعة البناء ضمن حدود المملكة المتحدة حتى وقت قريب. ولهذا أصبح الآجُرّ المشوي وغير المشوي متوفرين تجارياً في المملكة المتحدة. إذ يمكن استعمال البلوك الجصي للقواطع الداخلية غير الحمّالة للعزل الداخلي للجدران. كما أنّ استعمال العوارض الخرسانية المسلّحة ذات المقطع العرضي على شكل حرف (T) مقلوبةً مع جدران مالئة من البلوك الخرساني أو الصلصالي، يمثّل الشكل المعياري لبناء الطوابق المنزلية على المستوى المحلي. أمّا بلوك الأرصفة الخرساني، الذي يوفر فرصاً للتنسيق الخلّاق للأشغال الصلبة في المواقع العامة مع تنوع الأشكال والألوان، فيستعمل بشكل واسع في مناطق المُشاة في المدن وفي مداخل المنازل الفردية. كما يستعمل البلوك المُتشابك

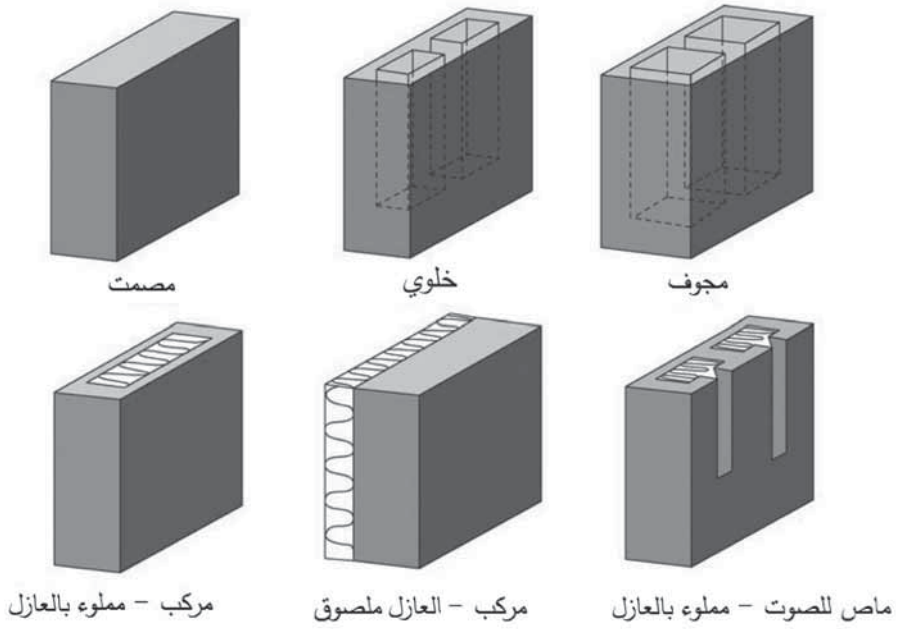
(Interlocking) الخرساني مع النباتات لبناء جدران بيئية.

البلوك الخرساني

الأنواع والأحجام

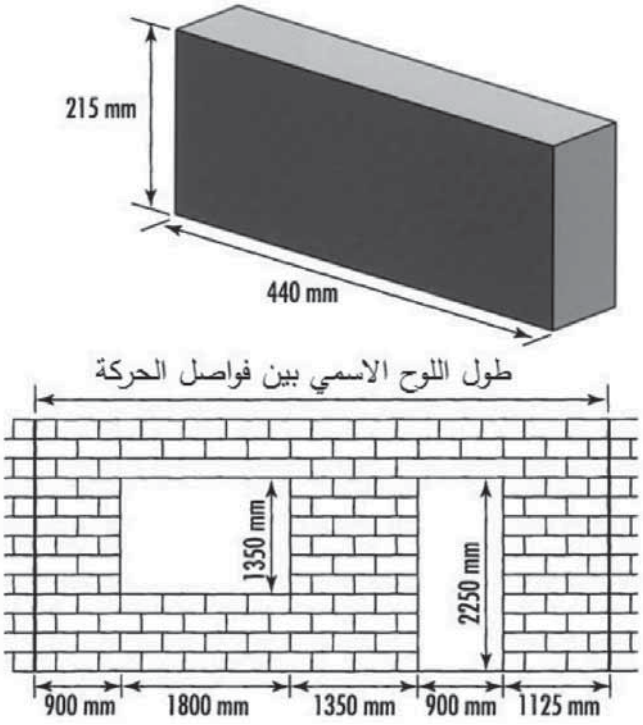
للبلوك الخرساني أنواع مختلفة منها المصمت والخلوي والمجوف كما هو موضح في الشكل 1.2.

حيث يتمّ تصنيع البلوك الخرساني بأبعاد وجوه عمل متنوعة وبعروض مختلفة موفراً خياراً واسعاً من سعة التحمل ومستويات للعزل. وينبغي الإشارة إلى الأبعاد من قِبل المصنع كالطول والعرض والارتفاع بهذا الترتيب وفقاً للمعيارين (BS EN 771-3: 2003) و(BS 6073-2: 2008). مع أنّ الملحق الوطني للمعيار (BS EN 771-3: 2003) والمعيار البريطاني ينبّهان إلى معلومة مفادُها أنّ الممارسة المعيارية السابقة في المملكة المتحدة كانت تُعرّف البلوك بالطول والارتفاع والسماكة



(الشكل 1.2) أنواع البلوك الخرساني.

إنّ مقاس وجه العمل المعياري، الذي يُنسّق ثلاثة مداميك من عمل الآجُرّ المتري سامحاً بعشرة mm لوصلات الملاط، هو 215 mm x 440 (الشكل 2.2)، لكن المقاسات الأخرى التي في الجدول 1.2 يتمّ تسويقها لأسباب معمارية وجمالية. فعلى سبيل المثال يمكن استعمال الأحزمة الرقيقة بألوان مختلفة لتعطي سمات بصرية في أشغال البلوك ذي الوجه الجميل، وتوضع عادة بلوكات جدران الأساسات بشكل مسطح. إنّ استخدام وصلات رقيقة في البناء تُسرّع عملية البناء وخاصة عند استخدام بلوك بأشكال كبيرة (الشكل 3.2) والتي تُعادل تقريباً ضعف الوحدات القياسية، ومع ذلك فإنَّ البلوك الذي يزيد وزنه عن 20 كغ يجب ألاّ يرفع من قبل عامل واحد لأنه قد يؤدي إلى أذيّته، وتبلغ أبعاد بلوكات الخرسانة المهوّاة التي تزن 20 kg. نحو 100 mm عرضاً وأبعاد الواجهة 610 x 375 mm وذلك للتشييد المُسرّع باستخدام منظومة الوصلات الرقيقة.



(الشكل 2.2) تنسيق مقاسات أشغال البلوك.

(الشكل 3.2) بناء بوصلات رقيقة باستعمال بلوك بمقاسات كبيرة. أُعيد إنتاج الصورة من (GBG 58) بالإذن من (BRE) و(Aircrete Products Association).

يصف المعيار الأوروبي (BS EN 771-3: 2003) حيّزاً واسعاً من وحدات البلوك الخرساني المكون من الحصويات الكثيفة أو الخفيفة. ففي ظل المعيار الأوروبي يشتمِل الوصف الأدنى للبلوك الخرساني على رقم المعيار الأوروبي وتاريخه (مثلاً BS EN 771-3: 2003) ونوع البلوك (مثلاً عام أو واجهة) وأبعاد حجم العمل وفئة التسامح والتكوين (مثلاً صلب أو مع فراغات) وقوّة الضغط. واعتماداً على الاستخدام النهائي قد يكون هناك حاجة أيضاً إلى وصف إضافي. ويكون ذلك حسب الحال إذ قد يتضمّن إنهاء السطح، والكثافة الجافّة الصافية والإجمالية ومقاسات التنسيق والخواصّ الحرارية وحركة الرطوبة. كما تمّ تعريف حدود التسامح للبلوك العادي بأربعة مستويات موضّحة في الجدول 2.2. إذ تُصنّف قوة مقاومة الضغط للبلوك الخرساني إلى فئة أولى (I) أو فئة ثانية (II). ويتمتّع بلوك الفئة الأولى بضبط أشدّ حيث إنّ نسبة البلوك التي لا تُحقّق قوة مقاومة الضغط المُعلن عنها لا تتجاوز 5%.

يعطي المعيار الأوروبي (EN 771-4 BS: 2003) مواصفات لوحدات البلوك من الخرسانة المسامية والمعالجة في فرن (Autoclaved Aerated Concrete) (AAC) حيث إنّ الحدّ الأقصى لمقاسات البلوك ضمن هذا المعيار هو 1500 mm طولاً + 600 mm عرضاً + 1000 mm ارتفاعاً. كما تم تعريف حدود التسامح في الأبعاد في الجدول 3.2، وتعتمد على ما إذا كانت الوحدات ستركب بوصلات ملاط معيارية أو رقيقة. إذ يجب أن يشتمل توصيف الصانع المعياري لوحدات البلوك من الخرسانة المسامية والمعالجة في فرن (AAC) على ذكر رقم وتاريخ المعيار الأوروبي (مثلاً BS EN771-4: 2003) والأبعاد والتسامحات ومقاومة الضغط (الفئة الأولى أو الفئة الثانية) والكثافة الجافّة. وقد تُضاف مواصفات أخرى لأهداف محدَّدة كالديمومة والتكوين (مثلاً نظام الربط بالثقوب أو بالتلسين والأخاديد) وهدف الاستخدام.

الجدول 1.2 المقاسات النموذجية للبلوك الخرساني
ومتانته وفقاً للمعيار (BS 6073: 2008)

الطول (mm)	العرض (mm)	الارتفاع (mm)
بلوك خرساني بحصويات بلوك إغلاق (غلقات)		
190	90	65
190	90	90
215	100	65
290	90	90
440	90	65
440	100	65
440	90	140
440	100	140
بلوك معياري		
390	90	190
390	100	190
390	140	190

390	190	190
440	75	215
440	90	215
440	100	215
440	140	215
440	190	215
440	215	215
بلوك من خرسانة مسامية بلوك إغلاق (غلقات)		
215	150 ـ 90	215
215	150 ـ 90	215
بلوك معياري		
440	350 ـ 50	215
610	350 ـ 50	215
620	350 ـ 50	215

ملاحظات:

ـ لا يتمّ إنتاج جميع الأحجام من قبل جميع المصنّعين إلاّ أنَّ مقاسات أخرى قد تكون مُتاحة.

ـ يشمل العرض المذكور من قِبل بعض المصنعين: 50، 70، 75، 100، 115، 125، 130، 140، 150، 190، 200، 215، 255، 265، 275، 300، 355 مم.

ـ تكون قياسات أوجه بلوك الأساسات عادةً 255 x 290, 255 x 300, 310 x 350, 400 x 215, 440 x 140 أو 440 x 215 mm. يُركب مسطحاً

ـ عادةً تكون أرضيات العوارض والبلوك بسماكة 100 mm وأبعاد الوجه 440x215, 440x350, 440x540, 610x350 or 620x215 mm.

ـ مقاومة السحق الشائعة وفقاً للمعيار (BS 6073-2: 2008) هي 2.9، 3.6، 7.3، 8.7، 10.4، 17.5، 22.5، 30.0 و40.0 MPa لكن قد تزود بعض المصانع قوى مقاومة متوسطة أخرى (مثلاً 4.2 MPa).

الجدول 2.2 حدود التسامحات على مقاسات البلوك الخرساني بحصويات

فئة التسامح	D1	D2	D3	D4
الطول (mm)	+3	+1	+1	+1
	- 5	- 3	- 3	- 3
العرض (mm)	+3	+1	+1	+1
	- 5	- 3	- 3	- 3
الإرتفاع (mm)	+3	±2	±1.5	±1.0
	- 5			

ملاحظات:

- ينصُّ المعيار (BS 6073: 2008) على أن فئتي التسامح (D3) و(D4) تستخدمان مع أنظمة ربط بطبقة رقيقة من الملاط، ولذلك فإنَّ معظم الوحدات المُستخدمة داخل المملكة المتحدة تتطابق مع فئتي التسامح (D1) و (D2).
- قد يتمّ التصريح عن تسامحات أصغر من قِبل المصنِّع.

الجدول 3.2 حدود التسامحات على مقاسات البلوك من الخرسانة المسامية والمعالجة بمحم

	وصلات معيارية بملاط عام وخفيف الوزن	**وصلات ملاط رقيقة**	
	GPLM	TLMA	TLMB
الطول (mm)	- 5 to +3	±3	±1.5
العرض (mm)	±3	±2	±1.5
الإرتفاع (mm)	- 5 to +3	±2	±1.0

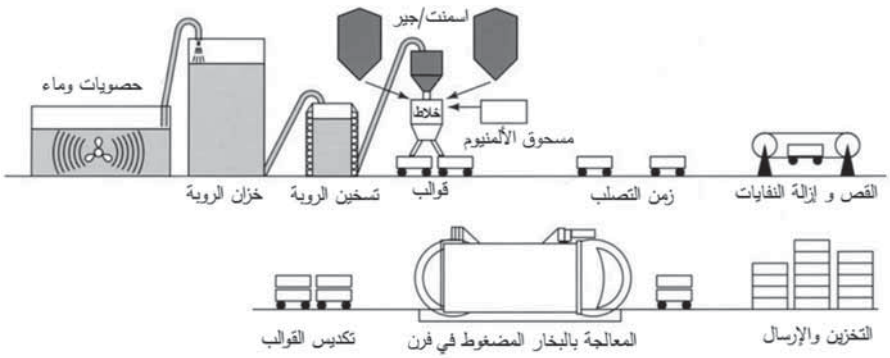
ملاحظات:

- لوحدات البلوك من الخرسانة المسامية والمعالجة في فرن من الفئة (TLMB) الانحراف الأقصى من استوائية وجوه السرير ومن التوازي المستوي لوجوه السرير 1.0 mm في كل حالة.

ـ قد يتم التصريح عن تسامحات أصغر من قبل المصنِّع.

التصنيع

يتمّ تصنيع البلوك الخرساني الكثيف، والذي قد يكون على شكل صلب أو خلوي أو أجوف، من الحصويّات الكثيفة الطبيعية بما فيها الغرانيت المسحوق والحجر الجيري والحصى. بينما يتمّ تصنيع البلوك الخرساني المتوسط والخفيف الوزن بمزج مجموعة واسعة من الحصويات بما فيها الصلصال المتمدد وخبث الأفران العالية المُتمدِّد والرماد الملبّد والخفان. حيث تصبّ الخرسانة في قوالب وترجّ وتجفَّف. ويُشكل البلوك المسامي (الخرسانية المسامية أو الخرسانة المسامية المعالجة بفرن) بإضافة مسحوق الألومنيوم إلى مزيج ناعم من الرمل والجير والرماد المُتطاير (رماد الوقود المسحوق) والإسمنت البورتلاندي. ويُنتج غازُ الهيدروجين المتوّلد عن انحلال مسحوق المعدن بنيةً خلوية غير مترابطة. ويتم تسريع هذه العملية من طريق المعالجة في فرن (Autoclave) بالبخار المضغوط (الشكل 4.2)، إذ يوفر عزلاً إضافياً لبعض المنتجات بملء الفراغات في البلوك الخلوي أو من طريق لصق طبقة من البوليستيرين المبثوق أو البولي يوريثان أو رغوة الفينول (Phenolic Foam) المكسوّة برقاقة معدنية (الشكل 1.2). يتمُّ عادة تغليف البلوك المعياري، الذي يكون لونه رمادياً طبيعياً أو برتقالياً، من أجل تسليمه. وعادة تُميّز فئات البلوك المختلفة بعلامات خدش أو برموز الألوان.



(الشكل 4.2) تصنيع البلوك المسامي.

الخصائص

الكثافة والمقاومة

وضع المعيار البريطاني (BS 6073-2: 2008) قائمةً بقوى مقاومة الضغط الشائعة للبلوك الخرساني المسامي والمكوّن من حصويات 2.9، 3.6، 7.3، 8.7، 10.4، 17.5، 22.5، 30.0، 40.0 (MPa)، ومع ذلك فإنّ الغالبية العظمى من البلوك الخرساني تقع في المجال 2.8 إلى 30 MPa مع كثافة مقابلة 420 ـ 2200 kg./ m^3 وناقلية حرارية من 0.10 إلى 5.5 W/mK عند محتوى رطوبة 3% (الجدول 2 ـ 4). ويكون الانكماش عند التجفيف في المجال 0.05% - 0.03%

الديمومة

إنّ البلوك الخرساني الكثيف وأنواع محدّدة من البلوك المسامي الخفيف يكون مقاوماً لشروط التجمّد/ ذوبان الجليد دون مستوى المدماك العازل للرطوبة (DPC) (Damp-Proof Course). ومع ذلك يجب ألا يستخدم البلوك الخفيف الذي تقلّ قوّة مقاومته للسحق عن 7 ميغا باسكال تحت مستوى هذا المدماك ما عدا الطبقة الداخلية للبناء ذي الفجوة.

إمكانية التثبيت

يوفر البلوك الخرساني المساميّ والخفيف خلفيةً جيدة للمثبّتات، فالأحمال الخفيفة يكفيها مسامير بطول 50 mm، أمّا الأحمال الثقيلة فيلزمها مقابس (Plugs) جدران ومثبّتات مناسبة. وهذه المثبتات يجب أن تتحاشى حواف البلوك.

العزل الحراري

يقتضي الجزء L من وثيقة أنظمة البناء المُعتمدة (طبعة 2006) أن تكون المساكن الجديدة (الجزء L1A) وغيرها من أنواع المباني الجديدة (الجزء L2A) لتكون متوافقة مع الأداء الإجمالي للطاقة والكربون، ومعدّل الانبعاث الهدف (Target Emission Rate) (TER) استناداً إلى كامل البناء (الفصل 7). لذلك فإنّ قيم U إفرادية للعناصر لم تُحدّد باستثناء توسعات المنازل القائمة (الجزء L1B) والمباني الأخرى القائمة (الجزء L2B) حيث تعتبر القيمة التأشيرية 0.30 W/m^2K (واط/ $م^2$. كالفن) هي المعيار للجدران الجديدة المكشوفة. وإنّ القيمة U المعيارية المُحدِّدة لعناصر الجدران في الأبنية الجديدة هي 0.35 W/m^2K، ولكن لتحقيق

معدل الانبعاث الهدف الإجمالي فإن معظم الأبنية تتطلّب قيم U للجدار ضمن المجال 0.27 ـ 0.30 W/m^2K.

تحقق تركيبات المواد التالية قيمة $U = 0.27\ W/m^2K$ (الشكل 5.2)

جدار فجوة مملوء جزئياً بعازل:

102.5 mm طبقة خارجية من أشغال الآجُرّ الجميل الوجه (Fairfaced).

50 mm فجوة خالية.

50 mm بولي يوريثان رغوي مكسو الوجه برقاقة معدنية ($\lambda = 0.023$ W/mK).

100 mm بلوك خفيف ($\lambda = 0.15$ W/mK)

12.5 mm لوح جصي ($\lambda = 0.16$ W/mK)

فجوة مملوءة كلياً:

102.5 mm طبقة خارجية من أشغال الآجُرّ جميل الوجه.

100 mm فجوة مملوءة بالصوف المعدني المُنتفخ ($\lambda = 0.038$ W/mK)

100 mm بلوك خفيف ($\lambda = 0.15$ W/mK)

13 mm جصّ كثيف.

وبالمثل فإنّ قيمة $U = 0.27\ W/m^2K$ يمكن بلوغها باستخدام طبقة خارجية من البلوك جميل الوجه بسمك 100 mm كبديل من استعمال الآجُرّ جميل الوجه شريطة تأمين المقاومة الحرارية الإضافية الضرورية وذلك من خلال زيادة طفيفة للعازل في الفجوة.

يُعطي استعمال نظام الملاط الرقيق في طبقة البلوك الداخلية تحسيناً طفيفاً لقيمة U مقارنة بأشغال البلوك ذي الوصلات المعيارية بسمك 10 mm.

يمكن أن يُحقِّق البناء بجدران صلبة مطلية قيمة $U = 0.27\ W/m^2K$ (الشكل 5.2)

الجدار الصلب:

16 mm طبقة الطينة الخارجية

215 mm بلوك خفيف العالي الأداء (λ = 0.11 W/mK)

50 mm بطانة منها 9.5 mm لوح جصي (0.16 W/mK) و بـ 40 mm عازل من رغوة الفينول (W/mK).

تُحقِّق تركيبات المواد التالية قيمة U 0.2 W/m^{2}K. هذه المواصفات المُتشددة مطلوبة لتحقيق أعلى تصنيف في ما يتعلق بقانون المنازل المستدامة.

فجوة مملوءة جزئياً:

102.5 mm طبقة خارجية من أشغال الآجُرّ جميل الوجه.

50 mm فجوة خالية

75 mm بولي يوريثان رغوي مكسو الوجه برقاقة معدنية (λ = 0.022 W/Mk)

100 mm بلوك خفيف (λ = 0.15 W/mK)

12.5 mm لوح جصي (λ = 0.16 W/mK)

فجوة مملوءة تماماً:

102.5 mm طبقة خارجية من أشغال الآجُرّ جميل الوجه.

150 mm فجوة مملوءة بالصوف المعدني المنتفخ (λ = 0.038 W/mK)

100 mm بلوك خفيف (λ = 0.15 W/mK)

13 mm طينة كثيفة

جدار صلب:

16 mm طبقة الطينة الخارجية

70 mm عازل من رغوة الفينول (λ = 0.023 W/mK)

215 mm بلوك خفيف عالي الأداء (λ = 0.11 W/mK)

12.5 mm لوح جصي (λ = 0.16 W/mK)

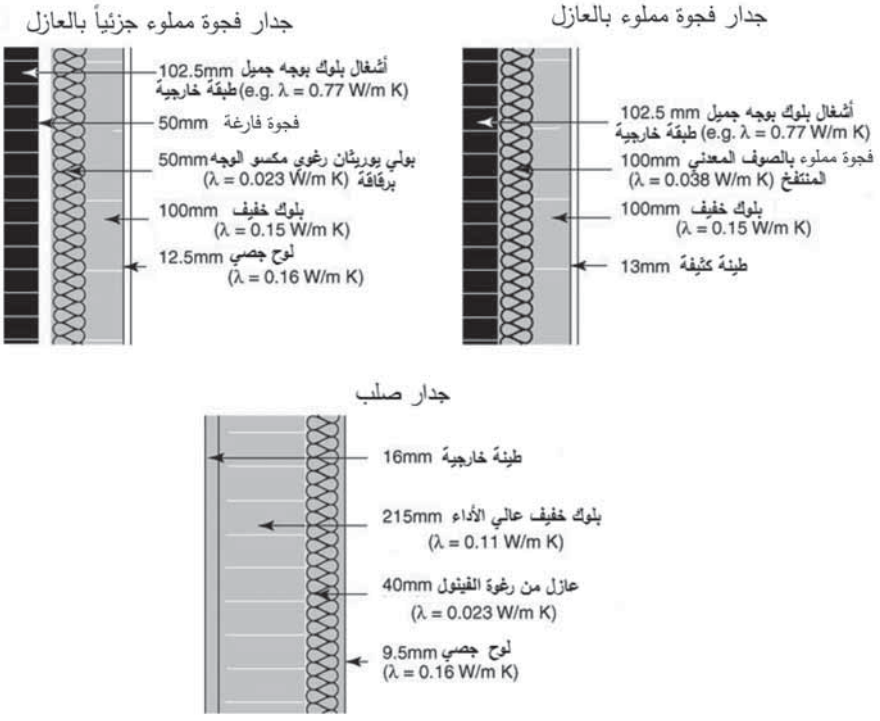
يجب استخدام تفاصيل مناسبة ومشددة في البناء المحلي لضمان الامتثال لمتطلبات الحرارة والصوت في أنظمة البناء.

الجدول 4.2 علاقة نموذجية بين الكثافة والناقلية الحرارية للبلوك الخرساني

الكثافة الإسمية (kg/m^3)	2200	5.1	2000	2.1	1800	83.0	1600	63.0	1400	47.0	1200	36.0	1000	27.0	900
ناقلية حرارية نموذجية (W/mk)	24.0	800	20.0	750	19.0	700	17.0	600	15.0	500	12.0	460	11.0	420	10.0

ملاحظات :

قد تتغيّر كثيراً الأرقام العائدة للبلوك بتركيب مختلف عن هذه الأرقام المتوسطة ويجب استعمال معطيات المصنعين.



(الشكل 5.2) بناء بلوك نموذجي يُحقّق قيمة $U = 0.27\ W/m^2\ K$ كحدّ أدنى.

بلوك بمواد متغيرة الطور

توفر المواد المتغيّرة الطور عند إدماجها في البلوك الخرساني المسامي والبلوك الخرساني بعضاً من الاستقرار الحراري للبيئة الداخلية من خلال امتصاص حرارة

الصيف الزائدة والتي تتحرَّر لاحقاً خلال الفترات الأبرد. عند الدرجة 26 مئوية، يزيد هذا التغيّر في الطور السعةَ الحرارية للبلوك الخفيف بشكل فاعل. ولسهولة تمييز البلوك بمواد متغيرة الطور يقوم أحد المصنّعين بترميزه باللون الأخضر. سيتمّ شرح المادة المتغيّرة الطور في الفصل 12.

مقاومة الحريق

توفر مباني البلوك الخرساني مقاومةً جيّدة للنار. حيث يمكن أن يعطي البلوك الصلب غير المليس بسماكة 90 mm حماية من الحريق لمدة 60 دقيقة عند استعماله كجدران حمّالة. ويمكن تحقيق 360 دقيقة من الحماية باستخدام أغلب أنواع البلوك الصلب بسماكة 250 mm وبعض أنواعه ذات السماكة 150 mm. يُصنَّف البلوك الخرساني الكثيف والخفيف والمسامي المعالج في فرن، والذي يحتوي على أقل من 1% من المواد العضوية، فهو تلقائياً يعتبر من فئة (A1) وفقاً للتصنيف الأوروبي في ما يخص رد فعله للنار.

العزل الصوتي

تعترف وثيقة أنظمة البناء المعتمدة (2003) E لعام 2000 بالحاجة إلى تأمين العزل الصوتي الكافي بين وداخل المساكن وكذلك بين غرف النُزُل والفنادق وأماكن الإقامة للسكن. وتتطلّب الأنظمة حدّاً أدنى لعزل الصوت المنقول بالهواء ($45R_w$ dB) للجدران الفاصلة و($40R_w$ dB) للجدران الداخلية في غرف النوم أو جدران المراحيض. ويعتمد مرور الصوت المنقول بالهواء على كثافة ومسامية المادة. ويجب استخدام تفاصيل صارمة أو إجراء اختبارات ما قبل الانتهاء لإثبات الامتثال. وينبغي أن تقوم النُظم البديلة التالية بالأداء المطلوب وفقاً لمعيار العزل الصوتي للجدران الفاصلة في المساكن الجديدة

12.5 mm لوح جصي

8 mm طينة

100 mm أشغال بلوك كثيف (1600-2200 kg/m^3) أو خفيف (1350- kg/m^3 1600)

75 mm تجويف (فراغ) صافي متصلة فقط بروابط مناسبة للجدران.

100 mm أشغال بلوك كثيف (1600-2200 kg/m^3) أو خفيف (1350- kg/m^3 1600)

8 mm طينة

12.5 mm لوح جصي.

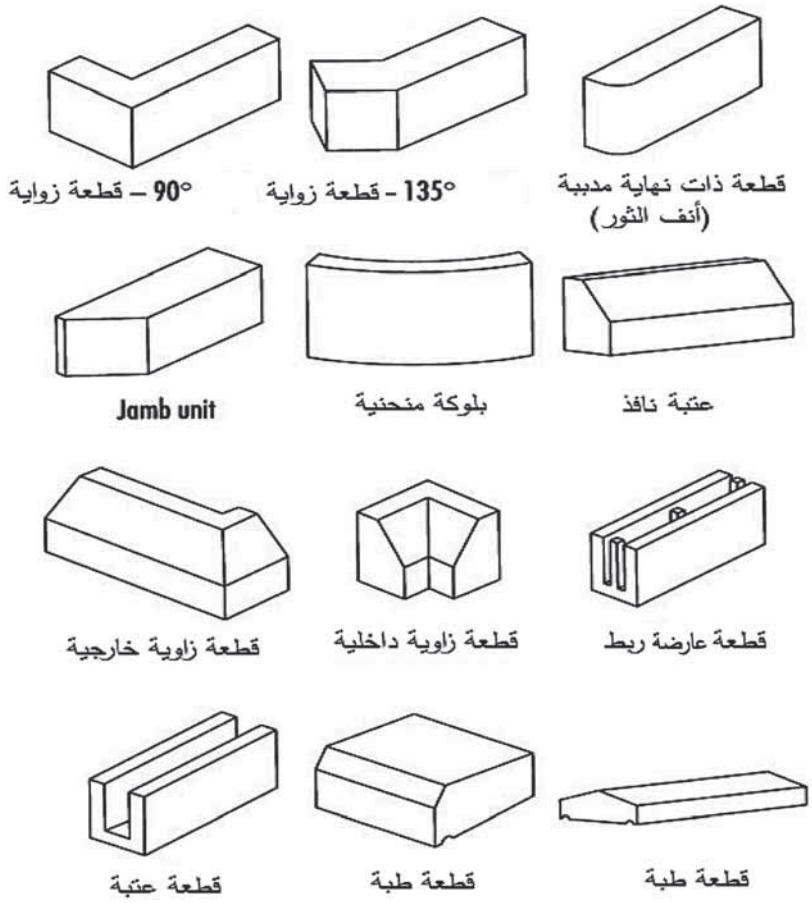
تقوم هذه البدائل بالأداء طبقاً للمعيار المطلوب فقط إذا لم يكن هناك تسرّب للهواء خلال البناء وكانت جميع الوصلات ممتلئة وتمت المحافظة على الفجوات خالية باستثناء روابط الجدران المعتمدة وأي اختراقات على الجوانب المُتقابلة لأشغال البناء يجب أن تكون متناوبة. بحيث يجب ألا تكون الاختراقات الرأسية أعمق من ثلث سماكة البلوك. كما يجب ألا تزيد الاختراقات الأفقية عن سُدس سماكة البلوك نظراً لاحتمال فقدان المقاومة الإنشائية.

امتصاص الصوت

يُعدُّ أغلب البلوك الخرساني المعياري ذو الأسطح الصلبة عاكساً للصوت، وبالتالي يولد أوقات صدى طويلة داخل البناء. ويتمّ تصنيع البلوك الخرساني الماصِّ للصوت مع فتحة مستطيلة (Slot) على الوجه الظاهر مما يسمح للصوت بالدخول إلى الفجوة المركزية (الشكل 1.2). وبما أنّ الحيّز الفارغ مُبطّن بحشوة من ليف ماصٍّ للصوت، فإنّ الصوت الطارئ يتبدد عوضاً عن انعكاسه وتنخفض آثار الصدى بشكل كبير. ويُعدُّ بلوك التحكّم في الصوت من الخرسانة الجميلة الوجه مناسباً للاستخدام في برك السباحة وصالات الرياضة والمباني الصناعية والمدرجات.

القطع الخاصة

تُنتج معظم الشركات المُصنّعة للبلوك مجموعة من القطع الخاصة لتوافق مجالات إنتاجهم النظامية كقطع الزوايا الخارجية (Quoin) ومغاليق الفجوات (Cavity Closers) وعتبات النوافذ (Cills) المائلة والطبّات (Copings) البارزة أو المسح والعتبات (Lintels) والقطع ذات النهايات المُدبّبة (أنف الثور) (Bullnose Ends) والبلوك المنحني (المقوّس) (Radius Blocks) ويمكن تصنيع القطع الخاصة الأخرى حسب الطلب (الشكل 6.2). القطع الخاصة بأعمال البلوك جميل الوجه تُحسّن كثيراً خصائصه المرئية. وقد ينتج من العتبات المُطابِقة ذات الطول الكامل وصلات زائفة يجب أن تستند إلى بلوك كامل (لا إلى قطع).



(الشكل 6.2) القطع الخاصة.

بلوك بوجه جميل

يتوفر البلوك الخرساني ذو الوجه الجميل على طيف واسع من الألوان منها الأبيض والبرتقالي والرملي والأصفر والوردي والأزرق والأخضر والأسود. وفي كثير من الأحيان تكون أنواع البلوك ملوّنةً بالكامل على الرغم من توفر بعض أنواع البلوك الذي يقتصر تلوينها على السطح. فمعظم أنواعه تكون بلون منتظم، إلاّ أنّه هناك بعض التنويع بنهايات منقطة على سبيل المثال. ويتراوح الملمَس بين مصقول وناعم ومجوّى (مقذوف بالرمل) إلى محزَّز أو مشقَّق الوجه (الشكل 7.2) وهذا الأخير يهدف إلى إعطاء تنويع عشوائي يشبه كثيراً الحجر الطبيعي.

يتمُّ تصنيع وحدات البلوك المُزجّج بتطبيق مادة تتصلّب بالحرارة على واحد

أو أكثر من وجوه البلوك الخرساني الخفيف، والتي يتمّ بعد ذلك معالجتها حرارياً لتنشيف الإنهاء. ويتوفر البلوك المزجّج بمجموعة واسعة من الألوان الزاهية والثابتة وهو مناسب للاستخدام الداخلي أو الخارجي.

عند الحاجة يمكن تزجيج البلوك المشكل وفقاً لتصاميم خاصة بهذه الطريقة. وينتج معظم المصنّعين مجموعة من القطع الخاصة لتوائم بلوكهم النظامي ذي الوجه الجميل، مع أنّ هذه القطع قد تُصنّع من خلطة مختلفة وهذا قد يؤدي إلى اختلافات طفيفة كما هو الحال في قطع الآجُرّ الخاصة. وفي حالات معيّنة، مثل بلوك العتبات الفردية، يتمّ تصنيع القطع الخاصة بقص البلوك القياسي لضمان مطابقة الألوان.

(الشكل 7.2) إنهاء معماري محزز أو مشقق أو مصقول. الصورة بإذن (Lignacite Ltd.).

البلوك الصلصالي

البلوك الصلصالي المشوي

يمكن استخدام بلوك البناء الصلصالي العازل كطبقة واحدة للبناء الخارجي الحمّال، وذلك كبديل للبناء المعياري ذي الفجوة. إذ يجمع هذا النوع من البلوك

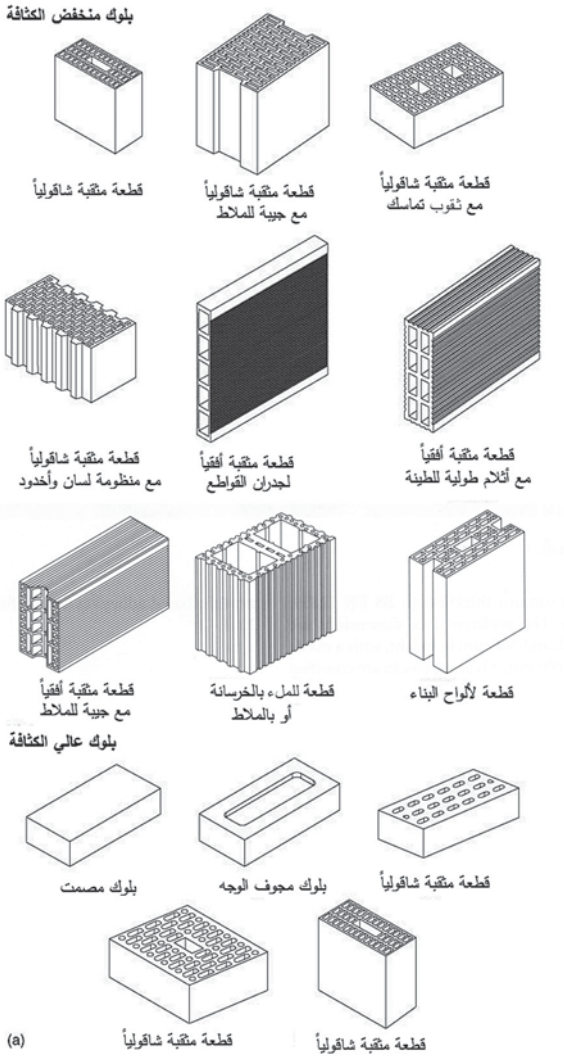
المتانة البُنيوية والعزل الحراري والحماية من الرطوبة عندما يُليّس من الخارج. وعادة ما يتمّ إنهاء السطح الداخلي فيه مباشرة بطينة من الجص. مقاسات بلوك البناء ذي المظهر الموحّد هي 260 mm طولاً + 240 mm ارتفاعاً + 300 أو 365 mm عرضاً معطياً قيمة لـ U بين 0.36 و 0.30 W/m^2K على التوالي عندما تُليّس. وللجدران الداخلية تكون مقاسات البلوك 400 mm طولاً وبعرض من 100 إلى 150 mm. تتطلّب الوصلات الأفقية 10 mm من الملاط الخفيف بينما تترك حواف الوصلات الشاقولية جافّةً إذا كانت بألسنة وأخاديد. يوضح المعيار البريطاني (BS EN 771-1:2003) مجموعةً مختارة من الوحدات المثقَّبة شاقولياً والعالية الكثافة ونطاقاً من وحدات البناء الصلصالية المشويّة المنخفضة الكثافة، التي قد تكون وحدات منخفضة الكثافة مثقّبة شاقولياً أو أفقياً مع وصلة تقابلية (Butt Joint) أو جيوب ملاط أو نظام أخاديد وألسنة (الشكل 8.2). ويتوفر البلوك الخاص للزوايا والعتبات ولفتحات النوافذ والأبواب ولكن يمكن قص البلوك الفردي.

يوفر البلوك الصلصالي المشوي ذو الوجه الجميل، كما هو موضح بالشكل 9.2، بديلاً لأشغال الآجُرّ التقليدي. ويتمّ تصنيعه بإنهاء طبيعي أو مشقق (Riven) أو قماشي وبنطاق من الألوان بما فيها الأحمر القرميدي والبرتقالي والأزرق وبلمعان عالٍ أو إنهاء حريري (ساتان (Satin)) وبظلال قوية أو خفيفة. وعند استخدامه في ملء الفراغات، لا حمّالاً، يتوفّر ربط بديل بما فيه الربط المكدّس (Stack Bond). مقاسات العمل النموذجية هي 215 x 215 mm، 327 x 215 mm، 327 x 140 mm، 440 x 215 mm، 390 x 240 mm، 390 x 190 mm، و 490 x 190 mm وبعرض 90 و102 mm. وتُعدّ وصلات الملاط المعيارية بسمك 10 mm مناسبة والتي قد تلائم أو تعاكس لون البلوك.

البلوك الصلصالي غير المشوي

البلوك غير المشوي والمصنّع من الصلصال وأحياناً مع القش يستعمل لجدران القواطع غير الحمّالة. ويمكن أن يكون للبلوك (نموذجياً 250 mm x 500 و x 450 100 mm x 225 عرض) وبلسان وأخدود أو بحواف مربّعة، ولكن تتطلّب الوصلات الأفقية فقط تثبيتاً بطبقة رقيقة من لاصق أساسه السيليلوز أو بملاط صلصالي. يتم قطع البلوك بسهولة لإبداع معالم معمارية وعادة يُكسى بغطاء جصي رقيق على الرغم من أنه يمكن دهانه مباشرة. وتعد الجدران الداخلية قوية بما فيه

الكفاية لسند الرفوف والتثبيتات الأخرى. كما أنَّ البلوك غير المشويّ قابل لإعادة التدوير أو قابل للتحلُّل حيوياً (Biodegradable) وله ميّزة امتصاص الروائح واستقرار الرطوبة الداخلية ودرجة الحرارة بواسطة الامتصاص والتحرير الطبيعي للرطوبة والحرارة. ويؤمّن الجدار بسماكة 100 mm تخفيضاً صوتياً بمقدار 45 dB و90 دقيقة من مقاومة الحريق (الناقلية الحرارية للبلوك المُثقّب وغير المشوي عادةً 0.24 W/mK).



(الشكل 8.2) (a) بلوك منخفض وعالي الكثافة. بإذن من معهد المعايير البريطاني تم إعادة إخراج مقتطفات من (BS EN 771-1: 2003) . (b) بلوك صلصالي في اليونان بكاميرا، تصوير: آرثر ليونز .

(الشكل 8.2) تابع.

(الشكل 9.2) أشغال بلوك بوجه جميل ـ مكاتب (IDP)، غلاسكو. المعمار (IDP).
الصورة بإذن (Ibstock Brick Ltd.).

البلوك الجصي

يتوفر البلوك الجصي بكثافات تراوح بين 600 و1500 kg./ m^3 وسماكة بين 50 حتى 100 mm. والحدُّ الأقصى للسماكة وفقاً للمعيار البريطاني (BS EN 12859:2008) هو 150 mm. أبعاد الوجه المفضلة هي 666 mm طولاً و500 mm ارتفاعاً لكن الحد الأقصى للطول 1000 mm. ويصنف البلوك الجصي وفقاً للكثافة وامتصاص الماء.

بلوك جصي ـ صنف الكثافة:

كثافة منخفضة (L) 600 ـ 800 kg./ m^3

كثافة متوسطة (M) 800 ـ 1100 kg./ m^3

كثافة مرتفعة (H) 1100 ـ 1500 kg./ m^3

بلوك جصي ـ صنف امتصاص الماء:

H3 > 5%

H2 = أو < 5%

H1 = أو < 2.5%

يورد المعيار البريطاني (BS EN 15318: 2007) خصائص العزل الصوتي بالتفصيل للقواطع من البلوك الجصي بالعلاقة مع سماكة الجدار وكثافة البلوك. يُمكن استخدام البلوك الجصي كقواطع غير حمّالة وكعزل داخلي للجدران. ويتمّ تجميعه بلاصِق أساسه الجصّ كما هو محدد في المعيار (BS EN 12860:2001)

أشغال البلوك

أشغال البلوك الخرساني بوجه جميل

يُعتبر اختيار الحجم المناسب في أشغال البلوك ذي الوجه الجميل ذا أهمية لكلٍّ من المقياس البصري والتنسيقي. وعلى الرغم من أنه يمكن قصّ البلوك بواسطة قطاعات خاصة، فإن إضافة قطع صغيرة من البلوك أو توسيع وصلات الربط عن 10 mm النظامية يعتبر أمراً غير مقبول. وقد يكون من المفيد إدراج مدماك رقيق عند الأرضية أو عند ارتفاع العتبة لضبط المداميك. ويمكن تشييد أشغال البلوك المنحنية باستعمال البلوك النظامي ويعتمد الانحناء المسموح على مقاس البلوك. ويجب ألا يزيد البروز بين المداميك المتناوبة على 4 mm في

الأعمال ذات الوجه الجميل. وإذا كان نصف القطر الداخلي مكشوفاً يمكن عندها المحافظة على الوصلات الشاقولية بين البلوكات بعرض 10 mm من دون قص البلوك ولكن إذا كان نصف القطر الخارجي هو المكشوف فسيتطلّب ذلك قص البلوك بالبسط. وتتطلّب الانحناءات الشديدة استخدام القطع الخاصة.

منظومات البناء بوصلات رقيقة

يمكن بناء أشغال البلوك بوصلات ملاط بسماكة 2 ـ 3 mm فقط، شريطة أن يكون قد تمَّ تصنيع البلوك المسامي أو ما يكافئه من أنواع أخرى بتسامحات دقيقة وأن يكون تنفيذ العمل في الموقع جيداً. ويتصلّب الملاط الخاص السريع التصلب عادة خلال 60 دقيقة وتصل المادة الرابطة إلى كامل مقاومتها بعد ساعتين فقط مما يسمح بتنفيذ مداميك أكثر في كل يوم. في حالة بناء الآجُرّ والبلوك بفجوة، يتمّ بناء الطبقة الداخلية أولاً مما يؤمن سوراً واقياً من الطقس بأسرع ما يمكن. ويمكن بعد ذلك بناء الطبقة الخارجية من الآجُرّ واستخدام روابط الجدران المثبّتة على الوجه، إمّا لولبياً أو بالدق في أشغال البلوك المكتمل. فليس من الضروري أن تتماشى وصلات الملاط الرقيقة الأفقية في أشغال البلوك مع مثيلاتها في أشغال الآجُرّ ولهذا يمكن استعمال الروابط التقليدية للجدران ذات الفجوة فقط إذا كانت تسمح بالميل.

يبدأ عادةً بناء الطبقة الداخلية بمدماك من البلوك 215 mm x 440 ذي الارتفاع النظامي مع سرير من الملاط ليعوّض التغيرات في مستويات الأساسات، يتبعه البلوك الأكبر 440 أو 430 mm x 620 mm الذي يجب أن يزن أقل من 20 kg. لتأمين الرفع المتكرر من قِبل عامل واحد. بينما يتطلّب البلوك الأثقل رفعاً ميكانيكاً أو شخصين للتعامل معه. يكون ملاط الوصلات الرقيقة ـ الذي يتكوّن من بوليميرات معدّلة من عيار إسمنت وعيارين من خلطة رمل مع إضافات للتشغيل ولحفظ الماء ـ مخلوطاً مسبقاً في المعمل ويتطلّب فقط إضافة الماء والخلط، ويفضَّل أن يتمّ ذلك بخلاط كهربائي. ويتمُّ مدُّ الملاط يدوياً بالعرض المناسب بواسطة مجرفة (مشحاف) مسنَّنة أو من خلال نظام ضخٍّ لتحقيق الانتظام. ويجب أن ينفّذ العمل بدرجة حرارة أعلى من 5 درجات مئوية.

تتفوق النظم ذات الوصلات الرقيقة على أشغال البلوك التقليدي ذي الوصلات 10 mm بالميزات الرئيسية التالية:

ـ زيادة الإنتاجية حيث تسمح بإنجاز الطبقات الداخلية بارتفاع طابق في يوم واحد.

ـ تحسّن الأداء الحراري بنسبة 10% نتيجةَ خفض الجسر الحراري من خلال الملاط.

ـ تحسين إحكام البناء للهواء.

ـ دقة الجدار تسمح بتنفيذ غطاء إنهاء داخلي رقيق من الجص بالبخّ.

ـ جودة تنفيذ أعلى بأقل هدر للملاط.

تختلف الخصائص الصوتية للجدران ذات الملاط الرقيق قليلاً عن تلك التي في الجدران المبنية بوصلات ملاط 10 mm. حيث تتحسن قليلاً مقاومة الضوضاء المنخفضة التردُّد في حين تنخفض قليلاً مقاومة الصوت العالي التردد.

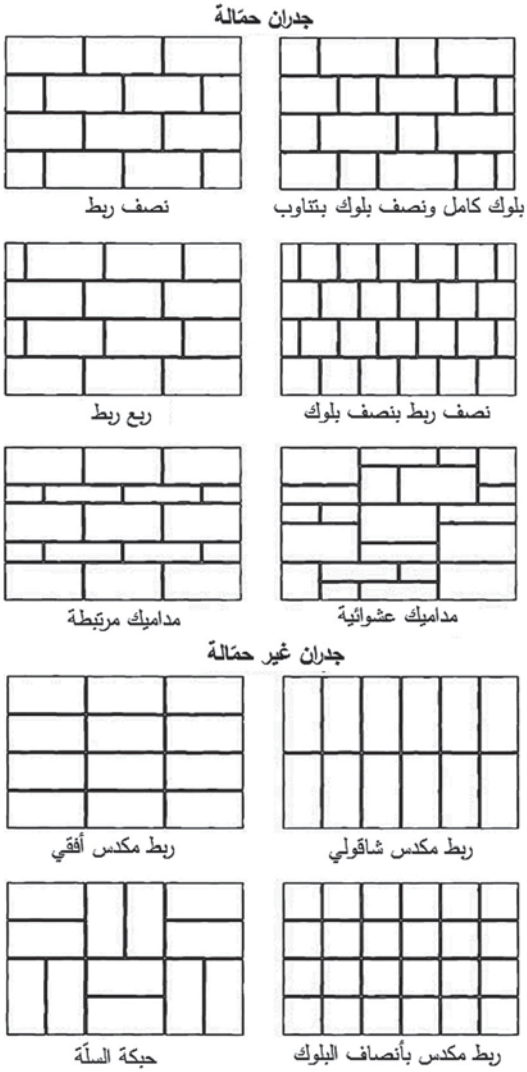
يتصرّف شغل البلوك الرقيق الوصلات المكتمل كبلاطة موحَّدة المظهر، وإذا لم تُقيّد قد تتشقَّق عند النقاط الأضعف كجوانب الفتحات. ولتجنُّب ذلك يجب أن تركّب قطع البلوك الجافة لتفادي الانكماش ويجب وضع تسليح في الوصلات الأفقية بشكل مناسب (شبكة من GRP بسماكة 1.5 mm). وتتطلب المباني الأكبر فواصل حركة في كلِّ 6 m.

يُصمَّم بعض أنواع البلوك المُصنَّع بالبثق من الصلصال وسليكات الكالسيوم بثقوب متعدِّدة من أجل الاستخدام مع وصلات ملاط أفقية رقيقة ووصلات شاقولية مُتشابكة جافة. يتطلّب أحد نظم البلوك الصلصالي تنفيذ الوصلات بلاصق سماكته 1 mm يُمدُّ ببكرة خاصة لأنه تمّ شحذ الوحدات بأبعاد دقيقة بعد شيّها. وقد يستخدم البلوك للطبقة الداخلة و/ أو الخارجية في أعمال البناء ذات الفجوة أو للجدران الصلبة. ومع أن ذلك يقلِّل زمن التشييد الأوليّ إلاّ أن الجوانب المكشوفة تتطلّب لاحقاً طينة جصية أو إسمنتية للحدِّ من فقدان الحرارة نتيجة تسرُّب الهواء. أمّا مقاسات البلوك النموذجية فهي 300 x 224 mm و 248 x 249 mm وبعرض 100 و140 و190 و365 mm.

الربط

يُعدُّ استخدام الربط بنصف بلوكة معياريّاً، لكن قد يخفض ذلك إلى ربط ربعي لأسباب جمالية. إذ قد يتمُّ إدراج حِزام من الآجُرّ الخرساني في أعمال البلوك، ولكن بسبب الاختلافات في الحركة الناتجة من الحرارة والرطوبة لا يُنصح بخلط الآجُرّ الصلصالي مع البلوك الخرساني. يمكن استخدام الربط المكدّس الشاقولي والأفقي والأشكال الأكثر تعقيداً مثل ربط حبكة السلة، لملء الألواح (Panels) ضمن المباني ذات الأطر (الشكل 10.2). وتتطلّب هذه الألواح تسليحاً

ضمن الوصلات الأفقية المتناوبة للتعويض عن عدم وجود الربط الطبيعي.

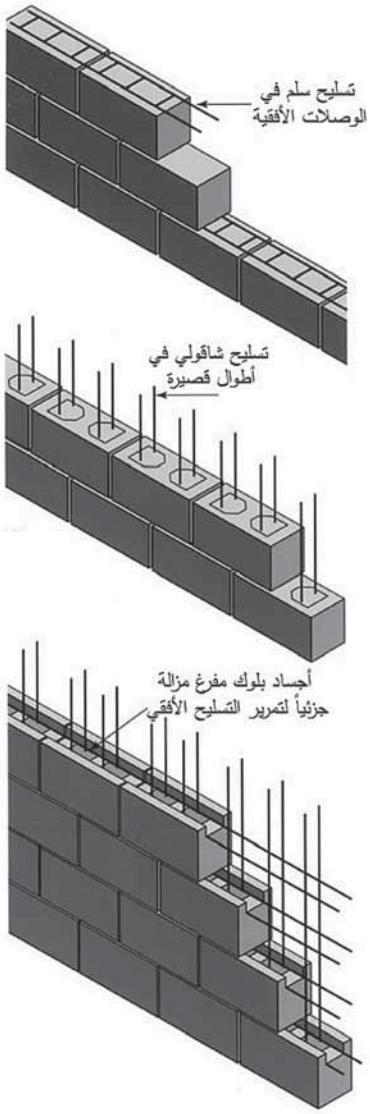


(الشكل 10.2) خيارات من نماذج الربط لأشغال البلوك المرئي.

التسليح

تحتاج أشغال البلوك إلى تسليح للوصلات الأفقية من أعلى وأسفل الفتحات، حيث إنّه من غير المناسب تقسيم أشغال البلوك إلى الأعلى على شكل ألواح مع فواصل حركة في نهايات العتبات. ويتمّ إدراج التسليح في وصلتين أفقيتين أعلى

وأسفل تلك الفتحات (الشكل 11.2)، ويجب ألاّ تقل سماكة طبقة غطاء التسليح الأفقي عن 25 mm عند الأوجه الخارجية وعن 13 mm عند الأوجه الداخلية. ويمكن إدراج تسليح شاقولي وآخر أفقي في أشغال البلوك المجوّف في الأماكن التي تتطلّب مقاومة الإجهادات المحسوبة وفقاً للمعيار البريطاني :BS 5628-2) (2005. وتكون الحالات النموذجية ضمن الجدران الاستنادية للأقبية وألواح الملء الكبيرة في المباني ذات الأُطر.



(الشكل 11.2) أشغال بلوك مسلح.

التحكُّم في الحركة

تتعرَّض أعمال البلوك الخرساني إلى حركات أكبر مما هي عليه أعمال الآجُرّ. ولذلك فإن مواقع وأشكال فواصل الحركة تتطلّب عناية أكثر في التفاصيل التصميمية لضمان توجيه الحركات الحتميّ إلى المواقع المطلوبة، ومن دون إحداث شقوق متدرّجة قبيحة أو تكسير في وحدات البلوك المُنفردة. مثالياً يجب أن تتوضّع مثل هذه الفواصل عند الجدران المتقاطعة أو عند نقاط الانقطاع البنيوي، كالأعمدة. فبالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة لفواصل الحركة عند تغيُّر سماكة أو ارتفاع أو تحميل الجدران، وفوق وتحت فتحات الجدار، وبالقرب من فواصل الحركة في المبنى المجاور (الشكل 12.2). وأمّا بالنسبة لتقوية جدران الخرسانة الخارجية التي لا تحمل ثقلاً فيجب أن تفصل جدران البلوك الخرساني الخارجية غير المسلحة وغير الحمّالة والتي نسبة طولها إلى ارتفاعها 1:3 أو أقل إلى سلسلة من الألواح بفواصل شاقولية لضبط الحركة، وبتباعد 9 m فيما بينها أو أكثر تواتراً لجدران البناء التي نسبة طولها إلى ارتفاعها أكثر من (NA to BS EN1996-2: 2006) 1:3. كما يجب أن تسمح روابط الجداران بالحركة التفاضلية بين طبقتي الجدار ذي الفجوة، ويجب أن تكون متباعدة بحدود 900 mm أفقياً و450 mm شاقولياً من أجل فجوات بسماكة 50 ـ 75 mm.

الملاط

يجب أن يكون الملاط أضعف من البلوك ليسمح بالحركة.

فالنسب الحجميّة في الخلطات العادية للوصلات المعيارية بسماكة 10 mm هي كالآتي:

إسمنت/ جير/ رمل 1:1:5 إلى 1:1:6

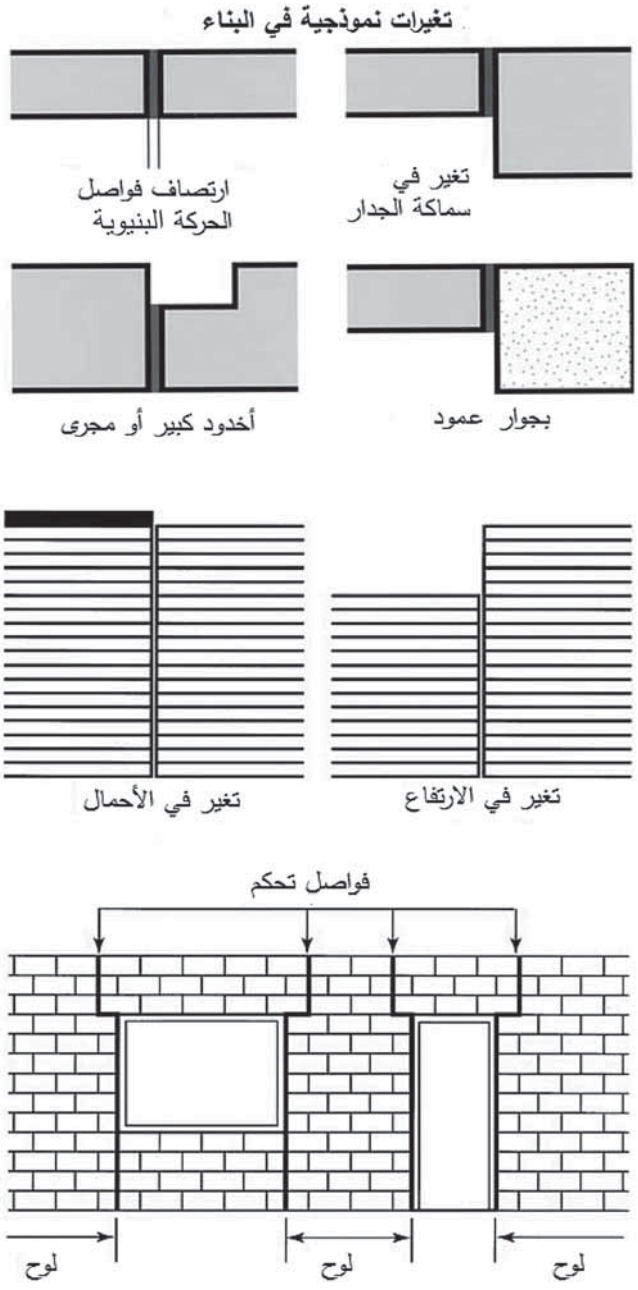
إسمنت/ رمل+ ملدن 1:5 إلى 1:6

إسمنت بناء/ الرمل 1:4 إلى 1:5

هناك حاجة لخلطة أقوى دون مستوى المدماك العازل للرطوبة (DPC) وقد يكون من الضروري استعمال إسمنت مقاوم للكبريتات تبعاً لظروف التربة.

الإسمنت/ الرمل 1: 4

الإسمنت/ الجير / الرمل 1:1.5:4.5



(الشكل 12.2) فواصل الحركة في أشغال البلوك

وعند الحاجة إلى أشغال بلوك بمقاومة عالية ينبغي استعمال ملاط أقوى. ويجب أن تكون وصلات الملاط محدّبة قليلاً (Concave)، لا مسحاً مع البلوك (Flush). وتعتبر الوصلات على شكل مسكة الدلو (Bucket Handle) أو المجوّاة (Weathered) أو المشطوفة (Struck) مناسبة للاستخدام الخارجي ولكن يجب استخدام الوصلات الغائرة (Recessed) داخلياً فقط. ويجب أن يكون الملاط الملوّن ممزوجاً جاهزاً أو معيّراً بعناية لتحاشي الاختلاف في اللون، ويجب إنهاء فواصل التقلّص بقاطع ربط (Bond Breaker) من شريط البوليتن (Polythene Tape) مع مانع تسرُّب (ختام (Sealant)) مَرن. ومن أجل فواصل التمدُّد لا بدُّ من حشوة مَرنة مثل لوح من الألياف (Fibreboard) مُشبع بالقار مع شريحة من رغوة البوليتين ومانع تسرّب مرن. وعندما يكون تلييس أشغال البلوك مطلوباً يجب تجريف الملاط بعمق 10 mm لتأمين مفتاح (أخدود) إضافي للطينة. كما يجب ألاّ تنفذ أشغال البلوك عندما تكون درجة الحرارة أقل أو تساوي 3 درجات مئوية مع تناقص أو درجة واحدة مئوية كحدٍّ أدنى مع تزايد (BS 5628-3: 2005).

الإنهاءات (التشطيبات)

الإنهاءات الداخلية

ينبغي تطبيق الجص عادة في طبقتين (وجهين) فتصبح السماكة 13 mm. فللبلوك المعدّ للتجصيص سطح خشن لإعطاء تماسُك جيّد. وقد تُثبّت البطانة الجافة بعوارض خشبية أو بلصقها مباشرةً على أعمال البلوك. وأشغال البلوك المُراد تبليطها يجب تلييسها أولاً بمزيج من الإسمنت والرمل. وقد يترك البلوك ذو الوجه الجميل عارياً أو مدهوناً. وعندما يُراد دهان البلوك المعياري يتوجّب استخدام الصنف المناسب. كما يجب إنهاء البلوك الصلصالي غير المشوي بمواد نفوذة للهواء (Breathable) مثل الطينة الصلصاليّة أو الجصيّة، وألواح الصلصال، وغُسول الجير، أو طلاء عالي النفوذية للبخار.

الإنهاءات الخارجية

ينبغي أن تثبَّت الألواح الخارجية أو البلاط المعلّق على العوارض الخشبية المفصولة عن أعمال البلوك بواسطة غشاء تنفُّس (Breather Membrane). فمن أجل الطينة الخارجية ينبغي تطبيق غطاء مرشوش أولي (Spatter Dash) (رشة بسمار) على البلوك الكثيف متبوعاً بطبقتين من طينة الإسمنت/ الجير/ الرمل.

يجب أن تكون الطبقة الأولى من مزيج أقوى (مثلاً 1:1:6)، وبسماكة 10 mm وأن تكون الطبقة الثانية أضعف (مثلاً 1:2:9) بسماكة 5 mm. لا يُنصح باستخدام خلطات الإسمنت/ الرمل لأنها أكثر عُرضة للتشقُّق من الخلطات التي تحتوي على الجير. ويجب إنهاء الطينة عند منسوب المدماك العازل للرطوبة بدمّاعة (Drip) أو تفصيلة التجوية المماثلة.

الأساسات

يُنفّذ بلوك الأساسات بشكل مسطح ويُعدُّ بديلاً لصبِّ الخندق أو البناء ذي الفجوة. ويجب ألا يستخدم البلوك الإسمنتي البورتلاندي للأساسات، حيث يُحدَّد الملاط الإسمنتي المقاوم للكبريتات ما لم يتم تصنيفها على أنها مناسبة لظروف خاصة بالكبريتات.

تصنّف حالات الأرض من حيث الكبريتات وغيرها من الكيميائيات العدوانية في الملخّص الخاص 1 (2005) (BRE Special Digest 1) من الدرجة (DS1) (صنف الكبريتات التصميمي 1) إلى الصنف الأكثر عدوانية (DS5). فقد يكون بلوك الأساسات كثيفاً أو من خرسانة خفيفة الوزن والأخير يُعزَّز فيه العزل الحراري عند حافة الأرضية. فبلوك الأساسات المتشابك مع وصلات شاقولية بألسنة داخلة في أخاديد يحتاج فقط إلى ملاط للوصلة الأفقية. تجعلُ مسكة اليد (Handhold) التعاملَ مع هذا البلوك في الموقع أسهل بكثير من رفع البلوك المعياري المستطيل الشكل. وتكون السماكات المعيارية محصورةً ضمن المجال 255 ـ 355 mm.

أرضيات من العوارض والبلوك

تُقدِّم الأرضيات المكوّنة من العوارض والبلوك نظاماً بديلاً للطوابق الأرضية الصلبة التقليدية ضمن نطاق التشييد المحلّي (الشكل 13.2) ويمكن استخدامها أيضاً للطوابق العليا. تمَّ وصف هذه النظُم في المعيار البريطاني (BS EN 15037 Part 1: 2008 and Parts 2 and 3). قد تكون العوارض على شكل T أو I. وبدلاً من ذلك يتمُّ دمجٌ جزئي للتسليح المكوّن من عارض شبَكي مكشوف في طبقة تغطية من الخرسانة. يمكن أن تكون الحشوة من البلوك الخرساني المعياري بسماكة 100 mm وبمقاومة كَسْرٍ دُنيا مقدارها 3.5 MPa. يجب أن يُحقِّق العزل الحراري قيمة U (U-value) بين 0.20 و 0.25 $W/m^2 K$. للطابق الأول والطوابق اللاحقة

يمكن أن تكون الحشوة من البلوك خرساني صلب أو المجوّف أو البلوك الصلصالي المجوّف الذي قد يحتاج إلى طبقة تغطية بُنيوية مصبوبة في الموقع للتوافق مع أنظمة البناء.

يُحقِّق الجمع بين المواد التالية قيمةً لـ U تساوي 0.20 W/m^2 K:

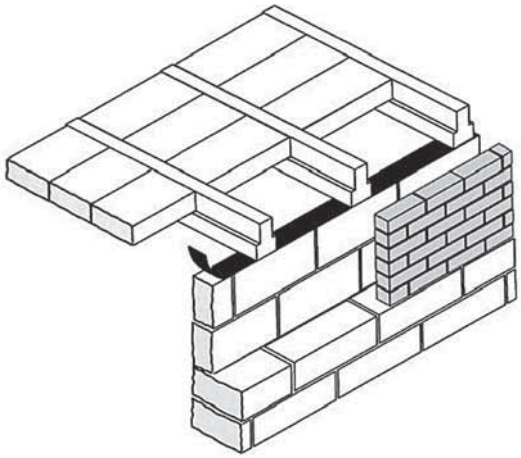
18 mm لوح نشارة (λ = 0.13 w/m k) (Particleboard)

100 mm عزل مُستمرّ (λ = 0.030 w/m k)

100 mm بلوك خرساني (λ = 0.46 w/ m k)

عارضة من الخرسانة الكثيفة على شكل T وبتباعد بين مراكز العوارض 515 mm (λ = 1.65 w/ m k)

فضاء مهوى تحت الأرض.



(الشكل 13.2) أشغال أرضيات من البلوك والعوارض.

أشغال البلوك في تخطيط المناظر العامة

التبليط بالبلوك

تُصنع وحدات البلوك الخرساني المُخصصة للتبليط طِبقاً لحيّز واسع من التصاميم كما هو موضّح في الشكل 14.2. وقد يكون البلوك على شكل الآجُرّ

المعياري (100+200 mm) وبسماكة 60 mm و80 أو 100 mm وفقاً للحمل المُتوقَّع. وتتوفر تصاميم بديلة تشمل البلوك المهشم الحواف (Tumbled Block) الذي يُحاكي الرَّصف بالغرانيت (Granite Setts)، وأشكالاً متشابكة متعدِّدة مُعطياً تصاميم مبنية على أشكال مُضلّعات ومنحنيات. وتتراوح الألوان بين الأحمر والرمادي الداكن والبرتقالي والبنّي والرمادي وحتى الفضيّ والأبيض، مع إنهاءات ملساء أو مُماثلة للحجر. من أجل معظم التصاميم يتوفر بلوك الأطاريف وقطع أقنية الصرف الصحي والحواف وغيرها من القطع الملحقة. ويُنفّذ بلوك البلاط الخرساني على طبقة أساس مضغوطة من الرمل القاسي بسماكة 50 mm. يُسنُّ البلوك عادةً لإعداد فواصل ضيّقة يتمّ ملؤها بالرمل المُجفَّف في الفرن. ويمكن استخدام رمل أخشن لمنع الخسارة الناجمة عن تعرية الريح لملء الفواصل الأوسع والتي توجد بين بلاط البلوك المشابه لرصف الحجر.

تم تّصنيف الخصائص الفيزيائية بما في ذلك امتصاص الماء ومقاومة التجمُّد/ ذوبان الجليد ومقاومة التآكل والتسامحات في الحجم في المعيار (BS EN 1338: 2003). كما أُعطيت إرشادات بشأن تصميم وتنفيذ الأرصفة لمجال من التطبيقات في المعيار (BS 7533) في الأجزاء 1 ـ 13 ضمناً. وتمّ تعريف وترميز أنواع سطوح التبليط المحسوسة، المُحبحبة وذات الأضلع والأخاديد، في المعيار (DD CEN/ TS 15209: 2008).

كما تمّ تصميم منظومات الصرف الصحي المُستدامة في المناطق الحضرية للحدّ من الأثر البيئي للأسطح المنسقة الصلبة غير النفوذة، والتي تؤدي إلى جريان مياه المطر بسرعة. ففي الأسطحة النفوذة بما فيها البلوك المسنون فإنّ المطر يتخلَّل الفراغات وينتشر بالتصريف الطبيعي في التربة التحتية، أو قد يتم جمعه من خلال منظومات جمع مياه الأمطار لاستخدامه لاحقاً.

عندما يكون مظهر الأعشاب مطلوباً تتوفّر مجموعة مختارة من البلوك المسامي (الأجوف) التي يمكن أن تُملأ بالتراب وتُزرع لتُعطي المظهر المطلوب، بالإضافة إلى المحافظة على خصائص أرصفة البلوك الخرساني من حيث تحمُّل حركة المرور. يمكن تحديد سماكات مختلفة للبلوك ولطبقات ما تحت الأساسات طِبقاً لحِمل حركة المرور المُتوقّع. ويتوفر البلوك المقاوم للكبريتات بما تقتضيه ظروف التربة.

(الشكل 14.2) مجموعة مختارة من البلاط الخرساني للأرصفة وللتنسيق الصلب في المواقع العامة لجسر الألفية في (Gateshead). الصورة بإذن (Marshalls Plc.).

أشغال البلوك الساندة للتربة

يتمّ تصنيع طيف من البلوك الخرساني الخلوي المتشابك والمسبق الصنع لبناء الجدران الاستنادية ذات السرير الجاف. توضع التربة في جيوب المداميك المتتالية للسماح بالزراعة ويردم خلف الجدار بمواد حبيبية للسماح بتصريف المياه. ويُحدَّد حجم البلوك الارتفاع الأقصى للبناء، لكن يمكنه تحقيق ارتفاع يزيد على 20 m باستخدام وحدات بلوك عميقة جداً. لضمان الاستقرار تكون زاوية ميل الوجه بين 15 إلى 22 درجة، ولكن ميولاً أخرى تصبح ممكنةً بمنظومات بلوك مناسبة. ويمكن تحقيق تقوّس محدود في الجدار من دون الحاجة إلى قصّ البلوك المعياري. وتستخدم هذه النظم لسند التربة ولتشكيل حواجز صوتية.

المراجع

FURTHER READING

British Cement Association. 2005: *BCA guide to materials for masonry mortar*. Camberley: BCA.

Concrete Block Association. 2006: *Aggregate concrete blocks. Part L. Thermal insulation from April 2006. Guidance for designers and users*. Leicester: CBA. Concrete Block Association. 2007: *Aggregate concrete blocks. Aggregate block sustainability*. Data Sheet 16. Leicester: CBA.

Concrete Society. 2007: *External in-situ concrete paving*. Technical Report No. 66. Camberley: The Concrete Society.

Hugues, T., Greilich, K. and Peter, C. 2004: *Building with large clay blocks. Details, products, built examples*. Basel: Birkhäuser.

Robust Details. 2007: *Robust details handbook*. 3rd ed. Milton Keynes: Robust Details Ltd.

STANDARDS

BS 743: 1970 Materials for damp-proof courses.

BS 5628 Code of practice for use of masonry:

Part 1: 2005 Structural use of unreinforced masonry.

Part 2: 2005 Structural use of reinforced and prestressed masonry.

Part 3: 2005 Materials and componentš design and workmanship.

BS 5977 Lintels:

Part 1: 1981 Method for assessment of load.

BS 6073 Precast concrete masonry units:

Part 2: 2008 Guide for specifying precast concrete masonry units.

BS 6100 Glossary of building and civil engineering terms:

Part 0: 2002 Introduction.

Part 1: 2004 General terms.

Part 6: 2008 Construction parts.

BS 6398: 1983 Specification for bitumen damp-proof courses for masonry.

BS 6515: 1984 Specification for polyethylene damp-proof courses for masonry.

BS 7533 Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers:

Part 3: 2005 Code of practice for laying precast concrete paving blocks and clay pavers for flexible pavements.

Part 4: 2006 Code of practice for the construction of pavements of precast concrete flags or natural

stone slabs.

Part 6: 1999 Code of practice for laying natural stone, precast concrete and clay kerb units.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 3: 2001 Code of practice for masonry.

BS 8103 Structural design of low-rise buildings:

Part 2: 2005 Code of practice for masonry walls for housing.

BS 8215: 1991 Code of practice for design and installation of damp-proof courses in masonry construction.

BS EN 413-1: 2004 Masonry cement. Composition, specifications and conformity criteria.

BS EN 771 Specification for masonry units:

Part 1: 2003 Clay masonry units.

Part 3: 2003 Aggregate concrete masonry units.

Part 4: 2003 Autoclaved aerated concrete masonry units.

Part 5: 2003 Manufactured stone masonry units.

BS EN 772 Methods of test for masonry units:

Part 1: 2000 Determination of compressive strength.

BS EN 845 Specification for ancillary components for masonry:

Part 1: 2003 Ties, tension straps, hangers and brackets.

Part 2: 2003 Lintels.

Part 3: 2003 Bed joint reinforcement of steel meshwork.

BS EN 934 Admixtures for concrete, mortar and grout:

Part 1: 2008 Common requirements.

Part 2: 2001 Concrete admixtures. Definitions, requirements, conformity, marking and labelling.

BS EN 998-2: 2003 Specification for mortar for masonry. Masonry mortar.

BS EN 1338: 2003 Concrete paving blocks. Requirements and test methods.

BS EN 1745: 2002 Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values.

BS EN 1806: 2006 Chimneys. Clay/ceramic flue blocks for single wall chimneys.

BS EN 1858: 2003 Chimneys. Components. Concrete flue blocks.

BS EN 1996 Eurocode 6: Design of masonry structures:

Part 1.1: 2005 General rules for reinforced and unreinforced masonry.

Part 1.2: 2005 Structural fire design.

Part 2: 2006 Design considerations, selection of materials and execution of masonry.

Part 3: 2006 Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures.

BS EN 12859: 2008 Gypsum blocks. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 12860: 2001 Gypsum based adhesives for gypsum blocks. Definitions.

BS EN 13139: 2002 Aggregates for mortar.

BS EN ISO 14683: 2007 Thermal bridges in building construction. Linear thermal transmittance. Simplified methods and default values.

BSEN14909: 2006 Flexible sheets for waterproofing. Plastic and rubber damp proof courses. Definitions and characteristics.

BS EN 15037 Precast concrete products. Beam-and block floor systems:

Part 1: 2008 Beams.

Part 2: 2009 Concrete blocks.

Part 3: 2009 Clay blocks.

DDCEN/TS 15209: 2008 Tactile paving surface indicators produced from concrete, clay and stone.

BS EN 15254 Extended application of results from fire resistance tests. Nonloadbearing walls:

Part 2: 2009 Masonry and gypsum blocks.

BS EN 15318: 2007 Design and application of gypsum blocks.

BS EN 15435: 2008 Precast concrete products. Normal weight and lightweight concrete shuttering blocks. Product properties and performance.

PD CEN/TR 15728: 2008 Design and use of inserts for lifting and handling of precast concrete elements.

DD 140-2: 1987 Wall ties. Recommendations for design of wall ties.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT

PUBLICATIONS

BRE Special digests

BRE SD1: 2005 Concrete in aggressive ground.

BRE SD4: 2007 Masonry walls and beam and block floors. U-values and building regulations.

BRE Digests

BRE Digest 432: 1998 Aircrete: thin joint mortar system.

BRE Digest 460: 2001 Bricks, blocks and masonry made from aggregate concrete (Parts 1 and 2).

BRE Digest 461: 2001 Corrosion of metal components in walls.

BRE Digest 468: 2002 AAC 'aircrete' blocks and masonry.

BRE Digest 487: 2004 Structural fire engineering design. Part 4. Materials behaviour: Masonry.

BRE Good building guides

BRE GBG 44: 2000 Insulating masonry cavity walls (Parts 1 and 2).

BRE GBG 50: 2002 Insulating solid masonry walls.

BRE GBG 54: 2003 Construction site communication. Part 2. Masonry.

BRE GBG 58: 2003 Thin layer masonry mortar.

BRE GBG 62: 2004 Retro-installation of bed joint reinforcement in masonry.

BRE GBG 66: 2005 Building masonry with lime based bedding mortars.

BRE GBG 67: 2006 Achieving air tightness (Parts 1, 2, and 3).

BRE GBG 68: 2006 Installing thermal insulation (Parts 1 and 2).

BRE Information papers

BRE IP 14/98 Blocks with recycled aggregate. Beam and-block floors.

BRE IP 1/99 Untied cavity party walls. Structural performance when using AAC blockwork.

BRE IP 7/05 Aircrete tongue and grooved block masonry.

BRE IP 1/06 Assessing the effects of thermal bridging at junctions and around openings.

BRE IP 8/08 Determining the minimal thermal resistance of cavity closers.

ADVISORY ORGANISATIONS

Aircrete Products Association, 4th floor, 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

British Concrete Masonry Association, Grove Crescent House, 18 Grove Place, Bedford MK40 3JJ, UK (01234 353745).

Concrete Block Association, 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

Concrete Society, Riverside House, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Blackwater, Camberley, Surrey GU14 9AB, UK (01276 607140).

Mortar Industry Association, Gillingham House, 38-44 Gillingham Street, London SW1V 1HU, UK (020 7963 8000).

3

الكلس والإسمنت والخرسانة

مقدّمة

يشير مصطلح الإسمنت بالمعنى الواسع إلى المواد التي تعمل كلاصق (Adhesives). إلا أنّه في هذا السّياق يقتصر استعماله على كونه عنصراً رابطاً للرمل والحجارة والحصويات (Aggregates) الأخرى خلال تصنيع الملاط (Mortar) والخرسانة (Concrete). حيث تتجمّد (Set) وتتصلّب (Harden) المواد الإسمنتية والكلسيّة المائية (Hydraulic Cements and Limes) من طريق تفاعلات كيميائية داخلية لدى خلطها بالماء، في حين تتصلّب المواد اللامائية ببطء من طريق امتصاصها لثاني أوكسيد الكربون من الجو.

استعملت الحضارات القديمة حول العالم الكلس كعنصرٍ رابط للآجُرّ (Brick) والحجارة. وقد جلب الرومان هذا المفهوم إلى بريطانيا في القرن الأول الميلادي، حيث كانوا يستعملون المادة لإنتاج ملاط الكلس. في حين كان الرومان كثيراً ما يخلطون الكلس مع أنواع الرماد البركاني كالبوزولانا المجلوبة من منطقة بوزولي في إيطاليا، لتحويله من كلس لامائي إلى كلس مائي مناسب للاستعمال في تشييد الأقنية الاصطناعية (Aqueducts)، وأحواض الغسيل والأبنية الأخرى. إلا أنه في بريطانيا كان الكلس يُخلط عادةً مع بوزولانا اصطناعية كمنتجات الصلصال المحروق المكسّر مثل الأواني الفخارية والآجُرّ والبلاط. وفي القرن الثامن عشر تم تصنيع ما يسمّى الإسمنت الروماني بعد حرق الحجر الإسمنتي (الحجر الكلسي الصلصالي) (Argillaceous or Clayey Limestone) المجلوب من سواحل شيبي وإسيكس (Sheppey And Essex).

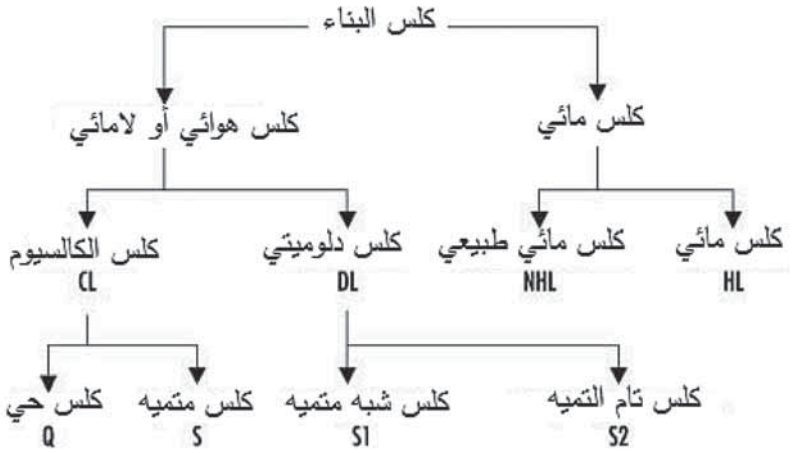
في عام 1824 حصل جوزيف أسبدين (Joseph Aspdin) على براءة اختراعه

الشهيرة لتصنيع الإسمنت البورتلاندي من الحجر الكلسيّ والصلصال. حيث خلط مسحوقي كلٍّ من الحجر الكلسي والصلصال في روبة مائية ثم تمّ تبخيرها بالحرارة في مقلاة. وبعد ذلك جرى تكسير المزيج الجاف إلى كُتل صغيرة، وتكليسه في فرن لتخليصه من ثاني أوكسيد الكربون وحرقه للحصول على الكلنكر (Clinker) وطحنه أخيراً إلى مسحوق ناعم جاهز للاستعمال. وقد استعمل اسم بورتلاند لتعزيز مكانة مادة الخرسانة الجديدة، عبر ربطها بحجر بورتلاند الذي تشبهه إلى درجة ما. كانت عمليات التصنيع الأولى للإسمنت البورتلاندي متقطّعة تتمّ في قوارير، وفي ما بعد في غرف أو أفران (Kilns). وقد وفّر إدخال الفرن الدوّار العام 1877، عمليةَ حرقٍ مستمرّة مع خفض في تكاليف الوقود واليد العاملة. إذ شكّلت الأفران الدوّارة الأولى الأساس لتطوير أنظمة الإنتاج المختلفة التي توجد الآن. وشهد عام 1989 ذروة الإنتاج في المملكة المتحدة، حيث تمّ تصنيع 18 مليون طن من الإسمنت، والذي كان نحو نصفه مطلوباً لصناعة الخرسانة الجاهزة، والباقي الأقل من نصفه بقليل تقريباً لمصانع إنتاج الخرسانة وما تبقّى إسمنتاً معبأ بأكياس للاستعمال العام.

الكلس (الجير)

تصنيع الكلس

يصنّع الكلس بتكليس كربونات الكالسيوم الطبيعية، ونموذجيّاً الصخر القاسي من الحجر الكلسي الكربوني الحديدي. حيث يتمّ استخراجه من المقلع وتكسيره وطحنه وغسله وغربلته إلى مدى المقاس المطلوب. بعد ذلك يحرق الحجر الكلسي إلى درجة حرارة تقارب 950 درجة مئوية، إمّا في أفران دوارة أفقية أو في أفران أسطوانية شاقولية (Vertical Shaft Kiln)، فيتم تخليصه من ثاني أوكسيد الكربون فينتج منتجات الكلس. يُنتج الحجر الكلسي والطبشوري مواد كلسيّة لامائية أو هوائية، في حين تنتج خلطات الحجر الكلسي والصلصال مواد كلسية مائية. وتنتج المعالجات اللاحقة طيفاً من المنتجات المبيّنة في الشكل 1.3. يصنف المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 459-1:2001) الكلس الهوائي أو اللامائي وفقاً لمحتواه من أكاسيد الكالسيوم والمغنزيوم، والكلس المائي وفقاً لمقاوماته للضغط (جدول 1.3).



(الشكل 1.3) أنواع كلس البناء.

(الجدول 1.3) أنواع كلس البناء

التسمية	الرمز
كلس الكلسيوم 90	CL 90
كلس الكلسيوم 80	CL 80
كلس الكلسيوم 70	CL 70
كلس دولوميتي 85	DL 85
كلس دولوميتي 80	DL 80
كلس مائي 2	HL 2
كلس مائي 3.5	HL 3.5
كلس مائي 5	HL 5
كلس مائي طبيعي 2	NHL 2
كلس مائي طبيعي 3.5	NHL 3.5
كلس مائي طبيعي 5	NHL 5

ملاحظات:

تُصنَّف المواد الكلسية اللامائية أو الهوائية أيضاً بحسب ما ينتج عنها ـ الكلس الحي (Q)، الكلس المتميه (S)، الكلس الدولوميتي شبه المتميه [هايدروكسيد الكالسيوم وأوكسيد المغنزيوم] (S1) والكلس الدولوميتي التام التميه [هايدروكسيد الكالسيوم وهايدروكسيد المغنزيوم] (S2).

المواد الكلسيّة اللامائية أو الهوائية

عند حرق الحجر الكلسي والطبشوري ينتج الكلس الحيّ (Quicklime or Lump Lime) أو أوكسيد الكالسيوم. تشمل المواد الكلسيّة الحية كلسَ الكالسيوم (CL) والكلس الدولوميتي (DL) اعتماداً على تركيب المادة الخام الأولية وفق ما هو محدَّد في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 459-1:2001). ويحتوي الكلس الدولوميتي على كميات لا بأس بها من أوكسيد المغنزيوم.

$$CaCO_3 \xrightarrow{950^{o}C} CaO + CO_2$$

كربونات الكالسيوم — كلس — ثاني أوكسيد الكربون

إطفاء الكلس

الإطفاء (Slaking)، أي إضافة ماء إلى الكلس الحي، هو تفاعل مولّد للحرارة بشكل كبير. تُنتج الإضافة المضبوطة للماء إلى الكلس الحي الكلس المتميّه (S) (Hydrated lime) (بشكل أساسي هيدروكسيد الكالسيوم) كمسحوق جاف.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

كلس — ماء — هيدروكسيد الكالسيوم

يعدّ الكلس المتميّه مناسباً للاستعمال في الملاط أو في صناعة بعض أنواع البلوك الخرساني المسامي. عادة تزيد إضافة الكلس إلى الملاط الإسمنتي أو الطينة أو طينة الجص من خواص احتفاظها بالماء، وبالتالي احتفاظها بقابلية التشغيل، وبشكل خاص عند تطبيق المادة على سطوح ماصّة كالآجُرّ المسامي. كما أن الكلس يزيد من تماسك (Cohesion) خلطات الملاط مما يسمح لها بالامتداد بشكل أسهل. يمتصُّ الكلس المتميّه الرطوبة وثاني أوكسيد الكربون من الجو، لذلك لا بدَّ من تخزينه في بناء بارد مَحمي من التيارات الهوائية (Draught-Free Building) واستعماله وهو طازج.

معجونة الكلس

يتم إنتاج معجونة الكلس بإطفاء الكلس الحي بكمية زائدة من الماء لعدة أسابيع حتى الحصول على نسيج مائع (Creamy Texture). وبديلاً من ذلك، يمكن تصنيعها بتحريك الكلس المتميّه بالماء ومن ثمّ تهويته لمدة أربع وعشرين ساعة على الأقل. إلا أن الإطفاء المباشر التقليدي للكلس الحي يُعطي حبيباتٍ أكثر

نعومة في الروبة (Slurry)، ويتمُّ الحصول على أفضل معجونة كلس عبر إنضاجها لمدة ستة شهور على الأقل. يمكن أن تخلط معجونة الكلس مع الإسمنت البورتلاندي في الملاط كون خاصية احتفاظها بالماء أكبر من تلك التي يُبديها الكلس المتميّه. إضافة إلى ذلك، غالباً ما تخُلط معجونة الكلس مع الرمل لتشكيل حشوة خشنة (Coarse Stuff)، تستعمل مباشرة كملاط كلسي نقي بشكل خاص في أعمال التجديد والصيانة. تتجمد المعجونة، لا من طريق التفاعل مع الرمل والماء، بل فقط بواسطة الكربنة (Carbonation)، لذا توصف بأنّها لامائيّة. يصنع طلاء الكلس كغطاء سطوح تقليدي بإضافة ماء كافٍ إلى معجونة الكلس لإنتاج نسيج مائع رقيق.

الكربنة

يتصلّب الكلس بواسطة امتصاص ثاني أوكسيد الكربون من الجو الذي يعيد تدريجياً أوكسيد الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم.

$$Cao + CO_2 \rightarrow Caco_3$$

كربونات الكالسيوم ثاني أوكسيد الكربون كلس

إنّ عملية الكربنة بطيئة كونها محكومة بانتشار ثاني أوكسيد الكربون في جسم المادة. عند إضافة الرمل أو حصويات غبار الحجر إلى معجونة الكلس لتشكيل ملاط أو طينة، فإنّ المسامية المتزايدة تسمح بوصول أكبر لثاني أوكسيد الكربون وبالتالي حصول عملية كربنة أسرع. ينبغي أن لا يزيد المقاس الأعظمي للحصويات المخلوطة مع الكلس على نصف عرض وصلة الملاط.

الكلس المائي

تصنع المواد الكلسيّة المائية (Hydraulic Limes) من حجر الطبشور أو الحجر الكلسي المحتوي نسباً مختلفة من شوائب الصلصال. وتمتلك المادة الناتجة بعض خواص الإسمنت البورتلاندي، وتتصلّب جزئياً من خلال عمليات الإماهة، لا بعملية الكربنة فقط التي تحدث مع كلس أوكسيد الكالسيوم النقي اللامائي. أمّا المواد الكلسيّة المائية الغنية بشوائب الصلصال فهي أكثر مائيةً وتتجمّد بسرعة أكبر من تلك التي تحتوي فقط محتوىً منخفضاً من السيليكا والألومينا. وتُقسم المواد الكلسيّة المائية الطبيعية بشكل تقليدي إلى الفئات التالية اعتماداً على محتواها من الصلصال: المواد الكلسيّة الضعيفة المائية بمحتوى صلصال يتراوح بين 0 و 8%،

والمواد الكلسيّة المتوسطة المائية بمحتوى صلصال يتراوح بين 8 و 18٪، والمواد الكلسيّة القوية المائية بمحتوى صلصال يتراوح بين 18-25%. هذه الأصناف التقليدية تمتلك مقاومات ضغط تعادل تريباً 2 و3.5 و5 .MPa على الترتيب بالنسبة للأصناف (NHL2) و(NHL3.5) و(NHL5) بعمر 28 يوماً. ويستعمل ملاط الكلس القوي المائية لأعمال البناء في الحالات المكشوفة، أما ملاط الكلس المتوسط المائية فيستعمل في معظم تطبيقات أعمال البناء العادية، في حين يُعدُّ ملاط الكلس الضعيف المائية ملائماً لأعمال الترميم وتشييد الجدران الصلبة. ولا يزال الكلس الرمادي شبه المائي يُنتَج في المملكة المتحدة بكميات قليلة من حجر الطبشور المحتوي نسبةً من الصلصال. ويستعمل هذا الكلس مع الآجُرّ الطري جداً وفي أعمال الترميم. ويتمُّ إنتاج المواد الكلسيّة المائية الطبيعية (Natural Hydraulic Limes) (NHLs) بحرق الحجر الطبشوري والحجر الكلسي في حين يتم إنتاج المواد الكلسيّة المائية (Hydraulic Limes) (Hls) بخلط المكونات بنسب ملائمة.

يستعمل الكلس المائي، الذي يتمّ عادةً توريده من فرنسا، بالدرجة الأولى في ترميم (Restoration) المباني التاريخية، حيث يكون من غير الملائم استعمال المواد الحديثة، ويُمزَج مع الرمل فقط لإعطاء خلطة تجمُّدها الأوليّ يكون في غضون ساعات قليلة، لكنها تتصلّب بعد فترة أطول من الزمن. تلتصق خلطات الطينة أو الملاط القابل للتشغيل بشكل جيّد وتنخفض أخطار التشقّق وضعف الالتصاق لأنَّ المادة مرنة. يكون الملاط الجاف أبيض مائلاً للصفار (Off-White)، ويحتوي كمية قليلة جداً من القلويّات التي يمكن أن تسبب التبقيع في ملاط الإسمنت البورتلاندي، وخصوصاً على الحجر الكلسي. ويمكن أن يستعمل الكلس المائي في طلاءات الكلس الداخلية ولتثبيت بلوكات الآجُرّ الزجاجي، حيث يتطلّب الأمر عنصر ربط مرن بانكماش أصغري. وعلى عكس الكلس المتميّه يُعدُّ الكلس المائي قليل التأثُّر لدى تعرضه للهواء الجاف أثناء التخزين.

ملاط الكلس

ذُكِرَ العديد من فوائد الملاط الكلسي مقارنة بملاط الإسمنت البورتلاندي. فإنتاج كلس البناء يستهلك طاقة أقل، مخفّضاً بالتالي من انبعاثات غازات الدفيئة (Greenhouse Emissions) مقارنة بتصنيع مماثل للإسمنت البورتلاندي. كما أن عملية الكربنة اللاحقة تزيل (Co_2) من الجو. ويبقى الملاط المعتمد على الكلس مرناً بشكل كافٍ للسماح بالحركة الحرارية والرطوبة. إضافةً إلى ذلك، يؤدي وجود

كلس غير مكربن إلى إغلاق أيّة شقوق صغيرة بفعل ماء المطر. إنّ إعادة تدوير وحدات الآجُرّ والبلوك أكثر سهولة نتيجة الالتصاق الأكثر انخفاضاً للملاط. ويعدّ استعمال ملاط الكلس في التشييد صحيّاً أكثر من أعمال البناء بالإسمنت البورتلاندي، ويعدّ ملاط الكلس مقاوماً أكثر لهجوم الكبريتات من خلطات الإسمنت البورتلاندي لاحتوائها كمية أقل من ألومينات ثلاثية الكالسيوم.

يقع ملاط الكلس النموذجي ضمن المجال واحد إلى اثنين، وواحد إلى ثلاثة، بنسبة الكلس إلى الحصويات. الخلطة بنسبة واحد كلس إلى اثنين رمل، المصنّعة بكلس من الصنف (NHL3.5) تعادل تقريباً التسمية (iii) من الصنف الملاط (M4) وفقاً للمعيار البريطاني (Bs 5628-1)، بينما تقارب الخلطة بنسبة واحد كلس إلى ثلاثة رمل التسمية (iv) لخلطة إسمنت بورتلاندي من الصنف (M2). لذا يجب أن يستعمل رمل حادٌّ جيد التدرج. وبسبب بُطء عملية الكربنة، تكون ارتفاعات البناء محدودة، ويجب أن يُعطى الملاط بعض الوقت ليتجمّد، ولمنع هروبه من الوصلات، بحيث يحدث تصلُّب قليل عند درجات الحرارة الأقل من خمس درجات مئوية.

وأخيراً سيتم إدراج استعمال ملاط الكلس في ملحق للاستعمال بالمعيار البريطاني (Bs 5628-1:2005).

كلس القنّب

يزرع القنّب بشكل خاص في فرنسا، لأليافه التي تستعمل في تصنيع بعض أصناف الورق. ثلاثة أرباع سيقان القنب المتبقيّة (Hemp Stalks) المعروفة ببقايا القنّب (Hemp Hurd)، هي مادة ماصّة خفيفة الوزن لها مظهر نشارة الخشب الناعمة (Fine Wood Chips). عند خلطها مع الكلس المائي تنتج خليطاً إسمنتياً يتجمد خلال ساعات قليلة ويتبلور إلى جسم صلب خفيف الوزن نتيجة محتوى السيليكا المرتفع لساق القنب. يمكن صبّ خلطة المادة وفرشها أو رشها حسب الطلب، ويمكن فك القالب بعد أربع وعشرين ساعة أو أقل. وللمادة المتجمّدة التي يُشار لها أحياناً بخرسانة القنب (Hempcrete) خواص عزل حراري جيّدة وملمس شبيه بملمس الفلّين، وتستعمل هذه المادة في تشييد الأرضيات وفي الجدران باستعمال القوالب من الخشب المعاكس (Plywood Formwork)، وأيضاً في وحدات البلوك لأعمال بناء البلوك. وتستعمل المادة كذلك كمادة مالئة صلبة

للمباني ذات الأطر الخشبيّة. في هذه الحالة يوفر اجتماع خواص القنب الماص للرطوبة مع طبيعة الكلس، بعض الحماية للأطر الخشبية التي تغلفها. خواص امتصاص الرطوبة لكلس القنب تعطي كفاءات حرارية أعلى من تلك المحسوبة للمادة بالاعتماد على معطيات الناقلية الحرارية التقليدية. يتطلب بناء منزل تقليدي نحو 40 m^3 من كلس القنب الذي يحتوي 7 إلى 10 أطنان من القنب، أي ما ينتجه هكتار واحد من الأرض تقريباً.

طينة الكلس الخارجية

يتمّ تطبيق طينة الكلس الخارجية (External Lime Rendering) عادة في نظم ثنائية أو ثلاثية الطبقات (الوجوه) (Two - Or Three-Coat System)، لإعطاء سماكة إجمالية حتى 30 mm. وفي الحالات المكشوفة، يستعمل الكلس المائي، ويمكن تسليح الطبقة الأولية الأثخن بشعر الخيل. ويمكن أن يسوّى الوجه النهائي بالمالج تمهيداً لإنهائه بالدهان، ويمكن بديلاً من ذلك تطبيق طبقة حصوية (Pebble Dash) أو ملاطاً خشناً (Rough Cast).

الإسمنت

تصنيع الإسمنت البورتلاندي

يُصنَع الإسمنت البورتلاندي من كربونات الكالسيوم في شكل حجر كلسي مكسّر أو حجر طبشوري ومادة طينية (Argillaceous) كالصلصال (Clay)، أو المارل (Marl) أو الطفْل [الصخر الطيني] (Shale). حالياً يعتمد نحو ثلثي إنتاج المملكة المتحدة من الإسمنت البورتلاندي على الحجر الكلسي، أمّا الباقي فعلى الحجر الطبشوري من جنوب وشرق البلاد. ويمكن إضافة مكوّنات ثانوية كأوكسيد الحديد أو الرّمل اعتماداً على تركيب المواد الخام والمنتج الدقيق المطلوب. تنطوي العملية أساساً على نزع الكربون من كربونات الكالسيوم (الطبشور أو الحجر الكلسي) بطرد ثاني أوكسيد الكربون، وتلبيد (Sintering) أوكسيد الكالسيوم الناتج (الكلس) مع الصلصال وأوكسيد الحديد عند نقطة الانصهار الأولي (Incipient Fusion). اعتماداً على المواد الخام المستعملة ومحتواها من الماء عند الاستخراج، تمّ تطوير أربعة متغيرات رئيسة في عملية التصنيع. وهي **العمليات الرطبة ونصف الرطبة ونصف الجافة والجافة.**

العملية الرطبة

لا تزال العملية الرطبة (الشكل 2.3)، التي كانت الممهّدة للتطورات الأخرى، تستعمل في بعض المناطق لمعالجة حجر الطبشور وصلصال المارل (Marl Clay). يخلط الصلصال مع الماء لتشكيل روبة عند إزالة الرمل الزائد بالترسيب. تحضَّر روبة مكافئة من الحجر الطبشوري الذي يخلط مع روبة الصلصال ويغربل لإزالة أية مادة خشنة ويخزن في خزانات روبة كبيرة. بعد الخلط النهائي، تتمُّ تغذية الروبة في قمة أفران كبيرة تدور ببطء. هذه الأفران التي هي أسطوانات فولاذية مبطنة بالآجُرّ الناري المقاوم للحرارة بطول حتى 200 m، يتمّ إشعالها حتى درجة حرارة 1450 درجة مئوية تقريباً، عادةً بالفحم الحجري المطحون (Pulverized Coal). تجفّف الروبة، وتُكلّس وأخيراً تلبّد إلى كتل قاسية رمادية/ سوداء من كلنكر الإسمنت.

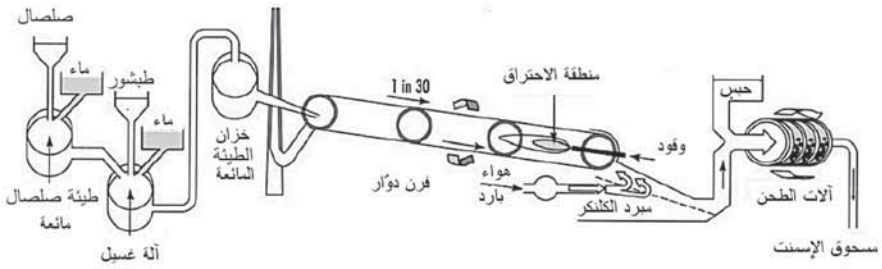
تطوّر رئيس في الحفاظ على الطاقة تجلّى في التخلص من أو الخفض في محتوى ماء الروبة المطلوب في عملية التصنيع، باعتباره يستهلك كميات كبيرة من الطاقة الحرارية خلال التبخُّر.

العملية نصف الرطبة

في هذه العملية يتم إذابة الطبشور في الماء وخلطه في روبة صلصال المارل. يخفض محتوى الماء ضمن الروبة من 40% إلى 19% في مكبس الترشيح (Filter Press). تحوَّل كعكة الترشيح الناتجة (Filter-Cake) إلى درنات (Nodularised) بالبثق (Extrusion) على شبكة متحركة للتسخين المسبق (Travelling Preheater Grate) أو تخفَّض في كسّارة/ مجفف (Crusher/ Dryer) إلى كريّات (Pellets)، وتُسخّن إلى درجة حرارة بين 900 و1100 مئوية في دوّامات برجية (Tower Cyclones) تُكلسن مقدّماً الطبشور، ويتم تحويل الخلطة بعدها لمدة قصيرة إلى فرن حرارته 1450 درجة مئوية لإنجاز عملية الكلنكرة (Clinkering Process).

العملية نصف الجافة

في العملية نصف الجافة (Semi-Dry Process) يتم خلط مساحيق من الطفْل الجاف والحجر الكلسي، ويضاف الماء بنسبة 12% لـتحويل الخليط إلى عُقد (Nodularise) ثم يكلسن مقدّماً، ويخضع لعملية الكلنكرة كما في الحالة نصف الرطبة.



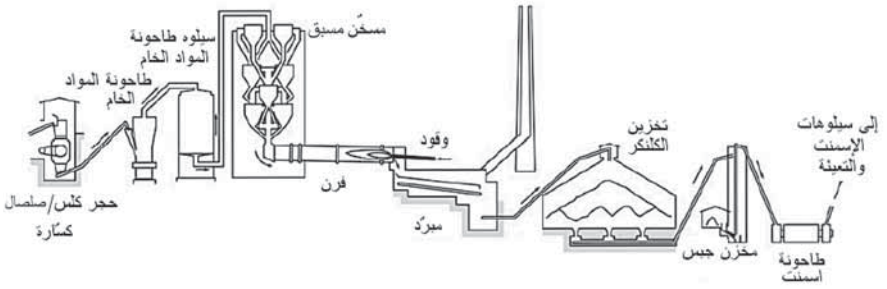
(الشكل 2.3) صناعة الإسمنت البورتلاندي ـ العملية الرطبة.

العملية الجافة

في العملية الجافة (Dry Process) (الشكل 3.3) يتمُّ طحن الحجر الكلسي والصخر الطيني والرمل نموذجياً (بالنسب 80% و 17% و 3% على التوالي)، إلى مساحيق ناعمة، ثم خلطها لإنتاج الطحين الجاف (Dry Meal) الذي يخزَّن في صوامع. يتمّ تمرير الطحين الجاف عبر سلسلة من الدوّامات (Cyclones)، بدايةً باستعمال غازات الفرن المستعادة (Recovered Kiln Gases) لتسخينه مقدّماً إلى درجة حرارة 750 درجة مئوية، ثم مع الوقود المضاف لكلسنته مقدّماً عند درجة 900 مئوية، قبل تمريره إلى فرن ذي دوران سريع (Fast-Rotating 60 M Kiln) بطول 60 m للكلنكرة عند الدرجة 1450 درجة مئوية. في جميع هذه العمليات، من الضروري تغذية الفرن بالمواد الخام المخلوطة بشكل كامل للمحافظة على ضبط جودة المنتج. تعمل معظم المعامل بشكل أساسي بالفحم الحجري المسحوق، لكن يمكن استعمال أنواع أخرى من الوقود عند توفرها كالكوك البترولي (Petroleum Coke)، أو شرائح الإطارات التالفة (Waste Tyre Chips)، أو بقايا مصانع الوقود اللادخاني (Smokeless Fuel Plant Residues)، أو أكوام الفحم الحجري التالفة المستصلحة (Reclaimed Spoil Heap Coal). وقد استُعمل النفط (Oil) والغاز الطبيعي (Natural Gas) والغاز الناتج من مكبات النفايات (Landfill Gas)، عند جدواها اقتصادياً. يُبرّد الكلنكر الرمادي المائل للسواد المصنع بالعمليات كافّة، مع استعادة كاملة للحرارة، ويطحن مع إضافة الجبص (كبريتات الكالسيوم) بنسبة لا تتعدى 5% لتأخير التصلّب، مما يمنع تجمّد الإسمنت بسرعة فائقة.

مطاحن الإسمنت الأقدم هي ذات دارة مفتوحة (Open Circuit)، تسمح

بمرور الكلنكر مرة واحدة، وتنتج طيفاً واسعاً من حجم الذرات (Particle Size). يستعمل هذا المنتج عموماً لإنتاج الخرسانة. مطاحن الإسمنت الأحدث هي ذات دارة مغلقة مزوّدة بفارزات هوائية (Air Separators) لاستخلاص المواد الناعمة، وإعادة تدوير الحبيبات ذات الحجم الزائد على الحد لإعادة طحنها. يستعمل هذا المنتج كثيراً في سوق الخرسانة الجاهزة (Ready-Mixed Market)، حيث يمكن أن يتم التحكم فيه لإنتاج إسمنت بمقاومات أعلى متأخرة. لتخفيض تكاليف الطحن، يقبَل المصنّعون الترشيد، ويستعملون الكهرباء خارج وقت الذروة ما أمكن. يخزّن الإسمنت البورتلاندي في صوامع قبل نقله بشكل سائب [فرط غير معبأ] في الطرقات أو السكك أو في أكياس ورقية، ويزن الكيس القياسي خمسة وعشرون كيلوغراماً لمبررات تتعلّق بالصحة والسلامة.



(الشكل 3.3) صناعة الإسمنت البورتلاندي ـ العملية الجافة.

باستعمال العملية الجافة والزيادات الإضافية في كفاءة الطاقة، فإنّ طناً واحداً من الفحم الحجري المطحون يمكن أن ينتج حالياً ما يزيد على ستة أطنان من كلنكر الإسمنت، مقارنة مع ثلاثة أطنان يتم انتاجها بالطريقة الرطبة التقليدية. بما أن صناعة الإسمنت هي من الصناعات الكبيرة جداً، فإنّ الناتج الإجمالي لثاني أوكسيد الكربون المنبعث إلى الجو من الوقود ومن الإزالة الضرورية للكربون من الحجر الكلسي والطبشور يمثل نحو 2% من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون في بريطانيا، ونحو 7.5% حول العالم. وفقاً لبيانات المسح الجيولوجي البريطاني في عام 2005، فإن المملكة المتحدة وافقت على خفض استهلاك الطاقة بشكل أولي بنسبة 25.6% لكل طن إسمنت تنتجه بحلول العام 2010 مقارنة بنظيره في العام 1990. تعدُّ انبعاثات أكاسيد الكبريت من الوقود منخفضة كون هذه الغازات يتم اصطيادها في كلنكر الإسمنت، إلا أن هروب أكاسيد النيتروجين والغبار، التي

تصطاد معظمها المرسبات الكهربائية الساكنة (Electrostatic Precipitators)، يمكن ضبطها فقط بالتحسين المستمر لتقنيات التصنيع. اعتماداً على الإنتاج النهائي للخرسانة، فإنّ صناعة الإسمنت تطلق ثاني أوكسيد الكربون للطن الواحد بشكل أقل بكثير من تلك التي تطلقها صناعة الفولاذ، إلا أنّ الكتل النسبية للمباني المتكافئة، وإمكانية إعادة التدوير لكل منهما يجب أن تؤخذ في الحسبان. يعتمد حالياً نحو ثلاثة أرباع إنتاج الإسمنت الأوروبي على الطريقة الجافة.

تركيب الإسمنت البورتلاندي

المواد الأوّلية للإسمنت البورتلاندي هي حجر الطبشور أو الحجر الكلسي والصلصال، وهي تتألّف بشكل أساس من الكلس والسيليكا والألومينا وأوكسيد الحديد. يوضح الجدول 2.3 تركيباً نموذجياً للإسمنت.

تقدّر نسبة المكونات الثانوية المشتملة على أوكسيد المغنزيوم وثالث أوكسيد الكبريت وأكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم بنحو 2%. إنّ وجود الأكاسيد القلوية بنسب صغيرة يمكن أن يكون سبباً لحدوث تفاعل السيليكا مع القلويات (Alkali-Silica Reaction) الذي يؤدّي إلى تشقق الخرسانة عند استعمال بعض أنواع الحصويات التي تحتوي على السيليكا. تتفاعل هذه المركبات مع بعضها البعض، خلال عملية الكلنكرة لإنتاج المكونات الأربعة الرئيسة للإسمنت البورتلاندي (الجدول 3.3).

الجدول 2.3 التركيب النموذجي للمواد الأولية لصناعة الإسمنت البورتلاندي

المركب	النسبة المئوية
الكلس	68
السيليكا	22
الألومينا	5
أوكسيد الحديد	3
أكاسيد أخرى	2

الجدول 3.3 المركبات الرئيسية للإسمنت البورتلاندي وخواصها النوعية

المركب	الصيغة الكيماوية	رموز الإسمنت	الخواص
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.SiO_2$	C_3S	تصلب سريع يعطي مقاومة مبكرة ونشر سريع للحرارة
سيليكات ثنائية الكالسيوم	$2CaO.SiO_2$	C_2S	تصلب بطيء يعطي تطوراً بطيئاً للمقاومة ونشر بطيء للحرارة
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	ترسب سريع يتم تأخيره بالجبس، تصلب سريع للحراة ولكن مقاومة نهائية أقل، عرضة لهجوم الكبريتات
ألومينو جديد رباعي الكالسيوم	$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2\ O_3$	C_4AF	تصلب بطيء بسبب اللون الرمادي في الإسمنت

تؤثّر الحصص النسبية لهذه المكونات الرئيسة بشكل كبير في الخواص النهائية لأنواع الإسمنت، لذلك تُعايَر في عملية التصنيع لإنتاج المجال المطلوب للمنتج. يعرض (الجدول 4.3) تراكيب نموذجية لأنواع الإسمنت البورتلاندية.

الجدول 4.3 التراكيب النموذجية للإسمنتات البورتلاندية

نوع الإسمنت	التركيب				النعومة (m^2/kg)
الصنف	$\%C_3S$	$\%C_2S$	$\%C_3A$	$\%C_4AF$ الإسمنت	
البورتلاندي	42.5	55	20	10 8	340
	52.5	55	20	10 8	440
الإسمنت البورتلاندي الأبيض	62.5	65	20	5 2	400
الإسمنت البورتلاندي المقوم للكبريتات	42.5	60	15	2 15	380

إنّ تخفيضاً صغيراً في محتوى الكلس ضمن الخلطة الأولية (Initial Mix) سيخفض كثيراً نسبة سيليكات الثلاثية الكالسيوم، وينتج زيادة مكافئة كبيرة في مكوّن سيليكات ثنائية الكالسيوم في المنتج. سيتصلّب الإسمنت المُنْتَج ببطء أكثر مع نشر أبطأ للحرارة. باعتبار أن ألومينات ثلاثية الكالسيوم عُرضة للهجوم بالكبريتات المنحلّة، لذلك تُخَفَّض نسبة هذا المكوّن في صناعة الإسمنت المقاوم للكبريتات.

وفقاً للمعيار البريطاني (BS EN 197-1:2000)، عدا حالة الإسمنت المقاوم للكبريتات، فإنه يمكن أن يُضاف للإسمنت مكوّنات إضافية ثانوية بنسبة تصل إلى 5%. ينبغي أن لا تزيد هذه المواد المالئة متطلبات الماء للإسمنت، أو تخفّض ديمومة الملاط أو الخرسانة المنتجة، أو تُسبِّب تآكلاً متزايداً لأي تسليح فولاذي. ففي المملكة المتحدة تشمل المواد المالئة النموذجية مسحوق الحجر الكلسي والمسحوق الجاف (Dry Meal) أو المادة المكلسنة جزئياً من عمليات تصنيع الإسمنت.

تيبُّس وتصلُّب الإسمنتات البورتلاندية

يشكّل الإسمنت البورتلاندي المائي عند خلطه مع الماء عجينة تتيبّس وتتصلّب نتيجةَ تفاعلات كيميائية مختلفة بين المركّبات الرابطة والماء. فالتيبّس والتصلّب غير معتمدين على التجفيف، ففي الواقع يتصلّب الإسمنت البورتلاندي تحت الماء. نسبة صغيرة فقط من الماء المضاف هي فعلياً المطلوبة للإماهة الكيميائيّة لمكوّنات الرابطة لتحويلها إلى سيليكات الكالسيوم المائية (Hydrated Calcium Silicates). يلزم الماء الإضافي لضمان قابليّة تشغيل الخلطة عند إضافة الحصويات، فيصبح، على سبيل المثال، صبُّ الخرسانة ممكناً بنجاح في القالب المحتوي على التسليح الفولاذي. الماء الزائد على ما هو مطلوب للإماهة سيتبخَّر في النهاية تاركاً مسامات شَعرية في منتجات الخرسانة والملاط. عموماً، إنّ زيادة في حجم الفراغات بمقدار 1% تخفض مقاومة الكسر بمقدار 6%. لذلك من الضروري ضبط محتوى ماء الخلطة بعناية بالإشارة إلى ما هي نسبة الماء إلى الإسمنت (W/ C). أقل نسبة من ماء إلى إسمنت مطلوبة لإماهة كلّ الإسمنت هي 0.23، على الرغم من أنه عندما يتميّه مسحوق الإسمنت فإنه يتمدّد، وبالتالي إنّ النسبة 0.36 تمثّل النقطة التي عندها يملأ هلام الإسمنت (Cement Gel) كلّ حيز

الماء. إلا أنَّ نسبة الماء إلى الإسمنت المساوية 0.42 تمثّل بشكل أكثر واقعية محتوى الماء الأدنى المطلوب لتحقيق إماهة كاملة من دون الحاجة لماء إضافي يتم امتصاصه خلال عملية الإنضاج (Curing).

يجب التمييز بين عمليتي التيبّس والتصلّب. فالتيبّس/ هو تجمّد (Stiffening) معجونة الإسمنت التي تبدأ بعد فترة قصيرة جدّاً من خلط الإسمنت مع الماء. ولأنّ المكوّنات الرابطة الرئيسة تتيبّس بسرعات مختلفة، فمن المناسب الإشارة إلى التيبّس الأولي والتيبّس النهائي. على نحو نموذجي يحدث التيبّس الأولي أو تشكّل هلام لدن (Plastic Gel) بعد ساعة، ويحدث التيبّس النهائي أو تشكّل هلام قاس (Rigid Gel) في غضون عشر ساعات. حيث يتمُّ ضبط عملية التيبّس بواسطة كمية الجبص المضافة إلى الإسمنت في المراحل النهائية للإنتاج. أما التصلّب فهو اكتساب عجينة الإسمنت المتيبّسة المتانة تدريجياً، وهي عملية تستمر، وإن بمعدلات متناقصة، على مدى أيام وشهور وسنوات. يحكم سرعة التصلّب بشكل جزئي التنوعُ المتدرّج لحجم الحبات لمسحوق الإسمنت. كما أن الإسمنت المطحون بشكل ناعم يتميّه بسرعة، ولهذا يبدأ التيبّس والتصلّب بسرعة أكبر. علاوة على ذلك، فإنه للحصص النسبية لسيليكات ثلاثية الكالسيوم وسيليكات ثنائية الكالسيوم تأثير كبير في سرعة التصلّب، كما هو موضح في الجدول 3.3.

خلال الإماهة، فإن أيّة أملاح صوديوم وبوتاسيوم موجودة في الإسمنت البورتلاندي تتحرّر في الماء الموجود داخل مسام الخرسانة مؤدياً إلى ارتفاع قلويّة الخليط. وهذا يمنع بشكل فاعل تآكل أي فولاذ تسليح مدفون في الخرسانة، ولكن في حال وجود سيليكا نشطة في أي نوع من الحصويات، يمكن أن تتفاعل لتشكيل هلام قلوي سيليكاتي يمتصُّ الماء وينتفخ ويسبِّب تشقُّق الخرسانة. لكن يمكن منع تفاعل السيليكا مع القلوي بشكل فاعل بالحدِّ من المحتوى القلوي الإجمالي في الإسمنت إلى أقل من 3 $kg./m^3$ (يحدِّد مصنّعو الإسمنت عادة المحتوى القلوي بالعلاقة مع النسبة المئوية المكافئة لأوكسيد الصوديوم).

أنواع الإسمنت

تُصنَّف أنواع الإسمنت أساساً وفقاً للمكونات الرئيسة، كالإسمنت البورتلاندي أو إسمنت الفرن العالي. إضافة إلى ذلك، يمكن أن تكون هناك مكونات ثانوية حتى 5%، وإضافات حتى 1% من الوزن.

يضع المعيار البريطاني (BS EN 197-1:2000) خمسة أنواع رئيسة للإسمنت هي:

CEM I	الإسمنت البورتلاندي
CEM II	الإسمنت البورتلاندي المركّب
CEM III	إسمنت الفرن العالي
CEM IV	الإسمنت البوزولاني
CEM V	الإسمنت المركب

في هذه الأنواع الخمسة الرئيسة، يُسمح بإدراج مجال واسع من المكونات الإضافية بما فيها دخان السيليكا والبوزولانا الطبيعية أو الصناعية، والرماد المُتطاير الكلسي أو السيليكوني، والصخر الطيني المحروق. المجال الكامل للمنتجات موضّح في الجدول 5.3، لكنّها ليست جميعها متوفرة تجارياً في المملكة المتحدة. يشمل الإنتاج المعياري الحالي، إضافةً إلى الإسمنت البورتلاندي، الإسمنت البورتلاندي الكلسي والإسمنت البورتلاندي المخلوط مع الرماد المتطاير، وإسمنت الفرن العالي المنخفض المقاومة المبكّرة، لكن هذه الأنواع المركّبة تشكّل نحو 5% فقط من سوق المملكة المتحدة. ولإسمنت ألومينات الكالسيوم (المعروف أيضاً بالإسمنت العالي الألومين HAC) صيغة مختلفة كليّاً بالمقارنة مع طيف الإسمنتات البورتلاندية المعتمدة على سيليكات الكالسيوم.

تصنيف متانة الإسمنت

تعتمد الأصناف القياسية لمتانة الإسمنت على مقاومة الضغط لمواشير ملاط بعمر 28 يوماً، تتم صناعتها واختبارها وفقاً لمتطلبات المعيار البريطاني (BS EN 196-1:2005). يستعمل الاختبار عينات 40x40x160 mm، يتمّ صبها وفقاً للجنة الأوروبية للمعايرة (CEN) من خلطة من ثلاثة أجزاء من رمل قياسي وجزء من الإسمنت ونصف جزء من الماء. حيث يتم رج العينة وإنضاجها إلى التوقيت المناسب، ثم تكسيرها إلى نصفين واختبارها على الضغط عبر الوجه 40 mm. وتستعمل ثلاث عينات لتحديد القيمة الوسطية من القطع الست.

لكل صنف متانة للإسمنت (42.5, 32.5 و 52.5) صنفان فرعيان مقترنان بـ

(R) للمتانة المبكرة المرتفعة، و(N) للمتانة المبكرة العادية، الجدول 6.3 يعطي أصناف المتانة والأصناف الفرعية لمعايير إنتاج أنواع الإسمنت، لكنها لا تحدّد كيف سيكون أداء خلطة معينة من الإسمنت والحصويات والإضافات كخرسانة. حيث يحتاج هذا إلى التحديد باختبار منفصل.

الإسمنت الأكثر شيوعاً واستعمالاً في المملكة المتحدة هو المعروف سابقاً بالإسمنت البورتلاندي العادي أو (OPC) وهو المسمى حالياً حسب المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 197-1:2000) كالتالي:

CEM I	42.5	N	CEM I 42.5N
نوع الإسمنت	صنف المتانة	تطور عادي للمتانة المبكرة	

الإسمنت البورتلاندي ذو المتانة المبكرة المرتفعة يسمّى كالتالي:

CEM I	42.5	R	CEM I 42.5R
نوع الإسمنت	صنف المتانة	تطوّر سريع للمتانة المبكّرة	

إسمنت الفرن العالي المنخفض حرارة الإماهة والمنخفض المتانة المبكّرة بمحتوى خبث فرن عالي محبحب يتراوح بين 81% و 95% وصنف متانة 32.5 يسمى كالتالي:

CEM III/C	32.5	L-LH	CEM III/C 32.5L-LH
نوع الإسمنت	صنف المتانة	تطوّر منخفض للمتانة المبكرة وحرارة منخفضة	

الإسمنت البورتلاندي الكلسي بمحتوى حجر كلسي يتراوح بين 6 و20% وبمحتوى عضوي إجمالي 0.5%، وصنف متانة 32.5 ومتانة مبكّرة عادية يسمّى كالتالي:

CEM II/A	L	32.5	N	CEM II/A-L 32.5N
نوع الإسمنت/ نسبة كلنكر إسمنتي	نوع فرعي حجر كلسي	صنف المتانة	تطوّر عادي للمتانة المبكّرة	

الجدول 5.3 أنواع الإسمنت وفقاً للمواصفة الأوروبية 2000 : EN 197-1 ومتانة الكبريتات وفقاً لـ BRE Special Digest 1 : 2005

الإسمنت	النوع	الرمز	محتوي كلينكر الإسمنت البورتلاندي (%)	الكركب الرئيسي الإضافي (%)	مجموعة متانة الكبريتات
الإسمنت البورتلاندي	I	CEM I	95 ـ 100	0	A
اسمنت الخبث البورتلاندي	II	CEM II/A-S	80 ـ 94	6 ـ 20	A
		CEM II/B-S	65 ـ 79	21 ـ 35	A
إسمنت دخان السيليكا البورتلاندي	II	CEM II/A-D	90 ـ 94	6 ـ 10	A
الإسمنت البوزولاني البورتلاندي	II	CEM II/A-P	80 ـ 94	6 ـ 20	
		CEM II/B-P	65 ـ 79	21 ـ 35	
		CEM II/A-Q	80 ـ 94	6 ـ 20	A
		CEM II/B-Q	65 ـ 97	21 ـ 35	
إسمنت الرماد المتطاير البورتلاندي	II	CEM II/A-V	80 ـ 94	6 ـ 20	A
		CEM II/B-V	65 ـ 79	21 ـ 35	A للصنف 21-24% D للصنف ك 25%
		CEM II/A-W	80 ـ 94	6 ـ 20	
		CEM II/B-W	65 ـ 79	21 ـ 35	
إسمنت الطفل المحروق البورتلاندي	II	CEM II/A-T	80 ـ 94	6 ـ 20	B للصنف 32.5 C للصنف ك 42.5
		CEM II/B-T	65 ـ 97	21 ـ 35	
الإسمنت الكلسي البورتلاندي	II	CEM II/A-L	80 ـ 94	6 ـ 20	B للصنف 32.5 C للصنف ك 42.5
		CEM II/B-L	65 ـ 79	21 ـ 35	
		CEM II/A-LL	80 ـ 94	6 ـ 20	
		CEM II/B-LL	65 ـ 79	21 ـ 35	
الإسمنت المركب البورتلاندي	II	CEM II/A-M	80 ـ 94	6 ـ 20	
		CEM II/B-M	65 ـ 79	21 ـ 35	

إسمنت الفرن العالي	III	CEM III/A	64 ـ 35	65 ـ 36	للمستوى المضبوط بشكل صـــارم A أو D أولمينات ثلاثية الكالسيوم
		CEM III/B	34 ـ 20	80 ـ 66	للمستوى المضبوط بشكل صارم A أو F ألومينات ثلاثية الكالسيوم
		CEM III/C	19 ـ 5	95 ـ 81	
الإسمنت البوزولاني	IV	CEM IV/A	89 ـ 65	35 ـ 11	
		CEM IV/B	64 ـ 45	55 ـ 36	E
		CEM IV/B	64 ـ 45	55 ـ 36	E (BS EN 14216)
المركب	V	CEM V/A	64 ـ 40	60 ـ 36	
		CEM V/B	39 ـ 20	80 ـ 61	
الإسمنت البورتلاندي المقاوم اللكبريتات		SRPC			G (BS 4027: 1996)

ملاحظات:

أحرف الكود المستعملة في المواصفة الأوروبية هي:

D دخان السيليكا، F مادة مالئة، K كلنكر الاسمنت البورتلاندي، L/LL الحجر الكلسي، M مخلوط، P بوزولانا طبيعية، Q بوزولانا صناعية، S خبث الفرن العالي المحبحب، T الصخر الطيني المحروق، V رماد متطاير سيليس، W رماد متطاير كلسي (الحجر الكلسي LL ذو محتوى كربون عضوي إجمالي لا يزيد على 0.2%، الحجر الكلسي L ذو محتوى كربون عضوي إجمالي لا يزيد على 0.5%) التصنيف في ما يتعلّق بمتانة الكبريتات A (متانة منخفضة) إلى G (متانة مرتفعة) (BRE Special Digest 1:2005).

VLH يشير إلى أنواع الإسمنت ذات الحرارة المنخفضة جداً (BS EN 14216: 2004).

الجدول 6.3 أصناف مقاومة الإسمنتات وفقاً للمواصفة الأوروبية (BS EN 197-1:2000)

صنف المقاومة	مقاومة الضغط (ميغا باسكال)			
	المقاومة المبكرة		المقاومة القياسية	
	الدنيا بعمر يومين	الدنيا بعمر 7 أيام	الدنيا بعمر 28 يوماً	العظمى بعمر 28 يوماً
32.5N		16.0	32.5	52.5
32.5R	10		32.5	52.5
42.5N	10		42.5	62.5
42.5R	20		42.5	62.5
52.5N	20		52.5	
52.5R	30		52.5	

ملاحظات: الأحرف المشفرة في المعايير هي: (N): التطور العادي للمقاومة المبكرة؛ (R): التطور القوي للمقاومة المبكرة

أنواع الإسمنت البورتلاندية

الإسمنت البورتلاندي (Portland Cements): أصناف المتانة 32.5 و42.5 و52.5. توافق أصناف متانة الإسمنت البورتلاندي 32.5 و42.5 و52.5 رقمياً متانتها المميّزة الدنيا بعمر 28 يوماً. وتمتلك الأصناف 32.5 و42.5 متانة مميزة عُليا تزيد على المتانة المميّزة الدنيا التي يدلّ عليها رقم الصنف MPa 20. بينما لا يمتلك الصنف 52.5 حدّاً أعلى للمتانة. إحصائياً، يجب أن تقع المتانة المختبرة بحيث لا تكون أكثر من 5% من الاختبارات الأقل من الحد الأدنى أو لا تكون أكثر من 10% من الاختبارات الأكبر من الحد الأعلى. وبالتّالي فإن للإسمنت البورتلاندي من الصنف 42.5 متانه تقع ضمن المجال 42.5-62.5 ميغا باسكال، مع السّماح بوجود ما لا يزيد على 5% من نتائج الاختبار ذات المتانة الأقل من 42.5 .MPa، وما لا يزيد على 10% من نتائج الاختبار متانتها الأكبر من MPa.62.5.

يمتلك كلُّ صنف قيم متانة مميزة دنيا بعمر يومين، باستثناء الصنف 32.5 الذي يمتلك متانة مميّزة دنيا بعمر سبعة أيام. ويستعمل الصنف 52.5 أو الصنف

52.5R عندما يكون مطلوباً الحصول على متانة مبكّرة مرتفعة بُغية السماح على سبيل المثال بالفكّ المبكّر للقالب في صناعة الوحدات الخرسانية المسبقة الصنع. وتكون هذه الأنواع البورتلاندية مطحونة بشكل أكثر نعومة من الصنف 42.5 لتمكين إماهة أسرع للإسمنت في المراحل المبكرة. يحتوي الإسمنت من الصنف 32.5 المخصص للاستعمال العام والاستعمال البيتي حتى 1% إضافات لتحسين قابلية التشغيل ومقاومة الصقيع، وحتى 5% من مكونات ثانوية إضافية كرماد الوقود المسحوق أو خبث الفرن العالي المحبحب أو مالئ الحجر الكلسي. يشكل الإسمنت البورتلاندي من صنف المتانة 90% 42.5 تقريباً من الإنتاج الإجمالي للإسمنت في المملكة المتحدة.

الإسمنت البورتلاندي الأبيض

يُصنَع الإسمنت البورتلاندي الأبيض من مواد خالية بطبيعة الحال من أوكسيد الحديد والشوائب الأخرى التي تُعطي اللون الرمادي للإسمنت البورتلاندي. يستعمل الصلصال الصيني (China Clay) والحجر الكلسي عادة، ويتمّ إشعال الفرن بالغاز الطبيعي أو النفط بدلاً من الفحم الحجري المسحوق. كما تستعمل المطاحن الخالية من الحديد في عمليات الطحن لمنع تلويث اللون. وبسبب عمليّات التصنيع الخاصة، فإنّ سعر الإسمنت الأبيض يُعادل تقريباً ضعفي سعر نظيره من الإسمنت الرمادي. ولتعزيز البياض، يمكن أن يُضاف حتى 5% من صباغ أوكسيد التيتانيوم الأبيض. والمنتج القياسي هو من صنف المتانة 52.5 N. تشمل تطبيقات الإسمنت الأبيض الطّينة وحجر الصب والخرسانة المسبقة الصنع والخرسانة البُنيوية في الموقع والكحلة (Pointing).

الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات

يعدّ الإسمنت البورتلاندي المُقاوم للكبريتات مناسباً للخرسانة والملاط التي تكون على تماس مع الترب والمياه الجوفية المحتوية على كبريتات ذائبة بنسب أقل من المستويات العظمى (مقيسة كثالث أوكسيد الكبريت) البالغة 2% في التربة أو 0.5% في المياه الجوفية. ففي الإسمنت البورتلاندي العادي تكون ألومينات ثلاثية الكالسيوم المتميّهة عرضةً لهجوم الكبريتات الذائبة، إلا أنّه في الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات تكون نسبة هذا المكون 3.5% كحدّ أقصى. وللحصول على ديمومة عظمى، لا بدَّ أن تكون الخرسانة عالية الجودة، كثيفة

وغير نفوذة. ويُعرَف الإسمنت المقاوم للكبريتات أيضاً بأنه المنخفض القلوي (LA) استناداً إلى المعيار البريطاني (BS 42027: 1996) لاحتوائه على أقل من 0.6% من قلويات (مقاسة كأوكسيد صوديوم). وبالتالي يمكّن من تصنيع الخرسانة المعمّرة، من دون خطر تفاعل سيليكا مع قلوي لاحق، بحصويات نشطة واستعمالٍ للإسمنت حتى 500 kg./ m^3 شريطة عدم وجود قلويات أخرى.

الإسمنت الخاص ذو حرارة الإماهة المنخفضة جداً

الإسمنت البورتلاندي المنخفض حرارة الإماهة (BS 1370: 1979) والمناسب للاستعمال في الخرسانة الكتلية، حيث يمكن أن يسبّب النشر الداخلي السريع للحرارة تشقُّقاً. وذلك لإنّه يحتوي نسباً أعلى من سيليكات ثنائية الكالسيوم التي تتصلّب وتنشر حرارة ببطأ أكثر. يشمل طيف الإسمنت الخاص ذو حرارة الإماهة المنخفضة جدّاً منتجات تعتمد على إسمنت الفرن العالي والإسمنت البوزولاني والمركب (BS EN 14216:2004)، وكل هذه الأنواع مدونة في الجدول 7.3. ويعدّ الإسمنت الخاصّ ذو حرارة الإماهة المنخفضة جداً مناسباً للاستعمال فقط في المباني الكتلية كالسدود لا للجسور أو الأبنية.

الجدول 7.3 الإسمنت الخاص
ذو حرارة منخفضة جداً BS EN 14216: 2004

الإسمنت	النوع	الرمز	محتوى كلنكر الإسمنت البورتلاندي (%)	المكون الرئيسي الإضافي (%)
إسمنت الفرن العالي	III	VLH III/B	34 ـ 20	80 ـ 66
		VLH III/C	19 ـ 5	95 ـ 81
الإسمنت البوزولاني	IV	VLH IV/A	89 ـ 65	35 ـ 11
		VLH IV/B	64 ـ 45	55 ـ 36
الإسمنت المركب	V	VLH V/A	64 ـ 40	خبث فرن عالي 30 ـ 18
				بوزولانا ورماد متطاير 30 ـ 18
		VLH/VB	38 ـ 20	خبث فرن عالي 50 ـ 31
				بوزولانا ورماد متطاير 50 ـ 31

الإسمنت البورتلاندي المخلوط

لا تشمل أنواع الإسمنت البورتلاندي المخلوط إسمنت أعمال البناء فقط، باستعماله النهائي النوعي، بل أيضاً الطيفَ الواسع للمواد الإضافية المصنّفة في المعيار الأوروبي (EN 197-1:2000).

إسمنت أعمال البناء

يكون ملاط الإسمنت البورتلاندي قويّاً أكثر من الضرورة، ويركّز أيّة حركة تفاضلية في أعمال الآجُرّ أو البلوك في شقوق قليلة كبيرة وغير مرئية، يمكن أن تزيد من خطر تغلغل المطر (Rain Penetration). في حين ينتج إسمنت أعمال البناء ملاطاً أضعف، يسمح ببعض الحركة التفاضليّة، ويضمن توزع الشقوق الشعرية في الوصلات، محافظاً بالتالي على سلامة الآجُرّ والبلوك. ويحتوي إسمنت أعمال البناء على مواد مالئة معدنية حافظة للماء، عادةً الحجر الكلسي المطحون، وعناصر إدخال الهواء لإعطاء قابلية تشغيل أعلى من الإسمنت البورتلاندي غير المخلوط. ولا ينبغي عادةً خلط إسمنت البناء مع إضافات أخرى، بل يُخلَط مع رمل بناء بالنسب بين واحد إلى أربعة وواحد إلى ستة ونصف وفقاً لدرجة تعرض أعمال الآجُرّ أو البلوك. ويزيد الهواء المُدْخَل أثناء الخلط من ديمومة الملاط المتصلب ومقاومته للصقيع. كما أنّ إسمنت أعمال البناء يعد مناسباً للاستعمال في الطينة، ولكن ليس لأعمال تسوية الأرضيات أو أعمال الخرسانة. لذلك يستعمل عادة كبديل للإسمنت البورتلاندي مع الكلس المتميّه أو الملدن. يمكن إدخال صباغات لاعضوية، فيما عدا تلك المحتوية على الكربون الأسود، وذلك لإضفاء أثر بصري. ويبيّن الجدول 8.3 أصناف المتانة لإسمنت أعمال البناء.

إسمنت الخبث والفرن العالي البورتلاندي

خبث الفرن العالي المحبحب المعروف سابقاً بخبث الفرن العالي المحبحب المطحون (GGBS) وهي مادة رابطة باتحادها مع الإسمنت البورتلاندي وحصويات ملائمة تنتج خرسانة تتمتع بالديمومة. وهذه المادة هي منتج ثانوي من عملية تصنيع الحديد في إطار صناعة الفولاذ. إذ تتمُّ تغذية خام الحديد والحجر الكلسي والفحم بشكل مستمر في الأفران العالية، حيث تنصهر عند الدرجة 1500 درجة مئوية في طبقتين، حيث يغوص الحديد المصهور إلى أسفل تاركاً خبث الفرن العالي طافياً على السطح فيسحب من فترة إلى أخرى. حيث يتم تبريد خبث الفرن العالي

المصهور بشكل سريع بالماء في مبرغل (Granulator) أو مكوِّر (Pelletiser) لإنتاج منتج زجاجي. وبعد التجفيف، تُطْحَن حبيبات أو كريّات خبث الفرن العالي فتتحول إلى مسحوق ناعم أبيض مائل للأصفر. ويكون تركيب المادة مشابه بشكل واسع لتركيب الإسمنت البورتلاندي كما هو موضح في الجدول 9.3.

يمكن أن يُطْحَن خبث الفرن العالي المحبّحب سويّةً مع كنكر الإسمنت البورتلاندي في مطحنة الإسمنت، بالرغم من أنّه عادة ما يُخْلَط مع الإسمنت البورتلاندي في الموقع. ويُعطي المعيار (BS EN 15167:2006) توصيف المكوّن، ويشير المعيار (BS EN 197-4:2004) إلى إسمنت الفرن العالي بخلطات من 36 إلى 80 و95% من خبث الفرن العالي المحبحب على التوالي (جدول 10.3). باستعمال 50% من خبث الفرن العالي كبديل للإسمنت البورتلاندي في خلطة نموذجية تنخفض انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون في عملية إنتاج الخرسانة ككل نحو 40%.

الجدول 8.3 أصناف المتانة لإسمنت أعمال البناء
وفقاً للمعيار BS EN 413-1:2004

أصناف المقاومة		مقاومة الضغط (MPa)
المقاومة المبكرة بعمر 7 أيام	المقاومة القياسية بعمر 28 يوماً	
MC 5	-	5 ـ 15
MC 12.5	⩾ 7	12.5 ـ 32.5
MC 12.5X	⩾ 7	12.5 ـ 32.5
MC 22.5X	⩾ 10	22.5 ـ 42.5

ملاحظات: الإسمنت البنائي صمم من قبل Mc، ويشير الحرف X، إلى أنواع الإسمنت التي لا تشتمل على عامل النفوذية.

الجدول 9.3 التركيب النموذجي لخبث الفرن العالي والإسمنت البورتلاندي

	خبث الفرن العالي المحبب (%)	الإسمنت البورتلاندي (%)
الكلس	41	68
السيليكا	35	22
الألومينا	11	5
أوكسيد الحديد	1	3
مركبات أخرى	12	2

الجدول 10.3 تركيبات إسمنت الفرن العالي المنخفض الحرارة المبكرة وفقاً للمعيار (BS EN 197-4: 2004)

التركيب	النوع	CEM III/A (%)	CEM III/B (%)	CEM III/C (%)
كلنكر الإسمنت البورتلاندي		64 ـ 35	34 ـ 20	19 ـ 5
خبث الفرن العالي		65 ـ 36	80 ـ 66	95 ـ 81
مركبات ثانوية		5 ـ 0	5 ـ 0	5 ـ 0

تمتلك الخرسانة المصنعة من مزيج من الإسمنت البورتلاندي وإسمنت خبث الفرن العالي المحبحب نفوذية أخفض من خرسانة الإسمنت البورتلاندي لوحده، وهذا يحسّن المقاومة لهجوم الكبريتات والحموض الضعيفة ومقاومة دخول الكلوريدات التي يمكن أن تسبب تآكلاً سريعاً للتسليح الفولاذي، على سبيل المثال، في البيئات البحرية وقرب الطرق المعرّضة لأملاح إذابة الجليد (De-Icing Salts). ويسهم هجوم الكبريتات أيضاً بتقليل محتوى ألومينات ثلاثية الكالسيوم. كلما كانت إماهة إسمنت خبث الفرن العالي المحبحب أكثر تدرّجاً تنشر حرارة أقل وبمعدل أبطأ من الإسمنت البورتلاندي بمفرده، وبالتالي، يمكن أن تُسْتَعْمَل خلطة بمحتوى خبث فرن عالي محبحب 70% للخرسانة الكتلية، وإلا فإنّ الارتفاع الكبير لدرجة الحرارة قد يُسبِّب التشقق. ويصاحب النشرَ البطيء للحرارة تطوّرٌ أكثر تدرّجاً للمتانة على مدى الثمانية والعشرين يوماً الأولى. إلا أنّ المتانة النهائيّة للخرسانة الناضجة تكون قريبة لمثيلتها من الإسمنت البورتلاندي. فالتيبّس الأوّلي لمزيج

خبث الفرن العالي المحبحب أبطأ من الإسمنت البورتلاندي لوحده، وتكون عندها الخلطات الخرسانية الطازجة أكثر لدونة، معطيةً انسيابية أفضل للصبّ والرصّ الكامل. ويمكن تخفيض خطر تفاعل السيليكا مع القلويات الذي تسبّبه حصويات السيليكا النشطة باستعمال خبث الفرن العالي المحبحب لتقليل محتوى القلويات النشطة في الخلطة الخرسانية إلى ما دون المستوى الحرج 3 $kg./m^3$. ويبيّن الجدول 11.3 أصناف إسمنت الفرن العالي ذي المتانة المبكرة المنخفضة.

الجدول 11.3 أصناف المتانة لإسمنت الفرن العالي
منخفض المتانة المبكرة وفقاً للمعيار (BS EN 197-4: 2004)

أصناف المتانة	متانة الضغط (MPa)		
	المتانة المعيارية بعمر 28 يوماً	المتانة المبكرة بعمر 7 أيام	
32.5L	32.5 ـ 52.5	⩾ 12	ـ
42.5L	42.5 ـ 62.5	⩾ 16	ـ
52.5L	⩾ 52.5	ـ	⩾ 10

إسمنت الرماد المتطاير والبوزولانية البورتلاندية

المواد البوزولانيّة هي مواد طبيعية أو مصنّعة، تحتوي على السيليكا التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من إماهة الإسمنت البورتلاندي، لإنتاج منتجات إسمنتيّة إضافية. ففي المملكة المتحدة قليلاً ما تستعمل البوزولانا البركانية الطبيعية، إلا أن الرماد المتطاير، المسمّى سابقاً رماد الوقود المسحوق (PFA) والناتج من فضلات محطات توليد الكهرباء التي تعمل على الفحم الحجري، يُستَعْمَل بخلطه في المصنع مع الإسمنت البورتلاندي، أو يُخلط معه في الموقع. ينضج إسمنت الرماد المتطاير البورتلاندي وينشر حرارة بمعدل أبطأ من الإسمنت البورتلاندي، لهذا فهو ملائم للاستعمال في الخرسانة الكتلية لخفض خطر التشقُّق الحراري. وتستعمل غالباً إضافات حتى 25% من الرماد المتطاير في الإسمنت البورتلاندي، وتكون الخرسانة الناتجة أكثر قتامة من خرسانة الإسمنت البورتلاندي لوحده. للخرسانة المصنوعة بإضافات تتراوح بين 25 و 40% الوزن من الرماد المتطاير في الإسمنت البورتلاندي لديه خواص جيدة لمقاومة الكبريتات. إلا أنّه

عند وجود المياه الجوفية بتركيز مرتفع من المغنيزيوم، يجب استعمال الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات. فلخرسانات الرماد المتطاير مقاومة مُحسّنة لدخول الكلوريدات، التي تسبب غالباً تآكل التسليح الفولاذي.

الرماد المتطاير الناتج في المملكة المتحدة من حرق الفحم الحجري البيتوميني المسحوق هو سيليكوني يحتوي بشكل كبير السيليكا النشطة والألومينا. إضافة إلى الرماد المتطاير السيليكوني، يسمح المعيار الأوروبي (EN 197-1:2000) باستعمال رماد متطاير كلسي يحتوي بشكل إضافي الكلس النشط، معطياً بعض خواص التيبّس الذاتي. ويحدّد المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 450-1:2005) مجال الرماد المتطاير المناسب للخرسانة. وتستعمل البوزولانا الطبيعية من أصل بركاني، والبوزولانا الصناعية من عمليات صناعية أخرى، في أوروبا مع الإسمنت البورتلاندي، وقد بوّبت في المعيار الأوروبي (EN 197-1:2000) كأصناف إسمنت بوزولانية. ولا يزال البحث جارياً لتحديد فيما إذا كان عمليّاً استعمال نسب من الرماد المتطاير أكبر من النسب الحالية المسموحة (40%) في الإسمنت البورتلاندي، باعتبار أن ذلك سيخفّض بشكل كبير انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون الصناعية.

إسمنت الحجر الكلسي البورتلاندي

لإضافة حتى 5% من مالئ الحجر الكلسي إلى الإسمنت البورتلاندي تأثير ضئيل في خواصه. وتعطي إضافة حتى 25% من الحجر الكلسي أداءً مشابهاً لأداء الإسمنت البورتلاندي ذي محتوى المواد الرابطة الأخفض تناسبياً، وبالتالي إذا كان مطلوباً الحصول على ديمومة مكافئة لديمومة الإسمنت البورتلاندي يجب زيادة محتويات الإسمنت. وتُعرَّف فئتا الحجر الكلسي إسمنت الحجر الكلسي البورتلاندي بمحتوى كربونها العضوي الإجمالي (TOC)، حيث يشير الرّمز (LL) إلى محتوى أعظمي للكربون العضوي 0.20% وL إلى محتوى 0.50٪ من الكربون العضوي كتلة.

دخان السيليكا

يتألّف دخان السيليكا أو السيليكا الدقيقة (Microsilica)، الذي هو منتج ثانوي من صناعة السيليكون والسيليكون ـ الحديدي، من كريات سيليكا فائقة النعومة. عند مزج المادة كإضافة ثانوية إلى الإسمنت البورتلاندي، وبسبب ارتفاع مساحة

سطحها، تزداد سرعة الإماهة مما يعطي الخرسانة مقاومة مبكّرة مرتفعة ونفوذية مخفّضة أيضاً، وينتج هذا بالمقابل مقاومة أكبر للهجوم الكيميائي والاهتراء. ويمكن أن يضاف دخان السيليكا حتى 5% كمادة مالئة أو في إسمنت دخان السيليكا البورتلاندي بنسبة تتراوح بين 6 و10%.

الصخر الطيني المحروق

ينتج الصخر الطيني المحروق بتسخين الصخر الطيني البترولي إلى 800 درجة مئوية في فرن. إنّه مشابه في طبيعته لخبث الفرن العالي المحتوي بشكل رئيس على سيليكات الكالسيوم وألومينات الكالسيوم، وأيضاً السيليكا والكلس وكبريتات الكالسيوم؛ وهي مادة رابطة ضعيفة. ويسمح المعيار الأوروبي (EN 197-1:2000) باستعمال الصخر الطيني المحروق كمادة مالئة حتى 5% أو بين 6 و35% في إسمنت الصخر الطيني المحروق البورتلاندي.

المواد المالئة

يمكن أن تُضاف المواد المالئة حتى 5% من الوزن إلى الإسمنت وفقاً للمعيار الأوروبي (EN 197-1:2000). وهذه المواد يجب أن لا تزيد متطلّبات الماء للإسمنت. إذ يمكن أن تكون هذه المواد أيّاً من المكونات الرئيسة البديلة المسموحة (على سبيل المثال، خبث الفرن العالي المحبحب، أو البوزولانا، أو الرماد المتطاير، أو الصخر الطيني المحروق، أو دخان السيليكا أو الحجر الكلسي)، أو أيّة مواد لاعضوية أخرى شريطة أن لا تكون موجودة سلفاً كواحدة من المكوّنات الرئيسة للإسمنت. والمواد المالئة الأكثر شيوعاً هي الحجر الكلسي ويكون إمّا كمسحوق خام أو كمادة مكلسنة جزئياً من عمليّة صناعة الإسمنت.

إضافات الإسمنت

يمكن تعريف الإضافات بأنها مواد تُضاف بكميات قليلة إلى الملاط أو الخرسانة أثناء الخلط لتعديل واحدة أو أكثر من خواصها الفيزيائيّة أو البصريّة.

الملدّنات

تُضَاف الملدّنات أو الإضافات المخفضة للماء، لزيادة قابلية تشغيل الخلطة، وبالتالي جعل عملية الصبّ والرصّ أسهل. فعندما لا يكون مطلوباً زيادة قابلية التشغيل، فإنه يمكن أن تستعمل مخفضات الماء لتقليل نسبة الماء إلى الإسمنت،

مما يؤدي، نموذجياً، إلى زيادة في المتانة بمقدار 15% وإلى ديمومة أفضل. فالملدنات التي هي عادةً ليغنوسلفونات (Lignosulphonates) أو بوليميرات هيدروكسيلية (Hydroxylated Polymers) تعمل من خلال تشتيت حبيبات الإسمنت. وقد يحدث استجرار بعض الهواء عند إضافة الليغنوسلفونات، مسبّباً تخفيضاً في قوة مقاومة الكسر قدره 6% لكل 1% من الهواء مُدخل.

الملدّنات الفائقة الأداء

عندما تُضاف ملدّنات فائقة الأداء، كالنفتالين المُكبرت (Sulphonated Naphthalene) أو الميلامين فورمالدهيد المكبرت (Sulphonated Melamine Formaldehyde)، إلى خرسانة عادية ذات هبوط مخروط 50 mm، تنتج خرسانة سائلة ذاتية التسوية أو ذاتية الارتصاص (Self-Leveling Or Self-Compacting Concrete)، يمكن صبُّها حتى مع وجود تسليح كثيف من دون ارتجاج. بديلاً من ذلك، يمكن استعمال محتويات ماء مخفّضة بشكل كبير لإنتاج خرسانات ذات متانة مبكّرة ونهائية أعلى. وبما أن تأثير الملدنات الفائقة الأداء يستمر لأقل من ساعة، فإنّ هذه الإضافة تُضاف عادة إلى الخرسانة الجاهزة في الموقع قبل تفريغها وصبّها. ويمكن أن يتمَّ إدخال إضافات خرسانية معيارية ومواد مالئة وألياف الفولاذ أو البولي بروبيلين إلى الخرسانة ذاتيّة الارتصاص التي يمكن ضخّها أو صبّها بالسطل المعدني أو الأقنية المائلة (Skip Or Chute). ويمكن الوصول إلى إنهاءات سطح خرسانية بنوعية جيدة وبشكل خاص عند استعمال قوالب خشبية. كما يمكن أن تُضبط الخلطات ذاتية التسوية لتنفيذ طبقات تسوية (أحياز مدٍّ إسمنتية) (Screeds) تتراوح سماكتها بين 3 و 20 mm، لتتحمّل حركة مرور أشخاص خفيفة بعد 3 إلى 24 ساعة. ويمكن استعمال خلطات الترميم، التي تحتوي عادةً على تسليح من حصيرة ألياف (Fibre-Mat Reinforcement)، على طيف من سطوح الأرضيات الموجودة بسماكات عادة بين 4 و30 mm.

مسرّعات التصلّب/ المسرّعات

تزيد المسرّعات سرعة التفاعل بين الإسمنت والماء وتزيد بالتالي سرعة التيبّس وتنمية المتانة. ويمكن أن يكون ذلك مفيداً في التصنيع المسبق للخرسانة، حيث يكون الفكّ المبكّر للقالب مطلوباً، وكذلك في الطقس البارد عندما تسرّع الحرارة المتولّدة عمليات التصلّب وتخفض خطر ضرر الصقيع. وينبغي أن تستعمل

في الخرسانة أو الملاط أو الملاط المائع (حقين) (Grout) ـ حيث سيُدفن فيها المعدن ـ المسرعات الخالية من الكلوريدات فقط، مثل كفورمات الكالسيوم، لأنّ مسرعات كلوريد الكالسيوم يمكن أن تسبب تآكلاً معدنياً شديداً. ولا تستعمل عادةً المسرعات التي تنتج تيبّساً سريعاً في الخرسانة البنيوية.

مبطّئات التصلّب

تنقص المبطئات، كالفوسفات وحموض الهيدروكسيكاربوكسيلية (Hydroxycarboxylic)، سرعة التيبّس وتطيل بالتالي الزمن بين الخلط الأولي والارتصاص النهائي، لكنها لا تؤثر سلباً في المتانة بعمر 28 يوماً. يمكن أن تطبّق المبطئات على القالب لتأخير الخرسانة السطحية، عندما يكون مطلوباً الحصول على إنهاء بحصويات مكشوفة من طريق الغسل بعد فك القالب. وكثيراً ما تُستَعْمَل المبطئات أيضاً في الملاط الجاهز لإطالة فترة قابلية تشغيله حتى 36 ساعة. ويسلّم الملاط عادةً في الموقع داخل حاويات محدَّد عليها التاريخ بسعة 0.3 m^3.

الإضافات المدخلة للهواء

تُثبت الإضافات المُدْخلة للهواء، وهي نموذجياً راتنجات الخشب أو مخفضات التوتر السطحي الاصطناعية (Synthetic Surfactants)، الفقاعات الهوائية الصغيرة جدّاً التي يتمّ إدخالها إلى الخرسانة أو الملاط عند خلطها. تحسّن الفقاعات التي تتراوح أقطارها بين 0.05 و0.5 mm، والتي لا تتلاشى أثناء النقل أو الارتجاج، قابليةَ التشغيل للخلطة، وتخفّض خطر انفصال مكوّنات الخلطة وتحسّن بشكل كبير مقاومة الصقيع. إلا أنّ إدخال الفراغ الهوائي إلى الخرسانة، ينقص متانة مقاومتها للكسر بـ 6% لكل 1% هواء مُدْخَل، وبالتالي فإنّ إضافة نموذجية قدرها 3% من هواء مُدخل، ستخفض متانة الكسر بنسبة 18%. يتمّ تعويض ذلك جزئياً بزيادة اللدونة التي تُنتج عادة سطحاً بجودة أعلى وتسمح باستعمال محتوىً أقل للماء. يمكن أن يحبس التلاصق الزائد للخرسانة المساميّة (Air-Entrained Concrete) الهواء المجانب للقوالب الشاقولية، مما يُخفض من جودة السطح.

الإضافات المقاومة للماء

يمكن تخفيض تغلغل الماء عبر الخرسانة بإدخال مواد طاردة للماء، كالستيرات (Stearates) والأوليات (Oleates)، التي تغلّف سطح المسام وتثبّط تغلغل الرطوبة بتأثيرات التوتر السطحي. كما أنّ استعمال الإضافات الخافضة للماء

يخفّض تغلغل الماء نتيجةَ تخفيض نسبة الماء إلى الإسمنت، مما ينقص حجم المسام في الخرسانة. ويمكن استعمال مستحلب لاتكس الستيرين والبوتاداين (Styrene-Butadiene Latex Emulsion)، لتخفيض نفوذية الملاط والطينة.

العناصر المولّدة للرغوة

تحتوي الخرسانة الرغوية أو الملاط حتى 80% من حجمها فراغاً هوائياً، بكثافات منخفضة تصل إلى 300 $kg./m^3$، ومتانة مقاومة ضغط بعمر 28 يوماً تتراوح بين 0.2 و20 (MPa). ويتم إنتاجها عادةً، بخلط الإسمنت والرمل الناعم أو الرماد المتطاير والماء في رغوة مشكّلة سلفاً، أو بالإرغاء الميكانيكي للخلطة المناسبة باستعمال عناصر توتّر سطحي مولدة للرغوة. بالنسبة للكثافات المنخفضة ما دون 600 $kg./m^3$، لا يتم إدخال مواد مالئة، لكن بالنسبة للكثافات حتى 1600 $kg./m^3$ يمكن إدخال غبار الحجر الكلسي أو رمل الخرسانة (Concreting Sand). والخرسانة الرغوية ذات انسياب حر، يمكن ضخّها ولا تتطلّب رصّاً. وعند تيبسها تُبدي المادة مقاومة جيدة للصقيع وعزلاً حراريّاً جيّداً. لذلك تستعمل في ردم الخنادق أو الحفر، أو في ملء الخلايا أو توفير عزل تحت الأرض أو في الأسقف المنبسطة.

العناصر المساعدة للضخ

ليست جميع الخلطات الخرسانية مناسبة للضخّ، فالخلطات الفقيرة إسمنتياً أو المكوّنة من بعض أنواع الحصويات الخفيفة تميل إلى الانفصال، لذا تتطلّب تكثيفاً بعنصر ضخّ. وعلى العكس، تتطلّب الخلطات الغنية بالإسمنت التلدين لجعلها قابلة للضخّ. لهذا يتمُّ إنتاج طيف من العناصر المساعدة للضّخ لتُناسب متطلبات الخلطات الخرسانية المختلفة. وتضخ غالباً خرسانة الحصويات الخفيفة إلى المكان لصبّ بلاطات الأرضيات.

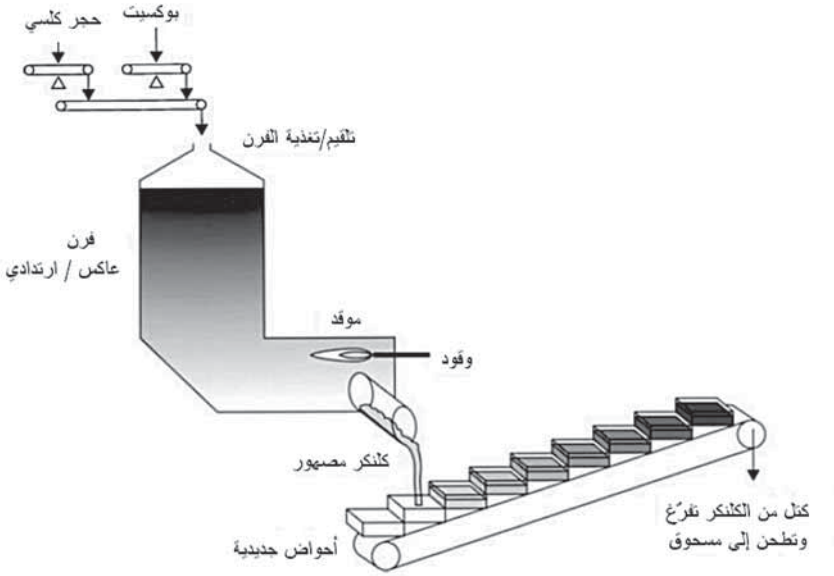
الصّباغات

يتوفّر طيف واسع من الصّباغات الملّونة لإدماجها في الخرسانة والملاط (12878:2005 BS EN). ويمكن إضافة أوكسيد التيتانيوم لزيادة بياض الإسمنت الأبيض. ويستعمل أسود الكربون مع الإسمنت البورتلاندي الرمادي مع أن السواد يفقد شِدته بالتجوية. والألوان الأكثر شيوعاً هي البُني والأحمر والأصفر الناتجة من أكاسيد الحديد الاصطناعي والكروم والمنغنيز وأيضاً عن مركبات الكوبالت

والألومنيوم والنيكل والأنتيموني (Antimony). إضافة إلى ذلك توّسع مركبات اللازورد (Ultramarine) والفتالوسيانين (Phthalocyanine) طيف ألوان الأزرق والأخضر. إذ يعتمد عمق وظلّ اللون على معدل الجرعة بين 1 و10%، وكذلك على لون الرّمل وأيّة حصويات أخرى. ولإنتاج ظلال فاتحة، يمكن إضافة صباغات إلى الإسمنت البورتلاندي الأبيض.

إسمنت ألومينات الكالسيوم

يُصْنَع إسمنت ألومينات الكالسيوم، المعروف أيضاً بالإسمنت العالي الألومين (Hac)، من الحجر الكلسي والبوكسيت ((Bauxite) أوكسيد الألومنيوم). وتتمّ تغذية المواد الخام معاً بنسب متساوية تقريباً في فرن شاقولي يتم تسخينه إلى درجة حرارة 1600 مئوية تقريباً (الشكل 4.3). وينصهر الخليط وينسكب بشكل مستمرّ في صوانٍ، حيث يبرد فينتج الكلنكر، الذي يطحن في ما بعد، منتجاً إسمنت ألومينات الكالسيوم وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (Bs En 14647:2005). ويختلف تركيب الإسمنت الرمادي القاتم عن تركيب الإسمنت البورتلاندي في أنّه يعتمد على ألومينات الكالسيوم لا على سيليكات الكالسيوم. وعلى الرغم من إمكانيّة إنتاج إسمنت ألومينات الكالسيوم بمجال واسع من التركيب، فإنّ المنتج المعياري يحتوي على 40% ألومينا.



(الشكل 4.3) صناعة إسمنت ألومينات الكالسيوم (العالي الألومنيا).

ينبغي ألاّ يُستعمل إسمنت ألومينات الكالسيوم للأساسات أو للأغراض البُنيوية، بل يستعمل للتطبيقات النوعيّة المقاومة للحرارة فقط، وعندما يكون التنبّؤ بمعدلات التدهور ممكناً. ومع هذا يكون مفيداً عندما يكون اكتساب قوة المقاومة بسرعة مطلوباً، مما يسمح بفكٍّ سريع للقالب في غضون 6 إلى 24 ساعة. ويسمح النّشر السريع للحرارة، بأعمال صب الخرسانة حتى عند درجات حرارة منخفضة. تمتلك المادة أيضاً خواصاً جيّدة لمقاومة الحرارة، لذا يمكن أن تستعمل لإنتاج خرسانة مقاومة للحرارة (Refractory Concrete). ويُعطي عند خلطه مع الإسمنت البورتلاندي خرسانةً سريعة التيبُّس مناسبة لأعمال الإصلاح غير البنيوية وسدِّ فتحات التسرّب. ويعدّ إسمنت ألومينات الكالسيوم، جيّد النوعية، مقاوماً عادةً للهجوم الكيميائي الذي تُسبّبه الحوامض المُمدَّدة والكلوريدات والزيوت، ولكنه غير مقاومٍ للقلويات.

السبب وراء بعض الانهيارات البُنيوية المصاحبة لاستعمال إسمنت ألومينات الكالسيوم هو تحوّل الخرسانة حيث يحدث فيها تغيّرات في البنية البلّورية، وتُسرّع ذلك درجات الحرارة المرتفعة والرطوبة، مما يسبّب نقصاناً حادّاً في قوة المقاومة وزيادةً في المسامية وهجوماً كيميائياً لاحقاً. واعتماداً على درجة التحوّل، يصبح إسمنت ألومينات الكالسيوم سهل التفتُّت وذا لون بني غامق، ويمكن فقط تحديد الدرجة الدقيقة للتحوّل من خلال التحليل الكيميائي لعيّنة من داخل الخلطة الخرسانية. ومن المعترف به حالياً أنّه يمكن منع هذه الانهيارات باستعمال محتوىً أدنى للإسمنت قدره 400 $kg./m^3$، ونسبة الماء إلى الإسمنت لا تزيد على 0.4، وضمان معالجة مضبوطة خلال 6 إلى 24 ساعة من مرحلة التصلّب الأوليّ. ويجب تغطية الخرسانة أو رشّها بالماء لمنع النقصان المُفرط في الماء، وبشكل خاص عند حدوث ازدياد ملموس في درجة الحرارة.

إضافة إلى ذلك، لمنع التحلل المائي [الحلمأة] (Hydrolysis) القلوية للخرسانة، ينبغي عدم استعمال حصويات تحتوي قلويات مذابة. ويعدُّ الحجر الكلسي القاسي عادةً المصدر الأفضل للحصويات. ولخرسانة إسمنت ألومينات الكالسيوم الملونة ميّزةُ خلوّها من هيدروكسيد الكالسيوم الذي يسبب التزهّر (Efflorescence) في الإسمنت البورتلاندي. حيث تُعطي مؤسسة بحوث البناء (BRE) في نشرتها الخاصّة (SD3) للعام 2002 طرائقَ لتقويم المباني الخرسانية القائمة والتي استُخدم فيها إسمنت ألومينات الكالسيوم، وتقترح إجراءات علاجيّة

مناسبة. ففي بعض الحالات عندما يكون عمق التحوّل في العناصر البنيوية المصنّعة من خرسانة إسمنت ألومينات الكالسيوم كبيراً يكون هناك خطر متزايد مع الزمن على تآكل التسليح.

أنواع الإسمنت ذات الأثر البيئي المنخفض

تقدّر انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من صناعة الإسمنت البورتلاندي في المملكة المتحدة بـ 0.82 طن (CO_2) لكل طن إسمنت من النوع الأول (CEM 1). وهذه الوتيرة في الانبعاثات تسبب تقريباً 7.5% من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون في العالم. وفي حين زادت صناعة الإسمنت البورتلاندي كفاءة الإنتاج بشكل كبير باستعمال عملية التصنيع الجافة وبزيادة المحتوى الممزوج، فإنّه لا بدّ من كلسنة الحجر الكلسي في النهاية عند درجات حرارة مرتفعة ما يؤدي لإطلاق ثاني أوكسيد الكربون.

يمكن تخفيض بصمة الكربون ـ البيئية الإجمالية للإسمنت البورتلاندي بإضافة خبث الفرن العالي المُحبحب المطحون أو البوزولانا الطبيعية أو الرماد المتطاير؛ والخلطات التي تحتوي نسباً من رماد الوقود المسحوق بشكلٍ أعلى من المسموح به حالياً في إسمنت الرماد المتطاير البورتلاندي (CEM II) وهي حالياً قيد المراجعة.

إسمنت البيليت

المكوّنات الرئيسة للإسمنت البورتلاندي هي الأليت (سيليكات ثلاثية الكالسيوم) والبيليت (سيليكات ثنائية الكالسيوم). وتتشكَّل هذه المكوّنات عند درجتي الحرارة 1450 و1200 مئوية على التوالي.

يمكن تصنيع إسمنت البيليت من مواد خام مطحونة بشكل ناعم عند درجات حرارة فرن 1350 درجة مئوية، وباعتبار أنَّ محتوى الكلس في البيليت أقل منه في الأليت، يطلق غاز ثاني أوكسيد كربون أقل خلال عملية الكلسنة. وتُقَدّر انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون الإجمالية لتصنيع إسمنت البيليت بـ 0.69 طن/طن مقارنة بـ 0.88 طن/طن في إسمنت الأليت. ويعادل هذا تقريباً توفيراً في الطاقة بمقدار 16% في الإسمنت البيليتي مقارنة بالإسمنت البورتلاندي. وللإسمنت البيليتي خواص جيدة طويلة الأمد، لكنّه ينمّي متانته بشكل بطيء جداً. فلذا تتعزَّز فاعليته بخلطه مع مكوّن أكثر نشاطاً.

إسمنت سلفوألومينات الكالسيوم

ينتج من خليط من البوكسيت (أوكسيد الألومنيوم) وكبريتات الكالسيوم اللامائية والحجر الكلسي في الفرن عند درجات حرارة تتراوح بين 1000 و1300 مئوية.

$$3CaCO_3 + 3Al_2O_3 + CaO \rightarrow 4CaO.3Al_2O_3.SO_3 + 3CO_2$$

سلفوألومينات الكالسيوم

وينتج ثاني أوكسيد كربون أقل بشكل ملموس مقارنةً بالإسمنت الأليتي أو البيليتي. وينمّي إسمنت سلفوألومينات الكالسيوم قوة مقاومةٍ مبكّرة، لذا فإنّ خلط البيليت وسلفوألومينات الكالسيوم لإنتاج إسمنت بيليت ـ سلفوألومينات يوفّر بعض الإمكانية لاستعماله كبديل للإسمنت البورتلاندي.

تؤدّي إضافة أوكسيد الحديد (Fe2O3) الرخيص إلى المسحوق الخام (Raw meal) إلى تشكيل الفرّيت (فروألومينات الكالسيوم C4AF)، من طريق الاستبدال الجزئي لمكوّن الألومينا في كبريتات ألومينات الكالسيوم. لذا فإنّ لإسمنت البيليت ـ سلفوألومينات ـ الفرّيت، احتمالية تكاليف تصنيع مخفضة. فالتراكيب النموذجية لإسمنت البيليت ـ كبريتات ألومينات ـ الفرّيت المستعملة حالياً في الصين هي 35- 70% (CSA)، والبيليت أقل من 30%، والفرّيت/ 10-30%. مقارنةً بتصنيع الإسمنت البورتلاندي من النوع الأول (CEM I)، فإنّ التخفيض في انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون يقدّر بـ 20%.

إسمنت أوكسيد المغنزيوم

هناك نوعان من الإسمنت المُعتمد على أوكسيد المغنزيوم قيد التطوير، واعتماداً على كربونات المغنزيوم (الماغنزيت) وسيليكات المغنزيوم على التوالي.

ينتج أوكسيد المغنزيوم من كربونات المغنزيوم بالتسخين إلى درجة حرارة 650 مئوية. وبعد انطلاق ثاني أوكسيد الكربون يتميّه أوكسيد المغنزيوم إلى هيدروكسيد المغنزيوم (البروسيت)، الذي يعمل كرابط إسمنتي. وسريعاً ما تتكربن هذه المادة عند وضعها في الاستعمال من خلال إعادة امتصاصها لمعظم ثاني أوكسيد الكربون المتحرّر في عملية تصنيعها.

يمكن أن ينتج أوكسيد المغنزيوم أيضاً من سيليكات المغنزيوم من طريق

تسخين الفلز إلى درجة حرارة تتراوح بين 650 و700 مئوية. في هذه الحالة لا ينطلق ثاني أوكسيد الكربون في عملية التصنيع، لكن يتمُّ امتصاص ثاني أوكسيد الكربون لاحقاً عند استعماله كإسمنت. إذ ينتج تصنيع طن واحد من هذا الإسمنت 0.4 طن من ثاني أوكسيد الكربون، لكن استعماله قد يمتصّ 1.1 طن مؤدياً إلى تخفيض 0.7 طن من الجو. لذا يُمكن أن يُعدّ هذا المنتج من دون بصمة كربون أو حتّى أفضل. وفلزات سيليكات المغنزيوم متوفّرة بكثرة حول العالم، ولكن ليس بكميات كبيرة في المملكة المتحدة، لكون هذا المنتج هو موضوع برنامج بحث وتطوير كبير.

الخرسانة

الخرسانة هي خليط من الإسمنت والحصويات والماء مع أية إضافات أخرى يمكن أن تُضاف لتعديل عمليات الصبّ والإنضاج أو لتعديل الخواص الفيزيائية النهائية. في البداية، تكون الخرسانة عند الخلط **مادة** لدنة تأخذ شكل القالب، وعند تصلّبها، ربّما تصبح، اعتماداً بشكل كبير على الحصويّات المستعملة، مادة كثيفة حاملة للأحمال أو مادة خفيفة الوزن وعازلة للحرارة. يمكن تسليح الخرسانة أو إجهادها بشكل مسبق باستخدام الفولاذ.

يتم تكسير معظم الخرسانات وإعادة تدويرها في نهاية عمرها المفيد، كنوى قاسية غالباً لأعمال بنيوية جديدة. ومع هذا يمكن توقّع تزايد في استعمال الحصويات المعادة التدوير في الخرسانة الجديدة، لأن هذا سيحرز مكسباً بيئياً كبيراً في تخفيض الطلب على استخراج حصويات جديدة.

حصويات الخرسانة

تُشكّل الحصويات مكوّناً رئيساً للخرسانة، على نحو نموذجي نحو 80% من وزن كتلة الخرسانة المعالجة. ولخواص الحصويات التي تشمل مقاومة الكسر والحجم والتدرُّج والشكل تأثيرات كبيرة في الخواص الفيزيائية للخلطات الخرسانية والخرسانة المتصلّبة. إضافة إلى أنَّ مظهر الخرسانة المرئية يمكن أن يتأثَّر بلون الحصويات والمعالجات السطحية. يحدّد المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 12620:2002) الخواص المناسبة بما فيها المواد والقياس والتدرّج والشكل.

تُصنَّف حصويات الخرسانة عادةً كخفيفة أو كثيفة أو عالية الكثافة. وتصنّف الحصويات الكثيفة المعيارية، اعتماداً على الحجم، إلى ناعمة كالرمل أو خشنة كالحصى. إضافة إلى ذلك فإنّه يمكن ضمُّ ألياف الفولاذ أو البروبيلين أو الفقاعات الغازية إلى الخلطة لأغراض خاصة.

الحصويات الكثيفة

المصدر والشكل

تُستخرج الحصويّات الكثيفة من الحفريات أو من قاع البحر. ففي جنوب شرق إنجلترا، معظم المصادر في اليابسة هي الحصى (Gravels)، وعلى نحو نموذجي الصوان (Flint)، في حين يتوفّر كل من الحصى وأنواع عديدة من صخر المقالع المكسّر (Crushed Quarried Rocks) في الشمال والغرب. وقد تتطلّب الحصويات البحرية التي تشكل 18% من الإنتاج في إنجلترا وويلز الغسيل لإزالة المواد الضارة كالأملاح والطمي (Silt) والأنقاض العضوية (Organic Debris). ويجب مراقبة محتوى الكلوريد الإجمالي لضمان وقوعه ضمن حدود المعيار البريطاني (BS 8500:2006) للاستعمال بشكل ملائم في الخرسانة المسلحة أو غير المسلحة. ويمكن أن يتم ذلك باستعمال رمل بحري غير مغسول مُصرّف جيّداً مقترناً مع حصويات خشنة مصدرها اليابسة. ويمكن أن يؤثّر شكل الحصويات بشكل كبير في خواص الخلطة والخرسانة المعالجة. وتتطلَّب الحصويّات المكوّرة عموماً محتوىً مائياً أقل، لإعطاء قابلية تشغيل معيّنة للخلطة مقارنة بخلطة مماثلة تمَّ تحضيرها باستعمال حصويات ذات زاويا. إلا أنّ عجينة الإسمنت تلتصق بشكل أقوى بالحصويات ذات الزاويا والسطوح الخشنة مقارنة بالحصويات الملساء. لذا يتمُّ الحصول على قوى مقاومة كسر أعلى باستعمال الحصويات الناتجة من تكسير. ويجب تجنّب استعمال نسب زائدة من الحصويات الخشنة المُتطاولة والرقيقة، لأنّه يمكنها خفض ديمومة الخرسانة.

مقاس الحصويات

يجب أن يكون المقاس الأعظمي للحصويات لمعظم الأغراض أكبر ما يمكن، منسجماً مع سهولة الصبِّ في القالب وحول أي تسليح فولاذي. وتستعمل عادة الحصويات من مقاس 20 mm في معظم أعمال التشييد. مع أن الحصويّات بمقاس أعظمي 40 mm هي مناسبة للخرسانة الكتلية، والحصويّات بمقاس أعظمي

10 mm مناسبة للمقاطع الرقيقة. لإنّ استعمال أكبر حصويّات ممكنة، يخفّض كمية الرمل وبالتالي كمية الإسمنت التي تتطلَّبها الخلطة، مما يضبط الانكماش ويقلّل الكلفة. وتمتلك الحصويات الكبيرة نسبة منخفضة من مساحة السطح إلى الحجم، لذا فإنها تنتج خلطات بقابلية تشغيل أكبر مقابل النسبة المعيّنة من الماء إلى إسمنت، أو تسمح بخفض نسبة الماء إلى الإسمنت للحصول على قابلية التشغيل ذاتها، مما ينتج خرسانة ذات قوة مقاومة كسر أكبر.

التدرّج

للحصول على جودة ثابتة في إنتاج الخرسانة، من الضروري ضمان تدرّج جيد لكلٍّ من الحصويات الخشنة والناعمة. إذ تحتوي الحصويات الخشنة **المتدرجة بشكل مستمر** توزيعاً جيداً للمقاسات، بحيث تمتلئ الفراغات بين القطع الحجرية الأكبر بالحبيبات التي تليها في الصغر وصولاً إلى قياس الرمل. وبشكل مشابه، فإن الرمل الجيّد التدرج سيمتلك طيفاً من مقاسات الحبيبات، لكن مع حدٍّ لنسبة الصلصال الناعم أو الطمي، لأنّ المحتوى المرتفع جداً **للنواعم** (من مقاس أقل من 0.063 mm) سيزيد متطلَّب الخلطة للماء وللإسمنت. ويعدُّ عادة محتوىً أعظمي 3% للنواعم غير ضار. ويضمن هذا التدرج الاجمالي للحصويّات ملء جميع الفراغات بالنسب الدنيا من المادة الناعمة ومسحوق الإسمنت الثمين. ويمكن في بعض الحالات أن تصنَّف الحصويات الخشنة ك **وحيدة المقاس** أو **منقطعة التدرّج**. وتستعمل الحصويات الوحيدة المقاس للخلط المضبوط في **الخلطات المصمّمة**، في حين تستعمل الحصويات منقطعة التدرج بشكل خاص لإنهاءات الحصويات المكشوفة على الخرسانة المرئية (Visual Concrete). وتصنّف الرمال في ثلاث فئات وفقاً لنسبة المار منها من المنخل 0.500 mm: خشنة (5-45%) C، ووسطى (30-70%) M، وناعمة (55-100%) F. وينبغي أن تستعمل فقط الفئات الخشنة والوسطى للرمال في الإنهاءات للأرضيات الخرسانية المعرّضة لأحمال ثقيلة.

أخذ العينات والتحليل المنخلي

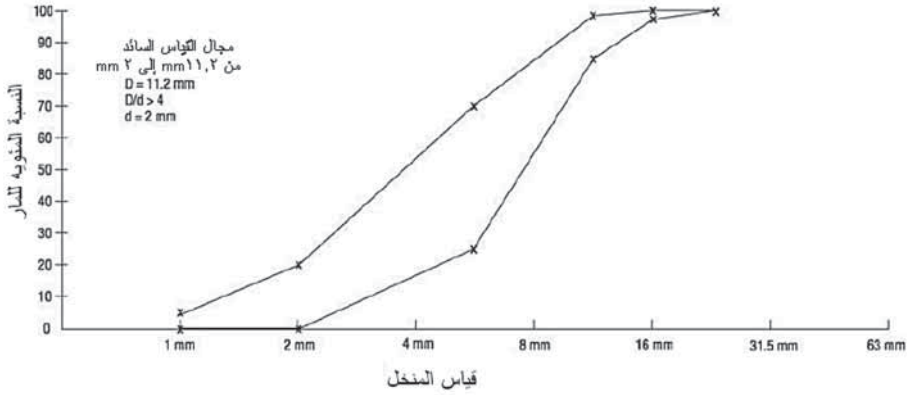
لتحديد تدرّج عينة من الحصويات الخشنة أو الناعمة، ينبغي إخضاع عيّنة ممثلة للتحليل المُنخلي. عادة، يمكن أخذ عشر عينات على الأقل من أجزاء مختلفة من الكومة، وتختصر هذه العينات إلى عيّنة ممثّلة باستعمال صندوق ترسيب (Riffle box)، الذي يقسّم العيّنة بشكل متتالٍ إلى نصفين وصولاً إلى الحجم المطلوب للاختبار (الشكل 5.3).

(الشكل 5.3) صندوق ترسيب.

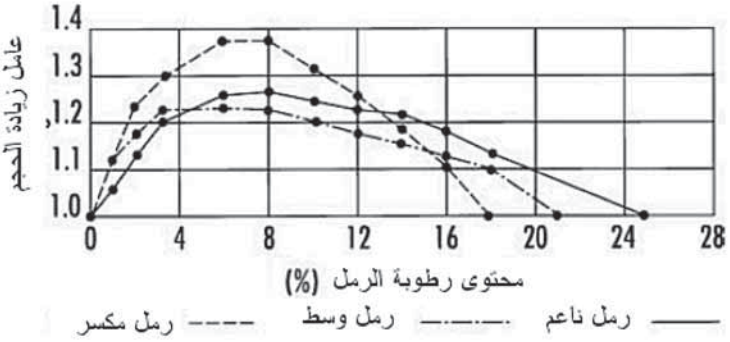
يتمُّ تحديد تدرج الحصويات بتمرير العينة الممثّلة عبر مجموعة من المناخل المعيارية (BS EN 12620: 2008). يتم توصيف/ تحديد مقاس الحصويات بمقاسات المناخل الأدنى d والأعلى D. بالنسبة للحصويّات الخشنة، فإن مقاسات المناخل هي 63, 31.5, 16, 8, 4, 2, 1 mm، وللحصويّات الناعمة مقاسات المناخل 4, 2, 1, 0.250, 0.063 mm. وتعرَّف الحصويّات الخشنة عادة بتلك التي مقاسها الأدنى d قدره 2 mm، بينما تمتلك الحصويات النّاعمة غالباً مقاساً أعظمياً D قدره 4 mm. يتم تحديد التحليل المنخلي بتقويم النسبة المئويّة التراكميّة للمارّ عبر كلّ قياس منخل. يتم تمثيل ذلك بيانياً مقابل قياس المنخل ومقارنته بالحدود كما هو موضّح بالنسبة لحصويات خشنة نموذجية (الشكل 6.3).

يتمُّ عادة الحصول على الحصويات لأعمال الخرسانة من كومات الحصويات الخشنة ذات المقاس الأعظمي 20 mm، ورمل أعمال الخرسانة بالنسب المطلوبة لضمان التناسق، بالرغم من أن **الحصويات المخلوطة** التي تحتوي كلاً من الحصويات الناعمة والخشنة هي أيضاً متوفرة كخيارٍ أقل ضبطاً وأرخص ثمناً، عندما يكون مقبولاً استعمال خرسانة بصنفٍ أدنى. بينما عندما يكون المطلوب

ضبطاً أعلى بشكل استثنائي للخلطة فإنّه يمكن تسليم الحصويّات وحيدة المقاس وفقاً لتوصيف الزبون. ويجب تكييل الحصويات عادةً بالوزن، باعتبار أن رطوبة السطح الحرة، وبشكل خاص في الرمل، يمكن أن تسبب **زيادة في الحجم** (Bulking) حتى 40% (الشكل 7.3). يجب أن يأخذ التكييل (Batching) الدقيق في الحسبان محتوى الماء في الحصويات عند حساب كل من الوزن المطلوب للحصويات وكميّة الماء التي ستُضاف إلى الخلطة.



(الشكل 6.3) تدرّج الحصويات الخشنة.



(الشكل 7.3) زيادة حجم الرمل كعلاقة مع محتوى الرطوبة.

الشوائب في الحصويّات

عندما يُطلب الحصول على إنهاء عالي الجودة للخرسانة المكشوفة، ينبغي أن تكون الحصويات خالية من بيريت الحديد (ثاني كبريتيد الحديد)، الذي يسبّب

تقشّر السطح وتبقُّعه بالصدأ. ويمكن أن يحدث تفاعل السيليكا مع القلوي عند وجود سيليكا نشطة في بعض الحصويّات فتتفاعل مع القلويات في الإسمنت البورتلاندي مسببةً التشقق.

الحصويّات المعادة التدوير

يجب تحديد نسبة وطبيعة المواد المكونة لحصويّات الخرسانة المعادة التدوير وفقاً لمشروع المعيار الأوروبي (Pr EN 933-11)، والتصريح بها وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 12620:2002) (التعديل A1:2008) كحدود بنسب مئوية من الكتلة.

الفئات المشكّلة للحصويّات الخشنة معادة التدوير

Rc الخرسانة، منتجات الخرسانة، الملاط، ووحدات أعمال البناء الخرسانية.

Ru الحصويات غير المقيّدة (Unbound Aggregate)، الحجر الطبيعي، الحصويات المقيّدة هيدروليكياً (Hydraulically Bound Aggregate).

Rb وحدات أعمال البناء الصلصالية (الآجُرّ والبلاط)، وحدات الآجُرّ من سيليكات الكالسيوم، الخرسانة المساميّة غير الطافية (Aerated Non-Floating Concrete).

Ra مواد القار (البيتومين)

Rg الزجاج

FL المواد الطافية في الحجم

X مواد أخرى (الصلصال، التربة، طينة الجبص، المعادن، الخشب، البلاستيك، المطاط)

يجب التصريح بكميات المواد الضارّة في الحصويات المعادة التدوير ومراقبتها بحذر لمنع التأثيرات السلبية في جودة الخرسانة.

يسعى البحث الحالي في تقويم الخرسانة المصنّعة من خليط من الحصويات المعادة التدوير، وبقايا حصويّات الصلصال الصيني من كورنوول (Cornwall) مع نسبة مرتفعة من الرماد المتطاير المسحوق كبديل عن كلنكر الإسمنت البورتلاندي. يمتلك الخليط طاقة متضمنة أقل بنحو 30% من الخرسانة المعيارية.

الحصويات ذات الكثافة المرتفعة

عندما تكون الحماية من الإشعاع مطلوبة، تستعمل الحصويات المرتفعة الكثافة كالباريتس (Barytes) (كبريتات الباريوم) أو الماغنيتيت خام الحديد، أو كريات الرصاص أو الفولاذ (Lead Or Steel Shot). يمكن إنجاز خرسانة متصلّبة بكثافات تتراوح بين 3000 و5000 kg./ m^3، أي ضعف الخرسانة العادية.

الحصويات الخفيفة الوزن

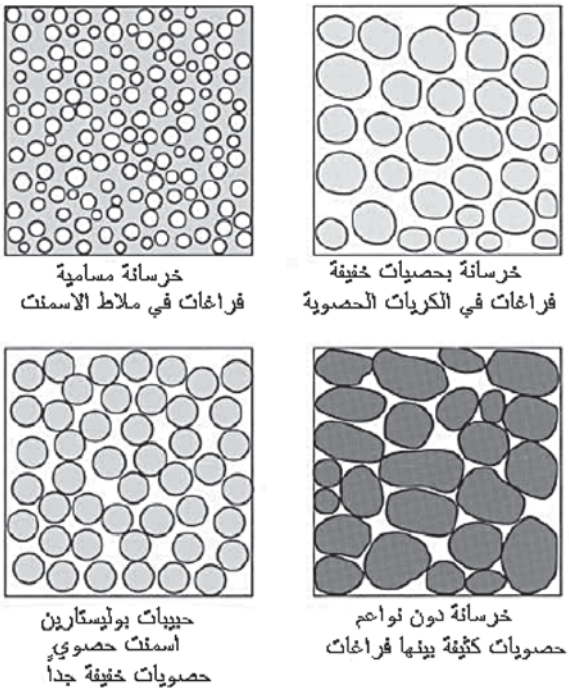
تتراوح كثافات الخرسانة الناتجة من حصويات الحجر الطبيعي بين 2200 و2500 kg/ m^3، لكن عندما يكون المطلوب كثافات أقل من 2000 kg/ m^3، ينبغي استعمال خرسانة مناسبة خفيفة الوزن.

تبُدي الخرسانات الخفيفة في التشييد الخواص التالية مقارنة بالخرسانة الكثيفة:

- تمتلك عزلاً حرارياً أفضل لكن مع قوة مقاومة ضغط أقل؛
- تمتلك امتصاصاً أكبر للصوت العالي التردّد، لكن مع عزل صوت أقل؛
- تمتلك مقاومة حريق أكبر من معظم خرسانات الحصويات الكثيفة كشظايا الغرانيت (Granite Spalls)؛
- سهولة تقطيعها، وتخديدها ودقّ المسامير فيها، وتلييسها أو طينتها، مقارنة بالخرسانة الكثيفة؛
- يوفّر الوزن الذاتي المنخفض للمبنى اقتصاداً في التشييد؛
- تُمكّن الضغوط الأقل على القالب من الصب بارتفاعات أعلى.

الفئات الثلاث العامة للخرسانة الخفيفة الوزن هي خرسانة الحصويات الخفيفة الوزن والخرسانة المساميّة والخرسانة من دون نواعم (الشكل8.3).

يتم إنتاج الكثير من المواد الحصوية الخفيفة من المنتجات الثانوية للعمليات الصناعية الأخرى، أو مباشرةً من المواد المتوفرة طبيعياً. الاستثناء الرئيس هو البوليستيرين الانتفاخي (Expanded Polystyrene)، الذي يمتلك خواص العزل الأعلى، لكنّه غالي الثمن نتيجة تصنيعه من منتجات بتروكيميائية.



(الشكل 8.3) الخرسانات الخفيفة.

رماد الوقود المسحوق

رماد الوقود المسحوق، أو الرماد المتطاير، هو المتبقي من محطات توليد الكهرباء التي تعمل بحرق الفحم الحجري. يتمّ ترطيب مسحوق الرماد المتطاير الناعم وتكويره (Pelleted) وتلبيده (Sintered) لإنتاج حصويات الرماد المتطاير بحيث تكون منتظمة وخفيفة الوزن، ويمكن استعمالها في التطبيقات الحاملة للأحمال (Load-Bearing).

خبث الفرن العالي الرغوي

خبث الفرن العالي هو منتج ثانوي لصناعة الفولاذ. يتم تعريض الخبث المصهور إلى نفاثات ماء، وبخار وهواء مضغوط لإنتاج مادة شبيهة بالخفّان. يتم تكسير الخبث الرغوي وتدريجه، لإنتاج حصويات يمكن استعمالها في التطبيقات الحمّالة. عندما يكون مطلوباً الحصول على خبث انتفاخي مكوّر ومستدير (Rounded Pelletised Expanded Slag)، يتمّ إجراء معالجة لاحقة للمادة في أسطوانة دوارة (Rotating Drum).

الصلصال والصخر الطيني الانتفاخي

يتم تكوير بعض المواد الصلصالية المتوافرة طبيعياً، ثم تسخينها في فرن، مما يؤدي إلى انطلاق غازات تنفخ وتشكّل فقاعات هوائية في الداخل تاركةً قشرة سطحية متصلبة. يمكن استعمال هذه الحصويات الخفيفة في التطبيقات الحمّالة.

البرلايت الانتفاخي

البرلايت هو صخر بركاني زجاجي موجود طبيعياً، يُطلق بخاراً عند تسخينه تقريباً إلى درجة الانصهار فينتج مادة خليوية ذات كثافة منخفضة. تمتلك الخرسانة المصنّعة باستعمال البيرلايت الانتفاخي خواص عزلٍ حراري جيّدة إلاّ أنّ قوة مقاومتها للضغط منخفضة وانكماشها عندما تجف مرتفع.

الفيرميكولايت المتقشّر

الفيرميكولايت هو فلز موجود طبيعياً مركّب من طبقات رقيقة كالميكا. تنفصل الطبقات عند تسخينه بسرعة، نافخة المادة حتى ثلاثين مرة، منتجةً حصويات خفيفة جداً. تمتلك الخرسانة المصنّعة باستعمال الفيرميكولايت خواص عزل حراري ممتازة لكن قوة مقاومتها للضغط منخفضة وانكماشها عندما تجف مرتفع جداً.

البوليستيرين الانتفاخي

تُبدي حبّات البوليستيرين الانتفاخي المستوى الأعلى للعزل الحراري، إلّا أنّ قوة مقاومته للضغط قليلة. كثيراً ما يستعمل إسمنت حبيبات البوليستيرين كنواة عازلة ضمن وحدات الخرسانة المسبقة الصنع.

الخرسانة المهوّاة

تُصنَع الخرسانة المهوّاة باستعمال عناصر مولّدة للرّغوة (Foaming Agents) أو مسحوق الألومنيوم، كما هو موضّح في الفقرة المتعلّقة بالعناصر الرغوية. تُعطي الكثافات في المجال 400 ـ 1600 $kg./m^3$ قوى مقاومة ضغط من 0.5 إلى 20 .MPa. يكون الانكماش عند الجفاف للمواد ذات الكثافة الأكثر انخفاضاً مرتفعاً بحدود 0.3%، لكن الناقلية الحرارية يمكن أن تكون متدنيّة حتى W/Mk 0.1، مبدية خواص عزل حراري ممتازة. يمتلك بلوك الخرسانة المهوّاة المعالج حرارياً في فرن انكماشاً عندما يجف منخفضاً جداً وقوة مقاومة ضغط تزيد على

ذلك المعالَج في الموقع. وتكون الخرسانة المهوّاة عادة مقاومة للصقيع، ولكن ينبغي أن تُطيّن من الخارج لمنع الامتصاص الزائد للماء. ويمكن التعامل بسهولة مع المادة في الموقع لإمكانيّة تقطيعها ودق المسامير فيها.

الخرسانة من دون نواعم

تصنع الخرسانة من دون نواعم من حصويّات وحيدة المقاس (عادة بين 10 و20 mm) وعجينة إسمنتيّة. يمكن استعمال حصويات كثيفة أو حصويّات خفيفة، لكن ينبغي أخذ الحيطة في صبِّ الخلطة لضمان بقاء الحصويات مغلّفة بالعجينة الإسمنتية. ويجب عدم رجِّ المادة، فالانكماش عند الجفاف (Drying Shrinkage) منخفضٌ باعتبار أنّ الحصويات تتراكم أساساً بعضها فوق بعض في القالب تاركةً فراغات هوائية تزيد من خواص العزل الحراري للمادة مقارنة بمثيلتها من الخرسانة الكثيفة. ويشكّل السطح الخشن للخرسانة المُعالَجة سطحاً ممتازاً للطينة أو التغطية بالجص الضرورية لمنع تغلغل المطر أو الهواء أو الصوت. ويمكن أن تستعمل الخرسانة الكثيفة الحصويات من دون نواعم في التطبيقات الحمّالة.

الألياف

يمكن دمج ألياف الفولاذ أو البولي بروبيلين في الخرسانة كبديل للتسليح الثانوي، خصوصاً في بلاطات الأرضيات الكثيفة الحركة. تخفّضُ الأليافُ الأنكماش والتشقُّق المحتمل الذي يمكن أن يحدث خلال التيبُّس الأوّلي وتعطي مقاومةَ اهتراء ومقاومة تقشُّر جيدة للخرسانة المعالجة. تحسّن ألياف البروبيلين المنخفضة المُعامل، والتي لا تحمل خطر تآكلٍ بعد كربنة الخرسانة، من ميّزات امتصاص الطاقة للخرسانة معطيةً مقاومةَ صدم أفضل. تزيد الألياف الفولاذية مقاومة الانعطاف، إضافةً إلى مقاومة الصدم لكنّها أكثر كلفةً. كبديل عن الألياف الفولاذية، يمكن استعمال ألياف الفولاذ المقاوم للصدأ، عندما يكون وجود بقع صدأ على السطح أمراً غير مقبول. وتُضاف ألياف البولي بروبيلين بمعدل 0.2% من الوزن، و(0.5% من الحجم)، وألياف الفولاذ بمعدل 3% - 4 من الوزن. يمكن ضخّ كلٍّ من خرسانات ألياف البولي بروبيلين وألياف الفولاذ. يمكن أن تكون ألياف الفولاذ الموافقة للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 14889-2:2006) أسلاكاً مستقيمة أو مُحلزنة مسحوبة على البارد، أو أليافاً صفائحية. ويمكن أن تكون ألياف البوليمرات الموافقة للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 14889-2:2006) خيوطاً

أحادية سميكة أو رفيعة، أو أليافاً مغزولة (Fibrillated). تمَّ وصف الإسمنت المسلّح بألياف الزجاج في الفصل 11.

الخرسانة الفائقة الأداء

تمتلك الخرسانة الفائقة الأداء قوّةَ مقاومة ضغط تُعادل ست إلى ثماني مرات قوة مقاومة الضغط للخرسانة التقليدية. يتمّ إنتاجها من خليط من الإسمنت البورتلاندي والكوارتز المكسّر والرمل ودخان السيليكا وملدن وألياف وماء وبمقاس حصويات لا يزيد على ميليمترات قليلة، كما يمكن أن يدخل مالئ ولاستونيت (Wollastonite) (سيليكات الكالسيوم) في الخلطة. الألياف الأكثر استعمالاً هي إمّا من فولاذ العالي المتانة للحصول على متانة عُظمى، أو بولي بروبيلين بطول 12 mm تقريباً للتطبيقات ذات الحمولات الأقل. إذ يمكن صبّ الخرسانة في قوالب تقليدية بالجاذبية أو بالضخ أو حتى بالحقن تحت الضغط. فعند الصبِّ في قوالب تقليدية تكون الخرسانة ذاتيّة التسوية، لذا قد يلزم فقط رجٌّ خارجي خفيف للقالب لضمان الامتلاء التامّ. تصمَّم المادة للاستعمال من دون قضبان تسليح فولاذية.

يمكن أن تخضع العناصر البنيوية المنفّذة من الخرسانة الفائقة الأداء بعد التيبّس للمعالجة بالبخار بحرارة 90 درجة مئوية لمدة 48 ساعة. وهذا يحسّن الديمومة والخواص الميكانيكية، ويزيل الانكماش ويخفض الزحف (Creep). ولا تتشظى المادة في ظروف اختبار الحريق.

تُمكّن قوى مقاومة الضغط والانعطاف المُحسنة للخرسانة الفائقة الأداء المطاوعة والمسلحة بالألياف من استعمال مقاطع أخف وأقل سماكة وذلك للمكونات البُنيوية كالأسقف القشرية والجسور، معطيةً منظراً جمالياً صقيلاً محسّناً. ويُنتج السطح العالي الجودة المتمتّع بالديمومة من قوالب مناسبة (كالفولاذ مثلاً) وتكون مطليّةً بعامل تحرير مناسب (Release Agent).

الخرسانة شبه الشفافة

يتم جعل الخرسانة الرقيقة شبه شفّافة من خلال غمس خيوط رفيعة من الألياف الضوئية المتوازية فيها، من دون أي نقصان ملحوظ في قوّة مقاومة الضغط. يمكن تصنيع هذه الخرسانة كبلوكات أو ألواح شريطة أن تمتدَّ الألياف بشكل عرضي من وجه إلى آخر. فعند إنارة الوجه، فإن أي خيال يقع على الجانب

المُنار سيكون مرئيّاً بوضوح على الوجه الآخر من دون أن يتغيّر لون الضوء المنتقل. للمادّة الكثير من التطبيقات المُحتملة كالجدران وسطوح الأرضيات والأرصفة المُنارة. وتشير مزاعم حديثة أن نسبة نفاذ الضوء قد تصل إلى 80%.

قوالب الخرسانة العازلة

البوليستيرين

يُصنع قالب عزل دائم من بلوكات كبيرة ومجوّفة ومتشابكة مع بعضها البعض من البوليستيرين ويتم ملؤه في ما بعد بالخرسانة في الموقع لإنتاج بنية خرسانية أحادية الليثية (أحادي التركيب الصخري) (Monolithic). هناك طيف من الوحدات التي تُعطي نواةً مركزيةً من الخرسانة سماكتها بين 140 و300 mm، وسماكة عزل إجمالية تتراوح بين 100 و300 mm وفقاً للمتطلبات البنيوية والحرارية. ويتمُّ وصل وجهي العزل بمصفوفة من روابط البوليستيرين التي تصبح مدفونة في الخرسانة. وتُوصل الوحدات التي ارتفاعها عموماً 250 mm بوصلة حز ولسان (Tongued And Grooved)، لضمان التموضع الصحيح، ويمكن وضع تسليح فولاذ أفقي حسب الطلب لزيادة المتانة البنيوية. وتتوفر بلوكات خاصة للعتبات ونهايات الجدران والجدران القوسية وجدران الحريق. وتُملأ الخرسانة القابلة للضخ (ذات هبوط المخروط المرتفع) الحيّز الخالي بالسيلان من قِبَل الجاذبيّة من دون الحاجة إلى رجٍّ ميكانيكي. يلزم بعض التدعيم المؤقت للقالب أثناء التشييد لضمان دقة الاستقامة. ويمكن تطبيق إنهاءات داخلية وخارجية مباشرةً على البوليستيرين لتُشكِّل خابوراً (Keyed) للطينة أو اللياسة خفيفة الوزن. على نحوٍ بديل يمكن استعمال وحدات البناء أو الخشب أو الإكساءات الأخرى خارجيّاً، ولصق بطانات جافة (كألواح الجص) بالطبقة الداخلية باستعمال لواصق مناسبة.

الخرسانة الخفيفة

يُصنَّع البلوك الحاجب عادة من خرسانة خفيفة أو من خرسانة نشارة خشب وفقاً للمعيارين (BS EN 15435:2008) و(BS EN 15498:2008) على التوالي. يتوفر هذان النظامان مع أو من دون عزل حراري إضافي للاستعمال كجدران داخلية وخارجية وقواطع جداريّة عند ملئها بالخرسانة. وتمتلك بعض الأنظمة تعشيقاً عرضيّاً (كوصلة حز ولسان) ويمكن أن تُوضع مع أو من دون ملاط وفقاً لتوصيفات المصنّعين. كما يمكن أن تعطي البلوكات المجوّفة المعزولة بعرض 300

mm والمصنعة من 80% نشارة خشب عند تشييدها وملئها بالخرسانة قيمةَ U (U-value) للجدار تعادل 0.27 $W/m^2 K$.

الخرسانة البوليميرية

إنّ ضم المركبات التي لم تتبلمر بعد (Pre-polymers) إلى الخلطة الخرسانية، ومن ثمّ بلمرة هذه المركّبات عند تيبُّس وتصلّب الخرسانة، يمكن أن يخفّض تغلغل الماء وثاني أوكسيد الكربون في الخرسانة المُنضجة. وتشمل البوليميرات النموذجية مطّاط الستيرين والبوتادايين، والبوليستر ـ الستيرين. ويستعمل الملاط المعدّل براتنج الإيبوكسي والأكريليك ـ اللاتكس لإصلاح الخرسانة المتضرِّرة، والمتشظيّة بسبب خواص التصاقه المحسّنة. على نحو مشابه، يمكن استعمال الملاط المعدّل بالبوليمر للملء التجميلي للفجوات الهوائيّة (Blowholes) والعيوب (Blemishes) في الخرسانة المرئية. وتشمل منتجات التشييد الخرسانية الملصوقة بالراتنج، تجهيزات الشوارع (الإشارات الضوئية، مقصورات الهاتف...) والعناصر التزيينية، وحافات النوافذ. ويُغطّي المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 15564:2008) هذه المواد.

ماء الخرسانة

القاعدة العامة تقول: إذا كان الماء بنوعيّة مناسبة للشرب، فإنّه يكون ملائماً لتصنيع الخرسانة. ويعطي المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 1008:2002)، ومشروع المعيار البريطاني الدولي (pr BS ISO 12439) حدودَ الشوائب بما فيها الكبريتات.

الخلطات الخرسانية

تصمّم الخلطات الخرسانية لإنتاج خرسانة بخواص معيّنة وبأنسب سعر اقتصادي. فالخواص الأكثر أهميّة هي عادة قوة المقاومة والديمومة، بالرغم من أن العزل الحراري والصوتي وأثر الحريق والمظهر في الخرسانة المرئية يمكن أن تكون مهمة أيضاً.

تؤخذ في الحسبان عند تحديد تركيب الخلطة الخرسانية **قابلية التشغيل** أو سهولة صبّ ورصّ الخلطة المائعة والخواص المطلوبة من الخرسانة المتصلبة.

العامل الرئيس الذي يؤثر في كل هذه الخواص هو محتوى الماء الحر في الخلطة بعد امتصاص الحصويات للماء. وتعرف هذه الكمية بنسبة الماء إلى الإسمنت.

نسبة الماء إلى الإسمنت

نسبة الماء إلى الإسمنت = وزن الماء الحر مقسوماً على وزن الإسمنت

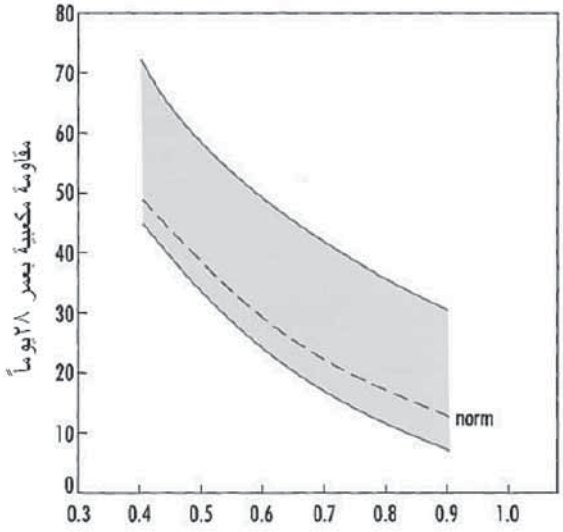
الماء الحر في خلطة ما هو الكمية المتبقيّة بعد أن تكون الحصويّات قد امتصت الماء وصولاً إلى حالة إشباع السطح الجاف. يستعمل الماء الحر لإماهة الإسمنت وجعل الخلطة قابلة للتشغيل. وبنسب منخفضة للماء إلى الإسمنت دون 0.4، فإن بعض الإسمنت لا يتميّه بشكل كامل. فعند نسبة ماء إلى إسمنت تعادل 0.4 يملأ الإسمنت المتميّه فقط الفراغات المشغولة سابقاً بالماء معطياً خرسانة كثيفة. وعند زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت على 0.4 تصبح الخلطة قابلة للتشغيل بشكل متزايد لكن الخرسانة المنضجة الناتجة تكون أكثر مسامية بسبب تبخّر الماء الزائد تاركاً فراغات هوائيّة. يبين الشكل 9.3 العلاقة النموذجيّة بين نسبة الماء إلى الإسمنت وقوة مقاومة الكسر للخرسانة.

قابلية التشغيل

تصف قابلية التشغيل قابلية الخلطة الخرسانية للصبِّ في القالب حول أي تسليح، ورصّها بنجاح بوسائل يدوية أو آلية لإزالة الجيوب الهوائيّة المحصورة. ينبغي أن تكون الخلطات متماسكة بحيث لا تنفصل أثناء النقل أو الصبّ. لا تتأثر قابليّة التشغيل بنسبة الماء إلى الإسمنت فقط وإنّما أيضاً بمحتوى الحصويات، ومقاسها، وتدرجّها وشكلها وإضافة الإضافات (Admixtures). وتقاس قابلية التشغيل في الموقع باختبار هبوط المخروط (Slump Test). يظهر الجدول 12.3 العلاقة بين نسبة الماء إلى الإسمنت وقابلية التشغيل بالنسبة للحصويات المكسّرة وغير المكسّرة عند محتويات إسمنت مختلفة.

الماء الحُر

تعتمد قابلية تشغيل الخرسانة بشكل كبير على الماء الحر في الخلطة. حيث تسبّب الزيادة في محتوى الماء الحر زيادةً ملحوظة في قابلية التشغيل مما يؤدّي إلى هبوط المخروط بشكلٍ أكبر عند القياس في اختبار هبوط المخروط.



(الشكل 9.3) نسبة الماء الحر إلى الإسمنت.

الجدول 12.3 العلاقة النموذجية بين نسبة الماء إلى الإسمنت وقابلية التشغيل ومحتوى الإسمنت البورتلاندي من صنف قوة المقاومة 42.5 بالنسبة لحصوبات مكسرة وغير مكسرة

قابلية تشغيل Workability			نوع الحصيات (الأعظمي 20 mm)	نسبة الماء إلى الإسمنت
هبوط كبير 135- محتوى الإسمنت (kg/ m^3)	هبوط متوسط 25- 75 mm محتوى الإسمنت (kg/ m^3)	هبوط منخفض 10-30 mm محتوى الإسمنت (kg/m^3)		
285	260	230	غير مكسر	0.7
330	300	270	مكسر	
330	300	265	غير مكسر	0.6
380	350	315	مكسر	
400	360	320	غير مكسر	0.5
460	420	380	مكسر	
500	450	400	غير مكسر	0.4
575	525	475	مكسر	

شكل الحصويات

تجعل الحصويات المستديرة الخلطة أكثر قابلية للتشغيل مما لو استعملت حصويات مكسرة ذات زوايا من أجل نفس نسبة الماء إلى الإسمنت. لكن نظراً لأن ترابط الإسمنت المنضج والحصويات المكسرة يكون أقوى مما هو عليه مع الحصويات المدوّرة فإنّ الحصويات المكسّرة تنتج خرسانة أقوى عند ثبات العوامل الأخرى.

مقاس الحصويات

يؤثّر مقاس الحصويّات أيضاً في قابلية تشغيل الخلطة. وينبغي استعمال أكبر مقاس للحصويات الخشنة ليكون متلائماً مع الصّب حول التسليح وضمن قياس المقطع الخرساني، وذلك لتقليل محتوى الماء الضروري للحصول على قابلية تشغيل كافية. أمّا بالنسبة للحصويات الناعمة، فتزيد الكميات الزائدة من المادة الناعمة (المارة من منخل الاختبار 0.063 mm) بشكل كبير من متطلَّب الماء لخلطة معينة من أجل المحافظة على قابلية التشغيل. وذلك لأنَّ نسبة مساحة السطح إلى الحجم للحبيبات الأصغر تكون أكبر، ولهذا تتطلّب ماءً أكثر لترطيب سطوحها. وبما أن الماء الزائد في الخلطة سينقص قوة مقاومة الخرسانة المُنضجة، فإنّه من المفضّل للحصول على خرسانة كثيفة جيدة النوعية استعمالُ رمال أخشن جيّدة التدرُّج.

نسبة الحصويات إلى الإسمنت

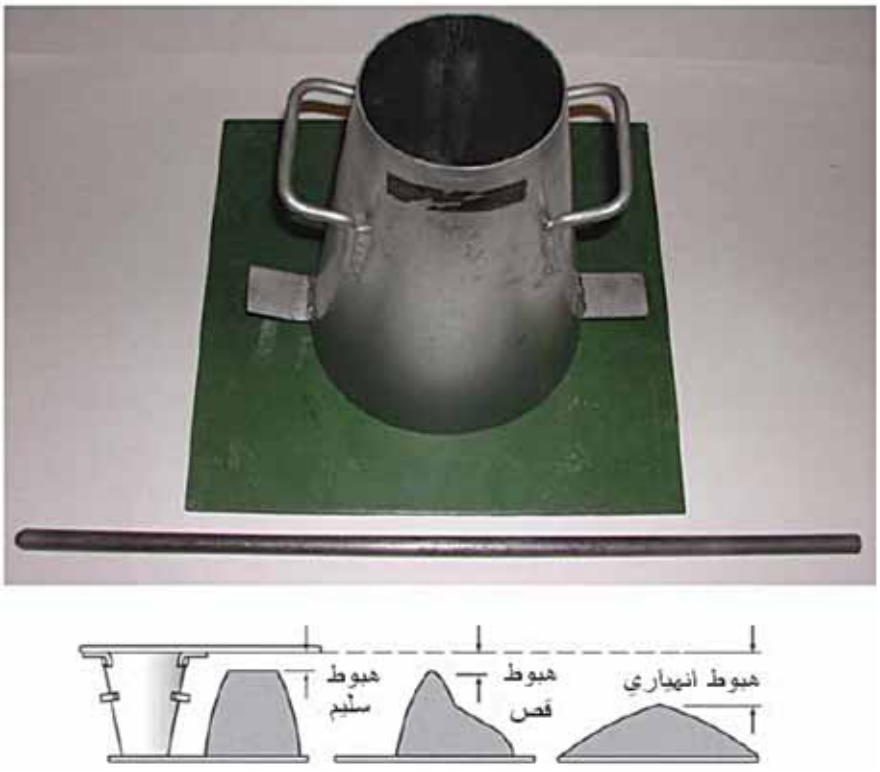
من أجل نسبة معيّنة من الماء إلى الإسمنت، فإنّ إنقاص نسبة الحصويات إلى الإسمنت، الذي يزيد بشكل طردي كلاً من محتوى الإسمنت والماء، يزيد من قابلية التشغيل. وبما أن الإسمنت هو المكوّن الأغلى ثمناً في الخرسانة فإن الخلطات الغنية بالإسمنت أكثر كلفة من الخلطات الفقيرة.

إدخال الهواء

يمكن زيادة قابلية التشغيل بإدخال الهواء بالرغم من أنّ 1% من الهواء في الخرسانة المنضجة يؤدّي إلى نقصان في قوة مقاومة الضغط بنحو6%. بالتالي في حال إدخال الهواء، سيكون هناك موازنة بين قابليّة التشغيل الزائدة والرصّ المحسّن، مقابل الفراغات الهوائيّة الناتجة المرافقة لقوّة مقاومة كسر مخفّضة.

اختبار هبوط المخروط

يستعمل اختبار هبوط المخروط لتحديد قابلية التشغيل للخلطة في الموقع. حيث يُعطي مؤشراً جيداً على التناسق من دفعة (Batch) إلى أخرى، لكنّه ليس فاعلاً بالنسبة للخلطات الجافة جداً أو الرطبة جداً. وينفّذ اختبار هبوط المخروط كما هو مبين في الشكل 10.3. إذ توضع صفيحة القاعدة على أرض مستوية ويملأ المخروط بالخلطة الخرسانية في ثلاث طبقات متساوية، ويتمُّ دقُّ كلِّ طبقة 25 مرة باستعمال قضيب دقٍّ قطره 16 mm. حيث تتم إزالة الفائض من الطبقة الثالثة، ويتم أيضاً رفع المخروط عن الصفيحة للسماح للخرسانة بالهبوط. فالهبوط أو الانخفاض في المستوى، بالميليمتر، هو الهبوط المسجّل الذي يمكن أن **يكون هبوطاً صحيحاً أو هبوط قص أو هبوط انهيار**. وفي حالة هبوط القص تتم إعادة اختبار المادّة، وفي حالة هبوط الانهيار يكون الخليط رطباً جداً في معظم الحالات. حيث تراوح القيم النموذجيّة للهبوط: من صفر إلى 25 mm للخلطات الجافّة جداً المستعملة كثيراً في صناعة الطرق، ومن 10 إلى 40 mm (قابلية التشغيل المنخفضة) للاستعمال في الأساسات الخفيفة التسليح، ومن 50 إلى 90 mm (قابلية التشغيل المتوسطة) للخرسانة المسلحة العادية المصبوبة مع الرّج، وأكثر من 100 mm للخرسانة ذات قابليّة التشغيل المرتفعة. وعلى نحو نموذجي، يمكن قياس قيم الهبوط التي تتراوح بين 10 و175 mm، بالرغم من أن الدّقة وقابليّة التكرار تنخفض عند كلا طرفي مجال قابليّة التشْغيل. فاختبار الهبوط غير مناسب للخرسانات المهواة أو من دون نواعم أو الخرسانة ذات الانقطاع في التدرج، يصنفه المعيار الأوروبي (EN 206-1:2000) بأصناف التناسق للخلطات الخرسانية بواسطة نتائج الاختبارات المعيارية للهبوط (الجدول 13.3)، ونتائج تناسق فيب (Vebe Consistency) (الشكل من اختبار مخروط ميكانيكي)، والرصّ (Compaction) والانسياب (Flow).



(الشكل 10.3) اختبار هبوط المخروط.

الجدول 3.13 أصناف اختبارات هبوط المخروط
وفقاً للمواصفات الأوربية (EN 2061-1: 2000)

هبوط المخروط (mm)	صنف هبوط المخروط
1 ـ 40	S1
50 ـ 90	S2
100 ـ 150	S3
160 ـ 210	S4
⩾ 220	S5

الرصّ

تتطلّب الخرسانة بعد صبّها في القالب رصّاً لإزالة الفجوات الهوائية المحصورة في الخلطة قبل أن تبدأ بالتيبّس. حيث تضعف الفجوات الهوائية الخرسانة، وتزيد نفوذيتها وتنخفض بالتالي ديمومتها. في الخرسانة المسلّحة، يخفّض نقصان الرّص التماسك مع الفولاذ، وعلى الخرسانة المكشوفة والمرئيّة، كذلك فإنَّ عيوباً كالفجوات الهوائيّة أو التعشيش على السطح تُعدُّ غير مقبولة من الناحية الجمالية ومن الصعب جعلها جيّدة بنجاح. للمساعدة في الرصّ، يمكن أن يكون الرجّ يدوياً بالدق بالقضيب للأعمال الصغيرة، إلا أنّه عادةً ما تستعمل رجّاجات معدنيّة عالية التردد (Poker Vibrators) ورجّاجات عوارض خشبية (Beam Vibrators) للخرسانة الكتلية ولتسوية البلاطات على التوالي. وتستعمل أحياناً الرجّاجات التي تثبَّت على القالب عندما يكون التسليح كثيفاً جدّاً، بحيث لا يسمح بمرور الرجّاجات المعدنية.

ويمكن قياس درجة الرص المُنجزة بكميّة معيارية من العمل باختبار عامل الارتصاص. ففي هذا الاختبار يسمح لعينة خرسانية طازجة بالسقوط من قمع إلى آخر. ويعطي وزن الخرسانة المحتواة في القمع الأخفض عند تسوية سطحها مقارنةً بعيّنة مرصوصة بشكل كامل عاملَ الارتصاص. إذ يبلغ عادةً عامل الارتصاص للخرسانة ذات قابليّة التشغيل المتوّسطة نحو 0.9.

اختبارات المكعبات والأسطوانات الخرسانية

للمحافظة على ضبط جودة الخرسانة، ينبغي أخذ عينات اختبار ممثلة وإنضاجها بظروف مضبوطة واختبارها من حيث قوة مقاومة الضغط بعد الفترة المناسبة 3 أو 7 أو 28 يوماً. تُملأَ القوالب الفولاذية الأسطوانية والمكعّبة (الشكل 11.3) بطبقات مع رجّها يدوياً أو ميكانيكياً. أمّا بالنسبة للدق اليدوي يتم ملء مكعب 100 mm بطبقتين متساويتين، ويتمُّ دكُّ كلّ طبقة 25 مرة بقضيب رصٍّ معياري نهايته بشكل مربع وطول ضلعه 25 mm. يمكن أن يكون الرج الميكانيكي بطاولة رجٍّ أو رجّاج يعمل بالهواء المضغوط (Pneumatic). تتم تسوية الخلطة بعد ذلك بالمالج مع القالب، ويتم إنضاج المكعبات والأسطوانات في ظروف مضبوطة الرطوبة ودرجات الحرارة لمدة 24 ساعة، ثم يُفكُّ القالب، ويتم إنضاج الخرسانة تحت سطح الماء عند الدرجة 18 ـ 20 درجة مئوية حتى الوقت المطلوب للاختبار.

تستعمل اختبارات الخرسانة المعيارية الأوروبية أسطوانات بقطر 150 mm وارتفاع 300 mm لا مكعبات، كون الأسطوانات تميل لإعطاء نتائج أكثر انتظاماً لعيّنات خرسانية متشابهة اسمياً. بالنسبة لخرسانة معيّنة فإنَّ قوة مقاومة الضغط المميزة المحدّدة باختبار الأسطوانة هي أقل من تلك الناتجة من اختبار المكعّب المكافئ. لأصناف قوّة مقاومة الضغط (جدول 14.3) رمز من رقمين (على سبيل المثال C 20/25) يشير الرقم الأول المستعمل في كودات التصميم البنيوي الأوروبية إلى قوة مقاومة الضغط المميزة الأسطوانية، والرقم الثاني إلى مقاومة الضغط المميزة لمكعب 150 mm.

ديمومة الخرسانة

على الرغم من أن الخرسانة جيّدة النوعية وجيّدة الارتصاص وذات محتوى إسمنت كافٍ ونسبة منخفضة من الماء إلى الإسمنت تتصف عادةً بالديمومة، فإنّ الخرسانة يمكن أن تتعرّض لعوامل خارجية تُسبّب التدهور، أو يمكن أن تكون في حالات معيّنة عرضةً للتفكك الداخلي الناتج من تفاعل القلوي مع السيليكا مثلاً. ويحدّد المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 206-1:2000) متطلّبات مواصفات ومكونات وتركيب وإنتاج وخواص الخرسانة.

(الشكل 11.3) اختبار الأسطوانة والمكعّب.

الجدول رقم 14.3 أصناف مقاومة الضغط للخرسانة الكثيفة والخرسانة الخفيفة الوزن

أصناف مقاومة الضغط للخرسانة الكثيفة							
C40/50	C35/45	C30/37	C25/30	C20/25	C16/20	C12/15	C8/10
C100/115	C90/105	C80/95	C70/85	C60/75	C55/67	C50/60	C42/55
أصناف مقاومة الضغط للخرسانة الخفيفة الوزن							
LC40/44	LC35/38	LC30/33	LC25/28	LC20/22	LC16/18	LC12/13	LC8/9
		LC80/88	LC70/77	LC60/66	LC55/60	LC50/55	LC45/50

ملاحظات:

في كل صنف مقاومة ضغط، تشير الأرقام إلى مقاومة الكسر بعمر 28 يوماً بالميغا باسكال كما تم تحديدها باختبار الاسطوانة بقطر 150 mm + 300 mm واختبار الكعب 150 mm على الترتيب.

هجوم الكبريتات

كثيراً ما توجد الكبريتات في التُرب، لكن يعتمد معدّل هجوم الكبريتات على الخرسانة على محتوى المياه الجوفيّة من الكبريتات الذائبة. ولهذا فإنّ وجود كبريتات الصوديوم أو المغنزيوم في المحلول هو أكثر خطراً من كبريتات الكالسيوم غير القابلة للذوبان نسبياً. حيث تتفاعل الكبريتات الذائبة مع ألومينات ثلاثية الكالسيوم (C3A) في عجينة الإسمنت المتصلّبة، منتجةً كبريتات ألومينات الكالسيوم (Calcium Sulphoaluminate) الإترنجيت (Ettringite)، وتشغِّل هذه المادة حجماً أكبر من ألومينات ثلاثية الكالسيوم الأصلية، إذ يسبّب هذا الانتفاخ التشقُّق ونقصان قوة المقاومة وازدياد قابلية التعرّض لهجوم كبريتات لاحق. ويعتمد استمرار الهجوم للكبريتات على حركة المياه الجوفية الحاملة للكبريتات، وفي بعض الحالات، فإنّ تشكل الإترنجيت المتأخر قد لا يظهر خلال العشرين عاماً الأولى من عمر الخرسانة. يُلاحَظ أحياناً تشكّل الإترنجيت المتأخر في الخرسانة مسبقة الصنع التي تمت معالجتها بالبخار، أو عندما ترتفع درجة حرارة الخرسانة الكتلية بشكل مفرط خلال عملية المعالجة في الموقع. ويمكن أن يكون التدهور بهجوم كبريتات المغنزيوم أكثر خطراً لأنه قد تُهاجَمْ سيليكات الكالسيوم في الخرسانة المعالجة أيضاً. فيخفّض استعمال الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات

أو تركيبات من الإسمنت البورتلاندي والرماد المتطاير (رماد الوقود المسحوق) أو خبث الفرن العالي المحجب خطر هجوم الكبريتات في الخرسانة جيدة الارتصاص. وتتطلب الخرسانة حماية للسطح في حال وجود تراكيز مرتفعة من الكبريتات الذائبة. توصّف الوثيقة (CEN/TR 15697: 2008) المعايير التي تزيد مقاومة النسيج الإسمنتي لهجوم الكبريتات.

كما تصف مؤسسة بحوث البناء في نشرتها الخاصّة (BRE Special Digest 1:2005) الاحتياطات اللازمة للحيلولة دون حدوث التدهور الناجم عن الكبريتات، بما فيه الشكل الأسرع للهجوم الذي يتشكل فيه مُركب الثوماسيت (Thaumasite). وقد أثّر هجوم الكبريتات المشكّل للثوماسيت بشكل خطير في الأساسات الخرسانية، والبنى التحتية (Substructures) بما فيها بعض الجسور الموجودة على الطريق السريع (M5) في المملكة المتحدة. حيث يكون هذا النوع من هجوم الكبريتات أكثر فاعليّة عند درجات حرارة دون 15 درجة مئوية.

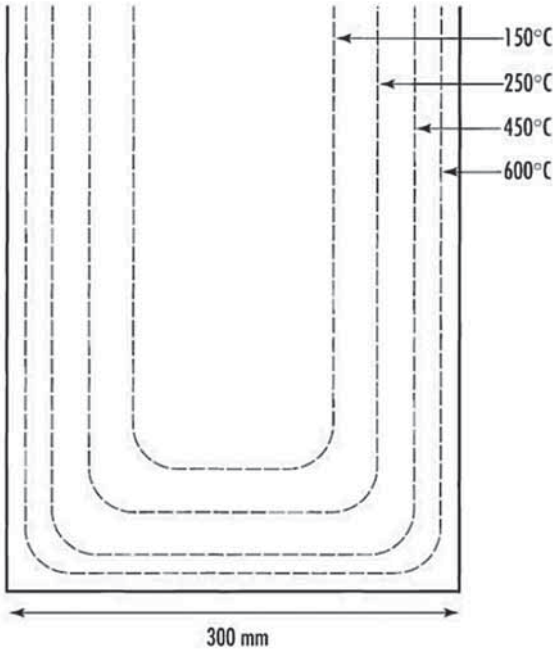
مقاومة الصقيع

تكون الخرسانة الضعيفة والنّفوذة على وجه الخصوص عرضةً لامتصاص الماء في المسامات الشَعرية والشقوق. عند حدوث التّجمد يتمدّد الجليد المتشكِّل مسبباً ضرر الصقيع. يخفض استعمال العناصر المدخلة للهواء التي تنتج مسامات غير مستمرة في الخرسانة مخاطرَ ضرر الصقيع السطحي. وتكون الخرسانة عرضة بشكل خاص لضرر الصقيع خلال اليومين الأولين من التصلّب المبكّر. وتُعد الإجراءات الوقائية من الصقيع ضروريّة عندما تكون الخرسانة الجديدة عرضة للخطر وذلك بالتأكد من عدم انخفاض درجة حرارة الخلطة دون الخمس درجات مئوية، حتّى بلوغ قوة مقاومة قدرها 2 ميغا باسكال. ويشير الكود الأوروبي رقم (BS EN 2 1992-1-1:2004) إلى أربعة مستويات من أصناف التعرض XF1 إلى XF4، في ما يتعلّق بالتدهور الناجم عن التجمد والذوبان (الجدول 16.3).

مقاومة الحريق

لا تُبدي الخرسانة أي نقصان ملحوظ في المتانة حتى الدرجة 250 مئوية، لكن عند وصولها إلى 450 درجة مئوية، واعتماداً على فترة التسخين، قد تنخفض المتانة إلى النصف، أما عند الدرجة 600 مئوية تفقد الخرسانة معظم متانتها. لكن لكون الخرسانة عازلاً جيداً، فإن درجة الحرارة في حريق بناء خرساني قد تحتاج

إلى أربع ساعات لترتفع إلى 650 درجة مئوية تحت سطح الخرسانة بخمسين mm. (الشكل 12.3)



(الشكل 12.3) بروفيل/ مخطط درجة الحرارة في خرسانة كثيفة معرّضة للحريق لمدة 60 دقيقة.

يسبّب تأثير الحرارة في الخرسانة حدوث تغيّرات في اللون إلى الوردي عند الدرجة 300 مئوية، وإلى الرّمادي عند الدرجة 600 مئوية، وإلى البنّي المصفرّ (Buff) عند الدرجة 1000 مئوية. فللحصويات المستعملة في الخرسانة تأثير كبير في مقاومة الحريق. حيث يمكن أن تؤدّي حصويات الحجر الكلسي أداءً أفضل قليلاً من الغرانيت والصخور المكسّرة الأخرى التي تتشظّى بسبب التمدُّد التفاضلي، بالنسبة للحماية من الحريق. فعندما يزيد الغطاء الخرساني فوق فولاذ التسليح على 40 mm، فإنَّ تسليحاً ثانويّاً بمعدن مُتمدِّد يعطي حماية إضافية للتسليح البنيوي. أمَّا بالنسبة إلى الخرسانة المُصنّعة بحصويات خفيفة، فسيكون لها أداء أفضل كثيراً في مقاومة الحريق لكلٍّ من العزل والتشظي بسبب خواصها الحرارية المحسنّة.

الخرسانة المصنّعة من دون مواد عضوية هي من الصنف (Class A1) بالنسبة للتفاعل مع الحريق. وفي حال اشتملت الخلطة على أكثر من 1% من المواد العضوية، فإنَّ المادة ستتطلّب اختباراً بحسب المعيار (BS EN 13501-1:2007).

الهجوم الكيميائي والترب العدوانية

تعتمد مقاومة الخرسانة المُنضجة للهجوم الحمضي بشكل كبير على جودة الخرسانة، بالرغم من أن إضافة خبث الفرن العالي المحبحب أو الرماد المتطاير (رماد الوقود المسحوق) تزيد من المقاومة للأحماض. وتعدُّ الخرسانة المُصنّعة بحصويات الحجر الكلسي أكثر عُرضة للهجوم الحمضي من الخرسانات المُصنّعة بحصويات أخرى. وتحدَّد مقاومة الخرسانة المنضجة للهجوم الكيميائي برقم الصنف الكيميائي التصميمي الذي يتراوح بين (DC1): مقاومة منخفضة إلى (Dc4): مقاومة مرتفعة. يحسب الصنف الكيميائي التصميمي المطلوب للخرسانة بجمع تأثيرات محتوى التربة من الكبريتات وطبيعة المياه الجوفية وعمر الاستخدام المتوقع للمبنى (Bre Special Digest 1:2005).

إنَّ تحديد الصّنف الكيميائي التصميمي المطلوب للخرسانة في بيئة تربة معيّنة هي عملية من ثلاث مراحل. المرحلة الأولى هي تحديد صنف الكبريتات التصميمي للموقع (Ds)، وهو تصنيف من خمسة مستويات مبني بشكل رئيسي على محتوى الكبريتات في التربة و/ أو في المياه الجوفية. إنّه يأخذ في الحسبان تراكيب كبريتات الكالسيوم وأيضاً كبريتات المغنزيوم والصوديوم الأكثر ذوباناً، ووجود الكلوريدات والنترات في حال كان الرقم الهيدروجيني (Ph) أقل من 5.5 (حمضي).

المرحلة الثانية هي تحديد البيئة الكيميائية العدوانية لتصنيف الخرسانة (Acec). حيث تؤدّي ظروف الترب العدائية كالحموضة (Ph المنخفضة) الموجودة غالباً في مواقع الحقول البنيّة (Brownfield) و/ أو المياه الجوفية المتحرّكة إلى تصنيف (Acec) أكثر صرامة. فالماء الراكد هو أكثر اعتدالاً، ويؤدّي إلى تصنيف أقل شدة. وتتراوح أصناف البيئة الكيميائية العدوانية للخرسانة من (Ac1): الأقل عدوانية إلى (Ac5): الأكثر عدوانيّة، مبنيةً على تراكب كلٍّ من صنف الكبريتات التصميمي وحركة المياه الجوفية والرقم الهيدروجيني (Ph).

يُحدّد الصنف الكيميائي التصميمي (Dc1) إلى (Dc4) نوعيات الخرسانة المطلوبة لمقاومة الهجوم الكيميائي. فهو يتحدَّد من صنف الـ (Acec) للتربة بالاشتراك مع العوامل المرتبطة بالخرسانة، كقياس المقطع والعمر الاستثماري المُزمع (مائة عام مثلاً). باعتبار أنَّ هناك أربعة أصناف كيميائية تصميميّة فقط مقابل خمسة أصناف للـ (Acec)، لذا للصنف الأكثر شدة من الـ (Acec)، أي (Ac5)،

هناك إجراءات وقائيّة إضافيّة (Apms) يمكن توصيفها لمقاومة الظروف الأكثر عدوانيّة. عادة تكون الإجراءات الوقائيّة الإضافيّة (Apm3) (الحماية السطحية للخرسانة) ملائمة لبيئات (Ac5)، لكن لزيادة العمر الاستثماري المزمع من 50 إلى 100 عام في الظروف الأقل عدوانية (Ac3) أو (Ac4) يمكن أن يُطبّق أي من الإجراءات الوقائية الإضافية (Apm).

الإجراءات الوقائية الإضافية (Apms) للخرسانة المطمورة (Buried Concrete):

Apm1 تحسين جودة الخرسانة

Apm2 استعمال قالب بنفوذية مضبوطة

Apm3 تأمين حماية سطحية للخرسانة

Apm4 زيادة سماكة الخرسانة كطبقة تضحية

Apm5 تخفيض المياه الجوفية بالصرف من الموقع

يجب أن تُؤخذ كافة هذه العوامل الإضافية بالحسبان وبشكلٍ حَذر، لضمان تسليم خرسانة تتمتّع بالديمومة بشكل مناسب وملائمة للعمل إلى الموقع للاستعمال في بيئات تربة عدوانية وكيميائية (Bre Special Digest 1:2005).

تبلور الأملاح

يمكن أن يسبّب تبلور الأملاح، بشكل خاص من ماء البحر، في مسام الخرسانة المسامية ضغطاً داخليّاً كافياً لتمزيق الخرسانة.

تفاعل السيليكا مع القلوي

يمكن أن يحدث تفاعل السيليكا مع القلوي بين أنواع الإسمنت المحتوية قلويّات صوديوم وبوتاسيوم وأي سيليكا نشطة موجودة في الحصويات. في الحالات القاسية يسبب تمدُّد أو انتفاخ الهلام الناتج من التفاعل الكيميائي شقوقاً عشوائية متقاطعة (Map Cracking) في الخرسانة، تتميّز بشبكة عشوائية من شقوق رفيعة جداً محاطة ببعض الشقوق الكبرى. تُعْرَف الحصويات بأنها ذات نشاط منخفض أو عادي أو عالي. ويمكن ضبط مخاطر تفاعل السيليكا مع القلوي عند استعمال حصويات ذات نشاط عادي، بالحد من المحتوى القلوي للإسمنت البورتلاندي إلى قيمة أعظميّة مساوية إلى 0.6% (محتوى قلوي منخفض) أو من

المحتوى القلوي الذائب للخرسانة إلى قيمة عظمى مساوية 3 $kg./m^3$. لتخفيض المخاطر يمكن استعمال إضافات من كميات مضبوطة من دخان السيليكا أو خبث الفرن العالي المُحبحب المطحون أو رماد الوقود المسحوق مع حصويّات منخفضة أو عاديّة النشاط. هناك طرائق بديلة للتقليل من مخاطر تفاعل السيليكا مع القلوي، منها إضافة أملاح الليثيوم (Lithium) أو الميتاكاولين (Metakaolin) إلى الخلطة الخرسانيّة.

الكربنة

تمتصّ الخرسانة الرطبة ثاني أوكسيد الكربون من الجو ببطء، فيتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم ليشكل كربونات الكالسيوم. تحدثُ العملية بشكل رئيسي عند السطح وتتغلغل فقط ببطء شديد إلى المادة (Bulk Material). ويعتمد معدّل التغلغل على مساميّة الخرسانة ودرجة الحرارة والرطوبة، وعموماً يصبح ذا إشكاليّة فقط عندما تتأثر الخرسانة المحيطة بالتسليح الفولاذي. تحوّل الكربنة الإسمنت المتميّه الشديد القلوية (Ph 12.5) إلى تقريباً وسط حيادي (Ph 8.3) يتآكل فيه التسليح الفولاذي بسرعة عند تعرضه للرطوبة.

$$Ca(Oh)_2 \quad + \quad Co_2 \quad \rightarrow \quad Caco_3$$

كربونات الكالسيوم ثاني أوكسيد الكربون اسمنت مميه

يمكن أن تُبدي الخرسانة الكثيفة الجيّدة النوعيّة كربنة لعمق يتراوح بين 5 إلى 10 mm بعد خمسين عاماً، في حين قد تتكربن الخرسانة النفوذة المنخفضة المقاومة إلى عمق 25 mm في غضون عشرة أعوام. وإذا لم يتم وضع التسليح بشكل صحيح مع غطاء كافٍ، سيتآكل مُسبباً تمدُّداً وتشظيّاً وبقعَ صدأ. يمكن تحديد عمق الكربنة باختبار عيّنة من عمق المادّة (Core Sample) للقلوية باستعمال مؤشر الفينول فتاليين (Phenolphthalein) الكيميائي، الذي يتحوّل إلى وردي بالتماس مع الخرسانة القلويّة غير المكربنة. عندما يصبح التسليح الفولاذي مكشوفاً بسب الكربنة والصدأ، يمكن طلاؤه بإسمنت مانع للصدأ ويتم ترميم طبقة الغطاء بملاط معدل بالبوليمرات الذي يُمكن أن يحتوي تسليحاً ليفيّاً. يمكن تحقيق حماية إضافيّة ضد أي هجوم لاحق بالتطبيق الأخير لطلاء واقٍ من الكربنة الذي يعمل كحاجز لثاني أوكسيد الكربون. كما تعطي البوليميرات المتجمدة حرارياً بعض الحماية ضد الكربنة مثل البولي يوريثان (Polyurethane) والمطاط المكلور

(Chlorinated Rubber) وبعض البوليميرات المُعتمدة على الأكريليك (Acrylic-Based Polymers).

الخواص الفيزيائية للخرسانة

الحركة الحرارية

يتراوح مُعامِل التمدد الحراري للخرسانة بين $(7 \text{ and } 14) \times 10^{-6} {}^{o}C$ وفقاً لنوع الحصويات المستعملة ونِسب الخلطة وظروف الإنضاج.

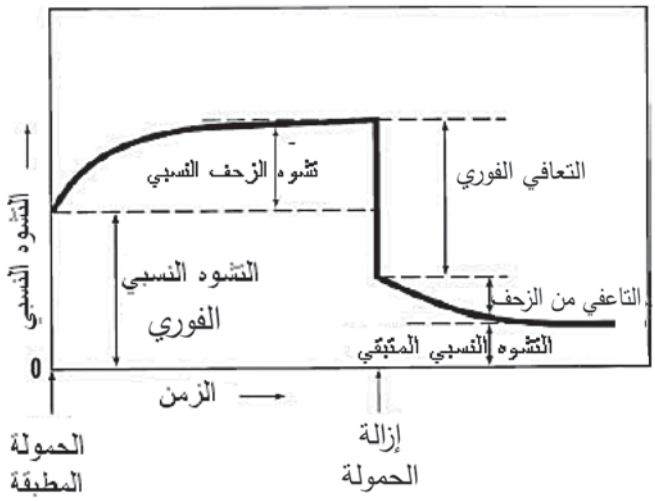
حركة الرطوبة

تُبدي الخرسانة خلال عملية الإنضاج بعض الانكماش غير العكوس (Irreversible Shrinkage)، الذي ينبغي التكيّف معه في وصلات التشييد. يعتمد مدى الانكماش على الأثر التقييدي للحصويّات، إذ يكون عادة أكبر عند استعمال حصويّات أصغر أو خفيفة الوزن. إذ تميل الخلطات بمحتوى حصويات مرتفع وبقابلية تشغيل منخفضة إلى امتلاك قيم انكماش صغيرة عندما تجف.

تتراوح حركة الرطوبة غير العكوسة للخرسانة المنضجة عموماً بين $(2\text{-}6) \times 10^{-4} {}^{o}C$ اعتماداً على الحصويات.

الزحف

الزّحف هو التشوّه الطويل الأمد للخرسانة تحت تأثير أحمال ثابتة (الشكل 13.3). يعتمد مدى الزحف بشكل كبير على معامل مرونة الحصويّات. وبالتالي تُبدي الحصويات ذات مُعامِل المرونة المرتفع تقييداً كبيراً للزحف. يمكن أن يكون مدى الزحف أكثر بعدة مرات من ذلك الناتج من التشوّه المرن الأوّلي للخرسانة تحت تأثير الأحمال المطبقة ذاتها. عند تطبيق طبقة اكساء صلبة (Rigid Cladding) على بناء إطاري من الخرسانة، لا بدّ أن تكون وصلات الضغط في كلٍّ طابق عريضة بما فيه الكفاية لتستوعب أيَّة تشوهات ناجمة عن الزحف بالإضافة إلى الحركات الدورية العادية.



(الشكل 13.3) الزحف والتعافي من الزحف في الخرسانة.

أصناف قوى مقاومة الخرسانة

ينبغي توصيف وصبُّ وإنضاج الخرسانة وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 206-1:2000). أصناف قوى المقاومة المفضّلة للخرسانة مبيّنة في الجدول 14.3 الذي تشير الأرقام فيه إلى قوى مقاومة كسر عينات اختبار أسطوانية 150 x 300 mm ومكعبة 150 mm على التوالي.

مواصفات الخلطات الخرسانية

هناك خمس طرائق لتوصيف الخرسانة يصفها المعيار البريطاني (BS 8500-1:2006). ينبغي أن تتوافق جميعها مع المعيارين (BS 8500-1:2006) و(BS EN 206-1:2000).

الطرائق الخمس هي:

الخرسانة المسمّاة (Designated Concrete)

الخرسانة المصمّمة (Designed Concrete)

الخرسانة الموصّفة مسبقاً (Prescribed Concrete)

الخرسانة المعيارية الموصّفة مسبقاً (Standardized Prescribed Concrete)

الخرسانة المسجّلة أو الخاصّة (Proprietary Concrete)

في حال تمَّ اعتبار التطبيق روتينياً (Routine)، يمكن عادة أن تكون الخرسانة المُسمّاة مناسبة. لكن في حال تطلّب الشاري معايير أداء معينة وقبل المستوى الأعلى من المسؤولية في التوصيف، فإنّه يمكن استعمال الخرسانة المصمّمة أو الموصفّة مسبقاً. بالنسبة للتطبيقات السكنية والتطبيقات المشابهة ينبغي أن تُعطي الخلطات المعيارية الموصّفة مسبقاً الأداء المطلوب شريطة أن يكون هناك مراقبة كافية على الإنتاج وجودة المواد المستعملة.

الخرسانة المسمّاة

الخرسانة المسمّاة مناسبة لمعظم البُنى الخرسانية بما فيها الأشغال ذات الأغراض العامّة، والأساسات، والخرسانة المسلحة والخرسانة المساميّة للأرصفة المُدخلة للهواء. ويعدُّ الشاري مسؤولاً عن التوصيف الصحيح للاستعمال المقترح، وتسمية الخلطة الخرسانية. إضافة إلى ذلك فإن الشاري ينبغي أن يحدّد ما إذا كانت الخرسانة مسلّحة، وظروف التعرّض (أو التربة)، ومقاس الحصويّات الاسمي، في حال لم يكن 20 mm، وصنف التناسق (الهبوط المخروطي). يجب أن يضمن المنتج أن تلبّي الخلطة معايير الأداء كافة، ولهذا عادةً، بالنسبة للأساسات في ظروف التربة ذات الصنف الكيميائي التصميمي (DC3)، فإنّ الخلطة المسمّاة (FND3) يمكن أن تكون مطلوبة. ويمكن أن تزوَّد هذه الخلطة بإسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات بمحتوى 340 $kg./m^3$، ونسبة ماء إلى إسمنت مساوية إلى 0.5، أو بإسمنت بورتلاندي مع رماد متطاير بنسبة 25% أو خبث فرن عالي محبحب بنسبة 75%. سيكون أداء أيّ من هذه الخلطات محققاً للمعايير المطلوبة للغرض المحدّد. بالنسبة للعمل الروتيني، تقدّم الخلطات المسمّاة المنتجة في مصانع تضبط الجودة للموصِّف المخاطر في حدِّها الأدنى من التوصيف الخاطئ. يوضح الجدول 15.3 التطبيقات السكنية النموذجيّة للخلطات المسمّاة.

الجدول 15.3 الخرسانة المسماة والقياسية سلفاً للأبنية السكنية وتطبيقات أخرى

التطبيق النموذجي	الخرسانة المسماة	الخرسانة المعيارية الموصّفة مسبقاً	درجة التناسق
الأساسات (الصنف الكيميائي التصميمي1)			
خرسانة ردم كتلية	GEN1	ST2	S3
أساسات شريطية	GEN1	ST2	S3
أساسات خرسانة كتلية	GEN1	ST2	S3
أساسات ردم خنادق	GEN1	ST2	S4
أعمال صرف ـ مسند فوري	GEN1	ST2	S1
أعمال صرف أخرى	GEN1	ST2	S3
تغطية أسفل البلاطات المعلقة	GEN1	ST2	S3
الأساسات (الصنف الكيميائي التصميمي 2 إلى 4)			
الأساسات DC2	FND 2		S3
الأساسات DC3	FND 3		S3
الأساسات DC4	FND 4		S3
الأساسات DC 4m	FND 4M		S3
تطبيقات عامة:			
فرشة الأرصفة والإسناد	GEN 0	ST1	S1
الأرضيات			
أرضيات منزلية من دون معدن مطمور للتسوية	GEN1	ST2	S2
أرضيات منزلية من دون معدن مطمور ـ من دون إنهاء	GEN2	ST3	S2
أرضيات مرآب من دون معدن مطمور	GEN3	ST4	S2
سطح الاهتراء ـ حركة مشاة وعربات خفيفة	RC 25/30	ST4	S2
سطح الاهتراء ـ صناعي عادي	RC 32/40		S2
سطح الاهتراء ـ صناعي ثقيل	RC 40/50		S2
الرّصف مداخل الأبنية ومواقف منزلية ورصف خارجي	PAV1		S2
رصف خارجي قوي التحمّل للسيارات بإطارات مطاطية	PAV2		S2

ملاحظة: m يشير إلى قوى مقاومة المستويات العليا من المغنزيوم في أصناف الكبريتات المختلفة.

الخرسانة المصمّمة

يكون المنتِج مسؤولاً عن اختيار الخرسانة المصمّمة التي توافق معايير الأداء

التي يطلبها الموصِّف. وينبغي على الموصِّف أن يُحدِّد بوضوح الاستعمال المطلوب، وشروط الإنضاج وظروف التعرض، وإنهاء السطح والمقاس الأعظمي للحصويّات وأية مواد يراد استبعادها. إضافة إلى ذلك لا بدّ من تحديد صنف قوة مقاومة الضغط، والنسبة العظمى من الماء إلى الإسمنت، والمحتوى الأدنى للإسمنت، وتناسق الهبوط، وأنواع الإسمنت المسموحة. في إطار هذه القيود، يكون المنتج مسؤولاً عن إنتاج خرسانة تطابق الخواص المطلوبة، وأية ميزات محدَّدة إضافية. تُستعمل الخرسانة المصمّمة، عندما تكون مواصفات المستخدم خارج تلك التي تغطيها الخرسانة المسماة. تشمل المتطلبات الخاصة الحرارة المنخفضة للإماهة، أو التعرُّض للكلوريدات، أو الخرسانة الخفيفة الوزن.

الخرسانة الموصّفة مسبقاً

يحدّد الشاري بشكل كامل المواد كافّةً بالوزن kg./ m^3 بما فيها الإضافات، ما عدا قوة مقاومة الخرسانة. لذا يعد الشاري مسؤولاً عن مميّزات أداء الخرسانة. يمكن أن تستعمل الخرسانة الموصّفة مسبقاً خصوصاً للإنهاءات الخاصة كالخرسانة المرئية المكشوفة الحصويات.

الخرسانة المعيارية الموصّفة مسبقاً

الخرسانات المعيارية الموصّفة مسبقاً هي مجموعة من خمس خلطات معيارية، يمكن أن تُخلط في الموقع أو يتمّ تسليمها من قبل منتج مخوّل من دون وجود طرف ثالث. ويمكن عمل خلطات معيارية من (ST1) إلى (ST5) لأصناف الهبوط المخروطي S1, S2, S3, S4، معطيةً قابلية تشغيل منخفضة أو متوسطة أو مرتفعة أو مرتفعة جداً. يجب أن يسجّل التوصيف المقاس الأعظمي للحصويات، وكون الخرسانة مسلّحة أم لا. يوضّح الجدول 15.3 تطبيقات سكنية نموذجية للخرسانة المعيارية الموصّفة مسبقاً.

الخرسانة المسجّلة

ينبغي أن توافق الخرسانة المسجّلة المعيارين (BS 8500-2:2006) وBS EN) (206-1:2000، وأن تُعرّف بشكل صحيح. يسمح هذا الصنف لمزوِّد الخرسانة بإنتاج خلطة خرسانية بأداء مناسب لكن من دون الإشارة إلى تركيبها.

اختبار الخرسانة في الموقع

يمكن تقدير قوة مقاومة الضغط للخرسانة المتصلّبة في الموقع بقياسات ميكانيكية أو فوق صوتية. وتقيس مطرقة شميدت، أو أداة تحديد الصلابة، قساوةَ سطح الخرسانة بتحديد ارتداد مكبس فولاذي يُطلق على السطح. في **اختبار النزع** (Pull-out)، تعطي القوّة المطلوبة لانتزاع مخروط فولاذي قياسي مصبوب مسبقاً قياساً لقوة مقاومة الخرسانة. تُحدِّد الأجهزة فوق الصوتية سرعة النبضات فوق الصوتية عبر الخرسانة. وبما أنّ سرعة النبضة تزداد مع زيادة كثافة الخرسانة، فإنَّ هذه التقنيّة يمكن أن تستعمل لتحديد التغيّرات في خرسانات متشابهة. ويعطي الاختبار تصنيفاً واسعاً لجودة الخرسانة، لكن لا يعطي بيانات مطلقة عن خرسانات ذات مواد مختلفة وبنسب غير معروفة.

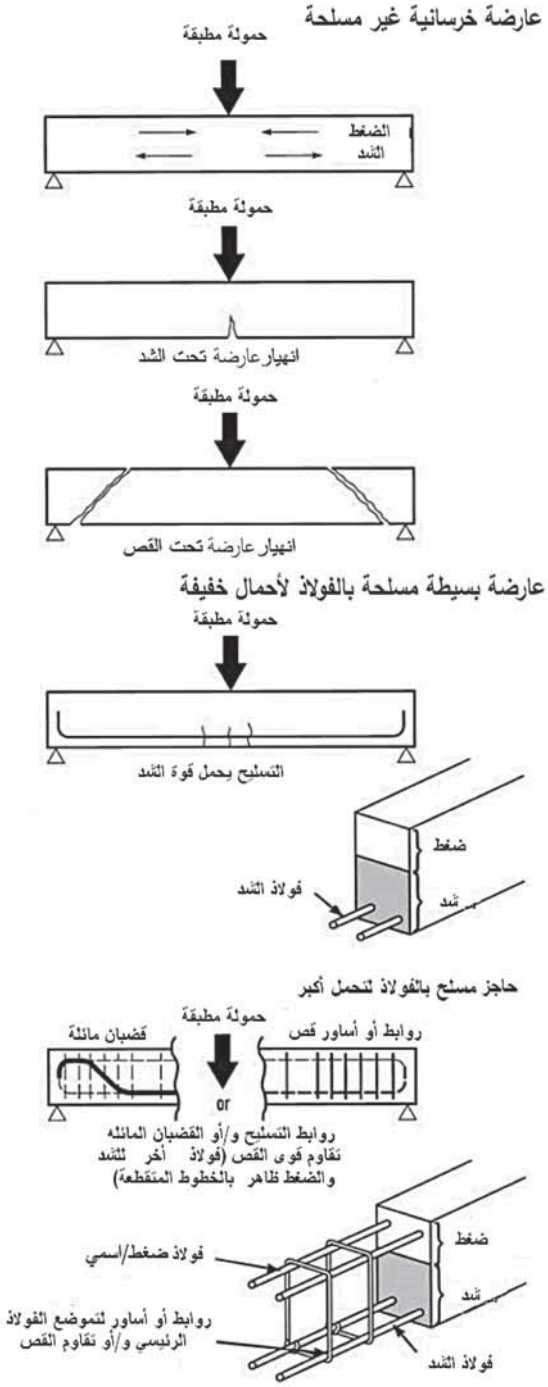
الخرسانة المسلّحة

الخرسانة القويّة على الضغط، تقع قوة مقاومة كسرها على نحو نموذجي في المجال 20 ـ 40 MPa.، وحتّى 100 MPa. في الخرسانات العالية المقاومة. إلاّ أنّ قوة مقاومة الشد هي عادةً 10% فقط من مقاومة الضغط. الفولاذ هو مادة التسليح المقبولة عالميّاً باعتباره قوته عند الشّد، ويشكّل تماسكاً جيداً وله معامل تمدُّد حراري مشابه للخرسانة. إنّ موقع الفولاذ في الخرسانة المسلّحة مهم، كما هو موضّح في الشكل 14.3، لضمان انتقال قوى الشّد والقص إلى الفولاذ. وتتحمّل القضبان الطوليّة قوى الشد في حين تقاوم الشناكل (Links) أو الأساور (Stirrups) قوى القص وتحافظ على توضع الفولاذ أثناء صبّ الخرسانة. لذا تكون الأساور أكثر تركّزاً حول مواضع القص المرتفع، بالرغم من أنّه يمكن أيضاً استعمال القضبان المائلة لمقاومة قوى القص. كما يمكن استعمال قضبان فولاذيّة أقل أو أرفع في الخرسانة المسلّحة، لتحمّل جزء من أحمال الضغط لتخفيض أبعاد العارضة إلى الحدّ الأدنى.

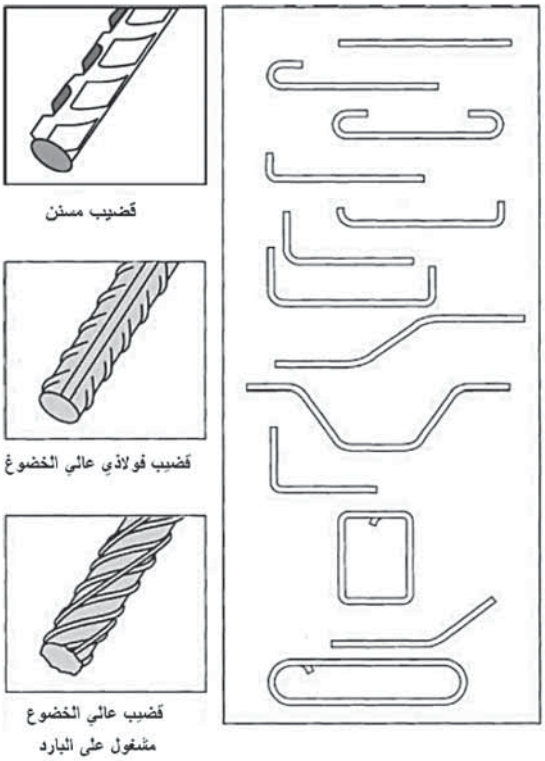
يُصنَع التّسليح الفولاذي للخرسانة، على نطاقٍ واسع، من الخردة المعادة التدوير، على شكل قضبان دائرية (Round) أو محلزنة (Ribbed) أو مسنَّنة (Indented) أو محلزنة ومجدَّلة (Ribbed And Twisted) (الشكل 15.3). يستعمل الفولاذ المطاوع (الطّري) كثيراً لتصنيع القضبان الملساء لتشكيل الأساور. ويستعمل

الفولاذ المسحوب (المدرفل) على الساخن ذو قوة الخضوع المرتفعة في القضبان المحلزنة والمسنَّنة. يؤشر المعيار البريطاني (BS 4482:2005) إلى الفولاذ ذي قوة خضوع 250 .MPa للقضبان الملساء، وإلى المرتبة العليا 500 ميغاباسكال للتسليح الأملس والمحلزن والمسنن بأقطار تتراوح بين 2.5 و12 mm. يوصّف المعيار البريطاني (BS 4449:2005) الفولاذ ذا قوة الخضوع المرتفعة بثلاثة مستويات من المطاوعة (Ductility) (A, B, C) (الأعلى)، للقضبان المُحلزنة التي أقطارها تتراوح بين 6 و50 mm. وتستعمل شبكات التسليح الفولاذي الملحومة وفقاً للمعيار البريطاني (BS 4483:2005) في البلاطات والطرق وضمن الخرسانة المرشوشة (Sprayed Concrete).

يمكن أن يُستعمل الفولاذ المقاوم للصدأ الأوستنتي لتسليح الخرسانة عندما يشكّل الانهيار الناجم عن التآكل خطراً محتملاً. ويستعمل الفولاذ المقاوم للصدأ من الصنف (1.4301) (18%كروم، 10% نيكل) في معظم التطبيقات؛ أمّا الصنف الأعلى (1.4436) (17% كروم، 12% نيكل، 2.5% موليبدينوم) فيستعمل في البيئات الأكثر تآكلاً. عندما يكون مطلوباً الحصول على أداء طويل الأمد في بيئات عالية التآكل، ويمكن استعمال أصناف مزدوجة (Duplex Grades) من الفولاذ المقاوم للصدأ. تعادل الكلفة الأوليّة للتسليح بالفولاذ المقاوم للصدأ بنحو ثمانية أضعاف كلفة التسليح الفولاذي المعياري، لكن في الحالات التي يمكن أن تكون فيها تكاليف الصيانة مرتفعة، نتيجة هجوم الكلوريدات، من ماء البحر أو أملاح الطرق على سبيل المثال، فإنّ التكاليف الإجماليّة على مدار العمر الاستثماري يمكن أن تنخفض باستعماله. إضافة إلى ذلك، للفولاذ المقاوم للصدأ قوة مقاومة أعلى من فولاذ الكربون المعياري. يوصّف المعيار البريطاني (BS 6744:2001+A2:2009) أنواع الفولاذ المقاوم للصدأ المناسبة لتسليح الخرسانة.



(الشكل **14.3**) الخرسانة المسلحة .



(الشكل 15.3) أنواع تسليح الخرسانة والأشكال القياسية.

التماسك بين الفولاذ والخرسانة

لتعمل الخرسانة المسلّحة بشكل فاعل كمادة مركّبة، لا بدّ من ضمان التماسك بين الخرسانة والفولاذ. وهذا يضمن انتقال أيّة قوى شد في الخرسانة إلى التسليح الفولاذي. يؤثّر كل من شكل وحالة سطح الفولاذ وجودة الخرسانة في قوة التماسك.

للحصول على تماسك ميكانيكي أكثر فاعليّة مع الخرسانة، لا بدّ أن يكون سطح الفولاذ خالياً من الصدأ المتقشر (Flaky Rust)، والقشور المفكّكة (Loose Scale)، والشّحم (Grease)، إلا أنّه لا يتوجّب إزالة طبقة الصدأ الرقيقة، التي تنتج من التخزين قصير الأمد في الموقع، قبل الاستعمال. ويخفّض استعمال النهايات المعكوفة (Hooked Ends) في القضبان المدوّرة (الملساء) من احتمال تملّص الفولاذ تحت تأثير الحمل، إلا أنّه يتم الحصول على قوة التماسك المرتفعة باستعمال القضبان المُحلزنة أو المسننة التي تضمن تماسُكاً جيّداً على الطول

الكامل للفولاذ. يتم توريد **قضبان التسليح** الفولاذي عادةً إمّا بأطوال السوق (Stock Lengths)، أو مقطوعة ومحنيّة جاهزة لتركيبها في أقفاص (Cages). يمكن في بعض الأحيان توريد التسليح كأقفاص مصنّعة مسبقاً، والتي يمكن أن تكون ملحومة عوضاً عن تثبيتها بأسلاك حديدية مثلما يتم في الموقع. بالرغم من أن التسليح الفولاذي قابل للحام، إلا أنه نادراً ما يُلحَم في الموقع. ويمكن عمل وصلات قضبان التسليح بسهولة بمثبتات خاصّة كأكمام (أغماد) فولاذية (Steel Sleeves) مربوطة ببراغي قص (Shear Bolts). تستعمل المباعدات (Spacers) لضمان الفصل السليم بين التسليح والقالب.

تعطي الخرسانة الكثيفة الجيّدة النوعيّة التماسك الأقوى مع الفولاذ. وينبغي رصّ الخرسانة بشكل جيّد حول التسليح، لذا يجب أن لا تغلق الحصويّات ذات المقاس الأعظمي الفراغ الأدنى بين التسليح.

تآكل الفولاذ ضمن الخرسانة المسلحة

يكون الفولاذ محميّاً من التآكل شريطة أن يكون له غطاء كافٍ من خرسانة جيّدة النوعيّة ومرصوصة ومنضجة بشكل جيد. تجعل البيئة القلوية الشديدة للإسمنت المتميّه الفولاذ غيرَ نشط (سلبياً)، إلا أنّ الغطاء غير الكافي، الذي يسبّبه التثبيت غير الصحيح للتسليح الفولاذي أو القالب، يمكن أن يسمح للفولاذ بالتآكل. ويسبب تمدُّد الصدأ تشظيّاً للسطح، ثم يسمح انكشاف الفولاذ بالتآكل، متبوعاً ببقع صدأ تظهر على سطح الخرسانة (الشكل 16.3). وينبغي عادةً عدم استعمال مسرعات كلوريد الكالسيوم في الخرسانة المسلحة، لأنّ الكلوريدات المتبقية تسبب تآكلاً مسرّعاً للتسليح الفولاذي.

(الشكل 16.3) تآكل التسليح الفولاذي.

يمكن تحقيق حماية إضافيّة من التآكل باستعمال تسليح فولاذي مغلفن أو مطلي بالإيبوكسي أو مقاوم للصدأ. وتنخفض القلويّة الحامية للخرسانة عند السطح بالكربنة. ويعتمد عمق الكربنة على نفوذيّة الخرسانة ومحتوى الرطوبة وأي تشقّق للسطح. لهذا يحسب الغطاء الاسمي لتسليح الخرسانة من الدرجة المتوقعة للتعرّض (الجدول 16.3) وصنف قوة الخرسانة كما في الجدول 17.3. ويرتبط الغطاء الموصّف الموصى به بكافّة أشكال التسليح بما فيها أسلاك التربيط والتسليح الثانوي. ويمكن إنجاز بعض الخفض في معدل الكربنة بالأغطية الحامية للسطح الخرساني. وتجدر الملاحظة أنّ اختيار خرسانة ذات ديمومة كافية لحماية الخرسانة ذاتها من الهجوم ووقاية التسليح من التآكل يمكن أن يؤدّي إلى خرسانة ذات قوة مقاومة ضغط أعلى من تلك الضرورية للتصميم البنيوي (الجدول 18.3).

الجدول 16.3 أصناف تعرض الخرسانة
وفقاً للمعيار الأوروبي 2 (BS EN 1992-1-1:2004)

أصناف التعرّض		الظروف البيئية النموذجية
لا يوجود خطر لتآكل التسليح أو هجوم على الخرسانة		
X0	خرسانة من دون تسليح، خرسانة جافة	داخل الأبنية الجافة
تآكل ناتج من الكربون		
XC1	جاف أو رطب باستمرار	داخل الأبنية والخرسانة تحت الماء
XC2	رطب ونادراً جاف	الأساسات
XC3	رطوبة معتدلة	خرسانة خارجية محمية والأجواء الداخلية عالية الرطوبة
XC4	رطب وجاف دورياً	الخرسانة بتماس عرضي مع الماء
تآكل ناتج من الكلوريد		
XD1	بيئة رطبة	المكونات المعرضة للرذاذ المحمول بالهواء
XD2	رطب ونادراً جاف	برك السباحة والمكونات التي على تماس مع المياه الصناعية
XD3	رطب وجاف دورياً	السطوح الخرسانية الخارجية المكشوفة

تآكل ناتج من ماء البحر		
XS1	التعرّض لهواء البحر	المباني الساحلية
XS2	مغمور في ماء البحر	المباني البحرية المغمورة
XS3	منطقة المد والجزر والرذاذ البحري	أجزاء من المباني البحرية
تدهور الصقيع		
XF1	إشباع معتدل	سطوح شاقولية معرضة للمطر والصقيع
XF2	إشباع معتدل مع عنصر إذابة للجليد	سطوح شاقولية معرضة للمطر والصقيع وإذابة الجليد
XF3	إشباع عالٍ	سطوح أفقية معرضة للمطر والصقيع
XF4	إشباع عالٍ مع عنصر إذابة للجليد	سطوح معرضة للمطر والصقيع وإذابة الجليد والرذاذ البحري
الهجوم الكيميائي		
XA1	وسائط خفيفة العدوانية	الترب والمياه الجوفية
XA2	وسائط متوسطة العدوانية	الترب والمياه الجوفية
XA3	وسائط شديدة العدوانية	الترب والمياه الجوفية

عندما تكون سماكة الغطاء الخرساني موضع شك، يمكن قياسها بجهاز **قياس الغطاء** (Covermeter). عند تآكل التسليح يمكن أن تمنع حماية القطب الكهربائي السالب أيّ تدهور لاحق وتُعيد القلويّة للخرسانة المكربنة وذلك بتطبيق تيّار مباشر مستمر على التسليح الفولاذي.

الخرسانة المسلّحة المركّبة من الألياف

يستعمل الفولاذ في معظم الحالات لتسليح أو لإجهاد الخرسانة مسبقاً. ومع ذلك تقدّم الألياف المستمرة عالية المعامل المغموسة في الراتنج بديلاً للفولاذ في المباني في البيئات الشديدة العدوانية، حيث تُغلَّف الألياف سواء كانت زجاجية أو كربونية أو تركيبيّة (Aramid) براتنج يتيبّس بالحرارة، ويتم سحبها عبر قالب تشكيل (Die)، وبالسحب المتواصل (Pultrusion) هذا ينتج المقطع العرضي المطلوب. ثم تُلفُّ المادة المبثوقة بألياف أخرى لتحسين تماسكها مع الخرسانة. وتُستَعْمَل قضبان

الألياف المركّبة (Fibre-Composite Rods) كتسليح أو كأوتار مسبقة الإجهاد في المنشآت الخرسانيّة المعيارية.

الخرسانة المحنيّة

يمكن بثقُ الخرسانة المسلّحة بالألياف باستمرار، من خلطة مناسبة، في مقاطع مختلفة لإنتاج ألواح أو أسطوانات أو أنابيب. ويكون المنتج أكثر مرونة وذا قوة مقاومة صدم أعلى من الخرسانة العادية. ويمكن الحفر بالخرسانة **المحنيّة** وتقطيعها وحفر مسامير فيها من دون إحداث ضرر لها. وهي أخفّ من الخرسانة العادية ويمكن استعمالها لمقاومتها الجيدة للحريق كبديل لألواح الجدران الأخرى.

الخرسانة المساميّة المسلحة بالألياف

تستعمل الخرسانة المسامية المسلحة بألياف البولي بروبيلين لصناعة وحدات البلوك الخفيفة الوزن، والأرضيات والألواح والجدران وتغطية الأسقف، فتقدّم بذلك تركيبة من خواص المتانة والعزل. ويمكن تقطيع وتشكيل المادة كما في الخرسانة المسامية القياسية بالأدوات اليدوية المعيارية. عندما يكون مطلوباً الحصول على متانة إضافيّة يمكن استعمال الخرسانة المساميّة المسلحة بألياف الفولاذ للصب في الموقع أو في الوحدات المنتجة مصنعياً. للمادة المسلّحة بالألياف مرونة أكبر من الخرسانة المهواة المعيارية. إذ يمكن بواسطة المسامير تثبيت أغشية تغطية الأسقف (Roofing Membranes) وعوارض خشبية (Battens) للتبليط مباشرة بألواح السقف بالمسامير، بينما تقبل ألواح الأرضيات كافة الإنهاءات المعيارية الخاصة بالأرضيّات.

مقاومة الخرسانة المسلحة للحريق

صنف الخرسانة المصنّعة من دون مواد عضوية هو A1 فيما يتعلق بأدائها في الحريق. إذا اشتملت الخلطة على أكثر من 1% من المواد العضويّة، لا بدَّ من اختبار المادة وفقاً للمعيار (BS EN 13501-1:2007).

يبيّن الجدول 19.3 سماكات الغطاء الخرساني للتسليح الفولاذي لضمان فترات مختلفة لمقاومة الحريق. عندما تزيد سماكة الغطاء على 40 mm، يلزم وضع تسليح إضافي لمنع تشظّي سطح الخرسانة. ينبغي أن يمنع الغطاء تجاوز درجة حرارة التسليح الفولاذي الـ 550 درجة مئوية (أو الـ 450 درجة مئوية عند استعمال فولاذ مسبق الإجهاد).

الجدول 17.3 الغطاء الأدنى المطلوب لضمان ديمومة التسليح الفولاذي في الخرسانة البنيوية بالنسبة لأصناف التعرض وفقاً للمعيار الأوروبي 2 (BS EN 1992-1-1:2004)

أصناف التعرض	X0	XC1	XC2/ XC3	XC4	XD1/ XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
ألغطاء الموصى به (mm)	10	15	25	30	35	40	45
ألغطاء الأدنى (mm)	10	10	10	15	20	25	30
صنف القوة	⩽ C30/37	⩽ C30/37	⩽ C35/45	⩽ C40/50	⩽ C40/50	⩽ C40/50	⩽ C45/55

ملاحظات:

يرتبط الغطاء الموصى به بالإنتاج المعياري لعمر استثماري تصميمي قدره 50 عاماً.

تلزم زيادة الغطاء من أجل عمر استثماري تصميمي قدره 100 عام.

الغطاء الأدنى يرتبط بظروف خاصة جداً تجمع بين ضبط عالٍ لجودة توضّع التسليح وإنتاج الخرسانة إضافة إلى استعمال 4% هواء مُدخل كحد أدنى.

يعطي المعيار البريطاني (BS 8500-1:2006) مجموعة من التوصيات أكثر تفصيلاً تربط بين أصناف قوة المقاومة والغطاء الاسمي بما فيها الخيار لإضافة غطاء إضافي لوجود انحرافات في الصنعة.

الجدول 18.3 أصناف قوة المقاومة التأشيرية لديمومة الخرسانة وفقاً للمعيار الأوروبي 2 (BS EN 1992-1-1:2004)

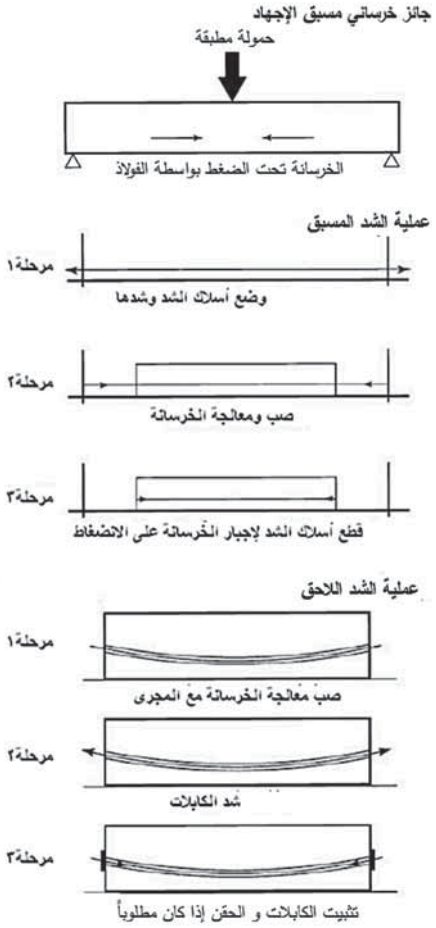
احتمال التآكل	XC1	XC2	XC3 and XC4	XD1 and XD2	XD3	XS1	XS1 and XS3
صنف قوة مقاومة تأشيري	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45
ضرر الخرسانة	XA3	XA2	XA1	XF3	XF2	XF1	X0
صنف قوة المقاومة التأشيري	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45

ملاحظات:

يفصّل المعيار البريطاني (BS 8500-1:2006) علاقة أكثر شمولية بين صنف قوة المقاومة وصنف التعرض من أجل مقاومة الصقيع بالنسبة للمقاسات العظمى المختلفة للحصويات والمحتويات الدنيا للإسمنت.

الخرسانة المسبقة الإجهاد

للخرسانة مقاومة ضغط مرتفعة، لكنها ضعيفة بالشّد. يضمن الإجهاد المسبق بأسلاك فولاذيّة أو كابلات (أوتار) (Tendons) بقاء العنصر الخرساني المكوَّن من مادّة مركّبة مضغوطاً دائماً عند تعرّضه للانعطاف حتى حمولة التشغيل العظمى. تعمل قوى الشّد في الكابلات الفولاذية على ضغط الخرسانة، بحيث إنها تحت تأثير حمولات زائدة فقط ستتعرّض الخرسانة للشّد والتشقّق. ويستخدم نظامان متمايزان للإجهاد المسبق: الشّد المسبق (Pre-Tensioning) وفيه يتم شدُّ الكابلات قبل إنضاج الخرسانة، والشّد اللاحق (Post-Tensioning) وفيه يتم شد الكابلات بعد تصلّب الخرسانة (الشكل 17.3).



(الشكل 17.3) الخرسانة المسبقة الإجهاد.

الشّد المسبق

تُصنَع أعداد كبيرة من وحدات الخرسانة المسبقة الصّنع بما فيها نظم الأرضيات بعملية الشدّ المسبق. حيث تركّب الأوتار في سلسلة من قوالب العوارض ويتم تطبيق الشدّ المناسب. وتُقطع الأوتار عند نهايات العوارض بعد صبِّ الخرسانة ورجّها وإنضاجها مما يجعل الخرسانة في حالة ضّغط. كما في الخرسانة المسلّحة المسبقة الصنع، فإنّه من المهم أن يتم تركيب العوارض المسبقة الإجهاد بالطّريقة الصحيحة وفقاً للأحمال المتوقّعة.

الجدول 19.3 الغطاء النموذجي للتسليح الخرساني لمقاومة الحريق وفقاً للكود الأوروبي 2 (BS EN 1992-1-2:2004)

الغطاء النموذجي للتسليح (mm)		مقاومة الحريق (دقيقة)	
عوارض مستمرة	استناد بسيط	العرض (mm)	العوارض
15	25	80	R 30
25	40	120	R 30
35	55	150	R 30
45	65	200	R 30
60	80	240	R 30
75	90	280	R 30
	وجه واحد معرّض	الأبعاد الدنيا (mm)	الأعمدة
	25	155	R 30
	25	155	R 60
	25	155	R 90
	35	175	R 120
	55	230	R 180
	70	295	R 240

	وجه واحد معرض	الأبعاد الدنيا (mm)	الجدران
	10	100	REI 30
	10	110	REI 60
	20	120	REI 90
	25	150	REI 120
	40	180	REI 180
	55	230	REI 240
بلاطات اتجاهين	بلاطات باتجاه واحد	سماكة البلاطة	بلاطات
10	10	60	REI 30
10 ـ 15	20	80	REI 60
15 ـ 20	30	100	REI 90
20 ـ 25	40	120	REI 120
30 ـ 40	55	150	REI 180
40 ـ 50	65	175	REI 240

ملاحظات:

صنف مقاومة الحريق:

(R) معيار سند الأحمال و(E) معيار السلامة و(I) معيار العزل أثناء تعرّض قياسي للحريق.

كافة متطلبات غطاء التسليح معتمدة أيضاً على أبعاد وهندسة المكونات الخرسانية ودرجة التعرض للحريق (BS EN 1992-1-2:2004).

عندما يلزم سماكة غطاء منخفضة للوقاية من الحريق فإن غطاء أكبر سماكة يمكن أن يكون مطلوباً للوقاية من التآكل (BS EN 1992-1-1:2004).

الشّد اللاحق

في نظام الشّد اللاحق يتم وضع الأوتار في القالب ضمن أغماد أو مجاري (Sheaths Or Ducts). ثم تصب الخرسانة، وعندما تصبح قويّة بما فيه الكفاية، حيث يتم إجهاد الأوتار وتثبيتها بمماسك إرساء (Anchor Grips) خاصة مُدمجة في نهايات الخرسانة. يتم عادةً إدماج التسليح في الخرسانة اللاحقة الشدّ خصوصاً

قرب الإرساءات (Anchorages) المعرّضة لقوى موضعيّة عالية جداً. في النظام المتماسك (Bonded System)، يتمُّ بعد الشد حقن الفراغ ضمن المجاري بملاط مائع (حقين) (Grout)، الذي يحدُّ عندئذٍ من الاعتماد على تثبيت الإرساء. إلا أنّه في النظام غير المتماسك تبقى الأوتار حرة الحركة بشكل مستقلّ عن الخرسانة. تُصْنَع مجاري الأوتار عادةً من شرائح الفولاذ المغلفن أو البوليتين ذي الكثافة العالية.

الشّد اللاّحق له ميزة على الشّد المسبق في أنّه يمكن أن يتم حني الأوتار لتساير خطوط سبق الإجهاد الأكثر كفاءةً. وهذا بدوره يسمح بإنشاء مجازات طويلة بسماكة دنيا. عند الهدم أو التعديل البنيوي، ينبغي إزالة الشد من المباني اللاحقة الشد غير المتماسكة، مع أن الخبرة قد أظهرت أنه إذا تمّ هدم المبنى والأوتار مشدودة، فلن ينهار المبنى بشكل انفجاري. في أعمال التعديل، فإنّ الأوتار المبتورة المتبقيّة قد تتطلب إعادة الشد أو إعادة الإرساء لاسترجاع الأداء البنيوي. مع ذلك لا يمنع استعمال الشدِّ اللاحق آجُرّاء تعديلات بنيوية لاحقة.

الخرسانة المرئية

لا يتطلّب إنتاج الخرسانة المرئية، إن كانت مسبقة الصنع أو مصبوبة في الموقع، مستوىً عالياً من ضبط الجودة في التصنيع فقط، بل أيضاً التدقيق في التّوصيف الصحيح وتفصيل المادة لضمان إنهاء جيّد يتحمّل العوامل الجوية بشكل مناسب. توضّح الخرسانة المكشوفة في كليّة القديس جون بأوكسفورد (الشكل 18.3)، الجّودة البصريّة للمادة عند التّصميم والتّفصيل والتّنفيذ في ظروف مثالية.

يتأثّر مظهر الخرسانة البصريّة بالعوامل الأربعة الرئيسة:

- تركيب الخلطة الخرسانيّة.
- القالب المستعمل.
- معالجة السطح بعد الصب.
- جودة الصنعة

اعتبارات التصميم

من الصّعب الوصول إلى إنتاجٍ مرضٍ لمساحات كبيرة من الخرسانة الملساء نتيجة التغيّرات في اللون وبعض عيوب السّطح الحتمية، التي لا يمكن استأصالها ولكن يتم تحسينها بعمل علاجي. تقاوم الخرسانة الملساء خارجياً الظروف الجوية بشكل متفاوت بسبب تراكم رواسب الأوساخ، وتدفُّق ماء المطر. لهذا فإن كانت الخرسانة ستُسْتَعمل خارجياً كمادة مرئية، لا بدّ من أخذ اعتبارات تصميمية مبكّرة

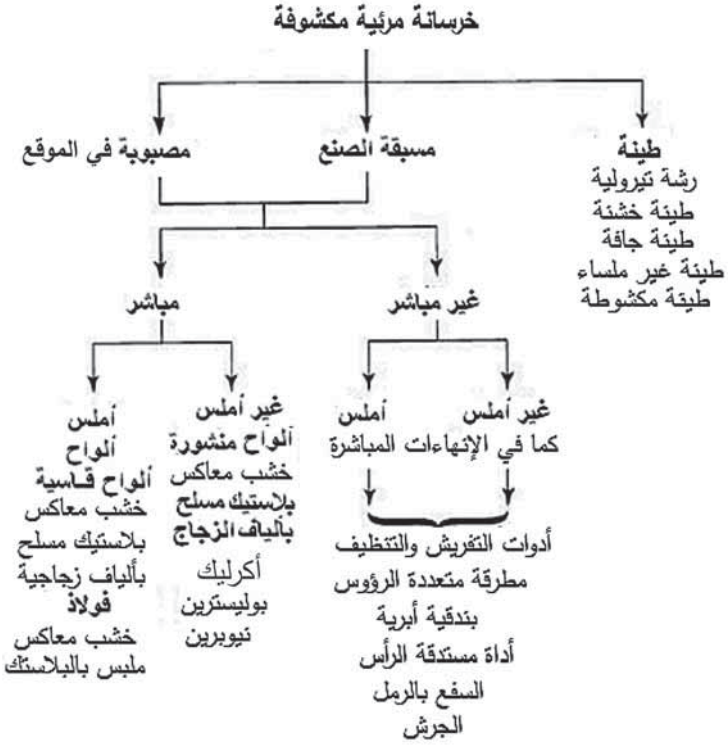
لاستعمال أنسجة سطوح مشكّلة للتحكّم في سيلان ماء المطر. وعلى العموم، فإنّ مجال الإنهاءات وضبط الجودة التي توفّرها تقنيات مسبق الصنع هو أوسع من ذلك المتوفر للصبّ في الموقع، لكن التشييد كثيراً ما يشتمل على كلا التقانتين. يوفّر استعمال الطّينة الخارجيّة مجالاً بديلاً من الإنهاءات للخرسانة والسّطوح التحتيّة الأخرى. يبين الشكل 19.3 مجال العمليّات المتوفّرة في إنتاج الخرسانة المرئيّة.

(الشكل 18.3) خرسانة مرئية عالية الجودة ـ كلية سانت جون، اوكسفورد. المعماريون (MacCormac Jamieson Prichard)، الصورة بإذن (Peter Cook).

الخرسانة المسبقة الصنع

يمكن صبّ الوحدات الخرسانيّة المسبقة الصنع إما شاقوليّاً أو أفقيّاً، رغم أنّ معظم العمليات المصنعيّة تستعمل الأخيرة، إما بالواجهة إلى الأعلى. (Face Up) أو بالواجهة إلى الأسفل (Face Down)، لأنه يمكن تحقيق ضبط جودة أفضل بهذه الطّريقة. تُصْنَع القوالب عادةً من الخشب المعاكس (Plywood) أو الفولاذ. على الرغم من أن القوالب الفولاذيّة أكثر ديمومة للاستعمال المتكرّر، فإن قوالب

الخشب المعاكس تستعمل للأشكال الأكثر تعقيداً، كما أنّها قابلة للتعديل بسهولة أكبر للوحدات غير المعيارية. تُصَمّم القوالب بحيث يتمُّ فكّها لإزالة الوحدة المصبوبة، وينبغي أن تُصْنَع بتسامحات ضيقة لضمان ضبط الجودة على المنتج النهائي. بما أن الإنتاج الأوّلي للقوالب ينطوي على تكاليف مرتفعة فإنه يمكن تحقيق الاقتصاد في أعمال التّشييد من خلال الحدّ من عدد التغييرات. ولهذا تأثيرات مهمّة في جماليّة البناء ككلّ. وينبغي إدخال أنظمة التثبيت والرفع اللازمة للتّنقل في الوحدات المُسبقة الصنع عادةً بالإضافة إلى التّسليح الفولاذي. إضافةً إلى ألواح الخرسانة المرئيّة، فإنّ الوحدات التي واجهتها حجر طبيعي أو آجُرّ أو قرميد توسّع من مجال الإكساءات الخارجيّة المعماريّة المسبقة الصنع (الشكلين 20.3 و21.3). تبوّب الوثيقة رقم (PD CEN/TR 15739:2008) مجال إنهاءات الخرسانة المسبقة الصنع وفقاً للتسطح P والملمس T واللون C.



(الشكل 19.3) أنواع الخرسانة البصرية وفقاً للقالب ومعالجة السطح.

(الشكل 20.3) تغطية خارجية خرسانية مسبقة الصنع مغطاة بشرائح الأردواز، متحف سوانزي. الصورة بإذن (Trent Concrete Ltd.).

(الشكل 21.3) تغطية خارجية حجرية معادة البناء ـ مركز بيانات اكسبريان ـ نوتنغهام. الصورة بإذن (Trent Concrete Ltd.).

ألواح الخرسانة المساميّة المسبقة الصنع

تعدُّ ألواح الخرسانة المساميّة المسبقة الصنع، بسماكة 100 mm وبارتفاعات طوابق معيارية، مناسبة للطبقة الداخلّية للبناء ذي الفجوة المعياري وللجّدران الداخلية. التسامحات صارمة مشابهة لتلك التي تتطلّبها نظم أعمال البناء المشابهة ذات الوصلات الرقيقة. الأبعاد العظمى هي 3000 mm x 600 وبناقليّة حراريّة معيارية قدرها 0.11 .w/m.k. تُسْتَعْمَل نظم وصل الملاط الرقيقة بوصلات سماكتها 2 mm لتثبيت الألواح. تُصنَع الوحدات الأكبر بسماكة 200 mm للمشاريع التجارية.

الخرسانة المصبوبة في الموقع

تعتمد جودة الخرسانة المرئية المصبوبة في الموقع بشكل كبير على القالب، فأيّة عيوب فيه ستنعكس في سطح الخرسانة. يجب أن يكون القالب قويّاً بشكل كافٍ لتحمّل ضغوط الخرسانة الطّازجة من دون حدوث تشوّه فيه. وينبغي أن تكون الوصلات كتيمة بشكل كافٍ لمنع التسرّب (Leakage) الذي يمكن أن يسبّب تعشيشاً للسطح. يستعمل طيف واسع من منتجات الخشب والمعادن والبلاستيك كقوالب، اعتماداً على إنهاء السطح المطلوب.

يعد جسر ميلو (Millau Viaduct) فوق وادي تارن (Tarn) في فرنسا الذي تم إنهاؤه العام 2004 جسراً معلقاً أنيقاً حيث يستند إلى سبع ركائز (Piers) نحيفة بإرتفاع 270 m (الشكل 22.3). تمّ صبّ العمود الرئيس في الموقع بخرسانة بسماكة 1.5 m بواسطة قالب فولاذي منزلق ذاتياً من الخارج (Self-Climbing Steel Formwork)، وبواسطة ونش رافعة داخلي (Crane Hoist). تُوجّت الركائز الخرسانيّة بأبراج فولاذيّة (Steel Pylons) ارتفاعها 90 m تسند رصيف الطّريق ذا المقطع الصندوقي الفولاذي. تستند كلّ ركيزة إلى أربعة أوتاد خرسانيّة مسلّحة مائلة عند الأساسات لتوزع الحمل. خلال أعمال تشييد الجسر، الذي طوله 2.46 .km، تمّ صبّ خرسانة سريعة التّصلّب بمعدّل 80 m^3 بالساعة، وبكتلة إجماليّة نهائيّة تساوي 205.000 طن.

(الشكل 22.3) أعمدة خرسانية ـ جسر ميللو فوق وادي تارن ـ فرنسا. المعماريون (Foster + Partners). تصوير (Arthur Lyons).

إنهاءات الخرسانة

الإنهاءات الملساء

في الخرسانة المصبوبة مباشرة، يحدّد ملمس سطح القالب وامتصاصه للماء، أو أي بطانة له، الإنهاءات المكشوفة النهائية مباشرةً، مما يتطلّب مستوىً عالياً من ضبط الجودة لضمان إنهاء مرئي مقبول. ويمكن أن تعطي مواد القالب القاسية والصقيلة وغير الماصّة (Hard Shiny Non-Absorbent)، كالفولاذ والبوليستر المسلّح بالألياف الزجاجيّة (Grp)، أو الخشب المعاكس المغطّى بالبلاستيك، سطوحاً تعاني من تشقّقات دقيقة عشوائيّة (Crazing Map)، نتيجة الانكماش التفاضلي بين السّطح ومادّة الكتلة التحتيّة (Underlying Bulk Material). إضافة إلى ذلك، يمكن للفجوات (Blow- Holes) التي تسبّبها الفقاعات الهوائيّة التي تنحصر عند وجه القالب أن تفسد السّطح في حال لم يتم رجّ الخرسانة بشكل كافٍ. عندما تختلف امتصاصية القالب قد تظهر اختلافات دائمة في اللون على سطح الخرسانة، نتيجة اختلاط قوالب جديدة مع قوالب مستعملة، أو نتيجة اختلافات في الأخشاب الطريّة أو نتيجة اختلاف تطبيق العنصر المساعد على فك القالب (Release Agent). تمنع العناصر المساعدة على فكّ القالب الالتصاق بين

الخرسانة والقالب، والذي قد يسبِّب ضرراً للخرسانة عند فك القالب. تستعمل عادةً مستحلبات كريمية وزيوت مع خافض توتّر سطحي كعناصر مساعدة على فك القالب الخشبي والفولاذي على التوالي. يمكن أن تحسِّن تبطينات القالب بمساميّة مضبوطة، جودة إنهاءات السطح بعد فكّ القالب، نتيجة تخفيض عدد الفجوات السطحية بشكل كبير. تسمح التبطينات بهروب الهواء والرطوبة الزّائدة دون الإسمنت خلال الرّج. يجب أن تبدي الخرسانة جيّدة النوعيّة المصبوبة مباشرة، فجوات سطحية قليلة وصغيرة فقط، وتغيّرات طفيفة في اللون.

يُبرز تطبيق الدهان، على سطح الخرسانة بعد فكّ القالب، عيوبَ السطح كالفجوات. وتصبح هذه العيوب ملحوظة بشكل خاص، إذا استعمل دهان لمّاع فاتح اللون. لذا يجب معالجة عيوب السّطح جيّداً بمادّة مالئة قبل التأسيس والدّهان اللاّحق للخرسانة.

الإنهاءات غير الملساء

يمكن عمل تشكيلة من الإنهاءات غير الملساء باستعمال ألواح منشورة بشكل خشن في أعمال القالب. ويمكن تعزيز المظهر الحبيبي بالسّفع الحاك (Abrasive Blasting)، يمكن تحقيق المظهر الثلاثي البعد باستعمال تغيّرات في سماكة اللّوح. ويمكن أن تستعمل المواد البلاستيكية، كالبوليستر المسلّح بالألياف الزجاجيّة، وصفائح البلاستيك الحراري المُشكّلة بالتخلية، ومطاط النيوبرين والبوليستيرين، كبطانات للقالب لإعطاء مظاهر لنماذج مختلفة. ويتمُّ خفض الاختلافات في اللون باستعمال إنهاءات مطفأة اللمعة (Matt Finishes)، تحتفظ بزيت القالب خلال رصّ الخرسانة. يتم خفض عدد الفجوات السطحية باستعمال مواد ماصّة بشكل طفيف كالخشب والبوليستيرين. ويمكن تشكيل السطح العلوي للألواح الخرسانية بالدحرجة أو بالدقّ على الخرسانة وهي لا تزال لدنة.

الإنهاءات المشكّلة والمعرّقة

تكون الخرسانة المُعَرّقة (المحزَّزة) مصبوبة في الموقع عادة، على عوارض (Battens) خشبيّة شاقوليّة مثبتة على خلفيّة من الخشب المعاكس. لإزالة القالب من دون إحداث أي ضرر للخرسانة المنضجة، يجب أن تكون العوارض مشطوفة وملساء (Splayed And Smooth). يمكن الحصول على مظهر معرّق أطرى بطَرْق الخرسانة البارزة وصولاً إلى إنهاءٍ معرّق ومخطّط (Striated Riven Finish). تنتج القوالب الفولاذيّة المشكّلة والحبال على الخشب المعاكس إنهاءاتٍ بديلة. عندما

يكون مطلوباً تشكيلات عميقة يمكن نحت البوليستيرين المتمدِّد ورغوة البولي يوريثان لإنتاج تصاميم نحتيّة إلى حدٍّ كبير.

الإنهاءات المحكوكة والمنمّشة بالحمض والمصقولة

يمكن تطبيق الحكّ الخفيف بورق الرمل على الخرسانة المصبوبة في الموقع أو على الخرسانة المسبقة الصنع. ويقتصر التنميش بالحامض عادةً على الخرسانة المسبقة الصنع بسبب الأخطار المصاحبة لاستعمال الأحماض في الموقع. وتُزيل كِلا التقنيتين روبة السّطح (Laitance) (الطبقة السّطحية الغنيّة بالإسمنت) لتشكيل إنهاء يشبه الحجر مع بعض التكشُّف للحصويات. حيث يُنتج الصقل بحاكات الكربورندوم (كربيد السيليكون) (Carborundum Abrasive) إنهاءً صقيلاً قاسياً، يضفي سطوع لونٍ كامل للحصويات، إلا أنّ هذه العمليّة بطيئة ومكلفة.

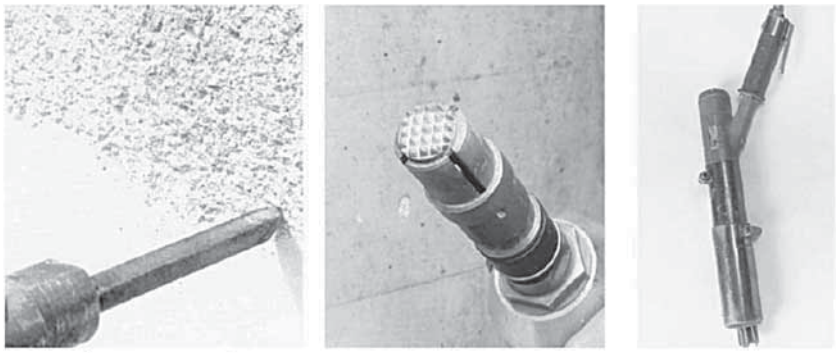
الإنهاءات بالحصويات المكشوفة

ينتج انكشاف الحصويّات الخشنة خرسانة بإنهاء أكثر ديمومة وأكثر جاذبيّةً وميّزات أفضل لمقاومة التجوية وذلك بإزالة الطبقة السطحيّة الملساء في الخرسانة التي تكون على تماس مع القالب. ويمكن معالجة الخرسانة الملساء والمشكّلة والمقولبة بعمق، بتأثيرات بصريّة معتمدة بشكل كبير على شكل ولون الحصويّات الخشنة المستعملة. على الرغم من أنه يمكن استعمال الحصويّات الخشنة المنقطعة التّدرج في كلّ من إنهاءات الحصويّات المكشوفة في الخرسانة المسبقة الصنع والمصبوبة في الموقع، إلا أن الخرسانة المسبقة الصنع تُعطي فرصاً إضافية للتوضُّع المنتظم للحصويات. ففي الصّب الذي يكون فيه الوجه سفلياً (In Face Down Casting)، يمكن وضع حجارة رقائقيّة على الوجه السفلي للقالب، الذي يمكن أن يُعالَج مسبقاً بمؤخرات تُبطئ تصلّب الإسمنت السطحي. وفي الصّب الذي يكون فيه الوجه علوياً (In Face-Up Casting)، يمكن ضغط قطع حجريّة متفرقة إلى داخل السطح، إمّا بشكل عشوائي أو بأشكال موصوفة مسبقاً، ومن دون استعمال مؤخرات تصلّب. بديلاً من ذلك يمكن استعمال خلطة خاصّة للواجهة على الجّانب المرئي من اللّوح مع مادّة مكوّنة من خلطة قياسيّة أرخص لبقية الحجم. كما يجب كشف الحصويّات بالغسيل والتّنظيف بالفرشاة عندما تكون الخرسانة قد أُنضجت بشكل كافٍ لتسند ذاتها. ولإنَّ تطبيق مؤخّر التصلّب على وجه القالب قد يجعل توقيت هذه العملية أقل أهمية، فلذا يجب أن يُزال السطح حتى عمق لا يزيد على ثلث سماكة الحصويات لإبعاد خطر انفصالها. حيث تنطوي إحدى الطرائق البديلة

لكشف الحصويّات في كلٍّ من الخرسانة المُسبقة الصّنع والمصبوبة في الموقع، على استعمال السّفع الحاك (السَّفْع بالرمل) (Abrasive Blasting). واعتماداً على مقاس الرّمل المستعمل بالسفع وقساوة الخرسانة، يمكن الحصول على طيف من الإنهاءات بما فيها التّصاميم النحتيّة (Sculptural Designs).

إنهاءات الخرسانة بالأدوات

يمكن الحصول على طيف من التّكوينات بمعالجة الخرسانة المتصلّبة إمّا يدوياً أو ميكانيكياً. عموماً يجب أن يعالج السّطح العالي الجودة بالأدوات، لأنّ عيوب السطح يُمْكِنْ أنْ تُضخّم (Accentuated)، بدلاً من إزالتها بالتزيين. التزيين العميق فقط يزيل العيوب الصغيرة كالفجوات الغازيّة وآثار الحَيد الطفيف في القالب (Misalignment). المعالجة اليدويّة مناسبة لإنهاء بسيط على الخرسانة الملساء، ويُمْكِن استعمال الطَّرق بالمضرب على الإنهاء المعرّق (المحزّز) (Ribbed Finish). عندما يكون التزيين العميق متوقّعاً. يجب أخذ الاحتياط اللازم كي لا يتضرّر غطاء التّسليح الفولاذي. وإنّ لون الحصويّات المكشوفة في الخرسانة المعالجة بالأدوات، هو أقلّ شدّة من لون تلك المتكشفة بالغسيل والتنظيف بالفرشاة وذلك نتيجة تأثير الطّرْق في الحصويات. والأدوات الميكانيكية المعيارية هي البندقية الإبرية (Needle-Gun)، والمطرقة الشجيرية (متعددة الرؤوس) (Bush Hammer)، وعِدد مستدقة الرأس (Point-Tool) (الشكل 23.3). وهناك تشكيلة من إنهاءات الخرسانة المرئية موضّحة في الشكل 24.3.



(الشكل 23.3) أدوات إنهاءات الخرسانة المرئية غير المباشرة.

تجوية الإنهاءات الخرسانية

تتأثّر مقاومة الخرسانة المرئيّة المكشوفة للعوامل الجوية بالظّروف المناخيّة المحليّة الدقيقة، وبالإنهاء الخرساني ذاته، وبالتفاصيل المُستعملة لضبط سيلان ماء المطر على سطحها. فمن المستحيل عمليّاً ضمان تعرّض كافّة جوانب البناء بذات الدّرجة، فحتماً سيكون هناك اتجاه سائد للرياح والمطر يحدّد نمط التجويّة. لذا فإنّه ربّما ستختلف تأثيرات التّجوية في الواجهات المختلفة لأيّ بناء. حيث ستُغْسَل بعضها بشكل منتظم، في حين يمكن أن تعاني الأخرى من تجمّع الغبار والأوساخ التي نادراً ما تُغْسَل. إلا أنّ هذا التأثير الواسع أقلّ احتمالاً في أن يسبب تجوية غير مرئية من النمط المخطَّط على الواجهات المنفردة (Pattern Streaking).

ولاختيار إنهاء الخرسانة تأثير كبير في خصائص التجوية. وتُعدُّ الخرسانة الجيّدة النوعيّة والكثيفة والمنتظمة ضرورية لتجنّب التجوية غير المنظَّمة، وعموماً من المحتمل أن يكون أداء الإنهاء الأخشن أفضل من أداء الإنهاء الأملس المصبوب. للتشكيل ولاستعمال الحصويّات المكشوفة ميّزةُ إملاء انسياب ماء المطر وعدم تركه يسيل بطريقة عشوائية، إلا أنّ الغبار يمكن أن يُصبح مدفوناً في الفجوات. تقلّل الحصويّات الدّاكنة، والنماذج الواضحة (Bold Modelling) من التغيّر في المظهر عند حدوث التجوية، لكن عموماً ربّما تعطي الحصويّات المكشوفة وغير الماصّة الأداءَ الأفضل لمقاومة العوامل الجوية. يمكن أن تكون السطوح الأفقية عرضةً لنمو العضويات، ويزداد هذا التأثير بازدياد نفوذية السطح.

التفصيل الدقيق ضروري لضمان انسياب مُتشتّت ومضبوط للماء فوق المناطق المغسولة. ويجب جمع الماء أو طرحه بعيداً، من طريق تفصيلات واضحة لمنع تبقيع نمطي في الأسفل. وينبغي عدم السّماح للماء الذي تمّ جمعه من السطوح الأفقيّة بالجريان إلى الأسفل على الواجهات، لذا يجب تأمين طبّات (Copings)، وجلسات نوافذ (Sills)، ومداميك بارزة (String)، مع دماعات (Drips) لردِّ المطر عن واجهة البناء. وإلاّ ينبغي إزالة الماء بمزاريب (بمجارٍ مطرية) (Gutters). ينبغي فصل الواجهات المتعددّة الطوابق بمعالم أفقية (Horizontal Features) لتطرح الماء بعيداً عند كل ارتفاع طابقي على الأقل. فقط على الواجهات المكشوفة بشكل كبير، حيث قد تُسبِّب الرياح القويّة سحبَ المطر نحو الأعلى، ينبغي تجنّب البروزات بدماعات أفقيّة صغيرة. وعند نمذجة الخرسانة ينبغي الأخذ بالحسبان اتجاه جريان مياه المطر وكميّتة المتوقّعة.

الطّينة الخارجيّة

تستعمل الطّينة لتأمين قشرة خارجية ذات ديمومة ومقبولة بصرياً، لبناء سليم لكنّه غير جذّاب. يمكن أن تُخفّض الطّينة تغلغل المطر وتحافظ على العزل الحراري للجدران. فجميع الإنهاءات الموضّحة في الشكل 25.3 مناسبة للاستعمال الخارجي. وفي كل حالة، من الضروري ضمان التصاق جيّد بالسّطح الخلفيّ (Background). وعندما لا يوجد تعشيق ميكانيكي جيّد، كوصلات الآجُرّ المتراجعة عن السطح، فإنّه ينبغي تنفيذ طبقة من الرّمل والإسمنت والماء وعنصر رابط ملائم (مطاط الستيرين البوتاداين مثلاً)، ليحدث تعشيقاً (Create A Key). إذ يتأثّر الالتصاق أيضاً بالمص أو امتصاصيّة السّطح الخلفي. وعندما يكون المصُّ مرتفعاً جداً، يمكن أن ترطّب الجدران قليلاً قبل تنفيذ طبقة الطّينة. يمكن استعمال شبك معدني (Metal Lathing) على الخشب أو الفولاذ أو أعمال البناء المتفتّتة لتأمين سطح خلفي سليم. وتُطبّق عادة طبقتان أو ثلاث طبقات من الطينة، في كلِّ حالة تكون فيها الطبقات المتعاقبة أضعف على التتالي من خلال تخفيض السماكة أو مقاومة الخلطة. وتتطلب أعمال الطينة الملساء الخارجية صنعة دقيقة لأنها يمكن أن تتشقق إذا تم إنهاؤها بمسطرة فولاذية (Steel Float)، لا خشبية.

عموماً تكون الطّينات النفوذة أكثر ديمومة من الطّينات الكثيفة الكتيمة، لأن الأخيرة يمكن أن تُعاني من التّشقق وتغلغل الماء موضعياً في ما بعد. ينبغي أن يكون الرّمل للطينات الخارجية قاسياً وحاداً (Sharp) لا طريّاً. ويعدّ تفصيل تصميم الطّينة مهمّاً لضمان الديمومة. ويجب حماية الحواف العليا للطّينة من دخول الماء من طريق حشوات لمنع التسرّب (Flashings)، أو طبات (Copings)، أو تفاصيل إفريز السطح مع الجدار (Eaves Details). ويجب إيقاف الطينة فوق مستوى المدماك العازل للرطوبة وتشكيل دماعة بمحدّب ملائم الحافّة. يجب إبعاد ماء المطر المنساب من جلسات النوافذ (Sills)، ورؤوس الفتحات عن الطينة لمنع الامتصاص المفرط للماء عند هذه النقاط، الذي قد يؤدّي إلى تدهور وانفصال الطينة. يوضّح الشكل 26.3 المظهر الأخّاذ لأشغال البلوك المليّسة لقاعات إقامة الطلاب في جامعة شرق لندن المجاورة لرصيف ألبيرت الملكي (Royal Albert Dock).

الطينة الخشنة

تتألّف الطّينة الخشنة من خلطة رطبة من الإسمنت (جزء واحد) وكلس (نصف جزء)، ورمل (ثلاثة أجزاء)، وحصى أو حجر مكسّر من 5 إلى 15 mm

(جزء ونصف)، وتُطَبّق على الجدران بالرّش من مغرفة يدوية (Hand Scoop).

الطينة الجافة

تُطبّق على الجدار طبقة بسماكة 10 mm من الإسمنت (جزء واحد)، والكلس (جزء واحد) والرّمل (خمسة أجزاء)، وبينما لا تزال رطبة يرشّ صوان مكلسن (Calcined Flint) أو سبار (Spar)، أو حصى على السطح، ويُدقّ في السّطح باستعمال مالج خشبي (Wooden Float).

الإنهاء المكشوط/ المحكوك

تطبّق طبقة نهائيّة من الإسمنت (جزء واحد) وكلس (جزئين)، ورمل (تسعة أجزاء)، ويُسمح لها بالتيبُّس لساعات قليلة قبل كشطها بحافّة خشنة (نصلة منشار مثلاً)، لإزالة مادّة السّطح. وبعد كشطه يُنظَّف السّطح بالفرشاة بشكل خفيف لإزالة المادّة المفكّكة.

الإنهاءات التزيينيّة (المشغولة)

يمكن الحصول على تشكيلة من الإنهاءات بعمل الطبقة الأخيرة من الطينة بالمالج أو الفرشاة أو المشط (Comb)، أو أي وسيلة أخرى لإنتاج طيف من الأشكال المشغولة المعيارية. للتزيين بالجص (Pargeting)، حيث يتم إنتاج أشكال أكثر تعقيداً، جذورٌ ثقافية في محافظتي سوفولك وأسّكس (Suffolk And Essex).

الإنهاء التيرولي

بالنسبة للإنهاء التيرولي، يُرشّ ملاط الإسمنت على سطح الجدار من آلة تُشغّل يدويّاً، ويمكن استعمال خلطات ملوّنة.

الإنهاءات المطيّنة المدهونة

معظم أنواع الطّينة لا تحتاج بالضّرورة إلى الدّهان، إلاّ أنّ الطينة النّاعمة أو الملساء غالباً ما يتم طلاؤها بدهان أعمال البناء، لتخفيض امتصاص الرطوبة ولإعطائها لوناً. ما إن تُدهن الجدران، يلزمها إعادة الدّهان بانتظام على فترات زمنية.

العناصر الخرسانية

إضافةً لاستعمال الخرسانة في إنتاج وحدات كبيرة مصبوبة في الموقع ومسبقة الصنع، ووحدات آجُرّ خرساني (الفصل الأوّل)، وبلوك خرساني (الفصل الثاني)، تستعمل المادة بشكل واسع في صناعة عناصر صغيرة، بشكل خاص البلاط الخرساني وبلاطات الأرصفة (Paving Slabs) والشرائح (Slates).

(الشكل 24.3) تشكيلة من إنهاءات الخرسانة المرئية.

(الشكل 25.3) إنهاءات طينة نموذجية.

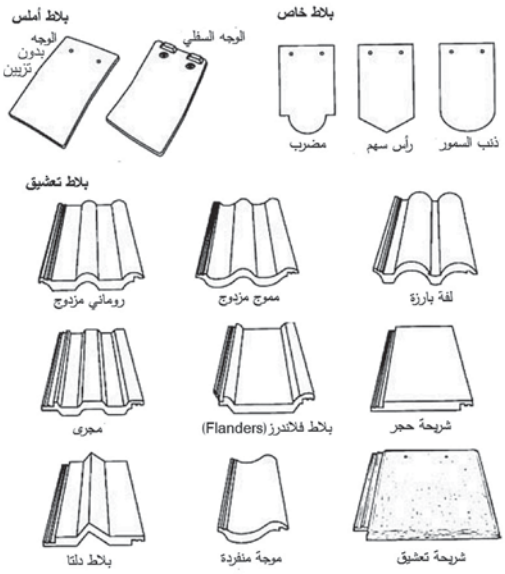
الشكل 26.3 بلوك مغطى بالطين ـ جامعة شرق لندن ـ حرم دوكلاندز. المعماريون: (Edward Cullinan Architects). تصوير (Arthur Lyons).

بلاط وشرائح التسقيف الخرسانية

يُشكّل البلاط والشرائح الملساء والمُتداخلة مجموعةً من المواد العالية التنافسية للتسقيف المائل، مع بقاء البلاط المتشابك المنتج الأرخص والمقبول بصرياً للسقوف المائلة. تُصنَع البلاطات الملساء والمُتداخلة والمُتراكبة بطيفٍ من التصاميم، يحاكي الكثير منها أشكالَ القرميد الصلصالي التقليدي (الشكل 27.3). يمكن

استعمال البلاط الخرساني المالس غير المزيّن على ميول حتى 35 درجة، بينما يعدّ البلاط التزييني ملائماً للتعليق الشاقولي وللميول حتى 70 درجة. تشمل مجالات الألوان عادةً كلاً من الإنهاءات الحبيبية وإنهاءات الألوان. ويمكن استعمال المجالات المعيارية للبلاط الخرساني المُتشابك في حالات معيّنة على الأسقف بميل حتى 17.5 درجة، وفي بعض الأسقف ذات الميل الصغير، يتمُّ وضع البلاط الخرسانيّ من دون تماسُك. يحاكي أحد المنتجات المتشابكة مظهر البلاط الأملس غير المزين، لكنّه يمكن أن يستعمل على ميل أدنى قدره 22.5 درجة. تشمل الألوان، البني والأحمر والريفي (Rustic) والرّمادي بإنهاءات حُبيبيّة وملساء. يمكن استعمال طيف محدود من البلاط الخرساني المُتشابك المُغطّى بالبوليمرات، على السّقوف ذات الميول المنخفضة حتى 12.5 درجة، شريطة تثبيتها لمنع رفعها بالرّياح.

تُصنَع الشرائح الخرسانيّة المُتداخلة إمّا بتشكيل مسطّح عميق (Deep Flat Profile)، معطيةً مظهر الأردواز/ الحجر، أو بتربيعات رقيقة أو بحافّة متقدّمة مشطوفة لمحاكاة الأردواز الطبيعي. ويمكن مُحاكاة السّطوح الملساء غير المزينة أو المعرّقة بطيفٍ من الألوان بما فيها الرمادي والأزرق والبنّي والبنّي المصفّر والأحمر. وتتوفر(ملحقات) مُتمِّمة موائمة لفرشة الملاط التقليدية أو للتثبيت الجاف لسنام السطوح (Ridges) وللأشكال الهرميّة (Hips) والحواف (Verges)، مع وحدات تهوية ملائمة.



(الشكل 27.3) بلاط وشرائح التسقيف الخرسانية

بلاطات وبلاط الرصف الخرسانية

تُصنَع بلاطات الرّصف الخرسانيّة الرّمادية من خلطات الإسمنت البورتلاندي مع إضافة صباغات لإنتاج الألوان المعيارية الصّفراء والورديّة والحمراء. تشمل القياسات المعيارية 900 mm x 600 mm و750x 600 mm و 600 x 600 mm بسماكة 50 mm، لكنّ يتوفر لسوق التّحسينات المنزلية طيف واسع من وحدات أصغر وأقل سماكةً بما فيها 600 mm x 600 mm و450 x 600 mm و450 x 450 mm و400 x 400 mm بسماكات تتراوح بين 30 و40 mm. تُصْنَع وحدات أثخن (بين 65 و70 mm) لمقاومة الحركة الخفيفة. يمكن أن يكون للبلاطات المكبوسة الملساء سطوحٌ مشكّلة بشكل خفيف، في حين تتوفّر البلاطات المصبوبة بإنهاءات ملساء ومعرّقة مشابهة للحجر وموزاييك أو بإنهاءات مشكّلة. تتوفر البلاطات المنهيّة بالمعالجة في الأدوات، والمنتجات المرافقة لاستعمالها في المواضع الحسّاسة بصريّاً. إضافة إلى الوحدات المربّعة والمستطيلة المعيارية، إذ يتوفّر عموماً طيف واسع من التصاميم التزيينيّة يشمل وحدات سداسيّة الشكل، ووحدات تُحاكي الآجُرّ، ووحدات للحواف.

تُصنَع وحدات البلاط لمصاطب الأسقف والشرفات والممرّات الخارجيّة، بخرسانة إسمنت بورتلاندي مقاوم للصقيع، وذلك بتصاميم مربّعة وسداسية بطيفٍ من الألوان المعيارية الحمراء والبني والأصفر. وهي مناسبة للرّصف على الأسفلت والتسقيف بغشاء من البيتومين (Bitumen Membrane Roofing)، والسّقوف المقلوبة (Inverted Roofs) وكذلك على المَدَّة الإسمنتية (Sand/ Cement Screed). القياسات النموذجية هي 305x305 mm و457x451 mm بسماكات تتراوح بين 25 و50 mm.

الإسمنت وبلاط الرصف والبلاط الماصُّ لأوكسيد النيتروجين

تمتص حجارة الرّصف المطلية بأوكسيد التيتانيوم وكذلك بلاط الأسطح أوكسيدَ النيتروجين الناتج من الحركة الطرقيّة وتحولها بتفاعل كيميائي ضوئي إلى نيتروجين وأوكسجين، مخفّضةً بذلك التلوّث الضّار في المناطق المزدحمة مروريّاً. يمكن خفض مستويات أوكسيد النيتروجين في المناطق الحضريّة بنحو 10 إلى 20%. علاوةً على ذلك، فإنّ بلاطات الرّصف المطلية بالتيتانيوم أسهل للتنظيف من بلاطات الرّصف الخرسانيّة المعيارية. يتوفر الإسمنت المحتوي على أوكسيد تيتانيوم دقيق البلّورات (Nano-Crystalline)، تجارياً للاستعمال في التشييد عندما يكون ضبطُ التلوث مطلوباً على وجه الخصوص.

FURTHER READING

Allen, G. 2003: *Hydraulic lime mortar for stone, brick and block masonry*. London: Donhead.

Beall, C. 2004: *Masonry design and detailing for architects and contractors*. Maidenhead: McGraw-Hill.

Bennett, D. 2005: *The art of precast concrete. Colour texture expression*. Basel: Birkhäuser.

Bennett, D. 2006-2008: *Concrete elegance*, Vols. 1-4. London: RIBA Publications.

Bennett, D. 2007: *Architectural in situ concrete*. London: RIBA Publishing.

Blackledge, G. and Binns, R. 2002: *Concrete practice*. 3rd ed. Crowthorne: British Cement Association.

Burkhard, F. 2002: *Concrete architecture design and construction*. Basel: Birkhäuser.

Bye, G.C. 1999: *Portland cement: Composition, production and properties*. London: Thomas Telford.

Cohen, J.-L. and Mueller, G. (eds.) 2006: *Liquid stone. New architecture in concrete*. Basel: Birkhäuser.

Concrete Centre. 2007: *Concrete - the green guide to specification*. Camberley: The Concrete Centre.

Croft, C. 2005: *Concrete architecture*. London: Laurence King Publishing.

Dhir, R.K. 2005: *Cement combinations for durable concrete*. London: Thomas Telford.

Eckel, E.C. 2005: *Cements, limes and plasters*. London: Donhead.

Frhlich, B. (ed.) 2002: *Concrete architecture. Design and construction*. Basel: Birkhäuser.

Gaventa, S. 2006: *Concrete design*. London: Mitchell Beazley.

Glass, J. 2000: *Future for precast concrete in low rise housing*. Leicester: British Precast Concrete Federation.

Hewlett, P.C. 2004: *Lea's chemistry of cement and concrete*. 4th ed. London: Butterworth Heinemann.

Holmes, S. and Wingate, M. 2002: *Building with lime: a practical introduction*. London: Intermediate Technology Publications.

Institution of Structural Engineers. 1999: *Interim guidance on the design of reinforced concrete structures using fibre composite reinforcement*. London: IStructE.

Johnson, R. and Anderson, D. 2006: *Design of composite of steel and concrete structures*. London: Thomas Telford.

King, B. 20 07: *Making concrete better*. California: Green Building Press.

Meyhôfer, D. 2008: *Concrete creations. Contemporary buildings and interiors*. Hamburg: Braun.

Mosley, W., Bungey, J. and Hulse, H. 2007: *Reinforced concrete design to Eurocode 2*. Basingstoke: Palgrave.

Peck, M. (ed.) 2006: *Design practice. Concrete design construction examples*. Basel: Birkhäuser.

Predock, A., Ando, T., Arets, W. and Legorreta, R. 2000: *Concrete regionalism*. London: Thames & Hudson.

Raupach, M., Elsener, B., Polder, R. and Mietz, J. 2006: *Corrosion of reinforcement in concrete*. Cambridge: CRC Press/Woodhead Publishing.

Schofield, J. 1997: *Lime in building: a practical guide*. USA: Black Dog Press.

Taschen. 2008: *Architectural materials. Concrete*. Taschen GmbH.

Yates, T. and Ferguson, A. 2008: *The use of lime-based mortars in new build*. Publication *NF12*. Amersham: NHBC Foundation.

STANDARDS

BS 410 Test sieves:

Part 1: 2000 Test sieves of metal wire cloth.

Part 2: 2000 Test sieves of perforated metal.

BS 812 Testing aggregates:

Parts 2, 100, 102-106, 109-114, 117-121, 123-124.

BS 1370: 1979 Specification for low heat Portland cement.

BS 1881 Testing concrete:

Parts 112-113, 124-125, 127, 128-131, 201, 204- 209.

BS 3892 Pulverized-fuel ash:

Part 2: 1996 Specification for pulverized-fuel ash to be used as a Type 1 addition.

Part 3: 1997 Specification for pulverized-fuel ash for use in cementitious grouts.

BS 4027: 1996 Specification for sulfate-resisting Portland cement.

BS 4248: 2004 Supersulfated cement.

BS 4449: 2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Bar, coil and decoiled product. Specification.

BS 4482: 2005 Steel wire for the reinforcement of concrete products. Specification.

BS 4483: 2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification.

BS 4486: 1980 Specification for hot rolled and hot rolled and processed high tensile alloy steel bars forthe prestressing of concrete.

BS 4550 Methods of testing cement:

Parts 0, 3.1, 3.4, 3.8 and 6.

BS 4551: 2005 Mortar. Methods of test for mortar. Chemical analysis and physical testing.

BS 5628 Code of practice for use of masonry:

Part 1: 2005 Structural use of unreinforced masonry.

Part 2: 2005 Structural use of reinforced and prestressed masonry.

Part 3: 2005 Materials and components, design and workmanship.

BS 5642 Sills and copings:

Part 1: 1978 Specification for window sills of precast concrete, cast stone, clayware, slate and natural stone.

Part 2: 1983 Specification for coping of precast concrete, cast stone, clayware, slate and natural stone.

BS 5838 Specification for dry packaged cementitous mixes:

Part 1: 1980 Prepacked concrete mixes.

BS 5896: 1980 Specification for high tensile steelwire and strand for the prestressing of concrete.

BS 5977 Lintels:

Part 1: 1981 Method for assessment of load.

BS 6073 Precast concrete masonry units:

Part 2: 2008 Method for specifying precast concrete masonry units.

BS 6089: 1981 Guide to assessment of concrete strength in existing structures.

BS 6100 Building and civil engineering vocabulary:

Part 0: 2002 Introduction.

Part 1: 2004 General terms.

Part 9: 2007 Work with concrete and plaster.

BS 6463 Quicklime, hydrated lime and natural calcium carbonate:

Part 101: 1996 Methods of preparing samples for testing.

Part 102: 2001 Methods for chemical analysis.

Part 103: 1999 Methods for physical testing.

BS 6610: 1996 Specification for pozzolanic pulverized-fuel ash cement.

BS 6744: 2001 Stainless steel bars for the reinforcement of and use in concrete.

BS 7542: 1992 Method of test for curing compounds for concrete.

BS 7979: 2001 Specification of limestone fines for use with Portland cement.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 2: 1990 Code of practice for concrete work.

Part 9: 2003 Cementitious levelling screeds and wearing screeds.

BS 8110 Structural use of concrete:

Part 1: 1997 Code of practice for design and construction.

Part 2: 1985 Code of practice for special circumstances.

Part 3: 1985 Design charts for singly reinforced beams, doubly reinforced beams and rectangular columns.

BS 8204 Screeds, bases and in-situ floorings:

Part 1: 2003 Concrete bases and cement sand leveling screeds to receive floorings.

Part 2: 2003 Concrete wearing surfaces.

Part 3: 2004 Polymer modified cementitious leveling screeds and wearing surfaces.

Part 4: 2004 Cementitious terrazzo wearing surfaces.

Part 7: 2003 Pumpable self-smoothing screeds.

BS 8297: 2000 Code of practice for design and installation of non-loadbearing precast concrete cladding.

BS 8443: 2005 Specification for assessing the suitability of special purpose concrete admixtures.

BS 8500 Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1:

Part 1: 2006 Method of specifying and guidance to the specifier.

Part 2: 2006 Specification for constituent materials and concrete.

pr BS ISO 12439: 2009 Mixing water for concrete.

BS ISO 14656: 1999 Epoxy powder and sealing material for the coating of steel for the reinforcement of concrete.

BS ISO 16020: 2005 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete. Vocabulary.

BS EN 196 Methods of testing cement:

Part 1: 2005 Determination of strength.

Part 2: 2005 Chemical analysis of cement.

Part 3: 2005 Determination of setting time and soundness.

Part 5: 2005 Pozzolanicity test for pozzolanic cements.

Part 6: 1992 Determination of fineness.

Part 7: 2007 Methods of taking and preparing samples of cement.

BS EN 197 Cement:

Part 1: 2000 Composition specfications and conformity criteria for common cements.

Part 2: 2000 Conformity evaluation.

Part 4: 2004 Low early strength blastfurnace cements.

BS EN 206 Concrete:

Part 1: 2000 Specification, performance, production and conformity.

BS EN 413 Masonry cement:

Part 1: 2004 Composition, specifications and conformity criteria.

Part 2: 2005 Test methods.

BS EN 445: 2007 Grout for prestressing tendons. Test methods.

BS EN 446: 2007 Grout for prestressing tendons. Grouting procedures.

BSEN447: 2007 Grout for prestressing tendon. Basic requirements.

BS EN 450 Fly ash for concrete:

Part 1: 2005 Definitions, specification and conformity criteria.

Part 2: 2005 Conformity evaluation.

BS EN 451 Method of testing fly ash:

Part 1: 2003 Determination of free calcium oxide content.

Part 2: 1995 Determination of fineness bywet sieving.

BS EN 459 Building lime:

Part 1: 2001 Definitions, specifications and conformity criteria.

Part 2: 2001 Test methods.

Part 3: 2001 Conformity evaluation.

BS EN 480 Admixtures for concrete, mortar and grout:

Part 1: 2006 Test methods. Reference concrete and reference mortar for testing.

Part 2: 2006 Test methods. Determination of setting time.

BS EN 490: 2004 Concrete roofing tiles and fittings for roof covering and wall cladding. Product specifications.

BS EN 491: 2004 Concrete roofing tiles and fittings for roof covering and wall cladding. Test methods.

BS EN 845 Specification for ancillary components for masonry:

Part 2: 2003 Lintels.

BS EN 933 Tests for geometrical properties of aggregates:

Part 1: 1997 Determination of particle size distribution. Sieving method.

BS EN 934 Admixtures for concrete, mortar and grout:

Part 1: 2008 Common requirements.

Part 2: 2009 Concrete admixtures. Definitions, requirements, conformity.

Part 3: 2003 Admixtures for masonrymortar. Definitions, requirements, conformity.

Part 4: 2009 Admixtures for grout for prestressing tendons.

Part 5: 2007 Admixtures for sprayed concrete.

Part 6: 2001 Sampling, conformity control and evaluation of conformity.

BS EN 998 Specification of mortar for masonry:

Part 1: 2003 Rendering and plastering mortar.

Part 2: 2003 Masonry mortar.

BS EN 1008: 2002 Mixing water for concrete. Specification for sampling, testing and assessing suitability.

BS EN 1015 Methods of test of mortar for masonry.

BS EN 1168: 2005 Precast concrete products. Hollow core slabs.

BS EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures.

BS EN 1771: 2004 Products and systems for the repair of concrete structures.

BS EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures:

Part 1.1: 2004 General rules and rules for buildings.

Part 1.2: 2004 General rules. Structural fire design.

NA Part 1.1: 2004 UK National Annex to Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules and rules for building.

NA Part 1.2: 2004 UK National Annex to Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules. Structural fire design.

DD CEN/TS 1992 Design of fastenings for use in concrete:

Part 4-1: 2009 General.

Part 4-2: 2009 Headed fasteners.

Part 4-3: 2009 Anchor channels.

Part 4-4: 2009 Post-installed fasteners.Mechanical systems.

Part 4-5: 2009 Post-installed fasteners. Chemical systems.

BS EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures:

Part 1.1: 2004 General rules and rules for buildings.

Part 1.2: 2005 General rules. Structural fire design.

NA Part 1.1: 2004 UK National Annex to Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. General rules and rules for building.

NA Part 1.2: 2005 UK National Annex to Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. General rules. Structural fire design.

BS EN 10080: 2005 Steel for the reinforcement of concrete.Weldable reinforcing steel. General.

BS EN 12350 Testing fresh concrete:

Part 1: 2009 Sampling.

Part 2: 2009 Slump test.

Part 3: 2009 Vebe test.

Part 4: 2009 Degree of compactability.

Part 5: 2009 Flow table test.

Part 6: 2009 Density.

Part 7: 2009 Pressure methods.

BS EN 12390 Testing hardened concrete:

Part 1: 2000 Shape, dimensions for specimens and moulds.

Part 2: 2000 Making and curing specimens for strength tests.

Part 3: 2009 Compressive strength of test specimens.

Part 4: 2000 Specification for testing machines.

Part 5: 2009 Flexural strength of test specimens.

Part 6: 2000 Tensile splitting strength of test specimens.

Part 7: 2009 Density of hardened concrete.

Part 8: 2009 Depth of penetration of water under pressure.

DD CEN/TS Part 9: 2006 Freeze thaw resistance.

DD CEN/TS Part 10: 2007 Determination of the relative carbonation resistance of concrete.

BS EN 12504 Testing concrete in structures:

Part 1: 2000 Cored specimens. Taking, examining and testing under compression.

Part 2: 2001 Non-destructive testing. Determination of rebound number.

Part 3: 2005 Determination of pull-out force.

Part 4: 2004 Determination of ultrasonic pulse velocity.

BS EN 12602: 2008 Prefabricated reinforced components of autoclaved aerated concrete.

BS EN 12620: 2002 Aggregates for concrete.

BS EN 12696: 2000 Cathodic protection of steel in concrete.

BS EN 12794: 2005 Precast concrete products. Foundation piles.

BS EN 12878: 2005 Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime.

BS EN 13055 Lightweight aggregates:

Part 1: 2002 Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout.

BS EN 13139: 2002 Aggregates for mortar.

BS EN 13263 Silica fume for concrete:

Part 1: 2005 Definitions, requirements and conformity.

Part 2:2005 Conformity evaluation.

BS EN 13369: 2004 Common rules for precast concrete products.

BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using test data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

BS EN 13747: 2005 Precast concrete products. Floor plates for floor systems.

BS EN 13791: 2007 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components.

BS EN 13813: 2002 Screed materials and floor screeds. Screed material. Properties and requirements.

BS EN 13888: 2009 Grout for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation.

BS EN 14216: 2004 Cement. Composition, specifications and conformity criteria for very low heat special cements.

BS EN 14474: 2004 Precast concrete products. Concrete with wood chips as aggregate. Requirements and test methods.

BS EN 14487 Sprayed concrete:

Part 1: 2005 Definitions, specifications and conformity.

Part 2: 2006 Execution.

BS EN 14488: 2006 Testing sprayed concrete.

BS EN 14647: 2005 Calcium aluminate cement. Composition, specification and conformity criteria.

BS EN 14650: 2005 Precast concrete. General rules for factory production control of metallic fibred concrete.

BS EN 14721: 2005 Test method for metallic fibre concrete.

BS EN 14843: 2007 Precast concrete elements. Stairs.

BS EN 14845 Test methods for fibres in concrete:

Part 1: 2007 Reference concretes.

Part 2: 2006 Effect on concrete.

BS EN 14889 Fibres for concrete:

Part 1: 2006 Steel fibres. Definitions, specifications and conformity.

Part 2: 2006 Polymer fibres. Definitions, specifications and conformity.

BS EN 14991: 2007 Precast concrete elements. Foundation elements.

BS EN 14992: 2007 Precast concrete elements. Wall elements.

BS EN 15167 Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout:

Part 1: 2006 Definitions, specifications and conformity criteria.

Part 2: 2006 Conformity evaluation.

BS EN 15183: 2006 Products and systems for the protection and repair of concrete. Test methods.

BS EN 15435: 2008 Precast concrete products. Normal and lightweight concrete shuttering blocks. Product properties and performance.

BS EN 15498: 2008 Precast concrete products. Woodchip concrete shuttering blocks. Product properties and performance.

BS EN 15564: 2008 Precast concrete products. Resin bound concrete. Requirements and test methods.

BS EN ISO 15630 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete. Test methods:

Part 1: 2002 Reinforcing bars, wire rod and wire.

Part 2: 2002 Welded fabric.

Part 3: 2002 Prestressing steel.

PD CEN/TR 15697: 2008 Cement. Performance testing for sulfate resistance. State of the art report.

PD CEN/TR 15739: 2009 Precast concrete products. Concrete finishes. Identification.

PD 6678: 2005 Guide to the specification of masonry mortar.

PD 6682 Aggregates:

Part 1: 2003 Aggregates for concrete. Guidance on the use of BS EN 12620.

Part 3: 2003 Aggregates for mortar. Guidance on the use of BS EN 13139

Part 4: 2003 Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout. Guidance on the use of BS EN 13055-1.

Part 9: 2003 Guidance on the use of European test method standards.

PD 6687: 2008 Recommendations for the design of structures to BS EN 1992-2: 2005.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Special digests

BRE SD1: 2005 Concrete in aggressive ground.
BRE SD3: 2002 HACconcrete in the UK: assessment, durability management, maintenance and refurbishment.

BRE Digests

BRE Digest 330: 2004 Alkali-silica reaction in concrete (Parts 1 - 4).
BRE Digest 433: 1998 Recycled aggregates.
BRE Digest 434: 1998 Corrosion of reinforcement in concrete: electrochemical monitoring.
BRE Digest 444: 2000 Corrosion of steel in concrete (Parts 1, 2 and 3).
BRE Digest 451: 2000 Tension tests for concrete.
BRE Digest 455: 2001 Corrosion of steel in concrete: service life design and prediction.
BRE Digest 473: 2002 Marine aggregates in concrete.
BRE Digest 487: 2004 Structural fire engineering design: materials behaviour. Part 1. Concrete.
BRE Digest 491: 2004 Corrosion of steel in concrete.
BRE Digest 507: 2008 Marine aggregates in concrete.

BRE Good building guides

BRE GBG 39: 2001 Simple foundations for low-rise housing: rule of thumb design.
BRE GBG 64 Part 2: 2005 Tiling and slating pitched roofs: plain and profiled clay and concrete tiles.
BRE GBG 66: 2005 Building masonry with limebased mortars.

BRE Information papers

BRE IP 9/98 Energy efficient concrete walls using EPS permanent formwork.
BRE IP 11/98 Assessing carbonation depth in ageing high alumina cement concrete.
BRE IP 8/00 Durability of pre-cast HAC concrete in buildings.
BRE IP 15/00 Water reducing admixtures in concrete.
BRE IP 20/00 Accelerated carbonation testing of concrete.
BRE IP 9/01 Porous aggregates in concrete: Jurassic limestones.
BRE IP 11/01 Delayed ettringite formation: in-situ concrete.

BRE IP 18/01 Blastfurnace slag and steel slag: their use as aggregates.
BRE IP 1/02 Minimising the risk of alkali-silica reaction: alternative methods.
BRE IP 7/02 Reinforced autoclaved aerated concrete panels.
BRE IP 15/02 Volumetric strain of concrete under uniaxial compression with reference to sustained loading and high grade concrete.
BRE IP 4/03 Deterioration of cement-based building materials: lessons learnt.
BRE IP 16/03 Proprietary renders.
BRE IP 3/04 Self-compacting concrete.
BRE IP 6/04 Porous aggregates in concrete.
BRE IP 12/04 Concrete with minimal or no primary aggregate content.
BRE IP 11/05 Innovation in concrete frame construction.
BRE IP 17/05 Concretes with high ggbs contents for use in hard/firm secant piling.
BRE IP 3/06 Reinforced concrete service life design (Parts 1, 2 and 3).
BRE IP 9/07 Performance-based intervention for durable concrete repairs.
BRE IP 7/08 Cements with lower environmental impact.
BRE IP 3/09 Lessons learnt from the Barratt green house. Delivering a zero carbon home on innovative concrete systems.
BRE IP 5/09 Silica fume in concrete.

BRE Reports

BR 421: 2001 Low energy cements.
BR 429: 2001 High alumina cement and concrete.
BR 451: 2002 High alumina cement. BRAC rules - revised 2002.
BR 468: 2004 Fire safety of concrete structures.
BR 496: 2007 Calcium sulfoaluminate cements.
BR EP 85: 2008 Hemp lime construction.

BRITISH CEMENT ASSOCIATION

BCA Fact Sheet 4: 2006 Alkali silica reaction (ASR).
BCA Fact Sheet 12: 2006 Novel cements. Low energy, low carbon cements, revision 2.
BCA Fact Sheet 13: 2007 Specifying factory-made CEM II cements for use in masonry mortars.
BCA Fact Sheet 14: 2007 Factory-made composite cements.

CONCRETE SOCIETY REPORTS

Technical Report 31: 2008 Permeability testing of site concrete.
Technical Report 51: 1998 Guidance on the use of stainless steel reinforcement.
Technical Report 55: 2000 Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials.

Technical Report 61: 2004 Enhancing reinforced concrete durability.

Technical Report 63: 2007 Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete.

Technical Report 65: 2007 Guidance on the use of macro-synthetic fibre reinforced concrete.

Technical Report 66: 2007 External in-situ concrete paving.

Concrete Advice 07: 2003 Galvanised steel reinforcement.

Concrete Advice 14: 2003 Concrete surfaces for painting.

Concrete Advice 16: 2003 Assessing as struck in-situ concrete surface finishes.

CS 23: 2003 The new concrete standards - getting started.

CS 152: 2004 National structural concrete specification for building construction.

Good Concrete Guide 7: 2009 Foamed concrete.

Good Concrete Guide 9: 2009 Designed and detailed - Eurocode 2.

ADVISORY ORGANISATIONS

Architectural Cladding Association, 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

British Precast Concrete Federation Ltd., 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

Cement Admixtures Association, 38a Tilehouse Green Lane, Knowle, West Midlands B93 9EY, UK (01564 776362).

Cementitious Slag Makers Association, The Coach House, West Hill, Oxted, Surrey RH8 9JB, UK (01708 682439).

Concrete Society, Riverside House, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Camberley, Surrey GU17 9AB, UK (01276 607140).

Concrete Society Advisory Service, Riverside House, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Camberley, Surrey GU17 9AB, UK (01276 607140).

Construct Concrete Structures Group Ltd., Riverside House, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Camberley, Surrey GU17 9AB, UK (01276 38444).

Lime Centre, Long Barn, Morestead, Winchester, Hampshire SO21 1LZ, UK (01962 713636).

Mortar Industry Association, Gillingham House, 38- 44 Gillingham Street, London SW1V 1HU, UK (020 7963 8000).

Prestressed Concrete Association, 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

Quarry Products Association, Riverside House, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Camberley, Surrey GU17 9AB, UK (01276 33144).

Sprayed Concrete Association, Kingsley House, Ganders Business Park, Kingsley, Bordon, Hampshire GU35 9LU, UK (01420 471622).

Structural Precast Association, 60 Charles Street, Leicester LE1 1FB, UK (0116 253 6161).

4

الخشب ومنتجاته

مقدّمة

ما زال الخشب، الذي هو ربّما مادّة البناء الأصلية، يحتفظ بأهميّته الرئيسية في صناعة التشييد، بسبب تعدّد مجالات استعماله وتنوّعه وخواصه الجماليّة. تغطي الغابات نحو 20% من مساحة اليابسة، ونحو ثلثي هذه المساحة تقريباً أخشاب قاسية في الأقاليم المعتدلة المدارية وثلثها الآخر أخشاب طريّة في الأقاليم المعتدلة والباردة. ويستعمل ما يقارب ثلث محصول الأخشاب السنوي حول العالم في البناء، ويستهلك الباقي لإنتاج الورق أو كوقود أو يذهب هدراً أثناء عملية القطع.

لا يمكن حلُّ القضايا البيئية التي أثارتها الحاجة إلى تلبية الطلب الحالي والمستقبلي على الأخشاب إلا بالتنمية المستدامة للغابات. يُعدّ القطع الشامل للأشجار عبر تجريد مساحات بكاملها في غابات المناخ المعتدل، ومن ثم إعادة زراعتها الإجراء الأكثر اقتصاديةً، لكن طريقة الغابات المحمية [الخضراء] (Shelterwood) المتضمِّنة حصاداً مرحلياً على مدى عدة سنوات تضمن حلول أشجار فتية محل المقطوعة وتحويلها إلى أشجار ناضجة. وقد بدأت مساحات الغابات المُدارة (الموضوعة تحت الإشراف) في أميركا الشمالية والدول الإسكندينافية تزداد بفضل التوسُّع في زراعتها من أجل الاستعمال المستقبلي. سمح قطع الغابات في مناطق مداريّة معيّنة للرياح والأمطار بتعرية التربة السطحية الرقيقة مخلّفةً شروطاً غير صالحة للنمو أو صحراوية. إضافةً إلى ذلك يُساهم التقلّص الإجمالي في مساحات الغابات المطيرة في العالم بشكل كبير **بالآثار الدفيئة (الاحتباس الحراري)** لأنّه يؤدي إلى انخفاض معدّل التخلّص من ثاني أوكسيد الكربون من الجو.

تُعدُّ الأخشاب، بالمقارنة مع مواد البناء الأساسية الأخرى، مصدراً متجدِّداً ومقبولاً بيئياً. كما هو مبيّن في الشكل 1.4. فإنَّ الآجُرّ والفولاذ واللدائن [البلاستيك] والألومنيوم بخاصةٍ تستهلك كلُّها طاقةً أكبر في انتاجها، وبالتالي تُسهم كثيراً في انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون. أمّا الأشجار فلا تتطلب إلا القليل من الطاقة لتحويلها إلى أخشاب قابلة للاستخدام، في حين تُعدُّ الأشجار الفتيّة البديلة فاعلة بشكل خاص في امتصاص ثاني أوكسيد الكربون وطرح الأوكسجين في الجو. يمكن أن تصل الأخشاب القاسية في المناطق المعتدلة والاستوائية المُدارة بشكل مناسب إلى مرحلة النضج خلال مدى عمر الإنسان، في حين تستغرق الأخشاب الطريّة نصف هذة الفترة لكي تنضج. تُضاف المنتجات الخشبية المصنّعة من بقايا الأخشاب والأخشاب المُعاد تشكيلها إلى الاستعمال الفاعل للأحراج. وتمثّل الهياكل الخشبية التي تعدّ إحدى طرائق الإنشاء الحديثة (MMC) حالياً نحو 22% من المساكن الجديدة في المملكة المتحدة.

ثمّة تركيز كبير اليوم على برامج توثيق الأخشاب (Timber Certification Schemes) التي تتابع المادّة كسلسلة تحت الرقابة من المصدر وحتى المستهلك، لضمان دقة ادعاءات المطالب البيئية المعمول بها. ففي المملكة المتحدة، يضمن البرنامجان الدّوليان ـ مجلس إدارة الغابات (Forest Stewardship Council) (FSC) وبرنامج التصديق على وثائق الغابات (Programme For The Endorsement Of Forest) (PEFC) أن الأخشاب ببطاقة التعريف الخاصّة بها قد حُصِدَت من مصادر مستدامة مُدارة بشكل صحيح. كذلك تُعدّ المنتجات المُشتراة بموجب بطاقات تعريف جمعية المعايير الكندية (Canadian Standard Assosiation) (CSA) أو مبادرة الأحراج المستدامة الأميركية (American Sustainable Forestry Initiative) (SFI) مُعتمدة أيضاً من قبل PEFC. بالإضافة إلى ذلك، وتتولى جمعية بحوث الخشب وتطويره (Timber Research and Development Association) (TRDA)، من حيث كونها هيئة اعتماد منح شهادات السلاسل المراقبة الأخرى التي يتمُّ لاحقاً التحقُّق منها بشكل روتيني. ومن البرامج المعتمدة من قِبل (PEFC) للأخشاب المدارية برنامج توثيق الأخشاب الماليزي (Malaysian Timber Certification Scheme) (MTCS). تشمل المواد المُتاحة/ المتوفّرة في إطار هذه البرامج المعتمدة الأخشاب البنيوية وأخشاب المنجور والمنتجات الخشبية والخشب وألواح الخشب الرقائقي والأرضيات والألواح الليفية المتوسطة الكثافة (MDF) وألواح

الجدائل الخشبيّة المعيارية المتصالبة (Oriented Strand Board) (OSB).

يشمل ثاني أوكسيد الكربون المتضمّن النسبي لمواد متنوعة بالوزن ثاني أوكسيد الكربون المتولِّد من عمليات الاستخراج والتصنيع والتشييد.

(الشكل 1.4) علاقة الطاقة المتضمنة النسبيّة في مواد البناء. المخطط بإذن: (Make Architects).

الخشب

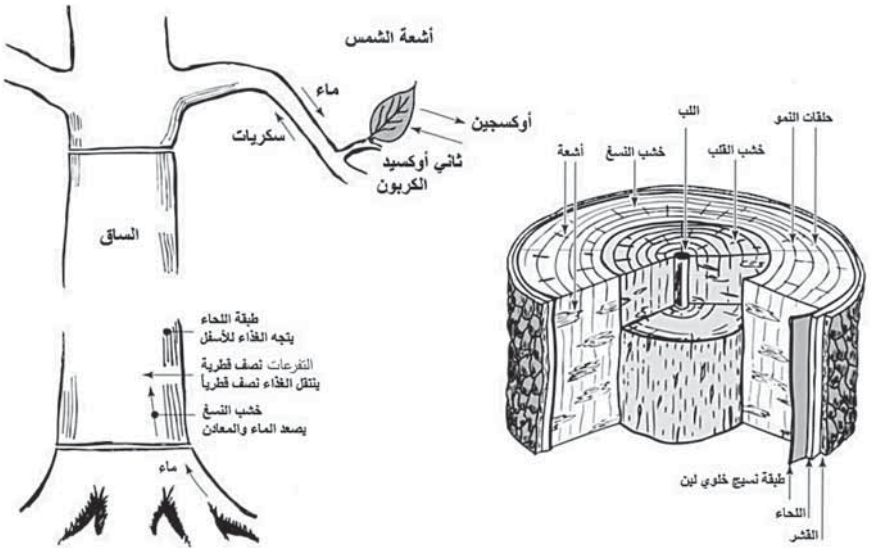
صُمِّم مركز الدراسات في كلية داروين ـ كامبردج (Study Centre at Darwin College) (الشكل 2.4) الذي يحتل موقعاً ضيقاً يطل على نهر كام (River Cam)، بحيث يستوعب الكتب والحواسيب. وهو عبارة عن أشغال بناء حامل من الحجر والخشب يتميز بالاستخدام الواسع لخشب البلوط الإنجليزي، من بينها أزواج من الأعمدة الضخمة تحمل غرفة القراءة في الطابق الأول البارزة جزئياً فوق النهر. وتتميَّز الأعمدة من خشب البلوط الأخضر بوجود انفلاقات على طول التجذّع (Shakes) وانفلاقات طوليّة تعطي انطباع قِدم العمر وتتباين عن البلوط المشذّب وعن القشرة الرّقيقة للبلوط على الأرضيات وإطارات النوافذ والأثاث. ثبِّتت الوصلات في البلوط الأخضر بمثبِّتات من الفولاذ غير القابل للصدأ، يمكن شدُّها كلما جفّ الخشب وانكمش. يضفي استخدام البلوط في كلِّ مكان مظهراً موحَّداً للمبنى الذي يتموضع بشكل مريح في موقعه الحساس للغاية.

(الشكل 2.4) بنية البلوط الأخضر - مركز دراسات كلية داروين ـ كامبردج

استقلاب الشجرة

تُعدُّ الشجرة كائناً حيّاً معقداً، مكوّناً من ثلاثة أجزاء: الأغصان مع أوراقها، والجذع (الساق)، والجذور (الشكل 3.4). تثبت الجذور الشجرة في الأرض، وتمتصُّ الماء والمعادن الذائبة في التربة. تمتصُّ الأوراق ثاني أوكسيد الكربون من الهواء، وبوجود أشعة الشمس إلى جانب الكلوروفيل كمحفز، يتَّحدُ ثاني أوكسيد

الكربون مع الماء لإنتاج السكريات. ويُطرَح الأوكسجين، وهو منتج ثانوي للعملية، من الأوراق. في حين تنتقل السكريّات في محلول مائي نزولاً من الأغصان والجذع ليتمّ تحويلها لاحقاً إلى سيلولوز الشجرة من أجل عملية النمو. يمنح الجذع الشجرة مقاومتها البنيوية ويعمل كخزّان للفلزات والمواد المغذية مثل النّشَاء وأيضاً كوسيط ناقل في اتجاهين.



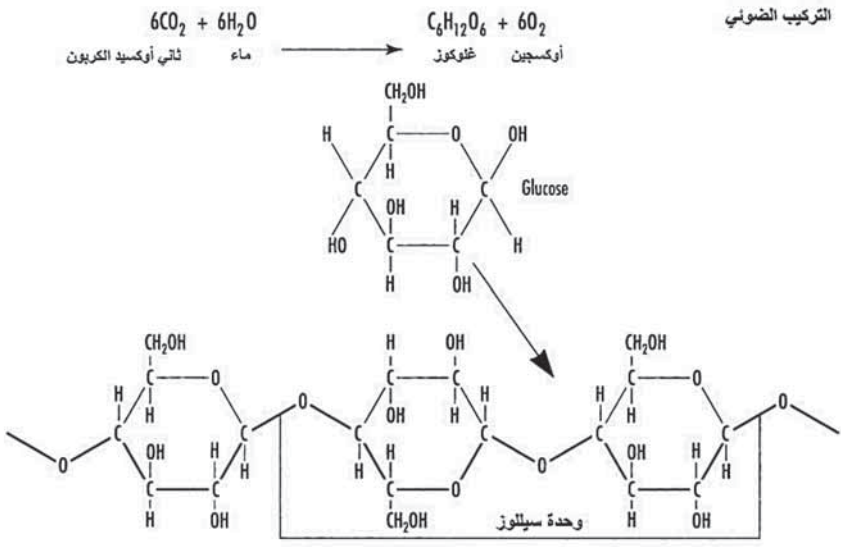
(الشكل 3.4) استقلاب الشجر (نقلا عن آ. إيفريت Everett, A. 1994: Mitchell's Materials. 5th edition. Longman Scientific & Technicall).

تتمُّ حماية الأشجار من الارتفاعات الكبيرة جدّاً لدرجات الحرارة ومن الأضرار الميكانيكية بواسطة اللِّحاء الخارجي الذي في داخله طبقة اللِّحاء الدّاخلي التي تنقل السكريّات التي تمّ تركيبها في الأوراق نحو الأسفل. بعد ذلك تقوم التفرُّعات القطرية (Radial Rays) بنقل الغذاء إلى خلايا خشب النسغ (Sapwood Cells) لتخزينه. وتوجد داخل اللِّحاء الدّاخلي الطبقة المولّدة (Cambium) الرقيقة الطريّة التي تُعدُّ طبقة النمو للِّحاء الخارجي وخشب النسغ. ويحدث النمو فقط عندما تكون الطبقة المولّدة نشطة، وهي تكون كذلك في المناخات المعتدلة، خلال فصلي الربيع والصيف.

يُظهر مقطع عرضي في جذع الشجرة حلقات النمو، وهذه يُشار إليها أحياناً كحلقات سنوية، لكن قد تؤدّي أنماط النمو غير الاعتيادية إلى حلقات متعدِّدة في العام الواحد، وفي المناخات الاستوائية، حيث تكون التغيرات الموسمية أقل وضوحاً، قد تكون حلقات النمو أقل تمايزاً وغير سنويّة. وتكون حلقات النمو واضحة لأن **الخشب المبكر المنتج** في بداية موسم النمو يُصنّع غالباً من الخلايا الأكبر في الجدران الرقيقة الأرق، وبالتالي يكون أكثر طراوةً ومساميةً من **الخشب المتأخِّر** المنتج قرب نهاية موسم النمو. في كل عام، ومع نمو الشجرة بظهور حلقة نمو جديدة، تتقوّى خلايا الحلقة الداخلية عبر عملية **تثخين ثانوية**، تتبعها عملية التخشُّب (Lignification) التي تموت فيها الخليّة. تصبح هذه الخلايا غير قادرة على العمل كخزّانات للغذاء، لكنها تمنح الشجرة مزيداً من مقاومتها البنيوية. تترافق التغيُّرات الفيزيائية غالباً مع زيادة في قتامة الخشب نتيجة دخول ما يسمى "**العُصارات**" (Extractives) في جدران الخلايا، مثل الراتنجات (Resins) في الأخشاب الطّرية أو العفصيّات (Tannins) في البلوط. وهي مواد حافظة طبيعية للخشب تجعل خشب القلب أكثر ديمومة من خشب النسغ.

مكونات الخشب

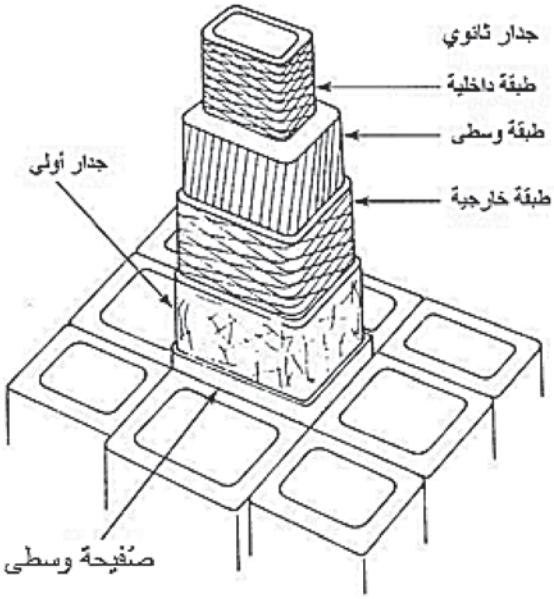
المكونات الرئيسية للخشب هي السيلولوز، والشبيه بالسيلولوز , (Hemicellulose) والخشبين (Lignin)، وهي بوليميرات طبيعية. السيلولوز، المكوّن الرئيس لجدران الخلايا، هو بوليمير مصنوع من الغلوكوز، الذي هو منتج مباشر من عملية التركيب الضوئي داخل أوراق الشجرة. وترتبط جزيئات الغلوكوز معاً لتشكِّل سلاسل السيلولوز التي تحتوي عادةً على 10000 وحدة سكر (الشكل 4.4). تُشكّل سلاسل السيلولوز المتناوبة، التي تنمو في اتجاهات معاكسة بعضها لبعض، مادةً بلورية جيّدة الانتظام بشكل غالب. وتعطي هذه البُنية المتسلسلة البلورية للسيلولوز خصائصه الليفية وتشكل ما يقارب 45% من الوزن الجّاف للخشب.



(الشكل 4.4) بنية السيلولوز.

أما الشبيه بالسيلولوز، الذي يشكل ما يقارب 25% من وزن الخشب، فله بُنى بلّورية، جزئياً أكثر تعقيداً، مكوّنة من أنواع مختلفة من سكريّات أخرى. السلاسل الجزيئية فيه أقصر من تلك التي في السيلولوز وتنتج مادّة أكثر هلامية. أمّا الخشبين (يشكّل تقريباً 25% من وزن الخشب) فهو مادة بوليميرية لا بلورية غير قابلة للذوبان، ومكوناته الرئيسية هي مشتقات البنزين المجمعة لتشكِّل بُنية معقّدة ذات سلاسل متفرعة.

تتجمع المكونات الرئيسية الثلاثة لتشكل **لُيَيفات مكروية** (Microfibrils)، تعدّ بدورها لبِنات بناء جدران الخلية. تُحاط سلاسل السيلولوز البلورية بالشبيه بالسيلولوز شبه البلوري تَليها طبقة من السيلولوز غير المتبلور لتلتصق في النهاية ببعضها مع الخشبين (الشكل 5.4)، وتتراكم الملايين من هذه اللُيَيفات الميكرويّة في طبقات لتشكِّل جدران الخلية الواحدة. تعطي هذه البنية المركبّة الخشب مقاومته الفيزيائية، حيث يساهم السيلولوز بشكل رئيس بخواص قابلية الشدِّ، ويساهم الشبيه بالسيلولوز والخشبين بتشكيل قوة الضّغط والمرونة.



(الشكل 5.4) بنية خلية الخشب (نقلاً عن after Desch, H.E. 1981: Timber: its structure properties and utilisation, 6th edition. Macmillan Education - Crown Copyright).

تحتوي الأخشاب، بالإضافة إلى المكونات الرئيسية الثلاثة وكميات كبيرة من الماء، على كثير من المكونات الثانوية يكون بعضها، كالراتنجات والأصماغ والعفْص، مرافقاً لتحوُّل خشب النسغ إلى خشب القلب. ويُعدُّ النّشَاء الموجود في خشب النسغ جاذباً للفطريات، والحُبيبات اللاعضوية في الخشب، مثل السيليكا، تجعل العمل ببعض الأخشاب المدارية القاسية، مثل خشب الساج (Teak)، صعباً. تنشأ ألوان الخشب المختلفة من هذه المكونات الثانوية، لأنَّ السيلولوزات المختلفة والخشبين لا لون لها فعلياً. إنَّ بعض الألوان ملازمة للسلاسل البوليميرية، لكنَّ بعضها الآخر عبارة عن أصباغ طبيعية حساسة للضوء، تتلاشى عند التعرُّض المديد لضوء الشمس، ما لم يُطلَ الخشب بطبقة ماصّة للأشعة فوق البنفسجية.

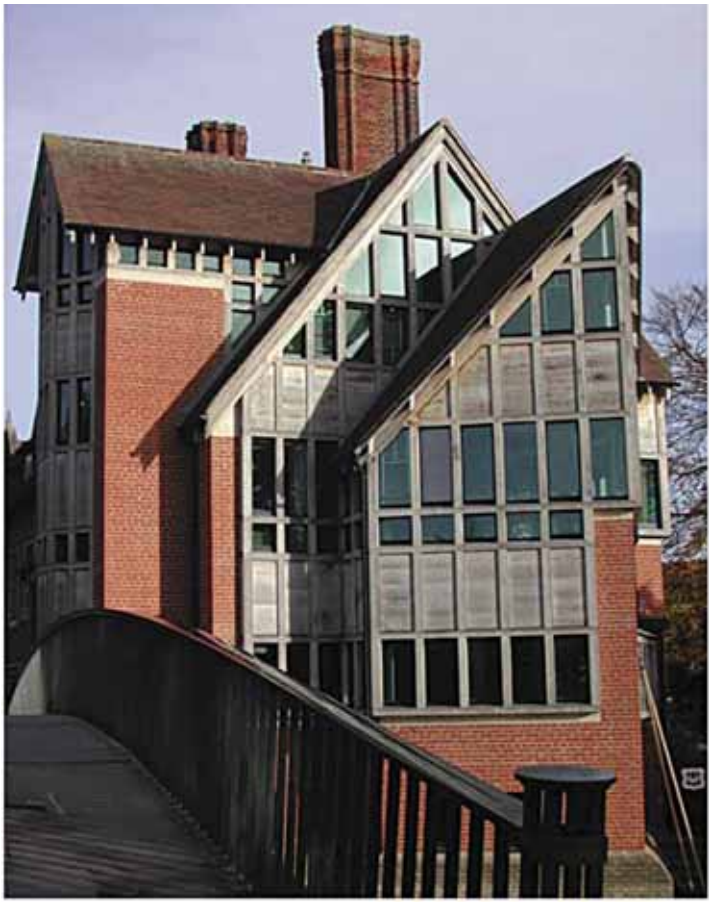
الخشب القاسي والخشب الطّري

تُعرّف الأخشاب التجارية كأخشاب قاسية أو طريّة وفقاً لتصنيفها النباتي، بدلاً من مقاومتها الفيزيائية. تأتي الأخشاب القاسية (كاسيات البذور (Angiosperms)) من الأشجار العريضة الأوراق، التي تسقط أوراقها في الخريف (متساقطة الأوراق (Deciduous)) في المناخات المعتدلة، مع أنّها، في المناخات المدارية حيث

التغيُّرات الفصلية طفيفة، تُسْتَبْدَل الأوراق القديمة باستمرار بأوراق جديدة. أمّا الأخشاب الطريّة (عاريات البذور Gymnosperms) فهي من الصنوبريات (Conifers) التي تتميّز بأوراقها الإبرية الشكل، وتنمو غالباً في المناطق الشمالية المعتدلة، وتكون، في الغالب، دائمة الخضرة، باستثناء شجرة لاركس الأوروبية (European Larch) (Larix Decidua) وتشمل الخشب الأحمر الكاليفورني (Californian Redwood) (السيكويا الدائمة الخضرة (Sequoia Sempervirens)) الشجرة الأكبر في العالم بارتفاع يزيد على 100 m.

مع أن مصطلحي الخشب القاسي والخشب الطري ناتجان من المقاومة الفيزيائيّة للأخشاب، لكن للمفارقة شجر البلزا (Balsa) (البلسا) (Ochroma lagopus) المستعمل، في صناعة النماذج، هو خشب قاسٍ نباتياً، في حين يُعرّف خشب الطقسوس (Taxus Baccata) (Yew) وهو مادّة قويّة وتتمتّع بالديمومة بأنه خشب طري نباتيّاً. ويظهر الفحص المجهري للخشب الطري نوعاً واحداً من الخلايا التي تتنوّع في حجمها بين النمو السّريع في فصل الربيع وأوائل فصل الصيف (الخشب المبكِّر) والنمو البطيء في أواخر فصل الصيف والخريف (الخشب المتأخّر). تقوم هذه الخلايا، أو القصيبات (Tracheids)، بوظائف نقل الماء والغذاء وتعطي المقاومة للشجرة. إلا أنّ الخشب القاسي يمتلك بنية خلوية أكثر تعقيداً مع خلايا كبيرة أو أوعية للقيام بالوظائف، وخلايا أصغر أو ألياف خشبية توفّر الدعم الميكانيكي. ووفقاً لحجم الأوعية وتوزُّعها تقسَّم الأخشاب القاسية إلى مجموعتين متميزتين: الأخشاب القاسية المنتشرة المسام (Diffuse-Porous)، تشمل خشب الزان (Beech) (Fagus Sylvatica)، والبتولا (Birch) (Betula Pendula)، ومعظم الأخشاب القاسية الاستوائية، حيث تمتلك أوعية متماثلة القطر موزعة بالتساوي تقريباً في جميع أنحاء الخشب. والمجموعة الثانية هي الأخشاب القاسية الحلقية المسام (Ring-Porous)، من بينها البلوط وشجر الدردار (لسان العصفور) (Ash Tree) (Fraxinus Exelsior) والبوقيصا (شجر البق) (Elm) (Ulmus Procera)، التي لها أوعية كبيرة تتركّز في الخشب المُبكِّر، وأوعية صغيرة فقط في الخشب المتأخر (الشكل 6.4). يظهر الشكل 7.4 مكتبة جيري وود في قاعة ترينيتي ـ كامبردج، الجودة البصرية لبلّوط متكلّس (Limed Oak) كميّزة معمارية في سياق بيئة حساسة للبناء.

(الشكل 6.4) بنية الخلية في الأخشاب الصلبة واللينة.



(الشكل 7.4) بلوط متكلس ـ مكتبة جيري وود بقاعة ترينيتي كامبردج. المهندسون المعماريون: فريلاند ريس روبرتس. المصور: آرثر ليونز.

أصناف الخشب

يمكن تعريف أي خشب معيّن من خلال الاستعمال الصحيح لتصنيفه ضمن العائلة والجنس والنوع، وبالتالي فإنّ البلوط (السنديان) والزان هما عضوان في العائلة البلوطية (Fagaceae)، إلا أنّ الزان (Fagus) من جنس، والبلوط (Quercus) من جنس آخر. يقسم جنس البلوط إلى عدّة أصناف بما فيها النوع الأكثر شيوعاً المعروف بالبلوط الزندي **(ذو السويقات)** (Pedunculate Oak) والنوع المشابه لكن الأقل شيوعاً المعروف بالبلوط اللاعنقي (Sessile Oak) المتّصل مباشرة بالقاعدة (Quercus Petreae). إلا أنّ التسمية الدّقيقة للخشب مثيرة للالتباس إلى حد كبير باستعمال مصطلح غير دقيق في صناعة البناء. فعلى سبيل المثال، كثيراً ما يشار

إلى كلٍّ من خشب ميرانتي الماليزي (Malaysian Meranti) واللاوان الفلبيني (Philippine Lauan) على أنهما ماهوغني فيلبيني، في حين أنهما ينتميان إلى عائلتين وجنسين مختلفين تماماً عن الماهوغني الحقيقي (Swietenia) من الإنديز الغربية أو أميركا الوسطى. يمكن أن يسبب عدم الدقة هذا توصيفاً أو توريداً خاطئين للخشب مع عواقب وخيمة، وعلى المستخدمين تحديد الجنس والنّوع الصحيحين عندما يكون هناك مخاطر في الالتباس.

يصنف المعيار البريطاني والأوروبي (BS EN 13556) لعام 2003 كُلاّ من الأخشاب القاسية (ثنائية الفلقة) والأخشاب الطّرية (عاريات البذور) المستخدمة في أوروبا برمز من أربعة حروف. الحرفان الأولان هما تركيبة واضحة تشير إلى الجنس (مثال البلوط Quercus - QC)، أمّا الحرفان الثالث والرابع فيشيران إلى أنواع محدَّدة؛ وبالتالي فإن رمز البلوط الأوروبي (Quercus Petraea) هو (QC) فقط، ورمز البلوط الأحمر الأميركي (Quercus Rubra) هو (QCXR). من الأخشاب الطّريّة النموذجيّة خشب الأرز الأحمر الغربي (Thuja Plicata) ورمزه (THPL) والصنوبر الاسكوتلندي (Pinus Sylvestris) ورمزه (PNSY).

تشكل الأخشاب الطّريّة 80% تقريباً من مجموع الأخشاب المستخدمة في صناعة البناء في المملكة المتحدة. يُستورد خشب الصنوبر (الخشب الأحمر الأوروبي)، وخشب الشّوح (Spruce) (الخشب الأبيض الأوروبي) من أوروبا الشمالية والوسطى، في حين يُستورد خشب الشوكران الغربي (Western Hemlock) والشّوح والصنوبر والتنوب (Fir) بكميات من أميركا الشمالية. تضمن إدارة الغابات في تلك المناطق استمرار الإمدادات وتوافرها. كذلك تُستورد كميات أقل من خشب الأرز الأحمر الغربي، كمادّة إكساء خارجي خفيفة الوزن وتتمتّع بالديمومة، من أميركا الشمالية، إلى جانب الخشب الأحمر الأميركي من كاليفورنيا، والصنوبر الراتنجي (Pitch Pine) من أميركا الوسطى، وصنوبر البارانا (Parana Pine) من البرازيل، كما غدت نيوزلندا وجنوب أفريقيا وتشيلي، على نحو متزايد، مصادرَ أساسية للخشب المُتجدّد. ويوفر إنتاج المملكة المتحدة من الصنوبر والشّوح 10% فقط من الاحتياجات الوطنية، في حين تخطّط إيرلندا لتحقيق الاكتفاء الذاتي في وقت مبكر من القرن القادم.

يستخدم أكثر من 100 نوع مختلف من الأخشاب القاسية في المملكة المتحدة، بالرغم من أن الزان والبلوط والكستناء الحلوة (Sweet Chestnut)

والميرانتي واللاوان والدردار والماهوغني الأميركي والرامين (Ramin) تشكّل معاً أكثر من نصف الاحتياجات. يأتي ما يقارب نصف الأخشاب القاسية المستعملة في المملكة المتحدة من الغابات المعتدلة في أميركا الشمالية وأوروبا بما في ذلك بريطانيا، لكن يتم استيراد الباقي بما فيها الأخشاب التي تتمتّع بالديمومة، مثل خشب إيروكو (Iroko) والماهوغني والساج والسبيلي (Sapele) من الغابات المدارية المطيرة. توضح قاعة البلوط الكبيرة في مشتل وستونبيرت أربيريتوم غلوسسترشاير (The Great Oak Hall At Westonbirt Arboretum Gloucestershire) كما في الشكل 8.4، استخدام أنظمة تشييد العصور الوسطى داخل مبنى حديث باستعمال البلوط الأخضر المثبّت بأوتاد وأسافين.

(الشكل 8.4) بناء بلوط تقليدي ـ قاعة البلوط الكبرى، مشتل ويستونبيرت، غلوسسترشاير المهندسون المعماريون: رودريك جيمس. المصور: آرثر ليونز.

منذ عام 1965 فقدت غابات الأمازون 6.5% من مساحتها، لكنه كثير من هذا القَطع الجائر وتفريغ الغابات قد حدث لأغراض الزراعة، حيث يستعمل أكثر من ثلاثة أرباع الخشب المقطوع وقوداً محليّاً بدلاً من تصديره خشباً. مع تنامي إدراك التأثيرات البيئية لإزالة الغابات على نطاق واسع، تفرض بعض الحكومات المنتجة حالياً ضوابط أكثر صرامة لمنع القطع الكامل وتشجيع الحصاد المُستدام من خلال التحكم في القَطع. ثمّةَ أخشاب أخرى قاسية مستوردة وتتمتَّع بالديمومة طبيعياً ومتوافرة بأطوال كبيرة، منها أكي (Ekki) والقلب الأخضر (Greenheart) والأوبيبي (Opepe)، في حين تتمتّع الكستناء الحلوة المنتجة في المملكة المتحدة بالديمومة، وتُعدُّ خشباً بنيوياً مناسباً. وهناك أخشاب لم تُستعمل سابقاً في المملكة المتحدة وتستورد حالياً من أميركا الجنوبية مثل جاتوبا (Hymenaea Courbaril) (Jatoba).

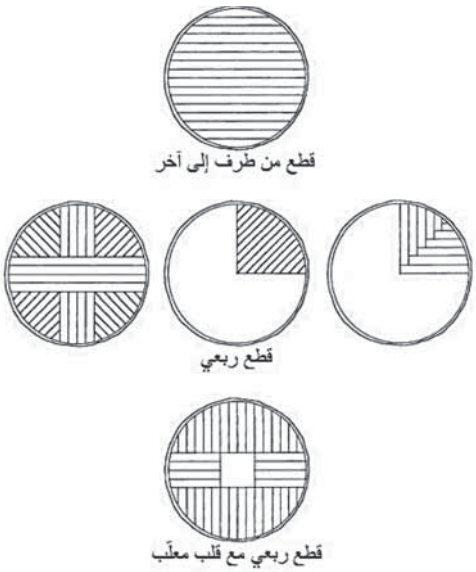
التحويل

التحويل هو عملية قطع الجذوع أو السوق إلى مقاطع قبل تجفيفها. أمّا عملية القطع اللاحقة إلى مقاسات قابلة للاستخدام فتُدعى تصنيعاً. تنتج عمليّات الإنهاء التي تتضمن التسوية والتنعيم، سطحاً أملس من النّاحية البصريّة لكنه يخفّض من امتصاص صباغات الخشب المُتغلغلة. تُنشر الأخشاب للحصول على المقاطع المُصْمتة، في حين يتمُّ تقشير الطبقات الرقيقة للحصول على الخشب المعاكس، وعادةً ما تشرَّح القشور الخارجيّة (Veneers) إلى شرائح على امتداد وجه الجذع للحصول على أكبر قدر من التأثير البصري للّون والشّكل الذي يُعدّ الأثر النمطي المرئي على السطح الطولي للخشب المقطوع.

أنواع القطع

ثمّة نوعان رئيسان للقطع هما: النشْر البسيط (Plain Sawn) والنشْر الرُّبعي (Quarter Sawn)، وذلك بحسب الزاوية بين سطح الخشب وحلقات النمو. ويُلاحظ هذا بأفضل شكل من نهاية الخشب، كما في الشكل 9.4. إذا جرى القطع بحيث تلتقي حلقات النمو السطح بزاوية أقل من 54^0 يكون النشْر بسيطاً. وللأخشاب بهذا النوع من القطع مظهر أكثر زخرفية، لكنها أكثر قابلية للتشوّه بفعل التقبُّب (Cupping). أمَّا إذا كان الخشب المقطوع وحلقات نموّه تلتقي السّطح بزاوية لا تقل عن 45^0 يكون النشر رُبعيّاً، مثل هذا الخشب يكون أكثر مقاومة للاهتراء، ومقاوماً لعوامل الطقس وأقل عرضةً للتقشُّر. فإذا قُطع الجذع من جانب

إلى آخر (Through And Through)، وهذا أكثر اقتصادية، ينتج عنه مزيج من خشب منشور بسيط وخشب منشور ربعياً. النشر الربعي أكثر تكلفة، لأن الجذع يتطلب إعادة تهيئة عند كل عملية قطع، كما أنه ينتج نفايات أكثر. إلا أن المقاطع الأكبر تكون أكثر استقراراً من الناحية البعديّة. كثيراً ما يكون مركز الشجرة، أي اللبّ، طريّاً، ويمكن أن يضعُف نتيجة الانفلاقات الطولية والانفلاقات على طول التجذّع. في هذه الحالة يُزال المركز كقلب صندوقي (Boxed Heart).



(الشكل 9.4) تحويل الخشب.

المقاسات

يعرّف المعيار البريطاني والأوروبي (BS EN 1313-1:1997) المقاسات المعيارية للأخشاب الطريّة المنشورة عند محتوى رطوبة 20% (الجدول 1.4). تُعدُّ الأطوال التي تزيد على 5 m والعروض التي تزيد على 225 mm نادرة ومكلفة (BS EN 385: 2001)، لكن الوصل الإصبعي (Finger Jointing) الذي قد يكون قويّاً كالخشب المتواصل يسمح بتوصيف أطوال أكبر. تقلل عملية الضبط، التي تضمن اتساق عرض الخشب المنشور، المقطع الاسمي بمقدار 3 mm (5 mm على 150 mm)، وتُخفّض التسوية على كلٍّ الأوجه أو القشط المحيطي (PAR) (Processed All Round)، على سبيل المثال، مقطعاً بقياس 74x100 mm ليصبح 44x97 mm (الجدول 2.4). تكون قياسات الأخشاب القاسية أكثر تغيّراً لاختلاف

أنواعها، لكن القياسات المفضّلة وفقاً للمعيار البريطاني والأوروبي (BS EN 1313-2:1999) محدّدة في الجدول 1.4. تُستورد الأخشاب القاسية عادة بعروض وأطوال عشوائية، وتتوافر بعض الأخشاب القاسية البنيوية مثل خشب إيروكو (Iroko) (Chlorophora Excelsa) بأطوال أكبر (6 ـ 8 m) وبمقاطع كبيرة. ويحدد المعياران (BS EN 1313-1: 1997) و(BS EN 336: 2003) مقادير السماحات للانحرافات المعيارية المقبولة عن القياسات المحددة للأخشاب الطرية (الجدول 3.4). يحدّد المعيار الأخير مستويين من السّماح لأبعاد السّطح المنشور (صنف السّماح 1، T1، وصنف السّماح 2، T2)، مع T2 الموصّف بحدود أصغر للسّماح والملائم للخشب المسوّى (المكشوط). أما الأطوال المُعتادة للأخشاب الطريّة والقاسية البنيوية فمبيّنة في الجدول 1.4.

الجدول 1.4 المقاسات المعيارية للأخشاب الطرية والأخشاب القاسية

المقاسات المعيارية للخشب الطري المنشور (محتوى رطوبة 20%) وفقاً للمعيار (BS EN 1313-1:1997)												
السماكة (mm)	العرض (mm)											
	75	100	115	125	138	150	175	200	225	250	275	300
16	V	V		V		V						
19	V	V		V		V						
22	V	V		V		V	V	V	V			
25	V	V		V		V	V	V	V	V	V	V
32		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
38	X	√	X	√	X	√	X	X	X	X	X	X
47	X	X		X		X	X	X	X	X		X
50	X	√		√		√	√	√	√	X		X
63		√		√		√	√	X	X			
75		X		X		√	√	√	√	X	X	X
100		X				X		√	X	X	X	X
150						X		X				X
250									X			
300												X

المقاسات ذات العلامة ز تشير إلى المقاسات المفضلة لدى الاتحاد الأوروبي
المقاسات ذات العلامة X تشير إلى المقاسات المفضلة المكملة لدى المملكة المتحدة
القياسات ذات العلامة V تشير إلى مقاسات مألوفة إضافية في المملكة المتحدة

الأطوال المألوفة للأخشاب وفقاً للمعيار (BS EN 1313-1:1997)

الطول mm						
1.8	2.10	3.00	4.20	5.10	6.00	7.20
	2.40	3.30	4.50	5.40	6.30	
	2.70	3.60	4.80	5.70	6.60	
		3.90			6.90	

الأطوال التي تزيد على 5,7 m من الممكن أن لاتكون متوافرة بسهولة من دون الوصل الإصبعي
المقاسات المعيارية للخشب القاسي المنشور (محتوى رطوبة 20٪) وفقاً للمعيار (BS EN 1313-2: 1999)

السماكات المفضلة										
الاتحـــاد الأوروبي	20	27	32	40	50	60	65	70	80	mm 100
السماكات المكملة										
المملـكـة المتحدة	19	26		38	52		63	mm 75		
العروض المفضلة										
الاتحـــاد الأوروبي	10 mm فواصل للعروض بين 50 mm و90 mm 20 mm فواصل للعروض من 100 mm ومافوق									
الأطوال المفضلة										
الاتحـــاد الأوروبي	100 mm فواصل للأطوال بين 2.0 m و 6.0 m 50 mm فواصل للأطوال أقل من 1 m									

محتوى الرطوبة والتجفيف

لمّا كانت الشجرة كائناً حياً، فإن وزن الماء في داخلها يكون غالباً أكبر من الوزن الجّاف للخشب ذاته. ومحتوى الشجرة من الماء هو نفسه في الشتاء والصيف، ولكن هناك ميزة واحدة لقطع الشجر شتاءً تتمثّل في المستوى المنخفض لنشاط الحشرات والفطريات. يفقد الخشب بعد القطع الماء المحبوس في تجاويف الخلايا من دون أن ينكمش، حتى يصل إلى **نقطة تشبُّع الألياف** حين تصبح الخلايا فارغة. بعد ذلك يزول الماء من جدران الخلية، حيث يصبح الخشب خلال هذه العملية أكثر قساوة ويحدث الانكماش. ولأن السيلولوز مادة ماصّة للرطوبة، سوف يتوازن الخشب في نهاية المطاف عند محتوى رطوبة معتمدٍ على الظروف الجوية. تُدعى التبدلات العكوسة اللاحقة في أبعاد الخشب "حركةً". ويدعى فقد الرطوبة

المتحكم فيه من الأخشاب الخضراء وحتى الوصول إلى محتوى الرطوبة المناسب للاستعمال "تجفيفاً".

الجدول 2.4 التخفيض الأعظمي المسموح به من مقاسات النشر المستهدفة للأخشاب الطرية والقاسية بتسوية وجهين متقابلين

التخفيضات الأعظمية من مقاسات الأخشاب الطرية المنشورة بتسوية وجهين متقابلين (BS EN 1313-1: 1997)					
التطبيق النموذجي	الخفض من المقاس الأساسي (mm)				
	15 ـ 35	36 ـ 100	101 ـ 150	فوق 150	
خشب البناء	3	3	5	5	
ألواح المطابقة والتشبيك (ليس للأرضيات)	4	4	6	6	
تشذيب الخشب	5	7	7	9	
أشغال المنجور والأثاث	7	9	11	13	
التخفيضات الأعظمية من مقاسات الأخشاب القاسية بتسوية وجهين متقابلين (BS EN 1313-2: 1999)					
التطبيق النموذجي/ التقليدي	الخفض من المقاس الأساسي				
	15 ـ 25	26 ـ 50	51 ـ 100	101 ـ 150	151 ـ 300
ألواح الأرضيات والمطابقة والتشبيك والتسوية الدائرية	5	6	7	7	7
التشذيب	6	7	8	9	10
أشغال المنجور والأثاث	7	9	10	12	14

الجدول 3.4 الانحرافات المسموح بها عن مقاسات الخشب البنيوي حسب المعيار (BS EN 336: 2003)

الانحرافات العظمى من القياسات المطلوبة	صنف السماحية T1	صنف السماحية T2
سماكات وعروض ⩾ 100 mm	ـ 1 إلى +3 mm	ـ 1 إلى + 1 mm
سماكات وعروض ⩽ 100 mm	ـ 2 إلى +4 mm	ـ 1.5 إلى + 1.5 mm

إنَّ الهدف الرئيس للتجفيف هو جعل محتوى رطوبة الخشب مستقرّاً بحيث يكون منسجماً مع شروط التوازن التي سيستعمل فيها، وبحيث تكون الحركة اللاحقة ضئيلة جداً. وفي الوقت ذاته، فإن انخفاض محتوى الماء إلى ما دون 20% سوف يمنع أي تحلّلٍ فطري أولي، ويمكن أن يبدأ فقط فوق هذا المستوى الحرج. يحدثُ التجفيف بتبخير الماء من السطح متبوعاً بحركة الرطوبة من مركز الخشب نحو الخارج نتيجةَ نشوء تدرّج ضغط البخار. يكون فن التجفيف ناجحاً إذا تمّ ضبط التخلُّص من الرطوبة بمعدّل مناسب. فإذا جرى فقدُ الرطوبة بشكلٍ سريعٍ جداً، سوف تنكمش الطبقات الخارجية، في حين ما زال المركز رطباً ويصبحُ السطح في وضعية منتفخة (تقسية السّطح) أو يتصدع في سلسلة من التشقُّقات أو الانفلاقات الطوليّة. وفي أسوأ الحالات، عندما يجفّ المركز في ما بعد وينكمش، فإنّه ربّما ينفلق شعاعيّاً (Honeycomb).

التجفيف بالهواء

يُكدّس الخشب، معزولاً عن سطح الأرض ومحمياً من المطر، على طبقات تفصل بينها قطع خشبية تدعى أوتاداً (Stickers)، تتحكم في جريان الهواء بحسب سماكتها (الشكل 10.4). يزيل الهواء، الذي تسخّنه الشمس وتحرّكه الرّياح، الرطوبةَ من سطح الأخشاب. وتُحمى نهايات الأخشاب بطلاء عازل للماء (طلاء من القار) لمنع فقد الرطوبة السريع، والذي قد يسبب انفلاقها طوليّاً. يمكن الوصول إلى محتوى رطوبة بين 17% و23% في المملكة المتحدة في بضعة أشهر للأخشاب الطّرية، أو على مدى سنوات للأخشاب القاسية.

(الشكل 10.4) تجفيف الخشب من نوع جارا (Jarrah) بالهواء في غرب أستراليا.

التجفيف بالفرن

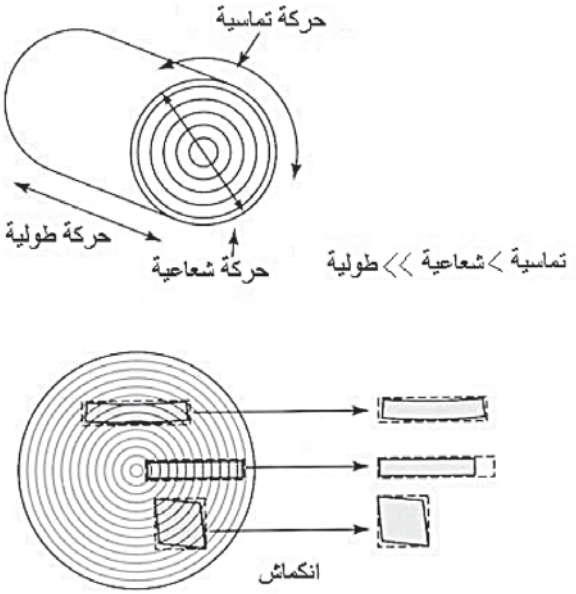
يتمّ التجفيف بالفرن بتسخين الخشب داخل حجرة مغلقة، يمكن برمجُتها وِفق جدول دقيق من الحرارة والرطوبة. وبالتالي ينجز تجفيف الرطوبة لأيِّ محتوى مرغوب من دون خفض ملحوظ لجودة الخشب، بالرغم من أن بعض الأمثلة المبكّرة للخشب المُجفّف بالفرن قد أظهرت ضرراً جديّاً نتيجة استعمال جداول تجفيف غير مناسبة. ولأسباب اقتصادية، كثيراً ما يتمُّ تجفيف الأخشاب بالهواء حتى نقطة تشبّع الألياف، ثم تجفيفها بالفرن إلى محتوى الرطوبة المطلوب، يقلّل هذا الإجراء من وقت التجفيف بالفرن ومن تكاليف الوقود إلى النصف تقريباً. يمكن تجفيف حمولة نموذجية من الخشب الطّري في فرن من نقطة تشبّع الألياف خلال بضعة أيام، وقد تستغرق أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع في حالة الخشب القاسي.

إذا تعرّض الخشب المجفّف للمطر في الموقع، فإنه يُعاود امتصاص الرطوبة. لذلك تُعدُّ إدارة الموقع جيّداً ضرورية لحماية الخشب قبل استعماله من الضرر

الفيزيائي أو الترطيب. كذلك يمكن أن تُسبِّب تدفئة المباني الجديدة بأنظمة التدفئة المركزية في حدوث تغيرات سريعة في محتوى رطوبة خشب المنجور مما يؤدي إلى انكماش الخشب وتشققه وانفلاقه طولياً.

حركة الرطوبة

يُعدُّ الخشب مادةً متباينة الخواص في مختلف الاتجاهات، مع اختلاف حركة الرطوبة على طول المحاور الثلاثة الرئيسية، المحور المماسي والقُطري والطّولي (الشكل 11.4). والحركة الكبرى للرطوبة هي مماسية للألياف، وتليها الحركة القطرية وأقلُّها الحركة على طول اتّجاه الألياف، ويعطي الجدول 4.4 أرقاماً نموذجية. كلما كبرت النسبة بين الحركة المماسيّة والقطرية ازداد التشوُّه. تُذكر حركات الرطوبة تقليدياً من أجل تغيّر في الرطوبة النسبية من 90% إلى 60% عند درجة حرارة 25^{o} m. تصنّف مؤسسة بحوث البناء (BRE) الأخشاب في ثلاث فئات وِفقاً لمجموع الحركات القطرية والمماسية الناتجة من هذا التغيّر المعياري في الرطوبة النسبية. تعرف الحركة الصغيرة بأقل من 3%، والمتوسطة بين 3% و4.5%، والكبيرة فوق 4.5%. ولا ينصح باستعمال الأخشاب ذات الحركة الكبيرة في الإكساء.



(الشكل 11.4) حركة الرطوبة والانكماش في التجفيف الأولي.

الجدول 4.4 حركة الرطوبة لبعض الأخشاب الصلبة واللينة المتوفرة عادةً في المملكة المتحدة

حركة رطوبة/ صغيرة (أقل من 3.0%)	حركة رطوبة متوسطة 3.0-4.5%) %)	حركة رطوبة كبيرة (أكثر من 4.5%
الأخشاب الصلبة		
أفزيليا (Afzilia)	دردار (Ash)	زان الأوروبي (Beech, European)
أغبا (Agba)	كرز (Cherry)	بتولا (Birch)
أيروكو (Iroko)	دردار الأوروبي (Elm, European)	كيروينغ (Keruing)
جيلوتونغ (Jelutong)	جراح (Jarrah)	رامين (Ramin)
ماهوغاني فلبيني (Lauan)	قيقب (Maple)	
ماهوغني أفريقي (Mahogany African)	بلوط أميركي (Oak, American)	
ماهوغني أميركي (American Mahogany)	بلوط أوروبي (Oak, European)	
ميرانتي (Meranti)	سابيلي (Sapele)	
ميرباو (Merbau)	يوتايل (Utile)	
أوبيتش (Obeche)	جوز أوروبي	(Walnut, European)
ساج (Teak)		
الأخشاب الطرية		
صنوبر كورسيكي (Corsican Pine)	خشب أحمر أوروبي (European Redwood)	
تنوب دوغلاس (كندي) (Douglas Fir)	خشب أبيض أوروبي (European Whitewood)	
بيسية (شوح) سيتكا (Sitka Spruce)	صنوبر البارانا (Parana Pine)	
شوكران غربي (Western Hemlock)	صنوبر الراديانا (Radiata Pine)	
أرز أحمر غربي (Western Red Cedar)	صنوبر اسكتولندي (Scots Pine)	

تقدّر حركة الرطوبة استناداً إلى مجموع الحركتين القطرية والمماسية بالنسبة الى تغيّر في الشروط المحيطية للرطوبة النسبية من 60 إلى 90%.

عيوب الأخشاب

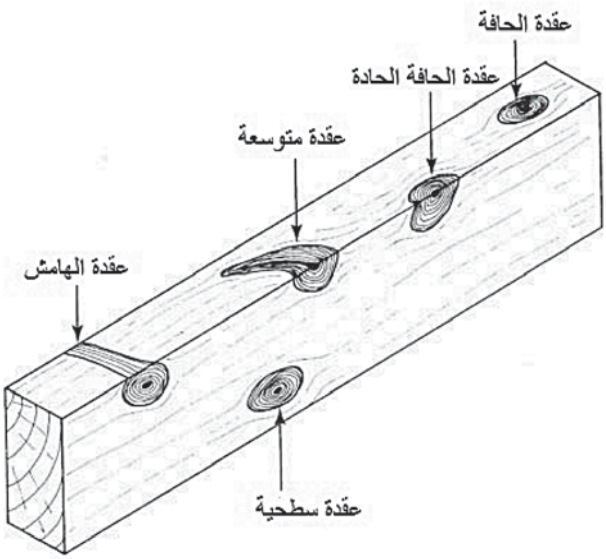
نادراً ما تخلو الأخشاب، كونها منتجاً طبيعياً، من التشوّهات أو العيوب، مع أن وجود العيوب في بعض الحالات يحسّن جودة مظهر المادة، مثل الصنوبر ذي العُقد (Knotty Pine) أو خشب السياج ذي الحّافة المتناقصة (Waney-Edge Fencing Timber) أو القشر الخشبي ذي العُقد المستديرة الصغيرة جدّاً (Burr

(Veneers). يمكن تقسيم عيوب الأخشاب إلى ثلاث فئات رئيسية، عيوب طبيعية وعيوب تحوّل وعيوب تجفيف، وذلك اعتماداً على ما إذا كانت موجودة في الشجرة الحيّة أو نشأت أثناء المعالجات اللاحقة. إضافة إلى ذلك يمكن أن يكون الخشب عرضةً للتلف نتيجة تأثير عوامل الطقس، ومهاجمة الحشرات والفطريات والحريق. ستُناقش هذه التأثيرات الأخيرة لاحقاً في هذا الفصل.

العيوب الطبيعية

العُقَد

تتشكّل العُقَد في مكان اتصال فروع الشجرة بالساق (الشكل 12.4). تنتج عُقْدة حيّة حيث تكون ألياف خشب الغصن متصلة بالساق. فإذا مات الغصن أو أصبح اللِّحاء الخارجي مندمجاً بالساق تنتج عُقدة ميتة. وهذه تكون مؤهلةً للانفكاك وتؤدي إلى تحلّل أولي وتُسبِّب ضعفاً بنيوياً.



(الشكل 12.4) العُقد (نقلاً عن Porter, B. And Rose, R. 1996: *Carpentry And* Joinery: Bench And Site Skills. Arnold).

تُوصّف العُقد على أنها عُقَد سطحية/ كعقدة وجه أو جانبية/ حافّة، أو مفلطحة (Splay)، أو هامشية أو حافة حادة/ حرف، اعتماداً على كيفية ظهورها على سطح الخشب المتحوّل. كذلك يمكن أن تظهر العُقد على شكل عنقود،

وتتراوح في قياسها من صغيرة إلى عدة ملّمترات عرضيّاً. وكثيراً ما تكون صعبة التشغيل، وتحتوي في الأخشاب الطريّة كميّات من الراتنج الذي يستمر في السّيلان خارجاً ما لم يتمّ سدّ الخشب قبل الطلاء.

المحتويات الطبيعية

يُوجد العديد من العيوب الصغيرة بدرجات متباينة في أنواع الخشب المختلفة. فقد تظهر جيوب اللِّحاء الخارجي عندما تُحاط قطع منها ضمن الخشب نتيجة لضرر مبكّر للكامبيوم [للطبقة المولّدة] أو لطبقة النمو. وكثيراً ما تُشاهد جيوب من القار وخطوط من الراتنج تحوي الراتنج السائل [الصمغ]، على طول ألياف الأخشاب الطريّة، يُحدِّد المعيار (BS EN 942: 2007) طولها في الأخشاب الصالحة للاستعمال.

أخشاب الضغط والشدّ

تُعطي الأشجار المائلة بسبب انحدار الأرض أو المعرّضة لرياح مسيطرة قوية، أخشاباً ذات ردّ فعل مُعاكس لتلك القوى. ففي الأخشاب الطّريّة، تنتج أخشاب ضغط بلون داكن بسبب محتواها الزائد من مادة الخشبين. وفي الأخشاب القاسية تنتج أخشاب الشدّ، التي تكون بلون أفتح نتيجة وجود طبقة إضافية من السيلولوز في جدران الخلايا. لكِلا النوعين من أخشاب ردّ الفعل انكماش طولي كبير غير طبيعي مما يُسبِّب تشوُّها عند التجفيف، علاوة على ذلك فإنَّ أخشاب الشدّ تميل إلى إنتاج سطح خشن عند التشغيل.

حلقات النموّ الشاذّة

إنّ عرض حلقات النمو هو مؤشر لمعدّل نمو ومقاومة الخشب، حيث يكون المعدّل المثالي خمس حلقات في السنتيمتر بالنسبة للأخشاب الطريّة، وثلاث حلقات في السنتيمتر بالنسبة للأخشاب القاسية، وذلك بحسب نوعها. تتسبَّب معدلات النمو المُفرط السريعة والبطيئة في إنتاج أخشاب أضعف، بسبب النّقص في نسبة الخشب المتأخر الأقوى، أو بسبب إنتاجه بألياف جداريّة أرق.

عيوب التحوّل

الألياف المائلة

يجب أن تكون الألياف مستقيمةً تقريباً للحصول على المقاومة العظمى

للخشب، لأنّه مع ازدياد الميل (الشكل 13.4) سيكون هناك انخفاض نسبي بمقاومة الانحناء، يتراوح عادة بين 4% عند ميل 1 في 25 و19% عند ميل 1 في 10. يضع المعيار البريطاني (BS 5756: 2007) حدّاً لميل الألياف في الأخشاب القاسية المدارية البنيوية المصنّفة بالمقاومة المرئية (HS) من 1 في 11. ويضع المعيار البريطاني (BS 4978: 2007) حدّاً لميل الألياف في الأخشاب الطريّة المصنّفة بجودة المقاومة المرئيّة يصل إلى 1 في 6 للدرجة البنيوية العامة (GS)، و1 في 10 للدرجة البنيوية الخاصة (SS). ويُحدَّد ميل الألياف في الأخشاب المستخدمة في النوافذ الداخلية والخارجية والأبواب وإطارات الأبواب بـ 1 في 10.

ميلان التجزّع X/Y

(الشكل 13.4) التجزّع المائل.

افتقار الحواف

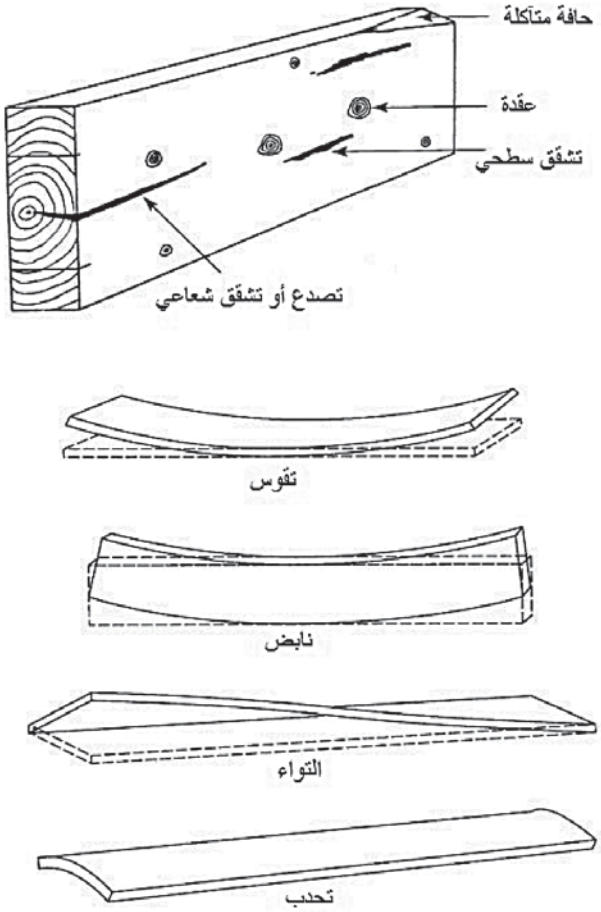
افتقار الحواف أو الزوايا للخشب هو نقصان الحافة المربعة للخشب المقطوع بسبب ادماج اللحاء الخارجي، أو بسبب السطح المنحني للساق. وتكون درجة الافتقار مقبولة في الأخشاب البنيوية والأرضيات (BS 4978:2007 و:BS 1297) 1987، وهي مِيزة خاصة في أخشاب السياج ذات الحواف الضعيفة.

عيوب التجفيف

من أكثر عيوب الخشب شيوعاً تلك المتعلِّقة بعملية التجفيف، ففي أثناء عملية التجفيف تتقلص الأخشاب بشكل مختلف في الاتجاهات الثلاثة الرئيسية، إضافةً إلى ذلك، كما هو موصوف في فقرة "حركة الرطوبة"، يجفُّ السطح الخارجي للخشب بشكل أسرع من الداخل. تُسبب هذه التأثيرات مجتمعة تشوهات في الخشب، بما فيه الالتواء وخطر تمزّق الخشب لإنتاج شقوق سطحية طولية (Checks) وانفلاقات قطرية (Splits) (الشكل 14.4).

الانفلاقات الكبيرة

يمكن أن تنتج الانفلاقات الطوليّة [الكبيرة] في الأخشاب من تحرر الإجهادات الداخلية في الشّجرة الحية عند القطع والتجفيف. ومع ذلك يمكن أن تنوجد بعض الشقوق الدّاخليّة في الأخشاب أثناء نموها. وعموماً، تكون التصدعات قطرية من الجهة الخارجية للساق، ولكن التصدّعات النجمية التي تنشأ في المركز أو اللب يمكن أن تكون مترافقة مع التحلّل الأولي. تتبع التصدعات الحلقية بشكل دائري حلقة نمو معينة، وكثيراً ما تحدث بسبب تجمد النسغ في فصول الشتاء القارس.



(الشكل 14.4) تشقُّقات الالتواء.

التصنيف حسب المظهر

حدَّد المعيار (BS EN 975) الجزء (1: 2009) والجزء (2: 2004) معايير تصنيف الأخشاب القاسية بحسب المظهر، وبخاصة البلوط والزان والحور الأوروبي على التوالي. ترتبط درجات الجودة بعدد وقياس العيوب الطبيعية وعيوب التجفيف والتحوّل الظاهرة على سطح الخشب. وعلى العموم، هناك أربع فئات للجودة موضوعة لأشكال مختلفة مثل الجذوع المقطوعة (Boules)، والألواح المفردة، والألواح المحدَّدة الحواف (Edged Boards)، والخشب المشغول. يحدِّد المعيار BS EN 1611-1:2000 خمس درجات جودة لمظهر الأخشاب الطريّة؛ الشّوح الأوروبي والتنوب والصنوبريات وتنوب دوغلاس (الكندي) والأركس وفقاً لعدد وقياس العيوب الظاهرة.

مواصفات الأخشاب

تستعمل صناعة البناء الأخشاب لأغراض متعدِّدة جداً، بدءاً من العناصر البنيوية المنشورة بشكل خشن وحتى الإكساء، والزخرفة وأشغال النجارة الممكننة بشكل كبير. يمكن أن تشمل مواصفات الخشب لكل استعمال تحديد خشب قاسٍ أو طري معيّن، عندما تكون مطلوبة خواص مرئية معيّنة. لكن، لمعظم الأغراض العامّة، حيثما تكون المقاومة والدّيمومة العاملين الرئيسيين، توّصف الأخشاب إمّا بصنف المتانة أو بالجمْع بين نوع الأخشاب ودرجة المتانة.

بالإضافة إلى صنف أو درجة المتانة، يجب أن يشمل توصيف الأخشاب البنيويّة قياسات أطوالها ومقاطعها العرضية، وإنهاء سطحها أو صنف السماح، ومحتوى الرطوبة وأيَّ معالجة وقائية أو خاصة (BRE Digest 416:1996).

درجات المتانة

درجات أو تصنيف المتانة هو قياس أو تقدير متانة الأخشاب المفردة التي تسمح باستعمال كل قطعة بكفاءتها القصوى. يمكن إجراء ذلك بصريّاً، وهي عملية بطيئة وتتطلَّب خبرة، أو من خلال الاستعانة بآلة التصنيف لاختبار جساءة الانعطاف (Flexural Rigidity). ويحدِّد المعيار الأوروبي (BS EN 14081-1: 2005) على نحوٍ واسع متطلّبات التصنيف البصري والآلي للخشب، بما فيها متطلبات الترميز (Marking). معايير التصنيف البصري للخشب القاسي والخشب الطري في المملكة المتحدة هي (BS 5756: 2007) و (BS 4978: 2007) على التوالي.

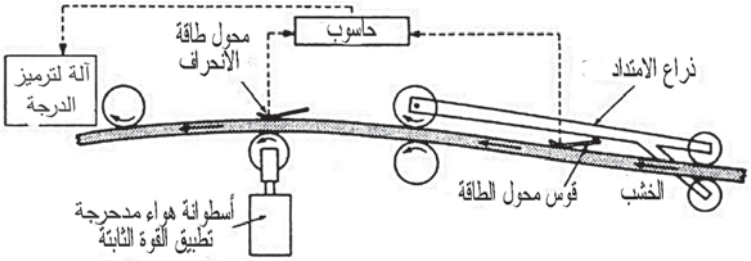
التصنيف البصري للمتانة

يجري فحص كلّ قطعة خشب على حِدة لمعرفة التشوُّهات، وقياس حلقات النمو وميل الألياف، ثم تدقيقها مقابل مجموعة الحدود المسموح بها لعدد وشدّة العيوب الطبيعية، كالعُقد وافتقار الحواف والتشقُّقات الدّقيقة. وبعد ذلك يُعطى الخشب درجته ويرمّز لذلك. يقيّم الخشب اللين كصنف إنشائي خاص (SS)، أو كصنف بنيوي عام (GS)، أو يُرفض. ويصنّف الخشب القاسي بـ (THA) أو (THB) (خشب قاس بنيوي متوسط ثقيل)، أو (TH1) أو (TH2) (خشب قاسٍ بنيوي متوسِّط عام) أو يرفض على نحو مناسب. تمتلك الأصناف الأعلى (THA) و(TH1) في كلّ فئة عيوباً أقل، كالعُقد أو مَيل الألياف. وللأخشاب القاسية المدارية درجةُ تصنيف واحدة هي (HS) (خشب قاسٍ مداريّ بنيويّ).

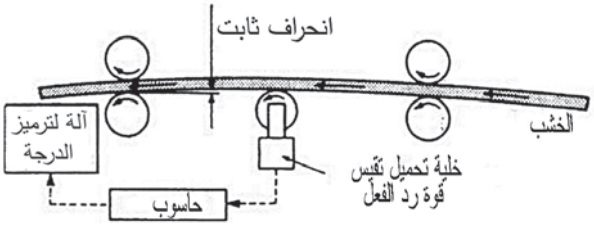
التصنيف الآلي للمتانة

تُفحص كلّ قطعة خشب يدويّاً بسرعة، بحثاً عن التشوُّهات التي يمكن أن تتسبَّب في رفضها، أو بحثاً عن أي عيوب كبيرة في الـ 500 mm من كِلا النهايتين، حيث يكون الاختبار الآلي عندها غير فاعل. ثم تُختبر عادةً، بوساطة أحد نظامي آلات التصنيف بالتماس أو الحَني. وفي كِلا التقنيتين يُنقل الخشب عبر سلسلة من المُدحرجات (الأسطوانات)، فتقيس الآلة إمّا الحمل المطلوب لإحداث إنحراف محدد أو الانحراف الناتج من حملٍ معياري. وتقيس كلا التقنيتين الجساءة التي تُربط في ما بعد بمتانة الخشب وبالتالي بمعيار التصنيف.

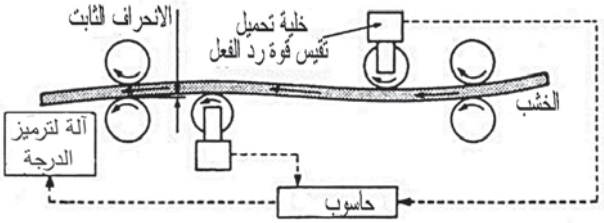
يبيّن الشكل 15.4 آلات التصنيف الثلاث المستعملة في المملكة المتحدة. في آلة الانحراف الثابت، يتمُّ تحريك الخشب عبر سلسلة من المدحرجات التي تضغط عليه بحزم مقابلَ صفيحة معدنيّة مقوّسة. وتُحدّد القوّة اللازمة لحَني الخشب إلى هذا الانحراف المعياري بوسطة سلسلة من محوِّلات الطاقة (Transducers)، ومن هذه البيانات تُحسب متانة الخشب. لكن يجب أن يُمرّر الخشب ثانيةً عبر هذه الآلة للتخلُّص من تأثيرات التقوّس. يُطبِّق نظام الحمْل الثابت حملاً جانبياً محدَّداً، تِبعاً لسماكة العيّنة، ويشير الانحراف الناتج، مع الضبط الآلي للتقوّس، إلى صنف الخشب. ثمَّة نظام أكثر تعقيداً يقيس القوى الضرورية لحَني الخشب على شكل S بانحرافين ثابتين، محيّداً بالتالي أثر أيّ تقوّس طبيعي في المادة.



مكنة الانحراف الثابت المحوسبة لتحديد درجة المتانة
The MPC Computermatic grading machine



مكنة الانحراف الثابت لتحديد درجة المتانة طراز كوك-بولندر
The MPC Cook-Boilinder grading machine



مكنة راوت تيمغرادر لتحديد درجة المتانة
The Raute Timgrader grading machine

بطاقة شهادة الخشب التقليدية

(**الشكل 15.4**) مكينات تحديد درجة متانة الخشب وشهادة الترميز (Grading Machine Diagram)
(Reproduced From Digest 476 by permission of BRE).

ما إنْ يغادر الخشب الآلة حتى يرمّز بالرقم المعياري، وصنف المتانة، ويُرمَّز أيضاً بحرف M لتحديد صنفه بالآلة، مع معلومات أخرى تحدّد نوعه وحالة التدرّج لرطوبته/ جفافه واسم المُنتِج والجهة المانحة للشهادة. تُرمّز الأنواع المفردة للأخشاب بحروف أربعة وفقاً للمعيار (BS EN 13556: 2003) (مثلاً: صنوبر اسكوتلندي ـ Pinus sylvestris PNSY). أمّا تراكيب الأنواع فلها أربعة حروف تبدأ بحرف W (مثال: شوح بريطاني ـ WPCS Picea Sitchensis and Picea Abies). يمكن أن يُلوّن الخشب المُخصَّص للعوارض المائلة الجملونيّة (Trussed Rafters) وفقاً لدرجة متانته. يبيّن الجدول 5.4 أصناف الآلات ورموز ألوان الصباغ المرافقة.

تشمل التقنيات غير التماسيّة الحديثة لتصنيف المتانة الأشعةَ السينية، وأنظمةَ موجات الجُهد (Stress Wave Systems). وتقدِّر آلات الأشعة السينية كثافة الخشب التي تُربط عندها بالمتانة. أمّا تقنيات موجات الإجهاد فتقيس إمّا سرعة مرور موجات الضغط خلال الخشب أو تردُّدها الطبيعي الناتج من صدمة خفيفة وتربط ذلك بالمتانة. وتُقدِّم كلا التقنيتين الإمكانيّة لإنجاز أسرع من أنظمة تصنيف المتانة بالتماس التقليدي، مع أنّها حساسة لمحتوى الخشب من الرطوبة. تجمع بعض آلات التصنيف بين تقنيات الحَني الفيزيائي واستعمال الأشعة السينية أو أنظمة الموجات المكرويّة لتحرّي العيوب الطبيعية كالعُقد أو ميل الألياف على التوالي.

جدول 5.4 أصناف المتانة ورموز الألوان المرافقة لتحديد الصنف آلياً

صنف المقاومة	رمز اللون
C 27	أحمر
C 24	أرجواني
C 22	أزرق
C 16	أخضر

أصناف المتانة

تُحدَّد صنوف المتانة وفق المعيار (BS EN 338: 2003) (الجدول 6.4) بحيث تبدأ من (C14) وحتى (C50) ومن (D18) وحتى (D70K)، حيث تدلُّ السابقة C على الخشب الليّن (المخروطيات أو الصنوبريات) والحرف D على الخشب الصَّلب (الأشجار المتساقطة الأوراق (Deciduous)). أمّا الرقم فيدلُّ على مواصفات قوّة

التقوّس مقدرةّ بـميغا باسكال MPa. ويُقدِّم التوصيف الكامل لصنوف المتانة قيماً مميزة للكثافة، ومجالاً واسعاً من خصائص القوة والجساءة، وتعتمد كلُّها على قيم فحص العيّنات. لا تراعي المعطيات أيّاً من عوامل السلامة التي يجب أن تدخل في عملية التصميم. وفي ما يخصُّ عوارض جملونات التدعيم فإن الدرجتين TR20 وTR26 المحدّدتين في التصنيف البريطاني (BRE Digest 445: 2000) قابلتان للتطبيق.

يبيّن الجدول 7.4 أنواع الخشب الليّن وتراكُب درجات متانتها وعلاقتها بصنوف متانة الخشب الليّن المصنفة درجاتُه بالنظر والمكنة.

صنف الاستخدام

يحدِّد صنف الاستخدام الشروط التي سوف يستعمل فيها الخشب وبالتالي محتوى الرطوبة المتوقّع. هناك ثلاث فئات محدَّدة في الكود الأوروبي 5: تصميم الهياكل الخشبية: الجزء 1 ـ 1: (Eurocode 5: Design of timber struc-tures: Part 1-1: (BS EN 1995-1-1: 2004). يجب أن يكون الخشب المُراد استعماله في صنفي الاستخدام 1 و2 محميّاً بشكل مناسب من عوامل الطقس عندما يكون في الموقع.

أصناف استخدام الخشب الموجود في الاستعمال:

صنف الاستخدام 1	خشب بمحتوى رطوبة مقابل لدرجة حرارة جوّ محيطة 20 °C ورطوبة نسبيّة للهواء المحيط لا تتجاوز 65% إلا لبضعة أسابيع فقط في السنة. لا يتجاوز محتوى الرطوبة الوسطي 12% (على سبيل المثال: الجدران الداخلية، الطوابق الدّاخلية باستثناء الطابق الأرضي، والسقوف الدافئة)
صنف الاستخدام 2	خشب بمحتوى رطوبة مقابل لدرجة حرارة جوّ محيطة 20 °C، ورطوبة نسبيّة للهواء المحيط لا تتجاوز 85% إلا لبضعة أسابيع في السنة. لا يتجاوز محتوى الرطوبة الوسطي 20% (على سبيل المثال: الطوابق الأرضية، الطبقة الداخلية للجدران ذات الفجوة، وجدران بطبقة وحيدة مع إكساء خارجي)
صنف الاستخدام 3	خشب معرّض لشروط تؤدي إلى محتوى رطوبة أعلى من صنف الاستثمار 2. محتوى الرطوبة الوسطي 20% وأعلى (مثلاً: الأجزاء المكشوفة من المباني والهياكل البحريّة).

الجدول 6.4 العلاقة بين أصناف المتانة والخواص الفيزيائية

أصناف المتانة بحسب (BS EN 338: 2003) ـ القيم المميزة ـ أنواع الخشب الطريّ												
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
خصائص المتانة MPa												
التقوّس	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
خصائص الصلابة GPa												
مُعامل المرونة الوسطي الموازي للألياف	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
وسطي الكثافة kg/m^3	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

أصناف المقاومة بحسب (BS EN 338: 2003) ـ القيم المميّزة ـ أنواع الخشب القاسي							
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
خصائص المتانة MPa								
التقوّس	18	24	30	35	40	50	60	70
خصائص الصلابة GPa								
مُعامل المرونة الوسطي الموازي للألياف	10	11	12	12	13	14	17	20
وسطي الكثافة $kg./m^3$	610	630	640	650	660	750	840	1080

أصناف المتانة بحسب (BS 5268-2: 2002) ـ إجهادات التصنيف لكود التصميم بالإجهادات المسموحة														
	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70
خصائص المتانة MPa															
تقوّس مواز للألياف	4.1	5.3	5.8	6.8	7.5	9.5	11	12	13	9	11	12.5	16	18	23
خصائص الصلابة GPa															
مُعامل المرونة الأدنى الموازي للألياف	4.6	5.8	6.0	6.5	7.2	8.2	8.2	9.0	10.0	6.0	6.5	7.5	12.6	15.6	18.0

ملاحظات:

تمّ إضافة أصناف متانة إضافية لأنواع الخشب القاسي D18 و D24 في المعيار (pr EN 338: 2008).

قد لا يتوفر بسهولة صنفا الخشب C45 و C50.

الحرف C يدل على الخشب الطريّ الدائم الخضرة والحرف D يدلّ على الخشب الصلب المتساقط الأوراق.

الجدول 7.4 أنواع الخشب الطريّ/ تراكيب الأصناف التي توافق متطلبات أصناف المتانة حسب المعيارين (BS (EN 338: 2003 و(BS 5268 Part 2: 2002) كما هي مجدولة في الكود الأوروبي 5 الجزء 1:1

النوع	المصدر	أصناف المتانة في المعيار الأوروبي (BS EN 338: 2003)							
		معيار التصنيف	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30
الأخشاب الطريّة المزروعة في بريطانيا									
تنوب دوغلاس (الكندي)	المملكة المتحدة	BS EN 519 BS 4978	√ GS	√	√ GS	√	√		
صنوبر	المملكة المتحدة	BS EN 519 BS 4978	√ GS	√	√	√ GS	√	√	
بيسية (شوح)	المملكة المتحدة	BS EN 519 BS 4978	√	√	√ GS	√	√		
الأركس (أرزيّة)	المملكة المتحدة	BS EN 519 BS 4978	√	√ GS	√	√	√ GS	√	
الأخشاب الطرية المستوردة إلى المملكة المتحدة									
خشب أحمر	أوروبا	BS EN 519 BS 4978	√	√ GS	√	√	√ GS	√	√
خشب أبيض	أوروبا	BS EN 519 BS 4978	√	√ GS	√	√	√ GS	√	√
بيسية (شوح) سيتكا	كندا	BS 4978 US/Can	GS 1.2		SS Sel				
هيم ـ تنوب بيسية(شوح) ـ صنوبر ـ تنوب تنوب دوغلاس ـ الأركس	كندا والولايات المتحدة	BS EN 519 BS 4978 US/Can	√	√ GS 1.2	√	√	√ SS Sel	√	√
صنوبر جنوبي	الولايات المتحدة	BS EN 519 BS 4978 US/Can	√	√ 3	√ GS	√ 1.2	√ SS	√	√
أخشاب بيضاء غربيّة	الولايات المتحدة	BS 4978 US/Can	GS 1.2		SS Sel				
صنوبر منقعي (بيتش)	الكاريبي	BS 4978		GS	SS				
صنوبر بارانا		BS 4978		GS				SS	
صنوبر راديانا	نيوزيلندا وتشيلي	BS EN 519	√	√	√	√	√	√	√

صنوبر زيمبابوي	زيمبابوي	BS EN 519	√	√	√	√	√	√	√	√
صنوبر جنوب أفريقيا	جنوب أفريقيا	BS EN 519	√	√	√	√	√	√	√	√
أرز أحمر غربي		BS 4978	GS	SS						

ملاحظات:

التصنيف: (BS EN 519) يدلُّ على تصنيف بالآلة، أمّا (BS 4978) فيدلُّ على التصنيف بالنظر.

العلامة ز تدلّ على توفّر أنواع الخشب المصنّفة بالآلة للصنف المشار إليه.

الحروف GS وSS هي أصناف بالنظر بنيوية عامة وبنيوية خاصّة على التوالي.

الحروف US/ CAN تشير إلى معايير التصنيف الأميركي والكندي للألواح الخشبيّة بالنظر.

الدرجات 1 و2 و3 وSel الكندية والأميركية تدل عُلى رقم 1 ورقم 2 ورقم 3 والمنتقى على التوالي.

المعيار (BS EN 519: 1995) حلَّ محله اليوم المعيار (BS EN 14081 - Parts 1 - 3: 2005).

التصميم وفق حالات الحدود

يمثّل الكود الأوروبي (Eurocode 5) تغيُّراً ملحوظاً للمصمِّمين في الخشب والمنتجات الخشبية، كونه يعتمد على **التصميم وفق حالات الحدود**، بدلاً من **الإجهاد المسموح**. وهذا يضع الخشب على خطّ الفولاذ والخرسانة اللذين قد تمَّ الأخذ بهذا المنحى فيهما سابقاً. هناك على العموم حالتان حديّتان يجب أخذهما في الحسبان: **أولاهما الحالة الحديّة القصوى** التي بتجاوزها يمكن أن تفشل أجزاء من البُنية أو تنهار، **وثانيتهما حالة حدّ الصيانة** (Serviceability Limit State) التي بتجاوزها قد يجعل التشوّه أو الانحراف أو الاهتزاز الزائد البنية غير صالحة لما هي غرض له. تُحدّد الحالات الحدّيّة القصوى من **القيم المميّزة للأحمال** أو الأفعال وخواص المواد التي تطبّق عليها عوامل الأمان الجزئية. عموماً، تكون القيم المميزة لخواص المواد في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 338: 2003) أعلى من نظائرها في المِعيار البريطاني (BS 5268-2: 2002 Grade Stresses) (إجهادات التصنيف)، كونها مأخوذة من اختبارات مخبرية من دون تخفيضات التحميل الطويل الأمد أو عوامل الأمان التي تصبح مسؤولية المصمم. تستعمل القيم المميزة في تصميم الحالة الحدّيّة (الكود الأوروبي 5)، وتُطبّق إجهادات

التصنيف على المعيار البريطاني (BS 5268-2: 2002) (كود التصميم بالإجهادات المسموحة).

الخشب المعدّل

يمكن تغيير الخواص الفيزيائية للخشب بشكل كبير، إمّا بالمعالجة الحراريّة لإنتاج خشب معدّل حرارياً، أو المعالجة بمركّب كيميائي لإنتاج تعديلات كيميائيّة.

الخشب المعدّل حرارياً

يشمل التعديل الحراري تسخين الخشب، عادةً الصنوبر أو البيسية، وأيضاً الأخشاب القاسية مثل الزان والقيقب والبتولا والسنديان والدردار، إلى درجة حرارة تتراوح بين 180 °C و 250 °C في جوٍّ خاملٍ (Inert Atmosphere) لمنع الاحتراق. تستعمل العمليات الصناعية المختلفة التخليةَ (جوّ من البخار أو النيتروجين أو حمّام بالزيت الحار)، بعملية تستغرق نحو 36 ساعة. إذ تنتج العملية الفنلندية عند درجة حرارة 190 °C، من الصنوبر والبيسية، **الخشب الحراري** (Thermowood S) وفقاً لصنف الدّيمومة 3، أو عند درجة حرارة 212 °C **الخشب الحراري** (Thermowood D) وفقاً لصنف الدّيمومة 2 (المكافئ للسنديان الأوروبي). ويكون المنتج أكثر ديمومةً وأكثر مقاومةً لهجوم النمل الأبيض من الخشب غير المعالج. وهذا الخشب هو الأقل امتصاصاً للماء، مما ينتج حركة رطوبة أقل، وله عزل حراري محسن، وتُزال الراتنجات من عقده. وهو أشدُّ قتامة من حيث اللون، ويمتلك متانة مخفّضة بالنسبة للانفلاق الطولي. في عمليّة تجاريّة بديلة تستعمل درجات حرارة بين 150 °C و 180 °C بدورات ترطيب وتجفيف وتسخين لعدة أيّام، يتمُّ إنتاج أخشاب طريّة وقاسية عالية الدّيمومة لكنّها بنيّة اللّون. تمّ وصف الخشب المعدّل حرارياً في وثيقة المعايير البريطانية (DD CEN/TS 15679:2007). حيث يُراد استعمال الخشب المعدّل حرارياً لأغراض بنيويّة، يجب الأخذ بالحسبان النقص الحاصل في متانة المادة. يُستورد حالياً خشب الفريك (Frake) أو الإهليلج (Terminalia superba) (limba)، وهو خشب لا يتمتّع بالدّيمومة من غرب أفريقيا، ويُعالج حرارياً لينتج منه خشب قاسٍ يتمتّع بالدّيمومة. وقد تمّ إكساء مركز تربية النّحل في كامبردج (Cambridge) (الشكل 16.4) بخشب معدّل حرارياً.

أصناف الخشب المعدّل حرارياً

الصنوف	الاستعمالات النموذجية
الأخشاب الطريّة	
الصنف D (212°C)	هياكل الحدائق، الإكساء الخارجي، الأبواب الخارجية، إطارات النوافذ، السّطوح غير المسقوفة، الأرضيات الداخلية، التزيينات الداخلية.
الصنف S (190°C)	مواد التشييد، العناصر البنيوية، أثاث الحدائق، الأرضيات الداخلية، الأبواب الخارجية وإطارات النوافذ.
الأخشاب القاسية	
الصنف D (212°C)	أثاث الحدائق، أرضيات الفناءات، الأرضيات الداخلية والتزيينات الدخلية.
الصنف S (190°C)	مواد التشييد للقوالب، القطع الخشبية للقوالب، الأثاث، الأرضيات الداخلية، التزيينات الداخلية.

الخشب المعدّل كيميائيّاً

يشمل التعديل الكيميائي للخشب أستلة (Acetylation) الخشب بإضافة مجموعات الأستيل إلى مجموعات الهيدروكسيل الحرّ داخل جزيئات السيلولوز الكبيرة. تنطوي العملية على معالجة الخشب بأنهيدريد الخلّات (Acetic Anhydride)، الذي يتغلغل في كامل سماكة المادة. الخشب المعدّل (أكويا (Accoya))، الذي هو بعدد مخفّض لمجموعات الهيدروكسيل الحرّ لديه قابلية امتصاص للماء مخفّضة بشكلٍ كبير، وبالتالي يكون له استقرار أكبر في أبعاده. بالنسبة لخشب كالصنوبر الحراجي يمكن الوصول إلى محتوى رطوبة أعظمي يساوي 6% تقريباً، من دون تغيُّر في لونه، ويكون الناتج خشباً ذا ديمومة من الصنف 1. لا تؤثر عملية الأستلة في الخواص الفيزيائية للخشب، غير أن الديمومة الزائدة بشكل كبير إزاء التدهور البيولوجي تجعله أقل عرضةً لهجوم النّمل الأبيض.

(الشكل 16.4) إكساء بالخشب المعالج حرارياً (Thermally Modified Timber Cladding) ـ مركز خلية النحل، كامبردج (The Beehive Centre, Cambridge. Photographs: Arthur Lyons).

المنشآت ذات الإطارات الخشبية

الشكلان المعياريان للمباني ذات الأطر الخشبية هما إطار المنطاد وإطار المنصّة. والأخيرة هي طريقة التشييد الحديثة (MMC) الأكثر شيوعاً في المملكة المتحدة. في ما يخصُّ المنازل من طابقين يشيّد إطار المنطاد بألواح بارتفاع طابقين، مع أرضية بينيّة تستند إلى الهيكل. أما في إطار المنصة فتشيّد الألواح بارتفاع طابق واحد، حيث تكون المناورة هنا أسهل، وتستند الأرضية البينيّة بشكل مباشر إلى ألواح الطابق السفلي. تشيّد الألواح عادة من خشب طري بأبعاد 100x50 mm، مغلّفة بالخشب المُعاكس أو خشب، ويُملأ الفراغ بين الخوابير بعازل مع إنهاء داخلي من ألواح الطّينة. أمّا العزل الخارجي اللاّحق من عوامل الطقس، فيمكن أن يكون من أشغال الآجُرّ أو أشغال البلوك والطّينة بحسب الحاجة.

التشييد القشري الشبكي

يبيّن متحف الحرش والأرض المنخفضة المكشوف (The Weald and Downland Open Air Museum) في سسكس (Sussex) (الشكل 17.4) مقاربة جديدة للتشييد الخشبي تجمع بين تقانات الحوسبة الحديثة والمهارة المهنية

التقليدية. فالمبنى الكبير الشبيه بالحضيرة، (بطول 50 m وعرض 12 m وبارتفاع 10 م)، تمّ تشكيله من شبكة مزدوجة الطبقة من شرائح طويلة من السنديان الأخضر، قياس كل منها 35x 50 mm x 40 m، ويبعد مركز كلٌّ شريحة عن مركز الأخرى مسافة 1 m، مما يشكل غلافاً متموِّجاً من الجدران المحنيّة فيؤلِّف ثلاث قباب. إن التقوّس المتواصل للجدران والسقف ضروري للمتانة البنيوية.

(الشكل 17.4) بناء قشري شبكي ـ متحف ويلد وداونلند المكشوف (*Architects*: Edward Cullinan Architects.Photographs: Courtesy of Edward Cullinan Architects).

استُعمل السنديان الأخضر المنشور حديثاً لكونه ليّناً وسهل التشكيل. في البداية ثُبِّت السنديان داخل شبكة مسطّحة ببراغ من الفولاذ غير القابل للصدأ. بعد ذلك أُزيلت السقالات الداعمة بالتدريج، سامحةً للبنية بأخذ شكلها التصميمي، الذي ثبت في النهاية حول المحيط. وما إن تمّ الوصول إلى الشّكل الصحيح، حتى تمّ تثبيت الأبعاد الهندسية لضمان استقراره في وجه الرياح وأحمال الثلوج. لم تحتج البنية إلى أيّة دعامات داخلية، كان يمكن أن تمنع الاستعمال الحرّ للفراغ الداخلي. زجّجت البنية بمناور (Clerestroy) من ألواح البوليكربونات، وكُسيت بألواح شاقولية من خشب الأرز الأحمر الغربي. استعمل التشييد القشري الشبكي سابقاً في ألمانيا واليابان، لكنّ متحف الحرش والأرض المنخفضة، الذي شيّده معماريو شركة إدوارد كولينان (Edward Cullinan)، هو الأوّل من نوعه في المملكة المتحدة. والمبنى الأحدث منه من التشييد القشري الشبكي هو مبنى سافيل (Savill Building) في منتزه وندسور الكبير من عمل معماريي شركة غلين هاولز (Glenn Howells Architects) (الشكل 18.4)، وهو مشيّد من خشب الأركس المحليّ ومكسوّ خارجيّاً بالسنديان الأخضر.

(الشكل 18.4) مبنى سافيل في منتزه وندسور الكبير (Architects: Glenn Howells Architects. Photograph: Warwick Sweeney/The Royal Landscape).

الأوتاد والأساسات الخشبية

استعملت الأساسات الوتدية الخشبية منذ قرون عديدة، ولها سجّل جيّد من الديمومة. فمدينة البندقية مشيّدة في معظمها على أوتاد خشبية، وما زال استعمالها كنظام تشييد بديل معمولاً به حالياً، في أميركا الشمالية، في أساسات الجسور وغيرها من المباني المهمة. يقدِّم استعمال الأساسات الوتدية الخشبية، في شروط الأرض المناسبة، بديلاً اقتصادياً عن الخرسانة، مع ميزة بيئية بإيجاد مدفن للكربون، ممّا يخفِّف الاحتباس الحراري العالمي.

تاريخياً، استعمل طيفٌ من الأخشاب الطّريّة والأخشاب القاسية كأوتاد خشبية، لكن في المملكة المتحدة يعدّ تنوب دوغلاس (الكندي) بمقطع عرضي مربّع حتى 500 mm وبطول 12 ـ 15 m، مادّة قياسية وفقاً للمعيار البريطاني (BS 8004: 1986). ثمة أخشاب أخرى مناسبة تمّت معالجتها: الصنوبر البري (الاسكوتلندي) أو اللاركس (الأرزية)، والسنديان في التربة المشبعة غير الملحيّة، والدردار والزان والجميّز (السيكامور) (Sycamore). يكون الخشب غير المعالج محصناً افتراضيّاً من التفسُّخ تحت مستوى المياه الجوفية لكنه عرضة لخطر التحلُّل البيولوجي فوق هذا المستوى. لهذا من المناسب معالجة الخشب بمواد حافظة إذا كان سيُستعمل فوق مستوى المياه الجوفية. يجب أن تخدم الأوتاد الخشبية المعالجة بمواد حافظة والمنتهية تحت مستوى الأرض والمتوّجة بقبعة خرسانية مدة مائة عام.

الخشب المُستدير

يمكن أن تستعمل نواتج تشذيب الغابات، التي هي أصغر من أن تُحوّل إلى مقاطع قياسيّة مستطيلة من أجل البناء، مباشرةً في أشكال معيّنة من التقانة المنخفضة للبناء. في الوقت الحاضر، يُستعمل الكثير من هذه المادة لإنتاج الورق أو ألواح نشارة الخشب أو تحرق وقوداً.

تمتاز هذه المادة بكونها مصدراً متجدِّداً ذا دورة إنتاج قصيرة نسبياً، مع احتجاز سريع لثاني أوكسيد الكربون. أعمدة الخشب مُستدقة طبيعياً، لكن التأثيرات في الخواص الميكانيكية للعيوب، مثل العُقد وميل الألياف، التي تكون كبيرة في الخشب المحوّل يتمُّ التخلّص منها عمليّاً. كذلك، باعتبار التشغيل الآلي المطلوب قليلاً، فإنَّ تكاليف الطّاقة واليد العاملة ستكون منخفضة.

إنَّ الأشجار النحيلة حتى قطر 200 mm متوافرة عموماً، غير أن عمليات

التشييد النموذجية الصغيرة تتطلّب مجالاً من الأعمدة بين 50 و150 mm بطول يراوح بين 3 m و15 m. يوضح الشكل 19.4 بناء تجريبياً في منتزه هوك استُعمل في تشييده أعمدة من خشب البيسية النروجي.

(الشكل 19.4) بناء من أعمدة الخشب ـ منتزه هوك، دورست - لودج (Edward Cullinan Architects and Buro Happold)، والعمل الداخلي (Frei Otto, Ahrends Burton and Koralek and Buro Happold). المصوّرون: (Courtesy of Allan Glennie).

الأصناف البُعديّة للخشب المُستدير

تصف مسوّدة المعيار (pr EN 1315-1: 2008) تسعة أصناف بعديّة لكلٍّ من الخشب المُستدير القاسي والطري (D0-D8)، مقيسة عند القطر الأوسط للخشب، وتتراوح من أصغر من 10 mm إلى 80 cm أو أكبر، أما المعيار الحالي بجزأيه الأول والثاني (BS EN 1315 Part 1: 1997 and Part 2: 1997) فيُحدِّد صنوف الخشب الطري المُستدير والخشب القاسي المستدير على التوالي.

التصنيف النوعي للخشب المُستدير

يمكن أن تُصنّف الأخشاب المُستديرة في أربعة أصناف نوعيّة، والتي يجب أن تدوّن مع أنواعها. يعتمد هذا التصنيف على مدى العيوب الطبيعية وعلى أي تدهوُر ناجم عن هجوم الفطريّات أو الحشرات. يشتمل المعيار البريطاني الأوروبي بأجزائه الثلاثة (BS EN 1927 Parts 1-3: 2008) على قائمة بهذه المعايير في ما يخصُّ أنواع البيسية والتنوب والصنوبر والأركس وتنوب دوغلاس على التوالي. أمّا التصنيفات النوعية للسنديان والزان، والحور والمرّان، والقيقب والجمّيز، فمذكورة في المعيار البريطاني اللأوروبي بأجزائه الثلاثة (BS EN 1316 Parts 1 and 2: 1997 and Part 3: 1998) على التوالي. فعلى سبيل المثال: الرمز (QA) يشير إلى درجة الجودة الأعلى للسنديان، والرمز FrB يشير إلى الجودة العادية للمران.

صنف الجودة A	خشب بجودة أولى، بعيوب قليلة فقط.
صنف الجودة B	جودة متوسطة إلى أولى بعُقد نموذجية للأنواع.
صنف الجودة C	جودة متوسطة إلى منخفضة لكن من دون نقصان كبير في خصائص الخشب.
صنف الجودة D	خشب يمكن نشره إلى خشب قابل للاستعمال.

الإكساء بالخشب الطريّ

ظلّ خشب الأرز الأحمر الغربي لمدة طويلة مفضلاً للإكساء الخشبي الخارجي، لديمومته ولونه الدافئ. لكن مؤخّراً، ازدادت شعبية الأركس وتنوب دوغلاس كأخشاب طريّة للإكساء، كون التركيز الأكبر قد انصب على استعمال مصادر متجدِّدة من الغابات المستدامة. سوف تتوافر كميات كبيرة من هذه المواد، التي تصنَّف على أنها ذات ديمومة متوسطة إزاء التفسّخ، كون الجذوع النامية وصلت إلى مرحلة النضج. فكلٌّ من الأركس وتنوب دوغلاس أكثر مقاومة لضرر

الصدم من خشب الأرز الأحمر الغربي، وينبغي أن لا يحتاجا إلى معالجة حافظةٍ إضافية عند استعمالهما لأغراض الإكساء الخارجي. استعملت هذه الأخشاب بنجاح، في مباني المدارس والمراكز الصحية، سواء في الإكساء الخارجي الشاقولي أو الأفقي. وبما أن الأخشاب حامضيّة، يجب أن تكون جميع المثبِّتات من مواد مقاومة للتآكل، كذلك يمكن توقُّع سيلان الراتنجات التي ستخترق أيّة إنهاءات سطحية مطبّقة.

أشغال الأرضيات من الخشب القاسي

لأشغال الأرضيات من الخشب القاسي سجلٌّ جيّد التوثيق للديمومة والأثر الجمالي. يتوفر تجارياً من الخشب المُصْمت وصفائح الخشب المعاكس مع طبقة تغطية من الخشب القاسي بسماكة 4 mm. الأخشاب المعيارية هنا هي السنديان الأوروبي والزان والبتولا والمران والكستناء والجوز والقيقب، لكن، إضافة إلى ذلك، تتوّفر بعض الأخشاب المعيارية المستوردة بألوان ألياف أكثر قتامة، ويتمُّ إحداث تأثيرات مثيرة بالخيزران. كثيراً ما تتوفّر الأخشاب بأقل عدد من العُقد مع ألياف منتظمة أو بشكلها الفج مع العُقد وبألوان كثيرة متنوعة. تُنهى الصفائح عادةً قبل استعمالها، أما الخشب المُصْمت فيمكن أن تُسدّ مسامه بالزيت أو اللكر لحمايته بعد تركيبه في الموقع.

خشب المنجور

يطلق مصطلح "المنجور" (Joinery) على تجميع الخشب المشغول ومنتجات ألواح الخشب، باستعمال الخشب الذي تمّت تسويته وتنعيمه وصولاً إلى إنهاء أملس. وعلى العكس، يشير مصطلح "النجارة" (Carpentry) إلى تجميع الهيكل البنيوي لأي مبنى، عادةً باستعمال الخشب المنشور الخشن. وتتطلّب أشغال المنجور، بما فيها إنتاج النوافذ والأبواب والأدراج والأثاث المناسب واللوحات والقطع المعمارية التزيينية، خشباً ثابت الأبعاد ذا ديمومة وخواصّ قابلة للتغرية، ويمكن معالجته جيّداً بالآلات وصولاً إلى إنهاء جيّد. يصنّف خشب المنجور في سبعة أصناف جودة (الجدول 8.4) وفقاً لعدد وقياس العيوب الطبيعية، ولا سيّما العُقد. تقسم هذه الأصناف إلى فئتين من السطوح، ظاهرة ومخفية، وذلك وفقاً لما إذا كان الخشب ظاهراً عند الاستعمال. (يضع المعياران BRE Digest 407: 1995) BS EN 942: 2007، قائمةً ببعض الأخشاب الطريّة والأخشاب القاسية المناسبة

للمنجور). هذا، ويجب ألا توّصف أشغال أرضيات الخشب الطريّ وألواح الإكساء والألواح المشكّلة المقطع كمنجور.

الجدول 8.4 أصناف الخشب المستعمل
في المنجور القياسات العظمى للعُقد (BS EN 942: 2007)

الصنف	الأسطح الظاهرة							الأسطح المخفية
	J2	J5	J10	J20	J30	J40	J50	
قياس العُقد الأعظمي (mm)	2	5	10	20	30	40	50	جميع هذه العُقد مسموح بها
النسبة المئوية القصوى لعرض القطعة المنهية (%)	10	20	30	30	30	40	50	

يشير المعيار كذلك إلى حلزونية وميل الألياف والتشقُّقات والانفلاقات الكبيرة وجيوب الراتنج واللِّحاء الخارجي وخشب النسغ الفاقد اللون واللب المكشوف وضرر خنفساء أمبروزيا.

تدهور الخشب

إنَّ العوامل الرئيسة التي تسبِّب تدهور الخشب في المباني هي التجوية والفطريّات والحشرات والحريق. تُحدَّد الديمومة الطبيعية للخشب في خمس فئات بناء على مقاومة خشب القلب (Heartwood) للفطريات المفسّخة للخشب.

الديمومةالطبيعية للخشب:

الصنف 1 يتمتّع بديمومة عالية

الصنف 2 يتمتّع بالدّيمومة

الصنف 3 له دّيمومة متوسطة

الصنف 4 له ديمومة قليلة

الصنف 5 غير دائم (سريع التحلّل)

التجوية

لدى التعرّض المديد لضوء الشمس والرياح والمطر، يفقد الخشب الخارجي ألوانه الطبيعية تدريجياً ويصبح لونه رمادياً. يفكك ضوء الشمس والأوكسجين بعض

السيلولوز والخشبين إلى مواد قابلة للذوبان في الماء والتي ترشح عن السطح مخلّفة إيّاه رمادي اللون متبدل الطبيعة. إنّ حركة الرطوبة المُترافقة مع دورات الترطيب والتجفيف ترفع ألياف السطح محدثةً انفلاقات طولية وشقوقاً في السطح وتزيد خطر التدهور اللاحق بالفطريات. شريطة بقاء تأثير التجوية سطحياً، يمكن استعادة المظهر الأصلي للخشب بإزالة السطح المتغير.

هجوم الفطريّات

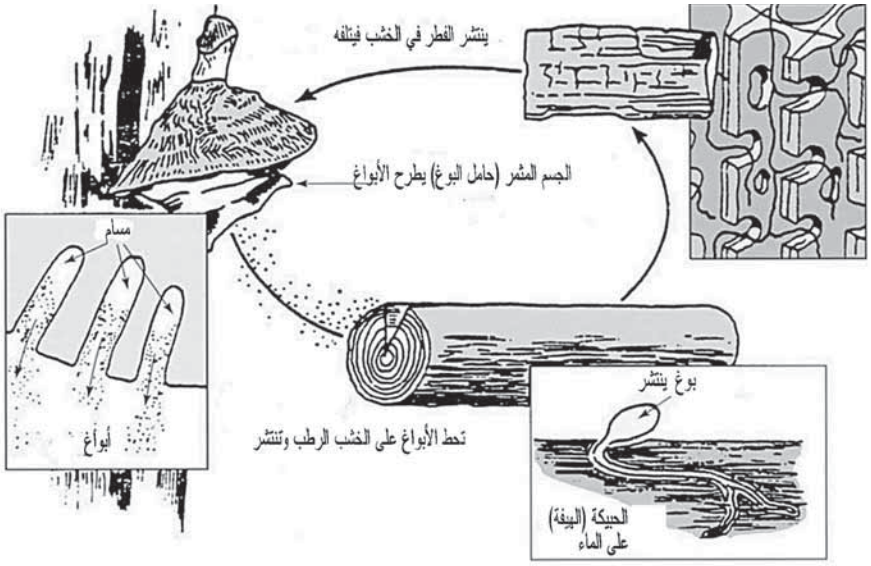
الفطريات هي نباتات بسيطة، على عكس النباتات الخضراء، لا يمكنها تركيب اليخضور (الكلوروفيل) (Chlorophyl)، لذلك تضطر إلى الحصول على غذائها من طريق استقلاب المواد العضويّة وتفكيكها إلى أشكال قابلة للذوبان من أجل امتصاصها في نظامها الخاص. تحتاج الفطريات كي تنمو إلى أوكسجين وإلى إمداد بالغذاء والماء، ويلزمها محتوى رطوبة في الخشب لا يقل عن 20% كي تنمو. أما درجة الحرارة المثالية لنمو الفطريات فتختلف بحسب أنواعها المتعددة، لكنها تتراوح عادة بين 20 °C و 30 °C. قد يحدث نمو طفيف في درجة حرارة أقل من 5 °C، وتموت الفطريات بالتسخين المديد حتّى درجة حرارة 40 °C. كما أن بعض الأخشاب، وخاصة خشب القلب لبعض أنواع الخشب القاسي يكون مقاوماً للهجوم لأنَّ مكوّناته الثانوية أوعصاراته (Extractives) مسممة للفطريات.

لكلِّ أنواع الفطريات دورة حياة متشابهة (الشكل 20.4)، تبدأ من الأبواغ المجهرية (Microscopic Spores) التي تكون دائماً موجودة في الهواء بكميات كبيرة. وفي ظلِّ شروط مناسبة تنتشر (Germinate) الأبواغ في الشقوق السّطحيّة للخشب، وتنتج شعيرات ناعمة، أو بنية لييفيّة دقيقة متشابكة الأغصان (حُبَيكات) (هيفات (Hyphae))، تتغذّى على سيلولوز الخشب. تتفرّع الشعيرات الدقيقة وتنمو داخل خلايا الخشب، وتتغذّى على كلٍّ من جدرانها ومحتوياتها. ومع توسُّع المستعمرة في الخشب، تتّحد الشعيرات الدقيقة في ما بينها لتنتج نسيجاً أبيض، يُدعى شُبيكة (Mycelium)، يمكن رؤيته بالعين المجرّدة. وبعد فترة من النمو تُنتج الشُبيكة على سطح الخشب أجساماً ثمرية، تولّد آلاف الأبواغ لتكمل دورة الحياة. تنتشر الأبواغ التي يقلّ حجمها عن 10 ميكرومتر وتتوزّع بواسطة حركة الهواء.

العفن والبُقع

البقع والعفن فطريات لا تستقلب إلا مخزونات النّشَاء والسكّر المحفوظة

داخل خلايا الخشب فقط، لهذا فإنّ أخشاب النسغ عموماً هي أكثر عرضة للهجوم من أخشاب القلب، لأنّه أثناء تحول خشب النسغ إلى قلب يزال الغذاء المُختزن. وعلى العموم، هناك خسارة قليلة في مقاومة هذا الخشب تترافق مع مثل هذا الهجوم، بالرغم من أنّ أحد الأنواع (البقع الزرقاء) (Blue-Stain) يسبب تدهوراً جمالياً بكميات كبيرة من الخشب، ويمكن أن يدلّ وجوده على بداية هجوم فطري لتعفُّن الخشب. وأفضل وسيلة لمنع حدوثه تجفيف الخشب في فرن لتخفيض محتوى رطوبة السّطح بسرعة، ما لم تكن الإصابة قد سبق حدوثها في الغابة. وعلى العموم تكون الأخشاب الطريّة أكثر عرضةً للهجوم من الأخشاب القاسية، لكنّ الأخشاب القاسية فاتحة اللون، كالرامين (Ramin) والأوبتش (Obeche) والجلوتونغ (Jelutong)، تُصاب أحياناً.



(الشكل 20.4) دورة حياة الفطريات.

العفن الرطب والجّاف

إنَّ إطلاق اسم العفن [العطن] الجاف المعزوّ إلى تشكيلة واحد من الفطريات هو اسم مغلوط، لأنَّ كافّة حالات النموّ الفطري تتطلَّب شروطاً رطبة قبل أن تصبح نشطة. يمكن تصنيف الفطريات المخرّبة، كفطريات طريّة أو بنيّة أو بيضاء.

تنحصر الفطريات الطريّة، التي تنتمي إلى مجموعة من الفطريات المكرويّة، بالظروف الشديدة الرطوبة كالأخشاب المدفونة في الأرض، ولهذا لا تحدث في البُنى العاديّة. ويُعثر عليها عادةً في سطوح الخشب التي تغدو طريّة عند البلل وذروراً (ما يذرُّ) ناعماً عندما تجف.

تفضّل الفطريات البنيّة استهلاك السيلولوز داخل الخشب، مخلِّفةً وراءها كثيراً من الخشبين والعفصين وغيرها من العصائر الملوّنة. ونتيجة لذلك يزداد الخشب قتامةً بالتدريج. وعلى العكس من ذلك، تستهلك الفطريات البيضاء كلّ مكوّنات الخلايا فيغدو لون الخشب فاتحاً أكثر فأكثر مع تقدُّم الإصابة.

ثمَّة سبب رئيسي لتدهور الخشب في المباني هو ما يسمّى الفطر الجاف (Serpula Lacrymans). ففي الظروف الرطبة، التي يكون فيها محتوى الرطوبة أكثر من 20%، تكوِّن الشُبيكة الفطريّة (Mycelium) كتلاً شبيهة بالقطن ـ الصوف على سطح الخشب الذي يصبح رطباً ولزجاً (Slimy). ويمكن أن تنمو جدائل الشُبيكات الفطرية، بقطر حتّى 20 mm، عبر أشغال الآجُرّ، وتتجاوز المواد الخاملة لتصيب الخشب الجاف. وفي الظروف الأكثر جفافاً تشكل الشبيكات الفطرية طبقة رمادية ـ بيضاء على الخشب، مع بقع بلون أصفر فاقع أو ليلكي أحياناً. تكون الأجسام الثمرية على شكل صفيحات تنثر الأبواغ بلون الصدأ الأحمر (Rust-red Spores). وفي بعض الحالات يمكن أن تكون الأجسام الثمريّة أولى علامات الهجوم الفطري الجاف. بعد الهجوم الفطري الجاف، يتفكَّك الخشب على امتداد وعبر الألياف إلى قطع على شكل مكعبات تغدو جافة وسهلة التفتت، ولهذا يسمى **العفن الجاف**.

يُعدُّ الفطر الرّطب أو فطر الأقبية (Coniophora Puteana) السبب الأكثر شيوعاً لتحلّل الخشب في الأبنية في المملكة المتحدة. وهو يتطلّب محتوى رطوبة أعلى من الفطر الجاف (40-50%)، لذلك كثيراً ما يترافق مع دخول الماء نتيجة التسرّب أو التكاثف. يزداد لون الخشب التالف قتامةً، ويميل إلى التشقُّق على امتداد الألياف بصورة رئيسية. تكون الجدائل الرقيقة المفردة، أو الشعيرات الدقيقة، بنيّة أو سوداء اللّون، أمّا لون الأجسام الثمرية، التي نادراً ما تُرى، فهو أخضر زيتوني. غالباً يكون التدهور داخلياً من دون أن يؤثّر بشكل ملحوظ في الوجوه المكشوفة من الخشب.

يسبِّب فطر الفليني (Phellinus contiguous) (Poria contigua) تدهور الخشب الطريّ في المنجور الخارجي، ولا سيّما في إطارات النوافذ، فيتسبَّب في تفكك الخشب إلى أطوال ليفيّة؛ وهناك نوع آخر هو الفطر الفليني ذو الفجوات الواسعة

(Phellinus megaloporus) المعروف بمهاجمته لخشب السنديان، مخلّفاً إيّاه في النهاية كتلةً بيضاء.

يبين/ يوضّح الشكل 21.4 قابليّة التعرّض النسبية لخشب النسغ بالمقارنة مع خشب القلب الأكثر مقاومةً طبيعيّاً والأكثر قتامة، الذي يعدّ محميّاً جزئياً من العفن، بتسميك ثانوي وبمحتواه من العصائر.

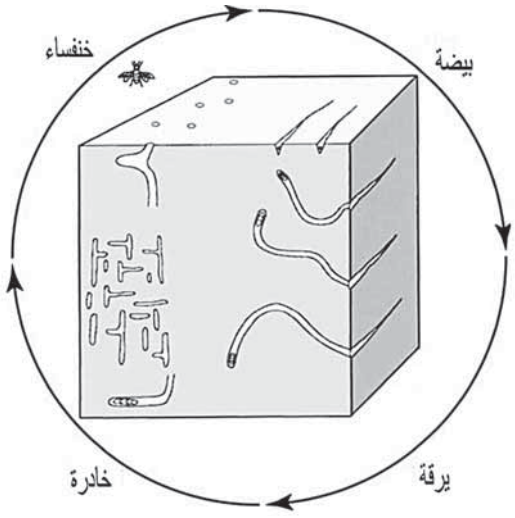
(الشكل 21.4) تدهور خشب النسغ يوضح الديمومة النسبية التي يتفوّق بها القلب (خشب القلب) على خشب النسغ.

هجوم الحشرات (الإصابة بالحشرات)

تهاجم الحشرات عدداً قليلاً من أنواع الخشب في المملكة المتحدة، ويميل هجومها إلى أن يكون أقل خطورةً من الهجموم الفطري. وهذا عكس ما يحدث في المناخات الأكثر حرارة، حيث يمكن أن تسبِّب الأرَضَة (النّمل الأبيض) وحشرات أخرى ضرراً كارثياً، مع أن الاستيراد غير المقصود للأرَضَة مؤخَّراً وما تلاه من تأصُّل الأرَضَة تحت التربة في ديفون الشمالية يشير إلى أن هذه الأنواع قد تُحدث تهديداً مستقبليّاً لمباني المملكة المتحدة. ويأتي الضرر الرئيس من الحشرات في المملكة المتّحدة من الخنافس، التي تحفر الخشب أثناء مرحلتها اليرقيّة، وبشكل رئيس خشب النسغ، فتتسبب فقدان المتانة الميكانيكية. أمّا الأنواع الأخرى، مثل حفارات الثقوب صغيرة المنقار (Platypus Cylindricus) (Pinhole Borers)، فإنّ

الخنافس البالغة منها تحفر الخشب لإدخال فطر تعيش عليه يرقاتها. ولقد كانت خنفساء لِحاء الدردار (The Scolytus Scolytus)، مسؤولةً عن انتشار مرض الدردار الهولندي (Dutch Elm Disease) في سبعينات القرن العشرين. حيث حفرت اليرقات أنفاقاً تحت اللِّحاء الخارجي داخل طبقات اللِّحاء الدّاخلي والطبقة المولّدة (الكامبيوم) (The Bast And Cambium Layer) مانعةً النموّ وناشرةً الفطريّات المخرِّبة، التي قتلت في النهاية أعداداً كبيرة من الأشجار في مختلف أرجاء المملكة المتحدة.

تبدأ دورة الحياة العادية لهذه الحشرات (الشكل 22.4) بالبيوض التي تضعها الخنفساء البالغة في شقوق الخشب أو تجويفاته. تفقس البيوض وتنمو إلى يرقات تحفِر أنفاقاً لها داخل الخشب مخلفّةً وراءها فضلاتها أو برازها الناعم (Powdery Waste or Frass). وبحسب نوع الحشرة، يمكن أن تستمر عملية حفر الأنفاق عدة سنوات قبل أن تتحوّل إلى خادرة [حشرة في طوّر النمو] (Pupa) قريباً من سطح الخشب، لتخرج بعد ذلك خنفساء بالغة كاملة النمو، تأكل طريقها إلى الخارج مخلِّفة ثقب خروج مميّز. إنَّ الحشرات التي تهاجم الخشب المجفّف جيّداً في المملكة المتحدة هي خنفساء الأثاث الشائعة، وخنفساء ترقُّب الموت، والخنفساء المنزليّة الطويلة المنقار، وخنفساء مسحوق الأعمدة. أمّا السوس حفّار الخشب فهو يهاجم فقط الخشب الذي سبق أن أُصيب بتفسّخ فطريّ (الشكل 23.4).



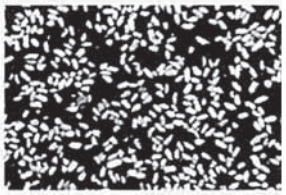
(الشكل 22.4) دورة حياة الخنفساء الحفّارة للخشب.

Common furniture beetle (*Anobium punctatum*) خنافس الأثاث

الحجم الحقيقي والطول 3 – 5 mm

ثقوب الخروج

غبار الحفر

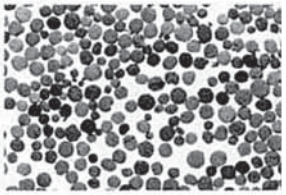


Death watch beetle (*Xestobium rufovillosum*) خنافس ترقب الموت

الحجم الحقيقي والطول نحو 6 mm

تلف تقليدي

غبار الحفر



House longhorn beetle (*Hylotrupes bajulus*) خنافس طويلة المنقار

الحجم الحقيقي والطول 25 mm

تلف تقليدي في العوارض

غبار الحفر

Powder post beetle (*Lyctus brunneus*) خنافس مسحوق الأعمدة

الحجم الحقيقي والطول 5 – 6 mm

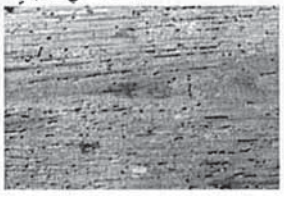
تلف داخلي شديد وتلف خارجي سطحي ظاهريا

غبار الحفر

Wood-boring weevil (*Pentarthrum huttoni*) خنافس حفارة الخشب

الحجم الحقيقي والطول 3 – 5 mm

التلف الدخلي التقليدي



غبار الحفر

(الشكل 23.4) الخنافس الحفّارة للخشب الشائعة في المملكة المتحدة.

خنفساء الأثاث الشائعة

تهاجم خنافس الأثاث الشائعة (Anobium punctatum) خشب النسغ بصورة أساسية في كلٍّ من الأخشاب القاسية والطّريّة. قد تكون هذه الخنافس مسؤولة عن الضرر البنيوي في حالات الهجوم الشّديد، ويعتقد أنها موجودة بنسبة تصل إلى 20% من المباني في المملكة المتحدة. فالخنفساء البنيّة هي بطول 3 ـ 5 mm وتترك ثقوباً عند خروجها إلى الهواء بقطر 2 mm تقريباً. ويوفّر كلٌّ من المبيدات الحشرية المحمولة بالماء وبالمُذيبات العضويّة معالجات فاعلة.

خنفساء ترقُّب الموت

تهاجم خنفساء ترقُّب الموت (Xestobium rufovillosum) بشكل خاص الأخشاب القاسية القديمة، ولا سيّما خشب السنديان، لهذا فهي مسؤولة عن الضرر البالغ الذي يلحَق بالأبنية التاريخية. يكون الهجوم عادةً على خشب النسغ، لكنّ خشب القلب الذي أصبح طريّاً بفعل الرطوبة والتفسُّخ الفطري يجتذب الإصابة، كما قد يُصاب الخشب الطّري المجاور. طول الخنفساء البنيّة اللّون نحو 8 mm، وتترك ثقباً للخروج بقطر 3 mm. يجب أن تشمل إجراءات المعالجة التخلُّص من الرطوبة واستعمال مبيدات حشريّة بمذيبٍ عضوي.

الخنفساء المنزليّة الطويلة المنقار

الخنفساء المنزليّة الطويلة المنقار (Hylotrupes Bajulus) حشرةٌ خطيرة في بعض أجزاء جنوب إنجلترا، وخاصة في سرّي، وهي مذكورة في أنظمة البناء (The Building Regulations 2000 - Approved Document to Support Regulation 7: 1999) (amended 2000). يمكن لهذه الخنفساء أن تُحدث تلفاً بنيويّاً خطيراً لخشب النسغ في أخشاب السقف المكوَّنة من الخشب الطّري المُجفَّف. تستطيع هذه الخنفساء، ويرقتُها التي يصل طولها حتّى 35 mm، أن تُسبِّب ضرراً خطيراً خلال دورة حياتها المتوسطة التي تقارب ست سنوات، قبل أن تظهر بوادرٌ تدلُّ على الإصابة بها. ينتفخ الخشب المُصاب في مكان وجود الأنفاق تحت سطحه مباشرة، وتكون ثقوبُ الخروج النهائية للخنفساء السوداء إهليلجيةَ الشكل بعرض يصل إلى 10 mm. وحيثما يبقى الخشب قابلاً للاستخدام بشكلٍ كافٍ، تكون المعالجة الدوائيّة بصيغ من مذيبات عضويّة أو معاجين ملائمة.

خنفساء مسحوق الأعمدة

تهاجم خنفساء مسحوق الأعمدة (Lyctus Brunneus) خشب النسغ في أنواع معيّنة من الخشب القاسي، وخاصة السنديان والمرّان. كذلك يمكن أن يُصاب خشب النسغ في الأخشاب القاسية المداريّة الكبيرة المسام مثل الرامين والأوبتش. إنَّ الأخشاب التي تحتوي كثيراً من النّشَاء في خشب النسغ هي المُعرّضة فقط لهجموم اليرقات التي تتغذّى على النّشَاء، بدلاً من جدران الخلايا. تضع الأنثى البالغة بيوضها داخل الأوعية التي هي الخلايا الكبيرة المميّزة داخل الخشب القاسي. وتُعدُّ الأخشاب المنخفضة المحتوى من النّشَاء أو ذات الأوعية الضيقة محصّنةً من الإصابة، كما أن نقع الخشب المعرّض في الماء مدةً طويلة يمكن أن يُقلِّل من خطر الإصابة، ولكن نظراً لطول المدة اللازمة يعتبر هذا الإجراء غير مجدٍ تجارياً. تغادر الخنفساء البنية المائلة إلى الحمرة بطول 4 mm تاركةً ثقب خروج بقطر 5.1 mm تقريباً. ويستمر الهجوم على الخشب حتى يستهلك كلَّ خشب النسغ فقط، وعليه فإن التلف يتوقف عادة في المباني الأقدم. أمّا المباني الجديدة فإن الطلاء بالدهان أو اللكر (الورنيش) يجعل المعالجة غير عملية، والخيار المعتاد هو تبديل الخشب.

خنفساء أمبروزيا

تهاجم أعداد كبيرة من نوع خنفساء أمبروزيا جذوع الخشب القاسي والخشب الطّري المقطوعة حديثاً في المناطق المعتدلة والاستوائية على حدٍّ سواء. من الضروري لحدوث هذا الهجوم توفّر محتوى رطوبة مرتفع أعلى من 35%، ويتمّ التخلّص من ذلك عند التجفيف. تتراوح الثقوب الدائرية الصغيرة بين 0.5 و3 mm، بحسب نوع الخنفساء المعني، وتكون عمليّة حفر الأنفاق عبر ألياف الخشب.

السوس الحفّار الخشب

يهاجم السوس الحفّار الخشب فقط الخشب الذي سبق تليينُه بالتفسُّخ الفطري. يُحدث أكثر أنواع سوس الخشب شيوعاً (Pentarthrum Huttoni) ضرراً مشابهاً في المظهر لما تحدثه خنفساء الأثاث الشائعة، لكنّ التخلص من الخشب التالف يمنع العدوى الثّانويّة.

الأرَضَة [النمل الأبيض]

الأرَضَة حشرة اجتماعية تشبه النملة في حجمها (4 ـ 5 mm)، وهي تعيش

في مستعمرات تضمّ ملايين الأفراد. معظم أنواع الأرضة مفيدة للطبيعة في تفكيك المواد العضوية، غير أن أنواعاً قليلة منها تسبِّب أضراراً كارثية للمباني. تعدُّ عائلة الأرَضة تحت الترابية (Rhinotermitida) السبب الرئيس لضرر المباني، وخاصة من النوع (Reticulitermes) الذي يشكل تهديداً جديّاً في المملكة المتحدة. أما النوع (R. Santonensis) فمنتشر على نطاق واسع في أوروبا، وهناك النوع (R. Lucifugus) الذي قد توطّن في ساونتون، شمال ديفون. لكن يبدو أن المعالجة بالهيكسافلوموورون (Hexaflumuron)، مادة تنظِّم نموّ الحشرة توضع في طُعم، قد أزال الإصابة تماماً، لأنه منذ العام 2000 لم يعُدْ يظهر أي دليل على وجودها. إنّ المصدر الرئيس لغذاء الأرَضَة هو السيلولوز في الخشب، وخاصة في الخشب الطريّ البنيوي بالقرب من مستوى الأرض، أو في الخشب المتفسّخ جزئياً. يمكن أن يُصاب الخشب إصابة خفيفة فقط، أو يُحفر بشكل كبير، فلا يبقى منه سوى سطحه وبعض أغطية الحماية. في المناطق المهدَّدة بالأرَضَة يمكن أن تكون الوقاية بمبيد الأرَضَة (Termiticide) المناسب، لكن إذا سبق حدوث هجوم الأرَضَة فمن الضروري الحصول على استشارة متخصِّصة من مفوضية الغابات. يمكن أن يكون التخلُّص من المستعمرة بتقنيات فيزيائية وكيميائية وبيولوجية عمليّة بطيئة تتطلّب شهوراً أو حتّى سنوات حتى تستكمل.

حفظ الخشب

تحتوي حافظات الخشب على مبيدات في شكل مبيدات حشريّة ومبيدات فطريّة. إنّ استعمالها يتمُّ برقابة صارمة للحدّ من الضرر البيئي العرضي. يجب أن تشمل المعالجات الحافظة فقط المواد المصادق عليها حاليّاً من قِبل أنظمة مراقبة المبيدات (1986 وعدّلت عام 1997)، كما يجب أن تستعمل وفقاً لأنظمة مراقبة المواد الخطرة على الصحة (COSHH)، وإرشادات المصنّعين، مع ارتداء الألبسة الواقية المناسبة. يمكن تقسيم معالجات الخشب إلى قسمين: **أولهما** تطبيق المواد الحافظة على الخشب الجديد، **وثانيهما** المعالجات الشافية المستعملة للتخلُّص من أو تخفيض مشكلة قائمة.

معالجات الخشب الجديد بالمواد الحافظة

هناك طيف واسع من المواد الحافظة الفاعلة للخشب، متوفّرة تجارياً للاستعمال في ظروف صناعية مراقبة. لكن، في ظلِّ المناخ الحالي من الوعي الصّحي والبيئي المتزايد، فإنَّ التوجُّه نحو منتجات صديقة للبيئة أدّى إلى حدوث

تبدُّلات كبيرة في عمليات حفظ الخشب الصناعية. فقد منعت تشريعات الإتحاد الأوروبي استعمال المادتين الرئيسيتين التقليديتين الحافظتين للخشب للاستعمال الخارجي، وهما الكريوزوت (Creosote) وزرنيخ النحاس الكرومي (Cca) (Chromated Copper Arsenate). يتوفّر الكريوزوت (Bs 144: 1997) للاستعمال الصناعي فقط، ويمكن استعماله للأوتاد والجسور فقط. كذلك الأمر بالنسبة إلى زرنيخ النحاس الكرومي Cca، حيث تحظر التشريعات الحالية استعمال المنتجات المحتوية على الزرنيخ والكروم. أمّا المنتجات الجديدة فهي مبيدات حيوية عضوية بصورة رئيسية.

تتضمّن العمليات الصناعية لحفظ الخشب استعمال التخلية (Vacuum) والتشريب، إمّا عالي الضغط أو منخفض الضغط، أو بدلاً منه الغمر الكامل. وهذه المواد الكيميائية إمّا أن تكون محمولة بالماء، أو أساسها مذيبات أو مستحلبات مكروية.

إنَّ عملية التخلية المزدوجة (Double-Vacuum Process)، باستعمال مواد حافظة محمولة بمذيبات عضوية، مناسبة للخشب المعرّض لخطر منخفض أو متوسّط مثل المنجور الخارجي. يوضع الخشب الذي يحتوي رطوبة أقل من 28% في الحاوية المنخفضة الضغط التي تفرَّغ من الهواء ليتمَّ استخلاص الهواء من داخل الخشب. ثم تُشبع الحاوية بالمادة الحافظة، ويُطبّق عليها ضغط موجب منخفض لعدّة دقائق وحتى ساعة واحدة بحسب نفوذية الخشب. بعد ذلك يتمُّ تفريغ الحاوية من الهواء ومن المواد الحافظة للتخلُّص من الزائد منها على سطح الخشب. تتألف التركيبات إمّا من مبيدات للفطريات أو مبيدات الحشرات أو من كليهما معاً مذابين في مذيبات عضوية طيّارة. تتغلغل المذيبات جيّداً في الخشب لكن رائحتها نفّاذة وهي سريعة الاشتعال جداً. يمكن كذلك إضافة صادٍّ مائي (Water Repellent) إلى صيغة المادة الحافظة. وفي النهاية، سوف تكون المواد الحافظة الذائبة بمذيب عضوي محدودةَ الاستعمال للأخشاب التي يكون مهمّاً عدم تأثُّر أبعادها بمعالجة المواد الحافظة. وللتخفيف من التأثيرات البيئيّة لانبعاثات المُرَكَّبات العضوية الطيّارة، تُستبدل المُذيبات العضوية بمستحلبات مكرويّة لصيغ مبيدات حيوية قابلة للتحلُّل الحيوي (Biodegradable) بمحتوىً مخفّض كثيراً من المذيبات العضوية. إنّ الأخشاب المعالجة عموماً توافق متطلّبات أصناف الاستعمال 1 و2 و3.1 في المعيار (BS EN 335-1: 2006).

إنَّ عملية الضغط مع التخلية شبيهة بعملية التخلية المزدوجة، غير أنها تستعمل المواد الحافظة المحمولة بالماء مع تطبيق ضغط منخفض أو مرتفع داخل حاوية الضغط لضمان المستوى المناسب للتغلغل. الأساس في المواد الحافظة المعيارية هو مركبات النحاس ومبيدات الآزول الحيويّة. قد تشمل بعض المعالجات أيضاً مشتقّات البورون. إنّ الخشب المُعالج بمنتجات خاصّة، مثل **التاناليث** (Tanalith)، يتلوّن بلون أخضر خفيف ولكن يمكن دهانه مباشرة. إنّ المعالجة بالضغط المنخفض هي على العموم لأصناف الاستعمال 1 و2 و3.1. أمّا المعالجة بالضغط العالي فيمكن أن توفِّر حماية إضافية لصنف الاستعمال 4.

تشتمل المعالجة بالغمر الغزير (Dip-Diffusion Treatments) على تغطيس الخشب الأخضر المنشور حديثاً، أو رشّه باستعمال مشتقّات البورون (رباعي الهدرات ثماني البورات ثنائي الصوديوم (Disodium Octaborate Tetrahydrate). ينفَّذ التغطيس مرّتين أو ثلاث مرات لضمان التغطية الكاملة لكلٍّ وجوه الخشب؛ وتتطلّب المقاطع الكبيرة معالجةً ثانية بالرشّ أو الغمر. وبعد المعالجة، يجب أن يُخزّن الخشب لمدّة مناسبة ليسمح بتغلغل المادة الحافظة داخل الخشب حتى عمق التغلغل المطلوب. لكنَّ المنتج يذوب في الماء لذا فهو هو غير مناسب لتشريب الخشب بالضغط للهياكل الخارجيّة.

أمّا الأخشاب المُعدّة لحالات تنطوي على خطورة ـ كالأسقف الصناعية (Industrial Roofs) والإطارات والأرضيات والأخشاب المتضمَّنة في إنشاءات الحجر والصفائح المفردة وألواح التكسية والبلاطات الخشبية وغيرها ـ فيجب أن تعالج بمواد حافظة مناسبة.

المعالجات الشافية للخشب

يجب أن تكون المعالجات الشافية لخشب المباني القائمة محدودة تماماً بتلك الضروريّة للتعامل مع هجوم الفطريات أو الحشرات. لا يُنصح باستعمال المبيدات المزدوجة للفطريّات وللحشرات إذا كانت الإصابة بواحد منهما فقط. في المملكة المتحدة تتسبّب انهيارات المباني في تدهور الكثير من الأخشاب. ولأنَّ التدهور الفطري لا يحدث إلا في الظروف الرطبة، فإن الإجراء العلاجي الأول يجب أن يتضمَّن استعادة ظروف الجفاف. وهذا يلغي ضرورة استعمال الكيماويّات المتكرِّر.

يتضمّن الإجراء القويم للتخلُّص من هجوم الفطريّات وهجوم الخنافس

الحفّارة للخشب إزالة الخشب التالف أو المُصاب بشدة، يلي ذلك معالجة الخشب المتبقّي بالمواد الحافظة المناسبة. بالنسبة لهجوم الفطريّات تجب إزالة 300 mm من الخشب السليم ظاهرياً بعد آخر علامة إصابة تمّت مشاهدتها، ومعالجة الأخشاب المُجاورة بمبيد للفطريات. بالنسبة للخنفساء حفّارة الخشب، ما لم تكن الإصابة واسعة الانتشار، يجب أن تُطبّق المعالجة بالمواد الحافظة فقط إلى ما بعد 300 mm من الثقوب المرئيّة. توفّر المبيدات الفطريّة والحشريّة الذائبة بمذيبات عضوية والمطبّقة بالفرشاة أو بالرشّ بعض الحماية من أي هجوم لاحق، لكنَّ تطبيق المعاجين أو المواسير أكثر فاعلية عادةً لأنها تُدخل كميات أكبر من المكوّنات الفاعلة. تحتاج معالجة الحشرات بالمبيدات الدخانية إلى التكرار سنوياً لأنها فاعلة فقط ضدَّ الخنافس الناضجة، لكنّها قد تكون مفيدة في الحالات التي يكون فيها استعمال الفرشاة أو الرشّ غير عملي.

تعتمد المقاربة البيئيّة للتخلُّص من التدهور الفطري كثيراً على إزالة أسباب الرطوبة. وعلى أساس أنّ هجوم الفطريات سوف يتوقّف عندما يصبح محتوى الخشب من الرطوبة أقل من 20%، وأن التهوية الزائدة وإصلاح عيوب المبنى تمنع الهجوم اللاحق. الخشب المتضرّر بشكل كبير هو فقط الذي يلزم استبداله، مع تعقيم أشغال البناء المُصاب. لكنَّ المراقبة المستمرّة مطلوبة لأنَّ التدهور الفطري الراكد سيصبح نشِطاً إذا ارتفع محتوى الرطوبة مجدّدا إلى مافوق 20%. توفّر كلاب الشمّ المدرّبة المعروفة باسم "روثهاوند" (Rothounds) وأنظمة الفحص بالألياف الضّوئية وأنظمة الفحص الكيميائي، طرائق اختبارات لا تخريبية لتحديد العفن الجاف النشِط قبل أن يغدو ظاهراً للعيان.

تشمل المبيدات المستعملة مهنيّاً في المعالجة الشافية ثماني البورات ثنائي الصوديوم أو الآزولات كمبيدات فطريّة، وفلوروكس (منظّم لنموّ الحشرات) كمبيد حشري. تُعدّ هذه المبيدات مقبولة حالياً للمعالجة في المناطق التي تسكنها الخفافيش، التي تُعدُّ اليوم أنواعاً محمية تحت قانون الحياة البريّة والريف للعام 1981 (Wildlife and Countryside Act 1981).

دليل لمعالجة الأخشاب

تُصنَّف معالجات الخشب بالحافظات من العضويات المُخرّبة وفقاً للمعيارين الأوروبيين (EN 351-1: 2007) و BS EN335-1: 2006 بحسب معايير أدائها لا

بحسب المعالجات الكيميائية الحافظة لوحدها. تحدِّد المعايير المواد الحافظة للخشب وفقاً لفاعليتها في مجال ظروف الاستعمال البيئي.

أصناف الاستعمال للخشب والمنتجات التي أساسها الخشب ضد الهجوم البيولوجي (BS EN 335-1: 2006):

صنف الاستعمال 1 داخلي أو تحت غطاء وجاف.

صنف الاستعمال 2 داخلي أو تحت غطاء ورطب أحياناً.

صنف الاستعمال 3 3.1 خارجي، وفوق الأرض، ومحمي. رطب أحياناً.

3.2 خارجي، وفوق الأرض، وغير محمي. رطوبة متكررة.

صنف الاستعمال 4 4.1 خارجي بتماس مع الأرض. رطب غالباً أو دائماً (ماء عذب)

4.2 خارجي بتماس شديد مع الأرض. رطب دائماً. (ماء عذب)

صنف الاستعمال 5 في ماء مالح، ورطب دائماً.

ملاحظة: كانت صنوف الاستعمال توصَّف سابقاً على أنّها صنوف مصدر خطر وقد بقي هذا المصطلح مستعملاً في المعيارين (BS EN 460: 1994 and BS EN 599-1: 1997).

يُعطي المعيار (BS EN 335 Part 1: 2006) دليلاً عامّاً حول الوجود المُحتمل للعناصر البيولوجية في ظلِّ ظروف التصنيف المختلفة. يشير المعيار (BS EN 335 Part 2: 2006) بشكل خاص إلى العناصر البيولوجية الخاصّة التي تهاجم الخشب المُصْمت في شروط التصنيف المختلفة ويصفُ تسلسل اتخاذ القرار للاختيار الصحيح للخشب المُصمْت، المناسب لصنف الاستعمال. ثمَّة دليل إضافي عن حفظ الخشب وقد أُعطي في المعيار (BS EN 460: 1994) (الجدول 9.4) الذي يربط صنف ديمومة الخشب بصنف الاستعمال، مشيراً إلى الأماكن التي تكون فيها ضرورة لمعالجة إضافية.

يُصنّف مستوى المعالجة المطلوب لإعطاء الأداء الضروري وفقاً لعمق التغلغل داخل الخشب، ومن طريق الاحتجاز أو التحميل داخل المنطقة المُحدَّدة من

الخشب. يحدّد عمق التغلغُل في المعيار (BS EN 351-1: 2007) بستة أصناف (NP1-NP6) من حيث ازدياد مناطق احتجاز المواد الحافظة. لأنّ المعالجة الحافظة الكاملة غير مناسبة في جميع الحالات، هناك طيف من عوامل الاستخدام (A - D) تحدِّد مستوى الأمان والاعتبارات الاقتصادية المناسبة للمعالجة الحافظة، وهي مُجدولة في المعيار البريطاني (BS 8417: 2003) (الجدول 10.4).

الجدول 9.4 العلاقة بين صنف الاستعمال البيئي وصنف ديمومة الخشب ومتطلبات المعالجة الحافظة من الفطريات المخربة للخشب (BS EN 460: 1994)

صنف الاستعمال	صنف الديمومة				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	A	A
3	0	0	A	B	B
4	0	A	C	X	X
5	0	C	C	X	X

المفتاح:

0 الديمومة الطبيعية مقبولة.

A يمكن النصح بمعالجة حافظة لبعض الاستعمالات النهائية.

B قد تكون المعالجة الحافظة ضرورية لبعض الاستعمالات النهائية.

C ينصح بالمعالجة الحافظة عادة.

X المعالجة الحافظة ضرورية.

ملاحظة:

يُعتبر خشب النسغ في كلِّ أنواع الأخشاب من الصنف 5 بالنسبة للدّيمومة. في المعيار 1994 وُصف صنف الاستعمال بأنّه صنف خطر.

يُوصي المعيار البريطاني (BS 8417: 2003) بأصناف ديمومة الخشب التي يمكن أن تُستعمل من دون معالجة حافظة في ما يتعلّق باستعمالها والعوامل البيئية، فمثلاً خشب السقف الجاف في منطقة غير مصابة بخنفساء المنازل طويلة المنقار:

مكونات البناء (مثلاً، أخشاب سقف جافة في منطقة خالية من الخنفساء حفارة الخشب)

صنف استعمال الخشب المقاوم للهجوم البيولوجي (مثال، 1 لأجل أخشاب السقف الجاف)

عامل الاستخدام ـ اعتبارات الأمان والاقتصاد (مثال، B لأجل خشب السقف الجاف)

مدَّة الاستخدام المرغوب فيها ـ 15 أو 30 أو 60 سنة (مثال، 60 سنة لأخشاب السقف الجاف)

صنف الدّيمومة 5 ـ الخشب الذي لا يتمتّع بالدّيمومة يكون مُلائماً.

يُعطي المعيار البريطاني (BS 8417: 2003) أيضاً دليلاً حول أنواع المعالجة الحافظة المناسبة للخشب الذي سيستعمل في أوضاع أكثر قساوة، فمثلاً، أخشاب السقف الرطبة أحياناً في أماكن مصابة بالخنفساء المنزلية الطويلة القرن:

مكونات البناء ـ أخشاب سقف (مع خطر الرطوبة في منطقة مصابة بالخنفساء الحفّارة)

أنواع الخشب ـ مثلاً الخشب الأبيض الأوروبي

المعالجة ـ مطلوبة ضد خطر الحشرات ومفضلة ضد خطر الفطريات

مدة الاستخدام المطلوبة ـ مثلاً 60 سنة

نوع المادة الحافظة ـ مذيب عضوي يحتوي على مبيد فطري ومبيد حشري فعّال

الجدول 10.4 عوامل الاستثمار للمعالجة الحافظة للخشب بحسب المعيار (BS 8417: 2003)

عوامل الاستخدام	الحاجة إلى المعالجة	اعتبارات السلامة والاقتصاد
A	غير ضرورية	يمكن إهمالها
B	اختيارية	أعمال العلاج سهلة الحفظ ضمان في مقابل تكاليف الإصلاح
C	مفضلة	أعمال العلاج باهظة وصعبة
D	أساسية	عواقب الانهيار البنيوي وخيمة

يعطي المعيار البريطاني (BS 8417:2003) دليلاً على العمق المطلوب لتغلغل المواد الحافظة الاحتفاظ بها

الحريق

الخشب مادة عضوية ولهذا فهي قابلة للاحتراق. وعندما يُسخّن الخشب فإنه يطلق كل الماء الذي فيه على شكل بخار. وحين تصل درجة حرارته إلى نحو 230 ـ 250 C° يحدث التفكك مع إنتاج فحم الخشب وتنطلق غازات قابلة للاحتراق كأوّل أوكسيد الكربون والميتان، التي تسبب الاشتعال. وأخيراً، يحترق (يتجمّر smoulder) فحم الخشب ويتحول إلى ثنائي أوكسيد الكربون ورماد.

لكن بالرغم من قابليته للاحتراق، يؤدّي الخشب، وخاصة المقاطع الكبيرة منه، أداءً أفضل في الحريق من المقاطع المكشوفة المكافئة له من الفولاذ والألومنيوم. إذ إنَّ ناقليّة الخشب للحرارة منخفضة، وهي، بالاشتراك مع الحماية التي تُقدّمها مواد السطح المتفحّمة (Charred)، تعزل الداخل من الارتفاع السريع لدرجات الحرارة وتحول دون فقده لمتانته. ويتراوح معدل تفحُّم الخشب تحت اختبار مقاومة الحريق المعياريّة (Standard Fire Resistance Test) بين 30 و50 mm في الساعة للسطح المعرّض، وذلك بحسب كثافة الخشب (الجدول 11.4). لهذا فإنّه من الممكن توقُّع مقاومة أيّ مكوّن خشبي الحريق باستعمال المعيار البريطاني (BS 5268-4.1: 1978 and 5268-4.2: 1990). إضافة إلى ذلك، وبما أن مُعامِل تمدُّد الخشب منخفض فإنّ العوارض الخشبيّة لن تدفع الجدران الحجريّة كما يحدث أحياناً مع العوارض والجمالونات الفولاذيّة أثناء الحريق. يمكن أن يعتبر الخشب المُصمّت بكثافة دنيا 350 kg./ m^3 وبسماكة تساوي 10 mm أو أكبر من الصنف الأوروبي D في ما يتعلّق بالحريق من دون اختبار.

الجدول 11.4 معدل احتراق الخشب من كل وجه مكشوف

معدّل الاحتراق	الخشب	الكثافة النموذجية (kg./ m^3)
30 mm في الساعة	خشب قاسٍ مثل الساج والكروينغ	فوق 650
40 mm في الساعة	خشب طريّ إنشائي، مثل الخشب الأحمر الأوروبي والخشب الأبيض الأوروبي	450 ـ 550
50 mm في الساعة	الأرز الأحمر الغربي	380

مؤخّرات اللّهب

في الحريق، تنطلق المكوّنات الطيّارة القابلة للاحتراق من سطح الخشب، وهذه تسبِّب اللهب. ثمة نوعان بديلان من المعالجة يمكن تطبيقهما على الخشب للتخفيف من هذا الأثر، هما تشريب الخشب أو تطبيق طلاء سطحيّ. يجب أن تكون المعالجات مناسبة للظروف الجافّة أو الرطبة أو الخارجية التي سوف يتعرّض لها الخشب.

ينطوي التشريب على إدخال قسري لمواد كيميائية لاعضوية في الخشب تحت ضغط عالٍ ثم بالتخلية، وهذه المواد تطلق عند التسخين غازات غير قابلة للاشتعال. ويجب أن يكون قد تمَّ تقطيع الخشب آلياً وصولاً إلى أبعاده النهائية قبل معالجته. للاستعمال الداخلي، تشمل المركّبات النموذجيّة أملاحاً لاعضويّة محمولة بالماء، مثل كبريتات أو فوسفات الأمونيوم مع بورات الصوديوم أو كلوريد الزنك. وبما أنَّ هذه المواد ماصّة للرطوبة يجب ألا تستَعمل الخشب في مناطق العالية الرطوبة. وفي ما يتعلّق بالاستعمال الخارجي، تستعمل مادة مؤخّرة للاشتعال ومانعة للتسرّب أساسها فوسفات عضويّة، لأنّها تثبَّت حراريّاً بالبلمرة داخل الخشب.

تشمل معالجات السطوح التي تتسبَّب في انطلاق غازات غير قابلة للاحتراق في الحريق دهاناتِ ثلاثي أوكسيد الأنتيموني المؤخِّرة للاشتعال، المناسبة لكلٍّ من الاستعمال الداخلي والخارجي. تُعدّ الطلاءات المنتفخة التي تنتفخ وتتفحّم في الحريق مناسبة لمعظم البيئات إذا ما غُطيّت بطلاء. لكن الحماية التي توفرها المعالجات السطحيّة قد تُلغى بسبب التغطية غير المناسبة أو إذا أزيلت عند تجديد الزخرفة.

يمكن تحسين الخشب غير المعالج، الذي هو عادةً من الصّنف 3، لنشر اللّهب وفقاً للمعيار البريطاني (BS 476-7: 1997)، إلى الصنف 1 بعد معالجة سطحه. أمّا الصنف 0 فلا يمكن الوصول إليه، إلاّ بالتشريب العميق أو بالجمع بين التشريب وتغطية السطح أو بمعالجات سطحيّة معيّنة خاصّة جدّاً.

التصنيف الأوروبي للحريق لمنتجات البناء

يعرَّف التصنيف الأوروبي للحريق لمنتجات التشييد وعناصر المباني في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN13501-1: 2007). يمكن تصنيف كافّة منتجات التشييد ما عدا الأرضيّات في واحد من الأصناف السبعة التالية: A1 أو A2 أو B أو C أو D أو E أو F اعتماداً على أدائها. يمثّل الصنف (A1) المنتجات التي لا تسهم في حمل الحريق حتى ولو تطوّر الحريق تطوّراً كاملاً. أمّا منتجات الصنف

(A2) فلا تسهم كثيراً في حمل الحريق وتفاقمه، في حين يمكن أن تعكس الأصناف الأخرى بشكل متناقص صرامة معايير الأداء أثناء الحريق، نزولاً حتى الصنف (E) الذي يمكن أن يقاوم لهباً صغيراً لمدة قصيرة من دون أن ينتشر اللّهب انتشاراً مهماً. أمّا منتجات الصنف (F) فهي خارج الأصناف الأخرى أو ليس لها أداء محدَّد. بالإضافة إلى عوامل حمل الحريق يشمل المعيار تصنيفات أخرى لها علاقة بإنتاج الدخان (s1 وs2 وs3، حيث s1 هو المعيار الأشدّ صرامة) وقطرات اللهب (d0 وd1 و d2، حيث d0 تشير إلى عدم وجود قطرات أو جزيئات لهب). أمّا بالنسبة للأرضيّات فثمّة سبعة صنوف هي: ($A1_{FL}$ و $A2_{FL}$ و B_{FL} و C_{FL} و D_{FL} و E_{FL} و F_{FL}) مع تصنيفات فرعيّة تتعلّق بإنتاج الدخان (s1 وs2 وs3). إنَّ العلاقة المتبادلة بين أصناف المملكة المتَّحدة والأصناف الأوروبية غير دقيقة، وتتطلّب المواد اختباراً وفقاً للمعيار الأوروبي قبل إسنادها إلى صنف معيّن وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13501-1:2007).

إنَّ التقويم الأوروبي لأداء الحريق في ظلِّ الظروف التي حدَّدها المعيار البريطاني الأوروبي لألواح من الخشب المُصمَت غير المعالج بسماكة 12 mm، وكثافة دنيا 400 $kg.\ m^3$ هو الصنف الاستعمال (D-S2, D0) لغير الأرضيات والصنف (DFL-S1) للأرضيات. أمّا أداء حريق الصنف الأوروبي للخشب البنيوي بكثافة دنيا 350 $kg.\ m^3$ وسماكة دنيا 22 mm هو الصنف (D-S2,D0) وفقاً للمعيار(BS EN 14081-1: 2005).

يوصّف المعيار (Pr EN 15912: 2009) ديمومة المعالجات المُعيقة للحريق بالنسبة إلى تطبيقاتها عند الاستعمال النهائي الداخلي والخارجي.

ديمومة ردّ الفعل حيال أداء الحريق (Durability Of Reaction To Fire Performance) (DRF):

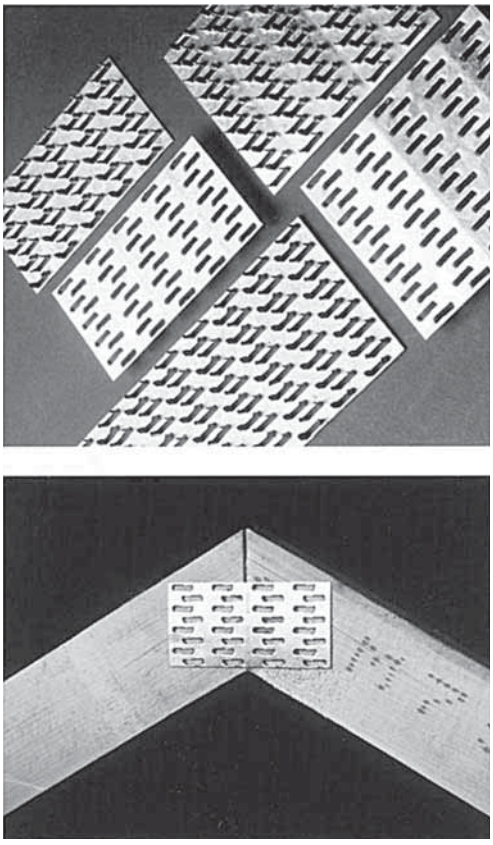
DRF Class ST	استعمال قصير الأمد (أي أقل من سنة واحدة)
DRF Class INT1	استعمال داخلي دائم (خدمة من الصنف 1)
DRF Class INT2	استعمال داخلي دائم (خدمة من الصنف 2)
DRF Class EXT	استعمال خارجي دائم (خدمة من الصنف 3)

ملاحظة:

أصناف الاستعمال وفقاً للمعيار (BS EN 1995-1-1: 2004).

روابط الخشب

هناك طيف من روابط الخشب الفولاذية متوافرة تجارياً. تشيّد العارضة العلوية من الجملونات الشبكية، التي لها سوق رائجة كبيرة، عادةً باستخدام صفائح الفولاذ المغلفن المسمّرة (الشكل 24.4). تُكبس هذه الصفائح هيدروليكياً على جانبي الخشب لربط الوصلات التناكبية. تشمل أنواع أخرى من الوصلات الصفائح المسنَّنة المستديرة من جانب واحد أو من الجانبين والمثبّتة ببرغيّ مركزي، وكذلك حمّالات العوارض الثانويّة ومشابك الجمالونات السّقفيّة. تصنع العوارض الثّانويّة ذات الجسد المعدني للأرضيّات (الشكل 25.4) من أشفار (Flanges) من الخشب المتين مع وحدات فولاذيّة للجسد مثبتة بصفائح ومسامير إلى جانبي أشفار الخشب الطّريّ. وهي تمتاز عن العوارض الثّانويّة من الخشب المُصمّت بخفّتها، وبالفراغات المفتوحة للخدمات.



(الشكل 24.4) االصفائح المسمارية.

(الشكل 25.4) عوارض ثانويّة ذات جسم معدني للأرضيّات.

منتجات الخشب

هناك طيف واسع من المنتجات المصنوعة من مادة الخشب، تتفاوت في حجمها من المقاطع الخشبية الصغيرة والألواح الرقيقة ورقاقات الخشب والنشارة وحتى الألياف الخشبية. وتعكس الخصائص الفيزيائية للمواد المنتجة تركيبةٌ تجمع بين التقسيم الفرعي للخشب وإضافة أية مادة رابطة وعملية التصنيع. وبالتالي فإنّ الخصائص الفيزيائيّة هي التي تحدِّد الاستعمالات المناسبة للمنتجات في صناعة البناء.

هناك منتجات كثيرة تُصنع من مقاطع خشبية صغيرة أو من منتجات خشبيّة ثانوية ناتجة من تحويل الخشب المُصمت، إذ كان من الممكن أن تذهب هدراً من دون الاستفادة منها. كذلك يدخل في هذا الباب بلاطات القشّ المضغوط (Compressed straw slabs) وأسقف القش:

تشمل مجموعة المنتجات ما يلي:

- الخشب الصفائحي
- الخشب الصفائحي المتصالب
- الألواح البنيوية المعزولة
- الخشب الصفائحي القشري
- الخشب المعاكس
- الألواح المصمتة والألواح الرقائقيّة

- ألواح نشارة الخشب (Particleboard)
- الألواح الليفية
- بلاطات الصوف الخشبي
- بلاطات القش المضغوط
- أسقف القش
- الدفوف (Shingles)
- بلوك "ستيكو" ('Steko' blocks)
- القشور المرنة

وحيثما تُستعمل الألواح التي أساسها الخشب في التشييد في الاتحاد الأوروبي، لا بدّ من التصريح عن المطابقة مع تعليمات منتجات التشييد. ويمكن تحقيق ذلك بالالتزام بمعيار التوافق الأوروبي (European Harmonised Standard) للألواح التي أساسها الخشب (EN 13986) (المعيار BS EN 13986: 2004 في المملكة المتحدة). ويتطلّب هذا أن تستجيب المنتجات المستعملة في البناء لمواصفاتها وللمعايير الإضافية المستندة إلى الأداء في مختلف المعايير الأوروبية المُحدّدة لكلّ مادّة بعينها. وتستعمل معظم الدول الأوروبية اليوم العلامة (C^a) على الألواح والقطع لتدلّ على توافقها مع ذلك المعيار التوافقي.

الخشب الصفائحي

التصنيع

إنّ المقاطع الكبيرة من الخشب المصمت مقيّدة بتوافر الجذوع الخشبية المناسبة، إضافةً إلى أن متانتها المحسوبة يجب أن تُبنى على الجزء الأضعف من المادة المتغيّرة. وتغلبت مقاطع الخشب الصفائحي على هاتين الصعوبتين، وفتحت فرصاً إضافية أمام المصمّمين. ويصنع الخشب الصفائحي بمعالجة طبقات من مقاطع خشبية أصغر مقصوصة بعناية ضمن منشار هزّاز آلي، يتمّ تغريتها بعضها ببعض على نحو متواصل بلاصق راتنجي. وقد تكون الصفائح موجّهة شاقولياً أو أفقياً. إنّ استعمال الخشب المصنّف وفقاً للمتانة وتداخل الوصلات التراكبيّة (Staggering Individual Scar) أو الوصلات الإصبعية يضمن انتظاميّة المتانة في

المنتج، مع أنه وفقاً للمعيار البريطاني (BS 5268-2: 2002) والمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 387: 2001) فإنّ الوصلات الإصبعية الكبيرة مسموح بها خلال كامل مقطع العنصر المغرّى. تضمن عملية التصنيع استقرارا بعديّاً أكبر وعيوباً مرئيّة أقل من مقاطع الخشب المصمت التي تقابلها. قد يكون الخشب الصفائحي متجانساً، وكلّ رقائقه من صنف المتانة ذاته للخشب، أو يكون مركّباً تستعمل فيه الرقائق ذات صنف المتانة الأضعف في مركز الوحدة. يبيّن الجدول 12.4 الأصناف الأوروبية للمتانة بالنسبة لكلا البديلين، وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 1194: 1999). الخشب الرقائقي المصنّع من خشب البيسية أو الصنوبر وراتنجات الفينوليك أو اليوريا/ ميلامين فورمالدهيد يحقّق عادةً تقويم الصنف الأوروبي لأداء الحريق في الظروف الموصوفة في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) الصنف D الخاضع للاختبار.

الجدول 12.4 أصناف المتانة وفقاً للمعيار (BS EN 1194:1999) للخشب الصفائحي المغرّى المتجانس والمختلط

صنوف المتانة للخشب الملصق	GL24	GL28	GL32	GL36
الخشب الصفائحي المُلصق المتجانس: صنف متانة الصفائح	C24	C30	C40	
الخشب الصفائحي الملصق المختلط:				
صنف متانة الصفائح الخارجية	C24	C30	C40	
صنف متانة الصفائح الداخلية	C18	C24	C30	

الأشكال

يمكن أن تصنّع المقاطع عادةً بأي حجم وصولاً لأي قياس قابل للنقل، 30 م، بالرغم من أن مجازات تصل لأكثر من 50 m ممكنةٌ. المقاطع المستقيمة ذات القياس المعياري الآنف الذكر هي أجزاء معدّة للخزن لكن القياسات الشائعة تتراوح من 180 x 65 mm إلى 1035 x 215 mm. يمكن أن تُصنع المقاطع بناءً على الطلب، بشكل خطّي أو منحنٍ منتظم أو غير منتظم. تُصنّع غالبية بُنى الخشب الصفائحي من الخشب الطري، مثل الخشب الأحمر أو الأبيض الأوروبي (السوّيد)، مع أن الأضلاع المكوّنة ضمن بنية السقف في حاجز الفيضان على نهر التايمز (Thames Flood Barrier) (الشكل 26.4) صنعت من الخشب القاسي

الأفريقي الغربي، الإيروكو (Iroko). ويبين الشكل 27.4 أقواساً وأعمدة وإطارات بابيّة من الخشب الصفائحي النموذجي كمولّدات لأشكال بنيويّة. يمكن تحسين الخصائص الجماليّة للخشب الصفائحي بتطبيق إنهاءات خشب داخليّة أو خارجيّة مناسبة. يمكن لأجهزة التثبيت والوصلات الفولاذية أن تكون واضحة للناظر (الشكل 27.4) أو غير مرئيّة تقريباً (الشكل 28.4) باستعمال وسائل ووصلات فولاذية مثبّتة ببراغٍ. يكون أداء الخشب الصفائحي بشكل قابل للتنبؤ به في ظروف الحريق بمعدل تفحّم 40 mm في الساعة كما هو محدّد في المعيار البريطاني (BS 5268:4-1: 1978). تعدُّ المعالجة الحافظة ضرورية عندما تستعمل المادة في ظروف يمكن أن يتجاوز محتوى الرطوبة فيها 20%. ترتبط أصناف الاستخدام الثلاثة للمباني المغرّاة بالظروف البيئية.

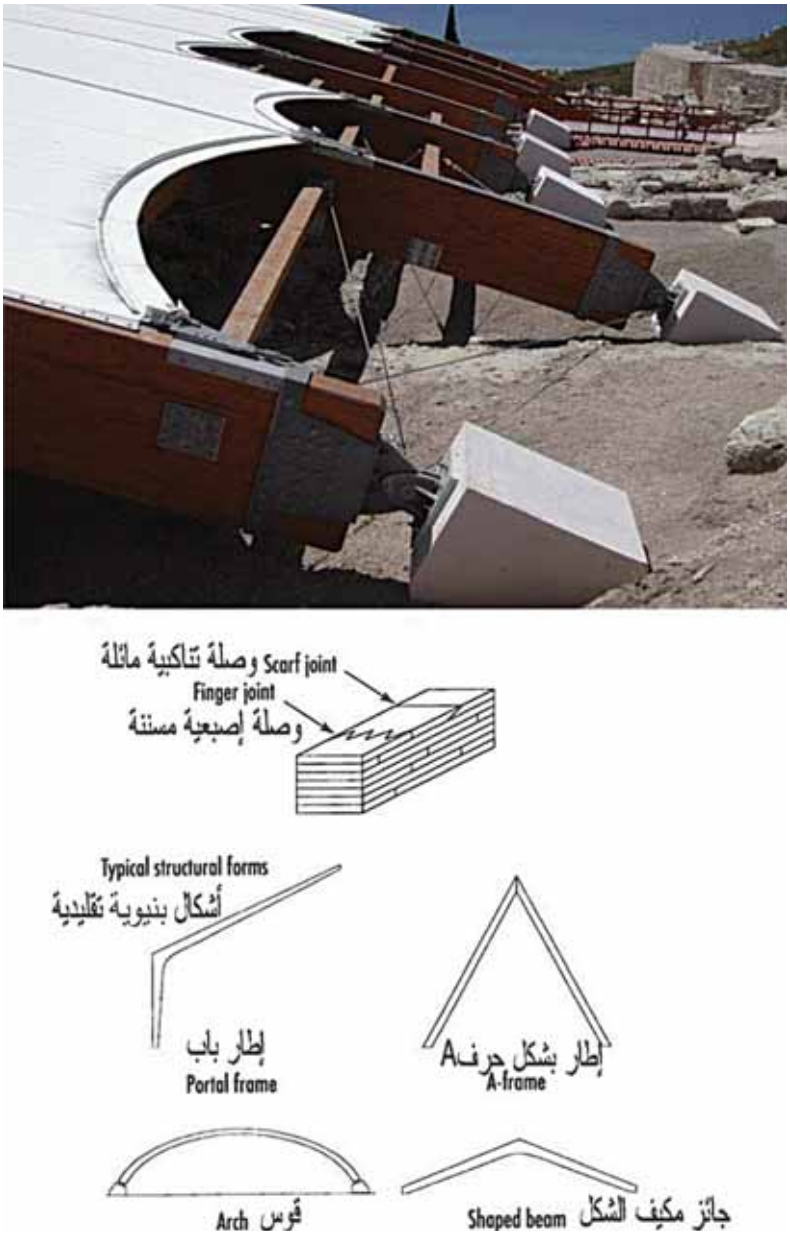
(الشكل 26.4) حاجز الفيضان على نهر التايمز، لندن.

أصناف الاستخدام للأجزاء المغرّاة

صنف الاستخدام 1 الظروف الداخلية مع تدفئة وحماية من الرطوبة (محتوى الرطوبة النموذجي أقل من 12%).

صنف الاستخدام 2 محمي، ولكن من دون ظروف تدفئة (محتوى الرطوبة النموذجي أقل من 20%).

صنف الاستخدام 3 معرض لعوامل الطقس (محتوى الرطوبة النموذجي أكبر من 20%).



(الشكل 27.4) عوارض من الخشب الصفائحي الملصق.

(الشكل 28.4) تفصيلة وصلة معدنية لعارضة من الخشب الصفائحي.

الخشب الصفائحي المتصالب

الخشب الصفائحي المتصالب CL شبيه بالخشب المعاكس التقليدي ما عدا كون الصفائح أكثر سمكاً، وسماكات الألواح هي عادةً بين 50 و 300 mm. بالرغم من أنه يمكن إنتاج ألواح بسماكة 500 mm. أمّا مقاس اللوح الأقصى فمحكوم بإمكانات النقل التي هي عادة 13.5 x 3 m، غير أن حدّ الإنتاج هو 20 x 4.8 m. وتصنّف الألواح المصنّعة من خشب البيسية أو الأركس أو الصنوبر بجودة السطح المسوّى أو المرمّل.

تصنيف جودة السطح للخشب الصفائحي المتصالب:

الصنف C	الدرجة المعيارية (غير ظاهرة)
الصنف AB	الدرجة الداخلية (ظاهرة للقاطنين)
الصنف BC	الدرجة الداخلية (ظاهرة صناعياً)

يمكن إكساء الألواح البنيوية المستعملة في تشكيل الجدران والسقوف والأرضيّات، وهي تغطّى بسهولة بأشغال الآجُرّ أو أشغال التبليط أو الطينة حسب المناسب.

وتعتمد الخصائص الحرارية للخشب الصفائحي المُتصالب على الخشب المستعمل. وتكون الكثافة عادة ضمن المجال 470 ـ 590 kg/ m^3، والكثافة المتوسطة من 500 kg/ m^3، ذات مُعامِل ناقليّة حراري ح مساوٍ إلى W/m^2 K 0.13. ولتحقيق قيمة للإنفاذيّة الحراريّة القيمة U تعادل W/m^2 K 0.35، قد يلزم استعمال ألواح من الخشب الصفائحي المتصالب بسماكة 100 mm، مع فراغ داخلي للخدمة بسماكة 25 mm، ولوح طينة بسمك 12 mm، وإكساء خارجي من أشغال الآجُرّ المعياريّ مع فجوة بسماكة 50 mm، و75 mm من عازل الصوف المعدني أو ما يكافئه حراريّاً. وكذلك يلزم فجوة بتهوية جيّدة للفراغ وعازل قابل للتنفّس.

الألواح البنيوية المعزولة

الألواح البنيوية المعزولة (SIPs) هي مكوّنات بناء خفيفة الوزن مسبقة الصنع، تُستعمل للجدران الداخلية والخارجية والأسقف الحمّالة. وعلى عكس الألواح المحشوّة، فإن الألواح البنيوية المعزولة يمكن أن تسند حمولات شاقولية وأفقية لا بأس بها من دون دعامات داخليّة. تُصنّع هذه الألواح من طبقتي واجهة عاليتي الكثافة، تفصل بينهما نواة عازلة خفيفة الوزن. وهذه الطبقات الثلاث مغرّاة بشدّة بعضها ببعض لضمان عملها سويّةً كوحدة بنيوية واحدة. تكون الطبقات الخارجيّة من لوح الفتائل الموجهة المتصالبة (Oriented Strand Board) (OSB)، أو لوح نشارة مغرّاة بالإسمنت أو بمنتجات أساسها الجصّ وتكون بسمك 8 ـ 15 mm. أمّا النواة فتتألّف من رغوة خلويّة جاسئة، مثل البولي يوريثان أو البولي إيزوسيانورات أو رغوة الفينوليك (PF) أو البوليستيرين المتمدِّد أو المبثوق، تعطي سماكة وحدة إجمالية تتراوح بين 70 و250 mm. يتأثر الأداء البنيوي غالباً بالسماكة وبالخصائص الفيزيائية للطبقتين الخارجيتين، ويُحدّد الأداء الحراري بشكل كبير بعرض ومميزات العزل لمادة النواة. كما يمكن أن تستعمل الألواح الكبيرة مثلاً (5.9 m x 2.4 m x 162 m U-value 0.15W /m^2 K) لمبنى من طابقين وفقاً للكود الخاص بالمنازل المستدامة ـ المستوى 3.

تقدّم الألواح البنيويّة المعزولة (نموذجيّاً بعرض 2.1 وارتفاع 4.2) شكلاً يكون فاعلاً للتشييد حرارياً ومحكماً من الهواء، ويمكن نصبه في الموقع بسرعة. والوصلات بين الألواح عادةً من بعض أشكال نظام اللسان والنقرة. ومقدار خفض الصوت بالنسبة للجدران الفاصلة هو 58 ديسيبل بحسب تفاصيل البناء. يمكن أن

يكون الإكساء الخارجي من أشغال الآجُرّ أو ألواح خشبية أو طينة مع ألواح طينة، مثل الإنهاء الداخلي المعياري. يبين الجدول 13.4 معطيات الأداء الحراري النموذجي للألواح البنيوية المعزولة (SIPs). ويعدّ استعمال ألواح العزل البنيوية أحد طرائق التشييد الحديثة (MMC) التي طوّرتها حكومة المملكة المتحدة للتخفيف من هدر الطاقة في المباني الجديدة. وتشكّل الألواح حاليّاً نحو 10% من طرائق تشييد البناء الجديدة.

الجدول 13.4 معطيات الأداء الحراريّ للألواح البنيويّة المعزولة (SIPs)

مادة النواة	مادة الوجه	سماكة اللوح (mm)	الأداء الحراري (W/ m^2K)
رغوة بولي يوريثان	لوح حبيبي مغرّى بالإسمنت	86	28.0
رغوة بولي يوريثان	لوح فتائل موجهة	100	23.0
رغوة بولي إيزوسيانورات	لوح فتائل موجهة	140	22.0

ملاحظة :

معطيات الأداء الحراري (U- القيمة) هي نموذجيّة للألواح البنيويّة المعزولة المذكورة عندما تشيد مع طبقة آجُرّ خارجية وفجوة خالية مهواة بسماكة 50 mm.

الخشب الصفائحي القشري

الخشب الصفائحي القشري (Laminated Vener Lumber) (LVL) (الشكل 29.4)، ويعرف كذلك باسم **الصفائح المكروية** (Microlam)، وهو أكثر اقتصاديّةً من الخشب الصفائحي لأنّ الهدر قليل في عملية إنتاجه. ويُصنع في ثلاث درجات جودة بتجميع فتائل الخشب ولصقها براتنج البولي يوريثان تحت الحرارة والضغط. في إحدى العمليات تشرح الجذوع إلى فتائل خشب مسطحة بطول 300 mm، ثم تُعالج هذه الفتائل بالراتنج وتُصفَّف وتُكبس بالحرارة لتشكل كتلاً (Billets) من الخشب المُعاد تشكيله. ففي العمليّات الأخرى، تُغطّى الفتائل بسماكة 3 mm أو رقائق من قشر الخشب بلاصق مانع للماء وترزم بعضها مع بعض، بحيث تكون أليافها متوازية. بعدئذٍ تُكبس الفتائل أو القشور معاً وتُعالج بالميكروويف لتشكّل

كتلاً أو صفائح من الخشب البنيويّة بطول يصل إلى 26 m. وهذه المادة متعدّدة الاستعمالات وتناسب للاستعمال في الأعمدة أو العوارض أو عوارض السقف الثانويّة أو الجمالونات الشبكيّة، كما يمكن أن تشغّل بالآلات كالخشب المُصمْت تماماً (الشكل 30.4). وتكون العوارض الثانويّة ذات المقطع ـ I، بأجنحة من الخشب الصفائحيّ القشريّ وشبكة من ألواح الفتائل الموجهة المُتصالبة (OSB) مناسبة لتشييد السقوف المستوية والمائلة والأرضيّات. كما تجمع العوارض الثّانوية الخشبية ذات التشبيك المعدني بمراكبة أجنحة من الخشب الصفائحيّ القشريّ وعناصر معدنيّة مضغوطة للشبكة نفسها. وللخشب الصفائحي القشري غير المعالج LVL سطح انتشار لهب من الصنف 3 (BS 476-7: 1997). وهناك ثلاث درجات من الخشب الصفائحي القشري مصنفة في المعيار (BS EN14279: 2004) طبقاً لمدة بقائها صالحة للخدمة في شروط جافّة ومكشوفة.

(الشكل 29.4) الخشب الصفائحي القشري.

(الشكل 30.4) بناء من خشب صفائحي قشري (Finnforest Office, Boston, Lincolnshire).

درجات جودة الخشب الصفائحي القشري:

الغاية / التحميل	الشروط البيئية	النوع
حمّال	جاف (صنف الاستخدام 1)	LVL/1
حمّال	رطب (صنف الاستخدام 2)	LVL/2
حمّال ـ شروط خارجية (خاضع للاختبار أو الإنهاء المناسب)	خارجي (صنف الاستخدام 3)	LVL/3

ملاحظات :

أصناف الاستخدام هي وفقاً للمعيار (BS EN 1995-1-1: 2004).

يجب أن يعلّم الخشب الصفائحيّ القشريّ للتطبيقات البنيوية بالعلامة 'S' من أجل الاستعمال البنيوي والعلامة 'G' من أجل الاستعمال العام بحسب (pr BS ISO 18776).

هياكل أحاديّة القشرة

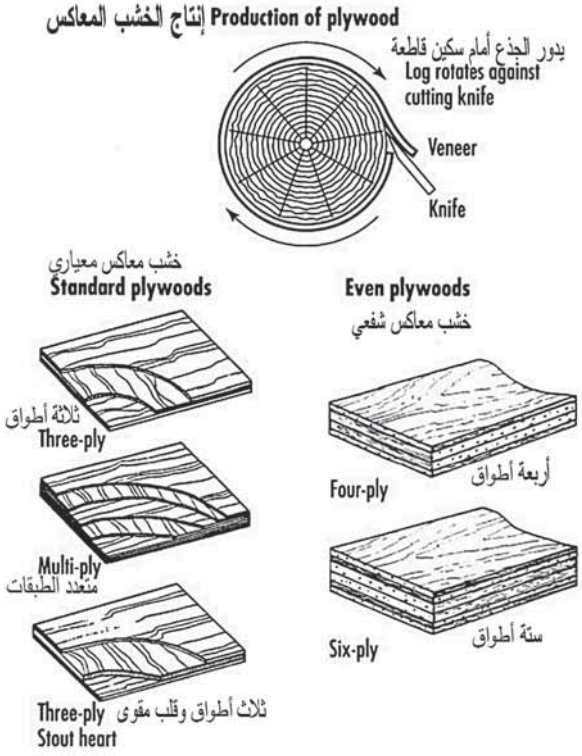
يمكن إقامة أشكال مبانٍ مثيرة ومبتكرة باستعمال الخشب الصفائحيّ القشريّ (وغيره من منتجات الخشب) لتشييد أشكال مسطحة أو محنيّة من البنى الأحاديّة القشرة. وهذه تعمل وِفق مبادئ راسخة مستوحاة من صناعة المحرّكات، حيث تعمل فيها قشرة الجسم الصلب بالتناغم مع أيّ مدعمات لتشكيل الهيكل. بالاستفادة من هذه التقنية، فإنّه يمكن إنتاج أشكال فاعلة بنيويّاً وجذّابة، ويمكن أن تكون نحيلة أو مستدقّة الطّرف أو مسطحة أو محنية، نظراً لتوفره بمقاطع كبيرة جداً فقد غدا الخشب الصفائحيّ القشريّ في وقت قصير، مادّة مهمّة تكمل المنتجات الأكثر رواجاً كالخشب المُعاكس وألواح الفتائل الموجّهة المتصالبة والخشب المغرّى.

الخشب المعاكس

التصنيع

يُصنّع الخشب المعاكس بتطبيق عدّة طبقات رقيقة، من الخشب بعضها فوق بعض وصولاً إلى السّماكة المطلوبة. يتمُّ تليين جذع الخشب بالماء أو بالمعالجة بالبُخار، ويُدوّر قبالة سكين بطوله فتقشّره إلى قشور أو رقائق بسماكة ثابتة (الشكل 31.4). بعد ذلك تُقطع الصفائح الرقيقة بالمقاس المُراد وتُجفّف وتلبّس بلاصق قبل تجميعها في طبقات وصولاً إلى عدد الطبقات المطلوب. غالباً ما تكون سماكة الطبقات غير متساوية، لذلك تستعمل الطبقات الأكثر سماكةً، ومن درجة الجودة الأدنى، في النواة. لكن يجب أن تُوازن الرقائق حول المركز لمنع التشوّه الذي تسبّبه الحركات التفاضليّة. تُركّب الصفائح عادة بعضها فوق بعض بحيث تكون اتجاهات الألياف للطبقات المُتجاورة متعامدة مع بعضها للحصول على مقاومة منتظمة ولتخفيض حركة الرطوبة الإجماليّة، بالرغم من أنه حتّى في الخشب

المعاكس المنتظم تكون اتجاهات ألياف زوج الصفائح المركزي متوازية. تُعالج طبقات الصفائح والغراء في مكبس ساخن، ثم تنعم سطوحها بالرمل، وتقصّ بأبعاد معيارية تمهيداً لتغليفها. يمكن تطبيق قشور زخرفيّة من الخشب القاسي أو طبقة من اللدائن على أحد وجهي اللوح أو على كليهما. إنّ معظم الخشب المعاكس المستورد إلى المملكة المتحدة مصنوع من الخشب الطّري (غالباً من الصنوبر أو البيسية) من أميركا الشمالية أو الدول الإسكندينافية. كميات أقل من الخشب المعاكس تنتج من الخشب القاسي في المناطق المعتدلة ويتمُّ استيرادها من فنلندا (البتولا) ومن ألمانيا (الزان)، في حين تستورد منتجات الخشب القاسي المدارية من إندونيسيا وماليزيا وأميركا الجنوبية وأفريقية. ويصنّع الخشب المعاكس الخيزراني من نواة من ألياف مضغوطة بإحكام مع قشور خيزرانية على الوجهين. ويطلى باللكر (Lacquer)، ولكن لا يجوز استعماله خارجياً من دون معالجة حافظة مسبقاً لأنَّ الخيزران بطبيعته الأساسية لا يتمتّع بالديمومة.



(الشكل 31.4) تصنيع وأنواع الخشب المعاكس المعياري.

قياسات اللوح المعيارية 1220 mm x 2440، وقد ينتج بعض المصنعين ألواحا قياساتها حتى 1525 mm x 3050 أو حتّى أكبر من ذلك بقليل. وتتراوح سماكة اللوح للاستعمال في التشييد العادي بين 4 mm وحتّى 25 mm، مع أنه تتوافر ألواح أرقّ نزولاً حتى 5.1 mm لأغراض خاصة.

في ظلّ التصنيف الأوروبي للحريق لمواد البناء (BS EN 13501-1: 2007)، فإنّ ألواح الخشب المعاكس غير المعالجة تحقّق عادةً تقويماً للصنف هو الصنف D-s2,d0، باستثناء استعماله كأرضيات حين يكون التقويم هو الصّنف (DFL-s1) (اعتماداً على سماكة دنيا 9 mm وكثافة دنيا 400 kg/ m^3 ومثبّتة على أساس تحتي غير قابل للاحتراق [الصنف A1 أو A2] من دون فجوة هوائيّة. ترتبط التصنيفات الثانوية 's' و 'd' بإصدار الدخان وقطيرات اللّهب).

درجات الجودة

يصنف الخشب المعاكس طبقاً لمظهره العام وخصائصه الفيزيائية (BS EN 313-1: 1996). والخصائص المفتاحيّة هي شكل البنية والديمومة وطبيعة السطح. تحدّد ديمومة الخشب المُعاكس بشكل كبير بواسطة صنف الربط للمادّة اللاصقة المستعملة. ويراوح هذا من الصنف 1 وحتّى الصنف 3 الأكثر ديمومةً (BS EN 314-2: 1993)، الذي يمكن أن يستعمل خارجياً من دون أن تتفكّك طبقاته، شريطة أن يكون الخشب نفسه يتمتّع بالدّيمومة أو محميّاً بشكل مناسب من التدهور.

أصناف الرّبط للخشب المعاكس:

الصنف 1 شروط جافة (مناسب للاستعمال الداخلي).

الصنف 2 شروط رطبة (تطبيقات خارجيّة محميّة، خلف الإكساء الخارجي أو تحت تغطيات السقوف على سبيل المثال).

الصنف 3 شروط خارجية (معرض لعوامل الطقس لمدة طويلة).

تعدُّ راتنجات الفينول فورمالدهيد الأكثر استعمالاً في الخشب المعاكس الأكثر ديمومةً. أمّا الخشب المعاكس البحري (BS 1088-1: 2003) فهو مركّب من خشب متوسّط الديمومة مغرّىً براتنج الفينوليك أو الميلامين ـ فورمالدهيد. والخشب المُعاكس البحري المعياري مناسب للرطوبة المنتظمة أو التعرّض الدائم للماء المالح أو العذب. تُلصَق الدرجات الأدنى من الخشب المعاكس براتنجات

الميلامين ـ يوريا فورمالدهيد أو يوريا فورمالدهيد. والعلاقة بين الديمومة الطبيعية للخشب ضدّ الفطريات المخرّبة للخشب وصنف الاستعمال الذي يمكن أن يُنسب إليه الخشب المعاكس موصّفة في المعيار (DD CEN/TS 1099: 2007).

تتأثر جودة الخشب المعاكس كذلك بعدد طبقاته [رقائقه] للحصول على سماكة معينة، وظروف سطح الطبقة الخارجية التي تتراوح من القريب من الكمال مروراً بالعيوب الظاهرة التي تمّ إصلاحها إلى الكثير العيوب. وتتوافر معالجات تطبّق مصنعيّاً لتحسين ديمومة الخشب ومقاومته للحريق.

يوصّف المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 635: 1995) خمسة أصناف للعيوب المسموح بها (من E وI وحتى IV)، وفقاً لتناقص جودة مظهر السطح؛ فالصنف E هو من دون عيوب على سطحه عملياً. وهي تتعلّق بالخشب المعاكس الذي سطحه من الخشب القاسي والخشب الليّن في المعيار (BS EN 635: 1995) الجزء 2 والجزء 3 على التوالي.

ويحدِّد المعيار (BS EN 636: 2003) مواصفات أداء الخشب المعاكس الذي سيستعمل في ظروف الرطوبة أو الجفاف، أو خارجياً، مقابل معايير مقاومة الترابط والديمومة بالنسبة إلى التحلّل البيولوجي.

ظروف صنف الاستعمال البيولوجي (الصنف الخطر سابقاً) لاستعمال الخشب المعاكس:

صنف الاستعمال 1 ظروف جافة (محتوى الرطوبة الوسطي أقل من 10%).

صنف الاستعمال 2 ظروف رطبة (محتوى الرطوبة الوسطي أقل من 18%).

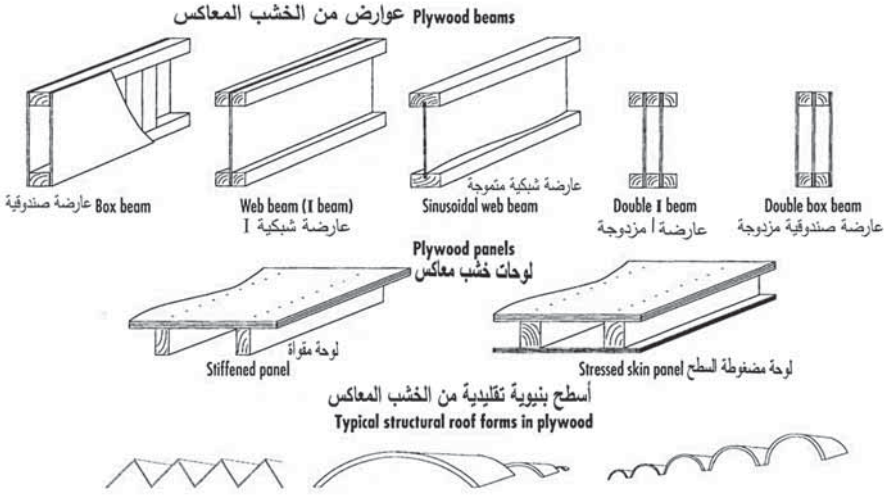
صنف الاستعمال 3 ظروف خارجية (محتوى الرطوبة الوسطي أكبر من 18%).

وتوافق أصناف الاستعمال البيولوجية هذه أصناف الاستخدام في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 1995-1-1: 2004).

كذلك يتضمّن المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 636: 2003) نظام تصنيف يعتمد على متانة، وصلابة الخشب المعاكس بناءً على اختبارات الحني. يصنف الخشب المعاكس بناء على كود من أربعة أجزاء يحدّد متانة ومعامل الحني بالاتجاهين الطولي والعرضي. ويجب أن توسم ألواح الخشب المعاكس طبقاً لاستعمالها المزمع، فللاستعمال البنيوي بـ 'S' وللاستعمال العام بـ 'G'.

الاستعمالات

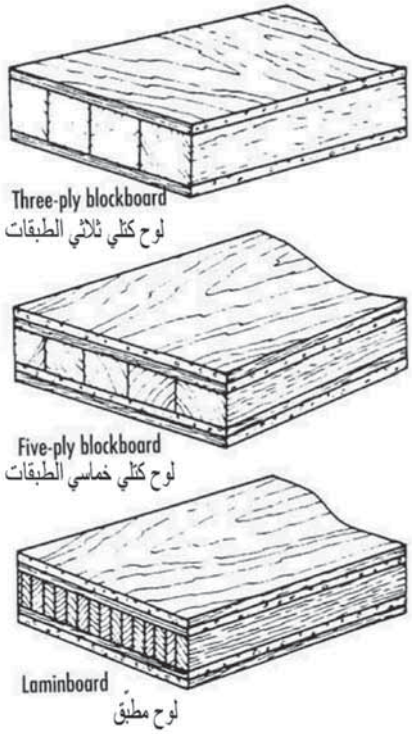
تستعمل كميات كبيرة من الخشب المعاكس في صناعة البناء لمتانته وتعدّد استعمالاته وخواصه البصريّة. ويُستفاد من متانة الخشب المعاكس في القص لصناعة عوارض الخشب المعاكس ذات المقطع الصندوقي، والعوارض ذات المقطع ـ I التي يشكّل الخشب المعاكس فيها الشبكة الأساس. ويمكن توليد جساءة زائدة بتشكيل الخشب المعاكس في شبكة متموّجة. ويمكن أن تصنع العوارض الصندوقية من الخشب المعاكس لإنشاء السقوف المائلة أو المقوّسة كما في الشكل 32.4. أمّا الألواح السّطحيّة المقوّاة والمجهدة، التي يُلصق فيها الخشب المعاكس والخشب الليّن بشكل متواصل ليعمل كعوارض حرف I أو T، فتغطي مجازات أكبر، كهياكل الأرضيّات، من العوارض الثّانويّة من الخشب الطريّ التقليدي بالعمق نفسه مع ألواح مثبّة عليها بمسامير. كذلك يمكن أن تستعمل مثل هذه الوحدات البنيوية لتشكيل السقوف المائلة أو لتشكيل هياكل السقوف ذوات الطيّات أو المقوّسة (الشكل 32.4). كثيراً ما يستعمل الخشب المعاكس بسمك 8 ـ 10 mm كمادة تغطية في الهياكل الإطارية الخشبيّة، وفي أشكال الأسقف المعقّدة مثل القِباب. تستعمل المواد المتدنية الجودة من الخشب المعاكس على نطاق واسع كقوالب لصبِّ الخرسانة في الموقع.



الشكل 32.4 الاستعمال البنيوي للخشب المعاكس

الخشب المعاكس ذو النواة

منتجات الخشب المعاكس ذي النواة المعياري هي اللوح الكتلي واللوح الرقائقي. يصنع كلا النوعين من نواة من شرائح الخشب الليّن محشوة عادةً بين طبقة أو طبقتين (الشكل 33.4). ويتراوح عرض شرائح النواة في اللوح الكتلي بين 7 و30 mm، لكنَّ عرضها في اللوح الرقائقي وهو الأكثر تكلفة يقلُّ عن 7 mm، وهي مغرّاة بكاملها بشكل متواصل. وكما هو الحال في الخشب المعاكس، تكون اتجاهات الألياف متعامدةً من طبقة إلى أخرى. معظم الخشب المعاكس ذي النواة مغرّى بلواصق من يوريا فورمالدهيد مناسبة للتطبيقات الداخلية فقط. يبلغ قياس اللوح المعياري 1220 × 2440 بسماكة تتراوح من 12 إلى 25 mm، بالرغم من توفّر ألواح أكبر بسماكة تصل إلى 45 mm. يمكن إنهاء اللوح الكتليّ بطيف واسع من الخشب الزخرفي أو الورق أو القشر اللدائني/ البلاستيكي للاستعمال في الأثاث الثابت. وهناك أنواع مختلفة عن المنتجات المعيارية، منها الخشب المعاكس مع رغوة الفينوليك أو بوليستيرين أو نواة من لوح نشارة الخشب.



(الشكل 33.4) الخشب المعاكس ذو النواة.

الألواح الحبيبيّة

تعرّف الألواح الخشب الحبيبية على أنها مواد لوحيّة تنتج من حبيبات الخشب أو الكتّان أو القنب أو غيرها من المواد السيلولوزية الخشبية تحت الضغط والحرارة. ويمكن أن تكون حبيبات الخشب على شكل قشور مسطّحة صغيرة بسماكة موحّدة، وبأبعاد محدّدة مسبقاً (Flakes) أو حبيبات صغيرة ناتجة من خراطة الخشب أو شرائح خشب متوسطة القياس، أو حبيبات ناعمة ناتجة بشكل عرضي من القطع والسحج والحفر والصّنفرة بالمنشار والأدوات الأخرى نشارة أو رقاقات أو فتائل (BSEN309: 2005). ويمكن أن تكون الألواح منتظمة البنية خلال سماكتها أو من متعددة الطبقات. تصنع ألواح نشارة الخشب والألواح الحبيبية المغرّاة بالإسمنت من شريحات خشبية مع راتنج ورابط إسمنتي على التوالي. أما لوح الفتائل الموجهة المتصالبة فيصنع من قشور خشب كبيرة ويُصنف في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 300: 2006).

ألواح الشرائح الخشبية (ألواح نشارة الخشب)

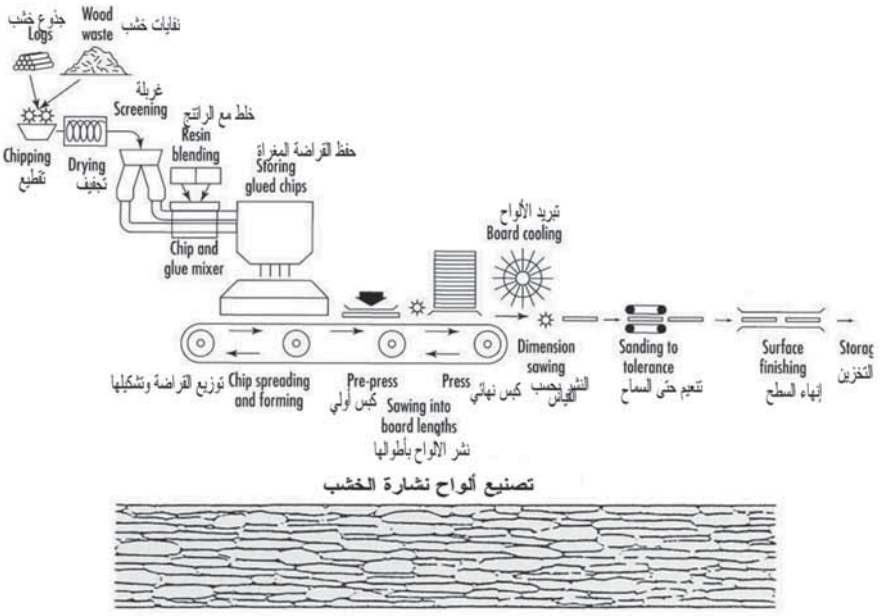
التصنيع

تُصنع ألواح نشارة الخشب من نفايات الخشب أو نفايات تشذيب أشجار الغابة التي تُحوّل إلى شرائح خشب، ثم تُجفّف وتُدرّج بحسب حجمها. تغطى الشرائح بلاصق بنسبة 8% من وزنها تقريباً ثم تُشكّل إلى ألواح (الشكل 34.4). تشكّل شرائح الخشب إمّا عشوائياً فتعطي ألواحاً بمقطع عرضي منتظم أو توزّع بحيث تكون المادة الخشنة في المركز والشرائح الأنعم عند السطح للحصول على منتج أكثر نعومة. بعد ذلك تضغط الألواح وتعالج بالحرارة بين صفيحتي مكبس بدرجة حرارة 200 °C. تقصّ الألواح في النهاية وتنعّم سطوحها، ثم تُرزم. في عملية معالجة تنتج شريطاً متواصلاً من لوح نشارة الخشب بسماكة 3 ـ 6 mm بصقل المزيج حول مدحرجات حارة.

القياسات المعيارية للألواح هي 2440 x 1220 mm و 2750 x 1220 mm و 3050 x 1220 mm و 3660 x 1220 mm، مع سماكة أكثر شيوعاً تتراوح بين 12 mm و38 mm، مع أنه تتوافر ألواح بقياسات أكبر وسماكات بدءاً من 5.2 mm.

تصنع ألواح نشارة الخشب بالبثق من طريق بثق مزيج من شرائح خشبية وراتنج عبر قالب إلى لوح متواصل، لكن في هذه الطريقة توجّه شرائح الخشب

غالباً بزاوية قائمة بالنسبة إلى وجه اللوح، فتتولد بذلك مادة أضعف. تصنّف ألواح نشارة الخشب المشكلة بالبثق في أربع درجات جودة وفقاً لكثافتها، وفيما إن كانت مصمتة أو تتخللها تجاويف أنبوبية.



تصنيع ألواح نشارة الخشب

(الشكل 34.4) صنع ألواح نشارة الخشب وأنواعها المعيارية.

الأنواع

تعتمد ديمومة ألواح الخشب الحبيبية على اللاصق الراتنجي. يُستعمل كثير من إنتاج المملكة المتحدة راتنج اليوريا فورمالدهيد، مع أنّ الأصناف المقاومة للرطوبة تُصنع براتنج الميلامين ـ يوريا فورمالدهيد أو الفينول فورمالدهيد. تقسّم الواح الخشب الحبيبيّة إلى سبعة أنواع مرمّزة بالألوان وفقاً للمعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 312: 2003) وبحسب الأحمال المتوقّعة والشروط البيئية. يحدّد المعيار متطلبات الخصائص الميكانيكية وقابلية الانتفاخ وكذلك انبعاث الفورمالدهيد. ويحدّد رمز لوني الأول التحميل، واللون الثاني يحدد شروط الرطوبة.

درجات جودة ألواح الخشب الحبيبية :

الغاية/ الحِمل	الشروط البيئيّة	الرموز اللونيّة		النوع
استعمال عام	جافة	أبيض، أبيض	أزرق	P1
تركيبات داخلية	جافة	أبيض	أزرق	P2
غير حمّال	رطبة	أبيض	أخضر	P3
حمّال	جافة	أصفر، أصفر	أزرق	P4
حمّال	رطبة	أصفر، أصفر	أخضر	P5
ذو تحمّل عالٍ، حمّال	جافة	أصفر	أزرق	P6
ذو تحمّل عالٍ، حمّال	رطبة	أصفر	أخضر	P7

درجات جودة الألواح الحبيبيّة المشكلة بالبثق:

ES مصمت مبثوق: لوح بكثافة دنيا 550 kg/m^3.
ET أنابيب مبثوقة: لوح بكثافة مصمتة دنيا 550 kg/m^3.
ESL مصمت مبثوق خفيف: لوح بكثافة أقل من 550 kg/m^3.
ESL أنابيب مبثوقة خفيفة: لوح بكثافة مصمتة أقل من 550 kg/m^3.
(يجب أن تكون للدرجة ET مادة فوق التجاويف بسمك 5 mm على الأقل.

إنَّ ألواح نشارة الخشب المعيارية ماصّة للرطوبة وتستجيب لتبدلات الرطوبة. وإن تغيّراً قدره 10% في الرطوبة سيزيد عادة في طول اللوح وعرضه بنسبة 0.13% وفي سماكته بنسبة 3.5%. كما يجب أن لا تتعرّض الأصناف الجافّة من هذه الألواح إلى الرطوبة حتى في أثناء التشييد. أمّا الأصناف التي تتحمّل الرطوبة فهي مقاومة للترطيب العارض والرطوبات النسبية التي تزيد على 8.5%. وعلى كلّ حال، لا يجوز تعريض أيّ لوح من نشارة الخشب لترطيب طويل الأمد، لأنّ هذه الألواح كلها عرضة لهجوم الفطريات الرطب.

كلّ ألواح نشارة الخشب غير المعالجة هي من الصنف 3 في ما يتعلّق بانتشار اللهب (BS 476-7: 1997). غير أنّه يمكن معالجتها بحيث تحقّق متطلّبات الصنف 1 بإضافات كيميائيّة أثناء التصنيع، أو تشريبها بها، أو استعمال دهانات انتفاخيّة. كما يمكن كذلك الارتقاء بها إلى الصنف 0. إنَّ تقويم الأداء الأوروبيّ للحريق في الشروط الموصّفة في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) بالنسبة

لألواح نشارة الخشب غير المعالجة وذات الكثافة الدنيا 600 kg/m^3، وسماكة دنيا 9 mm هو الصنف D-s2, d0 بالنسبة للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف D_{FL}-s1, d0 بالنسبة للأرضيّات.

ثمّة مجال واسع من إنهاءات قشر الخشب، المؤسس/ المطلي، والورق واللدائن (بي في سي أو فيلم من الفينول أو الميلامين غالباً) متوفرة كمنتجات معيارية. كما أنّ القياسات المقصوصة سلفاً متوافرة بالحواف المناسبة. يمكن أن تكون ألواح نشارة الخشب المصنفة للأرضيات المنزلية، بسمك 18 أو 22 mm عادة، مربّعة الحواف أو ملسّنة أو محزّزة [ذات مجراية]. تكون أصناف الأرضيات الصّناعيّة عادة بسماكة 38 mm فما فوق.

الاستعمالات

تستعمل كميات كبيرة من ألواح نشارة الخشب في صناعة الأثاث. يُصنع كثير من الأثاث المسطح الوجوه (Flat-Pack) المصنوع يدوياً من ألواح نشارة الخشب الملبسة بالقشرة أو المدهونة. ويمكن وصل ألواح النشارة بشكل فاعل باستعمال لوالب ألواح النشارة الخشبية المزدوجة الأسنان ولوازم تركيب خاصة متنوّعة. ففي الأماكن التي يتوقع أن تكون مرتفعة الرطوبة يجب استعمال الألواح من الصنف المقاوم للرطوبة. يستعمل سوق المنازل المحلّي كميات كبيرة من ألواح نشارة الخشب المصنفة للأرضيات لأنها منافسة من حيث الأسعار مقارنة مع الخشب الطري التقليدي الملسن والمحزّز. ويجب أن تكون مراكز العوارض الثانوية على مسافة 450 و610 mm كحدّ أقصى بالنسبة للألواح التي سمكها 18/ 19 و22 mm على التوالي. ويجب أن تكون الحوافّ ملسنة ومحزّزة أو مسنودة بالكامل، وقياس اللوح المعياري 2400 × 600 mm. أمّا الأرضيّات المخصّصة للأعمال المجهدة وكذلك أرضيات الأسطح المستوية، وأشغال التشييد فيجب أن يستعمل لها الصنف البنيوي المُقاوم للرطوبة. توفر ألواح نشارة الخشب المطليّة بفيلم من الفينول بديلاً مناسباً للخشب المعاكس كقوالب للخرسانة.

ألواح النشارة المغرّاة بالإسمنت

التصنيع

تصنع ألواح النشارة المغرّاة بالإسمنت من خليط من حبيبات الخشب أو أليافه (الخشب الطريّ عادةً) والإسمنت. لهذه الألواح، التي لونها رمادي فاتح، سطحٌ

إسمنتي منتظم. تحتوي المادة حتى 75% وزناً إسمنت، مع ملء الإسمنت لكل الفراغات الهوائيّة، والمنتج هو مادة كثافتها 1000 ـ 1250 kg/ m^3 (مقارنة مع 650 ـ 690 kg/ m^3 للألواح النشارة المعيارية).

الأنواع والاستعمالات

للمادّة التي أساسها الإسمنت البورتلاندي، مقاومة جيّدة للحريق والماء وهجوم الفطريات والصّقيع. يحدّد المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 634-2: 2007) درجة جودة واحدة فقط، وهي مناسبة للاستعمال داخليّاً وخارجيّاً. ويجب أن يُرمز إليها بلون أبيض (غير حمّالة)، وبلون بني (مناسبة للظروف الجافة والرطبة والخارجية) مع أشرطة شاقولية بعرض 25 mm بالقرب من إحدى زوايا اللّوح. وضمن هذه الدرجة الوحيدة هناك صنفان تقنيان 1 و2 يتعلّقان فقط بمُعامِل المرونة في حالة الحني. يشير المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 633:1994) إلى كلٍّ من الإسمنت البورتلاندي والإسمنت الذي أساسه المغنيزيوم. وتستعمل ألواح النشارة المغرّاة بالمغنيزوم كألواح تبطين لكنّها ليست مقاومة للصقيع وغير صالحة للاستعمال في الظروف الرطبة.

كثيراً ما تكون نواة الألواح من كسارة الخشب الخشنة محشوّة بين مادة أنعم منتجةً إنهاءً جيّداً، يمكن أن تعالج في ما بعد بتنعيمها وطليها بأساس. تمتلك ألواح النشارة المغرّاة بالإسمنت، بسبب كثافتها، خواصاً جيّدة للعزل الصوتي. يعطي لوح بسماكة 18 mm تخفيضاً للصوت يتراوح عادة بين 31 و33 ديسيبل. كثيراً ما تستعمل هذه المادة لتغطية الجانب السفلي المرئي للأسقف وللإكساء الخارجي وللتسقيف، على كل من المباني النمطية والمباني ذات الهيكل الخشبي، وخاّصة حين تلزم مقاومة الحمولات. تعد الأصناف الأثقل، عادةً تلسن وتحزز، مناسبة للأرضيات لمقاومتها للرطوبة والماء والحريق والصدم والأصوات التي ينقلها الهواء.

هذه المادة من الصنف 0 للانتشار السطحي للّهب وفقاً لأنظمة المباني (Class 1 to BS 476: Part 7:1997). وتقويم أداء الحريق في التصنيف الأوروبي في الظروف الموصوفة في المعيار الربيطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) لألواح النشارة المغرّاة بالإسمنت بسماكة 10 mm هو الصنف (B-s1, d0) للألواح غير المعدّة للاستعمال في الأرضيّات، والصنف (BFL-s1) من أجل الأرضيّات.

قياسات الألواح عادة هي 2440 x 1200، أو 2600، أو 3050 mm، بسماكات معياريّة 12 و 18 mm، بالرغم من تصنيع ألواح بسماكة تصل إلى 40 mm. لكن بسبب كثافة المادّة يزن اللّوح الواحد من قياس 12 mm x 2440 x 1200 ما يقارب 45 كغ، ويجب أن لا يرفعه عامل واحد لوحده.

ألواح النشارة المغرّاة بالجص

ألواح النشارة المغرّاة بالجص متوافرة بسماكات 6 mm فما فوق. وهي بديل لألواح البناء المتعدّدة الاستعمالات. وهي غير مشمولة في مجال المعيار (BS EN 633: 1994.).

ألواح الفتائل الموجّهة المُتصالبة

التصنيع

تصنع ألواح الفتائل الموجّهة المتصالبة من جذاذات خشب صغيرة قياسها 35 mm x 75 تقريباً وبسمك 0.5 mm مقطوعة مماسيّاً. تجفَّف الجذاذات وتُطلى بالشمع مع 2.5% من راتنج الفينول فورمالدهيد أو ميلامين ـ يوريا فورمالدهيد. يمدُّ الخليط على ثلاث طبقات أو أحياناً على خمس طبقات بحيث تكون الفتائل موازية للّوح على الوجوه الخارجية ومُتصالبة، أو موزّعة عشوائياً داخل الطبقة الوسطى. بعد ذلك تعالج الألواح بالحرارة والضغط ثم تنعّم سطوحها وترزم (الشكل 35.4). قياسات الألواح المعيارية هي 2440 x 1220 mm أو 3660 x 1220 mm وتراوح كثافتها عادة بين 600 و680 kg/m^3.

درجات الجودة والاستعمالات

تصنّف ألواح الفتائل الموجّهة المُتصالبة طبقاً للحمولات المتوقّعة والشروط البيئيّة (BS EN 300: 2006). تستعمل كميات كبيرة كتغطية خارجيّة للهيكل الخشبي في المنازل. وتعدُّ الدرجة المقاومة للرطوبة منها مناسبة للاستعمال كألواح تبطين للسقف، في حين تصلح الدرجة ذات المواصفات الأعلى من خصائص المقاومة المحسّنة للأرضيّات والسقوف المستوية. وتستعمل الألواح الأكثر سماكةً للأرضيّات ذات التحمّل العالي، كما أنّ هذه الألواح غالباً ما تستعمل كمادّة الشبكة الأساس في العوارض الخشبية ذات المقطع ـ I. وتصنع ألواح الفتائل الموجّهة المُتصالبة بسماكات تتراوح بين 6 و40 mm. وتصنع في أوروبا من الصنوبر الاسكتلندي

والبيسية؛ غير أنّها تصنع في أميركا الشمالية من الحور الرجراج والصنوبر الجنوبي. وتصنع في المملكة المتحدة وإيرلندا من النفايات الناتجة من تشذيب شجر الغابات المسموح باستعمالها من قِبل مجلس رعاية الغابات.

(الشكل 35.4) لوح شبيكات موجهة، بلاط صوف خشبي، بلاط قش مضغوط.

درجات جودة ألواح الفتائل الموجهة:

الدرجة	الغرض/ الحِمل	الظروف البيئيّة	الرموز اللونيّة	
OSB 1	غرض عام، استعمال داخلي	ظروف جافة (الصنف الاستعمال 1)	أبيض	أزرق
OSB 2	حمّال	ظروف جافة (الصنف الاستعمال 1)	أصفر، أصفر	أزرق
OSB 3	حمّال	ظروف رطبة (الصنف الاستعمال 2)	أصفر، أصفر	أخضر
OSB 4	تحمّل عالٍ، حمّال	ظروف رطبة (الصنف الاستعمال 2)	أصفر	أخضر

ملاحظة: كان صنف الاستعمال للظروف البيئية يُدعى سابقاً صنف الخطر

تقويم التصنيف الأوروبي لأداء الحريق في الشروط الموصوفة في المعيار (BS EN 13986: 2004) بالنسبة إلى لوح فتائل موجّهة غير معالج بسماكة 9 mm وكثافة دنيا 600 kg/m^3 هو الصنف D-s2, d0 للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف (D_{FL} - s1) للأرضيّات.

ألواح الكتّان

التصنيع

تصنّع ألواح الكتان من خليط من 70% على الأقل من جذاذات رقيقة من الكتّان ولاصق. ويمكن إضافة مواد خام أخرى أيضاً ككسارة الخشب ورقائق الخشب ونشارة الخشب. تشكّل الألواح تحت الضغط والحرارة.

درجات الجودة والاستعمالات

يوصّف المعيار (BS EN 15197: 2007) أربعة أنواع من ألواح الكتّان، وفقاً لاستعمالها المتوقّع والظروف البيئيّة.

درجات جودة ألواح الكتّان:

الدرجة	الغرض/ الحِمل	الظروف البيئيّة
FB1	أغراض عامّة/ إملاء	جاف
FB2	غير حمّال/ قشرة	جاف
FB3	غير حمّال/ كسوة داخلية وأثاث	جاف
FB4	غير حمّال	رطب

ألواح الخشب السكريمبر

تصنع ألواح الخشب السكريمبر من النواتج الصغيرة لتشذيب الغابة، وخاصّة أشجار صنوبر راديياتا والحور الرجراج والبتولا واللاركس. يُنزع لحاء الخشب الصغير المقطع، الذي تتروح أقطاره بين 70 و 120 mm، ثم يُسحق ليحوّل إلى شبكة من مادّة ليفيّة مع المحافظة ما أمكن على اتجاه ألياف الخشب. تجفّف هذه المادةّ وتشكّل من جديد مع لاصق تحت الحرارة والضغط لتتحوّل إلى منتج صلب مُصمْت. لألواح الخشب السكريمبر كثير من الخصائص الجيّدة للخشب الطبيعي، بما فيها سهولة تسميرها بالمسامير وإمكانية صنعها بأيّة أبعاد مطلوبة لا يحدّها إلا قياس المكبس. كذلك تصنع هذه الألواح من الخيزران المنسوج.

الألواح الليفيّة

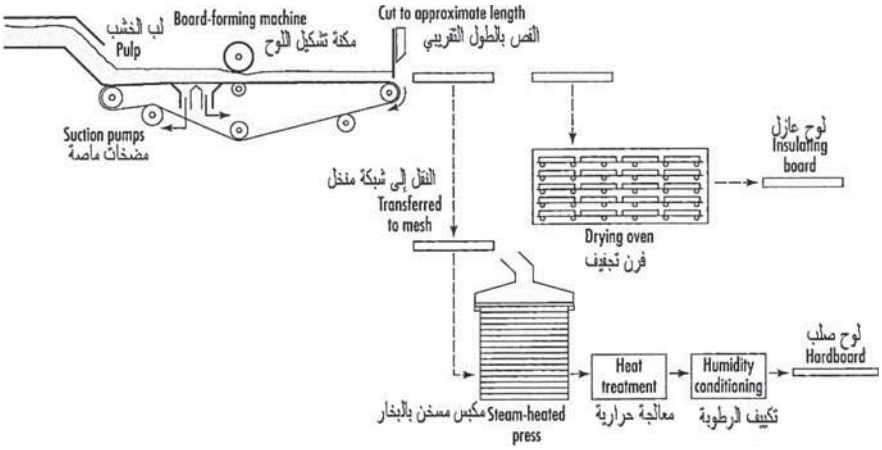
تصنع الألواح الليفيّة من الخشب أو أي ألياف نبات آخر وذلك بتطبيق الحرارة و/ أو الضغط. يتمّ تغرية الألياف بخصائص الالتصاق والتلبّد المتأصّلة فيها، أو بإضافة رابط مركب. في **العمليّة الرطبة** المتبعة في تصنيع الألواح الصلبة والمتوسطة الصلابة والليّنة لا يُضاف أي لاصق إلى ألياف الخشب. أمّا في حالة صُنع الألواح الليفيّة المتوسطة الكثافة (إم دي إف) (MDF) فيستعمل راتنج رابط أثناء عملية الإنتاج.

التصنيع

العملية الرطبة

تُكسّر نواتج تشذيب أشجار الغابة وفضلات الخشب إلى جذاذات ثم تليّن بالبخار الحار. ثم تُطحن الجذاذات لتتحوّل إلى ألياف خشبيّة وتمزج بالماء لتغدو ملاطاً. يُصبُّ الملاط على سير ناقل متحرّك من شبكة من الأسلاك لتخلُّص من

الماء الزائد بالشفط والسحب الخفيف بين أسطوانتين فتتلبّد الألياف بعضها مع بعض. ثم تقطّع اللُفيفة الرطبة الناتجة بالأطوال المطلوبة، وتنقل إلى شبكة من الأسلاك لمتابعة ضغطها ومعالجتها حرارياً والتخلّص من الماء الباقي وإتمام عملية اللّصق. بعد ذلك تكيّف (Conditioned) الألواح حتى الحصول على محتوى الرطوبة الصحيح وتُرزم. يتمّ الحصول على مجالات مختلفة من هذه المنتجات مبدئياً باختلاف درجات الضغط المُطبق عليها في أثناء التصنيع (الشكل36.4).



الشكل 36.4 صنع الألواح الليفية.

العملية الجافة ـ الألواح الليفية المتوسطة الكثافة (إم دي إف MDF)

تشمل عملية تصنيع الألواح الليفيّة المتوسّطة الكثافة إضافة لاصق، عادةً يوريا فورمالدهيد، إلى ألياف الخشب الجافة التي تُمد بعضها فوق بعض بالسماكة اللازمة وتضغط ضغطاً خفيفاً لتغدو كثافتها على الأقل 450 kg./ m^3، ثمّ تقطع إلى أطوال الألواح. تُعالَج الألواح بعد ذلك في مكبس تحت الحرارة والضغط، ثم تشذّب إلى المقاس المطلوب وتُنعّم سطوحها. تتمتع الألواح الليفية متوسطة الكثافة بجودة عالية، مع قابلية الإنهاء بالآلات، وتستعمل اليوم لإنتاج القوالب المختلفة بالإضافة إلى الألواح. يمكن كذلك تصنيع الألواح الزخرفية المكيّفة الشكل بقصّ لوحات إم دي إف بالليزر بحسب تصاميم الزبون. ولأنّ هذه المادة المنتظمة البنية يمكن الوصول بالمقاطع المُصمتة منها إلى أي شكل. لهذا تستعمل على نحو واسع في صنع لوحات الأثاث وكذلك للتطبيقات الحمّالة الداخلية.

لهذه الألواح تسع درجات جودة موصّفة في المعيار (BS EN 622-5: 2006) بحسب الحِمل المتوقع عليها والظروف البيئية. معظم ألواح الـ إم دي إف أساسها راتنج اليوريا فورمالدهيد، ولكن لضمان السلامة تتحكّم معايير مناسبة بشكل صارم في كميّات اليوريا فورمالدهيد المستعملة (BS EN 622-1: 2003). حين تكون المقاومة المحسّنة للرطوبة مطلوبة، يستعمل راتنج الميلامين ـ يوريا فورمالدهيد، لكنّ هذه المادة غير مناسبة للاستعمالات الخارجيّة. يمكن إنهاء الألواح والقوالب من الإم دي إف بأنواع مختلفة من الكسوة بما فيها الدهانات واللكر والتلوين والرقائق البلاستيكيّة وقِشر الخشب ورقائقه.

تتوافر ألواح الإم دي إف الكثيفة (690 ـ 800 kg/ m^3) المقاومة للرطوبة بلون موحّد على كامل سماكتها وبطيف من الألوان وبسماكات من 8 إلى 30 mm. تُصنع هذه المادة من ألياف الخشب المصبوغة بأصبغة عضويّة ثابتة اللون وراتنج الميلامين مع محتوى منخفض من الفورمالدهيد. يمكن تشغيل هذه المادة بالمكنات بالأشكال الزخرفية المرغوبة وبنوعية عالية من إنهاء السطوح ولا تحتاج إلا إلى ختام ليعزِّز الألوان.

درجات جودة الألواح الليفية المتوسّطة الكثافة

الدرجة	الغرض/ التحميل	الظروف البيئية	رموز اللون
MDF	استعمال عام	جاف	أبيض، أبيض أزرق
MDF.H	استعمال عام	رطب	أبيض، أبيض أخضر
MDF.LA	حمّال	جاف	أصفر، أصفر أزرق
MDF.HLS	حمّال	رطب	أصفر، أصفر أخضر
L-MDF	غير حمّال/ استعمال عام	جاف	
L-MDF.H	غير حمّال/ استعمال عام	رطب	
UL1-MDF	غير حمّال/ استعمال عام	جاف	
UL2-MDF	غير حمّال/ استعمال عام	جاف	
MDF.RWH	طبقات تحتيّة جاسئة في الأسقف والجدران		

ملاحظات:

يشير المختصر L-MDF إلى إم دي إف خفيف، أمّا المختصر UL-MDF

فيشير إلى إم دي إف خفيف جداً.
هذه الدرجات هي وفق المعيار (BS EN 622-5: 2006).

اللون الذي يرمز للإم دي إف المخصص للاستعمال الخارجي هو الرمادي.

رمز الإم دي إف المعالج بمؤخِّر للّهب هو اللون الأحمر.

تقويم التصنيف الأوروبي لأداء الحريق في الشروط الموصوفة في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) للـ إم دي إف غير المعالج بسماكة 9 mm بكثافة دنيا 600 kg/ m^3 هو الصنف D-s2, d0 للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف D_{FL}-s1 للأرضيّات.

الألواح القاسية

الألواح القاسية هي الألواح الليفيّة الأعلى كثافة، إذ لا تقل كثافتها عن 900 kg/ m^3. تتراوح ألوان هذه الألواح من البنيّ الفاتح إلى البنيّ الغامق، عادةً بوجه واحد أملس وسطح سفليّ خشن شبكي، بالرغم من توفّر ألواح قاسية، بوجهين ناعمين. قياسات الألواح المعيارية هي 2440 x 1220 حتّى 3600 mm، وكذلك 1700 x 4880 mm، وهناك أيضاً بمقاييس الأبواب. تتراوح السماكة المعيارية من 3.2 إلى 6.4 mm بالرغم من توافر طيف أوسع منها.

يحدّد المعيار (BS EN 622-2: 2004) ست درجات جودة للألواح القاسية وفقاً لخواص تحميل الأحمال والظروف البيئية.

درجات جودة الألواح القاسية:

الدرجة	الغرض/ الحمل	الظروف البيئية	رموز اللون	
HB	استعمال عام	جاف	أبيض، أبيض	أزرق
HB.H	استعمال عام	رطب	أبيض، أبيض	أخضر
HB.E	استعمال عام	خارجي	أبيض، أبيض	بني
HB.LA	حمّال	جاف	أصفر، أصفر	أزرق
HB.LA1	حمّال	رطب	أصفر، أصفر	أخضر
HB.LA2	تحمّل عال، حمّال	رطب	أصفر	أخضر

اللوح القاسي المعياري مناسب للاستعمال الداخلي، وبشكل نموذجي في

الإكساء وتبطين الجدران والأسقف والطبقات التحتيّة في الأرضيات والأثاث. وهناك طيف من السطوح المثقّبة والسطوح المنقوشة وغير الملساء. وتشمل الكسوة المُطبّقة أساساً أوليّاً أو دهاناً ومختلف عروق الخشب المطبوعة ورقائق البي في سي (PVC) والميلامين.

تقويم التصنيف الأوروبي لأداء الحريق في الشروط المحدّدة للمعيار البريطانيّ الأوروبيّ (BS EN 13986: 2004) بالنسبة للوح قاسٍ غير معالج بسماكة 6 mm وكثافة دنيا 900 kg/ m^3 هو الصنف D-s2, d0 للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف D_{FL}-s1 للأرضيّات.

الألواح القاسية المقسّاة

الألواح القاسية المقسّاة المشرّبة بالزيت أثناء التصنيع، هي أعلى كثافة وأقوى من الألواح القاسية المعياريّة، مع مقاومة محسّنة للماء والاهتراء. تتراوح ألوان الألواح القاسية المقسّاة من البُنيّ الغامق إلى الأسود وتزيد كثافتها عادة على 960 kg/ m^3. هذه الألواح القاسية المقسّاة مناسبة للتطبيقات البنيوية والخارجية. ومقاومة القصّ المرتفعة لهذه المادة تجعلها مفيدة للاستعمال في شبكات العوارض البنيويّة الصندوقيّة والجوائز بشكل حرف I. وتشمل التطبيقات الخارجيّة النموذجيّة الإكساءات الخارجية والواجهات وتغطيات الجانب السفلي المرئي للأسقف حيث تكون مقاومة عوامل الطقس مهمة. كما أنّ مقاومة هذه الألواح للرطوبة تجعلها مناسبة لتبطين قوالب الخرسانة.

الألواح المتوسطة القساوة والألواح الطريّة

تصنع الألواح المتوسّطة الطراوة والألواح الطريّة بالطريقة الرطبة. تُبدي الألواح المتوسطة الطراوة (ذات الكثافة العالية والكثافة المُنخفضة) والألواح الطريّة مجالاً من الخصائص الفيزيائية يعكس درجة الضغط المطبق عليها أثناء التصنيع. فالألواح المتوسطة الطراوة العالية الكثافة (كثافتها 560 ـ 900 kg/ m^3) ذات سطح لمّاع بني غامق مثل الألواح الصلبة. أمّا الألواح المتوسطة الطراوة المنخفضة الكثافة (كثافتها 400 ـ 650 kg/ m^3) فهي ذات إنهاء طريّ بلون بني فاتح. لون الألواح الطّريّة (كثافتها 210 ـ 400 kg/ m^3) فاتح مع إنهاء ليفيّ نسيجيّ قليلاً. والألواح الطريّة المشرّبة بالقار مُقاومة للرطوبة أكثر من الألواح غير المعالجة.

يمكن استعمال الأصناف (E) الخارجية المتعددة الاستعمالات للإكساء

الخارجي. أمّا الأصناف الأعلى كثافة (H) فتستعمل لتبطينات الجدران وتغطيات الجدران والقواطع والطبقات التحتيّة في الأسقف والأرضيّات. إذ تستعمل الألواح المتوسطة الطراوة منخفضة الكثافة (L) لتبطينات الجدران وأشغال الإكساء والأسقف ولوحات الإعلان. وتستعمل الألواح الطريّة لخواص عزلها الصوتيّ والحراريّ. أمّا الألواح الطريّة المشرّبة بالبيتومين فهي مناسبة للاستعمال كطبقة تحت ألواح نشارة الخشب في الأرضيّات فوق الخرسانة.

يحدّد المعيار البريطاني (BS EN 622-3: 2004) عشر درجات جودة للألواح المتوسطة ذات الكثافة المنخفضة (L) والكثافة العالية (H) بحسب تحمّلها للأحمال والظروف البيئية.

درجات جودة الألواح المتوسطة:

الدرجة	الغرض/ الحِمل	الظروف البيئيّة	رموز اللون	
MB.L	استعمال عام	جاف	أبيض، أبيض	أزرق
MB.H	استعمال عام	جاف	أبيض، أبيض	أزرق
MBL.H	استعمال عام	رطب	أبيض، أبيض	أخضر
MBH.H	استعمال عام	رطب	أبيض، أبيض	أخضر
MBL.E	استعمال عام	خارجي	أبيض، أبيض	بني
MBH.E	استعمال عام	خارجي	أبيض، أبيض	بني
MBH.LA1	حمّال	جاف	أصفر، أصفر	أزرق
MBH.LA2	عالي التحمل، حمّال	جاف	أصفر	أزرق
MBH.HLS1	حمّال	رطب	أصفر، أصفر	أخضر
MBH.HLS2	عالي التحمل، حمّال	رطب	أصفر	أخضر

تقويم التصنيف الأوروبي لأداء الحريق في الظروف الموصوفة في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) للألواح المتوسطة الطراوة العالية الكثافة غير المعالجة بسماكة 9 mm وكثافة 600 kg/m^3 هو الصنف (D-s2, d0) للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف (D_{FL}-s1) للأرضيّات. وبالنسبة للألواح المتوسّطة الطراوة المنخفضة الكثافة غير المعالجة بكثافة 400 kg/m^3، فإن التقويم المكافئ هو الصنف (E) للاستعمال في غير الأرضيات والصنف (E_{FL}) للأرضيات.

يحدد المعيار (BS EN 622-4: 1997) خمس درجات جودة للألواح الطرية بحسب خواص تحملها للأحمال والظروف البيئية

درجات جودة الألواح الطرية:

الدرجة	الغرض/ الحمل	الظروف البيئية	رموز اللون	
SB	استعمال عام	جاف	أبيض، أبيض	أزرق
SB.H	استعمال عام	رطب	أبيض، أبيض	أخضر
SB.E	استعمال عام	خارجي	أبيض، أبيض	بني
SB.LS	حمّال	جاف	أصفر، أصفر	أزرق
SB.HLS	حمّال	رطب	أصفر، أصفر	أخضر

تقويم التصنيف الأوروبي لأداء الحريق في الشروط المحدّدة في المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13986: 2004) بالنسبة للوح طري غير معالج بسماكة 9 mm وبكثافة 250 kg/ m^3 هو الصنف E للاستعمال في غير الأرضيّات، والصنف (E_{FL}-s1) للأرضيّات.

بلاطات صوف الخشب

التصنيع

تصنع بلاطات صوف الخشب بضغط فتائل طويلة من ألياف خشب مستقرّة كيميائياً ملبّسة بالإسمنت البورتلاندي (الشكل 35.4). لهذا المُنتج الرمادي اللون نسيج مفتوح يمكن أن يترك مكشوفاً، أو يرشّ بالدهان أو يستعمل كطبقة تحتيّة فاعلة لأشغال الطّينة. وهي مادّة مناسبة كذلك كقالب دائم للخرسانة. فالبلاطات متوافرة بطيف من السماكات تتراوح من 25 mm إلى 150 mm، ونموذجيّاً بعرض 500 أو 600 أو 625 mm، وبطول حتّى 3 m. القياسات المعيارية مجدولة في المعيار (BS EN 13168: 2001).

الأنواع والاستعمالات

تتوافر بلاطات صوف الخشب إمّا بحواف ملساء أو بمجارٍ متشابكة من الفولاذ المغلفن على الحواف الطوليّة. تقع السماكات في المجال 15 ـ 50 mm وهي مناسبة للأسقف والقواطع وتبطينات الجدران والقوالب الدائمة للخرسانة. أمّا الأصناف الأكبر سماكة، من 50 إلى 150 mm، فيمكن استعمالها لأرضيّات

السقوف بأطوال حتى 3 m بحسب الأحمال المتوقّعة. يحوي بعض هذه المنتجات طبقة عازلة إضافية من الصوف المعدني أو اللدائن الخليويّة لتعزيز الخصائص الحراريّة.

تُقيّم المادة على أنها من الصنف 0 بالنسبة لأنظمة البناء، ومن الصنف I (BS 476-7: 1997) من حيث الانتشار السّطحي للّهب. أمّا التصنيف وفق المعيار الأوروبي (BS EN 13501-1: 2007) فخاضع لاختبار المصنّع. هذه المادّة مقاومة للفطريات ولا تتأثّر بالرطوبة. وتوفّر بلاطات صوف الخشب خصائص جيّدة لامتصاص الصوت بفضل سطحها ذي النسيج المفتوح. ولا يتأثر هذا السّطح بشكل كبير بتطبيق دهان مستحلب مبخوخ. لهذا فالمادّة مناسبة للقواطع والجدران الداخلية والأسقف، حيث يكون امتصاص الصوت ضرورياً. كما يبلغ العزل الصّوتي عادة للبلاطة بسماكة 50 mm قبل التمليط 30 ديسيبل. وتعطي النسبة العالية من الفراغات للمادّة خواصَّ عزل حراري جيّدة بمُعامِل انتقال حراري نموذجي 0.077 W/mK عند محتوى رطوبة 8%.

هذه المادة قابلة للتشغيل، ويمكن تقطيعها وتسميرها بسهولة. وإذا ما لزم تطبيق طينة من الجص أو طينة خارجيّة من الإسمنت/ الكلس/ الرمل، يجب أن تقوّى كلُّ الوصلات بالسكريم (Scrim) [لباد قطني]. وتشكّل بلاطات الصوف الخشبي طبقةً تحتيّة مناسبة للأسقف المستوية المنتهية بغشاء إسفلتي مسلّح أو بالإسفلت المصطكي أو المعادن.

بلاطات القشّ المضغوط

تصنع بلاطات القشذ المضغوط بتشكيل القشّ تحت الضغط والحرارة، يتبعه التكبيس (Encapsulation) بشبكة من الألياف الزجاجية وورق مناسب للطّينة (الشكل 35.4). ويستعمل القشّ المضغوط عادةً للتقطيعات الداخلية، تركّب اللّوحات على صفيحة نعل من الخشب وتوصل متناكبة بلاصق أو توصل وصلاً جافاً بمثبتات تشبيك مغلفنة مناسبة. تُسدّ كلُّ الوصلات بالقنّب وينهى القاطع بكامله بطينة الألواح (Skim of Board Plaster) بسماكة 3 mm. سماكة البلاطات 58 mm وعرضها 1200 mm وأطوالها المعيارية تتراوح من 2270 إلى 2400 mm. ويمكن ترك فتحات خدمة داخل اللّوحات على مسافة 300 mm من المركز من أجل تمديد الأسلاك الكهربائيّة الشاقوليّة. بينما يمكن تثبيت المثبّتات المنزلية العادية على اللوحات مباشرة، تتطلّب الأحمال الأثقل مثبّتات براغٍ محدّبة الرأس مربّعة الرقبة

(Coach-Bolt Fixings) تخترق اللّوحات. ويجب ألا يستعمل هذا المنتج في الأماكن المعرّضة للرطوبة. عندما تُطيّن بلاطات القشّ المضغوط يصبح لها مقاومة للحريق قدرها 30 دقيقة، والصنف 0 لانتشار اللّهب، وتخفيضاً نموذجيّاً للصوت قدره 35 ديسيبل على مجال التردُّد 100 ـ 3200 هيرتز. ويصف المعيار البريطاني (BS 4046: 1991) أربعة أنواع من بلاطات القشّ المضغوط بحسب المُعالجة بمبيد حشري أساسه البورون واحتمال وجود تجاويف طوليّة مستمرّة للخدمات. الإنهاءات البديلة هي الورق البسيط للتزيين المباشر عليه أو الورق المانع للماء.

أنواع بلاط القشّ المضغوط

النوع A	غير معالج	نواة مصمتة
النوع B	معالج بمبيد حشرات	نواة مصمتة
النوع C	غير معالج	تجاويف مستمرّة في النواة
النوع D	معالج بمبيد حشرات	تجاويف مستمرّة في النواة

قش الأسقف

ظلَّ القشّ مادة تغطية لأسطح معظم المباني حتى نهاية العصور الوسطى، وظلّت هذه المادة سائدةً في المناطق الريفية حتّى منتصف القرن التاسع عشر. أمّا في القرن العشرين فقد استعمل القشّ فقط في أعمال الترميم والصيانة، لكن عودة الاهتمام بهذه المادة، رافق جزئيّاً إعادة بناء مسرح الكوكب في لندن (Globe Theatre in London) (الشكل 37.4)، وقد جعل من القش مجدّداً مادّة بناء دارجة.

(الشكل 37.4) سطح مسقوف بالقش ـ مسرح الكوكب، لندن (Thatched roof-Globe Theatre, London).

المواد

المواد المعيارية الثلاث للتغطية بالقشّ في المملكة المتحدة هي قصب الماء (Phragmites Australis)، والقشّ الطويل (قشّ الحنطة عادة) وقصب الحنطة الممشّط (Combed Wheat Reed) (يسمّى كذلك قصب ديفون (Devon Reed)). يكثر قصب الماء في سبخات نورفولك (Norfolk Broads)، والمستنقعات، وجنوب هامبشاير (Hampshire) ومصب نهر تاي (The Tay Estuary)، غير أن كثيراً منه يُستورد من تركيا وبولندا ورومانيا والصين. أمّا القشّ الطويل فهو قشّ الأسقف المعياري في مقاطعات ميدلند (Midlands) وهوم (Home)، في حين يُعدُّ قصب الحنطة الممشّط الأكثر شيوعاً في ديفون وكورنوول. قصب الماء هو الأكثر ديمومة، ويبقى نحو 50 ـ 60 سنة تقريباً، غير أنّ القش الطويل وقصب الحنطة الممشّط يدومان تقريباً 20 و30 سنة على التوالي، وذلك بحسب الموقع وميلان السّقف. تحتاج كلّ أسقف القشّ إلى إعادة تسنيم كل 10 ـ 15 سنة. وبالنسبة لقصب الماء تتمّ الصيانة غالباً باستعمال قشّ السعادي المنشاري (Saw Sedge) (Cladium Mariscus) لأنّه أكثر مرونة من القصب ذاته.

يُزرع غالباً كلٌّ من القشّ الطويل وقصب الحنطة الممشّط، ويحصدان لاستعمالهما كمواد لتقشيش الأسقف بحيث يحافَظ على الجذوع الطويلة سليمة. يُدرس القشّ الطويل للحصول على الحنطة الشتويّة، في حين أنّ قصب الحنطة الممشط هو حنطة بلا أوراق، ويقصّ رأسه الحامل للحنطة. وهناك بديل لقصب الحنطة الممشّط هو حنطة الترتيكال (Triticale Hexaploide)، وهي وسط بين الحنطة والشعير. تُعطي حنطة الترتيكال محصولا أكثر من أنواع قش الحنطة الأخرى، ويصعب تمييزها عن قصب الحنطة الممشط عندما تستعمل قشّاً للأسقف. يتراوح طول قصب الماء المستعمل في تغطية الأسقف بين 915 و1830 mm. أمّا الطول العادي للقشّ الطويل وقصب الحنطة الممشط فهو 760 و915 mm على التوالي.

المظهر

تظهر الأسقف المغطّاة بالقشّ الطويل أطوال القش النّازل من سطح السقف، وهي تتميّز كذلك باستعمال قضبان البُندق المفلوقة حول الأفاريز والجملونات للحفاظ على القشّ. وتغطّى غالباً بشباك لمنع هجوم الطيور. أمّا قصب الحنطة الممشط وقصب الماء فلهما إنهاء محزّم، بحيث تشكّل نهايات القشّ سطح

السقف. ويُعطى سقف القش عادةً ميلاً بمقدار 50^0، والحدّ الأدنى للميل 45 درجة، وكلما ازداد الميل انحداراً كان أكثر ديمومة. أمّا السنم، التي قد تكون معلَماً تزيينياً، فتكوّن إمّا من رُزم قشّ الحنطة على الذروة أو بوصل القصبات بشكل مُتناكب من كِلا جانبي السقف. وقد جرت العادة، أنْ تستعمل عيدان البندق للتثبيت، مع أنّه يمكن أن تُستعمل بدلاً منها أسلاك من الفولاذ غير القابل للصدأ. تتأثر ديمومة قشّ السقف كثيراً بالمناخ. إذ يقصر عمر خدمة كلّ المواد في المناطق الأكثر دفئاً مع الرطوبة العالية، التي تشجّع الفطريات على النمو. ويفضل استعمال معالجة كيميائية مكوّنة من مركّب عضوي معدني ثقيل على التغطية الجديدة لتأخير التحلّل البيولوجي. يُمدُّ القشُّ عادةً بسماكة تتراوح بين 220 و400 mm.

الخصائص

الحريق

أخطار الحريق المترافقة مع الأسقف المغطّاة بالقشّ بديهيّة، لكن يمكن استعمال مؤخّرات الحريق، مع أنّها قد تبدّل من طبيعة المادّة. في حالة مسرح الكوكب في لندن، وضعت منظومة لرشّ رذاذ الماء. ففي منشآت أخرى جديدة تمّ تسهيل منح الموافقة على التصميم بتركيب أنظمة رشّ ماء دائمة بالقرب من حافّة السقف وباستعمال لوح وطبقة رقيقة مقاومة للحريق تحت القشّ لمنع انتشار الحريق إلى الداخل. تعدُّ أسلاك الكهرباء والمداخن من أكثر أسباب حرائق قشّ السقف شيوعاً، مع أن أشغال الصيانة على أسطح القشّ تشكّل خطراً كذلك إنْ لم تُتَّخذ الاحتياطات اللازمة.

العزل

يوفر قش الأسقف عزلاً جيّداً، ويحافظ على المباني باردة في الصيف ودافئة في الشتاء، وكما إنَّ قصب الماء بسماكة 30 mm يحقّق قيمة لنفاذيّة الحراريّة U قدرها 0.35 $W/m^2 K$.

الدفوف

إنّ خشب الأرز الغربيّ الأحمر مادة ذات ديمومة طبيعية، كثيراً ما تُستعمل دفوفاً أو قطعاً لتغطية الأسقف أو الإكساء. تقطّع الدفوف بحسب الشكل، في حين تُفلق القطع بالسماكة المطلوبة، عادةً بين 10 و13 mm. ويمكن أن تكون القطع والدفوف مستدقّة أو مستقيمة. تكون الدفوف عادة بطول 400 أو 450 أو 600 mm،

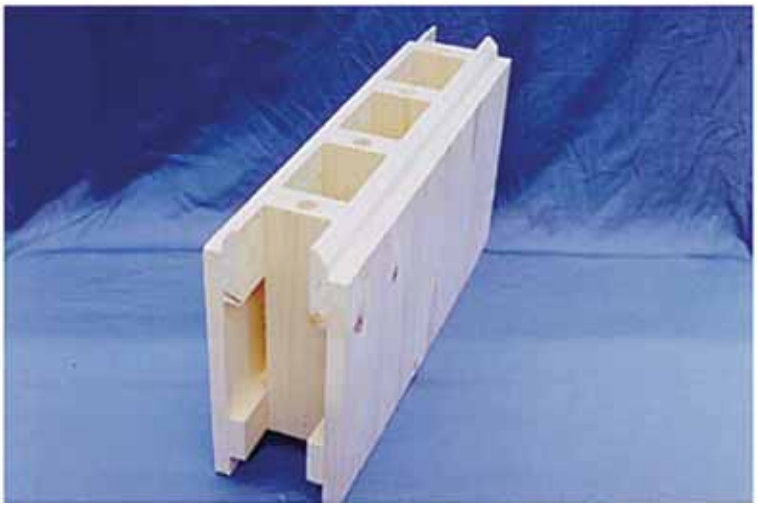
وعرضها بين 75 و355 mm، ويمكن أن تُعالج بمواد حافظة للخشب أساسها النحاس لتحسين ديمومتها. كذلك يمكن أن تُعالج بمادة مؤخّرة لانتشار اللهب لتحقيق المعدل AA في مقاومة الحريق حسب المعيار البريطاني :BS 476-3) (1975. ويجب أن تُثبّت الدفوف بمسامير مقاومة للتآكل، مع ترك مسافات 5 ـ 6 mm بين الدفوف المُتجاورة. من الضروري تحقيق ميل أصغري قدره 14° وعادة يكون مطلوباً الحصول على ثلاث طبقات. وبينما يكون النموذج المعياري للتركيب هو الصف المستقيم، فإنّ النماذج المرتبة شطرنجيّاً (بالتبادل) (Staggered Patterns) واستعمال الدفوف المكيّفة الشكل على السطوح الشديدة الميل يمكن أن يعطي تأثيرات زخرفيّة. يجب أن تُمدَّ الدفوف عادةً فوق أغشية قابلة للتنفس مانعة للماء. يقترح المعيار البريطاني (Bs 5534: 2003) أن يكون التراكب الجانبي 40 mm لكل من القطع والدفوف.

يبين الشكل 38.4 التفصيل النموذجي لدفوف الأرز كمادة إكساء خارجي خفيفة الوزن. يعطي اللون الطبيعي للمادة دفئاً عامّاً للغلاف الخارجي للمبنى. يتحول بتأثير عوامل الطقس لونُ سطح خشب الأرز البني المُحمّر في الأماكن المكشوفة تدريجياً إلى اللون الرمادي الفضي، في حين تصبح الدفوف في الأماكن المحميّة بشكل كبير من عوامل الطقس خضراء من الأشنيات (Lichen). تشمل الأشكال الزخرفية للدفوف حراشف السمك والسهام والمسدّس ونصف المقعّر والقطري والمستدير.

(الشكل 38.4) دفوف خشب الأرز الغربي الأحمر.

بلوك ستيكو

الستيكو (Steko) منظومة جدران مبتكرة تستعمل بلوكات خشبية مجوّفة كبيرة مصممة بعناية فائقة تتراكب بعضها مع بعض بسهولة. لا تحتاج المنظومة إلى مثبّتات أو تغرية لتشييد جدار حمّال. تصنع البلوكات من قطع صغيرة من خشب البيسية، الذي يمكن الحصول عليه بسهولة من مصادر متجدِّدة. وتُصنع البلوكات بقياس 640 × 320 mm وبعرض 160 mm، وبوزن 5.6 .kg، من لوحين سميكين بسماكة قدرها 20 mm تتمّ تغريتهما بشكل عوارض ثانوية أفقيّة يفصل بينهما دعامات شاقولية (الشكل 39.4). حيث تتراكب الوحدات معاً بشكل محكم بألسنة ونقرات مكيّفة الشكل وخوابير شاقولية. هناك وحدات خاصة منها تشكل ربع بلوكة أو نصف بلوكة أو ثلاثة أرباع، وكذلك عناصر للزوايا والعتبات ومغاليق الجدران وصفائح الأساس وصفائح الجدران وبلوكات مُصمْتة للحمولات المركّزة. يمكن أن يشيد بالبلوكات جدار طوله يصل إلى 20 m وبارتفاع 3 m من دون تدعيم إضافي، حتّى علوّ أربعة طوابق أو خمسة، إذا تمّ تأمين التدعيم الأفقي اللازم بواسطة الأرضيات البينيّة والسقف. فإذا لزم الأمر بناء جدران غير مقيّدة بارتفاع طابقين، يمكن أن يطبّق عليها شدٌّ لاحق بواسطة قضبان فولاذية ملولبة. البلوكات هي غير معالجة إلاّ إذا كان هناك ضرورة للحماية بالبوراكس من الخنفساء المنزليّة طويلة القرن. يمكن تنفيذ التمديدات الكهربائية خلال التجاويف، التي تحقن حقناً جافّاً بعازل سيلولوزي في نهاية المطاف. يجب أن ينفّذ تشييد الستيكو على قاعدة بارتفاع 300 mm تجنبّاً للتماس مع المياه السطحية، ويجب أن تكون محميّة خارجياً بورق قابل للتنفّس لمنع تضرُّرها بمياه المطر أثناء التشييد. ويمكن أن تترك الإنهاءات الداخلية مكشوفة أو تغطّى بألواح الجص بسماكة 15 mm، التي تُعطي مقاومة حريق لمدّة 30 دقيقة. كما يلزم عزل إضافي خارجيّ لتحقيق متطلّبات أنظمة البناء الحاليّة. نموذجيّاً إنّ تركيبة مؤلّفة من 100 mm صوف فلزي، و20 mm طينة خارجيّة على بلوكات مطليّة داخليّاً ومحشوّة بالسيلولوز، يمكن أن تُحقّق قيمة للإنفاذية الحراريّة U قدرها 0.20 W/M^2 K. حيث تمّ تصميم وبناء أوّل منزل في المملكة المتحدة بمنظومة ستيكو، التي ترجع أصولها إلى سويسرا، على ذروة جرف صخري في داوندري (Downderry)، في كورنوول.



(الشكل 39.4) بلوكة ستيكو.

قشور الخشب المرنة

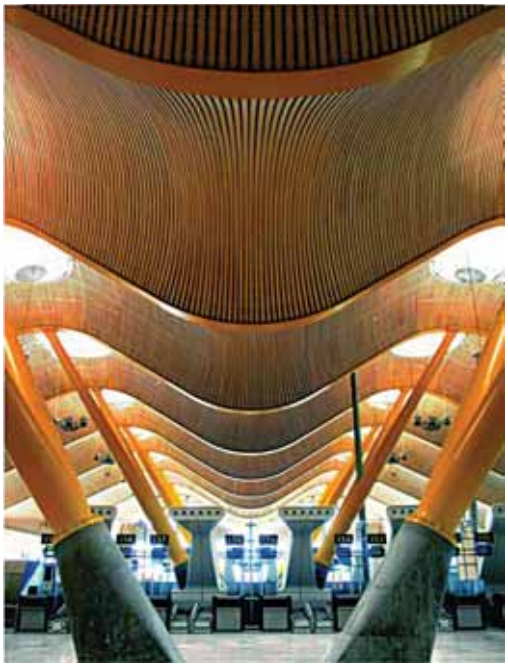
القشور المرنة هي صحائف رقيقة من قشر الخشب مقوّاة على خلفيتها بورق أو بألياف تسليح مما يسمح بالتعامل مع هذه المادة من دون أن تتقصّف. يمكن قولبة القشور المرنة على عناصر مكيّفة الشكل من الإم دي إف (MDF) أو الخشب المعاكس في عملية رصّ بين أسطوانتين. إنّ المكونات المعياريّة النموذجيّة هي الطنف والإفريز (الكورنيشات) لأثاث المطبخ. يمكن أن تلف القشور لتخزينها من دون أن تتضرّر، على العكس من القشرة التقليدية. يثبت القشر على الطبقة التحتيّة بلاصق هو بولي فينيل أسيتات (خلّات متعدّد الفينيل) (بي في آ) (Polyvinyl (PVA) (Acetate أو يوريا فورمالدهيد (يو إف) تحت الضغط، أو بلاصق تماس. وتوصّف المادّة بصورة متزايدة من قِبل المصممين لابتكار إنهاءات خشبية صقيلة عالية الجودة للأشكال المحنية المعقّدة مثل مكاتب الاستقبال واللوحات الجدارية.

أخشاب الزخرفة

تمَّ تطوير مواد عضوية معيّنة، مثل قشرة جوز الهند وخشب النخيل، لتستعمل مواد زخرفيّة لإنهاءات السطوح. كذلك استعمل خشب النخيل لصنع الخشب المعاكس النخيلي (Palm Plywood)، كما هو موضح في الشكل 40.4. وقد استعمل الخيزران في داخل مطار براخاس الدولي في مدريد (الشكل 41.4)

لإعطاء جو مريح، باستعمال مصدر متجدّد. يمكن استعمال الخيزران كمادة بنيويّة محتملة كما في أميركا الجنوبية، غير أن ديمومته وأنظمة وصله تتطلّب الدقة.

(الشكل 40.4) خشب النخيل.



(الشكل 41.4) داخل متموج من الخيزران مطار براخاس، مدريد.

إعادة تدوير الخشب

وفقاً لجمعية بحوث الخشب وتطويره (Timber Research and Development Association) (TRADA) تنتج المملكة المتحدة نحو 11 مليون طن من فضلات الخشب سنويّاً، يدخل 80% منها مواقع الطّمر. إن هذا العمل ليس مكلفاً فحسب، لكنه يولد غاز الدفيئة، الميتان، عندما يتحلّل مع الزمن. ويأتي نحو نصف مجموع فضلات الخشب من تشييد المباني ومن هدمها. وقد أعيد تدوير 16% فقط من نحو 20% من فضلات الخشب التي استعيدت في الوقت الحاضر واستعمل 4% منها لإنتاج الطاقة. علاوة على ذلك، يؤدّي التعامل غير الجيّد والتخزين السيىء لمنتجات الخشب الجديدة في الموقع إلى فقد قدره 10% وسطيّاً، ويمكن أن يرتفع هذا الرقم إلى 20% وفقاً لجمعيّة بحوث الخشب وتطويره في الحالات المتطرفة.

تشمل خيارات تخفيض حجم الفضلات إدارة موقع التشييد بشكل أفضل، وإعادة استعمالها المباشر كما في الأرضيّات الخشبيّة. لكن السوق الرئيسيّة هي لإعادة المعالجة بتقطيع المادة وإعادة تصنيعها لإنتاج ألواح حبيبية (نشارة) أو قالب خرساني دائم بمادة رابطة إسمنتية، أو لاستعمالها كتربة اصطناعية (Mulch) أو كسماد. ويتطلب توليد الطاقة من فضلات الخشب والمحاصيل الحيوية المزيد من التطوير، لكنّه ذو مستقبل واعد، كما أن تقطير الخشب يمكن أن ينتج الايثانول والوقود الحيوي.

إن المنتجات الخشبية، مثل ألواح النشارة، التي تحوي كميات كبيرة من الراتنج المبلمر/ راتنج البوليمر، والخشب المُعالج ببعض المواد الحافظة الخطرة القديمة، مثل الكريوزوت وزرنيخ النحاس، لا يمكن إعادة تدويرها إلى منتجات جديدة.

المراجع

FURTHER READING

Billett, M. 2003: *The complete guide to living with thatch*. London: Hale.

BRE. 1972: *Handbook of hardwoods*. London: HMSO.

BRE. 1977*: Handbook of softwoods*. London: HMSO.

Breyer, D., Fridley, K., Pollock, D. and Cobeen, K. 2007: *Design of wood structures*. New York: McGraw Hill Professional.

Brunskill, R.W. 2006: *Timber in building*. New Haven: Yale University Press.

Burch, M. 2004: *The complete guide to building log homes*. New York: Sterling.
Constantine, A. and Docherty, J. 2005: *Know your woods*. Connecticut: The Lyons Press.
Cox, J. and Letts, J. 2000: *Thatch: thatching in England 1940-1994*. London: James & James.
Dinwoodie, J.M. 2000: *Timber: its nature and behaviour*. 2nd ed. London: E. & F.N. Spon.
Fearn, J. 2004: *Thatch and thatching*. Princes Risborough: Shire Publications.
Hugues, T., Steiger, L. and Weber, J. 2004: *Timber construction: details, products, case studies*. Basel: Birkhäuser.
Jayanetti, L. and Follett, P. 2000: *Timber pole construction* London: ITDG Publishing.
Leffteri, C. 2005: *Wood: materials for inspirational design. East Sussex: Rotovision*.
McKenzie, W.M.C. 2007: *Design of structural timber to EC5*. London: Palgrave.
Mueller, C. 2000: *Laminated timber construction*. Berlin: Birkhäuser.
Newman, R. 2005: *Oak-framed buildings*. Lewes: Guild of Master Craftsman Publications.
Ojeda, O., Pasnik, M. and Warchol, P. 2005: *Architecture in detail. Materials*. Massachusetts USA: Rockport.
Pryce, W. 2005: *Architecture in wood, a world history*. London: Thames & Hudson.
Ruske,W. 2004: *Timber construction for trade, industry, administration*. Berlin: Birkhäuser.
Scheer, J. 2004: *How to build with bamboo*. Utah: Gibbs Smith Publisher.
Seidel, F., Schleifer, S., Brooke, A. and Debard, C. 2008: *Architectural materials. Wood*. Taschen GmbH.
Steurer, A. 2006: *Developments in timber engineering. The Swiss contribution*. Basel: Birkhäuser.
Thelandersson, S. and Larsen, H.J. 2003: *Timber engineering*. Chichester: JohnWiley and Sons.
TRADA. 2003: *List of British Standards relating to timber*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.
TRADA. 2006: *Green oak in construction*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.
TRADA. 2007: *External timber cladding*. 2nd ed. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.
TRADA. 2008: *Timber frame construction*. 4th ed. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.
TRADA. 2008: *Timber and the sustainable home*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.
TRADA. 2009: *Wood flooring*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.

TRADA. 2009: *Wood windows*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.

TRADA. 2009: *Timber in contemporary architecture. A designer's guide*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd.

Villegas, M. 2003: *New bamboo architecture and design*. Villegas Asociados.

Wood Protection Association. 2006: *Use of CCA preservatives and CCA treated timber*. Publication W10. Derby: TheWood Protection Association.

Wood Protection Association. 2007: *Industrial wood preservation*. Specification and practice. Derby: The Wood Protection Association.

Wood Protection Association. 2007: *Industrial flame retardant treatment of solid timber and panel products*. 3rd ed. Derby: The Wood Protection Association.

Wood Protection Association. 2007: *Treatment of solid timber and panel products with flame retardant*. Derby: The Wood Protection Association.

STANDARDS

BS 144: 1997 Specification for coal tar creosote for wood preservation.

BS 373: 1957 Methods for testing small clear specimens of timber.

BS 476 Fire tests on building materials and structures: Parts 3, 4, 6, 7, 10-13, 15, 20-24, 31-33.

BS 644: 2009 Timber windows. Fully finished factory-assembled windows of various types. Specification.

BS 1088 Marine plywood:

Part 1: 2003 Requirements.

Part 2: 2003 Determination of bonding quality.

BS 1186 Timber for and workmanship in joinery:

Part 2: 1988 Specification for workmanship.

Part 3: 1990 Specification for wood trim and its fixing.

BS 1187: 1959 Wood blocks for floors.

BS 1203: 2001 Hot-setting phenolic and aminoplastic wood adhesives.

BS 1282: 1999 Wood preservatives. Guidance on choice, use and application.

BS 1297: 1987 Specification for tongued and grooved softwood flooring.

BS 1336: 1971 Knotting.

BS 4046: 1991 Compressed straw building slabs.

BS 4050 Specification for mosaic parquet panels:

Part 1: 1977 General characteristics.

Part 2: 1966 Classification and quality requirements.

BS 4072: 1999 Copper/chrome/arsenic preparations for wood preservation.

BS 4787 Internal and external wood doorsets, door leaves and frames:

Part 1: 1980 Specification for dimensional requirements.

BS 4965: 1999 Specification for decorative laminated plastics sheet veneered boards and panels.

BS 4978: 2007 Visual strength grading of softwood. Specification.
BS 5268 Structural use of timber:
Part 2: 2002 Code of practice for permissible stress design, materials and workmanship.
Part 3: 2006 Code of practice for trussed rafter roofs.
Part 4: 1978/90 Fire resistance of timber structures.
Part 5: 1989 Code of practice for the preservative treatment of structural timber.
Part 6: 1996/01 Code of practice for timber frame walls.
Part 7: 1989/90 Recommendations for the calculation basis for span tables.
BS 5277: 1976 Doors.Measurement of defects of general flatness of door leaves.
BS 5278: 1976 Doors. Measurement of dimensions and of defects of squareness of door leaves.
BS 5369: 1987 Methods of testing doors; behavior under humidity variations of door leaves placed in successive uniform climates.
BS 5395 Stairs, ladders and walkways:
Part 1: 2000 Code of practice for straight stairs.
Part 2: 1984 Code of practice for the design of helical and spiral stairs.
Part 3: 1985 Code of practice for the design of industrial type stairs, permanent ladders and walkways.
BS 5534: 2003 Code of practice for slating and tiling (including shingles).
BS 5589: 1989 Code of practice for preservation of timber.
BS 5666 Methods of analysis of wood preservatives and treated timber: Parts 2-7
BS 5707: 1997 Specification for preparations of wood preservatives in organic solvents.
BS 5756: 2007 Visual grading of hardwood. Specification.
BS 6100 Building and civil engineering. Vocabulary:
Part 8: 2007 Work with timber and wood based panels.
BS 6446: 1997 Manufacture of glued structural components of timber and wood based panels.
BS 8000-5: 1990 Code of practice for carpentry, joinery and general fixings.
BS 8004: 1986 Code of practice for foundations.
BS 8103 Structural design of low-rise buildings:
Part 3: 1996 Code of practice for timber floors and roofs for housing.
BS 8201: 1987 Code of practice for flooring of timber, timber products and wood-based panel products.
BS 8417: 2003 Preservation of timber. Recommendations. pr BS ISO 18776: 2006 Laminated veneer lumber (LVL). Definitions and requirements.
pr BS ISO 21892: 2005 International framework for classifying wood products durability based on use class.
pr BS ISO 22390-1: 2009 Timber structures. Laminated veneer lumber (LVL). Structural properties.

BS EN 204: 2001 Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications.

BS EN 300: 2006 Oriented strand board (OSB). Definitions, classification and specifications.

BS EN 301: 2006 Adhesives, phenolic and aminoplastic for loadbearing timber structures.

BS EN 309: 2005 Wood particleboards. Definition and classification.

BSEN311: 2002 Wood-based panels. Surface soundness. Test method.

BS EN 312: 2003 Particleboards. Specifications.

BS EN 313 Plywood. Classification and terminology:

Part 1: 1996 Classification.

Part 2: 2000 Terminology.

BS EN 314 Plywood. Bonding quality:

Part 1: 1993 Test methods.

Part 2: 1993 Requirements.

BS EN 315: 2000 Plywood. Tolerances for dimensions.

BS EN 316: 1999 Wood fibreboards. Definition, classification and symbols.

BS EN 317: 1993 Particleboards and fibreboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water.

BS EN 318: 2002 Wood-based panels. Determination of dimensional changes associated with changes in relative humidity.

BS EN 319: 1993 Particleboards and fibreboards. Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.

BS EN 320: 1993 Fibreboards. Determination of resistance to axial withdrawal of screws.

BSEN321: 2002 Wood-based panels. Determination of moisture resistance.

BSEN322: 1993 Wood-based panels. Determination of moisture content.

BSEN323: 1993 Wood-based panels. Determination of density.

BS EN 324 Wood-based panels. Determination of dimensions of boards:

Part 1: 1993 Determination of thickness, width and length.

Part 2: 1993 Determination of squareness and edge straightness.

BSEN325: 1993 Wood-based panels. Determination of test pieces.

BS EN 326 Wood-based panels. Sampling, cutting and inspection:

Part 1: 1994 Sampling and cutting of test pieces and expression of test results.

Part 2: 2000 Quality control in the factory.

Part 3: 2003 Inspection of a consignment of panels.

BS EN 330: 1993 Wood preservatives. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative for use under a coating.

BS EN 335 Durability of wood and wood-based products. Definitions of use classes:

Part 1: 2006 General.

Part 2: 2006 Application to solid wood.

Part 3: 1996 Hazard classes of wood and woodbased products against biological attack. Application to wood-based panels.

BS EN 336: 2003 Structural timber. Coniferous and poplar. Sizes. Permissible deviations.

BS EN 338: 2003 Structural timber. Strength classes.

BS EN 350 Durability of wood and wood-based products. Natural durability of solid wood:

Part 1: 1994 Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood.

Part 2: 1994 Guide to the natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe.

BS EN 351 Durability of wood and wood-based products. Preservative-treated solid wood:

Part 1: 2007 Classification of preservative penetration and retention.

Part 2: 2007 Guidance on sampling for the analysis of preservative-treated wood.

BS EN 380: 1993 Timber structures. Test methods. General principles for static load testing.

BS EN 382 Fibreboards. Determination of surface absorption:

Part 1: 1993 Test method for dry process fibreboard.

Part 2: 1994 Test methods for hardboard.

BS EN 383: 2007 Timber structures. Test methods. Determination of embedment strength and foundation values for dowel type fasteners.

BS EN 384: 2004 Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density.

BS EN 385: 2001 Finger jointed structural timber. Performance requirements and minimum production requirements.

BS EN 386: 2001 Glued laminated timber. Performance requirements and minimum production requirements.

BS EN 387: 2001 Glued laminated timber. Production requirements for large finger joints. Performance requirements and minimum production requirements.

BS EN 390: 1995 Glued laminated timber. Sizes. Permissible deviations.

BS EN 391: 2002 Glued laminated timber. Delamination test of glue lines.

BS EN 392: 1995 Glued laminated timber. Shear test of glue lines.

BS EN 408: 2003 Timber structures. Structural timber and glued laminated timber.

BS EN 409: 2009 Timber structures. Test methods. Determination of the yield moment of dowel type fasteners.

BS EN 460: 1994 Durability of wood and woodbased products. Natural

durability of solid wood. Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes.

BS EN 594: 1996 Timber structures. Test methods. Racking strength and stiffness of timber frame wall panels.

BS EN 595: 1995 Timber structures. Test methods.Test of trusses for the determination of strength and deformation behaviour.

BS EN 596: 1995 Timber structures. Test methods. Soft body impact test of timber framed walls.

BS EN 599 Durability of wood and wood-based products, performance of wood preservatives as determined by biological tests:

Part 1: 1997 Specification according to hazard class.

Part 2: 1997 Classification and labelling.

BS EN 622 Fibreboards. Specifications:

Part 1: 2003 General requirements.

Part 2: 2004 Requirements for hardboards.

Part 3: 2004 Requirements for medium boards.

Part 4: 1997 Requirements for softboards.

Part 5: 2006 Requirements for dry process boards (MDF).

BS EN 633: 1994 Cement-bonded particleboards. Definition and classification.

BS EN 634 Cement-bonded particleboards. Specification:

Part 1:1995 General requirements.

Part 2: 2007 Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and exterior conditions.

BS EN 635 Plywood. Classification by surface appearance:

Part 1: 1995 General.

Part 2: 1995 Hardwood.

Part 3: 1995 Softwood.

Part 5: 1999 Methods for measuring and expressing characteristics and defects.

BS EN 636: 2003 Plywood. Specifications.

BS EN 789: 2004 Timber structures. Test methods. Determination of mechanical properties of woodbased panels.

DD CEN/TS 839: 2008 Wood preservatives. Determination of the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes.

BS EN 844 Round and sawn timber. Terminology:

Part 1: 1995 General terms commonto round timber and sawn timber.

Part 2: 1997 General terms relating to round timber.

Part 3: 1995 General terms relating to sawn timber.

Part 4: 1997 General terms relating to moisture content.

Part 5: 1997 Terms relating to dimensions of round timber.

Part 6: 1997 Terms relating to dimensions of sawn timber.

Part 7: 1997 Terms relating to anatomical structure of timber.

Part 8: 1997 Terms relating to features of round timber.
Part 9: 1997 Terms relating to features of sawn timber.
Part 10: 1998 Terms relating to stain and fungal attack.
Part 11: 1998 Terms relating to degrade by insects.
Part 12: 2001 Additional terms and general.
BS EN 912: 2000 Timber fasteners. Specifications for connectors for timber.
BS EN 942: 2007 Timber in joinery. General requirements.
BS EN 951: 1999 Door leaves. Method for measurement height, width, thickness and squareness.
BS EN 975 Sawn timber. Appearance grading of hardwoods:
Part 1: 2009 Oak and beech.
Part 2: 2004 Poplars.
BS EN 1001 Durability of wood and wood-based products. Terminology:
Part 1: 2005 List of equivalent terms.
Part 2: 2005 Vocabulary.
BS EN 1014 Wood preservatives:
Part 1: 1995 Procedure for sampling creosote.
Part 2: 1996 Procedure for obtaining a sample of creosote from creosoted timber.
Part 3: 1998 Determination of the benzoypyrene content of creosote.
Part 4: 1996 Determination of the water extractable phenols content of creosote.
BS EN 1026: 2000 Windows and doors. Air permeability.
BS EN 1027: 2000 Windows and doors. Watertightness.
BS EN 1058: 1996 Wood-based panels. Determination of characteristic values of mechanical properties and density.
BS EN 1072: 1995 Plywood. Description of bending properties for structural plywood.
BS EN 1087 Particleboards. Determination of moisture resistance:
Part 1: 1995 Boil test.
DD CEN/TS 1099: 2007 Plywood. Biological durability. Guidance for the assessment of plywood for use in different use classes.
BS EN 1128: 1996 Cement-bonded particleboards. Determination of hard body impact resistance.
BS EN 1193: 1998 Timber structures. Structural timber and glued laminated timber. Determination of shear strength and mechanical properties.
BS EN 1194: 1999 Timber structures. Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values.
BS EN 1195: 1998 Timber structures. Performance of structural floor decking.
BS EN 1294: 2000 Door leaves. Determination of the behaviour under humidity variations.

BS EN 1309 Round and sawn timber. Method of measurement of dimensions:
Part 1: 1997 Sawn timber.
Part 2: 2006 Requirements for measurement and volume calculation rules.
BS EN 1310: 1997 Round and sawn timber. Method of measurement of features.
BS EN 1311: 1997 Round and sawn timber. Method of measurement of biological degrade.
BS EN 1312: 1997 Round and sawn timber. Determination of the batch volume of sawn timber.
BSEN1313 Round and sawn timber. Permitted deviations and preferred sizes:
Part 1: 1997 Softwood sawn timber.
Part 2: 1999 Hardwood sawn timber.
BS EN 1xDimensional classification:
Part 1: 1997 Hardwood round timber.
Part 2: 1997 Softwood round timber.
BS EN 1316 Hardwood round timber. Qualitative classification:
Part 1: 1997 Oak and beech.
Part 2: 1997 Poplar.
Part 3: 1998 Ash, maples and sycamore.
BS EN 1390: 2006 Wood preservatives. Determination of the eradicant action against *Hylotrupes bajulus* larvae.
BS EN 1611-1:2000 Sawn timber. Appearance grading of softwoods. European spruces, firs, pines and Douglas fir.
BSEN1912: 1998 Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species.
BS EN 1927 Qualitative classification of round timber:
Part 1: 2008 Spruces and firs.
Part 2: 2008 Pines.
Part 3: 2008 Larches and Douglas fir.
BS EN 1995 Eurocode 5: Design of timber structures:
Part 1.1: 2004 Common rules and rules for buildings.
Part 1.2: 2004 Structural fire design.
BS EN 12211: 2000 Windows and doors. Resistance to wind load. Test method.
BS EN 12369 Wood-based panels. Characteristic values for structural design:
Part 1: 2001 OSB, particleboards and fibreboards.
Part 2: 2004 Plywood.
BS EN 12436: 2002 Adhesives for load-bearing timber structures, Casein adhesives. Classification.
BS EN 12512: 2001 Timber structures. Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners.
BS EN 12871: 2001 Wood-based panels. Performance specifications and requirements for load

bearing boards for use in floors, walls and roofs.

DD CEN/TS 12872: 2007 Wood-based panels. Guidance on the use of load-bearing boards in floors, walls and roofs.

BS EN 13017 Solid wood panels. Classification by surface appearance:

Part 1: 2001 Softwood.

Part 2: 2001 Hardwood.

BS EN 13168: 2001 Thermal insulation products for building. Factory made wood wool products. Specification.

BS EN 13183 Moisture content of a piece of sawn timber:

Part 1: 2002 Determination by oven dry method.

Part 2: 2002 Estimation by electrical resistance method.

Part 3: 2005 Estimation by capacitance method.

BS EN 13226: 2009 Wood flooring. Solid wood parquet floor elements with grooves and/or tongues.

BS EN 13271: 2002 Timber fasteners. Characteristic load-carrying capacities.

pr EN 13353: 2007 Solid wood panels (SWP). Requirements.

BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using test data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

BSEN13556: 2003 Round and sawn timber.Nomenclature of timbers used in Europe.

BS EN 13756: 2002 Wood flooring. Terminology.

BS EN 13986: 2004 Wood-based panels for use in construction. Characteristics, evaluation of conformity and marking.

BS EN 13990: 2004 Wood flooring. Solid softwood floorboards.

BS EN 14080: 2005 Timber structures. Glued laminated timber. Requirements.

BS EN 14081 Timber structures. Strength graded timber with rectangular cross-section:

Part 1: 2005 General requirements.

Part 2: 2005 Machine grading. Additional requirements for initial type testing.

Part 3: 2005 Machine grading. Additional requirements for factory production control.

Part 4: 2009 Machine grading. Grading machine settings.

BS EN 14220: 2006 Timber and wood-based materials in external windows, external door leaves and external door frames.

BS EN 14221: 2006 Timber and wood-based materials in internal windows, internal door leaves and internal door frames.

BS EN 14279: 2004 Laminated veneer lumber (LVL). Definitions, classification and specification.

BS EN 14298: 2004 Sawn timber. Assessment of drying quality.

BS EN 14342: 2005 Wood flooring. Characteristics, evaluation of conformity and marking.

BS EN 14351-1: 2006 Windows and doors, product standard, performance characteristics.

BS EN 14519: 2005 Solid softwood panelling and cladding.

pr EN 14544: 2002 Timber structures. Strength graded structural timber with round cross-section. Requirements.

BS EN 14545: 2008 Timber structures. Connectors. Requirements.

BS EN 14592: 2008 Timber structures. Dowel type fasteners.

pr EN 14732-1: 2003 Timber structures. Prefabricated wall, floor and roof elements.

BS EN 14755: 2005 Extruded particleboard. Specifications.

BS EN 14761: 2006 Wood flooring. Solid wood parquet.

BS EN 14762: 2006 Wood flooring. Sampling procedures for evaluation of conformity.

BS EN 14915: 2006 Solid wood panelling and cladding.

BS EN 14951: 2006 Solid hardwood panelling and cladding. Machined profiles elements.

BS EN 14964: 2006 Rigid underlays for discontinuous roofing. Definitions and characteristics.

BS EN 15197: 2007 Wood-based panels. Flaxboards. Specifications.

pr EN 15228: 2005 Structural timber. Structural timber preservative treated against biological attack.

BS EN 15354: 2004 Wood-based panels. Wood veneer floor covering.

DD CEN/TS 15397: 2006 Wood preservatives. Method for natural preconditioning out of ground contact of treated wood specimens.

pr EN 15497: 2009 Finger jointed structural timber. Performance requirements and minimum production requirements.

DD CEN/TS 15534 Wood plastics composites (WPC):

Part 1: 2007 Test methods for characterisation of WPC materials and products.

Part 2: 2007 Characterisation of WPC products.

Part 3: 2007 Characterisation of WPC materials.

BS EN 15644: 2008 Traditionally designed prefabricated stairs made of solid wood.

DD CEN/TS 15679: 2007 Thermal modified timber. Definitions and characteristics.

DDCEN/TS 15680: 2007 Prefabricated timber stairs. Mechanical test methods.

DD CEN/TS 15717: 2008 Parquet flooring. General guidance for installation.

pr EN 15912: 2009 Durability of reaction to fire performances. Classes of fire-

retardant treated woodbased product in interior and exterior end use applications.
BS EN 26891: 1991 Timber structures. Joints made with mechanical fasteners.
BS EN 28970: 1991 Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners.
DD ENV 1250 Wood preservatives.Method of measuring loss of active ingredients:
Part 1: 1995 Losses by evaporation to air.
Part 2: 1995 Losses by leaching into water.

REGULATIONS

Control of Pesticides Regulations 1986.
Control of Substances Hazardous to Health 2002.
Wildlife & Countryside Act 1981.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Special digests

BRE SD2: 2006 Timber-frame dwellings. Conservation of fuel and power.
BRE SD6: 2008 Timber-frame dwellings. Section six of the Domestic Technical Handbook (Scotland). Energy.
BRE SD7: 2008 Insulation of timber-frame construction. U-values and regulations for the UK, Republic of Ireland and the Isle of Man.

BRE Digests

BRE Digest 407: 1995 Timber for joinery.
BRE Digest 416: 1996 Specifying structural timber.
BRE Digest 417: 1996 Hardwoods for construction and joinery.
BRE Digest 423: 1997 The structural use of woodbased panels.
BRE Digest 429: 1998 Timbers: their natural durability and resistance to preservative treatment.
BRE Digest 431: 1998 Hardwoods for joinery and construction (Parts 1, 2 and 3).
BRE Digest 435: 1998 Medium density fibreboard.
BRE Digest 443: 1999 Termites and UK buildings (Parts 1 and 2).
BRE Digest 445: 2000 Advances in timber grading.
BRE Digest 470: 2002 Life cycle impacts of timber.
BRE Digest 476: 2003 Guide to machine strength grading of timber.
BRE Digest 477 Part 1: 2003 Wood-based panels: Oriented strand board (OSB).
BRE Digest 477 Part 2: 2003 Wood-based panels: Particleboard (chipboard).

BRE Digest 477 Part 3: 2003 Wood-based panels: Cement-bonded particle-board.
BRE Digest 477 Part 4: 2004 Wood-based panels: Plywood.
BRE Digest 477 Part 5: 2004 Wood-based panels: Medium density fibreboard (MDF).
BRE Digest 477 Part 6: 2004 Wood-based panels: Hardboard, medium board and softboard.
BRE Digest 477 Part 7: 2004 Wood-based panels: Selection.
BRE Digest 479: 2003 Timber piles and foundations.
BRE Digest 487 Part 4: 2004. Structural fire engineering design: materials behaviour. Timber.
BRE Digest 492: 2005 Timber grading and scanning.
BRE Digest 494: 2005 Using UK-grown Douglas fir and larch for external cladding.
BRE Digest 496: 2005 Timber frame building.
BRE Digest 500: 2006 Using UK-grown Sitka spruce for external cladding.
BRE Digest 503: 2007 External timber structures. Preservative treatment and durability.
BRE Digest 504: 2007 Modified wood. An introduction to products in UK construction.

BRE Good building guides

BRE GBG 21: 1996 Joist hangers.
BRE GBG 32: 1999 Ventilating thatched roofs.
BRE GBG 60: 2004 Timber frame construction: an introduction.

BRE Information papers

BRE IP 2/96 Assessment of exterior medium density fibreboard.
BRE IP 8/96 Moisture resistance of laminated veneer lumber (LVL).
BRE IP 9/96 Preservative-treated timber for exterior joinery - European standards.
BRE IP 4/97 Preservative-treated timber for exterior joinery - Applying European standards.
BRE IP 6/99 Preservative-treated timber - Ensuring conformity with European standards.
BRE IP 2/01 Evaluating joinery preservatives.
BRE IP 13/01 Preservative-treated timber - The UK's code of best practice.
BREIP 14/01 Durability of timber in ground contact.
BRE IP 1/03 European Standards for wood preservatives and treated wood.
BRE IP 9/03 Best practice of timber waste management.
BRE IP 13/04 An introduction to building with structural insulated panels.

BRE IP 10/05 Green gluing of timber: a feasibility study.
BRE IP 13/05 Incising UK-grown Sitka spruce.
BRE IP 3/07 Modern methods of construction (MMC) in housing (Parts 1 - 4).

BRE Reports

BR 241: 1992 The strength properties of timber.
BR 256: 1994 Remedial treatment of wood rot and insect attack in buildings.
BR 276: 1995 Long-term field trials on preserved timber in ground contact.

TRADA PUBLICATIONS

Wood information sheets

WIS 0-3: 2006 Introduction to timber framed construction.
WIS 0-8: 2007 Timber frame construction. Site control.
WIS 1-6: 2003 Glued laminated timber.
WIS 1-17: 2003 Structural use of hardwoods.
WIS 1-25: 2003 Structural use of timber - An introduction to BS 5268-2 2002.
WIS 1-37: 2000 Eurocode 5 - An introduction.
WIS 1-45: 2001 Structural use of wood-based panels.
WIS 1-46: 2004 Decorative timber flooring.
WIS 1-49: 2007 Cladding for timber frame buildings.
WIS 1-50: 2009 Wood cladding for building refurbishment.
WIS 2/3-1: 2005 Finishes for external timber.
WIS 2/3-3: 2003 Flame retardant treatments for timber.
WIS 2/3-10: 2002 Timbers - their properties and uses.
WIS 2/3-11: 2006 Specification and use of woodbased panels in external cladding.
WIS 2/3-16: 2006 Preservative treatment for timber. A guide to specification.
WIS 2/3-23: 1999 Introduction to wood-based panel products.
WIS 2/3-28: 2003 Introducing wood.
WIS 2/3-31: 2003 Adhesively-bonded timber connections.
WIS 2/3-32: 2004 Timber: fungi and insect pests.
WIS 2/3-33: 2005 Wood preservation - Chemicals and processes.
WIS 2/3-37: 2005 Softwood sizes.
WIS 2/3-38: 1995 Durability and preservative treatment of wood - European standards.
WIS 2/3-42: 1997 Particleboards - European standards.
WIS 2/3-46: 1997 Fibreboards - European standards.
WIS 2/3-49: 1997 Plywood - European standards.
WIS 2/3-51: 2003 Timber engineering hardware and connectors.

WIS 2/3-54: 1999 Exterior coatings on 'alternative' hardwoods.
WIS 2/3-55: 2001 UK-grown birch - suitable enduses.
WIS 2/3-57: 2005 Specifying wood-based panels for structural use.
WIS 2/3-58: 2007 Sustainable timber sourcing.
WIS 2/3-59: 2008 Recovering and minimising wood waste.
WIS 2/3-60: 2008 Specifying timber exposed to weathering.
WIS 2/3-61: 2009 Cross laminated timber. Information for specifiers.
WIS 2/3-62: 2009 Cross laminated timber. Structural principles.
WIS 4-7: 2006 Timber strength grading and strength classes.
WIS 4-11: 2009 Timber and wood-based sheet materials in fire.
WIS 4-12: 2008 Care of timber and wood-based products on building sites.
WIS 4-14: 2006 Moisture in timber.
WIS 4-16: 2002 Timber in joinery.
WIS 4-25: 1997 Fire tests for building materials - European standards.
WIS 4-28: 1998 Durability by design.
WIS 4-29: 2002 Dry-graded structural softwood.
WIS 4-31: 2008 Life cycle costing.
WIS 4-32: 2008 Acoustic performance in residential timber frame developments.
WIS 4-33: 2009 Life cycle assessment.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Woodworking Federation, 55 Tufton Street, London SW13QL, UK (0870 458 6939).

Coed Cymru, The Old Sawmill, Tregynon, Newtown, Powys SY16 3PL, UK (01686650777).

Glued Laminated Timber Association, Chiltern House, Stocking Lane, Hughenden Valley, High Wycombe, Bucks HP14 4ND, UK (01494 565180).

Thatching Advisory Services Ltd., The Old Stables, Redenham Park Farm, Redenham, Andover, Hampshire SP11 9AQ, UK (01264 773820).

Timber Research and Development Association, Stocking Lane, Hughenden Valley, High Wycombe, Buckinghamshire HP14 4ND, UK (01494 569600).

Trussed Rafter Association, P.O. Box 571, Chesterfield, Sheffield S40 9DH, UK (01246 230036).

UK Timber Frame Association Ltd., The e-Centre, Cooperage Way, Business Village, Alloa FK10 3LP, UK (01259 272140).

Wood for Good Ltd., 211 High Road, London N28AN, UK (020 8365 2700).

Wood Panel Industries Federation, 28 Market Place, Grantham, Lincolnshire NG31 6LR, UK (01467 563707).

5

المعادن الحديديّة وغير الحديديّة

مقدّمة

يستعمل طيف كبير من المعادن الحديديّة وغير الحديديّة وخلائطها في صناعة التشييد ولكن الحديد والفولاذ والألومنيوم والنحاس والرصاص والتوتياء هي الأكثر رواجاً. ففي العقد الماضي برز التيتانيوم بشكل كبير في التشييد على الرغم من أن استخدامه في ما مضى قد اقتصر بشكل أساسي على الصناعات الكيميائيّة والأغراض العسكريّة. والتوجّهات الحديثة هي تطوير خلائط أكثر ديمومة واستخدام دهانات للحماية ولإعطاء مظاهر متعدِّدة لأطياف المنتجات. وعموماً تتطلّب المعادن قدراً كبيراً من الطاقة للإنتاج بدءاً من المواد الأولية؛ ويعوّض عن ذلك جزئيّاً عمرها الطويل وإمكانية إعادة تدوير معظمها. حيث اقترب معدّل استرجاع الفولاذ من مواقع الهدم في المملكة المتحدة من 99%، مع إمكانية إعادة استخدام 10% منه وإعادة تدوير المتبقي. وتقريباً 60% من الفولاذ يتمّ إنتاجه حاليّاً من الخردة لأن الفولاذ يمكن تدويره مرّات عديدة من دون أي تراجع في خواصه.

المعادن الحديديّة

تعرّف المعادن الحديديّة بأنها المعادن التي يكون الحديد هو الغالب فيها. فقد كانت الاستخدامات الأولى للمعادن في تصنيع الأدوات والأسلحة في العصر الحديدي الذي بدأ في أوروبا نحو عام 1200 قبل الميلاد. وحصلت تطوّرات مهمة عندما استخدمت سلاسل الحديد المطاوع لمقاومة الشّد الناتج من الدفع نحو الخارج في قبّة كاتدرائية سانت بول (St. Paul) من قِبل رن (Wren) في عام 1625، وعندما استخدم حديد الصبِّ في حالة الضغط في الجسر الحديدي في

كولبروكدال (Coalbrookdale) في عام 1779، وكذلك عند استخدام المقاطع المسبقة الصنع من قِبل باكستون (Paxton) في قصر البلوّر (Crystal Palace) في عام 1851.

ويعدُّ الفولاذ حديثاً نسبياً، حيث أصبح متاحاً بكميات بعد تطوير محوّل بسمار (Bessemer Converter) في أواخر القرن التاسع عشر. وبنى وليام لوبارون جيني (William Le Baron Jenney) أوّل مبنى عالٍ مكوّن من عشرة طوابق من أطر فولاذية في عام 1885 في شيكاغو.

تمّت تغطية سقف الرصيف في محطة واترلو (Waterloo) للقطارات في لندن (الشكل 1.5) بأقواس فولاذيّة ثلاثيّة المفاصل حيث صُمِّمت لتأخذ بالحسبان الانحناء الحتميّ الذي تسبِّبه حركة القطارات عند هذا المستوى. ويتألّف كلّ قوس من جائزين شبكيين موشوريين يُشكّلان وتر القوس ويتصلان ببعضهما بوصلة مفصليّة. كما أن هذه الأقواس الفولاذية غير متناظرة نتيجة التقوّس الحرج للموقع. وتمّت تغطية أعلى الجوائز الشبكيّة الأطول بالزجاج المقسّى ويجسّر بينهما بمقاطع من الفولاذ غير القابل للصدأ مما يؤمّن الرؤية باتجاه لندن القديمة. في حين تمّ إكساء منطقة الجوائز الشبكية الأقصر كاملة بالزجاج. وصُمم الهيكل ليدوم مئة عام كحد أدنى.

تصنيع الفولاذ

ينطوي إنتاج الفولاذ على سلسلة من العمليات المترابطة ارتباطاً وثيقاً وذلك لضمان أقصى قدر من الكفاءة في عملية إنتاجه التي تستخدم الطاقة بكثافة. وتتألّف هذه العملية من المراحل الرئيسية التالية: صنع الحديد الخام (Pig Iron)، وتحويله إلى فولاذ، وصبّ الفولاذ المصهور وتشكيله على شكل مقاطع أو صفائح، وأخيراً درفلة لفائف الصفائح على البارد لتشكيل مقاطع رقيقة أو صفائح مضلّعة.

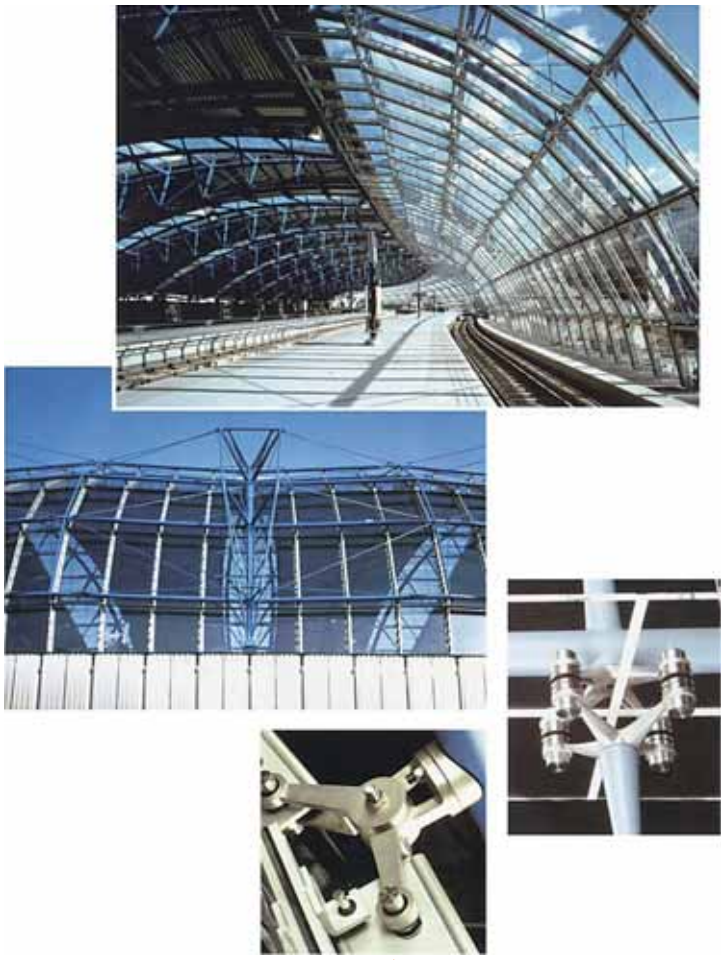
تصنيع الحديد الخام

تتكوّن المواد الخام لإنتاج الحديد من خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيري. ويتمّ استيراد معظم خام الحديد من أميركا وأستراليا والدول الإسكندينافية، حيث محتوى الحديد في خام الحديد عالٍ. ويتمّ إنتاج فحم الكوك في بطاريات أفران الكوك من الفحم الحجري الذي يستورد غالباً من أوروبا. ويلبّد بعد ذلك بعض هذا الكوك مع خام الحديد قبل عملية صنع الحديد.

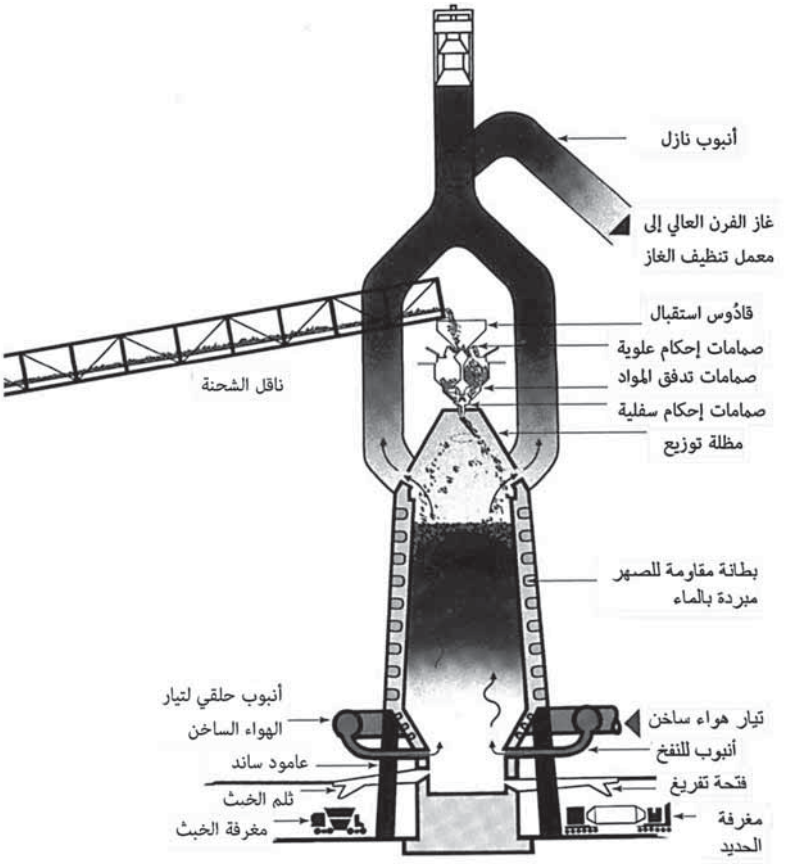
يدفع خام الحديد وفحم الكوك والحجر الجيريّ واللبيدات في الجزء العلوي

من الفرن العالي (الشكل 2.5). ويتمّ نفخ الهواء الساخن، المدعّم أحياناً بالأوكسجين، في قاعدة الفرن من خلال أنبوب. ممّا يسخّن الفرن إلى الحرارة البيضاء فيتحوّل فحم الكوك إلى أوّل أوكسيد الكربون ثم يتحوّل أوكسيد الحديد إلى الحديد.

يُجمع المعدن المُنصهر في الجزء السفلي من الفرن ويشكِّل الحجر الجيري الخبثَ السائل الذي يطفو على سطح الحديد المنصهر. كما تتم تنقية الشوائب في الحديد المنصهر حيث تكون امتصتّها طبقة الخبث.



(الشكل 1.5) أشغال الفولاذ الهيكلي ـ محطّة واترلو (Waterloo) للقطارات، لندن. المهندسون المعماريون: مهندسون معماريون غريمشو (Grimshaw). الصور: بالإذن من (Jo Reid & John Peck, Peter Strobel).



(الشكل. 2.5) فرن انفجاري.

تكون العملية برمّتها مستمرةّ لأن تبطين أفران الصهر بالآجُرّ الحراري الخاص مكلّف ومضيّع للوقت. من وقت لآخر ومع ارتفاع مستوى الخبث المنصهر يتمّ تفريغ الزائد للتخلص منه لاحقاً كمنتج ثانوي لصناعة الفولاذ. وعندما يكون **المعدن الساخن** مطلوباً لعمليّة صنع فولاذ لاحقة يفرغ في مغارف كبيرة لنقله مباشرة إلى محولات الفولاذ. ففي هذه المرحلة تكون نقاوة الحديد % 95-90 فقط مع شوائب من الكبريت والمنغنيز والفوسفور والسيليكون ويكون عندها المحتوى الكربون من % 5-4. ويتمّ تنظيف الغازات العادمة الناتجة من الفرن العالي ويُعاد تدويرها لتستخدم كوقود داخل المصنع. ويعمل فرن الصهر عادة لمدّة عشر سنوات من دون توقف منتجاً 40000 طن في الأسبوع.

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$
كربون — أوكسجين — أحادي أوكسيد الكربون

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$
خام الحديد (الشاذنج) — أحادي أوكسيد الكربون — الحديد — ثاني أوكسيد الكربون

صنع الفولاذ

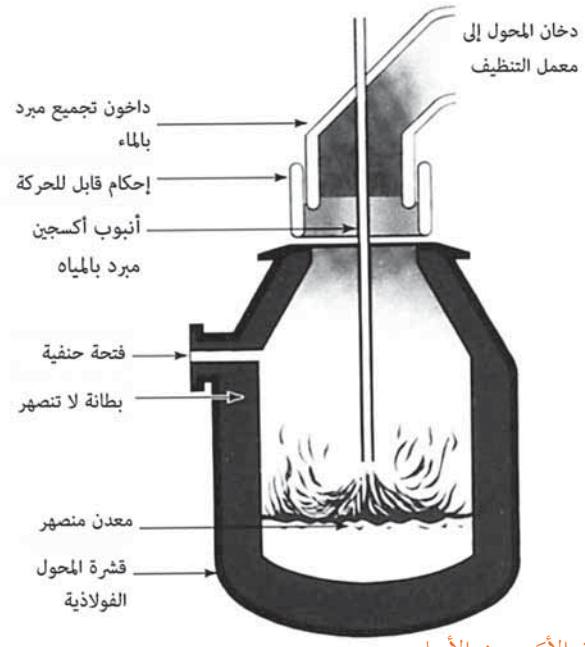
هناك نوعان من العمليات المعياريّة المُستخدمة في المملكة المتحدة لصنع الفولاذ: عملية الأوكسجين الأساسيّة وتستخدم لصناعة كميات كبيرة من أصناف الفولاذ المعياريّة، وعملية فرن القوس الكهربائي التي تستخدم لإنتاج أصناف خاصة عالية الجودة من الفولاذ وخصوصاً المقاوم للصدأ منها. واستخدم ملعب مانشستر (الشكل 3.5)، الذي بُني لدورة ألعاب الكومنولث عام 2002 لصالح نادي مانشستر سيتي لكرة القدم، نحو 2000 طن من الفولاذ الهيكلي.

(الشكل 3.5) الأشغال الفولاذية الهيكلية – ملعب مدينة مانشستر. المهندسين المعماريين: أروب وشركاه. الصورة: بالإذن من أروب وشركاه (Arup Associates).

عملية الأوكسجين الأساسيّة

يتمّ إنتاج كميات كبيرة من الفولاذ بواسطة عملية الأوكسجين الأساسيّة في فرن الفولاذ المبطّن ببطانة لا تنصهر والذي يمكن إمالته للشحن والتفريغ. ويبيّن (الشكل 4.5) فرناً نموذجياً يستوعب شحنةً قدرها 350 طنّاً ويحوّلها إلى فولاذ في غضون 30

دقيقة. في البداية يتمّ تحميل الفرن القابل للإمالة (المُحوّل) بكميّة من معدن الخردة تساوي ربع شحنته، تليها الكميّة المتبقيّة من الشحنة كمعدن ساخن من الفرن العالي مباشرة. ثم يتم إنزال أنبوب شاقولي مبرّد بالمياه لنفخ الأوكسجين المضغوط في المُحوّل. هذا يؤدي إلى حرق الشوائب وإلى تخفيض محتوى الكربون الزائد مع ارتفاع درجة الحرارة. ويتمّ إدخال الأرغون وكميّة صغيرة من النيتروجين في الجزء السفلي من الفرن. ويضاف الجير لتشكيل خبث عائم ليساعد على إزالة الشوائب ويضاف أيضاً مكوّنات سبائكيّة لضبط تركيب الفولاذ قبل تفريغه من المُحوّل. وأخيراً، يتمّ قلب الفرن لتفريغ أي خبث متبقّي وذلك قبل الدورة التالية.

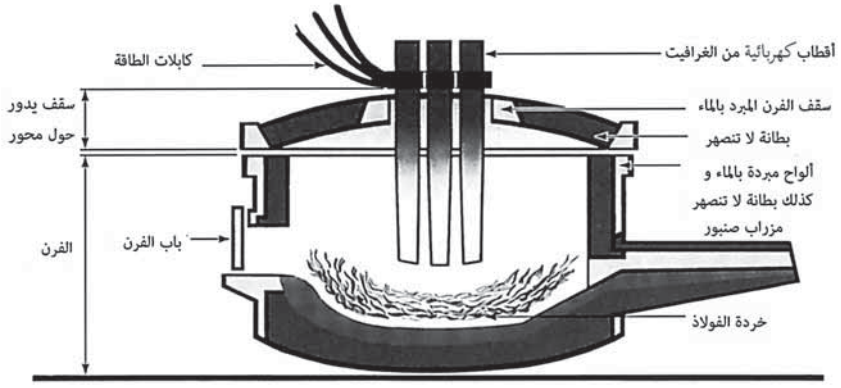


(الشكل 4.5) فرن الأكسجين الأساسي.

عمليّة فرن القوس الكهربائي

يتكوّن فرن القوس الكهربائي (الشكل 5.5) من موقد حراري مُبطّن ببطانة غير قابلة للانصهار ويغطّيه سقف قابل للإزالة، يمكن من خلاله رفع وخفض أقطاب كهربائية من الغرافيت. يزاح السقف جانباً كي يشحن الفرن بالخردة المعدنيّة ثم يغلق السقف ويتمّ تنزيل الأقطاب قرب سطح المعدن. ويمرَّر قوس كهربائي قوي بين الأقطاب والمعدن فيسخن ليصل إلى نقطة انصهاره. ويتمّ إضافة الجير والحجر الفلوري لتشكيل الخبث، وينفخ الأوكسجين في الفرن لإتمام عملية التنقية. وعندما

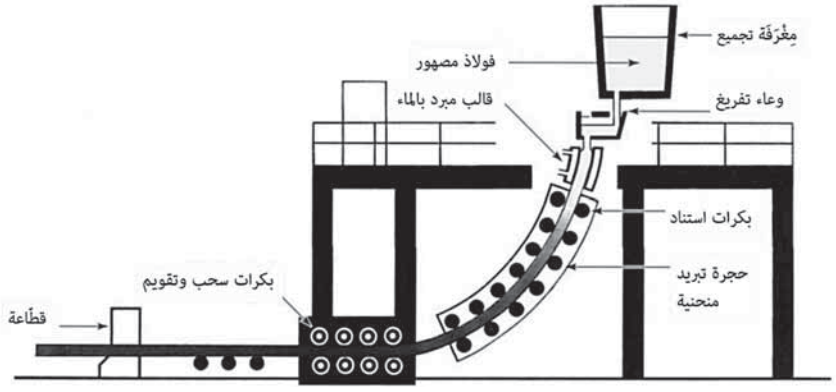
تصبح درجة الحرارة والتحليل الكيميائي صحيحين يتمّ إمالة الفرن لتفريغ المعدن، ومن ثم تضاف مكوّنات السبائك المناسبة. وينتج فرن نموذجي 150 طنّاً من الفولاذ عالي الجودة أو غير القابل للصدأ في غضون 90 دقيقة.



(الشكل 5.5) فرن القوس الكهربائي.

الصبّ

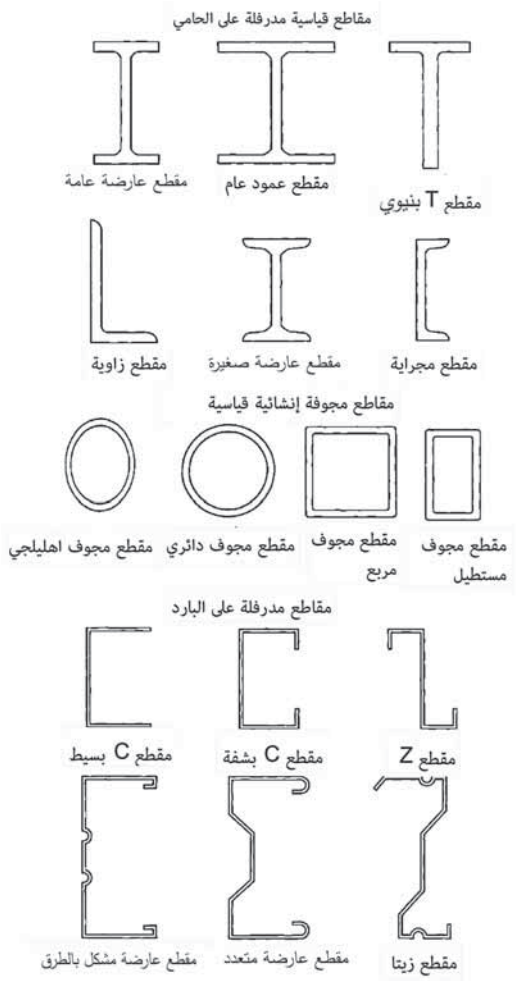
تقليدياً، كان يسكب الفولاذ المنصهر في صبّات (Ingots) قبل درفلته على الساخن إلى ألواح ثم صفائح. ولكن يتمّ الآن سكب معظم الفولاذ مباشرة وصبّه على شكل قضبان أو بلاطات مستمرّة ويتمّ بعد ذلك قطعها بأطوال مناسبة لمعالجتها لاحقاً. الصبّ المستمر (الشكل 6.5) ليس أكثر توفيراً للطاقة لأنه يوفر إعادة التسخين فقط بل أيضاً لأنّه ينتج إنهاءً أفضل لسطح الفولاذ.



(الشكل 6.5) الصب المستمر.

الفولاذ المدرفل على الساخن

يتمّ إنتاج صفائح الفولاذ بتمرير 25 طناً من البلاطات الساخنة، درجة حرارتها 1250 °C تقريباً، من خلال سلسلة من البكرات التي يتحكّم فيها الكمبيوتر حتى تنخفض سماكتها عادة إلى ما بين 1.5 و 20 mm قبل تبريدها بالماء ولفّها. ومن شأن بلاطة زنتها 25 طناً أن تنتج لفافةً من الصاج طولها كيلومتر واحد وسماكتها 2 mm. وتنتج المقاطع الفولاذية مثل مقاطع العوارض والأعمدة العامّة والمجاري والزوايا (الشكل 7.5) من درفلة القضبان الساخنة بتمريرها على سلسلة من **المنصّات** تحوّلها إلى الشكل المقطّع المناسب.



(الشكل 7.5) المقاطع المدرفلة على الساخن والبارد (بعد Trebilock 1994).

الفولاذ المدرفل على البارد

يمكن تخفيض سماكة ألواح الفولاذ أكثر وذلك بسحبها على البارد، مما يكسب سطحها إنهاءً جيداً ويزيد من مقاومتها على الشد. ويمكن معالجة المقاطع الدائرية الخفيفة وتحويلها إلى فولاذ لتسليح الخرسانة، بينما يتم تحويل لفائف الصاج إلى صاج مموّج أو مضلّع أو إلى مقاطع فولاذية خفيفة (الشكل 7.5). وأحياناً يتمّ في المعمل إنهاء الفولاذ المدرفل على البارد، والذي سيستخدم في التشييد، بطبقة من التوتياء أو سبائك الرصاص والقصدير أو بطلاء بلاستيكي. وتخضع صفائح الفولاذ البنيويّ المدرفلة على البارد إلى المواصفة البريطانية BS) ISO 4997: 2007).

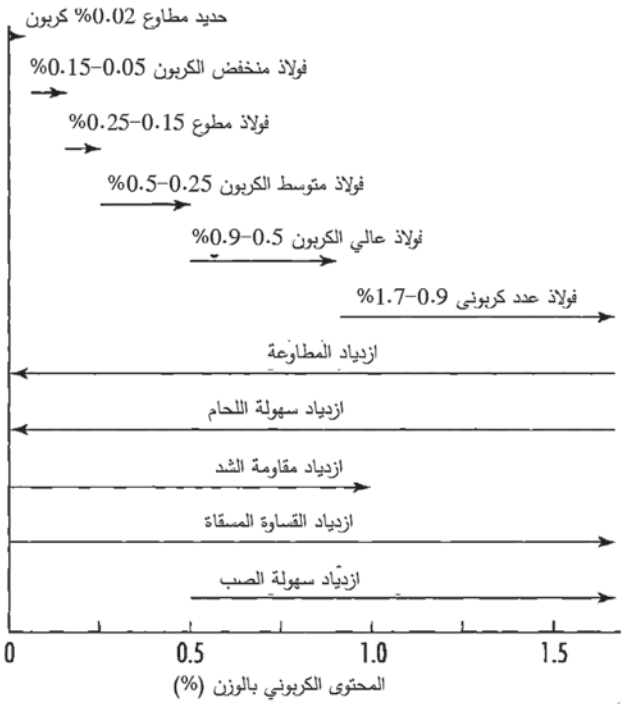
المحتوى الكربوني من المعادن الحديدية

لكمية الكربون في سبائك الحديد تأثير كبير في الخصائص الفيزيائية للمعدن بسبب تأثيرها المهم في التركيب البلوريّ المجهريّ (الشكل 8.5). فعند درجة حرارة الغرفة سلسلة من أشكال التبلور (الفريت، البرليت وسمنتيت Ferrite,) Pearlite and Cementite) المرتبطة بنسب مختلفة من الحديد والكربون تكون مستقرّة. ومع زيادة درجة الحرارة تصبح أشكال التبلور التي كانت مستقرّة في ظلّ الظروف المحيطة العادية غير مستقرة ويعاد تبلورها في أشكال تترافق مع درجات الحرارة العالية (الأوستينيت (Austenite)). ويمكن الحصول على هذا التركيب البلوري الأخير في درجة حرارة الغرفة بالإسقاء السريع للفولاذ المسخّن حتى الاحمرار الأمر الذي يمنع جزئيّاً أو كليّاً عمليات إعادة التبلور الطبيعية التي كان يمكن أن تتم لو حدث التبريد ببطء. وتستغل هذه الآثار في المعالجات الحرارية المختلفة التي تطبق على الفولاذ لتوسيع المجال المُتاح من الخصائص الفيزيائية.

الحديد المطاوع

الحديد المطاوع يحتوي على نحو 0.02% فقط من الكربون. وكان ينتج تقليدياً بإعادة صهر وأكسدة الحديد الخام في فرن ارتدادي Reverberatory) Furnace). وتستمرّ العملية حتّى يتمّ حرق كلّ محتوى الكربون في الحديد الخام تقريباً فيُنتَج حديد مطاوع عجيني، ويسحب من الفرن ومن ثم يطرَق. وللحديد المطاوع طابع ليفي نتيجة احتوائه عَرضاً على مخلّفات الخبث والشوائب مثل كبريت المغنيزيوم (Magnesium Sulphide) التي تشكلّت في عروق طويلة نتيجة

عملية الطرق. للحديد المطاوع نقطة انصهار عالية تقترب من 1540°C تبعاً لنقاوته. وكان يستخدم تقليدياً في العناصر المشدودة لقوة مقاومته للشدّ التي تبلغ 350 Mpa. وهو مطاوع وسهل التشغيل أو التطريق عندما يكون ساخناً حتّى الاحمرار، وبالتالي فهو مناسب جداً لأشغال الزينة الحديدية فضلاً عن أنه أكثر مقاومة للتآكل من الفولاذ. لا يمكن لحْم أو صب الحديد المطاوع بسبب نقطة انصهاره العالية. وقد توقّف إنتاجه في المملكة المتحدة في عام 1974. ويتمّ إنتاج الحديث منه بإعادة تدوير الحديد المطاوع القديم أو على نحو أكثر تواترا بإعادة تدوير الفولاذ منخفض الكربون ولكن مع مشاكل التآكل المصاحبة.



(الشكل 8.5) تأثير محتوى الكربون في خصائص الحديد المطاوع والفولاذ.

الحديد الصبّ

يحتوي الحديد الصبّ (الزهر) على كمية من الكربون أكثر من 2%. ويتمّ تصنيعه بكربنة (Carbonizing) الحديد الخام والخردة بفحم الكوك في الفرن. نقطة انصهاره المنخفضة (نحو 1130) وسيولته العالية عند انصهاره منحتاه خاصية صبّ

ممتازة ولكن، على عكس الحديد المطاوع، فإنّه لا يمكن تشغيله ساخناً وعموماً هو مادة هشة. وقد استغلّت مقاومته للتآكل باستخدامه في صبّ المراجل، وأثاث الشوارع وتجهيزات مياه الأمطار التقليديّة. وتصنع المسابك الحديثة المسبوكات بتصاميم جديدة لتعيد إنتاج عناصر من العهد الفيكتوري والإدواردي.

وتتعلّق أصناف حديد الزهر المتباينة بتراكيب بلورية مجهريّة مختلفة. ويحتوي حديد الزهر الرمادي الشائع على رقائق من الغرافيت التي تتسبّب في خاصيّة الهشاشة وتُكسبه اللون الرمادي للسطوح المتشقِّقة. ويحتوي الحديد الزهر الأبيض على الكربون على شكل بلورات سمنتيت (كربيد الحديد، Fe_3C) التي تشكّلت بالتبريد السريع للصهارة. ويمكن أن تُلدّن هذه المواد بالتحمية ثم التبريد للحدّ من طابعها الهش. ويتمّ إنتاج حديد زهر أكثر مطاوعة (حديد زهر كروي Spheroidal) (Cast Iron) من طريق إضافة المغنيزيوم والسيليكون الحديدي (Ferrosilicon) والتلدين مما يؤدّي إلى بلورة الكربون على شكل عقد من الغرافيت. لهذه المواد قوة مقاومة على الشدّ أكبر وكذلك على الصدم. لكن جميع أنواع حديد الزهر قوية على الضغط. وتحدد المواصفة البريطانية (BS EN 1560: 1997) نظام تسميته وتوصيفه.

تكون السلع الحديدية التي تستخدم في الطرقات ثقيلة ولكن هشة، مثل أغطية غرف التفتيش المصنوعة غالباً من حديد الزهر الرمادي المعاد تدويره. وتستخدم قطع من الحديد المطاوع أخف وزنا وأمتن عندما تتطلب الطرق العامة مقاومة أعلى للصدم. وتقليدياً يتم تصنيع سلع مياه الأمطار المصبوبة عادة بالرمل من حديد الزهر الرمادي، في حين يتم تصنيع أنظمة الصرف من حديد الزهر الرمادي والحديد المطاوع. وعلى عكس الفولاذ، لا يلين حديد الزهر قبل الأوان في النار، ولكن قد يتشقَّق إذا تمّ تبريده بسرعة كبيرة جداً بماء الإطفاء. وتغطي المواصفة البريطانية (BS EN 877: 1999) شبكات الصرف المصنّعة من حديديّ الزهر الرمادي والكروي. وتعدُّ أنظمة الصرف المصنوعة من حديد الصبّ مناسبة بشكل خاص لمناطق التراث والحفاظ على البيئة.

الفولاذ

هناك طيف واسع من الفولاذ متوفّر تجارياً يعكس الخصائص المختلفة المرتبطة بمحتوى الكربون، والمعالجات الحرارية المختلفة وإضافة المكونات

السبائكيّة. وعادة ما تتراوح محتويات الكربون في الفولاذ بين 0.05% و1.7% وهذا وحده ينعكس في طيف واسع من الخصائص الفيزيائية. فالفولاذ المنخفض الكربون (0.05%-0.15%) والفولاذ المعتدل (0.15-0.25%) هما ليّنان نسبيّاً ولهما قابلية كبيرة للتشغيل على البارد. أمّا الفولاذ المتوسّط الكربون (0.25-0.5%)، والذي غالباً ما يكون معالجاً حرارياً، يكون صعب الاهتراء. في حين يبدي الفولاذ العالي الكربون (0.5-0.9%) وفولاذ الأدوات الكربوني (0.9-1.7%) متانةً ومقاومة اهتراء متزايدتين مع زيادة محتوى الكربون. وبالإضافة إلى ما سبق، يتمّ استخدام فولاذ منخفض الكربون (<0.02%) ومنخفض الكربون للغاية (<0.01%) في التطبيقات التي تحتاج إلى قابليه تشكيل عالية وسحب. مع العلم بأنَّ محتويات الكربون هذه مماثلة لتلك التي في الحديد المطاوع التقليدي.

المعالجات الحرارية للفولاذ

يمكن تعديل الخصائص الفيزيائية للفولاذ من طريق المعالجات الحرارية المختلفة التي تنطوي على التسخين إلى درجة حرارة معّينة ثم التبريد تحت ظروف مسيطر عليها. وتمّ وصف مجموعة كاملة من المعالجات الحرارة في المواصفة (BS EN 10052: 1994). وتغطّي المواصفة (BS EN 10343: 2009) فولاذ التشييد المُستخدم في صناعة الأجزاء التي تتطلب إسقاءً وتليين (Quenching And Tempering) (+QT) أو إعادته إلى طبيعته (تطبيع) (Normalising) (+N).

التقسية

الفولاذ المسقى بسرعة قاسٍ وهشّ، حيث يؤدي التبريد بسرعة، من درجة حرارة عالية في الزيت أو في الماء، إلى المحافظة على الشكل البلوري الذي تمّ عند درجة الحرارة العالية. ويصبح هذا الأثر أكثر وضوحاً في الفولاذ ذي المحتوى الكربوني الأعلى، والذي هو غالباً غير مناسب للأغراض الهندسية وهو على هذه الحالة. وأحياناً يُتبع الإسقاء (Quenching) بعملية تليين (Tempering) للحدّ من الصلابة والهشاشة المفرطتين.

التلدين والتطبيع

تنطوي عملية الإحماء على تليين الفولاذ القاسي بإعادة بلورته فتتحرّر الإجهادات في داخل المادة وتنتج بنية حبيبيّة أكثر انتظاماً. للتلدين يعاد تسخين الفولاذ وينقع في درجة حرارة نحو 650 ثم يُبرد ببطء بمعدل متحكّم فيه داخل فرن

أو حفرة تبريد. فينتج فولاذاً أكثر طراوة بتركيب معيّن. أمّا في عملية التطبيع فيعاد تسخين الفولاذ إلى 830-930 °C لفترة أقصر ثم يُبرّد بسرعة أكبر في الهواء. مما يسهل العمل اللاحق على البارد والتشغيل الآلي.

التليين

تنطوي عملية التليين على إعادة تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة معتدلة (400-600 °C)، ثم يُبرّد في الهواء مما يقلّل من هشاشته ويسمح جزئيّاً بإعادة بلورة المعدن. ويرتبط مقدار التليين والزيادة في المُطاوعة والنقصان في مقاومة الشدّ مباشرة مع ارتفاع درجة حرارة العملية.

الكربنة

يمكن تقسية الطبقة السطحية للمكونات بزيادة المحتوى الكربوني للسطح الخارجي، وترك نواة المكوّن ليّنة نسبياً، ممّا يعطي سطحاً صعب الاهتراء من دون هشاشة وفقدان لمقاومة الصدم في المركز. وعادة، تنطوي هذه العملية على تسخين المكونات بعد إحاطتها بالفحم أو غيره من المواد الكربونية إلى 900 تقريبا لعدّة ساعات. ثم تُعالج القطع حرارياً ليتمّ استكمال تقسية السطح.

مواصفات الفولاذ

يتمّ تصنيف الفولاذ في الاتحاد الأوروبي من خلال سلسلة من المعايير الأوروبية (BS EN 10025: 2004).

الفولاذ البنيوي المدرفل على الساخن (Hot Rolled Structural Steels):

البيانات التقنية العامة (BS EN 10025-1: 2004)

الفولاذ البنيوي غير الخلائطي (BS EN 10025-2: 2004)

الفولاذ البنيوي الناعم الحبيبات القابل للِحام (BS EN 10025-3: 2004)

الفولاذ البنيوي المدرفل الناعم الحبيبات القابل للِحام (BS EN 10025-5: 2004)

الفولاذ ذو المقاومة المحسنة للتآكل الناجم عن الظروف الجوية (BS EN 10025-5: 2004)

الفولاذ البنيوي ذو قوّة الخضوع العالية (BS EN 10025-6: 2004)

المقاطع الفولاذية البنيوية المفرغة (المجوّفة) والمشكلة على الساخن (BS EN 10210-1: 2006)

المقاطع الفولاذية البنيوية المفرغة (المجوّفة) والمشكّلة على البارد (BS EN 10219- 1: 2006)

وتوضح الجداول 1.5 ـ 5.5 الأصناف المعيارية للفولاذ وقواها المميزة. في هذه المعايير يشير الحرف S إلى الفولاذ البنيوي، ويتعلّق الترميز بالأرقام اللاحقة بقوّة الخضوع الدنيا. وتشير الحروف الفرعية إلى مقاومة الصدم وظروف الإنتاج والتراكيب الأخرى. فمثلاً W تشير إلى أنّ الفولاذ مقاوم للطقس. وقد تمّ تعريف أرقام الفولاذ لكلٍّ صنف منه في المواصفة (BS EN 10027-2:1992).

يوضح المثال التالي نظامي الترميز لصنف معياري من الفولاذ:

(S275JR) (BS EN 10027-1: 2005)

(1.0044) (BS EN 10027-2: 1992)

(S275JR): S يشير إلى الفولاذ الهيكلي.

قوّة الخضوع هي 275 .MPa

J هي أدنى قوة صدم في درجة حرارة الغرفة R.

1.0044: الرقم الأوّل هو رقم مجموعة المادّة مع الفولاذ 1.

الزوج الثاني من الأرقام هو رقم مجموعة الفولاذ 00 مشيراً إلى فولاذ أساسي غير سبائكي.

الأرقام الأخيرة تشير إلى صنف محدّد من الفولاذ غير السبائكي.

الجدول 1.5 تصنيف الفولاذ لأصناف معيارية وفقاً لـ (BS EN 10025-2: 2004) منتجات الفولاذ البنيوي غير السبائكي المدرفل على الحامي.

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10025-2: 2004 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S185	1.0035	290-510	185
S235JR	1.0038	360-510	235
S235J0	1.0114	360-510	235
S235J2	1.0117	360-510	235
S275JR	1.0044	410-560	275
S275J0	1.0143	410-560	275
S275J2	1.0145	410-560	275
S355JR	1.0045	470-630	355
S355J0	1.0553	470-630	355
S355J2	1.0577	470-630	355
S355K2	1.0596	470-630	355

ملاحظات:

تُشير الدرجات الفرعية JR, J0, J2 وK2 إلى تزايد في قوّة الصدم مقيسة باختبار الأخدود V شاربي (Charpy V-notch)

K لديها طاقة أعلى من J. وتُشير الرموز R، 0 و2 إلى أن اختبار الصدم تم في درجة حرارة الغرفة، 0 و 20 على التوالي.

البيانات هي لفولاذ سمكه 16 mm أو أقل.

الجدول 2.5 تصنيف الفولاذ لأصناف عالية من الفولاذ البنيوي وفقاً لـ BS EN) (10025-3: 2004 منتجات الفولاذ البنيوي المدرفل على الحامي القابل للِّحام ذي الحبيبات الناعمة

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10025-3: 2004 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S275N	1.0490	370-510	275
S275NL	1.0491	370-510	275
S355N	1.0545	470-630	355
S355NL	1.0546	470-630	355
S420N	1.8902	520-680	420
S420NL	1.8912	520-680	420
S460N	1.8901	550-720	460
S460NL	1.8903	550-720	460

ملاحظات:

تتعلّق الدالة الفرعية N (مطبع أو مطبع ومدرفل) بالحالة الفيزيائية للفولاذ وL (صدم منخفض درجة الحرارة) بقوّة صدم عالية.

البيانات هي لفولاذ سمكه 16 mm أو أقل.

الجدول 3.5 تصنيف الفولاذ لأصناف عالية وفقاً لـ (BS EN 10025-4: 2004)
منتجات الفولاذ البنيوي المدرفل على الحامي القابل للِّحام ذي الحبيبات الناعمة المدرفل ميكانيكياً وحرارياً

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10025-4: 2004 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S275M	1.8818	370-530	275
S275ML	1.8819	370-530	275
S355M	1.8823	470-630	355
S355ML	1.8834	470-630	355
S420M	1.8825	520-680	420
S420ML	1.8836	520-680	420
S460M	1.8827	540-720	460
S460ML	1.8838	40-720	460

ملاحظات:

تتعلق الدالة الفرعية M (مدرفل ميكانيكياً وحرارياً) بالحالة الفيزيائية للفولاذ وL (صدم منخفض درجة الحرارة) بمقاومة صدم عالية.

البيانات هي لفولاذ سمكه 16 mm أو أقل.

الجدول 4.5 تصنيف الفولاذ لأصناف مقاومة للطقس
وفقاً لـ (BS EN 10025-5: 2004)

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10025-5: 2004 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S235JOW	1.8958	360-510	˚ç
S235J2W	1.8961	360-510	˚ç
S355JOWP	1.8945	470-630	˚çç
S355J2WP	1.8946	470-63	˚çç
S355JOW	1.8959	0	˚çç
S355J2W	1.8965	470-630	˚çç
S355K2W	1.8966	470-630	355

ملاحظات :

تُشير الدرجات الفرعية J0, J2 وK2 إلى تزايد في قوّة الصدم على الترتيب.

تُشير الدالة W إلى فولاذ مقاوم للطقس

تُشير الدالة P إلى فولاذ عالي الفوسفور

البيانات هي لفولاذ سمكه 16 mm أو أقل.

الجدول 5.5 تصنيف الفولاذ لأصناف مسقاة ومليّنة بقوة خضوع عالية وفقاً لـ (BS EN 10025-6: 2004)

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10025-6: 2004 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S460Q	1.8908	550-720	460
S500Q	1.8924	590-770	500
S550Q	1.8904	640-820	550
S620Q	1.8914	700-890	620
S690Q	1.8931	770-940	690
S890Q	1.8940	940-1100	890
S960Q	1.8941	980-1150	960

ملاحظات:

تُشير الدالة Q إلى فولاذ مُسقى

البيانات هي لفولاذ سماكته بين 3 و50 mm.

الفولاذ البنيوي

يحتوى الفولاذ البنيوي القابل للِّحام، الذي استخدم في ملعب ويمبلي في لندن (الشكل 9.5)، على كربون في المجال 0.25% - 0.16. ويُطبع الفولاذ البنيوي عادةً بالتبريد الطبيعي في الهواء بعد الدرفلة على الحامي. إن تأثير الحجم كبير، ممّا يجعل المقاطع الكبيرة تبرد ببطء أكثر من المقاطع الرقيقة فيؤدي ذلك إلى اختلافات كبيرة في الخصائص الفيزيائية، وبالتالي فإن مقطعاً سماكته 80 mm يمكن أن يكون له قوة خضوع 10% أقل من مقطع سماكته 16 mm من نفْس الفولاذ. على الرغم من أن الصنف S275 سبق أن اعتبر فولاذاً بنيويّاً معيارياً، وما زال يستخدم في معظم العوارض الصغيرة والمبسّطات والزوايا، وقد أصبح الصنف S355 يستخدم في العوارض الكبيرة والأعمدة والمقاطع المجوّفة على نحو متزايد.

(الشكل 9.5) الأشغال الفولاذية البنيوية. ملعب ويمبلي (Wembley) في لندن. المهندسون المعماريون: فوستر (Foster) وشركاه. الصورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

المقاطع المجوّفة (المُفرغة)

عادة تصنع المقاطع المجوّفة الدائرية والبيضوية والمربّعة والمستطيلة من المقاطع المسطّحة ويتمّ تصنيعها تدريجيّاً حتى تصبح مستديرةً تقريباً. ثم تُمرّر من خلال وشائع استحثاث عالية التردد لرفع درجة حرارة الحواف حتى الانصهار وعندها تجمع معاً لإكمال أنبوب. وتتمّ إزالة المعادن الزائدة من السطح. ثم يُسخّن الأنبوب كلّه إلى درجة حرارة التطبيع (850-950 °C)، ويدرفل إلى مقاطع دائرية، بيضوية، مستطيلة أو مربّعة. وفي حالة المقاطع الأصغر حجماً يتمّ تسخين الأنبوب إلى 950-1050 °C ويشدّ لتخفيض أبعاده حتى تصبح مناسبة. أصناف الفولاذ المعيارية طبقاً لـ :BS EN 10210-1 (2006 هي (S275J2H) و(S355J2H) (الجدول 6.5). تختلف المقاطع المجوّفة المشكّلة على البارد في خصائص المادة عن المقاطع المُنجزة على الساخن الجاهزة وتكون مطابقة لـ (BS EN 10219: 2006). يتمّ استيراد الصنف الأدنى (S235)، بقوّة خضوع دنيا 235 MPa، ولكن الأصناف المعيارية غير السبائكية هي (S275) و(S355). ويُصنف (S420) و (S460) كفولاذ سبائكي خاص (الجدول 7.5).

للمقاطع الأكبر المفرغة، يتمّ استخدام عملية تطريق دوارة لإنتاج الأنابيب غير الملحومة (Seamless). حيث تُخرّق صبات فولاذية مُسْتَدِقّة ساخنة بمكبس

هيدروليكي ثم يُفتح الفراغ المركزي ببكرات ومغزل بالتناوب. ويُمرّر الفولاذ لاحقاً على سلسلة لامركزية من الأسطوانات التي تسبِّب استطالة الأنبوب مما يخفض مقطعه إلى الأبعاد المطلوبة.

الجدول 6.5 تصنيف المقاطع البنيوية المفرغة المنهاة على الحامي وفقاً لـ (BS EN 10210: 2006) مقاطع بنيوية منجزة على الحامي من فولاذ غير سبائكي ذي حبيبات ناعمة

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10010-1: 2006 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوة الشد القصوى	(MPa) قـــوة الخضوع الدنيا
S235JRH	1.0039	510 ـ 360	235
S275JOH	1.0149	560 ـ 410	275
S275J2H	1.0138	560 ـ 410	275
S355JOH	1.0547	630 ـ 470	355
S355J2H	1.0576	630 ـ 470	355
S355K2H	1.0512	630 ـ 470	355
S275NH	1.0493	510 ـ 370	275
S275NLH	1.0497	510 ـ 370	275
S355NH	1.0539	630 ـ 470	355
S355NLH	1.0549	630 ـ 470	355
S420NH	1.875	680 ـ 520	420
S420NLH	1.8751	680 ـ 520	420
S460NH	1.8953	720 ـ 540	460
S460NLH	1.8956	720 ـ 540	460

ملاحظات :

تُشير الدالة H إلى مقاطع مفرغة

تُشير الدرجات الفرعية JR, J0, J2 إلى أن قوّة الصدم تمّت في درجة حرارة الغرفة، 0 و ^{o}C 20- على التوالي.

K2 لديها طاقة صدم أعلى من J2.

تتعلق الدالة الفرعية N (مطبع أو مطبع ومدرفل) بالحالة الفيزيائية للفولاذ وL (صدم منخفض درجة الحرارة) بمقاومة صدم عالية.

أصناف الإنتاج المعيارية في المملكة المتحدة (S275J2H) أو (S355J2H)

البيانات هي لفولاذ سماكته بين 3 و16 mm

الجدول 7.5 تصنيف المقاطع البنيوية المفرغة المشكّلة على البارد وفقاً لـ (BS EN 10219: 2006) **مقاطع بنيوية مفرغة ملحومة مشكّلة على البارد من فولاذ غير سبائكي ذي حبيبات ناعمة**

التصنيف		الخصائص	
BS EN 10027-1: 2005 and BS EN 10027-2: 1992		BS EN 10219-1: 2006 limits	
الصنف	عدد	(MPa) قوّة الشد القصوى	(MPa) قـــوّة الخضوع الدنيا
S235JRH	1.0039	470 ـ 340	235
S275JOH	1.0149	560 ـ 410	275
S275J2H	1.0138	560 ـ 410	275
S355JOH	1.0547	630 ـ 470	355
S355J2H	1.0576	630 ـ 470	355
S355K2H	1.0512	630 ـ 470	355
S275NH	1.0493	510 ـ 370	275
S275NLH	1.0497	510 ـ 370	275
S355NH	1.0539	630 ـ 470	355
S355NLH	1.0549	630 ـ 470	355
S460NH	1.8953	720 ـ 540	460

S460NLH	1.8956	720 ـ 540	460
S275MH	1.8843	510 ـ 360	275
S275MLH	1.8844	510 ـ 360	275
S355MH	1.8845	610 ـ 450	355
S355MLH	1.8846	610 ـ 450	355
S420MH	1.8847	660 ـ 500	420
S420MLH	1.8848	660 ـ 500	420
S460MH	1.8849	720 ـ 530	460
S460MLH	1.885	720 ـ 530	460

ملاحظات:

تُشير الدالة H إلى مقاطع مفرغة

تُشير الدرجات الفرعية JR, J0, J2 إلى أن مقاومة الصدم تمت في درجة حرارة الغرفة، 0 و ^{o}C 20- على التوالي.

K2 تدل على طاقة صدم أعلى من J2.

تتعلق الدالتان الفرعيتان M (مدرفل ميكانيكياً وحرارياً) وN (مطبع أو مطبع ومدرفل) بالحالة الفيزيائية للفولاذ وL (صدم منخفض درجة الحرارة) بمقاومة صدم عالية.

أصناف الإنتاج المعيارية في المملكة المتحدة (S275J2H) and (S355J2H) البيانات هي لفولاذ سماكته بين 3 و16 mm.

حني المقاطع البنيوية

يمكن حني العوارض المحصنة (Castellated Beams)، والمدرفلة والمفرغة إلى أشكال منحنية من قِبل شركات متخِّصصة بالأشغال المعدنية. ويعتمد نصف القطر الأدنى الممكن تحقيقه على خصائص المعدن والمقطع العرضي وسماكته. وعموماً يمكن حني المقاطع الصغرى بأنصاف أقطار أصغر من المقاطع الأكبرى، وعلى الرغم من أنه من أجل مقطع عرضي محدّد يمكن حني المقطع بنصف قطر أصغر كلما زادت سماكته. وعادةً، يمكن حني المقاطع المعياريّة بأنصاف أقطار

أصغر من المقاطع المجوّفة التي لها نفْس الأبعاد. ويمكن إنتاج مبانٍ أنيقة، مثل جسر مارشنت (Merchants Bridge) في مانشستر (الشكل 10.5)، من مقاطع معيارية منحنية وأيضاً عوارض مستدقة (Tapered Beams). إنّ عملية الحني على البارد تُقسي الفولاذ، ولكن من دون خسارة كبيرة في الأداء ضمن مجال المرونة الخاص بأشغال الفولاذ البنيوي. يمكن أن يكون التسامح في الوحدات منخفضاً إلى حدِّ 2 mm مع إمكانية الانحناءات المتعدِّدة وعكس التقوّسات والانحناءات الثلاثية البعد. وعلى نحو متزايد، حلَّ الحني على البارد مكان الاستحثاث أو الحني على الساخن الذي يتطلّب معالجة حرارية لاحقة لاستعادة خصائص الفولاذ الأولية.

(الشكل 10.5) المقاطع الفولاذيّة المنحنية. جسر مارشنت. مانشستر (Manchester). الصورة: بإذن من شركة (The Angle Ring Company).

المقاطع المصبوبة

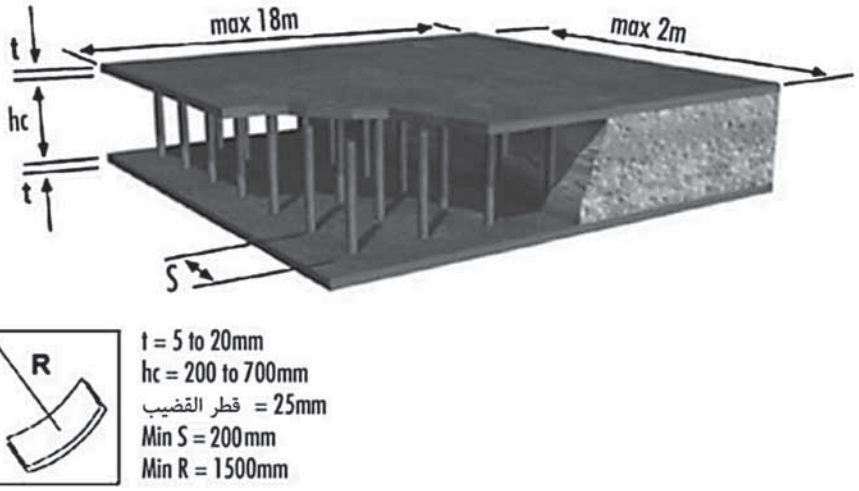
يتم تصنيع عناصر مثل عقد المباني ذات المقاطع المستطيلة والدائرية المفرغة والعقد المفصلية الكبيرة بصبها فرادى مباشرة. ويمكن بعد ذلك أن يتم لحامها إلى المقاطع المعيارية لإعطاء استمرارية للمبنى. تحتوي المواصفة (BS EN 10340: 2007) على قوائم الفولاذ البنيوي المناسب للصب. قد يتم تعريض الفولاذ السبائكي المصبوب للإسقاء والتليين، أو التطبيع أو الاحماء طبقاً لمتطلبات العنصر المحدّدة.

مباني الأطر الفولاذية

يعد استخدام مباني الأُطر الفولاذية الخفيفة بديلاً لتكنولوجيا الأطر الخشبية. حيث تُصنع معظم الأطر الخفيفة من مقاطع المجاري (Channel Sections) الفولاذية المغلفنة المشكلة على البارد، التي تُجمّع في المصنع، فتصبح جاهزة للتجميع مع بعضها بالبراغي لاحقاً في الموقع. وعادة ما تكون الوحدات على شكل ألواح بعرض 600 mm، وبارتفاع طابق واحد، مبطنة بطبقة مانعة للبخار وألواح الجص. تقلّل هذه الطريقة الحديثة في البناء كثيراً من الوقت في الموقع مقارنة مع البناء بجدران حجرية حاملة تقليدية.

الفولاذ المضاعف

تتكوّن الألواح الثنائية الفولاذ من صفيحتين فولاذيتين مثبتتين بعيداً عن بعضهما بواسطة مجموعة من قضبان الوصل الملحومة (الشكل 11.5). وعادة يتمّ تجميع الألواح في وحدات أكبر للتسليم إلى الموقع حيث تُركب ويتم ملء الفراغ بين الصفيحتين بالخرسانة. فيعمل مُركّب الهيكل الفولاذي الدائم والخرسانة المالئة كخرسانة مسلحة، حيث يوفر الفولاذ المقاومة للقوى في المستوي وعزم الانحناء وتقاوم الخرسانة الضغط والقص. ويتم تصنيع الوحدات ليصل عرضها وطولها إلى 2 m و18 m على الترتيب من فولاذ S275 وS355 وبسماكة بين 200 و700 mm، وربما تكون مسطحة أو منحنية. يمكن تجميع الألواح المتجاورة بالبراغي أو تثبيتها ببعض بعناصر وصل خاصة مما يجعلها تُرّكب بسرعة في الموقع.

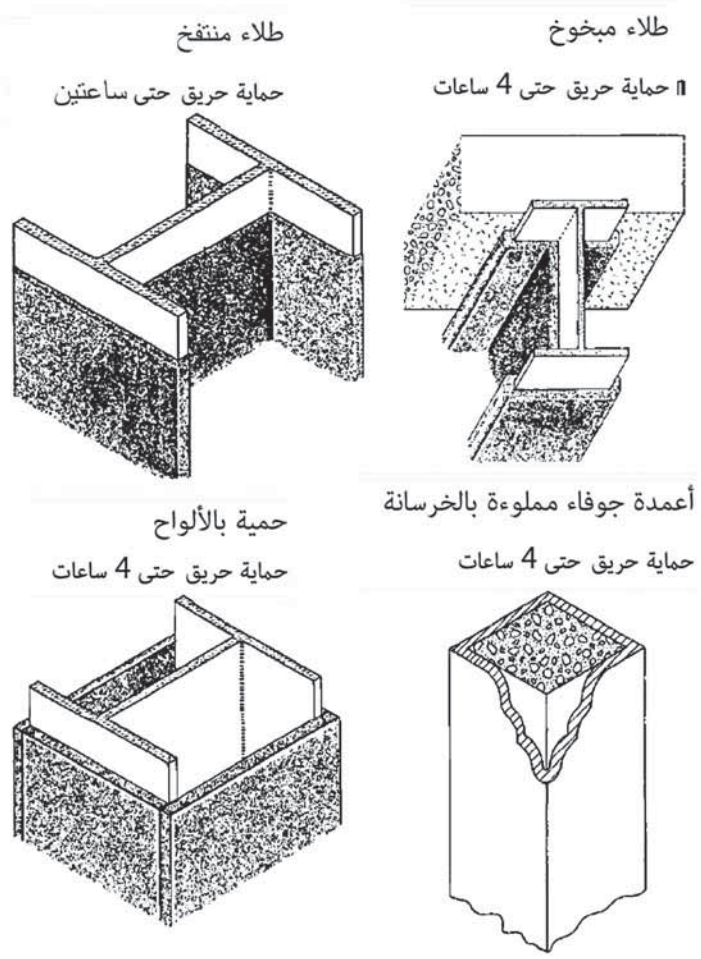


(الشكل 11.5) وحدة من الفولاذ المضاعف. بالإذن من (Corus).

حماية الفولاذ البنيوي من الحريق

تعتمد المقاربتان في تصميم الاحتياطات ضدّ الحريق في المباني على فترات مقاومة الحريق، كما هو موضح في وثيقة أنظمة البناء المعتمدة B والمواصفة البريطانية (BS 9999: 2008)، أو على بيانات المخاطر المعتمدة على الإشغال ومعدّل نمو الحرائق وظروف التهوية والشكل الهندسي للبناء كما هو مبيّن في المواصفة السابقة. وتتضمّن هذه المواصفة تدقيق النظر في الأماكن الأكثر تعقيداً مثل المدرجات والفناءات الداخلية إضافة إلى الأبنية ذات التكوين الأقل تعقيداً.

يمكن مقاربة حماية الفولاذ البنيوي من الحرائق إمّا بالطريقة التقليدية التي تنطوي على تطبيق مواد العزل ذات فترات قياسية لمقاومة الحريق (الشكل 12.5) أو بطريقة الهندسة البنيوية المقاومة للحريق المبنيّة على حساب حمولة الحريق وتعرّض الفولاذ بشكل محدّد، والتي تتوقّع المعدّل المحتمل لارتفاع درجة حرارة العناصر الفولاذية التي يمكن أن تتعرّض للحريق في كلِّ حالة.



(الشكل 12.5) أشغال الفولاذ البنيوي، نظم نموذجية للحماية من الحريق.

الحماية المطبقة على الفولاذ البنيوي

الطلاء المنتفخ المقاوم للحريق

تؤمن طبقة رقيقة من الطلاء المقاوم للحريق، والتي لا تؤثر تأثيراً مهماً في جمالية الأشغال الفولاذية المكشوفة، حمايةً من الحريق حتى 120 دقيقة. ويمكن استخدام مجموعة ألوان كاملة للتطبيق بواسطة الفرشاة، أو البخاخ أو الأسطوانة (Roller) على الفولاذ وكذلك في أعمال ترميم مباني الحديد الزهر أو المطاوع القديمة. وتحدد عادة ثلاث معايير للإنهاء: إنهاء أساسي وإنهاء ديكوري عادي

وإنهاء ديكوري عالٍ للإنهاء الديكوري العادي مظهر طفيف كقشرة البرتقال، في حين يكون مظهر الإنهاء الديكوري العالي ناعماً ومنتظماً.

الطلاء المبخوخ

يمكن تطبيق الطلاء المبخوخ الذي يعتمد على الإسمنت الفيرميكولايت (Vermiculite) أو على إسمنت الألياف المعدنية مباشرة على الفولاذ ليعطي حماية من الحرائق حتى 240 دقيقة. هذه العملية مناسبة خاصة للفولاذ البنيوي في فراغات السقف، حيث البخّ المتناثر على المواد الأخرى أقلّ حرجاً. وسيكون الإنهاء، والذي يمكن ضبط سماكته، محكماً بشدة وستكون المنتجات رخيصة نسبياً.

الأنظمة اللوحيّة

توفر ألواح خفيفة لإحاطة المقاطع الفولاذية، الحماية من الحرائق مدة بين 30 و240 دقيقة وفقاً لسماكاتها. تعتمد المنتجات عموماً على الفيرميكولايت أو الألياف المعدنية داخل الإسمنت مع مواد رابطة من الجبص أو سيليكات الكالسيوم. تثبّت الأنظمة اللوحية مباشرة بالبراغي على الفولاذ البنيوي، أو إلى مثبّتات فولاذية خفيفة أو إلى تكوين صندوقي. فالمنتجات المطليّة مسبقاً متوفرة، أو يمكن تزيين النظم المعيارية في وقت لاحق.

أغلفة مسبقة التشكيل

تعطي الأغلفة المصنوعة من صفائح فولاذية مسبقة التشكيل، التي تغلف طينة خفيفة الوزن من الفيرميكولايت (Vermiculite)، مظهراً عالي الجودة ومقاومة للحريق حتى 240 دقيقة. ويعتمد حساب مقاومة الحريق فقط على سماكة العزل ولا يأخذ في الاعتبار أي حماية إضافية توفرها صفائح الفولاذ.

البناء والخرسانة

يمكن تغليف الفولاذ البنيويّ بالكامل بالبناء حوله أو بخرسانة مسلّحة خفيفة الوزن بشكل مناسب حيث ينبغي استخدام حصويّات غير قابلة للتفتت. ويمكن ملء أعمدة الفولاذ المفرغة بالخرسانة العادية، أو المسلحة بالألياف أو المسلحة بالقضبان لتعطي مقاومة للحريق حتى 120 دقيقة. ويجب أن لا تقل أبعاد المقطع الذي سيملأ بالخرسانة العادية أو المسلحة بالألياف عن 140 × 140 أو 200 x 100 mm كما يجب

أن لا تقلّ أبعاده عن 200 x 200 mm أو 150 x 250 mm إذا كان سيُملأ بالخرسانة المسلّحة بالقضبان.

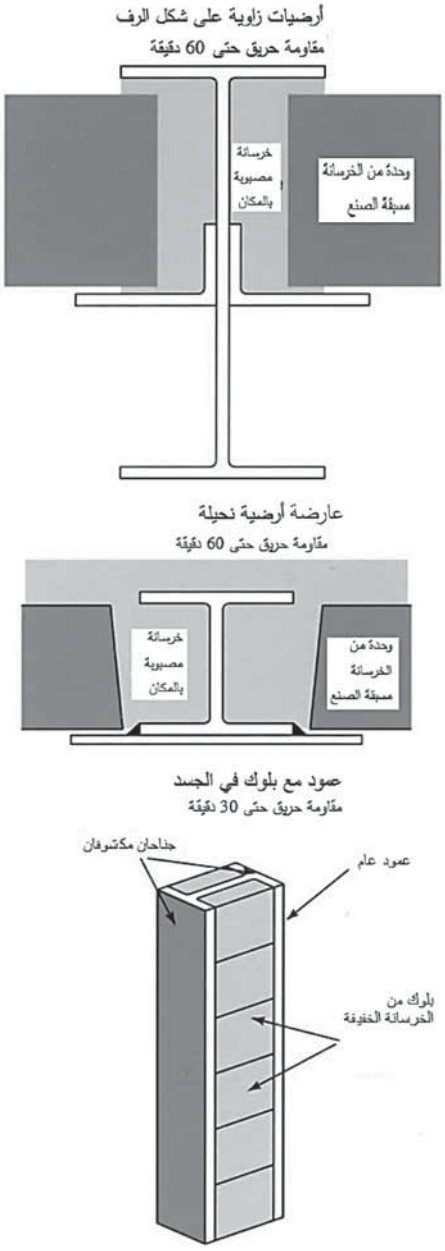
النظم المملوءة بالماء

يمكن حماية المقاطع الفولاذيّة المفرغة المتصلة من الحريق بملئها بالماء كجزء من نظام تغذية بالجاذبية أو بالضخ. ويتمّ تعويض الماء المفقود تلقائياً من الخزّان حيث يُضاف مثبطات التآكل والمواد المضادة للتجمّد حسب الحاجة.

هندسة الإطفاء

يعتمد معدّل تسخين مقطع من الفولاذ البنيوي داخل النار على شدّة النار ودرجة تعرّض الفولاذ. ففي المقاطع الفولاذيّة التي تكون فيها نسبة السطح المعرض للنار إلى مساحة المقطع العرضي (Hp/A) منخفضة (الشكل 13.5)، ترتفع درجة حرارتها بمعدّل أبطأ من المقاطع التي لها نسبة عالية. وتحسب حلول هندسة الحريق شدّة الحريق المُحتمل استناداً إلى أحمال النار المُحيطة وإلى معدلات التهوية والخصائص الحراريّة، ومن ثمّ يتمّ التنبّؤ بارتفاع درجات الحرارة في الفولاذ البُنيويّ على أساس التعَرُّض. وبالتالي، يمكن التنبؤ باستقرار عناصر المبنى آخذين بالحسبان صنف الفولاذ والتحميل وأي قيود بنيوية. ويمكن من هذه الحسابات أن نقرِّر ما إذا كان مطلوباً حماية إضافية من الحرائق وإلى أي مستوى لإعطاء فترة مقاومة الحريق المطلوبة.

(الشكل 13.5) نسب (Hp/A) ومعدلات الحرارة في الحريق.



(الشكل 14.5) مقاومة النظم الفولاذية البنيوية للحريق.

اعتماداً على الظروف الخاصة، يمكن لعمود محمل بكامل طاقته ومن دون حماية من الحريق مع عامل المقطع (Hp/A) أقل من 50 m أن يقاوم الحريق 30

دقيقة، وبالمثل، فإن أعمدة أخفّ وزناً مع بلوك من الخرسانة الخفيفة في جسد المقطع يمكن أن تحقّق مقاومة للحريق قدرها 30 دقيقة. كما أن أرضيّات زاوية على شكل الرفّ مكوّنة من مقاطع مناسبة وفيها نسبة عالية من الفولاذ المغطّى بأرضيّة خرسانيّة يمكن أن تُحقّق مقاومة للحريق قدرها 60 دقيقة (الشكل 14.5).

الصفائح الفولاذية المشكّلة

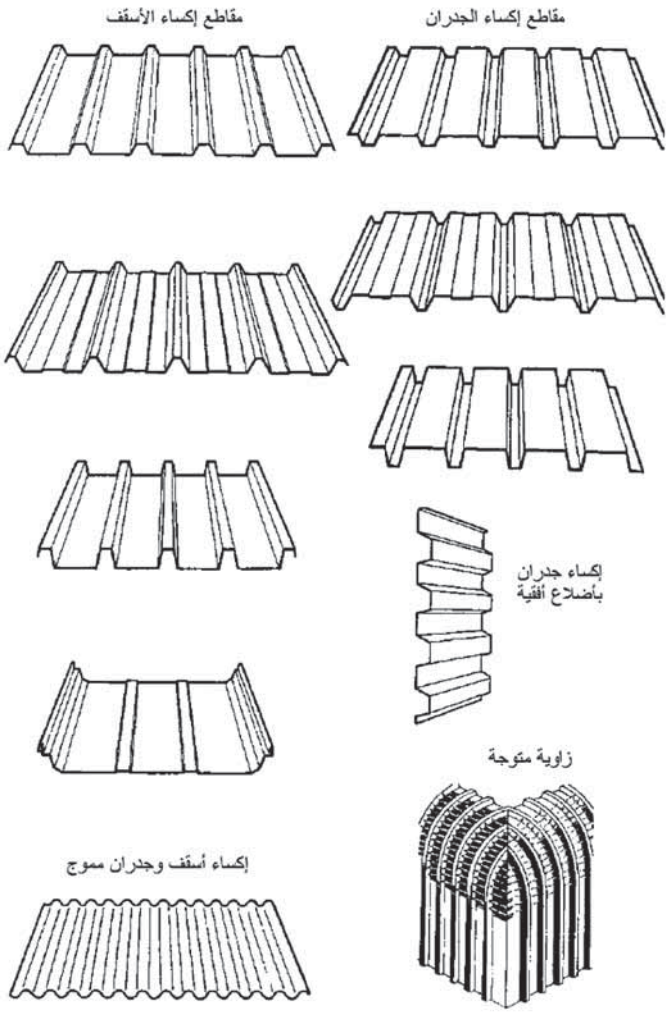
يتمّ إنتاج معظم صفائح الفولاذ المشكلة بتمرير شرائح من الصاج المسبقة الطلاء من خلال مجموعة من البكرات، فينتج تدريجيّاً المقطع المطلوب من دون أن يلحق ضرر بالطلاء. ثم تُقطع الصفائح المشكلة المتواصلة وتعبأ وفقاً لمتطلبات الزبائن. للمقاطع المعيارية تشكيل شبه منحرف منتظم، ويعتمد عمقها على التحميل والمجاز المطلوب (الشكل 15.5). ففي الحالات المعرضة لخطر التحنُّب تُدمج مدعمات إلى المقطع المُشكل. ويتمّ تصنيع الصفائح المُشكلة المنحنية للطنف (Eaves) وللتغطية الخارجية للهيكل المعدني من الأسفل (Soffits) من الصفائح المطلية ذاتها بواسطة الكبس المكبحي (Brake Pressing). قد تتجعّد المقاطع المشكَّلة على هيئة شبه المنحرف في هذه العملية، على الرغم من إمكانية حني الصفائح المشكّلة على هيئة متعرّج الجيب وشبه المنحرف ضحل من دون هذا التأثير. فصلابة المقاطع المنحنية تقلّل مرونتها وبالتالي تقلّل التسامح في هذه المكونات. ويمكن استخدام مثبّتات على شكل ملاقط نابضيّة عندما يُطلب مثبتات مخفيّة لبعض مقاطع الصفائح المشكلة. وتحدَّد المواصفة (BS EN 14782: 2006) الحدّ الأدنى لسماكة الصفائح الفولاذ المشكلة المحمولة ذاتياً لأعمال التشييد بـ 0.4 mm (من دون طلاء).

كابلات الفولاذ

تُصنّع كابلات الفولاذ بسحب قضبان فولاذية رفيعة ملدنة من خلال سلسلة من اللقم اللولبية (Die) المستدقّة (Tapered) المصنوعة من كربيد التنغستن (Tungsten Carbide) والمشحمة، فتنتج استطالة تصل إلى عشرة أضعاف. تزيد عملية السحب من مقاومة الفولاذ وتقلّل من مطاوعته، لذا يحتاج الفولاذ العالي الكربون اللازم لإنتاج أسلاك ذات قوة شد عالية إلى معالجة حرارية خاصة قبل أن يصبح مطاوعاً بما يكفي لعمليات السحب المتتالية.

من أجل تصنيع الكابلات الفولاذية للمباني المعلّقة أو الخرسانة المسبقة

الإجهاد، يتمّ جدل مجموعة من الأسلاك الفردية في ضفيرة، ثم يتمُّ حبك مجموعة الضفائر حول نواة مركزيّة من الفولاذ أو حول ضفيرة من الألياف لإنتاج حبل. وبعد ذلك تُحبك مجموعة من الحِبال لإنتاج كبل بالمواصفات المطلوبة. تستخدم التكوينات النموذجية 7 أو 19 ضفيرة أو حبل لتشكيل كابلات الخدمات الثقيلة، وفي كثير من الأحيان تُصنع الكابلات من الفولاذ المقاوم للصدأ من الصنف 1.4401 للمباني المكشوفة.



(الشكل 15.5) مقاطع نموذجية لصفائح الفولاذ المستخدمة في الأسقف والإكساء.

الصفائح الفولاذية المثقبة والشبكات الفولاذية والنسيج الفولاذي

يتمُّ تصنيع صفائح الفولاذ المثقّبة من الفولاذ المطاوع، والفولاذ المغلفن والفولاذ المقاوم للصدأ للاستخدام في الأعمال المعماريّة، وكواسر الشمس، والدرابزينات، وكذلك في ألواح الجدران والأسقف. وتتوفر الصحائف المثقّبة أيضاً من الألومنيوم والنحاس والبرونز، ويمكن أن تكون بثقوب مستديرة، أو مربعة أو بشقوق طوليّة (Slotted Holes) ضمن مجموعة واسعة من الأحجام والتباعدات لإنتاج التأثير الجمالي المطلوب. وتُثقب الصفائح المعدنيّة أو تُقطع بالبلازما.

تتوفّر شبكات الفولاذ المُقاوم للصدأ كنسيج مرن أو صلب محمول ذاتياً، كلٌّ منها في مجموعة واسعة من الأنماط، لاستخدامها كواجهات خارجيّة وستائر للشمس وأيضاً فواصل للمساحة الداخلية، والدرابزينات، وأغطية الجدران والأسقف المعلقة. تتراوح الأنماط من النسيج التقليدي والمعدن الموسع إلى سلسلة الدرع، مع تباين واسع في الملمس والشفافية. وبعض الأنماط متوفرة من الفولاذ المطاوع وكذلك من المعادن غير الحديدية. ويمكن استخدام شباك الفولاذ المقاوم للصدأ بشكل خلاّق لتشكيل خيمة مفتوحة ومنشآت المظلات.

سبائك الحديد

الفولاذ المقاوم للعوامل الجويّة

الفولاذ المقاوم للعوامل الجويّة هو فولاذ بنيوي تمّ سبكه مع نسب صغيرة من النحاس، عادة ما بين 0.25% و0.55%، مع السيليكون والكروم والمنغنيز، وأمّا الفاناديوم أو الفوسفور فتصنّف كمكونات ثانوية (BS 7668:2004, BS EN 10025-5:2004). وللسبك تأثير يجعل طلاء الصدأ البني المتشكّل بشكل طبيعي يلتحم بقوّة بالسطح ممّا يمنع فقدان المزيد بالتقشُّر كما في الشكل (16.5). لكن استخدام الفولاذ المُقاوم للعوامل الجوية غير مناسب في البيئات البحريّة، وينبغي تفصيل الفولاذ المقاوم للعوامل الجوية بعناية للتأكُّد من أن جريان مياه الأمطار لا يؤثر في المواد الأخرى، وخاصة الخرسانة أو الزجاج، حيث يتسبَّب بتلطيخ شديد أثناء السنوات القليلة الأولى من تعرّض العناصر. كورتن (Corten) هو الاسم التجاري للفولاذ المقاوم للعوامل الجوية. ويعطي الجدول (4.5) مواصفات ورقم الفولاذ

طبقاً للمعايير الأوروبية. ويستخدم الفولاذ المقاوم للعوامل الجوية في التطبيقات البنيوية والكسوة وأيضاً في أعمال النحت الفنيّة.

(الشكل 16.5) فولاذ كورتن (Corten) المقاوم للعوامل الجوية ـ تقاطع طرق شيفيلي (Chieveley). الصورة: بإذن من كورس (Corus).

الفولاذ المقاوم للصدأ

الفولاذ المقاوم للصدأ هي مجموعة من السبائك المحتوية على ما لا يقل عن 10.5% من الكروم. تعود مقاومة المادة للتآكل إلى الغشاء السلبيّ الطبيعي من أوكسيد الكروم الذي يتشكّل فوراً على المادة في وجود الأوكسجين، وبالتالي، إذا خُدش السطح في وقت لاحق أو تضرَّر يُعاد تشكُّل الغشاء الواقي بشكل طبيعي. ويتمُّ زيادة مقاومة التآكل بإدراج النيكل والموليبدينوم (Molybdenum) كمكونات إضافية للسبيكة. فالأصناف القياسية الأوستنيتي (Austenitic) المستخدمة في التشييد هي الكروم 18% مع النيكل 10% (1.4301)، والكروم 17% والنيكل 12% والموليبدينوم 2.5% (1.4401). وتُعدُّ السبيكة 18/10 مناسبة للاستخدام في المواقع الريفية والمناطق الحضرية ذات التلوث الطفيف، في حين تُعد السبيكة 17/12/2.5 الأعلى مواصفات أكثر ملاءمة للاستخدام داخل المدن العادية والبيئات البحرية والصناعية. في بيئات عدوانية معينة، ينبغي استخدام سبائك عالية (مضاعف (Duplex)) من الفولاذ المقاوم

للصدأ (رقم 1.4462). ويُعد الفولاذ الحديدي المقاوم للصدأ (1.4016) الذي يحتوي على الكروم فقط، بمقاومة تآكل منخفضة، مناسباً للاستخدام داخل الأبنية حيث يكون التآكل عاملاً أقل أهمية. ويبين الجدول 8.5 الدرجات المعيارية للفولاذ المقاوم للصدأ وفقاً للمواصفة (BS EN 10088 -1: 2005). وترد تفاصيل قوائم طويلة من الأصناف المستخدمة في الأبنية في (BS EN 10088-4: 2009) للمنتجات المسطحة وفي (BS EN 10088-5: 2009) للأذرع والقضبان.

الجدول 8.5 تركيب وأصناف الفولاذ المقاوم للصدأ وفقاً لـلمعيار (BS EN 10088: 2005)، وللشروط البيئية المختلفة.

التصنيف		المناسبة البيئات	
النوع	الاسم (مشيراً إلى المكونات السبائكيّة)	عدد	
أوستنتي (Austenitic)	X5CrNi18-10	1,4301	ريفيّة وحضريّة نظيفة
	X5CrNiMo17-12-2	1,4401	حضريّة، صناعيّة وبحرية
حديدي (Ferritic)	X6Cr17	1.4016	داخليّة
مضاعف (Duplex)	X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	صناعيّة وبحريّة قاسيتين

ملاحظات:

N, Ni, Mo, Cr تدلّ على الكروم والنيكل والموليبدنيوم والنيتروجين على الترتيب

X6, X5, X2 تدل على محتوى كربوني 0.02, 0.05, 0.06% على الترتيب

يتمّ تصنيع الفولاذ المقاوم للصدأ بعملية من ثلاث مراحل. حيث تُصهر الخردة في فرن القوس الكهربائي، وتُكرر في مزيل الكربون الأرغوني الأوكسجيني (Argon-Oxygen Decarburiser) ثم يُسبك للتركيبة المطلوبة في فرن بمغرفة بإضافة مكونات ثانوية. ويُصبّ أغلب المعدن المنصهر بشكل متواصل في قضبان أو ألواح ليتمّ تشكيله لاحقاً. يُسحب الفولاذ المقاوم للصدأ ساخناً على شكل قضبان وصفائح، في حين تُشكّل المقاطع الرقيقة بالسحب على البارد. وتُصنع المقاطع المعياريّة الثقيلة من الصفائح. قد يُصبُّ الفولاذ المقاوم للصدأ أو يُلحم ويُشكّل بسهولة إلى مكونات صغيرة مثل المثبّتات والمواد الحديديّة المعماريّة. التشطيبات المصقولة والمطفأة اللمّعة (مات (Matt))، والمزيّنة والمشكّلة متوفرة؛ بالإضافة إلى ذلك، يمكن تلوين غشاء الأوكسيد الطبيعي بشكل دائم بالمعالجة الكيميائية

المهبطية (Cathodic) ليصبح برونزياً، أزرق، ذهبياً، أحمر، أرجوانيّاً أو أخضر وفقاً لسماكته النهائية. ويُؤخذ ما يقرب من 50% من الفولاذ المقاوم للصدأ من الحديد الخردة المعاد تدويره.

الفولاذ المقاوم للصدأ متوفّر في مقاطع مربعة، ومستطيلة، وبيضويّة ودائريّة مجوّفة بالإضافة إلى المقاطع المعياريّة للأعمال البنيويّة. وديمومتها واضحة من خلال مبنى لويدز (Lloyd's Building) (الشكل 17.5)، الذي يحافظ على جودة إنهاءاته العالية من ضمن السياق الحضري لمدينة لندن. ويستخدم الفولاذ المقاوم للصدأ على نطاق واسع للأسقف وللكسوة الخارجية، وأعمال الزينة الداخلية والخارجية بسبب مقاومته وصيانة المنخفضة وجمال مظهره (الشكل 18.5). يشتمل المعيار (BS EN 508-3: 2008) على المقاطع المحمولة ذاتياً والمشكّلة من الصاج وعلى نظم الأسقف المكوّنة من البلاط المصنوعة من الفولاذ المُقاوم للصدأ. وحدَّد المعيار (BS EN 14782: 2006) الحدّ الأدنى للسماكة بـ 0.4 mm. وسرد المعيار أيضاً الإنهاءات العضوية الاختيارية، بما في ذلك البوليستر، والبوليستر المعدّل بالسيليكون والبولي يوريثان والبولي فينيل فلوريد ومستحلب البلاستيسول (PVC) (Plastisol). كما أن مقاومة الفولاذ المقاوم للصدأ للتآكل تجعله أيضاً مناسباً تماماً لمثبتات الأعمال الحجرية، مثل الطنوف (Corbels) وبراغي التثبيت وروابط جدران الفجوة، ولتسليح الخرسانة. ويُستخدم الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ في صناعة الأنابيب، وفي منتجات تقديم الطعام، ومنتجات الصرف الصحي حيث الديمومة ومقاومة التآكل حاسمتين. وينبغي غسل الفولاذ المقاوم للصدأ المعرض للظروف الخارجية بانتظام للمحافظة على خصائصه السطحية. وإذا استخدمت الأصناف غير الملائمة في البيئات العدوانية قد يحدث تآكل نقر مسبباً هجوماً في نقطة كرأس الدبوس وفي ثلم تحت فلكة محشورة (Washer)، وفي الشقوق الناجمة عن إجهاد التآكل حيث تكوّن المادة تحت تأثير حمل شديد.

تُعدُّ حبال الأسلاك العالية الأداء (Superduplex) من الفولاذ المقاوم للصدأ (1,4507)، والتي لها قوة شد تزيد بـ 50% عن تلك التي يمتلكها الفولاذ المعياري (الأوستنيتي) المقاوم للصدأ (1.4401)، مناسبة لنظم السند والتقييد المعمارية. لهذه السبائك المحتوية على نحاس نحو 1.6% تمدّد مرن أقل من الفولاذ المقاوم للصدأ المعياري ولها مقاومة أعلى للتعب (Fatigue)، ممّا يجعلها مناسبة للعناصر المعماريّة المشدودة بما في ذلك الموجودة في البيئات البحريّة وبرك السباحة.

بالإضافة إلى الطلاء العضوي، قد يُطلى الفولاذ المقاوم للصدأ بالتيرن (Terne) (انظر الفولاذ المطلي بالتيرن) أو يلبس كهربائيّاً بكمية من القصدير كـ $10g/m^2$ وفقاً لـ (BS EN 508-3: 2008)

(الشكل 17.5) أعمال التشييد بالفولاذ المقاوم للصدأ مبنى لويدز في لندن. المعماريون: روجرز ستايرك هاربور (Rogers Stirk Harbour) وشركاه. صورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

(الشكل 18.5) أعمال التشييد بالفولاذ المقاوم للصدأ مركز معلومات مدينة لندن ـ سانت بول St) Paul's). المعماريون: (Make Architects.). صورة: (Zander Olssen).

الفولاذ المعالج بالحرارة

يمكن تخفيف تأثير الحجم، الذي يؤدي إلى تخفيض قوة الخضوع في المقاطع الكبيرة لأنّ معدلات تبريدها أبطأ من المقاطع الرقيقة المكافئة، بإضافة كميات صغيرة من العناصر السبائكية مثل الكروم والموليبدينوم، والمنغنيز والنيكل.

الفولاذ المطلي

لمنع التآكل، يمكن طلاء الفولاذ بإنهاءات معدنيّة أو عضويّة. الإنهاءات المعدنية عادة ما تكون الزنك (Z) وسبيكة الزنك والحديد (ZF) وسبيكة الزنك والألومنيوم (ZA) وسبيكة الألومنيوم والزنك (AZ)، وسبيكة الألومنيوم والسيليكون (AS) والألومنيوم (A) ويمكن تطبقها جميعها بتغطيس الفولاذ الساخن في المعدن المنصهر (الجدول 5.9). هذه الدهانات المعدنية، باستثناء الألومينيوم النقي، مغطاة في المعيار (BS EN 10346: 2009). ويشير المعيار (BS EN ISO 14713: 1999) إلى فقدان متوقع بالتآكل سنوياً بين 0.7 و $2\mu_m$ من الزنك من الفولاذ المغلفن في معظم المواقع في المملكة المتحدة. ويمكن تقسيم الطلاء العضوي إلى طلاء سائل، وطلاء مسحوق وأغشية. بعض المنتجات مناسبة فقط للتطبيقات الداخلية.

الجدول 9.5 أمثلة نموذجية لدهانات الفولاذ التي أساسها زنك وألومنيوم

الطلاء	التصنيف	الطلاء كتلة g/m^2 الكتلة الكلّة	الاسمية السماكة m على كلّ وجه
زنك	Z275	275	20
زنك وحديد	ZF120	120	8
زنك وألومنيوم	ZA255	255	20
ألومنيوم وزنك	AZ185	185	25
ألومنيوم وسيليكون	AS100	100	17

ملاحظة: يعطي المعيار (BS EN 10346: 2009) مجالاً من السماكات لكلّ طلاء

الفولاذ المطلي بالزنك

كان طلاء الفولاذ بالزنك منذ سنوات عديدة الطريقة القياسيّة للحماية من التآكل. ويمكن تطبيق طلاء الزنك بالتغطيس الساخن أو ببخ المعدن المصهور، أو بالتغطية بمسحوق الزنك الساخن (BS EN 13811:2003) أو بالكهرباء (ZE)، المعيار (BS EN 10152:2009). في الغلفنة بالتغطيس الساخن يتمّ تنظيف الفولاذ بالكشط بالحمض يليه التغطيس في الزنك المصهور عند درجة حرارة 450 °C. يحمي طلاء الزنك (Z) الفولاذ بالعمل كحاجز مادي بين الفولاذ وبيئته، ويحميه أيضاً عندما يتكشف بالقطع أو بضرر السطح. إذا طوّع الفولاذ، يختلط طلاء الزنك النقي بطبقة الفولاذ الأساس فينتج سبيكة 8-12% من الحديد (ZF) ممّا يعطي سطحاً أفضل للطلاء أو للّحام.

تعتمد ديمومة الفولاذ المطلي على سمك الطلاء والبيئة. تشير تسميات الطلاء طبقاً للمعيار (BS EN 10346 : 2009) (الجدول 9.5) إلى الكتلة الكليّة وسماكة الطلاء المعدني المطبق الاسمية.

الأوضاع الساحليّة والبيئات الصناعية مع تركيزات مرتفعة من الملح وثاني أوكسيد الكبريت، على التوالي، قد تسبّب التدهور السريع. وتحفر القلويات الموجودة في الاسمنت الرطب وفي المونة وفي الطينة الطلاء بالزنك، ولكن بمجرد أن تجف يصبح التآكل بطيئاً. ويعدُّ كلوريد الكالسيوم المستخدم كمسرع في

الطينة عدوانياً وينبغي أن يُستخدم بتحفظ فقط. وينبغي اختيار مثبتات الصفائح الفولاذية المغلفة بعناية لتجنب تشكل ثنائيات المعدن (Bimetallic Couples) التي يمكن أن تسبِّب التآكل المُتسارع. وعلى وجه الخصوص، لا ينبغي إجراء تماسٍ بين النحاس أو النحاس الأصفر مع الفولاذ المطلي بالزنك أو بسبائك الحديد والزنك.

للمعادن الأخرى مثل الرصاص والألومنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ آثار أقلّ خطورة في الأجواء النظيفة، ولكن بشكل عام يجب أن تكون جميع المثبّتات مختومة ومعزولة بفلكات (Washers) ذات وجه مطاطي. أينما يُراد تثبيت الفولاذ المطلي بالزنك إلى الأخشاب غير المجفَّفة أو الأخشاب المشرّبة بمواد حافظة أساسها النحاس، يجب أن يُطلى الخشب بالقار. وعندما يتضرّر طلاء الزنك بالقطع أو التثبيت أو اللِّحام، ينبغي إصلاحه بطلاء غني بالزنك.

ويمكن أن يُدهن الفولاذ المطلي بالزنك لأغراض الزينة أو لتحسين مقاومتة للتآكل. غير أن إنهاء الزنك ذو اللمعة الطبيعية يظهر من خلال الدهان ويعدُّ الإنهاء المخفض اللمعة أو الإنهاء الرمادي المات (Matt) المنتظم المكون من سبيكة الحديد والزنك هو أكثر ملاءمة للدهان فوقه لاحقاً.

الفولاذ المطليّ بسبائك الألومنيوم والزنك

سبيكتا الزنك/ الألومنيوم المتمايزتان اللتان تستخدمان في طلاء الفولاذ تحتويان على الألومنيوم بنسبة (ZA) 5% و(AZ) 55%. وعادة ما ينفذ الطلاء (ZA) كطبقة أساس لإنهاء عضوي وفقاً للمعيار (BS ISO 14788: 2005) يكون الحدّ الأدنى لكتلة الطلاء الإجمالية من السبيكتين للأسقف المكوّنة من صفائح معدنيّة مشكّلة وفقاً للمعيار (BS EN 508-1: 2008) 255 و 185 g/m^2 على التوالي، بالمقارنة مع 350 g/m^2 من الزنك النقي. الفولاذ المطلي بسبيكة الألومنيوم AZ المحتوية على ألومنيوم (55%) والزنك (43.4%) والسيليكون (1.6%) هو أكثر ديمومة من ذلك المطليّ بسماكة مكافئة من الزنك النقي، ويمكن استخدامه من دون حماية إضافية في البيئات غير العدوانية. كما أنّه يستخدم كطبقة أساس لطلاءات عضويّة معيّنة. ويكون للإنهاء بريق معدني بسبب تشكّل البلور.

الفولاذ المطلي بالألومنيوم

يمكن تطبيق ثلاث مستويات من الألومنيوم الساخن على صفائح الفولاذ

المشكّلة للأسقف أو البلاط بكتلة إجمالية 195، 230 أو 305 g/m^2 وفقاً للمعيار (BS EN 508-1:2008). غير أن المنتج 195 g/m^2 يصلح فقط للطلاء العضوي اللاحق. وعادة، ينتج استخدام سبيكة السيليكون التي تحتوي على 8 ـ 11% إنهاءً سبائكياً ذا ديمومة من الألومنيوم والحديد والسيليكون.

الفولاذ المطلي بالتيرن والملبّس بالرصاص

يستخدم الرصاص والتيرن (Terne) ـ وهو سبيكة من الرصاص 80-90% والقصدير 10-20% ـ كإنهاءات لوحدات الإكساء والتسقيف المصنوعة من الفولاذ والفولاذ المقاوم للصدأ. ويمكن تطبيق التيرن على صفائح الفولاذ المقاوم للصدأ كطبقة سماكتها 20 μ_m من طريق التغطيس في السبيكة المصهورة. ولا يعاني الفولاذ المقاوم للصدأ المطلي بالتيرن من التآكل الناتج من التماس بثنائي معدنين ويمكن عادة استخدامه في تماس مع الرصاص والنحاس والألومنيوم أو الزنك. الحركة الحرارية تشبه تلك التي للفولاذ المقاوم للصدأ، مما يسمح باستخدامه وحدات بطول حتى 9 m في التسقيف والكسوة. ويتمّ إنتاج المواد المركبة، الفولاذ الملبّس بالرصاص، بفرد لفّة باردة سماكتها 0.75 mm من الرصاص ولصقها على فولاذ سماكته 1.0 mm مطلي بالتيرن أو على فولاذ مقاوم للصدأ سماكته 0.8 mm مطلي بالتيرن. ويعدُّ الفولاذ الملبّس بالرصاص مناسباً لنظم الإكساء والتسقيف وله مظهر ومقاومة الرصاص المسكوك للتآكل. بسبب الدعم الذي توفره طبقة الفولاذ السفلية يمكن استخدام الفولاذ والفولاذ المقاوم للصدأ الملبّسين بالرصاص في الرباطات (Fascias) المحمولة ذاتياً، والإكساء السفلي للأسقف (Soffits)، والمزاريب والمقاطع المُنحنية. يمكن ختم الوصلات بالرصاص ولِحامها كما في الرصاص التقليدي. وينبغي حماية النهايات المقطوعة باللِّحام في حالة الفولاذ الملبّس بالرصاص، أمّا الفولاذ المقاوم للصدأ الملبّس بالرصاص فلا يحتاج إلى علاج وقائي. على عكس الرصاص التقليدي، تكاد تكون المادة واقية من السرقة ولا تعاني بشكل كبير من الزحف. ينبغي تطبيق زيت أكسدة (Patination Oil) على سطح الرصاص بعد تركيبه لمنع آثار التلطيخ. وتفاصيل أنواع الفولاذ ودرجات الطلاء مدونة في المعيار (BS ISO 499: 2005).

الفولاذ المطلي بغشاء عضوي

منذ ستينات القرن الماضي، تمّ تطوير مجموعة من الطلاءات العضوية للفولاذ

التي تلتصق حرارياً، بما في ذلك رقائق بولي فينيل كلوريد (PVC plastisol)، والبولي فينيل فلوريد (PVDF)، وأغشية بولي فينيل كلوريد والبوليستر. في هذا المجال من المنتجات لرقائق بولي فينيل كلوريد أكبر حصة في السوق حالياً داخل المملكة المتحدة لاستخدامها في الأسقف والكسوة.

طلاء رقائق بولي فينيل كلوريد

يتمّ تطبيق رقائق بولي فينيل كلوريد على الفولاذ المطلي بالزنك أو بالألومنيوم/ الزنك بسماكة 0.2 mm. له إنهاء بطابع الجلد القاسي ومتوفّر بمجموعة واسعة من الألوان، مع أنه يُوصى بالظلال الفاتحة لتطبيقات الأسقف. ويُطلى الجانب العكسي عادةً بأساس رمادي مقاوم للتآكل وإنهاء من البوليستر، وقد تُخصص رقائق بولي فينيل كلوريد لبيئات عدوانية داخلية غير عادية. الحذر مطلوب عند التخزين والمناولة في الموقع لمنع الأضرار المادية للسطح. في البيئات غير البحرية تعطي الألوان الأكثر ديمومة فترة أكثر من 20 عاماً للصيانة الأولى. كما تنخفض فترات إعادة الطلاء الأول للألوان العميقة جداً وللألوان غير الفاتحة في المواقع الساحلية.

طلاء البولي فينيل فلوريد

عندما يطبق البولي فينيل فلوريد (PVDF)، وهو الفلوروكربون الخامل، كطلاء بسماكة 0.027 mm على الفولاذ المطلي بالزنك، يكون له ثبات لون جيّد في درجات حرارة تصل إلى 120 درجة مئوية، ممّا يجعله مناسباً للاستخدام في جميع أنحاء العالم وفي المباني التي من المُحتمل أن توسّع في وقت لاحق. الإنهاء ناعم وذاتي التنظيف، مع أن الأمر يتطلّب عناية كبيرة في الموقع لمنع الضرر الناجم من التعامل به. تُعدّ فترة 15 عاماً لصيانة الأولى نموذجية في المناطق غير الساحلية من المملكة المتحدة. ومجال اللون واسع، ويشمل الفضي اللامع. الإنهاء بالبولي فينيل فلوريد للفولاذ المطلي بالزنك/ قصدير أو للفولاذ المقاوم للصدأ متاح أيضاً في مجموعة من الإنهاءات الملوّنة التي تشمل النحاس والنحاس المعتّق (الزنجار) والفولاذ المقاوم للصدأ. ويمكن استخدام هذا الطلاء للكسوة والتسقيف. والطلاء العاكس للشمس يقلّل من الاكتساب المفرط للطاقة الشمسية.

طلاء البوليستر

يعدُّ الفولاذ المغلفن المطلي بالبوليستر وبسيليكون البوليستر من المنتجات

الاقتصادية، ولكن له حياة متوسّطة الأجل فقط في البيئات غير العدوانية. وخارجياً، تكون الفترة إلى الصيانة الأولى عادة 10 سنوات في المناطق الداخلية غير الملوثة، لكنه يكون مناسباً للاستخدام الداخلي. ينبغي أن لا يستخدم سيليكون البوليستر في البيئات البحرية أو الحارة أو الرطبة. طلاء البوليستر وسيليكون البوليستر ناعم وسماكته عادة 0.025 mm.

طلاء البولي يوريثان

يُطبق طلاء البولي يوريثان بسماكة 0.05 mm على الفولاذ المطلي بالزنك أو بسبائك الزنك/ الألومنيوم. وهو متوفّر بمجموعة من الألوان الصلبة والمعدنية مع فترة 25 سنة لصيانة الأولى للأسقف المصنّعة من الفولاذ المطلي بالزنك/ الألومنيوم. للفولاذ المطلي بالزنك إنهاء قماشي، مع فترة 20 سنة لصيانة الأولى، وهو متاح للجدران الخارجية في البيئات غير البحرية.

طلاء المينا

للفولاذ المطلي بالمينا العضوي خاصيّة عكس للضوء جيّدة مما يجعله مناسباً للاستخدام الداخلي كبطانات للجدران والأسقف. نموذجياً يُطبّق طلاء المينا بسماكة 0.022 mm على الفولاذ المطلي بالتغطيس الساخن بسبيكة الزنك/ الألومنيوم ويُنظّف بسهولة. اللون القياسي للطلاء هو الأبيض اللامع، ولكن طائفة من الألوان الفاتحة متاحة أيضاً.

الطلاء بغشاء من البولي فينيل كلوريد

يتمّ صقل غشاء من البولي فينيل كلوريد (0.20 mm) بألوان متعدِّدة، وأنماط ديكور وانهاءات مزخرفة على شريط من الفولاذ المطلي بالزنك، والمنتج مناسب فقط للتطبيقات الداخلية.

الدهانات

تندرج مجموعة واسعة من الدهانات المستخدمة لحماية الفولاذ من التآكل في عدّة فئات مذكورة في المعيار الدولي (BS EN ISO 12944-5:2007). تجفّ الدهانات بما في ذلك التي تحوي مذيبات منقولة بالمطّاط المكلور وبالبوليمرات الأكريليكية وبالبوليمرات المشتركة للفينيل كلوريد نتيجة تبخّر المذيبات ويمكن عكس ذلك بعمل المذيبات. ومعظم المنتجات الأخرى تجفّ بشكل لا رجعة فيه

نتيجة خسارة المذيب أو الاندماج في مستحلب المياه. الكيدات (Alkyds)، يوريثان الكيدا (Urethane Alkyds) واسترات الإيبوكسي (Epoxy Esters) تجفّ بفقدان المذيب إضافة إلى الأكسدة الجوية. يندمج الأكريليك والفينيل واليوريثان المنقولة بالمياه عندما يتبخر الماء. الدهانات ثنائية التركيب، مثل الإيبوكسي والبولي يوريثان، تتصلب بعمليات كيميائية تنشط بالخلط.

يتمّ تطبيق الدهان عادة على ثلاث طبقات. يلتصق الدهان التمهيدي (الأساس) على السطح النظيف فيعطي الحماية من التآكل. وتبني الطبقة الثانية السماكة وتوفّر الطبقة الأخيرة الحماية من البيئة وتعطي الجمالية المطلوبة. يعطي المعيار (BS EN ISO 12944: 2007) الخطوط التوجيهية بشأن مدى ملاءمة مجموعة من أنظمة الدهان بالنسبة للظروف البيئية والديمومة.

البلاطات والألواح الفولاذية

البلاطات والشرائح الفولاذية الخفيفة الوزن، المصنوعة من الفولاذ المغلفن أو المغطّس ساخناً بسبيكة الألومنيوم والزنك والمطلي بالأكريليك أو راتنجيات البوليستر وبإنهاء حبيبي، تعطي مظهر شرائح تقليدية أو أسطح قرميد مموّج متراكب. هذه المنتجات خفيفة بالمقارنة مع المواد التقليدية خاصة في أعمال التجديد. ويمكن عادة استخدام هذه الوحدات في الأسقف المائلة ما بين 12^0 و 90^0. يسمح المجاز 1200 mm بتباعد أكبر بين روافد السقف المكون من عوارض شبكية. والوحدات متوفرة في مجموعة من ألوان المواد التقليدية مع حواف وإكسسوارات تهوية مناسبة. يشترط المعيار (BS EN 14782: 2005) أن لا تقلّ سماكة صفائح الفولاذ المحمولة ذاتياً المستخدمة في قطاع البناء عن 0.4 mm (من دون الطلاء)، ولكن نظام الصفائح الفولاذية المغلفنة المطلية بالبوليستر ذات السماكة 0.7 mm يجسر عادة متراً واحداً.

الألومنيوم

أصبح الألومنيوم متوفراً كمادة بناء منذ نحو مائة سنة فقط. وربما كان استخدامه أبكر من ذلك، فقد عُرف الألومنيوم في صبّ تمثال إيروس (Eros)، الذي ما زال واقفاً في ميدان بيكاديللي (Piccadilly Circus) في لندن منذ عام 1893. وبسبب ديمومته، استُخدم على نطاق واسع في البناء، ولا سيّما في العناصر

الثانويّة كما هو موضّح في أجهزة التظليل الدائم في مبنى كلية اللاهوت من جامعة كامبردج (الشكل 19.5). بحيث أن نظم التظليل الانسيابية المصنوعة من الألومنيوم المبثوق، الثابتة منها أو المرتبطة بنظام نشط لإدارة المباني، تعتبر ميّزات قياسية في العديد من المباني الجديدة.

(الشكل 19.5) أجهزة تظليل من الألومنيوم ـ كلية اللاهوت، جامعة كامبردج. المعماريون: إدوارد كولينان (Edward Cullinan). صورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

التصنيع

يُستخرج الألومنيوم، العنصر المعدني الأكثر شيوعاً في القشرة الأرضية، من خام البوكسيت (Bauxite)، وهو نوع غير نقي من أوكسيد الألومنيوم أو الألومينا. وتتوفّر احتياطيات كبيرة من البوكسيت في غرب أفريقيا وأستراليا وجزر الهند الغربية. وتتمّ إذابة البوكسيت في الصودا الكاوية (Caustic Soda)، ويصفّى ويعاد ترسيبه وذلك لإزالة الشوائب ليجفّف. ثم تُذاب الألومينا النقية في الكرايوليت المصهورة (Cryolite) (فلوريد الألومنيوم الصوديوم) داخل خلية التحليل الكهربائي المبطّنة بالكربون. وبالتحليل الكهربائي لأوكسيد الألومنيوم ينتج الأوكسجين

والألومنيوم النقي، الذي يخضع لرقابة دورية ويُصبّ. وتستهلك هذه العملية الكثير من الطاقة المركزة، وعادة يتطلّب إنتاج 1 طن من الألومنيوم 15000 كيلوواط ساعة من الطاقة الكهربائية. عالمياً، 50% من هذه الطاقة يأتي من الطاقة الكهرومائية المتجدِّدة حالياً، 63% من الألومنيوم الجديد المستخدم في المملكة المتحدة هو من المصادر المُعاد تدويرها، وإعادة التدوير تتطلّب فقط 5% من مدخلات الطاقة مقارنة مع الإنتاج الأولي. وإعادة التدوير من المباني في أوروبا تقارب 95%. وتدرفل صبات أو ألواح الألومنيوم (Ingots Or Slabs) ساخنة عند درجة حرارة 500C، وتُحوّل إلى صفائح ملفوفة بسماكة 5 mm، حيث يمكن في ما بعد أن تدرفل باردة إلى صفائح أرق أو رِقاقَات (Foils). ونظراً لمطاوعة الألومنيوم، يمكن بثقه في أشكال معقّدة أو سحبه في أسلاك. وتكون عمليات التشكيل والتشغيل عادة أسهل من مثيلاتها على الفولاذ. ويمكن تشكيل المكوّنات المصنوعة من الألومنيوم أيضاً بالصب.

الخصائص

الألومنيوم هو واحد من أخفّ المعادن بكثافة 2700 kg/m^3 مقارنة مع الفولاذ 2700 kg/m^3. وتراوح قوّة الشد للألومنيوم المعياري (نقي 99%) بين 70 و140 MPa، اعتماداً على التليين، إلا أنّه تصل قوة بعض سبائك الألومنيوم البنيوي (مثل السبيكة 5083) إلى 345 MPa مقارنة مع 410 - 560 MPa للفولاذ S275. وهذا يقارن إيجابياً على أساس نسبة قوّة المقاومة إلى الوزن، ولكن معامل مرونة الألومنيوم يساوي ثلث معامل مرونة الفولاذ فقط، لذلك سيكون الانحراف (Deflections) أكبر، إلا إذا استخدمت مقاطع ألومنيوم أعمق. فلكي يكون لمقطع ألومنيوم نفس صلابة عنصر مكافئ من الفولاذ، لا بدَّ من تكبير مقطع الألومنيوم ليزن نحو نصف مقطع الفولاذ.

الديمومة

ترجع ديمومة الألومنيوم كمادة بناء إلى الحماية التي يوفّرها غشاء الأوكسيد الطبيعي الموجود دائماً على سطح المعدن. وسماكة غشاء أوكسيد الألومنيوم، الذي ينتج مباشرة عند قطع سطح المعدن أو خدشه، بشكل طبيعي 0.01 μ_m فقط، ولكن يمكن زيادتها بعملية طلاء كيمائية أو كهربائية (Anodisation).

الحريق

تنخفض مقاومة الألومنيوم عند درجة الحرارة 200 درجة مئوية إلى نصف

قيمتها عند الشروط المحيطة النظامية، وكذلك تنخفض مقاومة العديد من سبائك الألومنيوم إلى مقدار ضئيل جداً عند 300 درجة مئوية.

التماس مع مواد البناء الأخرى

لا تهاجم المواد الجافّة ذات الأساس الإسمنتي الألومنيوم، في حين تسبّب قلوية الإسمنت الرطب والخرسانة والملاط تآكله السريع. وبالتالي أينما تماست هذه المواد مع الألومنيوم أثناء عملية البناء، ينبغي حمايته بواسطة طلاء من البيتومين. وعلاوةً على ذلك، يمكن أن تتضرَّر الأقسام المؤكسدة وخاصة الملونة منها بشكل دائم بواسطة رذاذ منتجات الإسمنت الرطبة، مثل وحدات الزجاج، لذا ينبغي حمايتها في الموقع بواسطة ورنيش قابل للإزالة أو غشاء من البلاستيك. لا يتأثر الألومنيوم باتصاله مع الأخشاب تحت الظروف الجافة، إلا أنّ مواد معينة حافظة للأخشاب قد تسبِّب تآكله في ظلّ ظروف الرطوبة العالية، وخاصة تلك التي تحتوي على مركبات النحاس. وحيثما يوجد هذا الخطر يجب حماية المعدن بطلاء من البيتومين.

على الرغم من أن الألومنيوم شديدة المقاومة للتآكل عندما يكون معزولاً، فإنه يمكن أن يتأثّر بشدة بالتآكل عندما يكون باتصال مع معادن أخرى. حيث تحدث أخطر الآثار بالتماس مع النحاس وسبائك النحاس، فيجب أن لا تتدفّق مياه الأمطار من الأسقف النحاسية أو أنابيب النحاس لتمس الألومنيوم. وباستثناء البيئات البحرية والصناعية يُعدُّ استخدام المثبتات المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ أو الرصاص مع الألومنيوم آمناً مع أن مثبتات الزنك والفولاذ المغلفن هي أكثر ديمومة. كما ينبغي أن لا يكون الفولاذ المطاوع غير المحمي على اتصال كهربائي مع الألومنيوم.

سبائك الألومنيوم

تقع سبائك الألومنيوم في فئتين رئيسيتين، إمّا المصبوبة (Cast) أو المطاوعة (Wrought). بالإضافة إلى ذلك، قد يتمّ إخضاع السبائك المطاوعة إلى معالجة حرارية. وأغلبية الألومنيوم المستخدم في صناعة التشييد هي من النوع المطاوع، ويتعلّق محتوى ودرجة مكونات السبائك مباشرة بالخصائص الفيزيائية المطلوبة، مع اعتبار المعدن النقي هو الأكثر ليونة. يصنف المعيار (BS EN 573-1: 2004) سبائك الألومنيوم إلى فئات وفقاً لمكوّناتها الرئيسية كما في الجدول (10.5).

الجدول 10.5 تصنيف عام لسبائك الألومنيوم وفقاً لـ (BS EN 573-1: 2004)

سلسلة السبيكة	المكونات الرئيسية في السبيكة
1000	أكثر من 99% ألومنيوم
2000	سبائك النحاس
3000	سبائك المنغنيز
4000	سبائك السيليكون
5000	سبائك المغنزيوم
6000	سبائك المغنزيوم والسيليكون
7000	سبائك الزنك
8000	العناصر الأخرى

ملاحظة: في حالات عديدة تكون المكونات السبائكية الطفيفة موجودة أيضاً.

يوضح المثال التالي نظام الترميز المتبع للألومنيوم وسبائكه:

الألومنيوم الهيكلي سبيكة EN AW-6082

حيث تشير (EN) إلى المعيار الأوروبي، و(A) للألومنيوم و(W) للمنتجات المطاوعة. 6082 ضمن سلسلة 6000 من سبائك المغنيزيوم والسيليكون، والأرقام الثلاثة النهائية تشير إلى التركيب الكيميائي الدقيق على النحو الوارد في المعيار (BS EN 573-3: 2009).

للحشوات حيث يكون العمل في الموقع ضرورياً، يقدّم الألومنيوم النقي 99.8% (سبيكة EN AW-1080A) أو (EN AW-1050A) 99.5% سهولة أكبر للتطريق، على الرغم من أنَّ الألومنيوم المعياري التجاري النقي 99% سبيكة (EN AW-1200) مناسب لرقائق العزل وصفائح الأسقف المسنودة بشكل متواصل. وتحدّد السماكة الدنيا الاسمية لصفائح الألومنيوم المسنودة بشكل متواصل المستخدمة في الأسقف والكسوة بـ 0.6 mm وفقاً للمعيار (BS EN 14783: 2006).

الألومنيوم المدرفل للأسقف والكسوة، الذي يتطلّب متانة وديمومة إضافية يُسبك مع 1.25% منغنيز (سبيكة EN AW-3103). حيث يُنتج بدرفلة الصفائح

ويمكن تصنيعه على شكل مقاطع منحنية لزيادة مرونة التصميم. ويتمّ تصنيع الحشوات الصلبة المسبقة التشكيل من نفس السبيكة وبنفس الإنهاء لتتوافق مع مقطع الصفائح. وتعدّ السبيكة التي تحتوي على 2% مغنيزيوم أكثر مقاومة للبيئات البحرية (سبيكة EN AW- 5251). ويُفصّل المعيار (BS EN 508-2: 2008) مجموعة السبائك كاملة المستخدمة في أنظمة التسقيف المحمولة ذاتياً ويوضح كذلك أمثلة للمقاطع التي تُطبّق على صفائح وبلاطات الألومنيوم.

ويمكن أيضاً تشكيل ألواح الكسوة من الألومنيوم الحاجبة للمطر (Rainscreen) والتي يصل مقاسها إلى 1.5 x 2.8 m باستخدام عملية تشكيل المعادن الفائقة اللدونة (Superplastic Forming) (SPF)، التي تعتمد على قابلية الاستطالة العالية للسبيكة (EN AW-5083 SPF). حيث يتمّ تسخين صفيحة سبائكية بسماكة 2 mm عادة إلى 380 ـ 500 درجة مئوية وإجبارها بضغط الهواء لتشكّل نموذجاً لقالب ثلاثي الأبعاد. وفي كثير من الأحيان يتمّ تصنيع أضلاع أفقية أو عمودية لتعزيز صلابتها، ولكن يمكن تشكيل ألواح الكسوة طبقاً لتصاميم فردية بما فيها الانحناء باتجاهين. وعادة تكون الإنهاءات الملونة عبارة عن طلاء من مسحوق البوليستر أو فلوريد البولي فينيلدين.

تتطلّب المقاطع المبثوقة للجدران الحاجبة (Curtain Walling) والأبواب والنوافذ مقاومة إضافية تنتج من سبك الألومنيوم مع المغنيزيوم والسيليكون (سبيكة EN AW-6063). ويتحقّق العزل الحراري داخل هذه المقاطع المبثوقة بفواصل حرارية مخفية أو بكسوة داخلية عازلة من البلاستيك أو الخشب.

يحتوي الألومنيوم الهيكلي المخصص للمقاطع الحمّالة (Load-Bearing) والإطارات الفراغية (Space Frames) عادة على المغنيزيوم والسيليكون والمنغنيز (سبيكة EN AW-6082). ويزيد التليين من قوة الشدّ إلى المجال 270 ـ 310 MPa، وهي أقرب للمقارنة بصنف الفولاذ المعياري S275 (الحدّ الأدنى لقوّة الشد 410 MP_a).

إنهاءات الألومنيوم

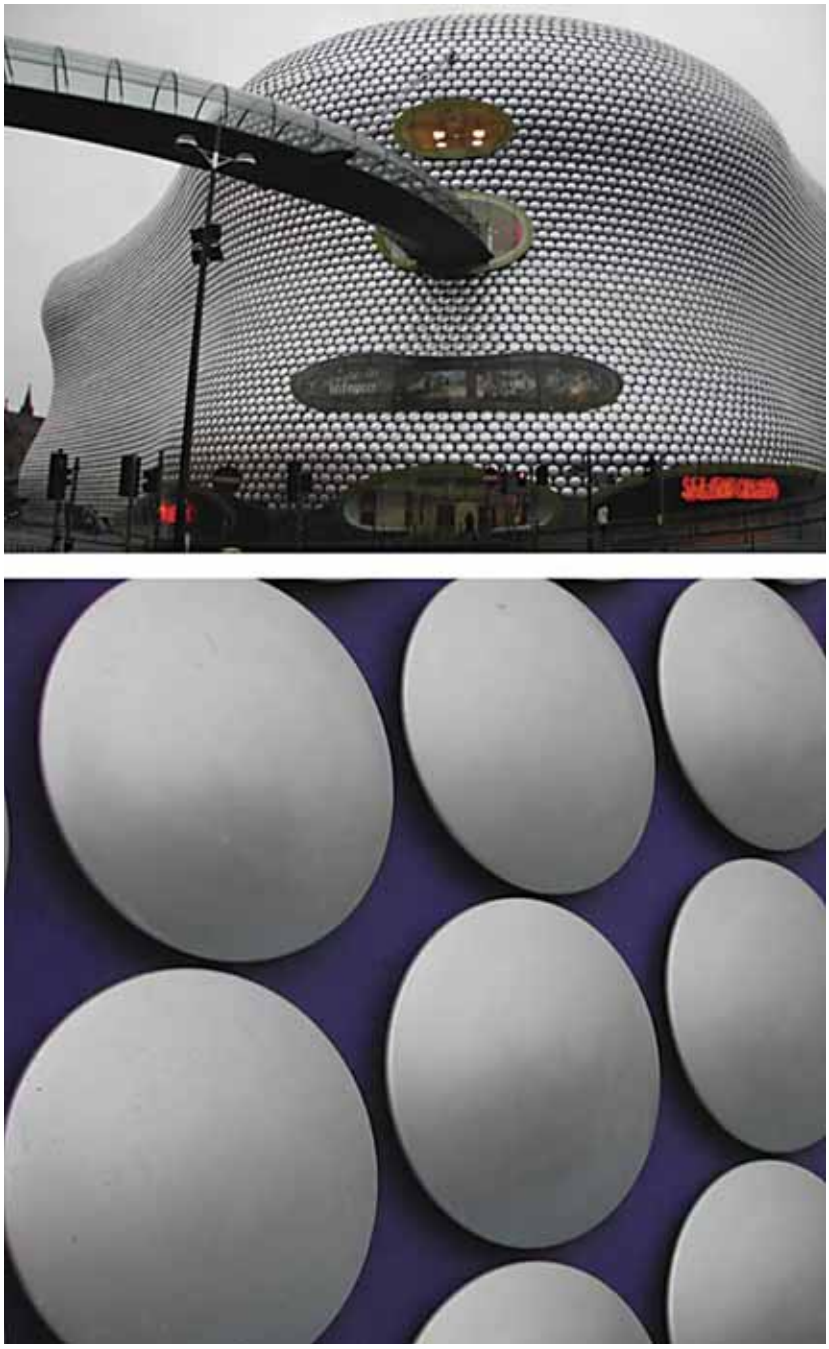
الطلاء بالأكسدة المصعدية الكهربائية

تزيد عملية الطلاء بالأكسدة المصعدية الكهربائية سماكة غشاء أوكسيد

الألومنيوم الطبيعي نموذجيا إلى 10 ـ 25 μ_m. حيث يتمّ غمر العنصر في حمض الكبريت وجعله قُطْباً كهربائياً مُوجباً، فيتحول سطح المعدن إلى غشاء مسامي من أوكسيد الألومنيوم الذي يُختم بعد ذلك بالغلي في الماء. وتزيد عملية الأكسدة المصعدية الكهربائية الديمومة، ويمكن استخدامها لحفظ الصباغ داخل السطح لإنتاج مجموعة واسعة من المنتجات الملونة. وتخبو بعض الأصبغة مع التعرض لأشعة الشمس، والألوان الأكثر ديمومة هي الذهبي والأزرق والأحمر والأسود. وقد يكون من الصعب مطابقة الألوان بدقيقة للاستبدال أو للإضافات إلي المباني القائمة، وينتج المصنعون عادة عناصر ضمن مجال متفق عليه من تباين الألوان. إذا أدمجت أملاح القصدير غير العضوية إلى السطح أثناء عملية الطلاء بالأكسدة المصعدية الكهربائية ينتج عندها الألوان البرونزية السريعة. واعتماداً على فترة التعرّض لعملية الأكسدة المصعدية، يمكن أن تنتج مجموعة كبيرة من الألوان من البرونز الشاحب حتّى الأسود. وتستجيب سبائك الألومنيوم المختلفة بشكل مختلف للمعالجة بالأكسدة المصعدية. فالألومنيوم النقي ينتج إنهاءً فضياً كالمرآة، في حين أن سبائك الألومنيوم والسيليكون (مثل سبيكة EN AW-6063) تنتج إنهاءً رمادياً.

نسيج السطح

يتمّ إنجاز مجموعة من الأنسجة للسطح بالمعالجة الميكانيكية والكيميائية. تشتمل هذه المعالجات على إنهاءات زاهية مصقولة، ومات، ومخرشة، وأيضاً تشتمل على المدرفلة نمطياً وذلك وفقاً للمعالجة المطبقة مسبقاً، عادةً قبل الطلاء بالأكسدة المصعدية، ووفقاً للسبيكة الخاصة المستخدمة أيضاً. تعطي أقراص الألومنيوم على واجهة بناء محلات سيلفريدجز (Selfridges) في برمنغهام إنهاء ديكورياً مبتكراً إلى المخزن، المؤطر فولاذياً، مشكّلة تبايناً أنيقاً للسطح المطلي باللون الأزرق (الشكل 20.5).



(الشكل 20.5) أقراص الألومنيوم ـ متجر سيلفريدجز (Selfridges)، برمنغهام. المعماريون: فوستر (Foster) وشركاه. صورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

الطلاء

معدني

يُعدُّ الألومنيوم المطلي بالزنك مادة تكسية قابلة للطي تجمع متانة الألومنيوم مع مظهر الزنك المجوّى مسبقاً. وتتوفّر منتجات مناسبة لمياه الأمطار بما فيها المزاريب نصف الدائرية وأنابيب النوازل المطرية. ويتمّ الآن تطوير ألومنيوم مكافئ مطلي مسبقاً أو ملبّس بالتيتانيوم المؤكسد وله مظهر الفولاذ الزاهي.

عضوي

يُستخدم طلاء البوليستر، الأبيض في الغالب، ولكن مع مجموعة واسعة من خيارات الألوان، لأنظمة الزجاج المزدوج ولألواح الإكساء ولسلع مياه الأمطار. ويعالج حرارياً مسحوقُ البوليستر المطبّق كهروستاتيكياً ليعطي إنهاء أملس ذاتي التنظيف. ويمكن تطبيق غشاء من الإنهاءات من (PVC) و(PVDF) على الألومنيوم المسحوب وعلى نظم الجدار الحاجب، محاكياً عروق الخشب (Wood-Grain) وغيرها من الأنماط. تمّ في المعيار (BS EN 508-2: 2008) وصف مجال من الطلاءات العضوية التي تطبّق في المصنع المناسبة لنظم الأسقف المحمولة ذاتياً، بما فيها البلاط، شاملاً البوليستر والأكريليك، وفلوريد البولي فينيلدين (PVDF)، والألكيد والبولي يوريثان.

الدهان

عندما يُدهن الألومنيوم لأغراض الزينة من المهم أن يتمّ استخدام دهان الأساس المناسب. وينبغي أن يُكشط الألومنيوم أو يُحفر لإعطاء مفتاح (Key) جيّد لنظام الدهان على الرغم من أن للألومنيوم المصبوب عادةً سطحاً خشناً بما فيه الكفاية. ويعدّ دهان الأساس المؤكسد مناسباً ولكن ينبغي تجنّب الرصاص الأحمر.

صيانة الألومنيوم بعد الإنهاء

من أجل ديمومة أطول، ينبغي غسل جميع إنهاءات الألومنيوم الخارجية بشكل منتظم، عادة على فترات لا تتجاوز ثلاثة أشهر، بمحاليل المنظّفات المعتدلة. ويمكن إصلاح (Touch Up) الطلاء المتضرّر في الموقع، ولكن ليس لهذا العمل العلاجي نفس متانة الإنهاءات المطبقة في المصنع.

الألومنيوم في المباني

تشمل التطبيقات النموذجية للألومنيوم وسبائكه في المباني السقوف والإكساء والحوائط الحاجبة ونظم الهياكل الزجاجية والحشوات وسلع مياه الأمطار وحواجز البخار والأسقف الداخلية والألواح وأجهزة الإنارة ومجاري الهواء والمعدات

الهندسية والممرّات. وإن الحدّ الأدنى السماكة الدنيا لصفائح لألومنيوم المحمولة ذاتياً المستخدمة في الأسقف وغيرها من التطبيقات هي 0.6 و0.4 mm على التوالي وفقاً للمعيار (BS EN 14782: 2006). والسماكة الدنيا الاسمية لصفائح الألومنيوم كاملة الاستناد في الأسقف والإكساء هي 0.6 mm وفقاً للمعيار (BS EN 14783: 2006).

التشييد الأحادي الهيكل (مونوكوك)

كان مركز اللورد الإعلامي لملعب الكريكيت (الشكل 21.5) البناء الأول في العالم النصف مونوكوك من الألومنيوم. وهذا المركز عبارة عن حجرة انسيابية مرفوعة 14 m فوق الأرض، على برجي استناد خرسانيين، مما يوفّر للصحفيين والمعلّقين إطلالة متواصلة على ملعب الكريكيت. ويتكوّن الهيكل من الجلدة (Skin) التي تتكوّن بدورها من صفائح ألومنيوم منحنية سماكتها 6 و12 mm، ملحومة إلى سلسلة من الأضلاع. وهي تعمل بالتالي معاً، بحيث يوفّر الجلد والأضلاع كلاًّ من الشكل والاستقرار البنيوي، ويستخدم هذا النظام عادةً في بناء القوارب وصناعة الطائرات. ويتكوّن المبنى من 26 قسماً تمّ نقلها إلى الموقع لتجميعها.

الشكل (21.5) أعمال التشييد نصف المونوكوكي من الألومنيوم ـ مركز اللورد الإعلامي، لندن. المعماريون: أنظمة المستقبل (Future Systems). الصورة: بإذن من ريتشارد دايفس (Richard Davies).

الفواصل الحرارية في الألومنيوم

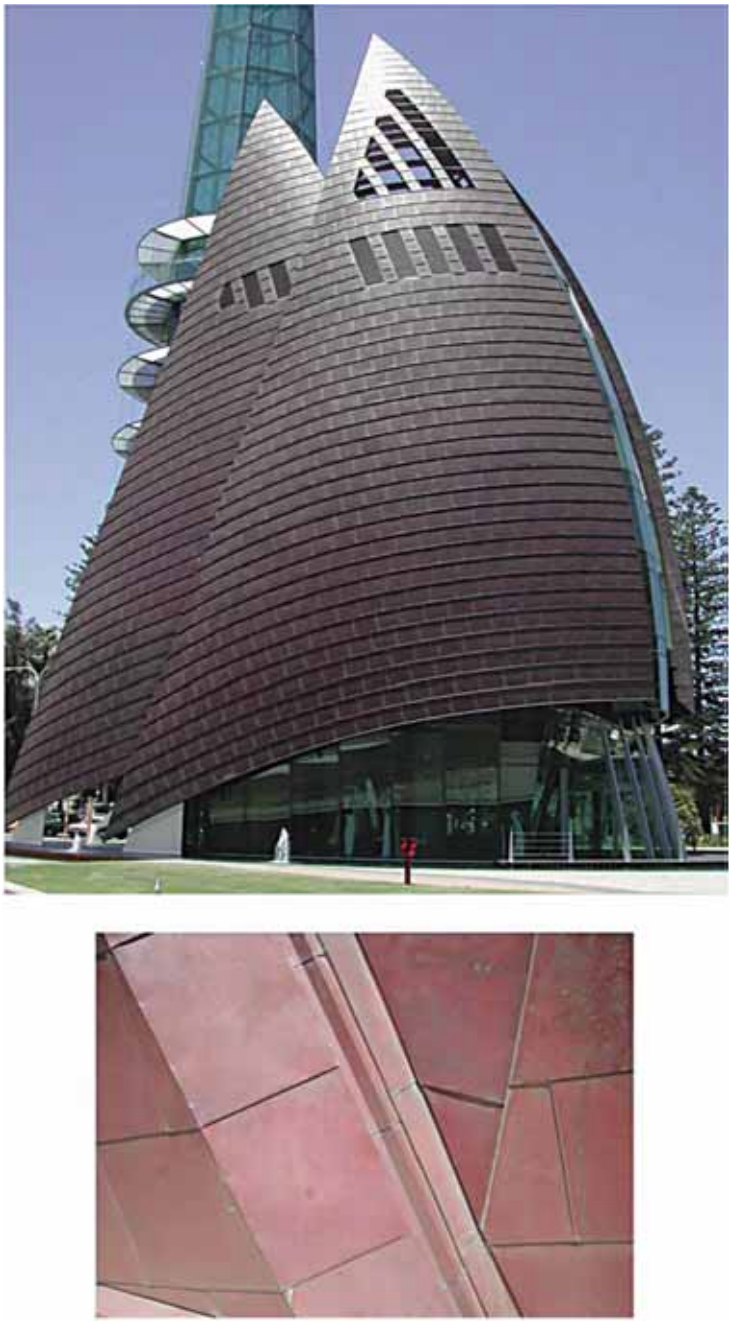
من أجل التغلب على آثار الجسر الحراري (Thermal Bridging)، عند استخدام الألومنيوم المبثوق في أنظمة الزجاج المزدوج، يتمّ إدراج فواصل حرارية بين الألومنيوم المتّصل مع الداخل ومع الأماكن الخارجية. ويمكن تصنيع هذه الفواصل من شرائح من مادة البولي أميد المسبقة التشكيل (Polyamide)، أو بدلاً من ذلك يتمّ تعبئة البثق المخصص بالبوليمرات غير المعالج (Uncured)، ثم يتمّ التخلّص من الألومنيوم الذي يسبّب الجسر الحراري بعد تصلّب البلاستيك.

طرائق الوصل

يمكن وصل عناصر الألومنيوم ميكانيكياً ببراغي أو تباشيم (Rivets) من الألومنيوم، وتعدّ براغي الفولاذ المقاوم للصدأ غير الممغنطة مناسبة أيضاً. وإذا أُريد لِحام الألومنيوم بالقوس الكهربائي، فإن استخدام درع من الغاز الخامل، عادةً الأرغون، ضروري لمنع أكسدة سطح المعدن. ويوفّر قضيب إملاء متوافق مع السبيكة المطلوب لحامها المواد الإضافية لإكمال الوصلة. ويمكن استخدام لاصق قويّ من مكونات الألومنيوم شريطة إعداد الأسطح بشكل مناسب.

النحاس

يُعد النحاس، على الأرجح، واحداً من أوائل المعادن التي استخدمها الإنسان، وهناك دليل يوحي على استخدامه المبكّر حيث يُعتقد أنَّ هذا المعدن قد تمّ صهره في العام 7000 قبل الميلاد. وفي وقت لاحق تبيّن أن إضافة القصدير إلى النحاس تُحسن متانته، كان ذلك بحلول العام 3000 قبل الميلاد الذي وصل فيه العصر البرونزي. واستخدم الرومان النحاس والبرونز على نطاق واسع في الأواني والأسلحة والحلي. وظهرت صناعة النحاس الأصفر (Brass)، بسبك النحاس والزنك، في مصر خلال القرن الأول قبل الميلاد. وبحلول منتصف القرن الثامن عشر أنتجت جنوب ويلز (South Wales) 90% من النحاس في العالم، حيث كان المعدن الخام من كورنوول (Cornwall)، ولكن المصادر الرئيسية اليوم هي الولايات المتحدة وتشيلي وبيرو وأستراليا. ويتضح الأثر البصري التقليدي للنحاس في السياق الحديث في مشروع الألفية، صوان بلز في برث (Swan Bells in Perth)، أستراليا (الشكل 22.5). حيث كان النحاس في البداية مطليّاً بشكل صافٍ لمنع أكسدته التدريجية وصدأه في البيئة البحرية للميناء.



(الشكل 22.5) الإكساء بالنحاس ـ أجراس برج البجعة، بيرث أستراليا. المعماريون: همس ـ شيرلي (Hames-Sharley). صورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

التصنيع

خامات النحاس الرئيسية هي كبريت النحاس (مثل كالكوسيت (Chalcocite))، وكبريت النحاس بالاشتراك مع الحديد (مثل كالكوبيريت (Chalcopyrite)). تحتوي الخامات عادة أقل من 1% من النحاس وبالتالي تتطلّب تركيزاً بواسطة تقنيات التعويم قبل استخراج النحاس من خلال سلسلة من العمليات في الفرن. حيث تحمّص ثم تصهر الخامات لخفض نسبة الكبريت، وينتج خليط معدني يحتوي على النحاس ونسبة مضبوطة من كبريت الحديد. ويتمّ تكرير الخليط المنصهر في المحوّل من طريق تيار أوكسجين. فيتأكسد الحديد في البداية ويتركّز في الخبث ويتمّ التخلّص منه؛ ثم يحترق الكبريت ويتحوّل إلى ثاني أوكسيد الكبريت، ويبقى المعدن النقي 99% الذي بصبّه تنطلق الغازات الذائبة المتبقيّة، ويتصلّب إلى نحاس محبحب (Blister). ويتمّ بعدها إجراء تكرير إضافي للنحاس المحبحب في فرن، لإزالة الكبريت المتبقي، بالهواء ثم بالأوكسجين مع الميثان والبروبان. وأخيراً، تتمّ التنقية كهربائياً فينتج معدن نقي 99.9%. يتمّ تدوير ما يقارب 40% من النحاس وغالبية النحاس الأصفر (Brass) والبرونز المستخدمة داخل المملكة المتحدة من الخردة. وتتطلّب إعادة التدوير ما يقرب من 25% من الطاقة المستخدمة في الإنتاج الأولي للنحاس تبعاً لمستوى الشوائب الموجودة.

أصناف النحاس

يتمّ تصنيف النحاس وسبائك النحاس برمز ونظام رقمي وفقاً للمعيارين الحاليين (BS EN 1172: 1997) و(BS EN 1412: 1996). وهكذا، على سبيل المثال، يتحدّد النحاس الفوسفوري المزال الأوكسجين (Deoxidised) غير الزرنيخي (Nonarsenical)، الذي يستخدم عادةً في الأسقف والكسوة، على النحو التالي:

النظام الرمز:

(Cu-DHP)

(مزال الأوكسجين كثير الفوسفور المتبقي)

النظام الرقمي:

(CW024A-R24)

(C يشير إلى النحاس، W يشير إلى المنتجات المطاوعة، 024A يحدّد

التركيبة الفريدة (الجدول 11.5) والأحرف والأرقام اللاحقة تحدّد متطلبات معيّنة مثل قوّة مقاومة الشد أو القساوة، في هذه الحالة ـ الحدّ الأدنى لقوّة الشد MPa 240، الذي هو نصف قاسي التليين (Half-Hard Temper)).

عادة يستخدم في صناعة البناء أربعة فقط من أصناف النحاس العديدة وهي التالية:

النحاس المتين العالي الناقلية الكهربائية (Cu-ETP أو CW004A)

يستخدم هذا النوع من النحاس في الدرجة الأولى للأغراض الكهربائية، ومع ذلك تستخدم المواد الصفائحية أيضاً في أعمال الأسقف التقليدية المكونة من قطاعات نحاس طويلة مسنودة بشكل كامل. حيث تحتوي نحو 0.05% من الأوكسجين المذاب والذي ينطلق كبخار إذا تمّ تسخين النحاس إلى 400^0 مئوية في لهب مختزل [للأوكسجين]، مما يجعل المعدن غير صالح للِّحام أو للتقسية (Brazing).

الجدول 11.5 تصنيف عريض لخلائط النحاس

التسلسل الرقمي	الأحرف	المواد
000-099	A or B	نحاس
100-199	C or D	سبائك نحاس (العناصر السبائكية أقل من 5٪)
200-299	E or F	سبائك النحاس (العناصر السبائكية أكثر من5٪)
300-349	G	سبائك النحاس والألومنيوم
350-399	H	سبائك النحاس والنيكل
400-449	J	سبائك النحاس والنيكل والزنك
450-499	K	سبائك النحاس والقصدير
500-599	L or M	سبائك النحاس والزنك
600-699	N or P	سبائك النحاس والزنك والرصاص
700-799	R or S	سبائك النحاس والزنك، مركب

ملاحظة: يدلّ الرقم ذو الثلاثة خانات على كل مادة ويشير الحرف إلى النحاس أو إلى مجموعة السبيكة.

النحاس المتين المكرّر بالنار (Cu-FRHC أو CW005A)

لهذا النحاس مواصفات مماثلة للنحاس (Cu- ETP)، ولكن مع زيادة طفيفة في الشوائب.

النحاس المتين غير الزرنيخي (Cu-FRTP أو CW006A)

يتمّ استخدام هذا النوع من النحاس في تطبيقات البناء العامة، وهو مناسب لكساء الأسقف بالصاج.

النحاس الفسفوري المزال الأوكسجين غير الزرنيخي (Cu-DHP أو CW024A)

هذا النحاس هو الصنف المعياري لمعظم تطبيقات البناء بما في ذلك السقوف، ولكن ليس للتركيبات الكهربائية. كما أن إضافة الفسفور بنسبة 0.05% للنحاس المتين المكرّر يعزل الأوكسجين مما يجعل المعدن مناسباً للِّحام وللتقسية. ولذلك يستخدم في تطبيقات التركيبات الصحية حيث لا لزوم للِّحام. تمّ سرد التراكيب الكيميائية مفصلة للأصناف المبينة أعلاه ولجميع أنواع النحاس الأخرى في المعيار (DD CEN/TS 13388: 2008)

أشكال ومقاسات النحاس

يتوفّر النحاس كأسلاك وقضبان وأنابيب ورقائق وصفائح. وتستخدم في الأسقف أصناف النحاس النموذجية التالية: 0.45 و0.6 و0.7 mm. (السماكة الاسمية الدنيا لصفيحة النحاس المحمولة ذاتياً وفقاً للمعيار :BS EN 14782) (2005، وللمواد المستندة بشكل كامل هي 0.5 mm وفقاً للمعيار :BS EN 14783) (2006 ويتمّ توفير المعدن إمّا ليّناً تماماً (محمّى تماماً)، أو ثُمن أو ربع قاسٍ، أو نصف قاسٍ أو قاس تماماً. يقسى النحاس بسرعة نتيجة الحني، ولكن يمكن إعادته ليناً بالإحماء بالتسخين حتى الاحمرار. يمكن العمل بالنحاس في أي درجة حرارة، على عكس الزنك، لأنه ليس هشّاً وهو بارد. صنف النحاس المعياري المستخدم في الأسقف والأنابيب واسطوانات تخزين مياه المنزلية هو النحاس الفوسفوري المزال الأوكسجين غير الزرنيخي (CW024A)، مع أنه يمكن استخدام الأصناف (CW004A)، و (CW005A) (CW006A) في أعمال الأسقف. يتم توفير النحاس لأعمال الأنابيب على شكل لفائف لدنة للأنظمة بتجويف مصغّر/ صغيرة /Mini)

(Microbore، نصف قاس وقاس وبطول 6 m لأعمال السمكرة العامّة. لا يمكن حني الأنابيب المحمّاة. وتتوفر الأنابيب الملبسة بالبلاستيك ذات الألوان المرمّزة لتمييز الخدمة (مثل الأصفر للغاز).

صدأ النحاس (الزنجار)

يتنامى الزنجار الأخضر (كبريتات أو كربونات النحاس الأساسية) على النحاس المكشوف تدريجياً وفقاً للظروف البيئيّة. حيث يتنامى الزنجار الأخضر على أسطح المباني في البيئة البحرية أو الصناعية في غضون خمس سنوات، وتحت التلوّث الشديد يمكن أن يتحوّل الزنجار في النهاية إلى بني داكن أو أسود. وضمن بيئة المدينة، يتنامى الزنجار عادة على الأسطح على مدى عشر سنوات. ومع ذلك، تبقى تكسية النحاس الشاقولية عادة بنية داكنة، وذلك بسبب الجريان السطحي السريع لمياه الأمطار، إلا في البيئات البحرية حيث ينمو اللون الأخضر. وتعدّ المعالجة في الموقع لتسريع عملية الصدأ (Patinisation) غير موثوقة، ولكن صفائح النحاس المصدأة مسبقاً (Pre-Patinised) متوفرة إذا كان هذا المظهر مطلوباً. ينبغي أن لا تلحم صفائح النحاس الأخضر المصدأة مسبقاً لأنَّ المعالجة الحرارية تغيّر لون الزنجار. يتجوّى الزنجار الأخضر الزاهي الذي تمّ توليده في المصنع حسب الظروف البيئية المحليّة، ويتحول في كثير من الأحيان بسرعة إلى أزرق مخضّر. ومع ذلك، إذا ما أريد الاحتفاظ بالمظهر المعدني خارجياً يمكن عندئذٍ استخدام سبائك النحاس/ الألومنيوم/ الزنك التي تقاوم العوامل الجوية وتحتفظ بلون الذهب المشرق. ويوضح مركز أربيس (Urbis) في مانشستر جيداً المؤثرات البصرية لسقف ذي سمة كبيرة من النحاس الصدئ (الشكل 23.5).

التآكل

عموماً، النحاس في حدّ ذاته مقاوم للتآكل، ولكن جريان مياه الأمطار قد يسبِّب تلطيخ المواد المتاخمة وتآكلاً شديداً للمعادن الأخرى. ولذلك ينبغي أن لا يستخدم الزنك، والفولاذ المغلفن والألومنيوم غير المؤكسد تحت النحاس، مع أن الرصاص والفولاذ المقاوم للصدأ والنحاس الأصفر (Brass) لا تتأثر. قد يسبّب النحاس تآكل الفولاذ الذي على تماس مباشر معه وكذلك الألومنيوم المؤكسد إذا كانت الرطوبة موجودة. وعلى وجه التحديد، ينبغي أن لا يتمّ نصب النحاس تحت القار المكشوف أو تحت طلاء القار أو تحت ألواح خشب الأرز حيث يمكن لفعل

الرشح الذي ينتج محاليل حمضيّة أن يسبب هجوماً محلياً على المعدن. بالإضافة إلى ذلك، قد ينشأ بعض التآكل من الحمض الذي تنتجه الطحالب على السقوف المبلطة. ويؤدي الرش العرضي للمونة الإسمنتية أو الجيرية على النحاس إلى تغيير لونه إلى أزرق مخضّر، ولكن يمكن إزالة هذا اللون بسهولة باستخدام فرشاة نحاس ليّنة. وقد يحدث بعض التآكل في أنابيب النحاس من طريق المياه اللينة، لا سيّما بوجود مستويات عالية من ثاني أوكسيد الكربون المذاب؛ أمّا المياه العسرة فتنتج عموماً غشاءً واقياً من مركبات الكالسيوم الذي يمنع التآكل. تمّ الإبلاغ عن حفر من التآكل في حالات نادرة مقترنة إمّا مع المياه العسرة في الآبار العميقة أو المياه الساخنة واللينة التي تحتوي على كمية كبيرة من المنغنيز. بالإضافة إلى ذلك، قد ينتج التآكل من تدفّق المخلّفات الحمضية المفرطة والتي لا تُزال بنظام التنظيف. ويحدث تآكل متعلّق بنظام ثنائي المعدنين بين المشعات الفولاذية والأنابيب النحاسية ضمن أنظمة التدفئة حيث يتمّ تجديد الأوكسجين باستمرار في الماء الرئيسي الدائر نتيجة عطل أو سوء في التصميم ممّا يؤدي إلى تراكم مخلفات أوكسيد الحديد في الجزء السفلي من المُشعّات، ولكن استخدام مثبّطات مناسبة يحدّ من هذا التأثير.

(الشكل 23.5) أعمال تشييد السقف بالنحاس ـ مركز أربس (Urbis) في مانشستر. المعماريون: ايان سمبسون(Ian Simpson). الصورة: بإذن من كريس هودسون (Chris Hodson).

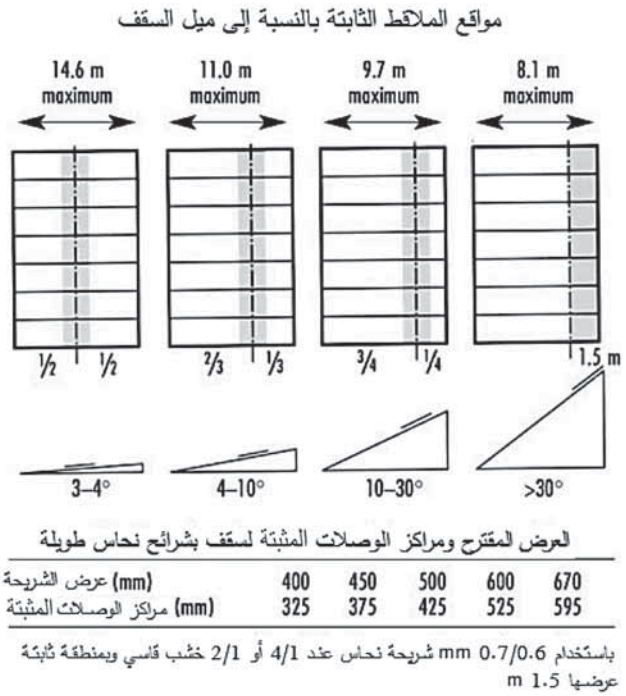
طلاءات حماية النحاس

يتوفر مجموعة من الأطلية الشفافة للتطبيقات الخارجية والداخلية على النحاس حيث يجب الاحتفاظ باللون الأصلي لإنهاءات السطح. وتعد راتنجات الأكريليك التي تجف بالهواء والحرارة وبوليميرات الفلورين (Fluoropolymers) القابلة للذوبان مناسبة للاستخدام الخارجي. ويزيد متوسط العمر المتوقع لراتنجات الأكريليك، والتي تتضمّن بنزوتريازول (Benzotriazole $C_6H_5N_3$) لمنع التآكل في حالة تلف الطلاء، عن 10 سنوات، في حين ينبغي أن تدوم بوليميرات الفلورين التي تم تطويرها مؤخراً لمدة 20 عاماً. ويعدّ البولي يوريثان والفينيل والإيبوكسي وراتنجات الألكيد (Alkyd Resins) مناسبة للاستخدام الداخلي. كما أن السيليكون ضروري للتطبيقات ذات درجة الحرارة العالية.

نظم الأسقف النحاسية

النظم التقليدية والنظم ذات الشرائح الطويلة

يمكن تصنيف أنظمة التسقيف النحاسية إلى تقليدية أو ذات شرائح طويلة. تمتاز هذه الأخيرة بأنها تمتد بين 8.1 و14.6 متراً، حسب ميل السقف، ويمكن بناؤها من دون الحاشية (Welt) العرضية اللازمة للأسطح المائلة أو من دون الإفريز على السقوف المسطحة المناسبة للنظام التقليدي. ولهذا فوائد اقتصادية كبيرة من ناحية تكاليف التركيب. ويمكن مدّ نظام السقف ذو الشرائح النحاسية الطويلة (الشكل 24.5)، وبعرض يصل حتى 600 mm تقريباً، على أسطح بميل بين 3^0 و90^0 مع استخدام شرائح نحاس مُسقى ربع أو نصف قاس ذات سماكة 0.6 أو 0.7 mm. يتطلّب النظام أن تكون مناطق محددة من السقف مثبتة بملاقط وصل تقليدية تسمح بتمدد طولي للمجاز، والباقي بملاقط تمدد، ولكن مع تأمين التثبيت الآمن إلى الطبقة التحتية. وتُستوعب الحركة الحرارية الجانبية بمسافة عند قاعدة خطوط الالتئام القائمة (Seams). وتُمدّد شرائح النحاس الطويلة على غشاء تنفّس (Breather Membrane) يسمح بحرية الحركة بين المعدن والهيكل ويعزل النحاس عن أي مثبّتات حديدية في الهيكل ويوفر بعض التخفيض في الصوت الناجم عن الرياح والأمطار. وينبغي أن تصنع كل المثبتات من نفس نحاس السقف. ويجب أن تكون المسامير التي لا يقلّ قطر رؤوسها عن 6 mm مصنوعة من النحاس أو النحاس الأصفر.



(الشكل 24.5) التسقيف بشرائح نحاس طويلة.

تستخدم ضمن السقوف النحاسية التقليدية (الشكل 25.5) خطوط الالتئام القائمة أو أنظمة الوصل الملفوفة على عارضة، تبعاً لميل السقف والمظهر المطلوب. وتعدّ الوصلة الملفوفة مناسبة لميل حتى 5 درجات، لأنَّ خطوط الالتئام القائمة عرضة للتسطيح العرضي، وبالتالي لفشل عشوائي لاحق بالفعل الشعري. يمكن أن تكون الحاشية (Welt) متواصلة عبر الأسطح التي تستخدم فيها الوصلة الملفوفة، ولكن ينبغي أن تكون متقطّعة عند استخدام خطوط الالتئام القائمة. ويجب ألاّ يتجاوز طول المجاز 1700 mm تقريباً. وعادة يستخدم النحاس إمّا ليناً أو ربع قاس. وتستخدم الطبقة التحتيّة وغشاء التنفس والملاقط الثابتة كما في التسقيف ذي الشرائح الطويلة. هذه الاختلافات في الترابط في أنظمة التسقيف التقليدية، وخاصة تناقضها مع الخط السلس لنظام الشرائح الطويلة، توفر بديلاً للمظهر البصري لمصممي الأسطح النحاسية. كما تتوفر أنظمة مياه الأمطار النحاسية مع مجموعة من المكونات المعيارية. وتوفر ألواح النحاس جمالية إضافية لأسقف النحاس التقليدية ولأنظمة الكسوة...

الأنظمة المحمولة ذاتياً

يوضح المعيار (Bs En 506: 2008) مقاطع نموذجية للنحاس الصفائحي المشكل ولبلاطات النحاس. تم تحديد النحاس الفوسفوري المزال الأوكسجين (Cu-Dhp Deoxidised) لهذا الغرض. وحدّد المعيار (Bs En14782: 2006) 0.5 mm كسماكة دنيا لصفائح النحاس المحمولة ذاتيّاً للأسقف وللإكساء.

أنظمة النحاس الملصوق

تُقدّم أنظمة مسجّلة الملكية تأثيرات بصرية مشابهة لتلك التي تمتلكها أنظمة التسقيف المصنوعة من النحاس التقليدي والألومنيوم والفولاذ المقاوم للصدأ والفولاذ المقاوم للصدأ المطلي بالتيرن (Terne)، وذلك بلصق المعدن إمّا على ألوح خشب مضغوط أو على صفائح التسقيف. (ويشار إلى هذا الأخير في الفصل 6 حول القار ومواد التسقيف المسطحة). ويوفّر النحاس الملتصق على ألواح الخشب المضغوط ذات السماكة 18 mm والكثافة العالية المقاومة للرطوبة إنهاءً أنعم من ذلك الذي تحققّه طرائق التسقيف والإكساء التقليدية، في حين لا تزال تظهر خطوط الالتئام الواقفة أو المسطحة.

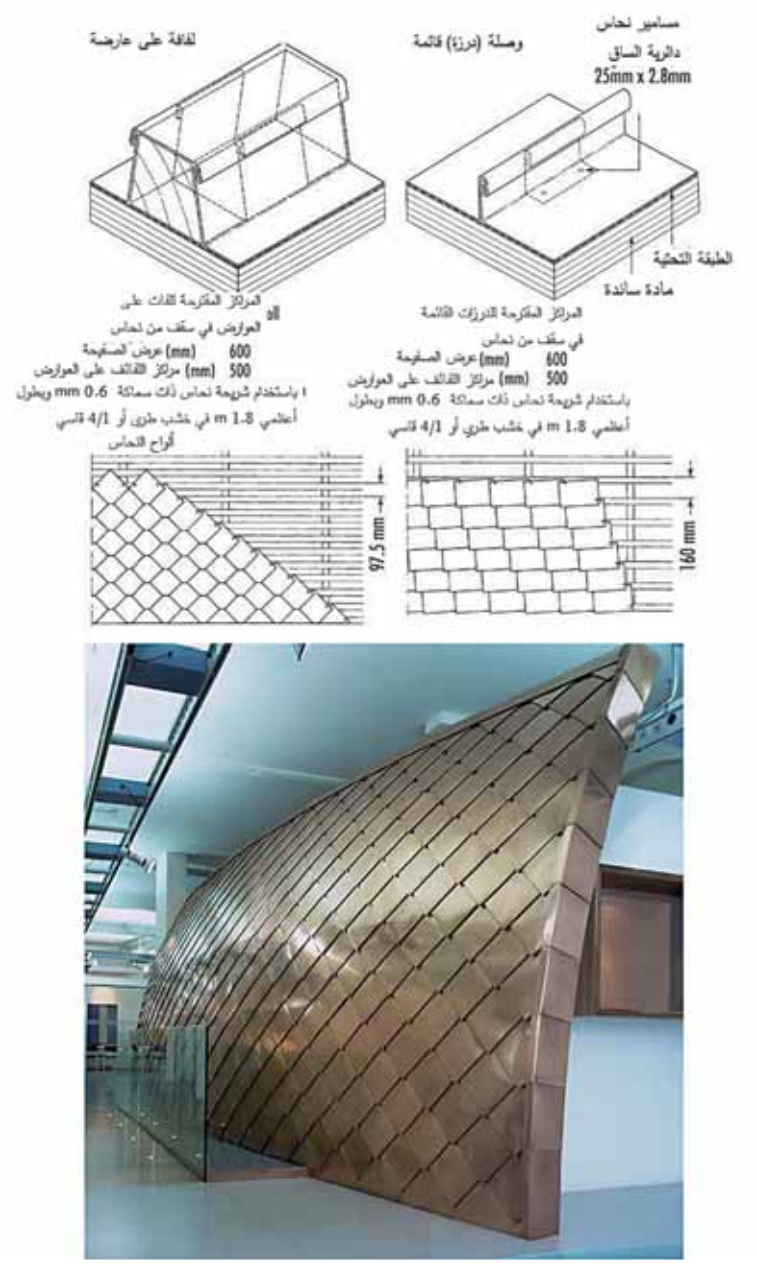
سبائك النحاس

يمكن سباكة النحاس مع الزنك أو القصدير أو الألومنيوم أو النيكل أو السيليكون بغية إنتاج مجال من النحاس الأصفر والبرونز. وكامل مجموعة سبائك النحاس مدوّنة في المعيار (DD CEN/TS 13388: 2008).

النحاس الأصفر

النحاس الأصفر هو سبيكة من النحاس والزنك تحتوي غالباً على الزنك بنسبة ما بين 10% و45%. ويستخدم في صناعة العناصر الصغيرة مثل المواد الحديدية المعمارية وأثاث الأبواب والنوافذ والدرابزينات. وقد يُطلى باللكر (Lacquer) لمنع تدهور الإنهاء المصقول، على الرغم من فشل اللكر في البيئات الخارجية والرطبة، الأمر الذي يتطلب تنظيف النحاس الأصفر بملمع للمعادن لإعادة بريقه. قد تتآكل لوازم التجهيزات الصحية المصنوعة من النحاس الأصفر 60/ 40 في المياه اللينة التي تحتوي على نسبة عالية من الكلور بفقدان الزنك (Dezincification). حيث تُنتج هذه العملية نواتج تآكل من الزنك غير قابلة للذوبان وفي نهاية المطاف تصبح لوازم التجهيزات المعدنية مسامية مما قد يسبب فشل النظام. في الحالات التي من المرجح أن تتواجد فيها هذه المشكلة يجب استخدام لوازم تجهيزات مقاومة لفقدان

الزنك (DZR) مصنوعة من سبائك نحاس محتوية على 2% من الرصاص (CW602N). وتُميز هذه اللوازم برمز مقاومة فقدان الزنك (CR).



(الشكل 25.5) جدار من سبائك نحاسية.

البرونز

البرونز هو سبيكة من النحاس والقصدير تُستخدم لأثاث الأبواب العالية الجودة، وفي الآونة الأخيرة كمادة إكساء من القماش المنسوج في مركز تدريب المسرح الملكي في بليموث (Plymouth). وعادة يكون البرونز أكثر قساوة وأكثر ديمومة من النحاس الأصفر المكافئ ويبدي مقاومة أكبر للتآكل. ويحتوي البرونز الفوسفوري حتى 0.5% فوسفور من ضمن 8% في البرونز القصديري. ولهذا يستخدم كثيراً كطنوف صفائحية (Corbel Plates) وكمثبتات للحجر وألواح الكسوة الخرسانة مسبقة الصنع لما له من خصائص ديمومة وتحمل الأحمال. كما يستخدم برونز الألومنيوم (النحاس والألومنيوم)، وبرونز السيليكون (النحاس والسيليكون) ومعدن البنادق (Gunmetals) (سبائك النحاس والقصدير والزنك) في مثبتات الحجر وفي المكونات المصبوبة لمقاومتها وديمومتها. ويمكن تصنيع سبائك النيكل والبرونز (النحاس والنيكل والزنك) للحصول على إنهاءات فضية مصقولة للغاية مناسبة خصوصاً للتركيبات الداخلية.

الأسطح المضادة للميكروبات

من المسلّم به حالياً أن النحاس وسبائكه هي بشكل طبيعي مواد مضادة للميكروبات، وبالتالي لها دور حيوي في الحدّ من العدوى المكتسبة من المستشفيات مثل (MRSA)(*) ومن المعروف أن نسبة كبيرة من العدوى تنتشر من طريق اللمس، ولذلك فمن المناسب أن تُصنع الأسطح التي تعمل باللمس ـ مثل مقابض الأبواب ولوحات الدفع والصنابير ومفاتيح الإضاءة داخل المستشفيات ومرافق الرعاية الصحية الأُخرى ـ من النحاس أو النحاس الأصفر أو البرونز بدلاً من الفولاذ المقاوم للصدأ أو المواد غير النشطة الأخرى.

الرصاص

استخدم المصريون الرصاص في تزجيج فخّارهم وفي صناعة اللحام قبل 5000 عام قبل الميلاد. وكان يستخرج في أسبانيا من قبل الفينيقيين نحو 2000 قبل الميلاد.

(*) تعني بالإنجليزية (Methicillis-Resistent Staphylococcus Aureus) وهي تسمية تشير إلى أنواع من البكتيريا المقاومة للمضادات الحيوية (المترجم).

التصنيع

يوجد الرصاص بشكل طبيعي كخامات الكبريتات، غالينا (Galena) (كبريتات الرصاص). تشمل عملية التصنيع تركيز الخامات بواسطة الطحن والتعويم. حيث يتمّ تحويل الكبريتات إلى أوكسيد بواسطة التحميص، ومن ثم يختزل الأوكسجين من الخام إلى معدن في فرن عالٍ مشحون بالحجر الجيري وفحم الكوك. وتُزال الشوائب بمزيد من التكرير التي يمكن أن يقلّل من ليونة المعدن. يتمّ إنتاج نحو 75% من الرصاص المستخدم في المملكة المتحدة بتدوير المواد.

صفائح الرصاص

يتمّ إنتاج معظم صفائح الرصاص للأسقف والكسوة والحشوات وبطانات المزاريب بسحب صفائح سميكة وصولاً إلى السمك المطلوب. ويتمّ تصنيع الرصاص المصبوب باستمرار آليّاً، والذي يمثّل نحو 10% من المباع في المملكة المتحدة، من طريق غمر أسطوانة معدنية (Drum) دوّارة مبرّدة بالماء في حمام من الرصاص المصهور عند درجة حرارة ثابتة. يتصلّب الرصاص على سطح الأسطوانة ويُقشّر عنها أثناء خروجها من الصُهارة. ويتمّ ضبط السماكة من طريق تغيير سرعة دوران الأسطوانة. وتكون الصفيحة المنتجة من دون بنية حبيبية متباينة خواص الاتجاه مرتبطة بعملية الدوران القياسية. يُعرّف المعيار (BS EN 12588: 2006) صفائح الرصاص بسماكاتها بدلاً من نظام الرموز المستخدم سابقاً في المملكة المتحدة (الجدول 12.5). وما زالت صفائح الرصاص المصبوبة بالرمل تُصنّع بالطريقة التقليديّة، وهي تنطوي على سكب الرصاص المصهور على سرير من الرمال المُعدّ لهذه الغاية. ويتمّ التحكّم في سماكة الصفائح بسحب قطعة من الخشب على سطح المعدن المنصهر لإزالة المواد الزائدة. وعادة يستخدم الرصاص المصبوب بالرمال لأعمال الصيانة في المباني التاريخية الرئيسيّة فقط، حيث يمكن إعادة تدوير الكثير من الرصاص القديم في هذه العملية. والمقاس النموذجي لصفيحة الرصاص المصبوب هو 1.5 x 6 m. والسماكة الاسمية الدنيا لصفائح الرصاص المسنودة بالكامل والمستعملة في السقوف والكسوة هي 1.25 mm طبقاً للمعيار (BS EN 14783: 2006). ويتطلّب التعامل مع الرصاص في الموقع عناية مناسبة وذلك بسبب وزن المواد والأبخرة السامّة التي تنتج أثناء حرقه.

الجدول رقم 12.5

التسمية الأوروبية							
رمز اللون	أخضر	أصفر	أزرق	أحمر	أسود	أبيض	برتقالي
السماكة الاسمية (mm)	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5
التسمية في المملكة المتحدة							
رموز الرصاص	3		4	5	6	7	8
السماكة الاسمية (mm)	1.32	1.59	1.8	2.24	2.65	3.15	3.55
الوزن الإسمي (kg/m2)	15	18	20.4	25.4	30.1	35.7	40.3
تطبيقات نموذجية							
أسقف شقق				√	√	√	√
أسقف مائلة				√	√	√	√
إكساء شاقولي			√	√			
نواقع (Soakers)	√		√				
شرائح إحكام للذروة أو للورك			√	√			
درابزين، صندوق/ مزراب وادي					√	√	√
مزراب وادي مائل			√	√			
تجوية الدرابزينات			√	√			
شرائح إحكام بين الأسطح المائلة والشاقولية			√	√			
شرائح إحكام للمداخن			√	√			

التآكل

للرصاص المقطوع حديثاً إنهاءات برّاقة، ولكنه يفقد بريقه بسرعة في الهواء

مع تشكّل غشاء أزرق رمادي من كربونات وكبريتات الرصاص. وفي الظروف الرطبة تظهر رواسب بيضاء من كربونات الرصاص، وهذا قد يكون غير مقبول في الإكساء من الناحية الجمالية كما أنّه يسبّب بعض اللطخ للمواد المُجاورة. ويمكن منع هذا التأثير بتطبيق زيت الصدأ (Patination Oil) على الرصاص بعد أن يتمّ إصلاحه. وعموماً يكون الرصاص مقاوماً للتآكل بسبب الحماية التي يوفرها الغشاء غير القابل للذوبان، ولكن يتم التآكل من قبل الأحماض العضوية. وقد يحدث التآكل من جريان مياه الأمطار الحمضية من الطحالب (Mosses) والأشنيات (Lichens)؛ وينبغي تفادي التماس مع الأخشاب الرطبة خاصة البلوط وخشب الساج (Teak) والأرز الغربي الأحمر، وذلك باستخدام ورق البناء أو طلاء القار. كما قد يسبّب التكاثف المحصور تحت صفيحة الرصاص تآكلاً كبيراً، لذلك يجب النظر في توفير التهوية الكافية تحت الأرضية (Decking) التي تسند الرصاص. ويجب التحقّق من نقاط الندى لضمان عدم حدوث التكاثف، وأن لا يبقى الندى محصوراً تحت صفيحة الرصاص في أي عمل جديد أو تجديد. وعموماً، يكون الرصاص مستقرّاً في معظم أنواع التربة، ولكنه يتعرض للهجوم من قبل الأحماض داخل بقايا الخبث (فحم المستنقعات (Peat)) والرماد. ونادراً ما يحدث التآكل الكهربائي عندما يكون الرصاص على اتصال مع معادن أخرى، ومع ذلك ينبغي أن لا يستخدم الألومنيوم بالاشتراك مع الرصاص داخل البيئات البحرية. ويحدث التآكل أيضاً بين منتجات الإسمنت البورتلاندي أو الجير الرطبة والرصاص أثناء عملية التجفيف، وبالتالي، في الظروف التي يكون فيها التجفيف بطيئاً، ينبغي عزل الرصاص عن الخرسانة بطبقة من طلاء القار.

التعب والزحف

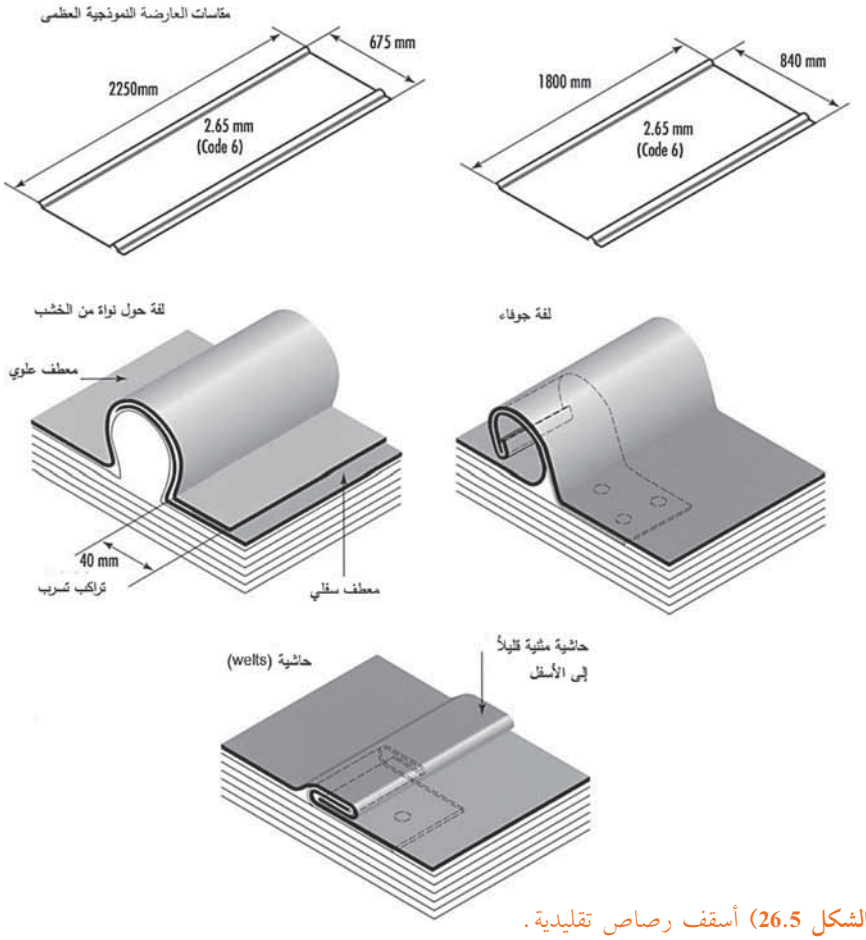
من أجل منع فشل التعب (Fatigue Failure) الناجم عن التناوب الحراري أو الزحف، أي تمدّد المعدن تحت تأثير وزنه الذاتي على مدى فترات طويلة من الزمن، من الضروري ضمان أن تكون مقاسات الصفائح والسماكات والمثبّتات وفقاً للنصائح المقدّمة من قبل جمعية صفائح الرصاص في كتيباتهم التقنية. حيث يجب أن يكون المعدن حرا في الحركة نسبيّاً مع تغيرات درجة الحرارة، بحيث لا تتركّز الإجهادات المتناوبة في مناطق صغيرة مما يؤدي إلى تمزّق تعب (Fatigue Fracture) نهائي. ولتجنّب ذلك يمكن استخدام طبقة فصل تحتية من الجيوتكستايل (Geotextile). إنّ إضافة النحاس بنسبة 0.06% للرصاص النقي بنسبة 99.9% تهذّب

التركيب البلوري مما يعطي مقاومة تعب إضافية من دون خسارة كبيرة في المطاوعة. ويتحكم المعيار (BS EN 12588: 2006) في دقة في تركيبة صفائح الرصاص.

التسقيف بالرصاص

يتطلّب التسقيف بالرصاص طبقة تأسيس سفلية متواصلة ملساء. وعموماً، تعتمد مقاسات مجاز الصفائح على هندسة السطح وسماكة الرصاص المستخدم (الشكل 26.5). ففي السقوف المسطحة (ذات الميل حتى 10°) تُنفذ الوصلات عموماً على شكل لفائف حول نوى من الخشب باتجاه الانحدار مع دماعات بالاتجاه الأفقي. أما في الأسطح المائلة (بين 10° و80°)، فيمكن أن تكون الوصلات التي باتجاه الانحدار لفائف بنوى من الخشب أو جوفاء مع الأطراف المتراكبة معترضةً الانحدار، إلا لأسباب جمالية، عندها تُقسم المجازات بدماعات. وتُستخدم الحواشي (Welts) عندما تكون الميول شديدة، وتكون خطوط الالتئام الواقفة ملائمة عندما يكون الميل أكثر من 80° (الشكل 27.5). وتكون المثبّتات عبارة عن مسامير وملاقط من النحاس أو الفولاذ المقاوم للصدأ داخل اللفائف أو الحواشي أو خطوط الالتئام القائمة. كما يمكن تشكيل الرصاص أو توجيهه بأشكال مختلفة كونه مادة عالية المطاوعه وذلك باستخدام أدوات متخصصة بما في ذلك عصا التوجيه والمطرقة الخشبية. وينطوي لحام الرصاص أو حرقه على وصل الرصاص مع الرصاص باستخدام مواد إضافية لجعل الوصلة أسمك من المواد المجاورة بمقدار الثلث.

ويوضح مصنع دايفد ميلور (David Mellor) لأدوات المائدة في هاثرساج، ديربيشاير (Hathersage, Derbyshire) (الشكل 14.9، الفصل 9)، سقف رصاص مفصل تقليدياً. يستند الرصاص ذو الوصلات الملفوفة على نوى خشبية على سطح متدرج مصنوع من صناديق من الخشب المعاكس المعزول مجهدة القشرة ومسبقة الصنع، ومستدّقة لتناسب التصميم الشعاعي. وتمّ سند هذه الوحدات إلى سلسلة من الجملونات الفولاذية الخفيفة الوزن والمربوطة في محيطها بحلقة شدّ فولاذية، وبالفانوس المركزي بجملون حلقي. ويحرق الرصاص حول المحيط لضمان الإحكام الرأسي. ويوضح الشكل 27.5 سطحاً شديد الانحدار من دون الحاجة إلى دمّاعات.



(الشكل 26.5) أسقف رصاص تقليدية.

(الشكل 27.5) سقف رصاص تقليدي. المقاول: نورفولك (Norfolk) لصفائح الرصاص.
الصورة: بإذن من جمعية مقاولي الرصاص.

الكسوة بصفائح الرصاص

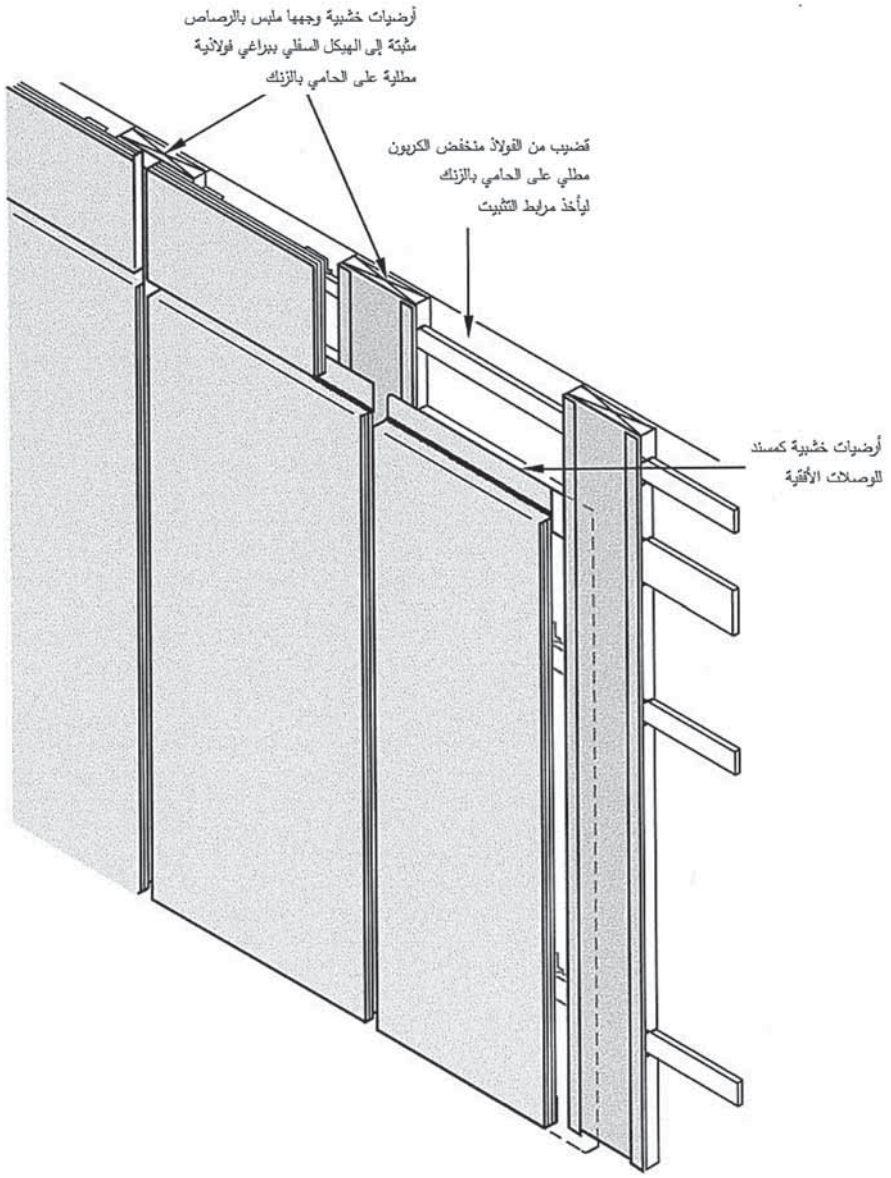
تُملي سماكة الرصاص المستخدم في الإكساء التباعد الأقصى بين الوصلات العموديّة والمسافة بين الأطراف المتراكبة. وقد تكون الوصلات العمودية لفائف بنوى من الخشب أو حواشٍ، وأحياناً خطوط التئام واقفة أو لفائف جوفاء، حيث يكون خطر الأضرار المادّيّة من السلالم مهملاً. ويُعلق الرصاص بمسامير من الأعلى ويترك تسامح للحركة الحرارية إلى داخل وصلات التراكب بعرض حتى 6 mm.

يمثّل استخدام ألواح الإكساء المسبقة التشكيل ذات الوجه الملبّس بالرصاص شكلاً بديلاً من الكسوة بالرصاص، حيث يتمّ تركيبها بعد ذلك على واجهة المبنى (الشكل 28.5). وعادة، يستخدم الخشب المعاكس بسماكة 25 mm من الصنف الخارجي المُغطّى بطبقة من الرصاص سماكتها 1.80 أو 2.24 mm (رمز 4 أو رمز 5). يتمّ تثبيت الألواح على مسند هيكلي من الخشب المغطّى وجهه بالرصاص مع ترك فاصل بعرض 25 mm للحركة الحرارية. وتُوضّح التفاصيل المعياريّة في كود ممارسة المهنة ذي الصلة (BS 6915: 2001).

بلاط الرصاص

يتضح استخدام مبتكر للرصاص كمادة تسقيف في قاعة هابرداشاير (Haberdashers) في لندن (الشكل 29.5). حيث يتميّز المبنى ذو الطابقين، الذي شيّد حول فناء، بكسوة سقفه ببلاط من الرصاص على شكل الألماس. تمّ تشكيل الوحدات الفردية من الخشب المعاكس البحري على شكل الألماس بأبعاد 1.5 x 1 m وتمّ تلبيس كلٍّ منها بورقة مع الرصاص، ونُفذت حشوات (Flashing) على حافتين للإحكام تحت الألواح العليا.

منح الإذن لإعادة إنتاج مقتطفات من المعيار (BS 6915: 2001) من قبل معهد المعايير البريطانية



(الشكل 28.5) ألواح كسوة خشبية بوجه من الرصاص.

(الشكل 29.5) التسقيف ببلاط الرصاص ـ قاعة هابرداشاير (Haberdashers) في لندن. المهندسون المعماريون: هوبكنز (Hopkins). الصورة: بإذن من جمعية مقاولي الرصاص.

الحشوات

يعدّ الرصاص بسبب مطاوعته وديمومته مادة مثالية لتشكيل المزاريب وبطاناتها، ولفات ذرى الجملونات (Ridge) ونقاط التقاء السقوف مع الجدران (Hip)، ومجموعة كاملة من الحشوات المعيارية والخاصة، بما في ذلك أعمال الزينة التي تعزز سمات التصميم. وفي معظم تطبيقات الحشوات يتمّ استخدام صفائح الرصاص 1.80 أو 1.32 أو 2.24 mm (رموز 3.5)، مثبّته بالنحاس أو بالفولاذ المقاوم للصد أو الرصاص نفسه أحياناً.

صفائح الرصاص المطلية بالأكريليك

يتمّ إنتاج صفائح الرصاص المطلي بالأكريليك حسب الطلب، وبالألوان المعيّارية الأبيض والأَرْدُوَازي الرمادي (Slate Grey) والبني الداكن والفخاري (Terracotta) للاستخدام في الحشوات المنسّقة الألوان. ويُنتج الرصاص المطلي الملون ذو السماكة 1.80 mm (رمز 4) بعرض 250 و450 و300 و600 mm. وتُقولب المواد بالتشكيل كما في صفائح الرصاص المعيارية، وفي المواقع الملحومة يمكن إصلاح دهان المعدن الرمادي المكشوف إذا لزم الأمر.

الزنك

كان الزنك معروفاً عند الرومان كسبيكة النحاس الأصفر، ولكن لم يتم إنتاجه صناعياً حتى منتصف القرن الثامن عشر، ولم يكن شائع الاستعمال في المباني حتى القرن التاسع عشر. ويفقد سطحه المقطوع بريقه بسرعة ويتحول إلى الرمادي الفاتح نظراً لتشكيل غشاء من كربونات الزنك الأساسية (Patina). والزنك قاس في درجات الحرارة المحيطة وهش عندما يكون بارداً. ولذلك ينبغي ألا يُعمل به في درجات حرارة أقل من 10 درجات مئوية من دون تَحْمِيَة مسبقة، وينبغي أن لا تستخدم صدمات ثقيلة في عمليات تشكيله بالحني والطي.

التصنيع

يوجد الزنك بشكل طبيعي كخام الكبريت، كبريت الزنك (Zinc Blende). ويتم تركيز الخام أولاً ومن ثم يُحمص لينتج أوكسيد الزنك. وبإضافة الفحم يتحول أوكسيد الزنك إلى معدن ينطلق كبخار ومن ثم يُكثف. وينتج الزنك العالي الجودة بواسطة التحليل الكهربائي لمحلول كبريتات الزنك النقي. ويصنف الزنك وفقاً لنقاوته كما هو محدد في المعيار (BS EN 1179: 2003) (الجدول 13.5).

ويستهلك ما يقرب من 3610 (kwh) من الطاقة في الإنتاج الأولي لطن واحد من الزنك الصفائحي. ولكن، يتم تدوير نسبة كبيرة من هذا المعدن.

الجدول رقم 13.5

درجات التصنيف	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
(٪) محتوى الزنك	99.995	99.99	99.95	99.5	98.5
رمز اللون	أبيض	أصفر	أخضر	أزرق	أسود

صفائح الزنك

يتمّ تصنيع صفائح الزنك عن طرق الصب المتواصل والدرفلة في مجموعة من السماكات (الجدول 14.5) وبعرض لفائف حتى 1000 mm كحد أقصى. اثنان من المنتجات المعيارية هي المعدن النقي (99.995% زنك) وسبيكته الناتجة عن إضافات صغيرة من التيتانيوم والنحاس (على سبيل المثال بنسبة 0.06% وبنسبة 0.08% كحد أدنى، على التوالي). وتعدّل عملية الدرفلة الهيكل البلوري، خاصة

في المعدن النقي، ولكن هذا لا يؤثر في العمل في الصفائح. وتحسن السبكة الأداء بالنسبة للمتانة ومقاومة الزحف، ولكن أيضاً يسمح معامل التمدد الحراري المخفض بناء سقف يصل مجازه إلى 10 m، أو في حالات معينة يصل إلى 16 m في الطول، تبعاً لاعتبارات تصميمية، بما في ذلك عرض المجاز. ويمكن طي أو حني سبيكة الزنك والنحاس والتيتانيوم (BS EN 988: 1997) لإنتاج ألواح الإكساء المتشابكة للتركيبات الرأسية والأفقية أو المائلة. ويمكن العمل باليد بكلا المعدن النقي وسبيكة التيتانيوم في درجة حرارة الغرفة دون أن يقسى. والسماكة الاسمية الدنيا لسبيكة الزنك المحمولة ذاتياً وفقاً للمعيار (BS EN 14782: 2006) ولسقوف وإكساءات الزنك المسنود بالكامل وفقاً للمعيار (BS EN 14783: 2006) هي 0.6 mm. تم استخدام سبيكة الزنك والنحاس والتيتانيوم في إضافة وحدة إلى مجموعة المباني الأنيقة التي تشكل جامعة كامبردج، مركز العلوم الرياضية، من قبل المهندسين المعماريين كولينان إدوارد (Edward Cullinan Architects) (الشكل 30.5).

الجدول رقم 14.5

السماكة الاسمية (mm)	0.6	0.65	0.7	0.8	1.0	1.20	1.50
الوزن الاسمي	10.8	8.6	7.2	5.8	7.2	8.6	10.8

(الشكل 30.5) التسقيف بسبائك الزنك ـ مركز العلوم الرياضية بجامعة كامبردج. المهندسون المعماريون: إدوارد كولينان (Edward Cullinan). صورة: آرثر ليونز (Arthur Lyons).

صدأ الزنك (غشاء العتق)

يفقد الزنك البرّاق بريقه في الهواء نتيجة تشكل غشاء رقيق من الأوكسيد، الذي يتحوّل بسرعة إلى كربونات الزنك الأساسية بفعل المياه وثاني أوكسيد الكربون. ثم يمنع غشاء العتق هذا المزيد من تدهور السطح. وللزنك العادي غشاء عتق أزرق رمادي، أفتح من ذلك الخاص بالصفائح السبائكية، لذلك ينبغي أن لا يتم خلط كلا المادتين في نفس البناء. وتتوفر السبائك المجواة مسبقاً إذا كانت هناك حاجة إلى سطح رمادي فاتح أو أردوازي معتق. يعتمد عمر الزنك بشكل مباشر على السماكة. وينبغي أن يدوم سقف بسماكة 0.8 mm مدّة 40 عاماً في ظروف المدن، في حين قد تدوم نفس الصفيحة لمدة 60 عاماً إذا استخدمت كإكساء مغسول نظيف بواسطة المطر. ويصل العمر المتوقع لسبيكة التيتانيوم ذات الديمومة المحسنة كثيراً إلى 100 عام في البيئة الريفيّة اعتماداً على ميل التطبيق.

صفائح الزنك المطلية باللكر

يُعطي إنهاء لكر البوليستر المعالج حرارياً والمنفذ على الزنك في المعمل بسماكة 25 µm مجموعة من خيارات الألوان، من الأبيض والبني والفخاري والأحمر والأخضر الرمادي والأزرق. ويشمل الطلاء العضوي البديل الأكريليك والبوليستر وسيليكون البوليستر وفلوريد البولي فينيل ومستحلب PVC) (PVC) (Plastisol وفقاً للمعيار (BS EN 506: 2008).

التآكل

لا ينبغي أن يستخدم الزنك بتماس مع النحاس، أو حيث تصرف مياه الأمطار من النحاس أو سبائكه إلى الزنك. غير أنه يمكن استخدامه بالمشاركة مع الألومنيوم. عند الاتصال مع الفولاذ أو الفولاذ المقاوم للصدأ يجب أن يكون الزنك العنصر الرئيسي لمنع آثار التآكل المهمة. ويمكن أن تسبب حواف الفولاذ المغلفن المقطوعة وغير المحمية بقع صدأ قبيحة يجب تجنبها. وإذا بقي الجانب السفلي من صفائح الزنك رطباً بسبب التكاثف لفترات طويلة من الزمن يحدث التآكل على شكل نخر، مما يسبب الفشل في نهاية المطاف. ولذلك من الضروري ضمان تصميم الهيكل السفلي بشكل مناسب مع حاجز بخار وعزل وتهوية لمنع التكاثف البيني. يمنع ثاني أوكسيد الكبريت في الغلاف الجوي الملوث تشكُل

غشاء الكربونات الواقية ويسبب التآكل.

لا يتأثر الزنك بمونة الإسمنت البورتلاندي أو الخرسانة، وعلى الرغم من ذلك ينبغي أن يطلى بطلاء أكريليك راتنجي أينما يكون على تماس مع الأملاح الذائبة من البناء، أو المواد المضافة إلى الإسمنت. يمكن أن يوضع الزنك مباشرة على الخشب الطري الجافّ ما لم يُشرّب بأملاح النحاس الحافظة، التى لها تأثير مشجع طفيف للتآكل. ومع ذلك، ينبغي أن لا يستخدم الزنك على الأخشاب الحامضية، مثل البلوط والكستناء والأرز الأحمر الغربي. وعلاوة على ذلك، يجب أن لا يستخدم الزنك بالاشتراك مع ألواح الأرز الأحمر الغربي الذي يولد صرفاً حمضياً. ويمكن أن تسبب المنتجات الحامضية الناتجة من تأثير الأشعة فوق البنفسجية على القار التآكل في الزنك. وإذا لم يتم حماية القار من أشعة الشمس المباشرة برقاقات عاكسة، عندها يجب أن يفصل أي زنك عن القار بمادة غير نفوذة.

المثبّتات

يجب أن تكون مثبتات الزنك من الفولاذ المغلفن أو غير القابل للصدأ. وتكون الملاقط مصنوعة من الزنك، ويتم القص على طول اتجاه درفلة الصفائح، وأما الطوي فيتم عمودياً على اتجاه الألياف. ويجوز صنع الوصلات المحكمة ضد المياه باللحام باستخدام لحام القصدير والرصاص بالاشتراك مع تدفق من كلور الزنك.

التسقيف والكسوة

كلٌّ من نظامي القبعة بلفة (Roll Cap) والدرزات الواقفة (Standing Seams) (الشكل 31.5) مناسب للزنك وسبائكه المستخدمة في الأسقف والمسنودة تماماً (BS EN 501: 1994). الوصلات ذات الحواشي هي من الممارسات المعتادة عبر المجازات عندما تكون الميول أكثر من 15^{o}؛ وتصبح الدمّاعات ضرورية عندما يكون الميل أقل من 15^{o}. وينصح أن لا يقل الانحدار عن 3^{o}، مع أن ميلاً يتجاوز 7^{o} يضمن التنظيف الذاتي فيمنع تراكم الأوساخ التي تقلّل مدة الخدمة. عندما يكون طول المجاز أكبر من 3 m يتمّ تثبيت قسم طوله 1.3 m، في حين يتمّ تأمين المساحة المتبقية إلى الطبقة التحتية بملاقط منزلقة كي تستوعب الحركة الحرارية. وتُشكّل ألواح السقوف الخشبية وألواح الألياف الموجّهة أو الخشب المعاكس،

هيكلاً سفلياً مثالياً للزنك، ولكن الخشب المضغوط غير مناسب للكسوة باستثناء ذلك الذي حبيباته مترابطة بواسطة الإسمنت. وعندما يتمّ استخدام الخرسانة يجب أن تكون محكمة ضدّ الرطوبة المحصورة. من أجل الكسوة، يمكن أن تكون الوصلات العمودية بحاشية (Welt)، والوصلات الأفقية بحاشية مع درزات واقفة أو قبعة بلفة. طول المجاز الأقصى للكسوة هو 6 m، على الرغم من أن 3 m عملي أكثر في الموقع. وتتوفّر أنظمة مياه الأمطار المصنوعة من التيتانيوم والزنك مع مجموعة مناسبة من المكونات المعيارية.

ويمكن أيضاً استخدام الزنك كمادة سطحية لنظم ألواح الواجهات المتشابكة، مع وصلات أفقية أو عمودية غائرة، مثبتة على إطار خلفي (Sub-Frame) من الخشب أو الألومنيوم أو الفولاذ المقاوم للصدأ. ويتوفر مجال من الألوان مع إنهاء من اللكر.

يُعد بلاط الزنك والتيتانيوم المتشابك ذو الشكل المربّع والألماسي مناسباً للتعليق الرأسي، وللأسقف المائلة أكثر من 25 درجة. ويتم تثبيت البلاطات بملاقط ملحومة ومنزلقة إلى عوارض خشبية. وتتوفر مجموعة من الأحجام لإعطاء اختيار المقياس. ويصنع البلاط إمّا مجوّىً مسبقاً أو برّاقاً من سبائك بسماكة 0.7 أو 0.8 mm. وينصح بسطح كامل للبنية السفلية (Substructure) لتخميد صوت المطر.

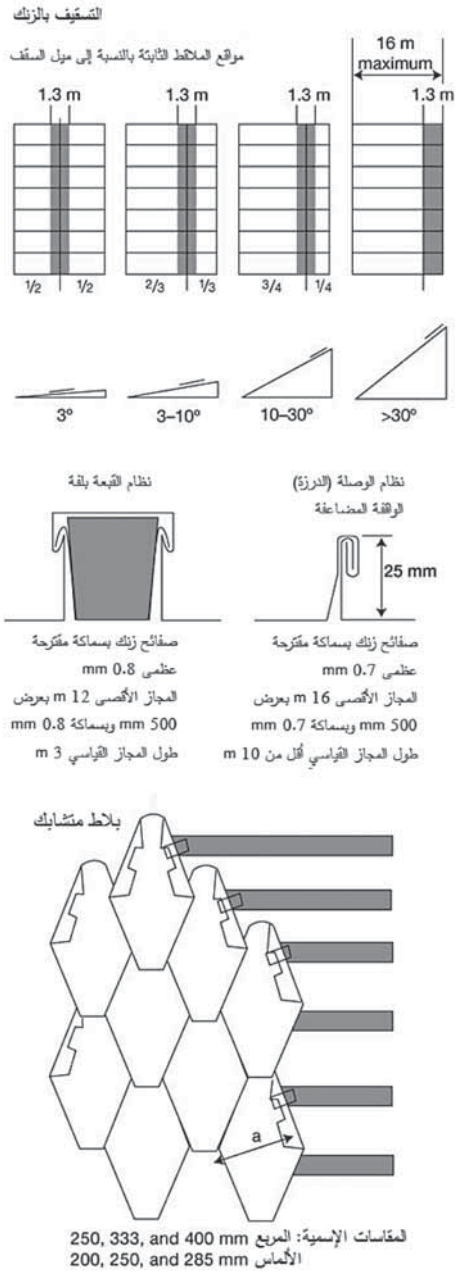
إعادة تدوير الزنك

نحو 30% من الزنك الذي يتمّ تشكيله حديثاً هو من المصادر المعاد تدويرها، وفي أوروبا يُعاد تدوير ما يقرب من 90% من مواد الصفائح ومن الزنك المستخدم في سلع مياه الأمطار.

التيتانيوم

يتوفر خام التيتانيوم في القشرة الأرضية باحتياطيات تتجاوز كثيراً الطلب المتوقع حالياً. والبلدان المنتجة الرئيسية للتيتانيوم هي روسيا والولايات المتحدة وأستراليا واليابان، على الرغم من العثور على خامات الروتيل (أوكسيد التيتانيوم) والإلمينيت (أوكسيد الحديد والتيتانيوم) أيضاً في أوروبا والصين وأميركا الجنوبية. وقد تمّ عزل التيتانيوم أصلاً في عام 1887، ووضع للاستخدام في صناعة الطيران في خمسينات القرن العشرين، وقد استخدم في مواد إكساء للأبنية في اليابان لأكثر

من ثلاثين عاماً. ويوضح مركز غلاسكو للعلوم (الشكل 32.5) مظهر التيتانيوم اللافت للنظر كمادة بناء حديثة.



(الشكل 31.5) التسقيف بالزنك والبلاط المتشابك.

(الشكل 32.5) الكسوة بالتيتانيوم ـ مركز غلاسكو للعلوم. شركة تصميم الأبنية (Building Design Partnership, BDP). الصورة: بإذن من دون كليمنتس (Don Clements).

التصنيع

يتم معالجة الخام بالكلور لإنتاج رابع كلوريد التيتانيوم، الذي تتم تنقيته بعد ذلك لإزالة العناصر الأخرى غير المرغوب فيها. المعالجة بالمغنزيوم المعدني أو بالصوديوم يخفض رابع كلوريد التيتانيوم إلى إسفنجة من معدن التيتانيوم، يُصهر بعد ذلك في جو مفرغ لإنتاج صبات صلبة. وتُطرّق هذه الصبات بعد ذلك كي تحول إلى ألواح وتدرفل إلى صفائح. وعند الحاجة يمكن تنفيذ إنهاءات منقوشة عليها، خلال عملية الدرفلة النهائية. ويمكن إنتاج أشكال ومقاطع أخرى بواسطة الدرفلة الساخنة أو التشكيل على البارد مثل الفولاذ. للتيتانيوم طاقة مختزنة عالية، ولكن هذا إلى حدّ ما متوازن مع تكلفة دورة الحياة وإعادة تدوير نهائي كامل.

الخواص والاستخدامات

التيتانيوم مادة مناسبة للبناء بسبب مقاومتها للتآكل. فهو مقاوم للأحماض والقلويات وأيضاً للبيئات الصناعية والبحرية. وللتيتانيوم كثافة تساوي 4510 kg/m^3، متوسطة بين الألومنيوم (2700 kg/m^3) والفولاذ (7900 kg/m^3)، مما يعطيه ميزة

كون نسبة المتانة إلى الوزن جيدة. والتيتانيوم أقل من الفولاذ مطاوعة، لذا يلزم تشكيله ساخناً لإنجاز انحناءات شديدة. وللتيتانيوم معامل مرونة يساوي نصف معامل مرونة الفولاذ. ومعامل تمدده منخفض (8.9x10)، نصف ما للفولاذ المقاوم للصدأ والنحاس وثلث الذي للألومنيوم. مما يقلّل من خطر الإجهادات الحرارية، وهذا يساعد في تنفيذ سقوف من صفائح التيتانيوم بأطوال أكبر مما يمكن انجازه في المعادن الأخرى. يخفض استخدام سقوف وألواح تكسية رقيقة نسبياً (0.3 ـ 0.4 m) كل من الحمل الميت والحمل البنيوي الساند. وللتيتانيوم نقطة انصهار عالية جداً 1670 °C مما يمكنه من الصمود أمام اختبارات الحريق عند 1100 °C ولذلك تمّ اعتماده في اليابان كمادة غير قابلة للاحتراق للأسقف والكسوة. وتشمل التطبيقات الأخرى اللفائف وألواح الإكساء وكسوة حماية الركائز والأعمدة والأعمال الفنية الثلاثية الأبعاد.

الديمومة

تنشأ مقاومة التيتانيوم للتآكل من الالتئام الذاتي لغشاء الأوكسيد الواقي العنيد. ومع ذلك، ينبغي تجنب مياه الأمطار المنسكبة من سقوف الزنك أو الرصاص أو النحاس. وتظهر بعض البقع على متحف غوغنهايم في بيلباو (Guggenheim Museum in Bilbao)، المكسو بـ 32000 m^2 من ألواح التيتانيوم الصفائحي النقي تجارياً بسماكة 0.3 ـ 0.4 mm، لعدم وجود حماية أثناء عملية البناء، وكذلك نتيجة جريان مياه الأمطار. فعلى الرغم من أن التيتانيوم مكلف في البداية إلا أنه قد يثبت أن للإكساء ولمواد التسقيف المصنوعة منه قدرة تنافسية عالية بناءً على دورة الحياة، وذلك بسبب قلة تكلفة الصيانة. وبالفعل تُقدّم إحدى الجهات المصنعة ضمانات لمدة 100 سنة ضدّ التآكل في تطبيقات التسقيف. ويمكن أن يسبب التيتانيوم التآكل للألومنيوم الذي على تماس معه وكذلك للزنك أو للفولاذ، ولكنه لا يؤثر في الفولاذ الأوستنيتي (Austenitic) المقاوم للصدأ (الصنف 1.4401).

الإنهاءات

يمكن تسميك غشاء الأوكسيد الطبيعي بالتحليل الكهربائي أو بالمعالجة الحرارية، وإعطاء ألوان دائمة تتراوح بين الأزرق والبنفسجي حتى الكريم والقشي. والتحكم ضروري لضمان عدم وجود اختلافات في اللون داخل المشروع الواحد. تتراوح إنهاءات السطح بين براق عاكس، ومات لين، ومزخرف، كما هو الحال

في مباني مركز غلاسكو للعلوم (الشكل 32.5). في هذه الحالة، تم الحفاظ على اتجاه درفلة الألياف على كامل واجهات المبنى لضمان عدم وجود تباين مرئي لتأثير الرقط النافر (Embossed Stipple Effect).

لحام التيتانيوم

يمكن لحام التيتانيوم بالقوس الكهربائي، ولكن هذا يتطلّب استبعاد الهواء، عادة باستخدام درع من غاز الأرغون. وتستخدم تكنولوجيات أخرى مثل لحام قوس البلازما وشعاع الليزر أو الإلكترون للتطبيقات المتخصصة أكثر.

سبائك التيتانيوم

يتوفر التيتانيوم في مجال واسع من السبائك المصنفة حسب زيادة مقاومة التآكل وارتفاع المتانة أو مقاومة أعلى درجة حرارة. ومع ذلك، يقتصر استخدامه حالياً بشكل أساسي على التطبيقات الفضائية والصناعية والطبية. وتتكون مواد الإكساء المعمارية القياسية من التيتانيوم النقي 99% (الصنف 1 أو الصنف 2).

عملية التآكل المعدني

التآكل هو عملية كهروكيميائية (Electro-Chemical) يمكن أن تحدث في وجود سائل يتحلّل بالكهرباء فقط (Electrolyte)، وتلعب الرطوبة التي تحتوي على بعض الأملاح الذائبة هذا الدور. ويمكن فهم العملية من خلال النظر في عمل خلية دانيال البسيطة (Daniell Cell) كما هو موضح في الشكل (33.5).

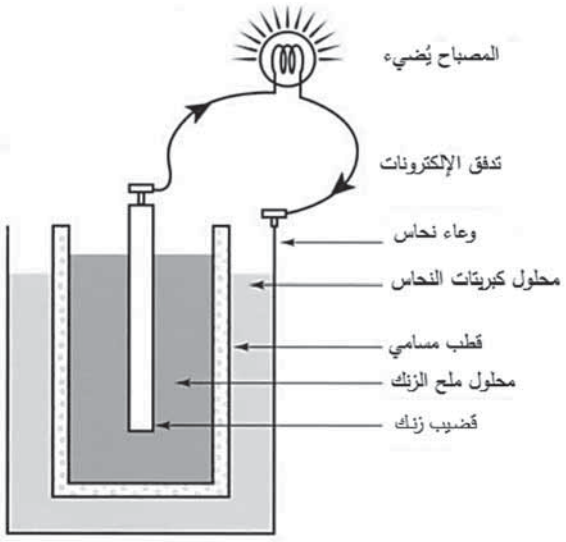
عندما تعمل الخلية تحدث عمليتان رئيسيتان، يذوب الزنك تدريجياً عند المصعد (Anode) مولداً أيونات الزنك في المحلول وإلكترونات تتدفق على طول الأسلاك وتضيء المصباح عندما تتحرك خلال سلكه الشعري. وعند المهبط (Cathode) النحاسي يتمّ تلقي هذه الإلكترونات على سطح المعدن وتتحد مع أيونات النحاس في المحلول فتطلي الوجه الداخلي لوعاء النحاس بمعدن جديد لامع.

عند المصعد (Anode)

$$\underset{\text{zinc}}{Zn} \rightarrow \underset{\text{zinc ions}}{Zn^{2+}} + \underset{\text{electrons}}{2e^{-}}$$

وعند المهبط (Cathode)

$$Cu^{2+} \underset{\text{copper ions}}{} + \underset{\text{electrons}}{2e^-} \rightarrow \underset{\text{copper}}{Cu}$$



(الشكل 33.5) خلية دانيال (Daniell).

وتحدث عملية مماثلة تحدث في خلية لوكلانشيه الجافة (Dry Leclanché Cell)، البطارية القياسية (Torch) (الشكل 34.5). ولكن، في هذه الحالة يحل قضيب الكربون المركزي محل النحاس ويتم استبدال السائل بمعجون مائع. عملية المصعد هي نفسها كما هو الحال في خلية دانيال مع انحلال تدريجي لوعاء الزنك.

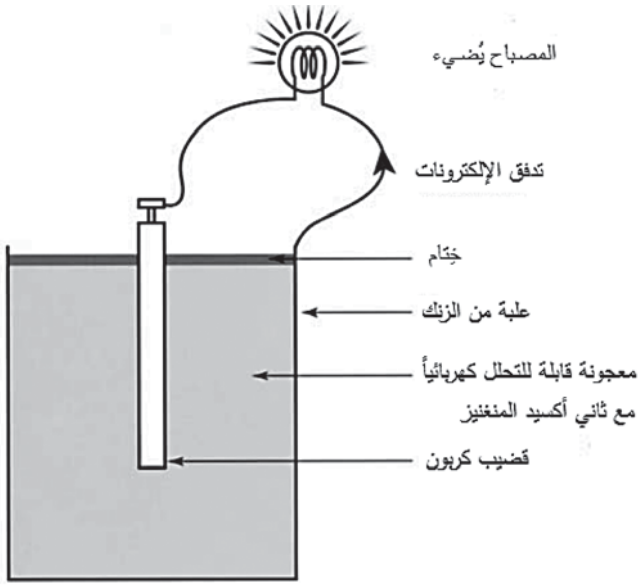
عند المصعد (Anode)

$$\underset{\text{zinc}}{Zn} \rightarrow \underset{\text{zinc ions}}{Zn^{2+}} + \underset{\text{electrons}}{2e^-}$$

عند المهبط يحيط بقضيب الكربون ثاني أوكسيد المنغنيز الذي يؤكسد غاز الهيدروجين الذي لولا ذلك لكان نتج هناك عن التفاعل بين الإلكترونات والمياه.

عند المهبط (Cathode)

$$\underset{\text{water}}{H_2O} + \underset{\text{oxygen (from manganese dioxide)}}{O} + \underset{\text{electrons}}{2e^-} \rightarrow \underset{\text{hydroxyl ions}}{2OH^-}$$



(الشكل 34.5) خلية لوكلانشيه (Leclanché) الجافة.

هذا التسلسل هو شبيه بذلك الذي شوهد في تآكل الحديد (الشكل 35.5). ففي هذه الحالة يكون من الضروري وجود كل من السائل الذي ينحل بالكهرباء والأوكسجين معاً لحدوث التآكل.

عند المصعد

$$\underset{\text{iron}}{Fe} \rightarrow \underset{\text{iron ions}}{Fe^{2+}} + \underset{\text{electrons}}{2e^-}$$

وعند المهبط

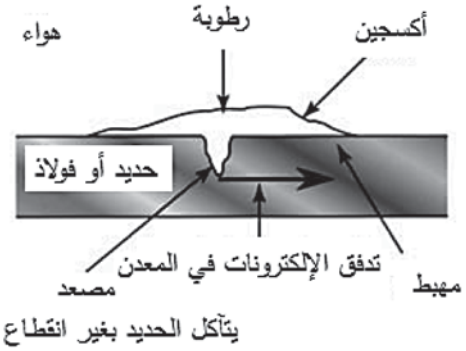
$$\underset{\text{water}}{2H_2O} + \underset{\text{oxygen (from the air)}}{O_2} + \underset{\text{electrons}}{4e^-} \rightarrow \underset{\text{hydroxyl ions}}{4OH^-}$$

تشكّل الصدأ (Rust formation)

$$\underset{\text{iron ions}}{Fe^{2+}} + \underset{\text{hydroxyl ions}}{2OH^-} \rightarrow \underset{\text{iron hydroxide}}{Fe(OH)_2} \rightarrow \underset{\text{rust}}{Fe_2O_3 \cdot H_2O}$$

الملخّص الشامل

$$\underset{\text{iron}}{4Fe} + \underset{\text{oxygen}}{3O_2} + \underset{\text{water}}{2H_2O} \rightarrow \underset{\text{rust}}{2Fe_2O_3 \cdot H_2O}$$

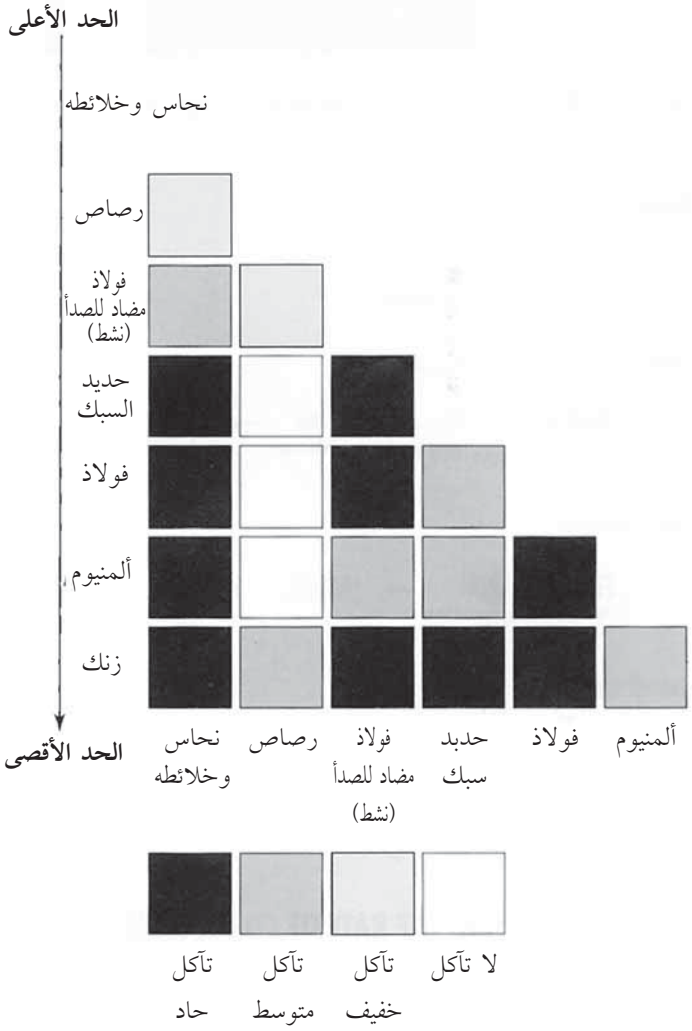


(الشكل 35.5) تآكل الحديد.

عوامل تؤثر في وتيرة التآكل

إن العوامل المؤثرة بشكل أساسي في تسريع وتيرة التآكل هي وجود نوعين مختلفين من المعدن في تماسٍ مشترك ودرجة التلوث في أية رطوبة تحيط بالمعدن. وإذا كان المعدن الأكثر قاعدية قليل الكمية مقارنة بالمعدن الأقوى، عندها يكون التآكل أسرع في المعدن الأكثر قاعدية. ويظهر الشكل 36.5 زوجي المعدن اللذين يجب أن يسمح عموماً بتماسهما. وضمن المعدن الواحد، قد يتسبب بتسارع التآكل التغيرات التالية: تغيرات طفيفة على السطح مثل الحبيبات البلورية، أو تأثير البرد في اللحام أو الأعمال الباردة في المعدن؛ وجود ملوثات أو

مكونات سبيكية ضمن المعدن؛ تغيرات في نظافة السطح؛ ونفاذ أوكسجين الهواء بدرجات متفاوتة. ويوضح الشكل 37.5 تأثير التآكل بين مزراب ألومنيوم مبثوق ومزراب مطر فولاذي. يتآكل الألومنيوم مولداً ترسباً أبيض قرب نقطة التماس بين المعدنين. ويتبع ذلك بشكل سريع تآكل الفولاذ.



مؤشر التآكل النمطي بين نوعين من المعادن في حالة الرطوبة

(الشكل 36.5) تآكل بين معدنين في تطبيقات تشييدية.

(الشكل 36.5) تآكل بين معدني الألمنيوم والزنك.

المراجع

FURTHER READING

Association for Specialist Fire Protection. 2007: *Fire protection for structural steel in buildings*. 4th ed. Aldershot, Association for Specialist Fire Protection.

Baddoo, N.R., Burgan, R. and Ogden, R.G. 1997: *Architect's guide to stainless steel*. Ascot: Steel Construction Institute.

Baldwin, K.R. and Wilcox, G.D. 2007: *Corrosion of zinc alloy coatings*. CRC Press.

Blanc, A., McEvoy, M. and Plank, R. (eds.) 1993: *Architecture and construction in steel*. London: E. & F.N. Spon.

Copper Development Association. 2004: *Copper and copper alloys, compositions, applications and properties*. Publication 120, Hemel Hempstead: CDA.

Copper Development Association. 2006: *The guide to copper in architecture*. Publication 154, Hemel Hempstead: CDA.

Frohlich, B. and Schulenburg, S. (eds.) 2003: *Metal architecture: Design and construction*. Basel: Birkhäuser.

International Copper Association. 2001: *European architecture with copper*. New York: International Copper Association.

Lead Sheet Association. 2007: *Rolled lead sheet manual. The complete manual*. London: Lead Sheet Association.

LeCuyer, A. 2003: *Steel and beyond; new strategies for metals in architecture*. Basel: Birkhäuser.

Leyens, C., Peters,M. and Kumpfert, J. 2003: *Titanium and titanium alloys, fundamentals and applications*. Germany: Wiley.

Mazzolani, F.M. 2003: *Aluminium structural design*. Berlin: Springer-Verlag.

Miettinen, E. and Taivalantti, K. 2002: *Stainless steel in architecture*. Finland: Rakennustieto.

National Building Specification. 2007: *Galvanising opinion. An examination of bi-metallic corrosion*. NBS Shortcut 25, Newcastle-upon-Tyne: NBS.

National Federation of Roofing Contractors. 1999: *Profiled sheet roofing and cladding-A guide to good practice*, 3rd ed., London: E. & F.N. Spon.

Pohl, F.-R. 2007: *Pre-painted aluminium in exterior architecture*. Dusseldorf: Aluminium-Verlag Marketing.

Reichel, A., Ackermann, P., Hentschel, A. and Hochberg, A. 2007: *Detail practice. Building with steel*. Basel: Birkhäuser.

Rheinzink. 2002: *Rheinzink: Applications in architecture*. Datteln: Rheinzink.

Schulitz, H., Sobek,W. and Habermann, K. 2000: *Steel construction manual*. Basel: Birkhäuser.

Scott, D.A. and Eggert, G. 2009: *Iron and steel. Corrosion, colourants and conservation*. Los Angeles: Archetype Publications.

Steel Construction Institute. 1998: *Structural fire safety: A hand book for architects and engineers*. Ascot: The Steel Construction Institute.

Steel Construction Institute. 1999: *The role of steel in environmentally responsible buildings*. Ascot: The Steel Construction Institute.

Steel Construction Institute. 2005: *Steel designers manual*. 6th ed., Chichester: Wiley Blackwell.

Steel Construction Institute. 2006: *Design manual for structural stainless steel*. 3rd ed., Ascot: Steel Construction Institute.

Trebilcock, P. and Lawson, M. 2003: *Architectural design in steel*. London: Taylor and Francis.

Trebilcock, P.J. 1994: *Building design using cold-formed steel sections: an architect's guide*. Steel Construction Institute.

Vargel, C. 2004: *Corrosion of aluminium*. Oxford: Elsevier.

Wilquin, H. 2001: *Aluminium architecture: construction and details*. Basel: Birkhäuser.

Zahner, L.W. 2005: *Architectural metal surfaces*. New Jersey: John Wiley and Sons.

STANDARDS

BS 4 Structural steel sections:

Part 1: 2005 Specification for hot-rolled sections.

BS ISO 209: 2007 Aluminium and aluminium alloys.

Chemical composition.

BS 405: 1987 Specification for uncoated expanded metal carbon steel sheets for general purposes.

BS 416 Discharge and ventilating pipes and fittings sand-cast or spun in cast iron:

Part 1: 1990 Specification for spigot and socket systems.

BS 417 Galvanised mild steel cisterns and covers, tanks and cylinders:

Part 2: 1987 Metric units.

BS 437: 2008 Specification for cast iron drain pipes, fittings and their joints.

BS 449 Specification for the use of structural steel in building:

Part 2: 1969 Metric units.

BS 460: 2002 Cast-iron rainwater goods. Specification.

BS 493: 1995 Airbricks and gratings for wall ventilation.

BS 779: 1989 Cast iron boilers for central heating and indirect water supply (rated output 44kW and above).

BS 1161: 1977 Specification for aluminium alloy sections for structural purposes.

BS 1189: 1986 Specification for baths made from porcelain enamelled cast iron.

BS 1202 Nails:

Part 1: 2002 Steel nails.

Part 2: 1974 Copper nails.

Part 3: 1974 Aluminium nails.

BS 1210: 1963 Wood screws.

BS 1245: 1975 Metal door frames (steel).

BS 1329: 1974 Metal hand rinse basins.

BS 1390: 1990 Baths made from vitreous enameled sheet steel.

BS 1449 Steel plate, sheet and strip:

Part 1.1: 1991 Specification for carbon and carbon/manganese plate, sheet and strip.

BS 1494-1: 1964 Specification for fixing accessories for building purposes. Fixings for sheet, roof and wall coverings.

BS 1566 Copper indirect cylinders for domestic purposes:

Part 1: 2002 Open ventilated copper cylinders.

Part 2: 1984 Specification for single feed indirect cylinders.

BS 3083: 1988 Specification for hot-dip zinc coated and hot-dip aluminium/zinc coated corrugated steel sheets for general purposes.

BS 3198: 1981 Specification for copper hot water storage combination units for domestic purposes.

BS ISO 3575: 2005 Continuous hot-dip zinc-coated carbon steel sheet of

commercial and drawing qualities.

BS 3987: 1991 Anodic oxide coatings on wrought aluminium for external architectural applications.

BS 4449: 2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel. Specification.

BS 4482: 2005 Steel wire for the reinforcement of concrete products. Specification.

BS 4483: 2005 Steel fabric for the reinforcement of concrete. Specification.

BS 4513: 1969 Specification for lead bricks for radiation shielding.

BS 4604 The use of high-strength friction grip bolts in structural steelwork. Metric series:

Part 1: 1970 General grade.

Part 2: 1970 Higher grade (parallel shank).

BS 4842: 1984 Specification for liquid organic coatings for application to aluminium alloy extrusions, sheet and preformed sections for external architectural purposes.

BS 4868: 1972 Profiled aluminium sheet for building.

BS 4873: 2009 Aluminium alloy windows and door sets. Specification.

BS 4921: 1988 Specification for sherardised coatings on iron or steel.

BS ISO 4997: 2007 Cold reduced carbon steel of structural quality.

BS ISO 4998: 2005 Continuous hot dip zinc-coated carbon sheet steel of structural quality.

BS ISO 4999: 2005 Continuous hot dip terne (lead alloy) coated cold reduced carbon steel sheet of commercial, drawing and structural qualities.

BS 5427-1: 1996 Code of practice for the use of profiled sheet for roof and wall cladding on buildings.

Design.

BS 5950 Structural use of steelwork in building:

Part 1: 2000 Code of practice for design: rolled and welded sections.

Part 2: 2001 Specification for materials, fabrication and erection: rolled and welded sections.

Part 3.1: 1990 Design in composite construction. Design of simple and composite beams.

Part 4: 1994 Code of practice for design of composite slabs with profiled steel sheeting.

Part 5: 1988 Code of practice for design of cold formed thin gauge sections.

Part 6: 1995 Code of practice for design of light gauge profiled steel sheeting.

Part 7: 1992 Specification for materials and workmanship. Cold-formed sections.

Part 8: 2003 Code of practice for fire-resistant design.

Part 9: 1994 Code of practice for stressed skin design.

BS ISO 5954: 2007 Cold reduced carbon steel sheet according to hardness requirements. BS 5977 Lintels:

Part 1: 1981 Method for assessment of load.

BS 6496: 1984 Specification for powder organic coatings for application and stoving to aluminium alloy extrusions, sheet and preformed sections for external architectural purposes.

BS 6510: 2005 Specification for steel windows, sills, window boards and doors.

BS 6582: 2000 Specification for continuously hot dip lead alloy (terne) coated cold reduced carbon steel flat rolled products.

BS 6722: 1986 Recommendations for dimensions of metallic materials.

BS 6744: 2001 Stainless steel bars for the reinforcement of and use in concrete.

BS 6915: 2001 Design and construction of fully supported lead sheet roof and wall coverings.

BS 7364: 1990 Galvanised steel studs and channels for stud and sheet partitions and linings using screw fixed gypsum wallboards.

BS 7543: 2003 Guide to durability of buildings and building elements, products and components.

BS 7668: 2004 Weldable structural steels. Hot finished structural hollow sections in weather-resistant steels. Specification.

BS ISO 7989-2: 2007 Steel wire and wire products. Non-ferrous metallic coatings on steel wire. Zinc or zinc alloy coating.

BS 8118 Structural use of aluminium:

Part 1: 1991 Code of practice for design.

Part 2: 1991 Specification for materials, workmanship and protection.

BS 8202 Coatings for fire protection of building elements:

Part 1: 1995 Code of practice for the selection and installation of sprayed mineral coatings.

Part 2: 1992 Code of practice for the use of intumescent coating systems to metallic substrates for providing fire resistance.

BS 9999: 2008 Code of practice for fire safety in the design, management and use of buildings.

BS ISO 13887: 2004 Cold reduced steel sheet of higher yield strength with improved formability.

BS ISO 14788: 2005 Continuous hot dip zinc 5% aluminium alloy coated steel sheet.

BS ISO 16020: 2005 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete. Vocabulary.

BS ISO 16162: 2005 Continuously cold-rolled steel sheet products. Dimensional and shape tolerances.

BS ISO 16163: 2005 Continuously hot-dipped coated steel sheet products. Dimensional and shape tolerances.

BS ISO 17615: 2007 Aluminium and aluminium alloys. Alloyed ingots for remelting. Specifications.

pr BS ISO 28401: 2009 Light metals and their alloys. Titanium and titanium alloys. Classification and terminology.

BS EN 124: 1994 Gully tops and manholes. Design requirements, type, testing, marking, quality control.

BS EN 485 Aluminium and aluminium alloys. Sheet, strip and plate:

Part 1: 2008 Technical conditions for inspection and delivery.

Part 2: 2008 Mechanical properties.

Part 3: 2003 Tolerances on shape and dimensions for hot-rolled products.

Part 4: 1994 Tolerances on shape and dimensions for cold-rolled products.

BS EN 486: 1994 Aluminium and aluminium alloys. Extrusion ingots. Specifications.

BS EN 487: 1994 Aluminium and aluminium alloys. Rolling ingots. Specifications.

BS EN 501: 1994 Roofing products from metal sheet. Specification for fully supported roofing products of zinc sheet.

BS EN 502: 2000 Roofing products from metal sheet. Specification for fully supported products of stainless steel sheet.

BS EN 504: 2000 Roofing products from metal sheet. Specification for fully supported roofing products of copper sheet.

BS EN 505: 2000 Roofing products from metal sheet. Specification for fully supported products of steel sheet.

BS EN 506: 2008 Roofing products from metal sheet. Specification for self-supporting products of copper or zinc sheet.

BS EN 507: 2000 Roofing products from metal sheet. Specification for fully supported products of aluminium sheet.

BS EN 508 Roofing products from metal sheet. Specification for self-supported products of steel, aluminium or stainless steel sheet:

Part 1: 2008 Steel.

Part 2: 2008 Aluminium.

Part 3: 2008 Stainless Steel.

BS EN 515: 1993 Aluminium and aluminium alloys. Wrought products. Temper designations.

BS EN 545: 2006 Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water pipelines.

BS EN 573 Aluminium and aluminium alloys. Chemical composition and formof wrought products:

Part 1: 2004 Numerical designation system.

Part 2: 1995 Chemical symbol based designation system.

Part 3: 2009 Chemical composition and form of products.

Part 5: 2007 Codification of standardised wrought products.

BS EN 586 Aluminium and aluminium alloys. Forgings:

Part 1: 1998 Technical conditions.

Part 2: 1994 Mechanical properties.

Part 3: 2001 Tolerances on dimensions and form.

BS EN 598: 2007 Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for sewerage applications. Requirements and test methods.

BS EN 754 Aluminium and aluminium alloys: Parts 1-8 Cold drawn rod/bar and tube.

BS EN 755 Aluminium and aluminium alloys: Parts 1-9 Extruded drawn rod/bar, tube and profiles.

BS EN 845 Specification for ancillary components for masonry:

Part 1: 2003 Ties, tension straps, hangers and brackets.

Part 2: 2003 Lintels.

Part 3: 2003 Bed joint reinforcement of steel meshwork.

BS EN 877: 1999 Cast iron pipes and fittings, their joints and accessories.

BS EN 969: 2009 Specification for ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for gas applications. Requirements and test methods.

BS EN 988: 1997 Zinc and zinc alloys. Specification for rolled flat products for building.

BS EN 1057: 2006 Copper and copper alloys. Seamless round copper tubes for water and gas in sanitary and heating applications.

BS EN 1090 Execution of steel structures and aluminium structures:

Part 2: 2008 Technical requirements for the execution of steel structures.

Part 3: 2008 Technical requirements for aluminium structures.

BS EN 1172: 1997 Copper and copper alloys. Sheet and strip for building purposes.

BS EN 1173: 2008 Copper and copper alloys. Material condition designation.

BS EN 1179: 2003 Zinc and zinc alloys. Primary zinc.

BS EN 1254: 1998 Copper and copper alloys. Plumbing fittings.

BS EN 1412: 1996 Copper and copper alloys. European numbering system.

BS EN 1560: 1997 Founding. Designation system for cast iron. Material symbols and material numbers.

BS EN 1561: 1997 Founding. Grey cast irons.

BS EN 1562: 1997 Founding. Malleable cast irons.

BS EN 1563: 1997 Founding. Spheroidal graphite cast irons.

BS EN 1564: 1997 Founding. Austempered ductile cast irons.

BS EN 1774: 1997 Zinc and zinc alloys. Zinc for foundry purposes. Ingot and liquid.

BS EN 1976: 1998 Copper and copper alloys. Cast unwrought copper products.

BS EN 1992: 2008 Copper and copper alloys. Ingots and castings.

BS EN 1993 Eurocode 3: Design of steel structures:
Part 1.1: 2005 General rules and rules for buildings.
Part 1.2: 2005 Structural fire design.
Part 1.3: 2006 Cold-formed members and sheeting.
Part 1.4: 2006 Stainless steels.
Part 1.5: 2006 Plated structural elements.
Part 1.6: 2007 Strength and stability of shell structures.
Part 1.7: 2007 Plated steel structures subject to out of plane loading.
Part 1.8: 2005 Design of joints. Part 1.9: 2005 Fatigue.
Part 1.10: 2005 Material toughness.
Part 1.11: 2006 Design of structures with tension components.
Part 1.12: 2007 Additional rules for steel grades S700.
BS EN 1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures:
Part 1.1: 2004 General rules and rules for buildings.
Part 1.2: 2005 Structural fire design.
BS EN 1999 Eurocode 9. Design of aluminium structures:
Part 1: 2007 General structural rules.
Part 2: 2007 Structural fire design.
Part 3: 2007 Structures susceptible to fatigue.
Part 4: 2007 Cold-formed structural sheeting.
Part 5: 2007 Shell structures.
BS EN ISO 7441: 1995 Corrosion of metals and alloys. Determination of bimetallic corrosion in outdoor exposure corrosion tests.
BS EN ISO 9445: 2006 Continuously cold-rolled stainless steel narrow strip, wide strip, plate/sheet and cut lengths.
BS EN 10020: 2000 Definition and classification of grades of steel.
BS EN 10021: 2006 General technical delivery conditions for steel.
BS EN 10025 Designation system for steel:
Part 1: 2004 General technical delivery conditions.
Part 2: 2004 Non-alloy structural steels.
Part 3: 2004 Normalised/normalised rolled weldable fine grain structural steels.
Part 4: 2004 Thermomechanical rolled weldable fine grain structural steels.
Part 5: 2004 Structural steelswith improved atmospheric corrosion resistance.
Part 6: 2004 High yield strength structural steels.
BS EN 10027 Designation systems for steels:
Part 1: 2005 Steel names.
Part 2: 1992 Steel numbers.
BS EN 10029: 1991 Tolerances on dimensions, shape and mass for hot rolled steel plates.

BS EN 10034: 1993 Structural steel I and H sections. Tolerances on shape and dimensions.

BS EN 10051: 1992 Continuously hot-rolled uncoated plate, sheet and strip of non-alloy and alloy steels. Tolerances on dimensions and shape.

BS EN 10052: 1994 Vocabulary of heat treatment terms for ferrous products.

BS EN 10056 Specification for structural steel equal and unequal leg angles:

Part 1: 1999 Dimensions.

Part 2: 1993 Tolerances, shape and dimensions.

BS EN 10079: 2007 Definitions of steel products.

BS EN 10080: 2005 Steel for the reinforcement of concrete. Weldable reinforcing steel.

BS EN 10083 Steels for quenching and tempering:

Part 1: 2006 General technical delivery conditions.

Part 2: 2006 Technical delivery conditions for nonalloy steels.

Part 3: 2006 Technical delivery conditions for alloy steels.

BS EN 10088 Stainless steels:

Part 1: 2005 List of stainless steels.

Part 2: 2005 Technical delivery conditions for sheet, plate and strip for general purposes.

Part 3: 2005 Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods and sections for general purposes.

Part 4: 2009 Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes.

Part 5: 2009 Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.

BS EN 10095: 1999 Heat resisting steels and nickel alloys.

BS EN 10130: 2006 Cold-rolled low-carbon steel flat products for cold forming. Technical delivery conditions.

BS EN 10131: 2006 Cold-rolled uncoated and zinc or zinc-nickel electrolytically coated low-carbon and high-yield strength steel flat products for cold forming. Tolerances on dimensions and shape.

BS EN 10140: 2006 Cold-rolled narrow steel strip. Tolerances on dimensions and shape.

BSEN10143: 2006 Continuously hot dip coated steel sheet and strip. Tolerances on dimensions and shape.

BS EN 10149 Hot-rolled products made of high yield strength steels for cold forming:

Part 1: 1996 General delivery conditions.

Part 2: 1996 Delivery conditions for thermomechanically rolled steels.

Part 3: 1996 Delivery conditions for normalised or normalised rolled steels.

BS EN 10152: 2009 Electrolytically zinc coated cold rolled steel flat products. Technical delivery conditions.

BS EN 10169 Continuously organic coated (coil coated) steel flat products:

Part 1: 2003 General information.

Part 2: 2006 Products for building exterior applications.

Part 3: 2003 Products for building interior applications.

BS EN 10210 Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels:

Part 1: 2006 Technical conditions.

Part 2: 2006 Tolerances, dimensions and sectional properties.

BS EN 10219 Cold-formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels:

Part 1: 2006 Technical delivery requirements.

Part 2: 2006 Tolerances, dimensions and sectional properties.

BS EN 10220: 2002 Seamless and welded steel tubes. Dimensions and masses per unit length.

pr EN 10223-8: 2008 Steel wire and products for wire fences. Welded mesh gabion products.

BS EN 10242: 1995 Threaded pipe fittings in malleable cast iron.

BS EN 10244 Steel wire and wire products. Nonferrous metallic coatings on steel wire:

Part 1: 2009 General principles.

Part 2: 2009 Zinc or zinc alloy coatings.

BS EN 10250 Open steel die forgings for general engineering purposes:

Part 1: 1999 General requirements.

Part 2: 2000 Non-alloy quality and special steels.

Part 3: 2000 Alloy special steels.

Part 4: 2000 Stainless steels.

BS EN 10279: 2000 Hot rolled steel channels. Tolerances on shape, dimension and mass.

BS EN 10340: 2007 Steel castings for structural uses.

BS EN 10343: 2009 Steels for quenching and tempering for construction purposes. Technical delivery

conditions.

BS EN 10346: 2009 Continuously hot-dip coated steel flat products. Technical delivery conditions.

BS EN 12020: 2008 Aluminium and aluminium alloys. Extruded precision profiles in alloys.

BS EN 12060: 1997 Zinc and zinc alloys. Method of sampling. Specification.

BS EN 12165: 1998 Copper and copper alloys. Wrought and unwrought forging stock.

BS EN 12258-1: 1998 Aluminium and aluminium alloys. Terms and definitions. General terms.

BS EN 12373: 2001 Aluminium and aluminium alloys.

BS EN 12420: 1999 Copper and copper alloys. Forgings.

BS EN 12588: 2006 Lead and lead alloys. Rolled lead sheet for building purposes.

BS EN 12844: 1999 Zinc and zinc alloys. Castings. Specifications.

BS EN ISO 12944 Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems:

Part 1: 1998 General information.

Part 2: 1998 Classification of environments.

Part 3: 1998 Design considerations.

Part 4: 1998 Types of surface and surface preparation.

Part 5: 2007 Protective paint systems.

BS EN 13283: 2002 Zinc and zinc alloys. Secondary zinc.

DD CEN/TS 13388: 2008 Copper and copper alloys. Compendium of compositions and products.

BS EN 13438: 2005 Paints and varnishes. Powder organic coatings for galvanised or sheradised steel products for construction purposes.

BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using test data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

Part 5: 2005 Classification using data from external fire exposure to roof tests.

BS EN 13811: 2003 Sheradising. Zinc diffusion coatings on ferrous products. Specification.

BS EN 13858: 2006 Corrosion protection of metals. Non-electrolytically applied zinc flake coatings on iron or steel components.

BS EN 14431: 2004 Vitreous and porcelain enamels. Coatings applied to steel panels intended for architecture.

BS EN ISO 14713: 1999 Protection against corrosion of iron and steel in structures. Zinc and aluminium coatings. Guidelines.

BS EN 14782: 2006 Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining.

BS EN 14783: 2006 Fully supported metal sheet for roofing, external cladding and internal lining.

BS EN 15088: 2005 Aluminium and aluminium alloys. Structural products for construction works.

DD ISO/TS 15510: 2003 Stainless steels. Chemical composition.

BS EN 15530: 2008 Aluminium and aluminium alloys. Environmental aspects of aluminium products. General guidelines for inclusion in their standards.

BS EN ISO 15630 Steel for the reinforcement and prestressing of concrete:

Part 1: 2002 Reinforcing bars, wire rod and wire.
Part 2: 2002 Welded fabric.
Part 3: 2002 Prestressing steel.
CP 118: 1969 The structural use of aluminium.
CP 143 Sheet roof and wall coverings:
Part 1: 1958 Aluminium, corrugated and troughed.
Part 5: 1964 Zinc.
Part 10: 1973 Galvanized corrugated steel. Metric units.
Part 12: 1970 Copper. Metric units.
Part 15: 1973 Aluminium. Metric units.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 349: 1990 Stainless steel as a building material.
BRE Digest 444: 2000 Corrosion of steel in concrete (Parts 1-3).
BRE Digest 455: 2001 Corrosion of steel in concrete-service life design and prediction.
BRE Digest 461: 2001 Corrosion of metal components in walls.
BRE Digest 462: 2001 Steel structures supporting composite floor slabs-design for fire.
BRE Digest 487 Part 2: 2004 Structural fire engineering design: materials behaviour-steel.

BRE Good building guide

BRE GBG 21: 1996 Joist hangers.

BRE Information papers

BRE IP 5/98 Metal cladding-assessing thermal performance.
BRE IP 11/00 Ties for masonry walls: a decade of development.
BRE IP 10/02 Metal cladding-assessing thermal performance of built up systems with use of Z spacers.

CORUS PUBLICATIONS

Fire resistance of steel-framed buildings (2001).
Fire engineering in sports stands (1997).

ADVISORY ORGANISATIONS

Aluminium Federation Ltd., National Metal forming Centre, 47 Birmingham Road, West Bromwich, West Midlands B70 6PY, UK (0121 601 6363).
Aluminium Rolled Products Manufacturers Association, National Metal

forming Centre, 47 Birmingham

Road, West Bromwich, West Midlands B70 6PY, UK (0121 601 6361).

British Constructional Steelwork Association Ltd., 4 Whitehall Court, Westminster, London SW1A2ES,UK (020 7839 8566).

British Non-Ferrous Metals Federation, 5 Grovelands Business Centre, Boundary Way, Hemel Hempstead HP2 7TE, UK (01442 275705).

British Stainless Steel Association, Broomgrove, 59 Clarkehouse Road, Sheffield, South Yorkshire S10 2LE, UK (0114 267 1260).

Cast Iron Drainage Development Association, 72 Francis Road, Edgbaston, Birmingham, W. Midlands B16 8SP, UK (0121 693 9909).

Cold Rolled Sections Association, National Metal forming Centre, Birmingham Road, West Bromwich,

West Midlands B70 6PY, UK (0121 601 6350).

Copper Development Association, 5 Grovelands Business Centre, Boundary Way, Hemel Hempstead,

Hertfordshire HP2 7TE, UK (01442 275705).

Corus Research, Development and Technology, Swindon Technical Centre, Moorgate, Rotherham, South Yorkshire S60 3AR, UK (01709 825 335).

Council for Aluminium in Building, Bank House, Bond's Mill, Stonehouse, Gloucestershire GL10 3RF,

UK (01453 828851).

Galvanizers Association, Wren's Court, 56 Victoria Road, Sutton Coldfield, West Midlands B72 1SY, UK (0121 355 8838).

Lead Sheet Association, Unit 10, Archers Park, Branbridges Road, East Peckham, Tonbridge, Kent TN12 5HP, UK (01622 872432).

Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 18 Mere Farm Road, Prenton, Wirral, Cheshire CH43 9TT, UK (0151 652 3846).

Stainless Steel Advisory Centre, Broomgrove, 59 Clarkehouse Road, Sheffield, South Yorkshire S10 2LE, UK (0114 267 1265).

Steel Construction Institute, Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7QN, UK (01344 636525).

Zinc Information Centre, 6 Wrens Court, 56 Victoria Road, Sutton Coldfield B72 1SY, UK (0121 362 1201).

6

القار (الحُمر) ومواد تغطية الأسطح المستوية

مقدّمة

تشمل مواد تغطية الأسطح المستوية التي تشكل حاجزاً يمنع تسرب الماء نظم غشاء القار (الحُمَر) المقوّى (Reinforced Bitumen Membrane)، والإسفلت المصطكي (الصمغي) (Mastic Asphalt)، والأغشية اللدائنية (البلاستيكية) وحيدة الطبقة (Single-Ply Plastic Membranes) والطلاءات السائلة (Liquid Coatings). ويتطلّب كلّ ما ذكر سنداً متواصلاً مناسباً إلى نظام السطح. حيث تعد الأسطح الخضراء امتداداً لنظم تغطية الأسطح المعيارية. ولقد تمّ وصف نظم الأسقف المعدنية في الفصل الخامس.

تعرّض الأسطح للنار

تصنّف كل المواد المستعملة في إنهاء الأسطح، سواء كانت الأسطح مائلة (Pitched) أو مستوية (Flat) تبعاً لتعرضها للنار من الخارج. ويشير نظام التصنيف (BS 476-3: 2004) إلى السطح فيما إذا كان مسطحاً أو مائلاً متبوعاً بحرفين يرمزان إلى أدائه في حال التعرّض للنار.

نظام السطح	مسطّح EXT. F أو مائل EXT. S.
اختراق (تغلغل) النار	A أو B أو C أو D
(الحرف الأول)	A = عدم اختراق النار خلال ساعة واحدة
	B = عدم اختراق النار خلال 30 دقيقة
	C = اختراق النار خلال 30 دقيقة
	D = اختراق النار عند أول شعلة تجريبية

انتشار اللهب	A أو B أو C أو D
(الحرف الثاني)	(A = عدم انتشار اللهب
	B = انتشار اللهب في أقل من 533 mm
	C = انتشار اللهب في أكثر من 533 mm
	D = تستمر العينات بالاحتراق بعد إزالة شعلة الاختبار
	أو التي ينتشر لهبها أكثر من 381 mm في الاختبار الأولي)

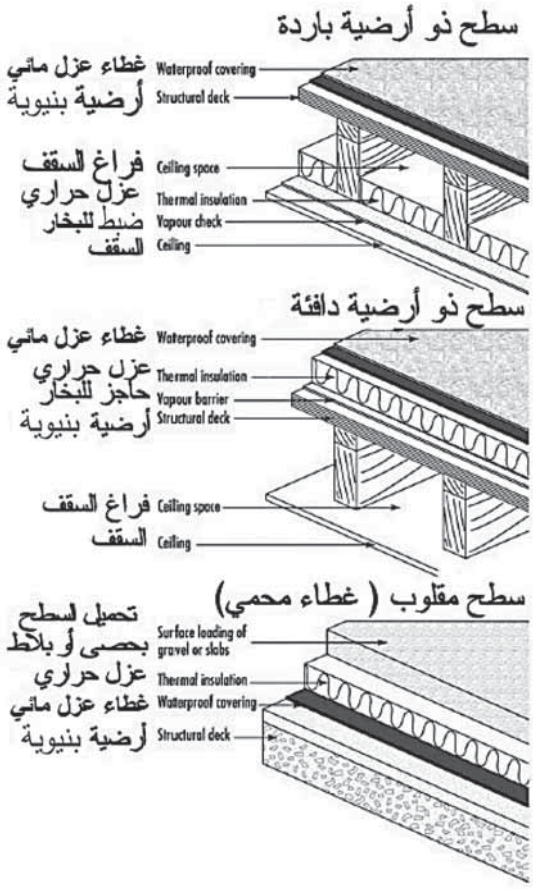
تضاف اللاحقة X حيث تحدث النار ثقباً أو خللاً ميكانيكياً.

وبناء على ذلك تصنف الأسطح المسطحة على أنها (EXT. F. AA) إذا لم يحدث فيها أي اختراق للنار أو انتشار للهب خلال اختبار نار معياري مدته ساعة.

الأسطح ذات الأرضية الباردة والأرضية الدافئة و الأسطح المقلوبة

الأسطح ذات الأرضية الباردة

في الأسطح ذات الأرضية الباردة تركب طبقة العزل الجوي (Weatherproof Layer) مباشرة على أرضية السطح، التي تتكون عادة من ألواح مصنوعة من نشارة الخشب المضغوط (Particleboard) أو الخشب المعاكس (Plywood)، مستندة مباشرة إلى الهيكل البنيوي للسقف، الذي غالباً ما يكون عوارض خشبية (Timber Joists) (الشكل 1.6). يركب العزل الحراري فوق السقف المؤلف من ألواح الجص (Gypsum Plasterboard) مع ترك فراغات (Void Spaces) باردة بين الخشب أو الفولاذ البنيوي. وثمّة مخاطر كبيرة لتكاثف الأبخرة في هذا النوع من بناء الأسقف تحت أرضية السطح، مما قد يتسبب في تدهور (Deterioration) البنية. لذا يجب تأمين تهوية كافية للفراغات الباردة، ويجب ألاّ يبرد أسفل الأرضية إلى ما دون نقطة الندى (Dew Point) عندما تكون درجات الحرارة الخارجية ـ 5 درجات مئوية. لأن أي كبح للبخار تحت الطبقة العازلة يجعله عرضة للتسرب حول كابلات الخدمة الكهربائية. وعند القيام بأعمال إصلاح الأسطح ذات الأرضية الباردة، في حال عدم تأمين التهوية الجيدة، يكون التحوّل إلى نظام الأرضية الدافئة أو السطح المقلوب مفيداً. لا ينصح الكود (BS 8217: 2005) (Code of Practice) بتشييد الأسطح ذات الأرضية الباردة في الأبنية الجديدة.



(الشكل 1.6) الأسطح ذات الأرضية الباردة والأرضية الدافئة والأسطح المقلوبة.

الأسطح ذات الأرضية الدافئة

يوضع العزل الحراري في تشييد الأسقف ذات الأرضية الدافئة بين أرضية السطح وغشاء العزل الجوي (الشكل 1.6). هذا الإجراء يضمن أن تكون أرضية السطح والهيكل البنيوي الساند لها معزولين عن درجات الحرارة القصوى، مما يحد من الحركة الحرارية المفرطة التي قد تتسبب في أضرار. ولأن المواد العازلة للحرارة موجودة مباشرة تحت طبقة العزل المائي، يجب أن تكون تلك المواد متينة بحيث تتحمّل حركة المشي عليها عند صيانة السطح. وتحتاج الطبقتان العازلة للحرارة (Insulation Layer) والعازلة للماء (Waterproof) تثبيتاً ميكانيكياً أو فرش حصى فوقهما (Ballasting) للحيلولة دون اقتلاعهما بالرياح القوية. ولإن تكاثف الماء على الوجه السفلي لأرضية السطح في بنية السطح ذات الأرضية الدافئة يدل

عادة على عدم كفاية العزل الحراري، فتعدّ البنية ذات الأرضية الدافئة هي المفضلة للأسقف الخفيفة الوزن.

الأسطح المقلوبة (المعكوسة)

في البنية ذات السطح المقلوب تكون الأرضية البنيوية والغشاء العازل للماء (Weatherproof Membrane) محميين بعازل حراري خارجي (الشكل 1.6) يضمن هذا الإجراء العزل الكامل لنظام السطح من الحرارة المتطرّفة في البرد والحر، كما يحول دون تضررها بأشعة الشمس وبحركة الصيانة. وتثبت طبقة العزل عادة إما بفرش الحصى فوقها (Ballasted With Gravel)، أو تحمّى تماماً ببلاط مرصوف (Paving Slabs). ولعل من سيئات الأسطح المقلوبة الوزن الميت الزائد وصعوبة كشف تسرب الماء تحت طبقة العزل. إذ يعد بناء الأسطح المقلوبة هو المفضل لنظم الأسطح الخرسانية وغيرها من الأسطح الثقيلة.

أغشية القار (الحُمر) المسلحة

تتألف الأسطح المنفذة بأغشية القار المسلح (كانت تسمى الأسطح المركبة (Built-Up Roofing)) من طبقتين أو أكثر من ألواح القار المثبتة بعضها إلى بعض بلاصق ذاتي (Self-Adhesive) أو بالقار الحار. وتصنع ألواح القار من حصيرة أساس حاملة (Base Carrier) من الألياف أو الألياف الزجاجية مشربة ومغلفة بالقار. ولبعض هذه المنتجات طبقة لاصقة خلفية وإنهاء واق للسطح.

القار هو المادة المتبقيّة من النفط الخام بعد إزالة المنتجات الطيارة بالتقطير. وتُعدل مواصفات القار بعملية أكسدة (Oxidation) متحكم فيها للحصول على مادة مطاطية (Rubbery) مناسبة لأعمال الأسطح. فعند تصنيع ألواح القار تمرّر طبقة الأساس المكونة من ألياف عضوية أو زجاجية أو من البوليستر المشرّب بالقار (Bitumen-Saturated Polyester) خلال قار ذائب مؤكسد يحتوي على مالئ خامل (Inert Filler). ثم تُلّف المواد بالسماكة المطلوبة ليتم تغليف ألواح القار بالرمل لمنع الالتصاق ضمن اللفافة أو تُغطّى بقشور مواد لتعطي الإنهاء المطلوب. وتتوافر سماكات مختلفة من هذه الألواح، ولتمييز نوعية طبقة الألياف الأساس تعلّم اللفافة بالألوان على طول إحدى حافتيها.

أنواع أغشية القار المسلحة

يصنف المعيار (BS EN 13707: 2004) أغشية القار المسلّحة لنظم الأسطح

استناداً إلى مجال من خصائصها الفيزيائية، ولكن من دون إشارة محددة إلى المواد المصنعة منها. والتوجيه المُعطى في المعيار (Bs 8747: 2007) يربط الخصائص الفيزيائية المفتاحية (Key Physical Properties) لقوة الشد (Tensile Strength) (الصنف S) ومقاومة الثقب (Puncture Resistance) (الصنف P) مع نوع المنتج. حيث تشتق مقاومة الثقب من تراكب مقاومة الصدم (Resistance To Impact) (الفئة D) ومقاومة الحمل الساكن (Resistance To Static Loading) (الفئة L). ولكلا الصنفين S وP خمسة مستويات معيارية متزايدة من 1 إلى 5. ولا ينطبق هذا التصنيف على الفتحات (Venting) وطبقات الأساس ذات الربط الجزئي أو الطبقة التحتية للأسفلت المصطكي (Mastic Asphalt). وتمتلك المنتجات التي أساسها البوليستر متانة وديمومة أكبر من تلك التي أساسها ألياف زجاجية ولكن بسعر أولي أعلى. ويناسب الإنهاء الناعم الطبقات السفلية أو حيثما تطبق حماية للسطح، ويمكن استعمال الإنهاء الحبيبي للطبقات المكشوفة. يبين الجدول 1.6 العلاقة النموذجية بين المنتجات العامة وصنفي الغشاء المشتق S وP.

جدول 1.6 أغشية القار المسلحة لتغطية الأسطح
بحسب المعيار BS 8747: 2007

الوصف	النوع (الرمز القديم)	رمز اللون	صنف الشدّ S	مقاومة الصدم الفئة D	الحمل الساكن الفئة L	صنف الثقب P مشتق من D وL
ليف زجاجي سطح حبيبي ناعم	3 B	أحمر	S1	D1	L1	D1L1=P1
بوليستر ـ طبقة تحتية حبيبية ناعمة	5 U	أزرق	S2	D2	L2	D2L2=P2
بوليستر ـ سطح حبيبي ناعم	5 B/180	أزرق	S3	D2	L3	D2L3=P3
بوليستر ـ سطح حبيبي ناعم	5 B/250	أزرق	S4	D2	L4	D2L4=P4
بوليستر ـ سطح حبيبي ناعم	5 B/350	أزرق	S5	D3	L4	D3L4=P5

ملاحظات:

هذه التركيبات تقليدية، ولكن على من يضع المواصفات أن يتحقق من

مواصفات المصنع، لأنه يمكن أن تكون هناك تركيبات مختلفة.

ثمة خمسة مستويات لقوة الشدّ تتراوح بين S1 (الأدنى) و S5 (الأعلى).

ثمة ثلاثة مستويات لمقاومة الصدم D1 (الأدنى) و D3 (الأعلى).

ثمة أربع مستويات لمقاومة الحمل الساكن L1 (الأدنى) و L4 (الأعلى).

تشير الأرقام 180 و 250 و 350 إلى كتلة طبقة الأساس ($g./m^2$) (لا تشمل أي إنهاء حبيبي).

تحدّد متطلبات أداء غشاء معيّن (مثل S2P3) من تحليل المخاطر، بما فيها هندسة السطح (انحداره والطبقة التحتية للغشاء) وإمكانية الوصول إليه (الصيانة والمُشاة والآليات) ودرجة الحماية (حماية ذاتية، وطبقة حصى، ورصف، وحدائق). يشمل المعيار (BS 8747: 2007) مصفوفة إرشادات للمواصفات المطلوبة لتصنيف الغشاء المناسب.

أمثلة :

سطح خرساني مستو، ميل $^{o}5$-0، فرشة بحص، إمكانية الوصول بهدف الصيانة الخفيفة فقط ـ صنف الغشاء المطلوب S2P3.

طبقة تحتية من خشب معاكس، الميل $^{o}5 <$، غشاء محمي ذاتياً، إمكانية الوصول بهدف الصيانة الخفيفة فقط ـ صنف الغشاء المطلوب S3P2.

يطبّق التصنيف السابق على نظام من غشاء قار مسلح من طبقة واحدة ومن عدة طبقات. ومن أجل الطبقات المتعددة يجب أن تكون إحدى الطبقات (السفلية عادة) من الصنف S2P2 على الأقل.

يصف ملحق المعيار (BS 8747: 2007) النوع 3G طبقة مثقّبة للتهوية من القار المسلح بألياف الزجاج التي تستعمل كأول طبقة من نظام تغطية السطح المركب بغشاء القار المسلح حيث يلزم استعمال رابط جزئي أو تهوية.

يصف المعيار (BS EN 13859: 2005) مواد الطبقة التحتية التي تنفذ فوقها طبقة التسقيف المتقطعة (Discontinuous Roofing) كالألواح (Slates) والبلاط. وتحدّد في ثلاثة أصناف من حيث مقاومة تسرب الماء، وهي الصنف W1 (أعلى درجات المقاومة) وحتى الصنف (W3) (أضعفها مقاومة). ويصف ملحق المعيار (BS EN 13859: 2005) الطبقة التحتية للنوع 1F على أنها من قار مسلح بألياف الخيش (Hessian) مع إمكانية إدماج طبقة من الألومنيوم عاكسة للحرارة على الوجه

السفلي. أمّا الطبقة التحتية للنوع (5U) فهي قار مسلّح بالبوليستر ـ وتتمتع بمتانة ميكانيكية أكبر مع مقاومة تمزق أعلى من النوع (1F). وعموماً عندما توجد مخاطر تكاثف كبير يجب استعمال الأغشية المغلفة (Sarking Membranes)، وهي مانعة للماء ونفوذة للبخار. وتشمل المواد البديلة القابلة للتنفس للطبقة تحت البلاط مجموعة من رقاقات البولي أوليفين (Polyolefin Laminates) ومنتجات البولي فينيل كلوريد المعدل (Modified PVC Products). ويبين الجدول 2.6 رموز ألوان الأغشية التي أساسها القار، كما يبين المنظومة النموذجية لغشاء القار المسلح. إذ عندما تتعرض كل ألواح القار المؤكسَد للأشعة فوق البنفسجية والأوزون تقسو تدريجياً، وتهرم وتصبح أقل مقاومة للانهيار بالتعب (الكلال) (Fatigue Failure).

الجدول 2.6 أغشية قار مسلحة للأسطح
حسب ملحق المعيار BS 8747: 2007

الصنف	مادة الأساس	النوع	الاستعمال	رمز اللون
الصنف 1	ألياف عضوية وأساس من خيش الجوت	النوع 1F	غشاء تحت تبليط الأسقف المائلة	أبيض
الصنف 3	أساس من ألياف زجاجية	النوع 3G	غشاء سطح من القار المسلح مع طبقة أساس مهواة	لا يوجد
الصنف 5	أساس بوليستر	النوع 5U	غشاء تحت تبليط الأسقف المائلة	أزرق

نظم الأسطح

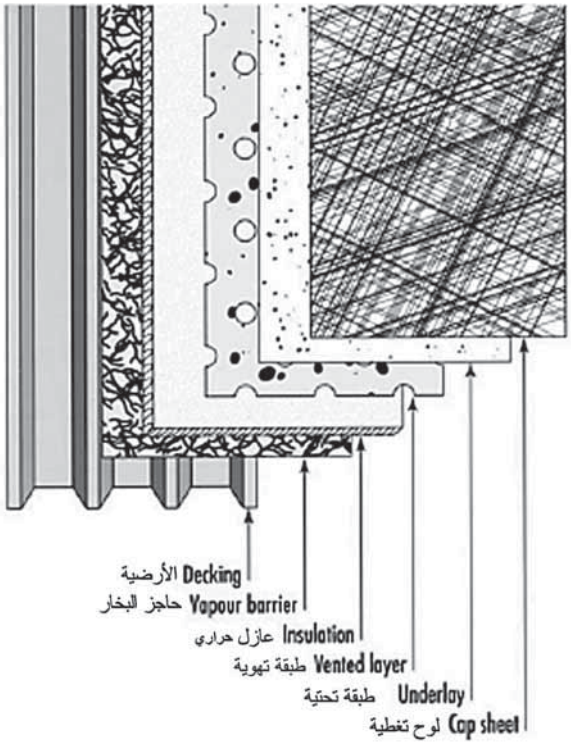
يصف الكود (BS 8217: 2005) نظم تغطية السطح بالقار المسلح، والتي تتكوّن من طبقة أساس (طبقة تحتية) (Substrate) وعزل حراري وغشاء قار وإنهاءات. يمكن أن تركب ألواح التغطية على أسطح مشيّدة من خرسانة مسلحة مسبقة الصنع أو مصبوبة في المكان، أو من الخشب المعاكس (Plywood) (من الصنف الخارجي (Exterior Grade)) أو من ألواح الخشب (Timber) (الملسّن والمخدّد 19 mm (Tongued And Grooved) مع معالجة بالمواد الحافظة والتكييف) أو من ألواح مجدولة موجهة (Oriented Strand Board)، أو من بلاطات صوف الخشب (Wool Slabs Wood)، أو أرضيات معدنية مكيّفة المقطع (Profile Metal Decking) (فولاذ مغلفن أو ألومنيوم). وتعدّ نظم الأرضيات المركبّة الخاصة

بالأسطح، كالقطع التي تتألّف من الخشب المعاكس ورغوة الأوريتان الصلبة (Rigid Urethane Foam) وصفائح الألومنيوم، مناسبة أيضاً باستثناء المناطق ذات الرطوبة العالية. وفي الأسطح الدافئة يُركّب ضبط للبخار فوق الأرضية. وثمّة مواد مناسبة لضبط البخار، منها بحسب مادة البناء، أغشية القار المتراكبة (Lapped) والملصقة (Bonded)، وألواح البوليتين المتراكبة (Lapped Polythene)، أو 12 mm من الأسفلت المصطكي (Mastic Asphalt) على نسيج من الألياف الزجاجية.

تشمل مواد العزل الحراري الفلين (Cork)، والفلزات الصلبة (MW) (Rigid Mineral) أو الصوف الزجاجي (Glass Wool)، والبرليت (EPB) (Perlite)، والزجاج الرغوي الخلوي (CG) (Cellular Foamed Glass)، ورغوة البولي يوريثان الصلبة (RUP) (Rigid Polyurethane Foam) والبوليستيرين المقولب بالبثق (XPS) (Extruded) أو المقولب بالتمدّد (EPS) (Expanded Moulded) (Polystyren)، ورغوة الفينول (Phenolic Foam)، والبولي إيزوسيانورا (PIR) (Polyisocyanurate)، وألواح الألياف المشربة بالقار (Bitumen Impregnated Fibreboar)، ومختلف النظم المركبة المناسبة. ويستطيع معظم المصنعين اليوم توفير منتجات عزل خالية من الفلور وكلور وكربون (CFC-Free). وكثيراً ما تتوافر لدائن ممدّدة حساسة بالحرارة ملصقة سلفاً على فلين أو برليت، أو على طبقة من ألواح من ألياف قابلة لصب القار الساخن عليها ومدّه (Pour And Roll)، أو جاهزة لمد ألواح القار ولصقها بمشعل اللهب (Torch-On). وحيث لم تُدرج ميول مناسبة (Suitable Falls) في الهيكل البنيوي للسطح، يمكن تأمين قطع عزل جاهزة مفصلة لتأمين الميول (Cut-To-Falls). إن الحد الأدنى المطلوب لميول الخدمة (Service Fall) هو 1 إلى 80 لمنع تجمع برك الماء (Ponding)، وهذا ما يتطلّب ميلاً تصميمياً 1 إلى 40 ليسمح بسيلان المياه.

على الأسطح المائلة، توضع أول طبقة من ألواح تغطية السطح باتجاه الميل، ولكن على الأسطح المستوية (أقل من 10^0) ولا علاقة لاتجاه الطبقة الأولى بالميل. وتلصق الطبقة الأولى جزئياً أو بالكامل بحسب نوعية الطبقة التحتية (Substrate). وغالباً ما تمدّ الألواح المثقّبة الحرة كطبقة أولى، ومن ثم تغدو ملتصقة نقطياً عندما يطبّق القار الحار للطبقة الثانية. أما الأسطح الخشبية فتُسمّر (Nailed) عليها الطبقة الأولى. يسمح اللصق الجزئي ببعض الحركة الحرارية بين منظومة الألواح والأرضية، كما أنه يسمح بانفلات أي بخار للماء محبوس في مادة الأرضية. كما أن استعمال

فتحات تنفيس على الأسطح المتسعة يسمح بخروج الهواء المحصور من هيكل السطح عن طريق تسربه تحت الطبقة الملصقة جزئياً. لذا يجب أن تكون تراكبات الجوانب ذات العرض 50 mm وتراكبات النهايات ذات العرض 100 mm متعاقبة بالترتيب بين الطبقات. في الأسطح المائلة، ويجب أن تسمر الطبقة الأولى عند ذروة كل لوح وبحيث تكون المسافة بين نقاط التثبيت 50 mm، ويجب أن يستعمل قار درجة انصهاره أعلى من 115/15 للصق الطبقات التالية منعاً لانزلاقها. حيث تؤمن الحماية من تأثير الأشعة فوق البنفسجية إمّا بإنهاء معدني سطحي مطبق من المعمل، أو بتطبيق دهان عاكس، أو بفرش طبقة من نحاتة حجر السبار الأبيض العاكس (Spar Stone Chippings) بسمك 12 mm على الأسطح المستوية.



(الشكل 2.6) غشاء القار المسلح التقليدي على نظم السطح.

أغشية القار المعدل بالمبلمرات

تعتمد أغشية القار العالي الأداء على أساس من البوليستر (Polyester Base)،

لإكسابها المتانة (Toughness)، وعلى الطلاء بالقار المعدل بالمبلمرات (Polymer-Modified Bitumen) لزيادة مرونتها (Flexibility) وقوّتها (Strength) ومقاومتها للتعب (Fatigue Resistance)، وهي توفر ديمومة أفضل، تفوق ديمومة ألواح القار المؤكسدة المعيارية. وثمة نوعان منها يعتمدان على ستيرين ـ بوتادايين ـ ستيرين (Styrene-Butadiene-Styrene) (SBS) والقار المعدل بالبولي بروبيلين اللامنتظم (Atactic Polypropylene) (APP). ويحتوي المعيار (Bs 8747: 2007) توصيفاً لهذه النظم.

أغشية الستيرين ـ البوتادايين ـ الستيرين المرنة العالية الأداء

تتمتع أغشية القار المبلمرة المعدّلة من الستيرين - بوتادايين ـ ستيرين (إس بي إس) بمرونة أكبر من ألواح القار المؤكسد المعيارية. وهي تُمَد إمّا بتقنية "السكب ثم المدّ" التقليدية التي تستعمل في تركيب ألواح القار المعيارية، أو بتقنية التسخين باللهب (الشكل 3.6). في التقنية الأولى، يسخن القار اللاصق إلى درجة حرارة بين 200 و 250 °C، ثم يسكب أمام لفة اللوح التي يجري مدّها، فينتج لصقاً مستمراً بين الطبقات. أمّا في عملية التسخين باللهب فيجري تسخين الوجه الخلفي للفة اللوح في أثناء مدّها إلى درجة حرارة انصهار الظهارة بوساطة مشعل غاز بروبان. وبدلاً من ذلك يمكن استعمال التثبيت على البارد أو التثبيت الميكانيكي.

الأغشية اللدنة العالية الأداء من البولي بروبيلين المبلمر اللامنتظم

يحتوي القار المعدل بالبولي بروبيلين اللامنتظم عادة على 25% من البوليمر اللامنتظم في القار مع مالئ خامل (Inert Filler). إن هذا المنتج أكثر ديمومة من القار المؤكسد، ويتمتع بمقاومة أعلى لدرجات الحرارة المرتفعة ومرونة أكبر عند درجات الحرارة المنخفضة. تصنّع الألواح بنواة من البوليستر و/ أو ألياف الزجاج. ولبعضها سطح إضافي مسلح بالألياف الزجاجية لمقاومة العوامل الجوية (Reinforced Weathering Surface). تلصق ألواح القار المعدّل بالبولي بروبيلين اللامنتظم بلاصق على البارد أو بتسخين وجهها الخلفي الحساس للحرارة باللهب، لأنّ درجة حرارة القار الساخن المسكوب تعد منخفضة ولا تكفي لتكوين لاصق مقبول.

الشكل 3.6 تركيب غشاء السطح من القار المسلح بتقنية السكب والمد وبطريقة التسخين باللهب.

ألواح تغطية الأسطح المكسوة بالمعدن

تعطي ألواح القار العالية الأداء ـ التي أساسها الستيرين ـ بوتاداايين ـ ستيرين (SBS) والمكسوة بالنحاس أو الألومنيوم ـ مظهراً جميلاً وديمومة أكبر بالمقارنة مع نظم أغشية القار المسلح المعيارية ذات الوجه المعدني. ويسمح النموذج المربع

الصغير ذو الأثلام (الشكل 4.6) بالحركة الحرارية بين الألواح الملصقة والإنهاء المعدني. ويتأثر الإنهاء النحاسي بعوامل التجوية مثل نظم تغطية الأسطح بالنحاس التقليدية ليعطي زنجاراً (Patina) أخضر. ويبلغ سمك طبقة المعدن الرقيقة عادةً 0.80 mm.

(الشكل 4.6) غشاء سطح من القار المكسو بالنحاس.

الأسقف المقلوبة (المعكوسة)

في الأسطح المقلوبة، تركب أغشية القار المسلحة والعازلة للماء مباشرة على أرضية السطح. ويركب العازل الحراري غير الماص للماء، مثل البوليستيرين المشكل بالبثق، فوق الغشاء مباشرة ثم يغطى بلوح مرشح (Filter Sheet) لمنع الدخول المفرط للمواد العضوية. ويؤمن الحصى النهري المغسول (River-Washed Ballast) أو الرصف على مساند حماية المنظومة من العطب الميكانيكي أو الناتج من فعل الرياح. تمتاز الأسطح المقلوبة بكون الغشاء العازل للماء محميّاً من الإجهاد الفعل الحراري بطبقة عازل حراري. وتكون هذه بدورها محميّة من الضرر بطبقة حصى أو برصف نهائي. تعدّ منظومات ألواح التغطية من القار المسلح العالية الأداء مناسبة للأسطح المقلوبة.

الجدول 3.6 درجات الأسفلت المصطكي بحسب المعيار BS 6925: 1988

النوع	التركيب
BS 988B	100% قار
BS 988T25	75% قار، 25% إسفلت بحيرات
BS 988T50	50% قار، 50% إسفلت بحيرات
يوصف من المصنّع	صنف بوليمر معدل

الأسفلت المصطكي

أنواع الإسفلت المصطكي

الأسفلت المصطكي منتج أساسه مزيج القار (Blended Bitumen-Based Product). يصنع هذا الأسفلت إمّا من القار المستخرج من تقطير النفط الخام، أو من أسفلت البحيرات المتوافر طبيعياً كمزيج أسفلتي يحتوي على 36% بالوزن من الصلصال الناعم (Finely Divided Clay)، ويستورد أساساً من ترينيداد (Trinidad). يمزج القار مع مسحوق الحجر الكلسي وحصى الحجر الكلسي الناعم لينتج أنواعاً معيارية لتغطية الأسطح، كما هو مبين في المعيار (BS 6925: 1988) (الجدول 3.6). وأكثرها استعمالاً هو النوع (BS 988T25) وأصناف البوليميرات المعدلة (Polymer-Modified Grades).

إن تأثير جزيئات الصلصال الناعم في إسفلت البحيرات من النوع Bs 988t يمنح خصائص مد أفضل ويعزز خصائصه الحرارية. وتعد هذه من ميزات المواد التي تتعرض إلى تغيرات كبيرة في درجة الحرارية، وبخاصة نظم الأسطح الدافئة.

يسلم الأسفلت المصطكي عادة على شكل بلوكات (Blocks) يجرى تمييعها (Melting) في الموقع قبل فرشها، مع أن الأسفلت الساخن والمميّع (Molten Asphalt) يسلم أحياناً جاهزاً في التعهدات الكبيرة. كما إن الأسفلت المصطكي المفروش هش (Brittle) في البرد ولكنه يلين في الطقس الحار المشمس، ويزداد صلابة عند إعادة تمييعه، وكذلك عند إضافة كميات أكبر من حصى الحجر الكلسي. ويحتوي الإسفلت المصطكي المعدل بالبوليميرات عادة على كتل بوليمير مشترك (Copolymers) من ستيرين ـ بوتادايين ـ ستيرين، وهو أكثر ديمومة ومرونة (Flexibility) وذات قابلية استطالة (Extensibility) في درجات الحرارة المنخفضة. مما يسمح بحركات أكبر للبناء وبمقاومة أفضل للصدمات الحرارية. وعندما تكون

الأسطح الأسفلتية معرضة للمشي أو لحركة الآليات يجب استعمال إسفلت التعبيد المصطكي كطبقة اهتراء فوق مادة تغطية السطح المعيارية. ويتوفر منه نوعان أساسيان هما الطري (S) والقاسي (H)، ويعد الصنف الناعم مناسباً لممرات المشاة ومرائب السيارات على السطح (Rooftop Car Parks)، والصنف الأقسى مناسب للمناطق المجهدة أكثر. أما في أشغال الأرضيات المعيارية فيستعمل الأسفلت المصطكي من النوع F1076، ويستعمل النوع F1451 للأرضيات الملونة، ويعدّ النوع T1097 ضرورياً لأعمال الخزانات والطبقات العازلة للرطوبة. وتتوافر لأشغال الأرضيات أربع أصناف من الإسفلت المصطكي (قاسٍ، خفيف، وسط، الأشغال الثقيلة) وذلك وفقاً لخصائص الاهتراء المطلوبة.

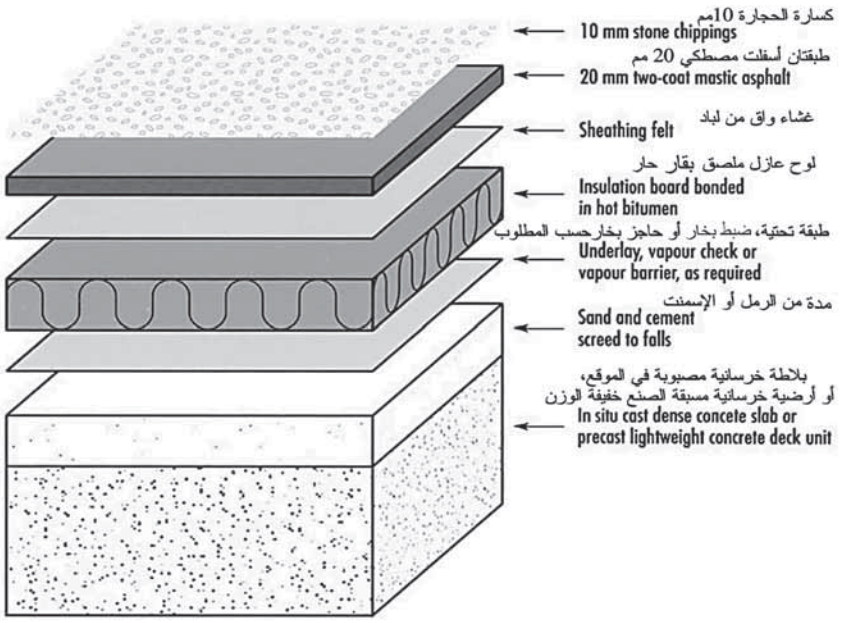
نظم تغطية الأسطح

يمكن مدّ الإسفلت المصطكي على أنواع كثيرة من أنظمة أرضيات الأسطح المستوية أو المائلة وفقاً للكود (BS 8218: 1998). ولأن الأسفلت المصطكي هش فهو يتطلب سنداً متواصلاً وثابتاً. ومن أرضيات الأسطح المناسبة الخرسانة (المصبوبة في المكان أو مسبقة الصنع)، والخشب المعاكس (Plywood) (الصنف الخارجي)، وألواح الخشب (Timber Boarding) (بسمك 19 mm كحد أدنى) وألواح نشارة الخشب المضغوط (Particleboard) وبلاطات صوف الخشب (Wool Slabs) (بسمك 50 mm كحد أدنى) والأرضيات المعدنية المكيفة المقطّع (Profiled). ويبين الشكل 5.6 نظام سطح دافئ من الخرسانة. وفي البنى الكثيفة الخرسانة تمد فرشة من الرمل والإسمنت بميل مناسب فوق البلاطة المصبوبة في المكان. ويجب أن يكون الميل مصمماً بحيث يتماشى مع التغيرات في الموقع على ألّا يقل عن 1 في 80، لأن ذلك ضروري لضمان التصريف الفوري لماء السطح ومنع تكوّن البرك. كذلك يجب أن تُركب الأسطح من الخشب المعاكس والمعدن المكيف المقطع بميول مناسبة. وتلصق طبقة من ألواح القار والألياف الزجاجية من النوع 3b فوق الهيكل البنيوي لضبط البخار.

العزل الحراري

يلصق العازل الحراري بالقار الحار من أجل تأمين القيمة (U-Value) الضرورية للسطح. وثمّة أنواع كثيرة مناسبة من ألواح أو بلوكات العزل، منها الفلين المضغوط (Compressed Cork) والصوف المعدني العالي الكثافة (High-Density

(Mineral Wool) والألواح الليفية (Fibreboard) والبرلايت (Perlite) والزجاج الرغوي الخلوي (Cellular Foamed Glass) والبوليستيرين العالي الكثافة المحضر بالبثق (Extruded Polystyrene) والبولي إيزوسيانورات (Polyisocyanurate)، وإذا كانت الصلابة التي توفرها مواد العزل غير كافية، أو إذا كانت تتأثر بالحرارة عند مدّ الأسفلت الحار، يجب تغطيتها بألواح صلبة مقاومة للحرارة منعاً لعطب العزل أثناء الصيانة أو البناء. فإذا لم يتم تأمين الميول في الهيكل البنيوي يمكن تحقيق ذلك من خلال طبقة العزل، شريطة أن تؤمن أكثر المقاطع رقة المواصفات الحرارية المطلوبة. وتمدّ بعد ذلك طبقة فصل من الجيوتكستايل (Geotextile) أو الغشاء المانع للماء (Sheathing Membrane) من دون تثبيت (Loose-Laid) للسماح بالحركة الحرارية التفاضلية بين الأرضية وإنهاء الإسفلت المصطكي العازل للماء.



(الشكل 5.6) نظام تغطية سطح تقليدي من الإسفلت المصطكي.

تطبيق الأسفلت المصطكي

يمدّ الأسفلت المصطكي بسمك 20 mm على طبقتين فوق الأسطح التي لا يزيد ميلها على 30، وعلى ثلاث طبقات حتى سمك 20 mm إذا زاد الانحدار

على 30. ويلزم تنفيذ نعلة (Upstands) بارتفاع 150 mm للحجر ونوافذ السطح (Rooflights) والأنابيب وغيرها التي تخترق غشاء السطح. وعندما يكون اللصق على الأسطح الشاقولية غير كافٍ يجب استعمال شبك معدني متمدِّد (Expanded Metal Lathing) لسند الإسفلت. ويجب حماية أعلى النعلة بحشوة مئزر (Apron Flashing). يُفرك الوجه العلوي للطبقة النهائية وهي ما تزال حارّة بطبقة من الرمل لتفتيت البشرة الغنية بالقار التي تتشكل على سطح الشغل.

حماية السطح العلوي

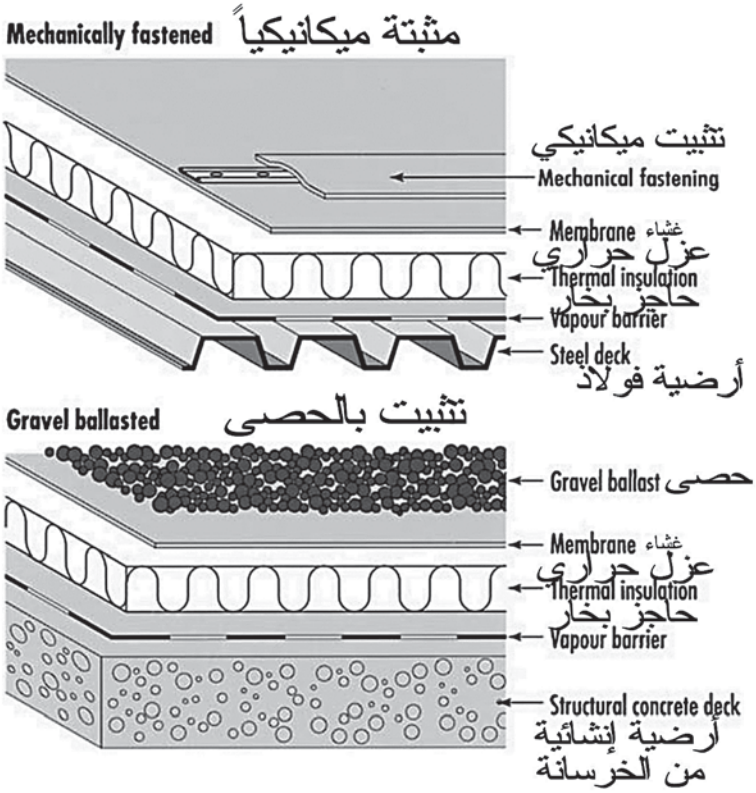
يتصلّب الأسفلت المصطكي تدريجياً في بضع سنوات، وتجب حمايته من التليّن (Softening) تحت أشعة الشمس الساطعة بتطيق حماية لسطحه. ويعدّ الدهان العاكس (Coatings Reflective Paint) فاعلاً ما لم يتسخ، مثل أوكسيد التيتانيوم (Titanium Oxide) في راتنج البولي يوريثان (Polyurethane Resin) أو القار المخضب بالألومنيوم (Aluminium-Pigmented Bitumen)، وهذا هو الإجراء الوحيد المناسب لحماية الأسطح الشاقولية. إن الطلاء العاكس متوافر في مجال من الألوان، مؤمناً مستويات انعكاس مختلفة لأشعة الشمس. فبالنسبة إلى الأسطح المستوية الأفقية والمائلة حتى 10 تصلح طبقة من كسر الحجارة البيضاء (White Stone Chippings) بسماكة 10 ـ 14 mm لتأمين أفضل حماية لا من أشعة الشمس فحسب، بل ومن الأشعة فوق البنفسجية أيضاً، والتي تتسبب في تدهور (Degrades) منتجات القار تدريجياً. كذلك تعمل طبقة الحجر على إنقاص خطر الصدمة الحرارية (Thermal Shock) في فترات البرد القارص. وحيثما يتوقع وجود حركة سير يجب أن تحمى طبقة الإسفلت المصطكي ببلاط إسمنتي مسلح بالألياف الزجاجية (Glass-Fiber Reinforced Cement Tiles) (GRC) أو برصف خرساني.

الأسطح المقلوبة

يشكل الأسفلت المصطكي غشاء مناسباً عازلاً للماء للأسطح المعزولة حرارياً من الخارج أوالأسطح المقلوبة. ولتنفيذ طبقة العزل الحراري فوق الأسفلت المصطكي ميزة حماية الطبقة العازلة للماء من الصدمة الحرارية ومن التلف بالصدم (Impact Damage) ومن التدهور بسبب الأشعة فوق البنفسجية. يثبت العازل الحراري، المكون عادة من ألواح البوليستيرين، إما بالحصى أو ببلاطات أرصفة من الخرسانة المسبقة الصنع.

أنظمة الأسطح ذات الطبقة الواحدة

تتألف أنظمة تغطية السطح الوحيدة الطبقة من غشاء متواصل بسمك 1 ـ 3 mm يغطي أي شكل من الأسطح المستوية أو المائلة (الشكل 6.6). وبما أن الغشاء المفرد عازل موثوق للماء فإن المطلوب هو مهارة مهنية عالية في تركيبه، يتولاها عادة متخصص في التركيب. وفي أعمال الترميم عندما تكون الأرضية التحتية خشنة قد يستعمل صوف البوليستر (Polyester Fleece) لمنع أي ضرر ميكانيكي يمكن أن يلحق بالغشاء من أسفله. العمر المتوقع للغشاء 25 عاماً. ويمكن تصنيف المجال الواسع من المواد المستعملة في الأغشية إلى لدائن حرارية (Thermoplastic) ومطاط صنعي (Elastomeric) ومنتجات قار معدل. في كثير من الأحوال يكون الغشاء ذو الطبقة الوحيدة نفسه صفائحياً (Laminate) مشتملاً على ليف زجاجي أو بوليستر لتحسين المتانة ومقاومة التعب (Fatigue Resistance) أو ثبات الأبعاد على التوالي. كل المنتجات اللدائنية الحرارية والمطاطية الصنعية مقاومة البلى بالتقادم (Ageing) تحت تأثير الشروط القاسية التي يتعرض لها السطح. أما التثبيت الذي تؤمنه النظم المحتكرة ببراءة اختراع فيشمل اللصق الكامل أو اللصق الجزئي أو التثبيت الميكانيكي أو الفرش الحر (Loose Laid) مع تغطية بالبلاط الخرساني أو الحصى. تلصق الوصلات المتراكبة إما بالحرارة أو بلحمها بوساطة مذيب، غالباً ما يكون تتراهيدروفورين (Tetrahydrofuran) (THF). وقد يطبق ختم نهائي (Final Seal) في اللدائن لوصلة الحافة بوساطة مذيب بعد أن يتم التحقق من عدم وجود تسرب من وصلة التراكب. ويوفر معظم المصنعين مجموعة من الملحقات (اللوازم) المصنعة لغايات محدّدة (Purpose-Made Accessories) مثل الزوايا المشكّلة مسبقاً (Preformed Corners) وأغماد منافذ مياه المطر (Rainwater Outlet Sleeves) ومثبتات الحماية من الصواعق. ويحتوي المعيار (Bs En 13956: 2006) على قوائم لمجال واسع من المواد المستعملة من أجل أنظمة تغطية السطح الوحيدة الطبقة عبر أوروبا، لكن يهيمن على السوق في المملكة المتحدة، فيما يخص المواد التي لا يدخل القار في أساسها، البولي فينيل كلوريد الملدن (بي في سي) (PVC) ومطاط الإيتيلين بروبيلين دايين وحيد الجزيئ (إي بي دي إم) (Ethylene Propylene Diene Monomer) (EPDM).



(الشكل 6.6) أنظمة تقليدية وحيدة الطبقة لتغطية السطح، مثبتة ميكانيكياً وفرشة من الحصى.

أنظمة اللدائن الحرارية

يمكن وصل منظومات اللدائن الحرارية المصنوعة من اللدائن غير المتقاطعة بوساطة مذيب أو بلحمها حرارياً. وهي تملك عموماً خصائص جيدة لمقاومة العوامل الجوية وللمقاومة الكيميائية. إن أساس أنظمة اللدائن الحرارية السائدة هو البولي فينيل كلوريد الملدن (بي في سي (PVC)) الذي يتوافر عادة بألوان عديدة. وثمة منتجات بي في سي (PVC) تحتوي على ملدنات (Plasticisers) بنسبة 35% من وزنها، ويمكن لهذه الملدنات أن تزحف إلى المواد المتاخمة لها تاركة الغشاء أقل مرونة، مسببةً عدم تلاؤم (Incompatibility) مع العازل الحراري المصنوع من البوليستيرين المبثوق أو من منتجات القار. ويبيّن الشكل 7.6 مبنى المتحف الحربي الإمبراطوري (Imperial War Museum) في دوكسفورد (Duxford) الذي صممه فوستر وشركاه (Foster And Partners) وسطحه مكسو بالبي في سي.

تعدّ المنتجات المصنعة من الفينيل إيتيلين تربوليمر (Vinyl Ethylene Terpolyme) (VET) (مزيجاً من 35% إتيل فينيل أسيتات (Ethyl Vinyl Acetate) و65% بي في سي مع نسبة 4% فقط من ملدن يضاف كمزلِّق) أكثر مواءمة للقار ومنتجات العزل التي أساسها البوليستيرين. وهناك منتجات أخرى تشمل البولي إيتيلين المكلور (سي بي إي) (Chlorinated Polyethylene) (CPE) الذي له مقاومة كيميائية محسنة والبولي إيتيلين كلوروسلفانات (سي إس إم) (Chlorosulphonated Polyethylene) (CSM)، الذي يمتلك مقاومة عالية لعوامل الطقس، وكذلك البولي إيزوبوتيلين (بي آي بي) (Polyisobutylene) (PIB)، وهي مادة ليّنة نسبياً يمكن وصلها بسهولة. أما الغشاء المكون من لدائن البولي أوليفين الحراري (TPO) (Thermoplastic Polyolefin) فأساسه سبيكة من مطاط إيتيلين بروبيلين (إي بي آر) (Ethylene Propylene Rubber) (EPR) وبولي بروبيلين (Polypropylene)، وهو خالٍ من الهالوجين (Halogen-Free)، ويجمع بين المقاومة الحرارية والكيميائية وقابلية اللحام التي للبي في سي، مع مرونة أنظمة التغطية المطاطية وحيدة الطبقة. وأما غشاء السطح المطاطي اللدائني الحراري (تي بي إي) (TPE) (Thermoplastic Elastomer) الوحيد الطبقة الذي أساسه البولي أوليفينات، فهو يشبه البولي أوليفين اللدائني الحراري TPOs غير أنه أكثر مطاطية (Elasticity) ومرونة (Flexibility) نتيجة عملية تحفيز (Catalytic Process) خاصة ينتج منها بولي أوليفين نقي جداً عالي المطاطية.

(الشكل 7.6) غشاء سطح من البي في سي ـ المتحف الحربي الإمبراطوري في دوكسفورد.

أنظمة المطاط الصنعي

يهيمن على الأنظمة المطاطية الإيتيلين بروبيلين دايين وحيد الجزيء (EPDM) الذي يعد بوليمراً متصالباً (متشابكاً) أو معالجاً. ويتميز بخاصية استطالة كبيرة ومقاومة جيّدة لعوامل الطقس والأشعة فوق البنفسجية والأوزون. والمادة المعيارية منه سوداء أو رمادية اللون، غير أن اللون الأبيض منها متوافر أيضاً. تلصق معظم منتجات هذه المادة بلاصق أو بأشرطة لاصقة (Tapes) لأنه لا يمكن تليين "الإي بي دي إم" بمذيب أو بالحرارة. وعلى كل حال، يتم تغليف وجه الإي بي دي إم بلدائن حرارية يمكن تسخينها ولحمها حرارياً في الموقع. كذلك يمكن تثبيت هذا المنتج ميكانيكياً أو فرش الحصى فوقه أو لصقه بالبنية التي تحته.

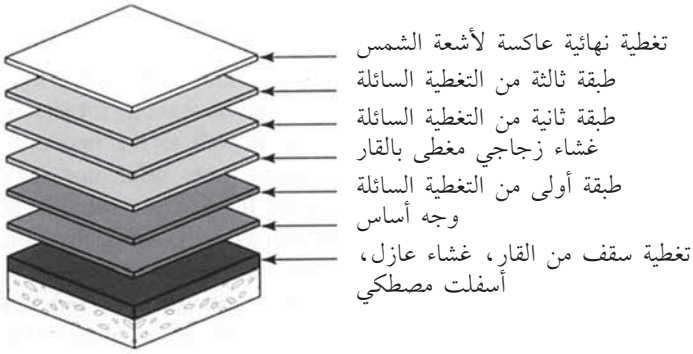
أنظمة القار المعدّل

معظم أنظمة القار المعدل أساسها الستيرين ـ بوتاداين ـ ستيرين (إس بي إس SBS) أو البولي بروبيلين اللامنتظم (اي بي بي APP)، أو البولي ألفا ـ أوليفين (APAC)، أو البولي أوليفين اللدائني الحراري (تي بي أو TPO)، أو القار المطاطي المعدّل. وثمّة منتجات تجمع بين ديمومة القار المعدل بالبولي بروبيلين اللامنتظم وبين مرونة القار المعدل بالستيرين ـ بوتاداين ـ ستيرين. وتشتمل الأنظمة عادة على تسليح بألياف الزجاج أو البوليستر لزيادة ثبات أبعادها. وتكون أغشية الأسطح من القار المعدل أسمك من الأنظمة وحيدة الطبقة التي أساسها البولميرات.

التغطية السائلة

يستعمل مجال من المواد التي أساسها القار والبوليمرات (Bitumen-And Polymer-Based Materials) في إنتاج أغشية أسطح سائلة عازلة للمياه. وفي حين يستعمل بعض هذه المنتجات في الأشغال الجديدة، وهناك منتجات كثيرة تستعمل في أعمال إصلاح (Remedial Action) الأسطح المستوية القائمة التي لحق بها ضرر، كبديل اقتصادي عن إعادة سقفها من جديد (الشكل 8.6). فقد تكون هذه المنتجات مناسبة عندما لا يكون في الإمكان تحديد موقع تسرب الماء، أو عندما يكون تجديد السطح غير عملي نتيجة تعطيل الأعمال (Disruption) الذي قد يسببه. من المهم أن تحدّد طبيعة السطح الموجود تماماً بحيث يمكن تطبيق المادة المناسبة

عليه، كما يجب تحديد العطل في الطبقة التحتية وإصلاحه. ويجب أن يكون وجه المادة الموجودة خالياً من المواد المفككة ومن الغبار لضمان التصاق الطلاء السائل الذي يمكن مده بالفرشاة أو بالمدحاة (الأسطوانة) (Roller) أو بالرذ (البخ) بلا هواء (Airless Spray). ولما كان تحقيق سماكة موحدة صعبا فإن هذا النظام يملك ميزة عدم الحاجة إلى لحام (Seamless). ويتوافر اللون الأبيض العاكس لأشعة الشمس، وكذلك مجموعة من الألوان الأخرى. من دون حماية إضافية ينبغي أن لا تتعرض الأسطح إلا إلى حركة مشي خفيفة أثناء الصيانةً. ويجب أن يتم مد الطلاء بطبيعة الحال من قبل متعهدين متخصصين بأعمال الأسطح. ويشمل النظام بوليستر مسلح بألياف الزجاج (Glass ـ Fiber Reinforced Polyester) وبولي يوريثان مطاطي مسلح (Elastomeric Reinforced Polyurethane).



(الشكل 8.6) تجديد تقليدي لغشاء عازل أو سقف أسفلتي مع تغطية سائلة.

الأنظمة التي أساسها القار

يتطلّب معظم أنظمة القار وجه أساس (Primer) لختم غشاء السطح الموجود أصلاً، ولتوفير الأساس اللازم للطلاء السائل. وبطبيعة الحال يحتاج الأمر إلى وجهين أو ثلاثة وجوه من محلول القار أو مستحلبه لتأمين طبقة عازلة للماء، وإلى وجه إنهاء عاكس لأشعة الشمس بعد أن يجف الغشاء تماماً. توضع عادة طبقة تسليح من الألياف الزجاجية في أثناء تطبيق الغشاء العازل للماء لضمان ثبات الأبعاد. ثمّة أنظمة من مركبين يمزجان في أثناء عملية الرذ كي يجفّ الطلاء بسرعة، مما يسمح ببناء غشاء مطاطي مرن من دون لحام بسمك 4 mm في طبقة واحدة على السطح، سواء كان مستوياً أو مائلاً. وإذا كانت المادة مقاومة للأشعة فوق البنفسجية قد لا يكون من الضروري مدّ طبقة عاكسة لأشعة الشمس.

أنظمة الأسطح التي أساسها البوليمرات

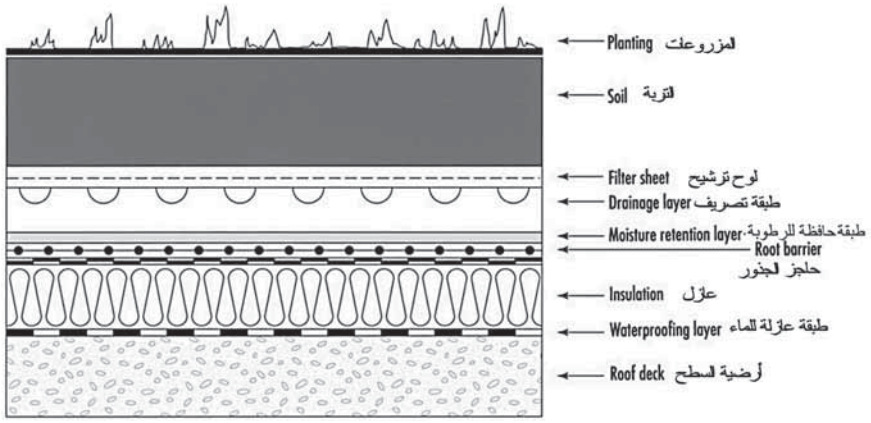
مجال البوليمرات المستعملة في الإنهاءات السائلة للأسطح كبير جداً، بما فيها راتنجات الأكريليك (Acrylic Resins) والبولي يوريثان (Polyurethanes) والبوليستر (Polyesters) والسيليكون (Silicones) والكوبوليمرات المطاطية (Rubber Copolymers) والقار المعدّل. كما يعرض بعض المصنعين طيفاً كبيراً من الألوان التي تملك الخصائص الضرورية لعكس أشعة الشمس. وتستعمل حصيرة (Mat) من ألياف الزجاج أو البوليستر كتسليح ضمن طبقة الغشاء التي تتكون من وجهي طلاء (Two Coats) كحدّ أدنى. ويمكن دمج إضافات (Additives)، مثل ثلاثي أوكسيد الإثمد (Antimony Trioxide) ومركبات البرومين (Bromine Compounds)، ضمن هذه التركيبة، من أجل تحسين مقاومة النار، ويمكن إحراز تقييم جيّد لبعض المنتجات فيما يتعلق باختراق اللهب وانتشاره على السطح. تمتاز المنتجات التي أساسها المذيبات بسرعة جفافها، مما يقلّل الإزعاج الحاصل خلال ترميم الأبنية المشغولة، في حين للمنتجات الخالية من المذيبات اعتمادية "خضراء"(*) ('Greener' Credential)، وبعضها عديم الرائحة.

الأسطح الخضراء

الأسطح الخضراء هي أسطح مستوية أو خفيفة الميل تمّ تحويلها إلى مظهر طبيعي (تنسيقها) (Landscaped) فوق طبقة العزل المائي. يمكن أن يشتمل هذا المنظر على بعض الأسطح الصلبة (Hard Surfaces) ويمكن الوصول إليها للراحة والاستجمام، وكذلك لأعمال الصيانة الدورية الضرورية. ولا تقدم الأسطح الخضراء زيادة في العمر المتوقّع للطبقة العازلة للماء فحسب، بحمايتها من الضرر الفيزيائي والأشعة فوق البنفسجية ودرجات الحرارة العالية، بل تزيد أيضاً من المساحات الممكن استغلالها. ومن ميزاتها البيئية إضافة أنظمة تخفيف الجريان السطحي لمياه المطر وتأخيره، مثل نظام التصريف المستدام (Sustainable Drainage System) (SUDS)، إضافة إلى أن لها فوائد جمّة في ما يتعلّق بالضجيج البيئي وضبط الحرارة ونوعية الهواء والحياة البرية (Wildlife Habitat Benefit). ويمكن أن تكون الأسطح الخضراء عازلة للماء باستعمال أنظمة من أغشية القار المعدّل

(*) صديقة للبيئة (المترجم).

العالية الأداء، أو أنظمة أغشية وحيدة الطبقة، أو الأسفلت المصطكي. ويجب أن يمدّ تحت الزرع أسفلت مصطكي من الصنف (T-Grade Mastic Asphalt) على ثلاث طبقات بسمك 30 mm بدلاً من طبقتين بسمك 20 mm كما هو المعتاد. تقسم الأسطح الخضراء إلى نظامين، أحدهما كثيف والآخر شامل.



(الشكل 9.6) منظومة سطح أخضر تقليدية.

الأسطح الخضراء الشاملة

تصمم الأسطح الخضراء الشاملة بحيث تكون أخف وزناً ورخيصة نسبياً، وغير مفتوحة للاستعمالات الترفيهية ولا تحتاج إلا إلى الحد الأدنى من الصيانة. والغرض الأولي منها إمّا بيئي (Ecological) أو لإلباس المباني قناعاً بيئياً. ويجب أن تكون مزروعاتها قادرة على تحمّل الجفاف ومقاومة للرياح والصقيع، مثل االسيدوم والنباتات العشبية والحشائش (Sedums, Herbs And Grasses). ويمكن تنفيذ غطاء فوري بفرش غطاء نباتي مستزرع مسبقاً، حين يكون تحقيق المظهر البصري مطلوباً حالاً. ومن البدائل بذر خليط من البذور مع عُقل النباتات (Plant Cuttings) ونشارة الخشب (Mulch) والسماد على الوسط الصالح للزراعة فتنمو وتتحوّل إلى سطح أخضر مكتمل خلال فترة بين السنة والسنتين. إن الأنظمة الكاملة، التي تضم المزروعات والتربة وغلاف الترشيح والتصريف والطبقة الحافظة للرطوبة وحاجز الجذور، سوف تضيف وزناً يتراوح بين 60 و200 kg/m^2 على بنية السقف، التي يجب أن تكون قادرة على تحمل هذا الحمل الإضافي. يبلغ سمك التربة عادة نحو 100 mm، أما الصيانة فتكون محدودة، وتقتصر على إزالة الأعشاب غير المرغوب

فيها (Unwanted Weeds)، وملء البؤر العارية، ووضع الأسمدة العضوية في الربيع، وإزالة النباتات الميتة والأعشاب الضارة في الخريف. وثمة طريقة بديلة عن السطح الأخضر الشامل المزروع بالكامل، هي السطح الأخضر ذو التنوع الحيوي (Biodiverse Green Roof) الذي يضمُّ بعض الزرع الأولي وبعض المعالم الطبيعية، مثل الجذوع المقطوعة Logs وجلاميد الصخر Boulders، ويترك للطبيعة أمر تنميته بنباتات وأحياء محلية (Flora And Fauna). يبين الشكل 10.6 سطحا أخضر نموذجيا لا يحتاج إلا إلى القليل من العناية، في وستونبيرت أربيريتوم (Westonbirt Arboretum)، غلوسسترشاير (Gloucestershire)، وقد تم تحقيق مظهر مشابه في مركز الأرض السابق (Former Earth Centre) في دونكاستر (Doncaster) الذي جرى زرعه بنبات السيدوم (Sedum) العشبي المزهر (الشكل 1.17).

(الشكل 10.6) سطح أخضر مكثّف ـ وستونبيرت أربيريتوم، غلوسسترشاير.

الأسطح الخضراء الكثيفة

تصمم الأسطح الخضراء الكثيفة عموماً لتحمّل الأنشطة الترفيهية، وتشمل مجالاً واسعاً من أنواع الخضرة، من المروج (Grass) والنباتات العشبية (Herbaceous Plants)، وحتى الشجيرات (Shrubs). ويراوح عمق التربة بشكل

نموذجي ما بين 200 و300 mm، وهي تولّد، مع خزان ماء ضروري لا يقلّ عمقه عن 50 mm ونظام تصريف المياه، حملاً إضافياً لا يقل عن 400 kg/m^2 على البنية الهيكلية القائمة أو المنوي إنشاؤها. ويمكن أن تشتمل الأسطح الخضراء الكثيفة على مناظر طبيعية لينة وأخرى صلبة (Soft And Hard Landscaping) وعلى منحدرات بميل حتى 20^0. ومن أجل الاستجابة لمتطلبات الصحة والسلامة يجب أن يشتمل التصميم على حماية للحواف (مثل درابزون Hand Rail) أو نظام منع السقوط (Fall Arrest System) (مثل أحزمة أمان موصولة بنقاط ثابتة Harness) (Attachment Points من أصل التصميم.

تتطلب أنظمة السطح الأخضر الكثيفة الإنشاءات التالية:

- تربة وسماداً (Compost) ونباتات للمساحات المنسقة الصلبة ولينة.
- غشاء مرشحاً لمنع التربة من سدّ منظومة التصريف.
- مواد حافظة للرطوبة ومنظومة تصريف مياه.
- حصيراً واقياً (Protection Mat) (لمنع تلف حاجز الجذور وطبقات عزل الماء).
- غشاء رقيقاً من البولي إيتيلين (طبقة عازلة للماء).
- حاجزاً للجذور (Root Barrier).
- طبقة عازلة للماء (Waterproof Layer).
- عازلاً حرارياً (Insulation).
- حاجز للبخار (Vapour Barrier).

وحيثما كانت ثمة حاجة لزرع الشجر، يجب أن يُزاد عمق التربة إلى 750 ـ 800 mm مع ما يرافق ذلك من زيادة في الوزن الإجمالي. ويجب توخي الحذر لضمان عدم إلحاق ضرر بغشاء السطح بأدوات البستنة (Gardening Implements). وتتطلب الأسطح الخضراء المكثفة انتقاء النباتات بعناية بحيث تتكيف مع الشروط المكشوفة والصيانة الدورية البعيدة الأمد بما فيها التعشيب (Weeding) والتقليم (Trimming) ومكافحة الحشرات (Pest Control).

FURTHER READING

CIBSE. 2007: *Green roofs*. Knowledge series KS11. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

CIRIA. 2007: *The SUDS manual*. Publication C697. London: CIRIA.

CIRIA. 2007: Building greener. Guidance on the use of green roofs, green walls and complementary features on buildings. Publication C644. London: CIRIA.

Grant, G. 2006: *Green roofs and facades*. EP74.Watford: BRE.

Guertin, M. 2008: *Roofing with asphalt shingles*. USA: Taunton Press.

Mastic Asphalt Council. 2006: *Roofing*. Technical Guide. Hastings: Mastic Asphalt Council.

McDonough, W. 2005: *Green roofs, ecological design and construction*. USA: Schiffer Publishing.

National Federation of Roofing Contractors. 2005: *Benefits of reinforced bitumen membrane (RBM) roofing in new build and refurbishment*. Information Sheet 29. London: National Federation of Roofing Contractors.

NBS. 2006: *Flat roofing*. NBS Shortcut 07. Newcastle upon- Tyne: NBS.

NBS. 2006: *SUDS Sustainable urban drainage systems*. NBS Shortcut 11. Newcastle-upon-Tyne: NBS.

RIBA. 2008: *Roofing-Technical Review*. London: RIBA Publishing.

Ruberoid, A. 2003: *Flat roofing - A guide to good practice*. London: Ruberoid.

Ruberoid, and Permanite, 2004: *The Waterproofers Handbook*. IKO Group.

Single Ply Roofing Association. 2007: *Design guide for single ply roofing*. London: Single Ply Roofing Association.

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 3: 2004 Classification and method of test for external fire exposure to roofs.

BS 594 Hot rolled asphalt for roads and other paved areas:

Part 1: 2005 Specification for constituent materials and asphalt mixtures.

BS 743: 1970 Materials for damp-proof courses.

BS 1446: 1973 Mastic asphalt (natural rock asphalt fine aggregate) for roads and footways.

BS 1521: 1972 Waterproof building papers.

BS 3690 Bitumens for building and civil engineering.

Part 3: 1990 Specification for mixtures of bitumen with pitch, tar and Trinidad lake asphalt.

BS 4016: 1997 Specification for flexible building membranes (breather type).

BS 4841 Rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foam

for building end-use applications:

Part 3: 2006 Specification for laminated board (roofboards) with auto-adhesively or separately bonded reinforcing facings for use as roofboard thermal insulation under built-up bituminous roofing membranes.

Part 4: 2006 Specification for laminated board (roofboards) with auto-adhesively or separately bonded reinforcing facings for use as roofboard thermal insulation under built-up non-bituminous single-ply roofing membranes.

BS 5250: 2002 Code of practice for control of condensation in buildings.

BS 5534: 2003 Code of practice for slating and tiling (including shingles).

BS 6229: 2003 Code of practice for flat roofs with continuously supported coverings.

BS 6398: 1983 Specification for bitumen damp-proof courses for masonry.

BS 6925: 1988 Mastic asphalt for building and engineering (limestone aggregate).

BS 8204 Screeds, bases and in situ floorings:

Part 5: 2004 Code of practice for mastic asphalt underlays and wearing surfaces.

BS 8217: 2005 Reinforced bitumen membranes for roofing. Code of practice.

BS 8218: 1998 Mastic asphalt roofing. Code of practice.

BS 8747: 2007 Reinforced bitumen membranes (RBMs) for roofing. Guide to selection and specification.

BS 594987: 2007 Asphalt for roads and other paved areas.

BS EN 495: 2001 Flexible sheets for waterproofing. Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BSEN544: 1998 Bitumen shingleswith mineral and/ or synthetic reinforcements.

BS EN 1107 Flexible sheets for waterproofing:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2001 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 1108: 2000 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen sheets for roof waterproofing.Determination of form stability.

BS EN 1109: 2000 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen sheets for roof waterproofing.Determination of flexibility.

BS EN 1110: 2000 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen sheets for roof waterproofing.Determination of flow resistance.

BS EN 1297: 2004 Flexible sheets for roofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Method of artificial ageing.

BS EN 1848 Flexible sheets for waterproofing.Determination of length, width and straightness:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2001 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 1849 Flexible sheets for waterproofing.Determination of thickness and mass:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2001 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 1850 Flexible sheets for waterproofing.Determination of visible defects:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2001 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 1931: 2000 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets. Determination of vapour transmission.

BSEN12039: 2000 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen sheets for roof waterproofing. Adhesion of granules.

BS EN 12310 Flexible sheets for waterproofing. Determination of resistance to tearing:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2000 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 12311 Flexible sheets for waterproofing. Determination of tensile properties:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2000 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 12316 Flexible sheets for waterproofing. Determination of peel resistance of joints:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2000 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 12317 Flexible sheets for waterproofing. Determination of shear resistance of joints:

Part 1: 2000 Bitumen sheets for roof waterproofing.

Part 2: 2000 Plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

BS EN 12591: 2000 Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens.

BS EN 12691: 2006 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of resistance to impact.

BS EN 12697: 2005 Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt.

BSEN12730: 2001 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of resistance to static loading.

BS EN 13055 Lightweight aggregates:

Part 2: 2004 Lightweight aggregates for bituminous mixtures.

BS EN 13108 Bituminous mixtures. Material specification:

Part 1: 2006 Asphalt concrete.

Part 2: 2006 Asphalt concrete for very thin layers.

Part 3: 2006 Soft asphalt.

Part 4: 2006 Hot rolled asphalt.

Part 5: 2006 Stone mastic asphalt.

Part 6: 2006 Mastic asphalt.

Part 7: 2006 Porous asphalt.

Part 8: 2006 Reclaimed asphalt.

BSEN13416: 2001 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing.

Rules for sampling. BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

Part 3: 2005 Classification using data from fire resistance tests on products and elements used in building service installations.

Part 4: 2007 Classification using data from fire resistance tests on components of smoke control systems.

Part 5: 2005 Classification using data from external fire exposure to roofs tests.

BSEN13583: 2001 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Hail resistance.

BSEN13707: 2004 Flexible sheets for waterproofing. Reinforced bitumen sheets for waterproofing. Definitions and characteristics.

BS EN 13859 Flexible sheets for waterproofing. Definitions and characteristics of underlays:

Part 1: 2005 Underlays of discontinuous roofing.

Part 2: 2004 Underlays for walls.

BS EN 13924: 2006 Bitumen and bituminous binders. Specification for hard paving grade bitumens.

BS EN 13948: 2007 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of resistance to root penetration.

BSEN13956: 2005 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Definitions and characteristics.

BSEN13969: 2004 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen damp-proof sheets.

BSEN13970: 2004 Flexible sheets for waterproofing. Bitumen vapour control layers.

BSEN13984: 2004 Flexible sheets for waterproofing. Plastic and rubber vapour control layers.

CP 153 Windows and rooflights:

Part 2: 1970 Durability and maintenance.

DD ENV 1187: 2002 Test methods for external fire exposure to roofs.

PD 6484: 1979 Commentary on corrosion at bimetallic contacts and its alleviation.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 419: 1996 Flat roof design: bituminous waterproof membranes.

BRE Digest 486: 2004 Reducing the effects of climate change by roof design.

BRE Digest 493: 2005 Safety considerations in designing roofs.

BRE Digest 499: 2006 Designing roofs for climate change. Modifications to good practice guidance.

BRE Good building guides

BRE GBG 36: 1999 Building a new felted flat roof.

BRE GBG 43: 2000 Insulated profiled metal roofs.

BRE GBG 51: 2002 Ventilated and unventilated cold pitched roofs.

BRE Information papers

BRE IP 8/91 Mastic asphalt for flat roofs: testing for quality assurance.

BRE IP 7/95 Bituminous roofing membranes: performance in use.

BRE IP 7/04 Designing roofs with safety in mind.

BRE Report

BR 302: 1996 Roofs and roofing.

ADVISORY ORGANISATIONS

European Liquid Waterproofing Association, Roofing House, 31 Worship Street, London EC2A 2DX, UK (020 7448 3859).

Flat Roofing Alliance, Roofing House, 31 Worship Street, London EC2A 2DX, UK (020 7448

3857).

Institute ofAsphalt Technology, PaperMews Place, 290 High Street, Dorking, Surrey RH4 1QT, UK (01306 742792).

Livingroofs, 7 Dartmouth Grove, London SE10 8AR, UK (020 8692 2109).

Mastic Asphalt Council, PO Box 77, Hastings, East Sussex TN35 4WL, UK (01424 814400).

Metal Cladding and Roofing Manufacturers Association, 18 Mere Farm Road, Prenton, Wirral, Chesire CH43 9TT, UK (0151 652 3846).

National Federation of Roofing Contractors Ltd., 24 Weymouth Street, London W1G 7LX, UK (020 7436 0387).

Roofing Industry Alliance, Roofing House, 31Worship Street, London EC2A 2DX, UK (020 7448 3857).

Single Ply Roofing Association, Roofing House, 31 Worship Street, London EC2A 2DY, UK (0115 914 4445).

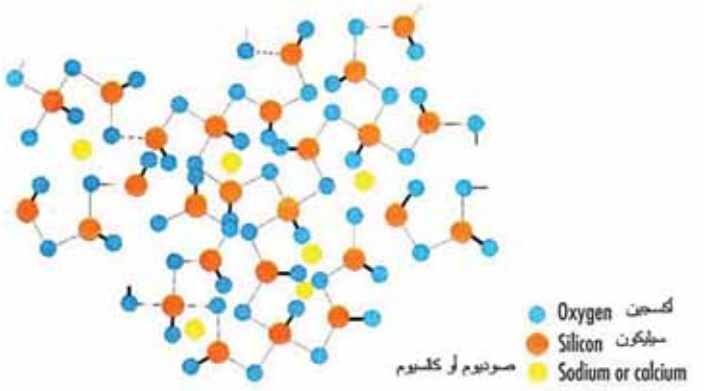
7

الزجاج

مقدّمة

يشير مصطلح الزجاج (Glass) عادة إلى مزيج من أكاسيد معدنية، وخاصة السيليكا (Silica) الذي لا يتبلور (Not Crystallize) عندما يبرد من الحالة السائلة إلى الحالة الصلبة. هذه هي حالة الزجاج غير المتبلور (Non-Crystalline) أو البنية اللابلورية (Amorphous Structure) (الشكل 1.7) التي تمنح الزجاج شفافيته.

عرف الزجاج المصنوع من الرمل والحجر الكلسي ورماد الصودا (Soda Ash) في مصر منذ 5000 سنة، بالرغم من أن أصله على الأرجح من أشور (Assyria) وفينيقيا (Phoenicia). وقد استعمل أقدم زجاج من صنع الإنسان لتزجيج الخرز الحجري (Glaze Stone Beads)، ثم في ما بعد لصنع الخرز الزجاجي (Glass Beads) (نحو 2500 ق. م.)، غير أنه لم يستعمل في صنع الأواني الزجاجية المجوّفة (Hollow Vessels) حتى 1500 ق. م.



(الشكل 1.7) بنية الزجاج.

ظلّ الزجاج يصنع لعدة قرون بإخراج مادته المنصهرة من فرن، ثم دحرجتها أو ضغطها في قوالب مناسبة ثم تشكيلها بقصها وصقلها (Grinding). وابتكرت تقنية نفخ الزجاج في بلاد آشور نحو 300 قبل الميلاد، وطورها الرومان أكثر بنفخ الزجاج داخل قوالب. إلا أنّه في العصور الوسطى أنتجت بلاد الراين (Rhineland) زجاجاً يحتوي على البوتاس (كربونات البوتاسيوم) (Potash) المستخلص من حرق الخشب بدلاً من رماد الصودا. ومع زيادة محتوى الزجاج من الكلس تمّ التوصل إلى منتج أقل ديمومة تسبّب في تدهور (Deterioration) لاحق لزجاج بعض الكنائس العائدة لتلك الحقبة.

تشتق الألوان المختلفة في الزجاج من إضافة مركبات معدنية إلى المادة المنصهرة. ومن ثم الحصول على اللون الأزرق بإضافة الكوبالت (Cobalt)، في حين يعطي النحاس لونا أزرق أو أحمر، ويعطي الحديد أو الكروم (Chromium) اللون الأخضر. وفي القرن الخامس عشر أنتج الزجاج الأبيض غير الشفاف (Opaque) (الكامد) بإضافة القصدير (Tin) أو الزرنيخ (Arsenic)، وفي القرن السابع عشر أنتج الزجاج الياقوتي الأحمر (Ruby Red Glass) بإضافة كلوريد الذهب (Gold Chloride). ولا يمكن الحصول على الزجاج الصافي (Clear) إلا باستعمال الإثمد (Antimony) أو المنغنيز (Manganese) كمزيلين للألوان (Decolouriser) للتخلص من التلوين الأخضر الذي تسببه شوائب الحديد في الرمل.

في أواخر القرن العشرين ومع إدخال الواجهات الزجاجية بالكامل، كما يبدو في مبنى كلية الحقوق في جامعة كامبردج (الشكل 2.7)، غدت صناعة البناء المستهلك الرئيسي للزجاج الحديث، والقوة المحركة في تطوير سلع جديدة. ويشتمل المعيار (Bs 952-1: 1995) على تصنيف للمجال الواسع من المواد الزجاجية المستعملة في صناعة البناء.

يجري في المملكة المتحدة سنوياً تدوير آلاف الأطنان من الزجاج، وما هي إلا نفايات منزلية بشكل رئيسي، لذا لا يمكن استعمالها لإنتاج زجاج النوافذ الذي يتطلب موادّ نقية. علاوة على أن نفايات الزجاج المعماري متنوعة التركيب، وفيها ملوثات بالأسلاك وموانع التسرب والزجاج الخاص، وهذا ما يجعلها كسارة (Cullet) غير صالحة لإعادة التصنيع من دون فرز دقيق. ومع ذلك يُعاد تدوير الكسارة النظيفة الناتجة عن شركات معالجة الزجاج، الذي قد يتضمن الزجاج العائم (Float Glass) الجديد على نسبة حتى 30% من المواد الزجاجية المدورة

(المعاد تصنيعها)، مقتصدة إلى درجة كبيرة بالطاقة ومخففة من انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون. وتستهلك إعادة صهر كسارة الزجاج النقية طاقة أقل بنسبة 25% من الطاقة اللازمة لصنع كمية مماثلة من الزجاج الجديد باستخدام المواد الخام. أضف إلى ذلك التوفير في استخراج المواد الخام الجديدة. أما ما يفيض من الزجاج المدور، غير اللازم لصنع القوارير، فيستعمل لرصف السطوح التزيينية (Decorative Paving Surfaces) وفي صناعة الآجُرّ والقرميد.

(الشكل 2.7) واجهة زجاجية، كلية الحقوق ـ جامعة كامبريدج.

بينت التجارب الحديثة على نفايات الزجاج المنزلي المسحوقة (Pulverized) أنه عند تمديدها (Expanded) بثاني أوكسيد الكربون الناتج من إضافة كربونات الكالسيوم أو المغنيزيوم أو الفحم الأسود (Carbon Black) يتم الحصول على مادة يمكن استعمالها كحصى (Aggregate) خفيف الوزن في الخرسانة. وإنّ التمديد بنسبة 15 ـ 20 ضعفاً يعطي منتجاً حبيبياً (Granular) تتراوح كثافته بين 200- 900 kg/m^3.

التصنيع

تركيب الزجاج

زجاج السيليكات والكلس والصودا

يصنع الزجاج الحديث من الرمل (السيليكا (Silica)) ورماد الصودا (كربونات الصوديوم (Sodium Carbonate)) والكلس (كربونات الكالسيوم (Calcium Carbonate) مع إضافات قليلة من الكعك الملحي (كبريتات الكالسيوم (Calcium Sulphate) والدولوميت (Dolomite) (الحجر الكلسي المغنيزي (Magnesian Limestone). ويعطي ذلك مركباً نهائياً مؤلّفا عادة من 70-74% سيليكا و12-16% أوكسيد الصوديوم و 5-12% أوكسيد الكالسيوم و2-5% أوكسيد المغنيزيوم، مع مقادير ضئيلة من أكاسيد الألومنيوم والحديد والبوتاسيوم. كما أن إضافة 25% من الزجاج المكسّر (Broken Glass) أو **كسارة الزجاج** (Cullet) إلى الفرن يسرِّع في صهر المزيج وتدوير فضلات الإنتاج. ويتوافر معظم هذه المواد الخام في المملكة المتحدة، مع أنه يتم استيراد بعض الدولوميت. وتتطلب عملية الإنتاج طاقة كبيرة تبلغ 15000 (kwh) ـ للمتر المكعب Kwh/m^3 (بالمقارنة مع الخرسانة التي تحتاج إلى 625 (kwh) (m^3) غير أن ما تسترده البيئة (Environmental Pay Back) يتجلّى باستعماله المناسب في تصميم الواعية لترشيد الطاقة. ويمكن تقسية زجاج السيليكات والكلس والصودا بعملية تبادل الإيونات (Ion Exchange Process) التي تستبدل الإيونات صغيرة السطح بأخرى ذات سطح أكبر، وبذلك تنضغط أسطح الزجاج وحوافه.

زجاج السيليكات الترابية القلوية، وزجاج البوروسيليكات والزجاج الخزفي

تشمل المنتجات الزجاجية الأخرى التي تستعمل في البناء زجاج السيليكات القلوية الترابية (Alkaline Earth Silicate) وزجاج البوروسيليكات (Borosilicate).

حيث تملك هذه المنتجات تركيباً كيميائياً مختلفاً يكون سبباً في خصائصها الفيزيائية التي تمتاز بها. ويتركّب زجاج السيليكات الترابية القلوي تقليدياً من 55-70% سيليكا و5-14% أوكسيد البوتاسيوم و3-12% أوكسيد الكالسيوم و0-15% أوكسيد الألومنيوم مع كميات من أكاسيد الزركونيوم (Zirconium) والسترونتيوم (Strontium) والباريوم (Barium Oxides). أما زجاج البوروسيليكات فيتألف تقليدياً من 70-78% سيليكا و0-8% أوكسيد الصوديوم و0-8% أوكسيد البوتاسيوم و7-15% أوكسيد البورون (Boron) و0-8% أوكسيد الألومنيوم مع مقادير صغيرة من بقية الأكاسيد. ويمتاز زجاج البوروسيليكات بشكل خاص بأن له معامل تمدّد (Coefficient Of Expansion) يعادل ثلث ما للزجاج المعياري المؤلّف من السيليكا والكلس والصودا، مما يجعله أكثر مقاومة للصدمات الحرارية في حال نشوب حريق.

يتصف الزجاج الخزفي (Ceramic Glass) بمعامل تمدد يقترب من الصفر، مما يجعله عالي المقاومة للصدمة الحرارية. وتركيبه معقد، ويتألف تقليدياً من 50- 80% سيليكا و15-27% ألومينا ومقادير ضئيلة من أوكسيد الصوديوم وأوكسيد البوتاسيوم وأوكسيد الباريوم (Barium) وأوكسيد الكالسيوم وأوكسيد المغنيزيوم وأوكسيد التيتانيوم (Titanium) وأوكسيد الزركونيوم وأوكسيد الزنك (Zinc) وأوكسيد الليثيوم (Lithium) وغيرها من المكونات الضئيلة جداً. تم إنتاج هذا الزجاج في البداية بتقنيات التعويم (Float Technique) أو الدحرجة (Rolling Technique) المعيارية، ولكن المعالجة الحرارية اللاحقة تحول جزءاً من مرحلة الزجاج العادية إلى شكل بلوري ناعم الحبيبات (Fine-Grained Crystalline) مما يعطيه خصائصه الفيزيائية المحددة. يتمتع الزجاج الخزفي بدرجة تليين عالية (High Softening Point) بالمقارنة مع المنتجات الزجاجية الأخرى المستعملة في البناء.

عمليات التشكيل

الطرائق القديمة

كان الزجاج الملكي (Crown Glass) القديم يشكل بتدويم (Spinning) كتلة (Gob) أسطوانية مقدارها 4 kg. من الزجاج المصهور معلقة في نهاية أنبوب نفخ (Blow Pipe). وكان الزجاج المصمت (Solid Glass) ينفخ ويبسط (Flattened Out) ثم ينقل إلى قضيب مصمت من الحديد يسمى بُنتِ (Punty). وبعد إعادة تحميته

يدوّم الزجاج حتى يتسطح على شكل قرص (Disc) قطره 1.5 m. يكتنف هذه العملية قدر كبير من الفاقد بما فيه السبيكة في المركز التي تعد اليوم قطعة ثمينة. ثمة عملية بديلة تشمل نفخ أسطوانة الزجاج ثم فلقها وتسطيحها في أتون (Kiln). وقد استعملت هذه العملية في صنع زجاج قصر الكريستال (The Crystal Palace) في عام 1851.

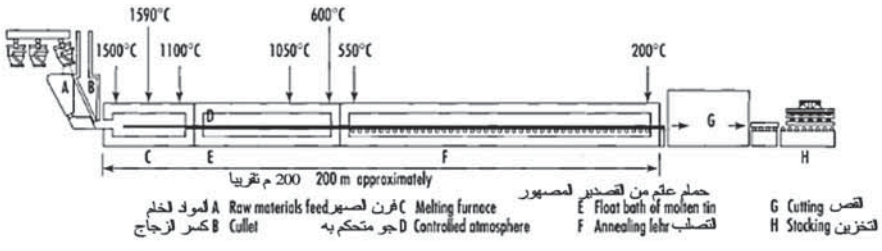
في تطور كبير لاحق تم تنزيل طُعم معدني (Metal Bait) أسطواني في حوض الزجاج المصهور ثم سحبه ببطء ليجر وشاحاً أسطوانياً (Cylindrical Ribbon) من الزجاج ارتفاعه 13 m. تتمّ المحافظة على قطر الأسطوانة بوساطة الهواء المضغوط. وبعد ذلك تفصل الأسطوانة المكتملة وتشق ثم تسطح للحصول على زجاج النوافذ المسطح.

لم تتوافر إمكانية إنتاج الزجاج المسطح مباشرة إلاّ في مطلع القرن العشرين بعد تطوير طريقة فوركو (Fourcault Process) في بلجيكا وطريقة كولبورن في أميركا (Colburn Process). وتشتمل هذه الطريقة على جر طعم مستقيم (Straight Bait) شاقولياً من حوض الزجاج المصهور للحصول على وشاح زجاجي ثم سحبه مباشرة إلى برج، أو إدارته أفقياً في طريقة كولبورن، من خلال سلسلة من الأسطوانات ثم يقطّع في نهاية المطاف إلى الأطوال المناسبة. غير أن هذا الزجاج اللوحي المسحوب يعاني من تشوهات صنعية. وتمّ التغلب على هذه المشكلة بإنتاج الزجاج الصفائحي (Plate Glass) الذي يشمل على سكب الزجاج أفقياً (Horizontal Casting) وسحبه (Rolling) ثم تنعيم سطحه (Grinding) لإزالة التشوهات، ويلي ذلك تلميعه (Polishing) للحصول على منتج نقي شفاف ولكنه مرتفع الثمن. وأصبحت هذه العملية في النهاية مؤتمتة على خط إنتاج ينعّم فيه الزجاج من وجهيه في آن واحد. وقد غدت الآن عملية تصنيع الزجاج الصفيحي عتيقة، وحلت محلها عملية الزجاج العائم (Float Process) التي ابتكرها بيلكينغتون (Pilkington) عام 1952 وطوّرت تجارياً بحلول العام 1959. ولا ينتج الزجاج المسحوب اليوم إلا لأشغال التجديد التي تتطلب وجود فقاعات غازية ومحتويات صلبة في الزجاج لمحاكات المواد التاريخية.

الزجاج العائم

يحضر الزجاج العائم في فرن ينتج زجاجاً مصهوراً باستمرار بدرجة حرارة تقارب 1100 مئوية، طافياً على سطح حمّام كبير ضحل من القصدير المصهور

(Molten Tin) في جوّ من الهيدروجين والنيتروجين يمنع تأكسد سطح المعدن المصهور (الشكل 3.7). ويتحرك الوشاح الزجاجي خلال المعدن المصهور في البدء في درجة حرارة عالية بما فيه الكفاية ليُزال عدم الانتظام (Irregularities) من كلا السطحين تاركاً وشاحاً مسطحاً ومتوازياً من الزجاج. وتخفض درجة حرارة الزجاج تدريجياً أثناء تقدمه فوق القصدير المصهور حتى يتصلب كفاية عند نهاية الحوض في درجة حرارة 600 مئوية بحيث لا يتشوه عندما يُسند إلى الأسطوانات. حيث يتمّ التحكم في السماكة من طريق سرعة سحب الزجاج من الحمام. وتزال أية إجهادات متبقية عندما يمر الزجاج خلال فرن إحماء (Annealing Lehr) طوله 200 m ليخرج مادة مصقولة بالنيران. يُغسل الزجاج بعد ذلك وتستبعد المواد التي لا تحقق المعيار ليعاد تدويرها. ويتولى الحاسوب ضبط قص الزجاج بالعرض أولاً ثم الحواف يليه التكديس فالتخزين ثم التوزيع. وينتج مصنع الزجاج العائم التقليدي 5000 طن من الزجاج في الأسبوع ويعمل من دون انقطاع لعدة سنوات.



(الشكل 3.7) عملية الزجاج العائم.

يصنع الزجاج العائم من أجل صناعة البناء بسماكات تراوح بين 2 ـ 25 mm، مع أنه يتوفر زجاج بسمك 0.5 mm للصناعة الإلكترونية. وتنتج أنواع كثيرة من الزجاج المعدل السطح بإضافة شوارد (إيونات) معدنية إلى الزجاج خلال مرحلة العوم، أو في الخلاء، عن طريق الرذ المهبطي (Cathodic Sputtering) المعزّز مغنطيسياً، أو من طريق رشّ السطح بأكاسيد معدنية أو بالسيليكون. كما يصنع الزجاج ذو الجسم الملون، المنتظم اللون، بمزج أكاسيد المعدن بالصهارة المعيارية. ويوفر استخدام عمليات الصهر الكهربائية بالكامل إمكانية تحكم عالية بالجودة كما أنها أقل تلويثاً للبيئة من الأفران التي تحرق الوقود السائل أو الغاز.

المنتجات الزجاجية غير اللوحية

الألياف الزجاجية

الخيوط المتواصلة

تصنع ألياف الزجاج المتواصلة بتغذية مستوقد أمامي (Forehearth) مزود بـ 1600 ثقب دقيق بالزجاج المصهور الخارج من الفرن بانتظام. يُسحب الزجاج من تلك الثقوب بسرعة بضعة آلاف الأمتار في الثانية. حيث تمرّ هذه الألياف (قطرها صغير حتى 9 ميكرومتر) على مقياس مطابقة الحجم (Size Applicator) لتجمع بعضها مع بعض في حزمة (Bundle) قبل أن تلف على طوق (Collet). ويمكن بعد ذلك استعمال هذه الحزم حبالاً (Rovings) أو ضفائر مقطّعة (Chopped Strand) أو حصائر من ضفائر محبوكة (Woven Strand Mats) لإنتاج المواد المسلّحة بألياف الزجاج، مثل البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (Glass-Fibre Reinforced Polyester (GRP)، أو الإسمنت المسلح بالألياف الزجاجية أو الجص المسلح بالألياف الزجاجية (انظر الفصل 11).

الصوف الزجاجي

يصنع الصوف الزجاجي بالطريقة الملكية الموصوفة في الفصل 13.

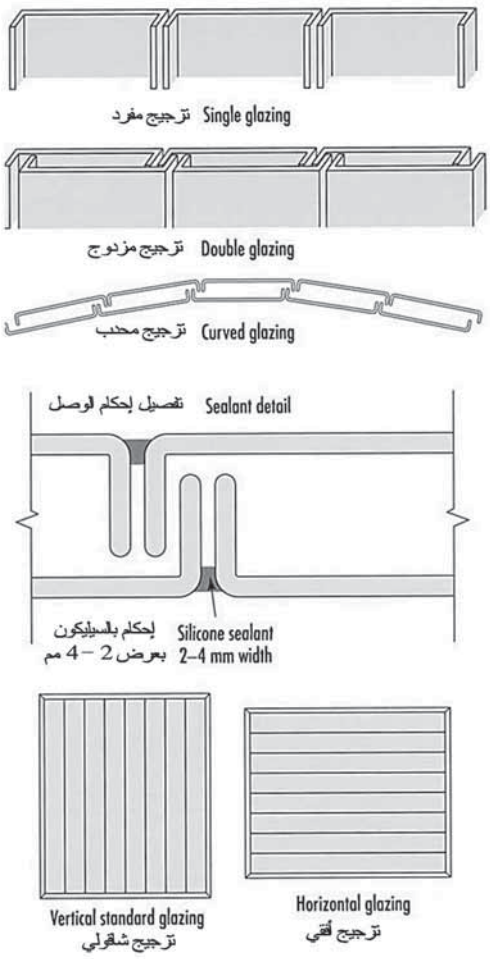
الزجاج الصب (السكب)

يمكن صبّ الزجاج وضغطه بأشكال من البلوك الزجاجي أو بمقاطع مشكلة بالبثق.

المقاطع الزجاجية المكيّفة الشكل

تصنع المقاطع على شكل مجراية (Profile Trough Sections) من الزجاج المصبوب الصافي أو الملون بسمك 6 أو 7 mm، وبعرض يراوح بين 232 وحتى 498 mm، وبعمق 41 إلى 60 mm، وبطول حتّى 7 m، مع أسلاك طولية من فولاذ لا يصدأ أو من دونها (الشكل 4.7) (المعيار Bs En 572-7: 2004). ويمكن استعمال هذه المنظومة شاقولياً أو أفقياً وبالزجاج المفرد (Single Glazing) أو المزدوج (Double Glazing)، كما يمكن استعمالها كمنظومة تسقيف (Roofing System) بمجاز حتى 3 m. وكذلك يمكن استعمالها في تشييد محدب كبير القطر

(Large Radius Curve) إضافة إلى المنظومة المستقيمة العادية بوصلات تناكب (Butt Joint)، ويتم ختم الوصلات بجزء واحد من السيليكون شبه الشفاف. ولمنظومة الزجاج المضاعف المعيارية القيمة U مقدرة بـ $W/M^2\ K$ 2.8، غير أنه يمكن تعزيزها إلى $W/M^2\ K$ 1.8 باستعمال الزجاج المطلي المنخفض الانبعاث (Low-Emissivity). وتتوفر أنواع بلون الكهرمان (Amber) أو الأزرق المعتم للتحكم بأشعة الشمس أو لأسباب جمالية. وتؤمّن منظومة الزجاج المزدوج عادة تخفيفاً للصوت من 40 ديسبل في المجال 100 ـ 3200 هيرتز.



(الشكل 4.7) مقاطع زجاج مكيّف الشكل.

إن إدماج ألواح البولي ـ كربونات المعزولة بهلام هوائي شبه الشفافة (Translucent Aerogel Insulated Polycarbonate Panels) بسمك 16 mm في وحدات المقاطع الزجاجية على شكل مجراية يزيد كثيراً من خصائص عزلها الحراري. كما تتحسن عازليتها للأصوات المحمول بالهواء وبالأخص عند التردد الأقل من 500 هيرتز. أما انتقال الضوء خلال ألواح الهلام الهوائي شبه الشفاف فيقارب 50%، غير أن انتقال الأشعة فوق البنفسجية يساوي الصفر (الهلام الهوائي موصوف في الفصل 13، المواد العازلة).

بلوكات الزجاج

تصنع بلوكات الزجاج للجدران غير الحاملة والقواطع الداخلية بصب نصفي بلوكة بدرجة حرارة 1050 مئوية ثم جمعهما بدرجة حرارة 800 مئوية، ويتم بعد ذلك تلدنها بدرجة حرارة 560 مئوية. ويخلى الحيز الفارغ جزئياً بحيث يعطي القيمة U بما يعادل 5.2 W/m^2K. فالبلوكات المعيارية مربعة (الشكل 5.7) طول ضلعها 115، 190، 240، و300 mm بسماكة 80 و100 mm، ومع ذلك تتوافر بلوكات مستطيلة ومستديرة. يمكن أن تكون الجدران محدبة كما هو مبين في الشكل 5.7. ويشتمل تنوع أنماط البلوك الذي يعطي درجات مختلفة من الخصوصية على البلوك الزجاجي الصافي والمتجلد (المغبش) (Frosted) والفلمنكي والمقصب (Reeded) والبلوري بألوان تراوح بين الأزرق والأخضر والرمادي والقرمزي والذهبي. وتقدّم البلوكات ذات الزجاج العاكس للشمس أو الذي يحتوي ألياف زجاجية بيضاء تحكّماً إضافياً بأشعة الشمس. ويمكن إضافة اللون إلى طلاء الحواف أو إلى الزجاج نفسه. ويتوفر بلوك خاص لتشكيل الزوايا وكذلك للنهايات من أجل التهوية.

للتطبيقات الخارجية ولتأخير الحريق، يستعمل الملاط الطبيعي أو الملون (جزءان إسمنت بورتلاندي، وجزء حجر كلسي وثمانية أجزاء رمل) للربط بين البلوكات. ويمكن أن تكون الجدران مستقيمة أو محدودبة، وفي هذه الأخيرة يختلف نصف القطر وفقاً لحجم البلوك والمواصفات التي يقدمها المصنّع. حيث يتوافر بلوك مضاد للتخريب ومضادة للرصاص (Bullet-Proof) وذلك للحالات التي تتطلّب أمناً أكبر. ومن أجل الاستعمال الداخلي يمكن أن يشيد البلوك بوساطة رابط إحكام غير الملاط. ويتوافر حالياً البلوك الزجاجي كألواح مسبقة التشكيل من أجل التركيب بسرعة أكبر.

(الشكل 5.7) بلوكات الزجاج

يوفر البلوك الزجاجي المثبت بالملاط مقاومة للنيران بما يقارب 60 دقيقة بالنسبة للسلامة، 15 (F15) أو 30 (TF30) أو 60 دقيقة (TF60) بالنسبة للعزل وفقاً للمعيار (BS EN 1364-1: 1999). ويصنع البلوك المانع للنيران (TF30) من زجاج سمكه 26 mm بدلاً من 8 mm ليوفر حماية أكبر. حيث يخفض البلوك المعياري الأصوات في المجال 100 - 3150 هيرتز عادة إلى 40 ـ 42 ديسبل، أمّا البلوك TF30 فيخفّف الصوت حتى 45 ـ 49 ديسبل. ويراوح انتقال الضوء المرئي بين 85% نزولاً إلى 77% بحسب نمط البلوك وحجمه ولكن هذا ينخفض حتى 60% للبلوك الملون.

بلاط الرصف الزجاجي

يتم صبّ بلاط الرصف الزجاجي إما كبلوك (Blocks) أو كقشريات (Shells) من طبقة مفردة، أو كبلوك مجوف (Hollow) حين يكون العزل مطلوباً. الحجم

المعياري مربع 120 و150 و190 mm بسماكة 55 أو60 أو80 mm للقشريات ذات الطبقة المفردة، و80 و100 و160 mm للبلوك العازل ذي الطبقة المزدوجة. يراوح حجم البلوك المربع الوحيد الطبقة بين 90 و300 mm بسماكة تراوح عادة بين 18 و38 mm. يمكن أن يكون سطح الزجاج أملس أو ذا نسيج (Textured) منعاً للتزحلق. يتطلّب التركيب في الموقع بنية من الخرسانة المسلحة تسمح بوصلات بين البلوكات المتجاورة بعرض 30 mm وبفواصل تمدّد مناسبة على محيط الألواح (Panels). تقدّم الألواح مسبقة الصنع معياراً أعلى من ضبط الجودة وسرعة في التركيب. كما يمكن استعمالها لابتكار ملامح معمارية، مثل القباب والعقود المقنطرة المضاءة طبيعياً.

الزجاج الخلوي أو الرغوي

إن تصنيع الزجاج الخلوي أو الرغوي كمادة عازلة موصوف في الفصل 13.

المنتجات اللوحية

المقاييس المعيارية للزجاج العائم

السماكة المعيارية للزجاج العائم هي 3 و4 و5 و6 و8 و10 و12 و15 و19 و25 mm والمقاييس الأقصى للألواح 12 m 3 x m. وتتوافر درجات أكثر سمكاً من الألواح الأصغر حجما، (القيمة U للزجاج العائم المعياري ذي السماكة 6 mm هي $5.7W/m^2 K$).

الزجاج التقليدي المصنع بالنفخ والسحب

الزجاج المنتج بالنفخ والسحب متوفّر تجارياً، إمّا صافٍ أو بطيف واسع من الألوان. والزجاج المسحوب بحجم حتّى 1200 x 1600 mm يكون صافياً وشفافاً بصرياً، ولكن سماكاته تتفاوت بين 3 و5 mm، وهو مناسب لأشغال الصيانة التي تحتاج إلى تبديل الزجاج القديم. ويحتوي الزجاج المنتج بالنفخ على كميات مختلفة من فقاعات هوائية، وله كذلك سماكات مختلفة تمنحه مظهراً عتيقاً. وحيثما يلزم الزجاج الصفيحي، بسبب تفاوت السماكات، يمكن لصق هذا الزجاج التقليدي فقط بالزجاج العائم بلاصق راتنجي.

الزجاج اللوحي المحدّب

يحدّد المعيار (BS 952-2: 1980) درجة تقوّس الزجاج المعياري. ويمكن أن

يصنّع الزجاج المحدب بتحمية الزجاج الملدن حتى درجة الحرارة 600 مئوية تقريباً، وعندما يلين يرتخي منحنياً ليأخذ شكل القالب الذي يحمله. يمكن حني ألواح الزجاج التي مقاسها 3x4 m أو 2x5 m باتجاه واحد أو بالاتجاهين. والسماكات المعيارية هي بين 4 و19 mm، ويمكن تحقيق تقوّس كبير من أجل الزجاج المطلوب للمظهر المعماري. كذلك يمكن بهذه التقنية حني الزجاج التزييني والزجاج الملون والأبيض الصافي والزجاج المطلي حرارياً (Pyrolytic Coated) الواقي من أشعة الشمس. ويمكن أن يُسفع الزجاج المحني بعد ذلك بالرمل (Sand-Blasted) وأن يقسى، أو أن يصنع في صفائح بإدماج طبقات بينية (Interlayers) ملوّنة إذا لزم الأمر.

الزجاج الذاتي التنظيف

للزجاج الذاتي التنظيف طلاء صلب غير مرئي سمكه 15 (µm) يشتمل على سمتين خاصتين. فالسطح الذي يحوي ثاني أوكسيد التيتانيوم يكون ذا تحفيز ضوئي (Photocatalytic) يمتص الأشعة فوق البنفسجية التي تحلل، مع أوكسجين الهواء، أي تلوث عضوي على السطح أو تفكّكه. كذلك يعد هذا السطح محبا للماء (Hydrophilic)، ما يجعل ماء المطر ينتشر بالتساوي على السطح بدلاً من سيلانه على شكل قطرات، وبالتالي يغسل السطح بشكل منتظم، ويمنع حدوث خطوط أو بقع مشوهة للمنظر عندما يجف السطح. للزجاج ذاتي التنظيف ظهر عاكس (Mirror Effect) أكثر قليلاً من الزجاج العائم العادي مع لون أزرق خفيف. وهو متوافر كزجاج ملدن عادي وكذلك على شكل مقسى أو صفيحي. أمّا الطلاء السطحي، الذي يخفف من شفافية الزجاج بنسبة 5%، فهو صلب كفاية، غير أنه مثله مثل أي زجاج آخر، يمكن أن يتأذّى بالخدش. ثمة نسخة زرقاء تتحكّم في ضوء الشمس، مناسبة للمستنبتات الزجاجية على الأسطح (Conservatory)، وتخفّف من حرارة الشمس بنسبة 60% تقريباً، وذلك بحسب سمك الزجاج المستعمل وتجميعه في نظام الزجاج المزدوج.

الزجاج الأبيض الصافي

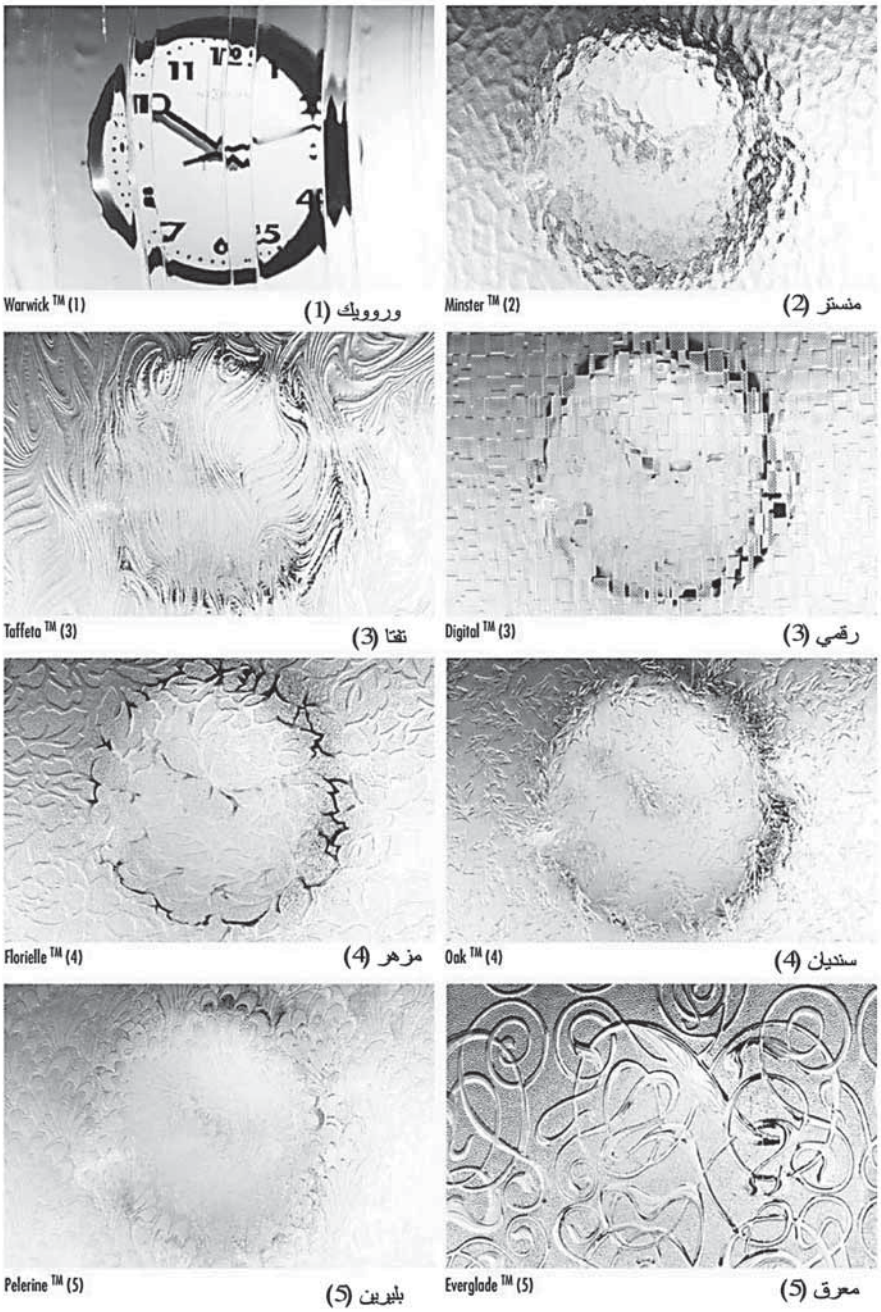
يميل لون الزجاج العائم المعياري للاخضرار قليلاً بتأثير شوائب أوكسيد الحديد في مادة الرمل الخام الأساسية. غير أنه يمكن إنتاج زجاج أبيض صاف، بثمن أعلى، باستعمال عناصر تنقية. فناقلية الزجاج الأبيض الصافي للضوء أعلى

بنسبة 2% من الزجاج العادي بسمك 4 و6 mm. وعلى العكس من الزجاج العادي الذي يبدو أخضر اللون عند حوافه المصقولة فإن الزجاج الأبيض الصافي عديم اللون. ويطلب استعماله عادة في الطبقة الخارجية من وحدات الزجاج المزدوج من الفئة A في تصنيف معدلات طاقة النوافذ (WER) (Window Energy Rating Classification).

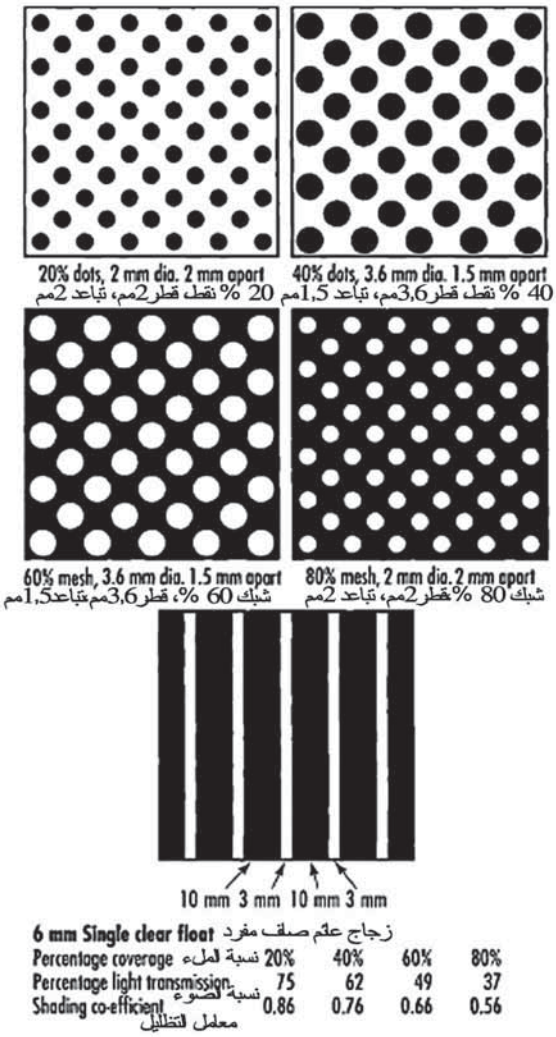
الزجاج المنمّط

ثمة مجال واسع من الزجاج المنمّط (المزيّن) بسماكة 3 و4 و6 و8 و10 mm متوافر تجارياً، ويقدم درجات مختلفة من عامل التغشية (Obscuration) بحسب عمق النمط وتصميمه كما هو مبين في الشكل 6.7. يختلف تصنيف عامل التغشية بين المصنعين، فهو ما بين 1 (الأقل حجباً) و5 (الأكثر حجباً) عند بيلكينغتون (Pilkington)، وبين 1 (الأكثر) و10 (الأقل) عند سانت غوبان (Saint Gobain). لا تعتمد درجة الخصوصية التي توفرها مختلف أنواع الزجاج على نمط واحد فقط، بل على مستويات الإضاءة النسبية على كلا جانبي الزجاج ومدى قرب أي غرض من الزجاج. أمّا أكبر حجم لألواح الزجاج المتوافرة فهو 3300x1880 mm.

يصنع الزجاج المنمّط وفق المعيار Bs En 572-5: 2004 من وشاح زجاج مصبوب منصهر يمرّ خلال زوج من الأسطوانات الدوارة تحمل إحداهما نقشاً (زخرفة) نافراً (Embossed). هناك أنماط نافرة جداً، مثل زجاج كوتسوولد (Cotswold) المعرّق، أو الزجاج المقصّب (Reeded)، يتوقف اتجاهها على خيارات الزبون، في حين يمكن أن تحتاج التصاميم الأكثر انسيابية إلى مطابقة مناسبة. ويمكن أن يقسى الزجاج المنمّط أو يصفح أو يدمج في وحدات الزجاج المزدوج من أجل العزل الحراري أو الصوتي أو من أجل اعتبارات الأمن. وثمّة مجال محدود متوافر من الزجاج الملون البرونزي. كذلك يتوافر الزجاج المنمّط بشبكة أسلاك عيونها مربعة 12.5 أو 25 mm (Bs En 572-6: 2004).



(الشكل 6.7) مختارات من الزجاج المنمط (ذي النسيج) مع عامل التغشية المناسب.



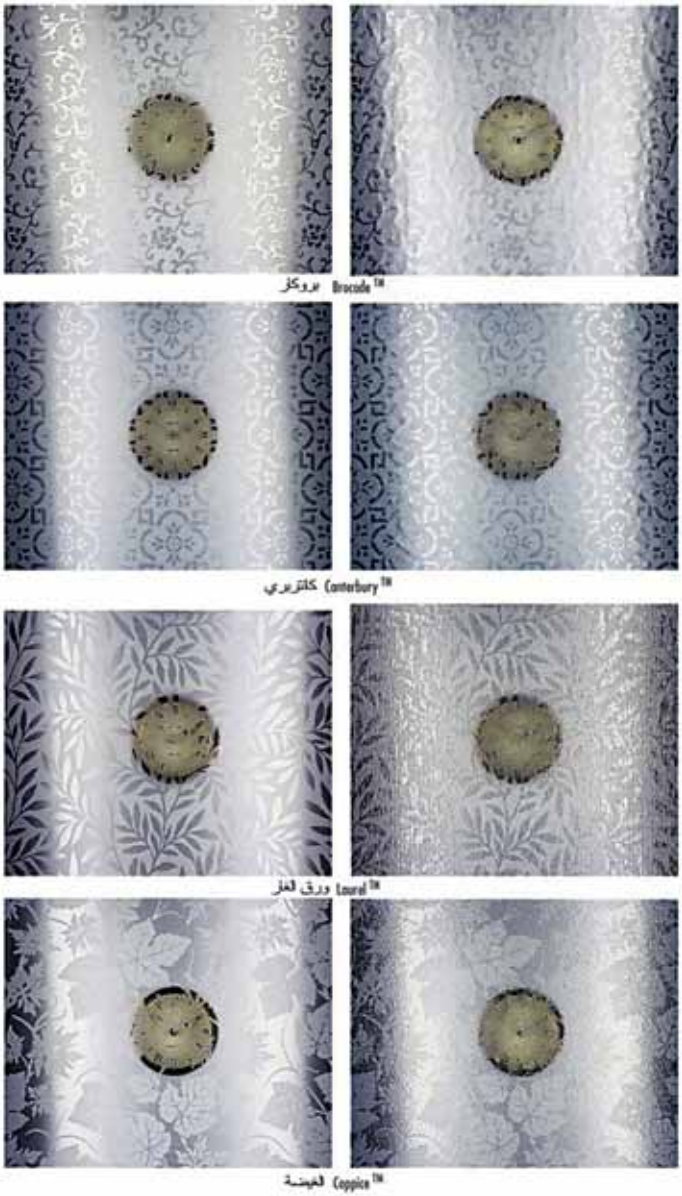
(**الشكل 7.7**) مختارات من الزجاج المنمط (ذي النسيج) مع عامل التغشية المناسب.

الزجاج المطبوع شبكياً

الفريت الخزفي (Ceramic Frit) الأبيض أو الملوّن عبارة عن شبكة مطبوعة على زجاج عائم صافٍ أو ملون ويقسّى بعد ذلك، ثم يشرب بواسطة الحرارة (Heat Soaked) فتنصهر المينا الخزفية وتندمج في سطح الزجاج. يمكن ابتكار نماذج معيارية أو تصاميم منفردة (الشكل 7.7) للحصول على المستوى المطلوب من ناقلية ضوء الشمس ومن الخصوصية. فالزجاج المطبوع شبكيّاً ثابت اللون، مقاوم للخدش يركّب بحيث يكون وجهه المطبوع من جهة الداخل في الحالات التقليدية. في حين

أن نمط شريط الزينة (Lace Pattern) على الزجاج المركّب لدى مخزن جون لويس (John Lewis Stor) في لايسستر (Leicester) فمطبوع على طبقتين من الزجاج ليعطي المنظر المطلوب عندما يرى جبهياً من داخل منفذ البيع بالمفرّق، ولكن عندما ينظر إليه بزاوية مائلة من مستوى الشارع ينزاح النمط مما يزيد في الخصوصية. وهذا النمط (الشكل 8.7) مستوحى من تاريخ مدينة لايسستر البريطانية المعروفة بصناعة النسيج والحياكة، وهي أيضاً من تقاليد جون لويس من حيث نوعية النسيج، وشفافية الساري الهندي الذي يرتديه السكان الآسيويون المحليّون.

(الشكل 8.7) واجهة من الزجاج المطبوع شبكياً - مخزن جون لويس، لايسستر.



(الشكل 9.7) مختارات من الزجاج المحفور.

الزجاج المزخرف المحفور والمسفوع بالرمل

الزجاج المحفور بالحمض (Acid Etched) بسمك 4 و6 mm متوافر بألواح حجمها الأقصى 2140x 1320 mm بمجال صغير من الأنماط (الشكل 9.7). معامل

التغشية لهذا الزجاج منخفض، ويجب ألا يستعمل في المناطق العالية الرطوبة حيث يسبّب تكاثف الماء فقدان معالم الحفر مؤقتاً. ويتطلّب الزجاج المحفور عناية في التعامل في الموقع، إذ تصعب إزالة الزيوت والدهون وعلامات الأصابع تماماً عنه. ويمكن أن يُقسى الزجاج المحفور أو يصفّح، إذ عندما يصفّح يجب أن يبقى الوجه المحفور من الجهة الخارجية للوح الزجاج للمحافظة على منظر الحفر. وعندما يستخدم في الزجاج المزدوج يكون الزجاج المحفور في الجهة الداخلية، بحيث يكون الحفر باتجاه الفراغ بين الطبقتين. ومن المهم كذلك مراعاة مطابقة الأنماط والاتجاه كما هو الحال في الزجاج النافر. حيث يمكن تحقيق منظر مماثل باستخدام تقنية السفع بالرمل (Sandblasting Techniques) مع أن إنهاء السطح سيكون أقل نعومة. وقد يبدو نمط الحفر أكثر وضوحا على خلفية الزجاج المتجلّد (المغبش) (Frosted)، أو بالعكس، وذلك بحسب المنظر الجمالي ومستوى الخصوصية المطلوبة. كما يتوفر زجاج منمط ومحفور معاً.

الزجاج الزخرفي الملون

زجاج النوافذ الملون التقليدي مركب بوساطة كامات من الرصاص (Lead Cames) ملحمة بشكل متقاطع ومربوطة بأسلاك إلى قضبان استناد محدبة (Saddle Bars). كان هذا زجاج يصنع من قِدر موحد (Uniform Pot) ملمع السطح أو مدهون. أما الشغل الحديث فيشمل تدعيماً إضافياً باستعمال خامات الرصاص مع نواة من الفولاذ وقضبان استناد محدّبة من برونز غير قابلة للتآكل أو من فولاذ لا يصدأ. وجهزت كنيسة بازيليكا بريود (Brioude) في فرنسا (الشكل 10.7) بمجموعة كاملة وغنيّة من زجاج النوافذ الملون ذي المنحى المحدَث، وتمّ تركيبه في عام 2008، وتراوح ألوانه بين الأزرق الفاتح والأحمر الفاقع والبرتقالي.

تم تحقيق مظهر ثلاثي الأبعاد بتثبيت الزجاج الملوّن المشطوف الحواف (Beveled) بلاصق حساس بالأشعة فوق البنفسجية إلى لوح زجاج صاف أو ملون، وغطيت الحواف الرقيقة (1.2 ـ 2.5 m) بشريط لاصق من الرصاص. يمكن كذلك تقليد مثل هذه المظاهر باستعمال فيلم من البوليستر أو الفينيل وشريط رصاصي ملصق بالأكريليك إلى لوح زجاج صاف. ويمكن تقسية الزجاج الأساس أو تصفيحه بحسب ما يناسب، أو يمكن إدماج صفيحة من الزجاج الزخرفي الملون في وحدات الزجاج المزدوج المعيارية. كذلك يمكن الحصول على مفعول الزجاج الملون باستعمال طبقة بينية من مادة البولي فينيل الملونة (Polyvinyl Butyral

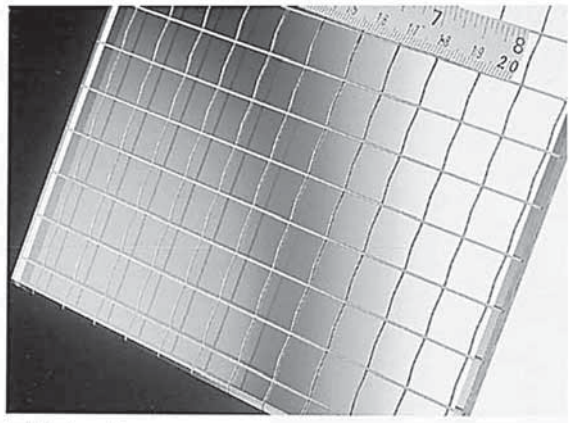
(Interlayer) بين صفائح الزجاج الصفيحي. كما يمكن الحصول على مختلف المؤثرات اللونية ودرجاتها بالجمع بين أربع طبقات بينية من ألوان مختلفة، وإذا لزم الأمر، يمكن استعمال أنماط مختلفة تشمل النمط المبقّع والشريطي والمربّع والمنقط. وتملك هذه الأنواع من الزجاج الصفيحي الملون والمنمط مقاومة الصدم نفسها والعزل الصوتي نفسه الذي للزجاج الصفيحي النقي المعياري ذي الأبعاد المماثلة.

(الشكل 10.7) زجاج ملون معاصر - بازيليكا سانت جوليان، مدينة بريود، فرنسا.

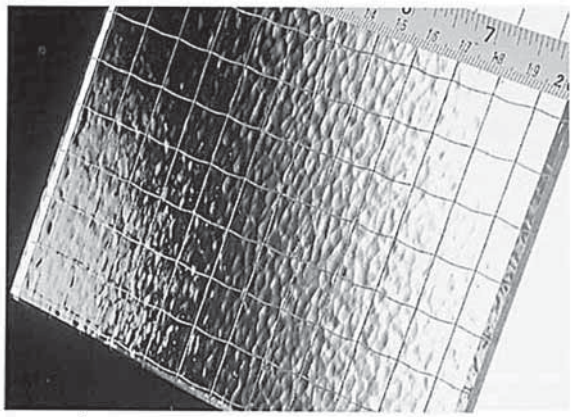
الزجاج الجورجي المسلّك

ينتج الزجاج الجورجي المسلّك (Bs En 572-3: 2004) من طريق مدّ شبكة من الأسلاك الفولاذية الملحومة كهربائياً بعيون أبعادها 13 mm كحشوة بين شريطين من الزجاج المصهور. ويعطي هذا الترتيب لوحاً معيارياً مصبوباً سمكه 7 mm، وهو سمكٌ مناسب حين تكون التغشية مطلوبة. بعد ذلك يصقل المنتج من أجل صفاء الرؤية بالرمل مع الماء ثم يلمّع بمسحوق صباغ الجواهري الأحمر (Jeweller's Rouge)، فيصبح سمك اللوح 6 mm (الشكل 11.7). ثم يمرّر كلا

النوعين، المصبوب والمصقول، على الضوء بنسبة 80%. ولا يعدّ الزجاج المسلّك أمتن من مثيله الزجاج الملدن بالسماكة نفسها، غير أنه عندما ينكسر تبقى القطع ممسوكة مع بعضها.



Polished ملمع



Cast سكب

(الشكل 11.7) الزجاج الجورجي المسلّك.

عند التعرّض للنيران تشتت (Dissipates) الشبكة الفولاذية بعض الحرارة، إلا أن الزجاج الجورجي ينهار في النهاية وخاصة إذا رشّ بالماء وهو حار. وعلى كل حال، فإن الشبكة السلكية تمسك الزجاج في مكانه، ولهذا تحافظ على كماله مما يمنع مرور الدخان واللهب. ويمكن أن يسبب الأذى العارض انكسار الزجاج ولكنه يبقى في موضعه بفضل الشبكة، على الأقل حتى تصدأ الأسلاك.

ويتوفر الزجاج الجورجي المسلك على شكل ألواح مقاسها 1985x3500 mm

(المصبوب) و 1985x3500 mm (المصقول). ويمكن بسهولة قصّه كما يمكن لصق صفائحه على زجاج من نوع آخر وبكمٍّ لا يمكن تقسيته. ولا يعد الزجاج الجورجي المعياري زجاجاً آمناً بحسب المعيار (Bs 6206: 1981) التي يحدِّد ثلاثة صنوف تتناقص درجة مقاومتها للصدم اعتباراً من الصنف A وحتى الصنف C. على كلّ حال، هناك زجاج صفيحي معيّن أو منتجات بأسلاك أكبر ثخانة تحقّق معايير مقاومة الصدم **للزجاج الآمن** طبقاً للمعيار (Bs 6206: 1981) ويجب أن توسم طبقاً لذلك. ويمكن بالتالي استعمالها في الأماكن التي تتطلّب زجاجاً آمناً وفقاً للجزء N من أنظمة البناء والمعيار (Bs 6262-4: 2005).

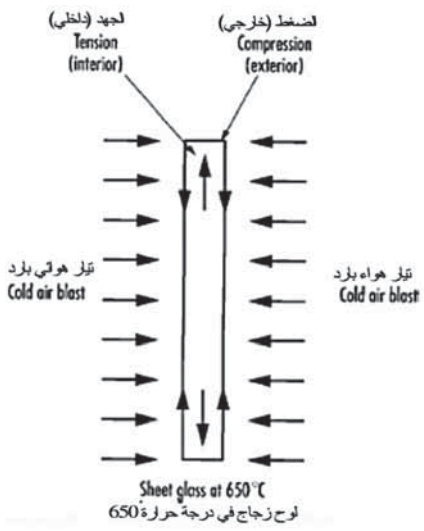
الزجاج المقسّى

الزجاج المقسّى (الشكل 12.7) أقوى من الزجاج الملدن المعياري بأربعة إلى خمسة أضعاف بالسماكة نفسها. ويُنتج بتبريد سطح الزجاج الملدن المُسخّن إلى درجة حرارة 650 ^{o}C تبريداً سريعاً بوساطة نفثات من الهواء. مما يتسبب بانضغاط الأوجه الخارجية وبتوليد قوى شدّ موازنة في مركز الزجاج. وبما أن انكسار الزجاج يبدأ بانهيار شد عند السطح فالزجاج المقسى يملك قدرة أكبر على الصمود قبل أن يبلغ هذه اللحظة الحرجة.

لا يمكن قصّ الزجاج المقسّى ولا الشغل عليه، وبالتالي فإن جميع أشغال القص والثقب والصقل وتلميع الحواف يجب أن تتمّ قبل عملية التقسية. في عملية التقسية الأفقية في **موقد ذي أسطوانات** قد يحدث بعض التقوّس أو التموّج بسبب الأسطوانات، كما قد يحدث ارتخاء في الحواف (Edge Sag) ولكن ذلك يكون من ضمن التسامحات الضيقة، ومع هذا فإن هذا التشوّه قد يلاحظ في الزجاج العاكس أكثر عندما يرى من خارج البناء. أمّا في عملية التقسية الشاقولية فيمسك اللوح بألسنة (Tongs) تترك أثر تشوّه خفيف في مواقع مسك الزجاج.

يقاوم الزجاج المقسّى درجات الحرارة العالية جداً، كما يصمد أمام الصدمات الحرارية المفاجئة. وإذا انكسر فإنّه يتشظى إلى حبيبات صغيرة لا يُحتمل أن تُحدث إصابات ذات شأن كما هو الحال بالنسبة إلى الزجاج الملدن العادي. ويُحدّد شكل انكسار الزجاج المقسّى في المعيار (Bs En 12600: 2002). ولكي يصنف الزجاج المقسى **زجاجاً آمناً** يجب أن يُختبر وأن يوسم طبقاً للمعيار المطلوب (Bs 6206: 1981). وحين يوصف الزجاج المقسّى لتزجيج الأسطح والدرابزونات

(Balustrades) والألواح الجائزية المقوّسة (Spandrel Panels) يجب أن يخضع لتشريب حراري بدرجة حرارة 290 مئوية، وهذه العملية تخريبية لأي وحدة زجاج غير معيارية. إن هذا الاختبار يتلافى أدنى خطر انكسار تلقائي للزجاج المقسّى في الموقع قد يسببه وجود كبريتات النيكل في المادة. يمكن تقسية كلّ الزجاج العائم والمطلي والمصبوب الخشن وبعض الزجاج المنمّط. يحدّد المعيار (Bs En 12150-1: 2000) مواصفات الزجاج المقسّى.

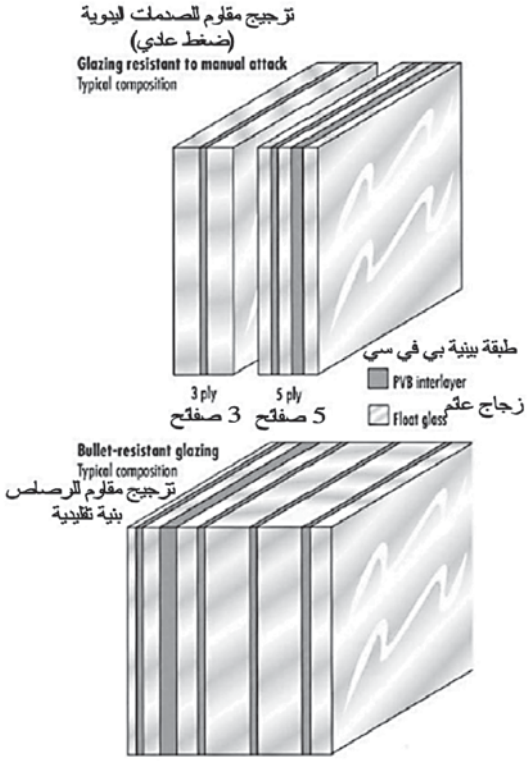


(الشكل 12.7) عملية صنع الزجاج المقسّى.

الزجاج المقوى بالحرارة

يصنع الزجاج المقوّى بالحرارة في عملية مشابهة لتقسية الزجاج، غير أن معدّل التبريد فيها أبطأ، فيكون الناتج زجاجاً أقل قساوة من الزجاج المقسّى. وفي حال التعرض لصدمة شديدة ينكسر الزجاج المقوّى بالحرارة إلى قطع كبيرة مثل الزجاج الملدن، وبالتالي فهو زجاج غير آمن. وهو لا يحتاج إلى تشريب حراري لمنع انكساره تلقائياً، كما يحدث أحياناً في الزجاج المقسى. يستعمل الزجاج المقوّى حرارياً في الزجاج الصفيحي حيث تعطي المقاومة المتبقيّة بعد انكساره بعض المتانة لصفائح الزجاج. أما الاستعمالات النموذجية لهذا الزجاج فتشمل المواضع التي تتطلّب مقاومة ضغط الرياح مثل الطوابق العليا والزوايا في المباني العالية، وكذلك الجوائز اللوحية المقوسة حيث مخاطر الانكسار أعلى بسبب

الحرارة. تشمل التطبيقات الحديثة للزجاج الصفيحي المقوى بالحرارة استعمال ألواح للأسطح 1.5 x 3 mm بسمك 12 mm طوّرتها شركة أروب (Arup) في فلينثولم (Flintholm)، في كوبنهاغن (Copenhagen). إذ تحول المتانة المتبقية للزجاج الصفيحي من دون سقوط الزجاج خارج إطاره إذا ما انكسر، ممّا يقلّل من مخاطر تعرّض مستعملي الأبنية خلال تبادل وسائل النقل.



(الشكل 13.7) الزجاج الصفيحي - تزجيج مقاوم للصدم اليدوي وتزجيج مضاد للرصاص.

الزجاج الصفيحي

ينتج الزجاج الصفيحي (الشكل 13.7) بلصق طبقتي زجاج أو أكثر بوساطة طبقة بينية لدنة من البولي فينيل البوتيرال (PVB) أو راتنج بولي ميتيل ميتاكريلات الخفيف اللزوجة (Polymethyl Methacrylate). والراتنج الخفيف اللزوجة أكثر استعمالاً لأنه يمكّن المصنّع من لصق الصفائح المحدّبة، أو من استعماله على الزجاج المنمّط. حيث تزيد عملية التصفيح كثيراً في مقاومة الصدمات عن الزجاج

الملدن بالسماكة نفسها. علاوة على ذلك، في حال التعرض لصدمة تنكسر طبقات الزجاج من دون أن تتناثر أو تتجزأ، بل يبقى الزجاج متماسكاً بعضه مع بعض بفضل الطبقة البينية. ويحدّد المعيار (Bs En 12600: 2002) شكل انكسار الزجاج الصفيحي. ويمكن اعتبار الزجاج الصفيحي **زجاجاً آمناً** إذا حقق مواصفات الصنف المعياري المناسب في المعيار (Bs 6206: 1981).

صنعت الواجهة التي كلها زجاج لمخزن براداً (Prada) في طوكيو من قبل شركة هيرزوغ ودو ميورون (Herzog & De Meuron) (الشكل 14.7) من ألواح معينية الشكل (Rhomboidal)، من الزجاج الصفيحي الذي تمّ لصقه بالبولي فينيل البوتيرال (PVB). بعض هذه الألواح مستوية، وبعضها الآخر منحنٍ إما محدّب أو مقعر السطح إلى الخارج فيعطي ألواناً متباينةً نتيجة انعكاس الضوء. أمّا محيط الوحدات الزجاجية المزدوجة فمسطح بالضرورة لضمان تثبيته الصحيح وإحكام سدّه.

يمكن زيادة مقاومة الزجاج الصفيحي للصدم باستعمال طبقات بينية أكثر سمكاً أو زيادة عدد الصفائح الزجاجية، أو بإدماج لوح من البوليكربونات (Polycarbonate) معه. يتكون الزجاج المقاوم للصدم اليدوي عادة (Bs 5544: 1978) من صفيحتين أو ثلاث صفائح، أما الزجاج المقاوم للرصاص المعيار (Bs En 1063: 2000) فيتألف من أربع صفائح أو أكثر بحسب عيار الرصاصة المتوقّع والسرعة الابتدائية (عند الفوهة) (Muzzle Velocity). ولمنع تشظي الزجاج المقاوم للرصاص يمكن ختم الوجه الخلفي بفيلم من البوليستر المقاوم للخدش، وللوقاية من النيران يمكن إضافة زجاج جورجي مسلّك. ويمكن قص الزجاج الصفيحي المصنّع من الزجاج الملدن والشغل عليه بعد صنعه.

يمكن إضافة مواصفات خاصة بالأشعة السنية وبالأشعة فوق البنفسجية إلى الزجاج الصفيحي بإجراء التعديلات المناسبة على المنتج المعياري. وهذا الأخير يقلّل من الناقلية في مجال الموجات الضوئية ذات الطول 280 ـ 380 نانومتر التي تتسبب في بهتان ألوان الدهان والأقمشة والمعروضات.

إنّ وضع طبقات فيلم خاصة بينية داخل الزجاج الصفيحي يعطي تنوعاً أكثر. إذ يمكن أن يكون للطبقات البينية خصائص ناقلية ضوئية وحرارية مختلفة وذلك باحتوائها على مواد لونية ضوئية (Photochromic) أو لونية حرارية

(Thermochromic) أوحرارية مدارية (Thermotropic) أو لونية كهربائية (Electrochromic). وبدلاً من ذلك يمكن أن تحرف (Diffract) الطبقات البينية الضوء الوارد بزوايا معينة كما في المواشير أو رواسم الطيف (Holograms)، وعليه يمكن أن ينكسر الضوء الطبيعي في الغرفة العميقة إلى السقف الأبيض لينتشر بعدها في كامل فضائها.

(الشكل 14.7) ألواح زجاج معينية محدبة - مخزن برادا، طوكيو.

طبقات الأفلام اللدائنية

ثمّة مجال منوع من الأفلام اللدائنية الشفافة وشبه الشفافة تطبق بسهولة على الزجاج داخلياً أو خارجياً لتعديل مواصفاته. ويشمل ذلك أفلاماً منمّطة لإعطاء جو من الخصوصية، وأفلاماً للإظهار للحيلولة دون اصطدام الناس السائرين بالحواجز

أو الأبواب ذات الزجاج الصافي من غير انتباه، وأفلاماً عاكسة للتخفيف من حرارة الشمس ووهجها. كذلك تحوّل أفلام السلامة (Safety Films)، كتلك التي على زجاج السقف في محطة واترلو للقطارات (الشكل 1.5، الفصل الخامس)، من دون خطر الإصابات بالزجاج المتساقط عندما تتسبب كبريتات النيكل الموجودة في الزجاج المقسى بانهياره تلقائياً. كما تضمن أفلام الأمان (Security Films) بقاء الزجاج في مكانه إذا ما تضرّر بصدمة عرَضية أو متعمدة.

الزجاج المقاوم للنار

تعد قابلية زجاج معيّن لتحقيق معايير السلامة والعازلية في الحريق هي مقياس لمقاومته للنار (الجدول 1.7). وللحصول على أداء محدّد في الحريق من الضروري استعمال ما هو مناسب من التأطير ومثبتات وزجاج، لأن مقاومة النار تتوقّف في النهاية على نظام التزجيج كله لا على الزجاج وحده.

تُصنف مقاومة النار لكل مادة أو للمجموعة كلها وفق المواصفة الأوروبية (BS EN 13501-2: 2003)، بناء على أدائها وفق المعايير التالية: السلامة (E) (Integrity) والعازلية (Insulation) (I) والإشعاع (Radiation) (W)، وكذلك القدرة على تحمّل الأحمال (Load Bearing Capacity) (R)، وهي ليست خاصة بالزجاج عادة. أما الوقت المعياري لوقف النار فهو 15 و20 و30 و45 و60 و90 و120 و180 و240 دقيقة.

التصنيف النموذجي:

E30	السلامة لمدة 30 دقيقة فقط
EW30	السلامة والحماية من الإشعاع لمدة 30 دقيقة
EI30	السلامة والعزل لمدة 30 دقيقة
E60EI30	السلامة 60 دقيقة والعزل 30 دقيقة.

الزجاج غير العازل

إن المنتجات الزجاجية التي تضمن السلامة فقط ولكنها غير عازلة تمنع مرور اللهب والغازات الحارة والدخان ولكنها تسمح للحرارة بالانتقال من طريق الإشعاع والناقلية، وبالتالي، قد يحدث انتشار نيران إضافية في النهاية من خلال اشتعال نيران أخرى. كذلك فإن الإشعاع الشديد النافذ خلال الزجاج قد يجعل طرق الهرب المتاخمة غير ممكنة.

الجدول 1.7 خصائص مقاومة النيران النموذجية للزجاج

مقاومة الزجاج غير العازل للنيران - التكامل فقط		
النوع	السماكة (mm)	السلامة E (دقيقة)
زجاج جورجي مسلك ـ مصبوب	7	30 ـ 120
زجاج جورجي مسلك ـ ملمع	6	30 - 120
زجاج معياري مقسى	6 ـ 19	30 ـ 60 (90 في فولاذ)
زجاج بوروسيليكات مقسى	6 ـ 12	30 ـ 120
بلوك زجاجي	80	30 ـ 60
مقاومة الزجاج العازل للنيران - السلامة والعازلية		
النوع	السماكة (mm)	التكامل والعازلية EI (دقيقة)
زجاج صفيحي قابل للانتفاخ	7	20
	19	45
	27	60
	54 (وحدة زجاج مزدوج)	120
زجاج صفيحي بطبقة بينية هلامية	20 ـ 22	30
	32	60
	38	90
	55	120

ملاحظة: معطيات مقاومة النيران تعتمد كثيراً على سماكة الزجاج وحجم التزجيج ونسبة الأبعاد وفيما إذا كانت منظومة التزجيج ووصلاتها من المعدن أو الخشب أو اللدائن أو وصلات تناكب.

يعطي الزجاج الجورجي المسلّك تقييماً لمقاومة نيران لمدة 120 دقيقة في ما يتعلق بالسلامة، وذلك تبعاً لحجم اللوح ومثبتاته. فإذا تشقق الزجاج في الحريق فهو يحافظ على سلامته لأن شبكة الأسلاك تمسك القطع المتكسّرة. والزجاج

الجورجي المسلّك أرخص ثمناً من الزجاج المقاوم للنيران ويمكن قصه بحسب حجم الموقع.

ويمكن أن يحقّق الزجاج المقسّى الذي أساسه الكالسيوم والسيليكا مقاومة نيران لمدة 90 دقيقة من حيث السلامة. ويبقى التزجيج سليماً وشفافاً، لكنه يتكسّر إلى حبيبات غير مؤذية عند تلقّي صدمة قوية إذا ما لزم فتح طريق للهرب (Escape). ولا يمكن قصّ الزجاج المقسّى أو الشغل عليه بعد الصنع.

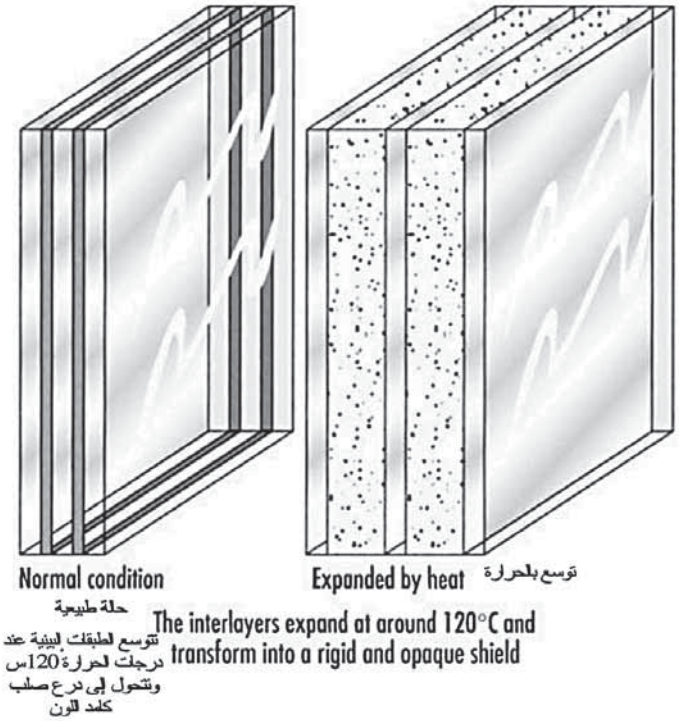
زجاج البورو ـ سيليكات (Boro-silicate Glass) ذو معامل التمدّد المنخفض أكثر مقاومة للصدمات الحرارية من الزجاج المعياري الملدن، ولا يتشقّق عند التعرض للنيران. ويمكن تقويته حرارياً لزيادة مقاومته للصدمات. وهناك بعض أنواع من الزجاج الخزفي ذات مقاومة للحرارة العالية جداً مُعامل تمددها الحراري صفر. وكنتيجة لذلك يمكن لهذه الأنواع مقاومة درجات حرارة حتى 1000 مئوية ومقاومة الصدمة الحرارية الناجمة عن رشّ الماء البارد إذا كان حارّاً بسبب النيران.

الزجاج العازل

يصنّع الزجاج العازل من صفائح من الزجاج العائم مع مواد قابلة للانتفاخ (Intumescent) أو هلامية. ويحتوي الزجاج الصفيحي القابل للانتفاخ طبقة بينية صافية تتمدّد عند تعرضها للنار، وتتحوّل إلى مادة كامدة بيضاء تمنع مرور الحرارة بالناقلية (Conductive) وبالإشعاع (الشكل 15.7). وتتكسر طبقات الزجاج المتاخمة للنار ولكنها تبقى متماسكة بسبب التصاقها بالطبقات البينية. وتراوح مقاومة هذا الزجاج للنار بين 30 و120 دقيقة من حيث العزل والسلامة بحسب عدد الطبقات، التي تكون عادة 3 ـ 5 صفائح. ولتجنّب التلوّن الأخضر المصاحب عادة للزجاج الصفيحي السميك يمكن استعمال زجاج بمحتوى حديد مخفف للمحافظة على أفضل ناقلية للضوء. فعند الاستعمال الخارجي يكون لصنف الزجاج الخارجي صفيحة زجاجية إضافية مع طبقة مرشِّحة بينية واقية من الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن تصنيع الصفائح من زجاج ملون أو بتجميعه مع أنواع زجاج منمط أو متحكم بأشعة الشمس. حيث يتم توفير الزجاج العازل مقصوصاً بالحجم المطلوب، ولا يجوز الشغل عليه في الموقع. وتقدم وحدات الزجاج المزدوج المكونة من طبقتين من الزجاج الصفيحي القابل للانتفاخ عزلاً وتماسكاً في حدود 120 دقيقة. وبدلاً من ذلك، يمكن أن تتشكل الوحدات من زجاج صفيحي وحيد

الطبقة المنتفخة مع زجاج خاص متحكم بأشعة الشمس. ويطابق الزجاج الصفيحي المقاوم للنار متطلبات المعيار (BS 6206: 1981) المتعلقة بالصنف A المقاوم للصدمات. ويحدد سمك المنظومات النموذجية للتماسك والعزل بـ 15 mm للصنف (EI30) و27 mm للصنف الخارجي (EI60).

يصنع الزجاج الهلامي العازل من طبقة هلام محشوة بين طبقتين أو أكثر من الزجاج الصفيحي المقسّى. وفي حال حدوث حريق تمتص الطبقة الهلامية البينية ـ المؤلفة من بوليمر يحتوي على محلول ملحي مائي لا عضوي ـ الحرارة بتبخّر الماء مكونة قشرة عازلة. تتكرّر العملية طبقة بعد طبقة. وبحسب سماكة الطبقة الهلامية تتحدّد فترة مقاومة النار بـ 30 أو 60 أو 90 دقيقة.



(الشكل 15.7) زجاج صفيحي مقاوم للنيران مع مادة قابلة للانتفاخ.

الزجاج العازل جزئياً

يتألف الزجاج العازل جزئياً من ثلاث طبقات زجاج عائم سماكة كل منها 10 mm مع طبقة واحدة بينية قابلة للانتفاخ وطبقة واحدة من بولي فينيل بوتيرل، وهو

أكثر مقاومة بقليل للنار من الزجاج غير العازل. كما أن معالجة سطحه يمكن أن تزيد مع عكسه للحرارة من الوجهين.

حفظ الطاقة

تنصّ أنظمة البناء (الوثيقة المصدّقة الجزء (Approved Document Part L1A): حفظ الوقود والطاقة في أبنية السكن الجديدة Conservation of Fuel and Power in New Dwellings) [طبعة 2006] على أنه يجب ألا يزيد انبعاث ثنائي أوكسيد الكربون CO2 في كلّ أبنية السكن - معدل انبعاث المنازل (DER) (Dwelling - Emission Rate) على المعدل الهدف للانبعاث Target) (TER) (Emission Rate المحدّد للمباني العامة المعادلة من حيث الحجم والشكل معاً. ويعبّر عن المعدّل الهدف للانبعاث بكمية ثنائي أوكسيد الكربون في الكيلوغرام المنبعث من المتر المربع الواحد من المساحة الطابقية في السنة، ويحسب بالنسبة لدور السكن على أساس المساحة الإجمالية 450 m^2 أو أقل بموجب إجراءات التقدير المعيارية (الإصدار (SAP 2005)). وفي ما يخصّ دور السكن التي تتجاوز مساحتها الطابقية 450 m^2 يتمّ الحساب على أساس نموذج طاقة المباني المبسّط (Simplified Building Energy Model) (SBEM).

إنّ الأرقام المرجعية التالية هي دليل لحدود المتوسط الموزون وفقاً للمساحة. غير أنه يحتمل بالنسبة إلى معظم الأبنية طلب مواصفات أكثر دقة من أجل الوصول إلى المعدّل الهدف لانبعاث غاز ثنائي أوكسيد الكربون.

جدار	W/m^2K 0.35
أرضية	W/m^2K 0.25
السقف	W/m^2K 0.25
نافذة/ نافذة سقفية/ باب	W/m^2K 2.2

تفرض أنظمة البناء كذلك شرطاً لمنع الكسب الصيفي المفرط من أشعة الشمس الذي يسبب درجات حرارة داخلية عالية. ويمكن تحقيق ذلك باستعمال النوافذ استعمالاً مناسباً من حيث الحجم والاتجاه، وضبط أشعة الشمس بالتظليل أو تركيب نظم تزجيج متخصصة والتهوية والاستفادة من السعة الحرارية المرتفعة. وتضع أنظمة البناء حدوداً على أداء الخدمات وإحكام المغلف للهواء (Envelope Airtight-Tness) (بما في ذلك اختبار الضغط على عينة) وكذلك

تفرض تجهيز كل مبنى جديد بدليل للتشغيل الكفؤ للطاقة فيه.

تعطي طريقة المعدل الهدف للانبعاث (TER) درجة مرونة جيّدة للتصميم بالسماح بنوع من المقايضة بين مختلف عوامل حفظ الطاقة. كذلك يمكن أن يؤخذ بالحساب منافع الاستفادة من الأشعة الشمسية.

تفرض أنظمة البناء (الوثيقة المصدقة الجزء (Document Part Approved) (L2A): حفظ الوقود والطاقة في المباني الجديدة غير السكنية [طبعة 2006] (Conservation of Fuel and Power in New Buildings Other Than Dwellings ألاّ يزيد معدل انبعاث ثنائي أوكسيد الكربون المتوقّع (معدل الانبعاث من المباني BER) على المعدل الهدف للانبعاث (TER) محسوباً على أساس نموذج طاقة المباني المبسط (Simplified Building Energy Model) (SBEM) أو أي وسيلة برمجة معتمدة. وقد وضعت للعناصر حدوداً للمتوسط الموزون وفقاً للمساحة في نفس المعايير كما في المباني السكنية الجديدة. ومهما يكن فإن المطلوب هو المعدل المناسب للانبعاث من المباني (BER)، لا القيمة U للعناصر منفردة.

تشير أنظمة البناء، الوثائق المصدقة الجزءان (L1B) و(L2B)، إلى الشغل في المباني السكنية القائمة وغيرها من المباني على التوالي. ويُقتبس توجيه يتعلق بالشرط المنطقي والمعايير الخاصة بالتوسعات الجديدة وباستبدال العناصر الحرارية الموجودة، غير أنه يجب الامتثال الكامل لجميع جوانب الأنظمة.

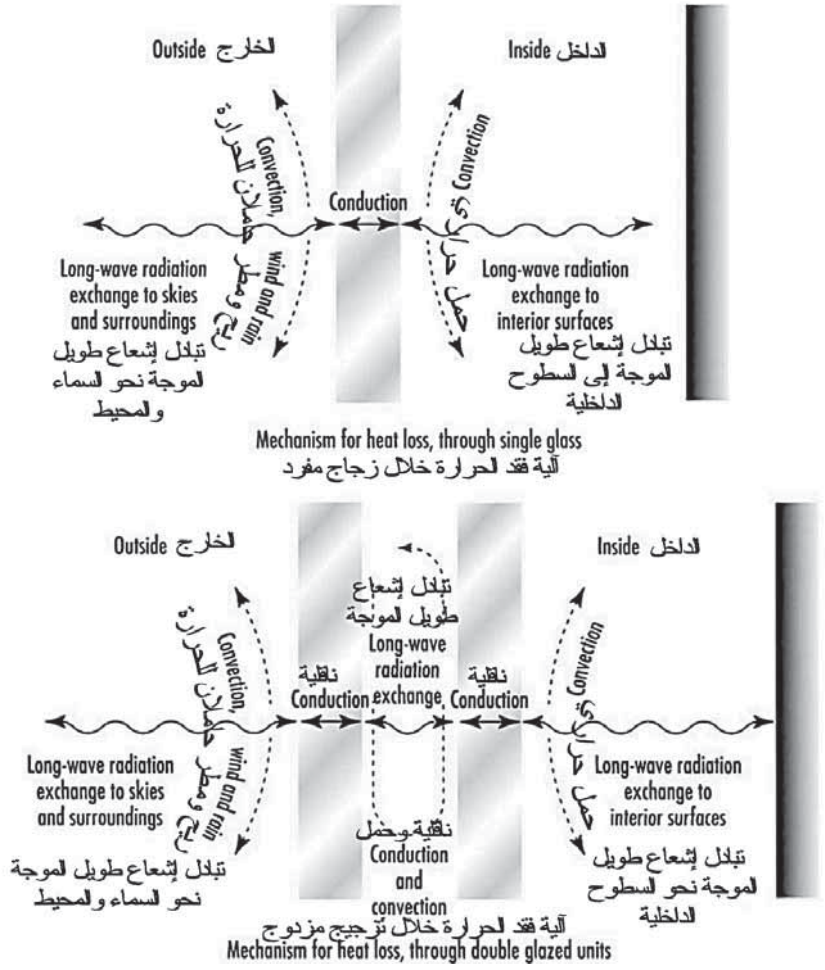
معايير العناصر الجديدة في المباني القائمة:

جدار	$W/m^2 K$ 0.28
أرض	$W/m^2 K$ 0.22
سقف مائل ـ عزل عند مستوى السقف	$W/m^2 K$ 0.16
سقف مائل - عزل على مستوى الروافد	$W/m^2 K$ 0.16
سقف مستو - عزل متكامل	$W/m^2 K$ 0.16
أبواب	$W/m^2 K$ 1.8

نافذة/ نافذة سطح/ كوة إضاءة في السطح الحزمة (WER) C أو لوح استثنائي مركزي $W/m^2 K$ 1.2.

التزجيج المزدوج والثلاثي

عندما تكون درجة حرارة السطح الداخلي للتزجيج الخارجي أدنى من درجة الحرارة الوسطى لسطح الغرفة ودرجة حرارة الهواء الداخلي تفقد الحرارة من طريق التبادل الإشعاعي على سطحي الزجاج إلى جانب ناقلية الحرارة للهواء وتيارات الحمل في الهواء في الداخل والخارج وكذلك ناقلية الزجاج نفسه. ويمكن التخفيف من هذا الفاقد الحراري كثيراً باستعمال التزجيج المتعدّد الطبقات مع هواء أو غاز خامد مالئ أو خلاء جزئي بينها. (الشكل 16.7).



(الشكل 16.7) آلية فقد الحرارة خلال تزجيج مفرد ومزدوج.

وحدات التزجيج المملوءة بالغاز

يقلّل التزجيج المزدوج من انتقال الحرارة المباشر بترك طبقة عازلة من الهواء بين لوحي الزجاج القليل العزل. يراوح الفاصل الهوائي الأمثل بين 16 و20 mm، فإذا تجاوز هذه القيمة فإن تيارات الحمل بين لوحي الزجاج تقلل من فاعلية العزل الهوائي. وكثيراً ما يستعمل اليوم غاز الأرغون عاملاً مالئاً لأن ناقليته الحرارية أقل من الهواء ويخفف بالتالي من انتقال الحرارة عن طريق الناقلية. والمقدار العياري هو 90% أرغون لأنه من الصعب جداً ضمان إخلاء كامل الهواء الموجود في الفجوة. كما أن استعمال غاز الكريبتون (Krypton) أو غاز الزينون (Xenon) في فراغ 16 mm بين طبقتي زجاج منخفض خاصية البث الحراري يمكن أن يحقق القيمة U في حدود $0.8\ W/m^2\ K$. وأصبحت هذه الغازات الخاملة النادرة متوافرة اليوم تجارياً. (الناقلية الحرارية للهواء ح = 0.025 وللأرغون ح = 0.017 وللكريبتون ح = 0.009 وللزينون ح = $0.005\ W/m\ K$؛ المعيار BS EN ISO 10456: 2007).

يمكن تحقيق تخفيضات إضافية مماثلة لانتقال الحرارة بإضافة فراغ هوائي داخل نظام تزجيج ثلاثي. وإذا علقت أفلام رقيقة منخفضة البث الحراري داخل الفراغات يمكن أن تخفف القيم U في وحدات الزجاج المزدوج إلى $0.6\ W/m^2\ K$. ويبين الجدول 2.7 القيم U-value للوح المتوسط النموذجي.

الجدول 2.7 القيم لمنظومات التزجيج المفرد والمتعدد الطبقات ـ اللوح المتوسط التقليدي

منظومة الزجاج	U-value ($W/m^2\ K$)
زجاج مفرد صاف	8.5
زجاج مزدوج صاف	8.2
زجاج مزدوج صاف مع غاز أرغون	7.2
زجاج مزدوج صاف مع طلاء صلب منخفض البث	7.1
زجاج مزدوج صاف مع طلاء صلب منخفض البث وغاز أرغون	5.1
زجاج مزدوج صاف مع طلاء لين منخفض البث	4.1
زجاج مزدوج صاف مع طلاء لين منخفض البث وغاز أرغون	2.1
زجاج ثلاثي صاف مع طلاءين منخفضي البث وغاز أرغون مالئ في الفجوتين	8.0
زجاج ثلاثي صاف مع طلاءين منخفضي البث وغاز زينون مالئ في الفجوتين	4.0

ملاحظة :

هذه المعطيات خاصة بالزجاج المعياري بسمك 4 mm مع فراغ 16 mm

ملء الأرغون 90%

تختلف معدلات النوافذ اختلافاً كبيراً وفقاً لمواد أطرها ونظام البناء

وحدات التزجيج المفرغة من الهواء

للتزجيج المفرغ من الهواء الذي يحتوي على فجوة 0.2 mm فقط نفس مستوى الفاعلية الحرارية الذي لنظام الزجاج المعياري المنخفض البث المملوء بالغاز. حيث تركب ألواح الزجاج العائم الصافي والزجاج المنخفض البث يفصل بعضها عن بعض بمباعدات مكروية بقطر 0.5 mm على مسافة 20 mm بين مراكزها، وهي لا ترى إلا عند التدقيق عن قرب. وتتم التخلية من طريق فتحة في اللوح الداخلي تختم بإحكام بسدادة قطرها 15 mm. ويمكن أن تصنع هذه الوحدات بحجم 2.4x1.35 m، ويمكن أن تركب لاستبدال التزجيج المفرد الموجود. أمّا قيمة U المركزية للوح لهذه المنظومة المفرغة فهي 1.4 $W/m^2 K$.

معدلات حفظ النوافذ للطاقة

يضع المجلس البريطاني لتقويم منظومة النوافذ (The British Fenestration Rating Council) (BFRC) دليلاً لتوصيف فاعلية الطاقة بناءً على حزم معدلات طاقة (Window Energy Rating Bands) (WER) لوحدات النوافذ الكاملة، على أساس المجال A (الأفضل) وحتى المجال G (الأفقر). يأخذ التقويم بالحسبان الجمع بين ثلاثة عوامل أساسية تؤثر في أدائها، وهي: الفاعلية الحرارية للمحافظة على الحرارة (القيمة ـ U)، وكسب الحرارة الشمسية (القيمة ـ g) بين الصفر والواحد) وضياع الحرارة بتسرب الهواء (L-factor). ويتعلّق الكسب الحراري الشمسي والقيم U بالوحدة كاملة وليس بمساحة الزجاج فقط. أما تسرب الهواء فيؤخذ على أساس الشروط المتوسطة. ويحدد على أساس ($m^3/h/m^2$) تحت ضغط 50 باسكال، ومن ثم يُخفض بعامل قدره 20 للوصول إلى مستوى واقعي. وبعد ذلك يحول إلى فاقد حرارة مكافئ ($W/m^2 K$) ليضاف إلى الكسب والفقد الحراري. إن حزم معدلات طاقة النوافذ مرمزة بالألوان ابتداء بالأخضر الغامق A وحتى الأخضر الفاتح (C) فالأحمر (F) فالبني (G)، وهي تقيس أداء الطاقة الإجمالي للنوافذ كمجموع تدفق الطاقة السنوي ($kW\ hour/m^2/year$). وتقدم النوافذ من الحزمة A مساهمة طاقة إيجابية صغيرة للمباني، في حين تساهم النوافذ من الحزمة C فقداً للطاقة من مرتبة 15 كيلواط ساعي للمتر المربع في السنة

(15kW hour/m^2/year). ويستند المخطط المدعوم من اتحاد الزجاج والتزجيج (Glass and Glazing Federation) إلى نوافذ معيارية قياسها 1.40x1.23 m مع عماد مركزي يقسم النافذة، نافذة ثابتة ونافذة مفتوحة للضوء لضمان المساواة في المقارنة بين مختلف المنتجات.

إن المعيار الصناعي للنوافذ المنزلية هو حالياً المعدل (C)، وكان هو المطلوب في تعليمات البناء منذُ العام 2010. وعلى كل حال، فإن المصنعين يعملون على تطوير وحدات ذات معدلات أعلى بسعر أولي أقل استجابة لطلبات الزبائن. وقد تحقق تقدم كبير في مجال وحدات الزجاج المزدوج، حيث تم تطوير تقنية حاجز الحافة المباعد الدافئ (Warm Edge Spacer Bar Technology) وزيادة الكفاءة الحرارية للإطارات، إذ تشمل المواد المستعملة اليوم في المباعدات لدائن حرارية و(GRP). وفي بعض الحالات أزيل تسليح الفولاذ الذي كان يستعمل سابقاً في إطارات النوافذ المصنوعة من بي في سي لتحسين الأداء الحراري، غير أن ذلك قد يقلّل من متانة الإطار.

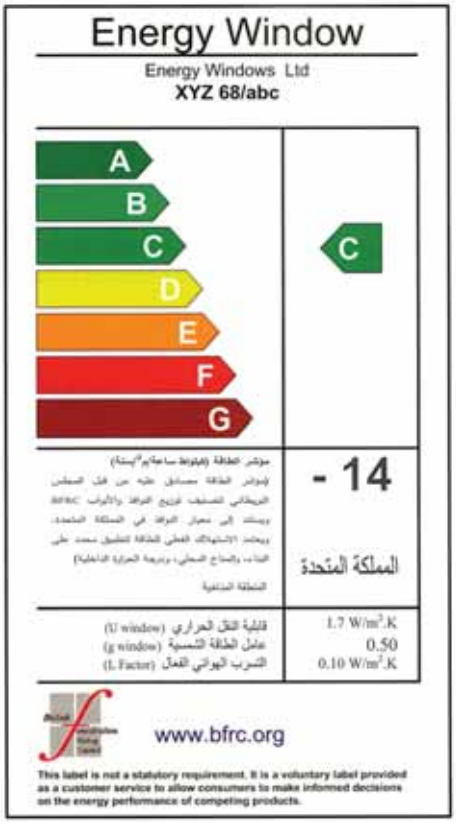
يغلب على نوافذ دور السكن استعمال البي في سي (PVC-U) والأنظمة الخشبية، غير أن إطارات الألومنيوم والفولاذ ما تزال تحتل قسماً مهماً من السوق. بالإضافة إلى ذلك، فإن للنوافذ المركبة مادة، عادة الألومنيوم في الخارج والخشب في الداخل، ميزات المادتين معاً بما فيها الخصائص الجماليّة والصيانة، وهي تملك أيضاً إمكانية تركيب مجال واسع من وحدات الزجاج المزدوج والثلاثي المحكّم السدّ لتحسين الكفاءة الحرارية والصوتية.

يمكن تحقيق أعلى معدلات A بتركيب أنظمة إطارات البي في سي يو المعزولة والمحكمة مع زجاج مزدوج باستعمال الزجاج الأبيض الصافي سمك 4 mm للألواح الخارجية وزجاج للألواح الداخلية بسمك 4 mm منخفض البث مبخوخ في الخلاء، بطلاء لين وفواصل البي في سي يو الحرارية بينها، مع فراغ بعرض 20 mm مملوء بغاز الأرغون. إنّ الجمع التقليدي بين العوامل من أجل الحصول على المعدل (A) سيعطي النافذة القيمة الإجمالية U = 1.4 W/m^2 K مع عامل شمسي (G) بقيمة 0.45 وتسرب هواء فاعل (L) بقيمة 0.0 W/m^2 K. أما المعدل A+ فيمكن تحقيقه بملء غاز خامل في مجموعة تزجيج ثلاثية في إطارات بي في سي مسلحة متعددة الحجرات على شكل من PVC-U.

العلاقة بين نظم معدلات مجلس النوافذ البريطاني BFRC وفاقد الحرارة السنوي:

معدل ضياع الطاقة	فاقد الحرارة في السنة (kW hour/m^2/year)
A	أكبرمن صفر (كسب إيجابي للطاقة)
B	ـ 10 ـ إلى اقل من 0 (فاقد حرارة ضئيل)
C	ـ 20 ـ إلى أقل من ـ 10 ـ
D	ـ 30 ـ إلى اقل من ـ 20 ـ
E	ـ 50 ـ إلى أقل من ـ 30 ـ
F	ـ 70 ـ إلى اقل من ـ 50 ـ
G	أقل من ـ 70 ـ (فاقد طاقة كبير)

يبيّن الشكل 17.7 المتوسط النموذجي لمعدل الطاقة C وفقاً لمجلس معدلات النوافذ البريطاني.

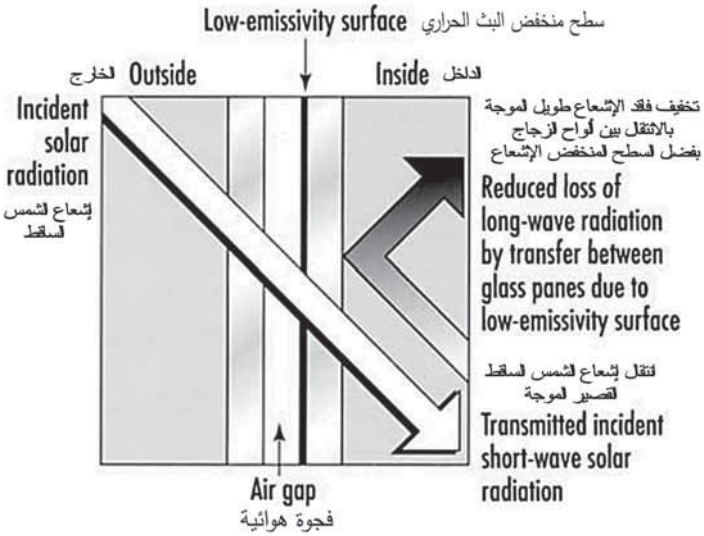


(الشكل 17.7) قائمة معدلات طاقة النوافذ.

الزجاج المنخفض البث الحراري

يصنع الزجاج المنخفض البث من الزجاج العائم بتطبيق طلاء شفاف منخفض البث على سطحه. يمكن أن يطبق الطلاء إما على خط متواصل داخل فرن التلدين بدرجة حرارة 650 مئوية، على شكل طلاء حراري صلب، أو خارج الخط بعد تصنيع الزجاج من طريق البخ المغنطيسي في الخلاء لإعطاء الزجاج طبقة طلاء أكثر ليونة. ويمكن تقسية الزجاج المنخفض البث والمصنّع على الخط، وكذلك بعض منتجات خارج الخط، بعد تطبيق الطلاء. كذلك يمكن تطبيق الطلاء المنخفض البث خارج الخط على زجاج تمت تقسيته مسبقاً. كما أن طلاء السطح على الخط أكثر ديمومة ولا يتضرر بطبيعة الحال عند معاملته بعناية.

يعمل الزجاج المنخفض البث بأن يعكس إلى داخل البناء موجات الطاقة الحرارية الأكثر طولاً المرتبطة بشاغلي البناء وبمنظومات التدفئة وبأسطح الجدران الداخلية، في حين يسمح بمرور موجات الطاقة الشمسية الأقصر طولاً إلى الداخل (الشكل 18.7). وتمتص الجدران الداخلية طاقة الشمس الداخلة وتشعها من جديد على شكل موجات طاقة أطول فيحبسها الطلاء المنخفض البث على الزجاج.



(الشكل 18.7) آلية التحكّم في فقد الحرارة باستخدام الزجاج المنخفض البث.

يمكن أن يقلّل الطلاء المنخفض البث ثلاثة أرباع المكوّن الإشعاعي للانتقال الحراري بين الأسطح المتجاورة داخل منظومة الزجاج المزدوج. إن إنقاص البث

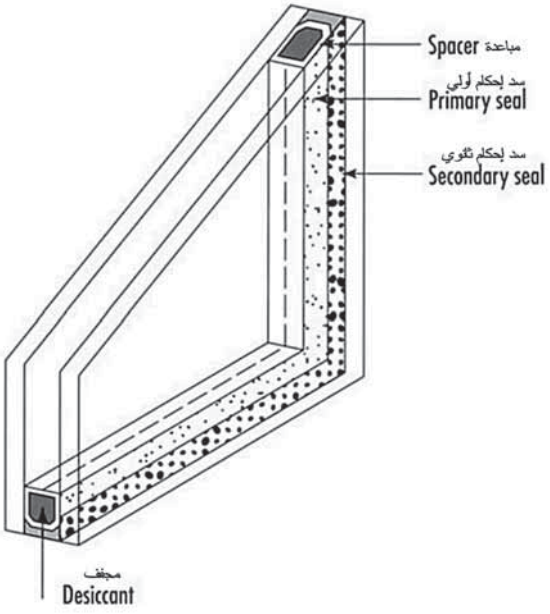
في الزجاج غير المطلي، من 0.48 إلى أقل من 0.16 يُخفض القيمة U من 2.8 للزجاج المعياري المزدوج إلى 1.7 في الزجاج المنخفض البث. غالباً ما تتمّ حماية الزجاج المنخفض البث باستعماله داخل وحدات الزجاج المزدوج. ويمكن أن يكون اللوح الخارجي في نظام الزجاج المزدوج صافياً، أو يكون من الزجاج الخاص بالسلامة أو المتحكم بأشعة الشمس. ويعد الطلاء الحراري المنخفض البث مناسباً للتركيب كتزجيج ثانوي في النوافذ القائمة، تراوح قيمة بث الطلاء الصلب المنخفض البث بين 0.15 وحتى 0.20، والطلاء اللين 0.04 وحتى 0.01.

وتبعاً للتغييرات في متطلبات الحفاظ على الطاقة أصبح الزجاج المنخفض البث في الزجاج المزدوج معيارياً في كل أشغال البناء الجديدة كما في المبنى السويسري (Swiss Rebulding) في وسط لندن (الشكل 19.7).

(الشكل 19.7) التزجيج وتفصيل له ـ المبنى السويسري، لندن.

وحدات الزجاج المزدوج

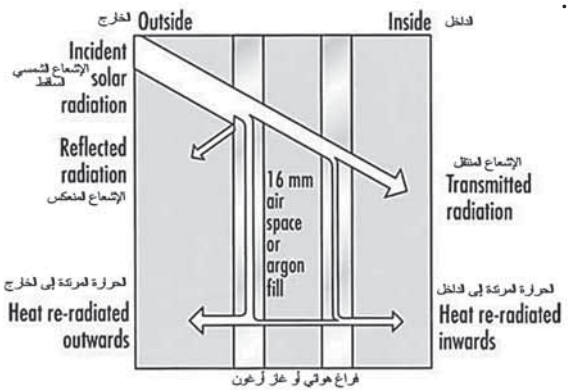
تصنع وحدات الزجاج المزدوج المحكمة السدّ عادة بمُباعدات من الألومنيوم أو الفولاذ الرقيق الذي لا يصدأ التي تضم مصفاة جزيئية (Molecular Sieve) ماصة للرطوبة أو هلام السيليكا وتختم بمادة بولي إيزوبوتيلين (Polyisobutylene) أو بولي يوريثان (Polyurethane) أو بولي سلفايد (Polysulphide) أو إيبوكسي سلفايد (Epoxysulphide). ويعزز الختم الأول بإحكام ثانوي يتألف غالباً من جزئين من السيليكون لمنع أي تسرب ويغطى بغطاء واق (الشكل 20.7). تتحقق كفاءة حرارية أكبر، للتخفيف من انتقال البرودة وخطر التكاثف، بوضع مباعدات لدائنية حرارية أو من البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (GRP) مطلية بطبقة رقيقة من الألومنيوم أو الفولاذ الذي لا يصدأ لمنع ضياع الغاز. تقدم الإطارات الخشبية عزلا جيداً. تستعمل الإطارات من البي في سي أنظمة متعددة الحجرات مع تقوية باللدائن أو الفولاذ للتخفيف من انتقال الحرارية. يجب أن تشتمل إطارات الألومنيوم والفولاذ كواسر للحرارة للتخفيف من خطر التكاثف السطحي وضياع الكثير من الحرارة. يبين الجدول 3.7 العلاقة بين قيم U للوح المركزي وللنافذة كلها في عينات من أنظمة بإطارات خشب وبي في سي يو وألومنيوم وفولاذ.



(الشكل 20.7) وحدة زجاج مزدوج تقليدية.

الزجاج المتحكم في أشعة الشمس

يتيح الزجاج المتحكم في أشعة الشمس مروراً معدلاً للضوء وللطاقة الحرارية بالمقارنة مع الزجاج الصافي بالسماكة نفسها (الشكل 21.7). وثمة كود وصفي يحدد كميات الضوء والحرارة النسبية التي تمر في لوح واحد من زجاج معين (مثال: 49/ 58 للزجاج البرونزي بسماكة 6 mm)، ويمكن ربط ذلك مع المعطيات المكافئة الخاصة بالزجاج العائم الصافي (87/ 83 للزجاج الصافي بسماكة 6 mm). ومهما يكن، فإن الزجاج المتحكم في أشعة الشمس يستعمل دائماً من ضمن وحدات الزجاج العازل (IGU)، وعليه فإن انتقال الضوء والحرارة الإجمالي يعد مواصفة مهمة (الجدول 4.7). أما طريقة التحكم بأشعة الشمس فهي مزيج من امتصاص الحرارة وانعكاسها عن اللوح الخارجي من وحدات الزجاج العازل. ويتسبب امتصاص بعض الإشعاع الشمسي الساقط على اللوح الخارجي في تسخين الزجاج. وعندئذ يبدد الزجاج الحرارة الممتصة باتجاه الخارج عموماً بفضل حركة الهواء. كذلك يعكس اللوح الخارجي من وحدة الزجاج العازل بعض الطاقة الشمسية بالاعتماد على أي طلاء مطبق على خط التصنيع في أثناء عملية تعويم الزجاج أو بمعالجة السطح برذّ الطلاء بعد الصنع. يكون الزجاج المتحكم في أشعة الشمس عادة رمادي اللون أو برونزياً أو أخضر أو أزرق أو فضيّاً. وقد يقسى أو يصفح من أجل الاستعمال في المناطق الخطرة. أضف إلى ذلك، يمكن زيادة فاعلية وحدات الزجاج المزدوج بتركيب ستائر حاجبة للضوء أو حجب بشفرات (Louvers) تتحكم في الضوء. ثمة أنظمة تستخدم الستائر الفينيسية التي يمكن التحكم فيها مغنطيسيا داخل وحدات الزجاج المزدوج المختومة ذات السماكة 18 أو 20 mm. كذلك يتوافر الفيلم العاكس لأشعة الشمس بدرجات وسماكات وألوان مختلفة تلائم التزجيج القائم.



(الشكل 21.7) عمل الزجاج المتحكم في أشعة الشمس في وحدة الزجاج المزدوجة.

التحكّم في الصوت

يتأثر مستوى تخفيف الصوت في التزجيج بكتلة الزجاج ومدى تسرّب الهواء حول فتحات الإضاءة. يتبع عزل الصوت في الزجاج المفرد قانون الكتلة، إذ إن مضاعفة سماكة الزجاج تخفّف من انتقال الصوت بنسبة 4 ديسيبل تقريباً. يتجاوب الزجاج المقسّى والمنمط والمسلّك كالزجاج العادي بالسماكة نفسها، غير أن الزجاج الصفيحي المبني على طبقة 1 mm من البولي ميتيل ميتاكريلات أو طبقة بينية سميكة من البولي فينيل بوتيرال (طبقة واحدة أو طبقتان كل منهما 0.4 mm) يملك خصائص عزل صوتي محسنة. أما الطبقات البينية اللدائنية، لأنها مواد لينة، فتبدل الاستجابة الترددية للوح المركب بالمقارنة مع الوزن نفسه من الزجاج العادي وتمتص كذلك بعض طاقة الصوت.

الجدول 3.7 العلاقة النموذجية بين الانتقال الحراري في اللوح المركزي والنافذة بكاملها

نوع الإطار	خشب	بي في سي ـ يو PVC-U	ألومنيوم	فولاذ
فاصل الزجاج ((mm))	16	16	16	20
القيمة U للوح المركزي (W/ m^2 K)	1.2	1.2	1.2	1.2
وحدة معيارية (W/m^2 K)	1.8	1.7	1.9	1.9ـ 2.4
وحدة عالية الأداء (W/m^2 K)	1.5	1.4	*1.5	**1.7 ـ 2.4

ملاحظات:

ـ بُنيت القيمة U للنوافذ بإطار من الخشب والبي في سي ـ يو والألومنيوم على الحجم القياسي 1.23×1.48 m مع عماد مركزي، نافذة ثابتة والأخرى مفتوحة.

ـ تجمع الوحدات بين الزجاج المنخفض البث المطلي بطلاء لين (0.05) وغاز أرغون مالئ 90%.

ـ للوحدات العالية الأداء مباعدات لحافة محسنة.

ـ نوافذ الألومنيوم نحيفة مع فاصل بوليأميد حراري.

ـ تتطلّب أنظمة البناء الجزء L وسطي أعظمي للقيمة U 2.2 للمعدن و2.0 للخشب والبي في سي ـ يو.

* يستعمل فاصل 20 mm والقيمة U للوح المركزي 1.18 $W/m^2 K$

** يستعمل فجوة 8 mm كريبتون أو 6 mm زينون.

الجدول 4.7 خصائص الزجاج النموذجي المتحكم في أشعة الشمس

اللون	ترميز المصنع	مرورية الضوء	انعكاسية الضوء	انتقال الحرارة بالإشعاع الشمسي	معامل التظليل
أخضر	75/79	0.67	0.12	0.48	0.55
برونز	49/58	0.44	0.08	0.48	0.55
رمادي	43/58	0.39	0.07	0.46	0.53
أزرق	50/27	0.50	0.19	0.28	0.33
فضي	50/30	0.49	0.39	0.31	0.36
صافي	70/40	0.70	0.10	0.43	0.49
صافي	30/17	0.30	0.26	0.19	0.21
زجاج عائم صافي نظامي		0.87	0.08	0.83	0.95

ملاحظة: 6 mm زجاج متحكم في أشعة الشمس، 16 mm فراغ و6 mm لوح زجاج داخلي نظامي

يجب أن يبنى الزجاج المزدوج العازل للصوت، من مكونات زجاجية مختلفة السماكة بنسبة 30% على الأقل للتخفيف من الرنين المتعاطف (Sympathetic Resonances)، وتعدّ السماكة 6 mm و10 mm فاعلة. وحيث يطلب التخفيف من انتقال ضجيج الكلام (630 - 200 هيرتز) تستخدم وحدات الزجاج المزدوج المملوءة بهيكسافلورايد الكبريت (Sulphur Hexafluoride)، ولكن ذلك ليس في مصلحة تخميد حركة المرور وغيرها من الأصوات المنخفضة التردد في المجال

200 ـ 250 هيرتز. كما أن هذا يعدُّ اليوم غير مناسب بيئياً. إذ يتم إنشاء وحدة زجاج مزدوج عالية الأداء نموذجية، تعطي القيمة U 1.3 وتخفف الصوت بمقدار 35 ديسيبل، من زجاج صفيحي سمكه 6.4 mm مع فراغ عرضه 15.5 mm مملوء بغاز أرغون ولوح داخلي بسمك 4 mm من زجاج المنخفض البث. ولزيادة العزل الصوتي يطلب ترك فراغ هوائي بعرض 100 mm على الأقل، مع أن الفراغ الاقتصادي المثالي هو 200 mm. ويجب أن تبطن جوانب فتحة النافذة بمادة ماصة للصوت كألواح الألياف للتخفيف من الصدى الاهتزازي في الفراغ الهوائي. ويجب أن يكون الفراغ الهوائي محكم السد وفتحتا الإضاءة مغلقة بأنظمة إقفال متعددة النقاط وسدادات قابلة للانضغاط. وإن أي فجوة هوائية معادلة 1% من مساحة النافذة يمكن أن تخفف من فاعلية العزل الصوتي بمقدار 10 ديسبل.

الزجاج الملون المطلي بالمينا

يمكن أن تصنّع ألواح الزجاج المغشى أو شبه الشفاف المطلية بالمينا المستعملة في الجدران الحاجبة بحيث تتماشى أو تتباين مع المساحات الزجاجية المتحكمة في ضوء الشمس المرئي. ويصنع هذا الزجاج من الزجاج المقسى بالحرارة لمقاومة الصدم أو الصدمات الحرارية، ويمكن أن يكون مفرداً أو مزدوجاً، مع عازل متكامل من الألياف الزجاجية أو رغوة عزل من البولي يوريثان وإنهاء داخلي. وتكون الألواح ملونة ثابتة الألوان ومقاومة للخدش، كما يمكن أن تصنع من الزجاج العادي البسيط أو المطبوع شبكيّاً أو الزخرفي.

الزجاج الاختصاصي

زجاج المراقبة وحيد الاتجاه

عندما يكون هناك ضرورة للمراقبة غير المرئية يمكن تركيب زجاج مرآة للرؤية من جانب واحد. وللحفاظ على الخصوصية يجب أن يكون المراقب في مستوى إضاءة أقل من إضاءة الجهة المراقَبَة بمقدار السُّبع وأن يرتدي ملابس قاتمة. ويبدو زجاج المراقبة الوحيد الاتجاه من الجهة المراقَبَة مرآة طبيعية. وهو متوافر من الزجاج الملدن أو المقسى أو الصفيحي.

زجاج المرايا

يصنع زجاج المرايا المعياري بترسيب فيلم رقيق من الفضة كيميائياً على

الزجاج العائم من محاليل مائية لأملاح الفضة والنحاس. ثم يُحمى ذلك الفيلم بدهان من طبقتين أو بطبقة من اللدائن. وثمة تطوير حديث لإنتاج المرايا بترسيب بخار كيميائي في أثناء تصنيع الزجاج العائم. وينتج زجاج المرايا بتطبيق طلاء من ثلاث طبقات سيليكون - سيليكا - سيليكون على خط الإنتاج، فيعطي مفعول المرآة نتيجة التداخل البصري (Optical Interference). كما إن زجاج المرايا المصنع على هذا النحو أقل عرضة للتدهور ويمكن أن يقسى وأن يصفح وأن يحنى أو يحدب بسهولة أكثر من زجاج المرايا العادي.

الزجاج غير العاكس

إن معالجة الزجاج العائم المعياري قد تخفف الانعكاس عن سطحه من 0.09 إلى 0.025، فتزيد من نفاذيته (Transmittance). حيث يطبق الطلاء بالتساوي على كلا وجهي الزجاج. ومع أنه يستعمل في معظم الأحوال لحماية الأعمال الفنية إلا أنه يمكن أن يستعمل لنوافذ العرض الداخلية والحواجز الفاصلة، وكذلك للتخفيف من الانعكاسات المتعددة عن سطوح وحدات الزجاج المزدوج، حيث يجب أن يكون كلا لوحي الزجاج غير عاكسين.

زجاج الإنذار (التنبيه)

ضمن منظومة الإنذار ضد الدخلاء يمكن استعمال الزجاج المحتوي على دارة خزفية أو على سلسلة من الأسلاك المستقيمة تنشط عند انكسار الزجاج. وعادة تدمج دارة توصيل زجاج الإنذار ضمن الزجاج الصفيحي من الوجه الداخلي للطبقة الخارجية، أو تثبت على الوجه الداخلي للوح الزجاج المقسّى الخارجي في نظام الزجاج المزدوج.

الزجاج الصفيحي الآمن المدفأ كهربائياً

يحتوي الزجاج الصفيحي الآمن القابل للتدفئة بالكهرباء على أسلاك ناقلة رفيعة يمكن وصلها بالكهرباء عندما يكون ثمة خطر تكاثف على الزجاج. وإن الاستخدامات التقليدية لهذا الزجاج هي في المناطق ذات الرطوبة العالية كأحواض السباحة والمطابخ والأسطح الزجاجية، وخاصة عندما يكون هناك فروقات كبيرة بين درجات الحرارة الداخلية والخارجية. كما يراوح استهلاك الطاقة بين 100 w/m^2 في المنازل و 500 w/m^2 في التطبيقات الصناعية اعتماداً على شروط الوسط الداخلي وشروط المحيط الخارجي.

الزجاج المزدوج اللون

للزجاج المزدوج اللون سلسلة من طلاءات الأكاسيد المعدنية التي تحدث مظاهر تداخلات بصرية. ويتسبب ذلك في انقسام الضوء الوارد إلى ألوان الطيف التي تنعكس أو تنفذ بحسب زاوية ورود الضوء. ويمكن الإفادة من هذا الفعل لتوليد نماذج ملوّنة مثيرة تختلف مع اختلاف حركة كل من الشمس والناظر. ثمة مادة واحدة تنتج مجالاً من ألوان قوس قُزح من الأزرق إلى الأرجواني فالبنفسجي.

الزجاج المكوّر والمتكسّر

يتألّف الزجاج المكوّر من مصفوفة من أنصاف الكرات الزجاجية بقطر 4 إلى 8 mm مثبتة على زجاج مقسى معياري ومناسبة للاستعمال على الجدران المميزة (Feature Walls) والجدران الفاصلة والأسقف. يمكن أن تكون أنصاف الكرات والزجاج الأساس صافية أو معيارية أو ملونة تقليدية. أمّا الزجاج المتكسّر فهو مادة مميزة أيضاً تصنع من طبقة زجاج مقسى بين طبقتين من الزجاج الملدن. يعالج الزجاج الصفيحي بعد الصنع بآلة تتسبب في تكسير طبقة الزجاج المقسى للحصول على المظهر الجمالي المرغوب. وهو متوفر في مجال من الألوان وإنهاء المرايا.

الزجاج المضاد للبكتيريا

يقتل هذا الزجاج معظم البكتيريا التي تقع على سطحه. ويرجع ذلك إلى وجود أيونات الفضة في الطبقة السطحية من الزجاج. إذ تتفاعل إيونات الفضة مع البكتيريا وتثبط استقلاب انقسامها (Division Metabolism). ولهذا النوع من الزجاج إمكانية تخفيض عدد حالات العدوى البكتيرية المكتسبة من المستشفيات والتي تعدّ اليوم مشكلة صحية معقدة.

الزجاج الواقي من الإشعاع الكهرطيسي

يمكن أن يستعمل هذا الزجاج لحماية أجزاء المباني التي تحوي معطيات مخزنة مغنطيسياً من التخريب العفوي أو المتعمد من طريق الحقول الكهربائية الخارجية. ولتحقيق الأمن الأقصى يجب أن تكون الطبقات الناقلة للكهرباء داخل الزجاج المركب على تماس كهربائي محيطي تام مع الإطارات المعدنية للنافذة وحُجُب (Screening) أسطح الجدران المحيطة.

الزجاج الواقي من أشعة إكس

يحتوي هذا الزجاج على 70% أوكسيد الرصاص، الذي ينتج حجاباً مهماً ضد الإشعاع المؤين (Ionising Radiation). لهذا الزجاج لون الكهرمان بفضل محتواه العالي من الرصاص. للوح واحد بسماكة 6 mm من هذا الزجاج أثر حجب من الأشعة إكس (X-ray) وإشعاع غاما (Radiation) يعادل تلك التي يوفرها لوح من الرصاص سمكه 2 mm.

الزجاج المولّد للصوت

الترفينول ـ د (Terfenol-D) مادة متفاعلة مغنطيسياً (Magnetostrictive) تتمدّد وتتقلّص بسرعة عندما تستحث بحقل مغنطيسي فتنتج قوة فيزيائية كبيرة. فإذا تمّ وصل جهاز ما يحتوي على مادة الترفينول ـ د بسطح زجاج أملس وغذي النظام بمدخل صوتي فسيهتز لوح الزجاج بأكمله وكأنه مكبّر صوت، وبالتالي يمكن تحويل واجهات أي محل إلى مكبرات صوت محدثة من خلال أسطحها صوتاً موحداً يمكن التحكم فيه أوتوماتيكياً، بحيث يكون أعلى من مستوى ضجيج الشارع الذي يتمّ مراقبته، وبذلك يتمّ تجنّب التلوث الصوتي. وإذا وضع جهازان بوضع مناسب فسوف يولدان صوتاً مجسّماً (Stereo Sound). تعمل التجهيزات المتفاعلة مغنطيسياً بطريقة مماثلة على أي سطح مستو صلب كسطح طاولة أو سطح عمل أو أسطح الجدران الفاصلة الصلبة. صيغت التسمية ترفينول ـ د من أسماء معادن الحديد (Iron) والتربيوم (Terbium) والديسبروسيوم (Dysprosium) التي تصنع منها.

الزجاج المزود بصمام ثنائي باعث للضوء (ليد)

توضع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (الليدات) بين لوحي زجاج وطبقة بينية من البي في بي، ويمكن إضاءتها بوساطة الناقلية الكهربائية لفيلم سطحي مؤكسد على زجاج خاص فتنطمس أي وصلات كهربائية مرئية. وقد استعملت هذه التقنية في المباني الرفيعة المستوى في دبي وكاليفورنيا ونيوشاتل (Neuchatel) وسويسرا. ويمكن تحقيق نقاط ضوء بيضاء وملونة بتفعيلها من طريق تعاقب مجموعة مفاتيح.

التنبيه إلى الزجاج

حيثما يوجد احتمال خطر عدم رؤية الزجاج، مما قد يسبّب إصابات

لمستخدمي البناء، ولا سيّما المساحات الكبيرة عند المداخل والأماكن المطروقة، يجب أن يعلّم الزجاج بوضوح بخطوط مستقيمة أو متكسرة أو بزخارف تزيينية أو شعارات الشركة على ارتفاع 850 - 1000 mm وكذلك على ارتفاع 1400 - 1600 mm فوق مستوى الأرض. في مثل هذه الحالات يجب أن يقل احتمال الإصابة بالاصطدام بالزجاج وذلك بضمان أنه متين أو محمي أو ألواحه صغيرة، أو ينكسر بشكل آمن. إن المواقع الحرجة التي تنطوي على أخطار الاصطدام بها من قِبل البشر (BS 6262-4: 2005) هي ألواح الزجاج الصافي ابتداء من مستوى الأرض وحتى ارتفاع 800 mm، وكذلك من مستوى الأرض وحتى 1500 mm للأبوب الزجاجية والألواح المزججة الجانبية في حدود 300 mm من الأبواب. يبين الشكل 22.7 مثال تقليدي للتنبيه إلى الزجاج.

(الشكل 22.7) التنبيه إلى الزجاج.

الزجاج المتبدل الناقلية (الذكي)

يغير الزجاج ذو الناقلية المتبدلة، أو الزجاج الذكي، خصائصه البصرية والحرارية بتأثير الضوء (التلون الضوئي Photochromic) والحرارة (التلون الحراري Thermochromic) أو الكمون الكهربائي (التلون الكهربائي (Electrochromic)). هذه الأنواع من الزجاج تتيح إمكانية التجاوب الديناميكي بدرجة عالية للتحكم المناخي بواجهات المباني. تتوفّر هذه المواد الذكية بما فيها المنتجات الحرارية المدارية (Thermotropic) أيضاً كطبقات لدائنية لإدماجها في منظومات الزجاج الصفيحي.

الزجاج المتلوّن بالضوء

الزجاج المتلوّن بالضوء يضمّ بلورات متحوّلة من الفضة حساسة بالأشعة فوق البنفسجية أو الموجات القصيرة من الضوء المرئي. ويتناسب عمق التلوين مباشرة مع كثافة الأشعة الواردة وهو عكوس (Reversible) تماماً. ومن سيئات استعمال هذه المادة في المباني أنها تتجاوب تلقائياً مع التبدلات الطارئة على الإشعاع الشمسي وليس مع تبدلات الوسط الداخلي في البناء.

الزجاج المتلون بالحرارة

يبدل الزجاج المتلون بالحرارة درجة مرور الضوء بحسب تبدلات درجات الحرارة. وهذه المواد، مثلها مثل الزجاج المتلون بالضوء، سيئة التجاوب مع الشروط المحلية ذات متطلبات الوسط الداخلي في البناء.

الزجاج المتلون بالكهرباء

يبدل الزجاج المتلوّن بالكهرباء درجة مرور الضوء بالتجاوب مع وصل الكهرباء، وقد يصبح بالتالي الأساس في **النوافذ الذكية**. تتلوّن الأنظمة المتعدّدة الطبقات من الأفلام المتلونة كهربائياً استجابة للجهد المنخفض المطبق، ثم تعود صافية عند عكس الكمون الكهربائي. يتوقّف عمق التلون على مقدار جهد التيار المستمرّ المطبق. هذه المواد المستقرة ضوئياً والتي تتلوّن كهربائياً هي أكاسيد التنغستين والنيكل والفاناديوم. يمكن أن تطبق أنظمة الأفلام الرقيقة المتلونة بالكهرباء على أي لوح زجاج مسطح.

الزجاج الصفيحي الكهرضوئي

يتألف الزجاج المتحكّم في الرؤية كهربائياً (بريفا -لايت (Priva-Lite)) من

نظام زجاج صفيحي مع طبقات من البولي فينيل بوتيرال يحتوي على طبقة سائلة منتشرة من البوليمر المتبلور التي يمكن أن تتحوّل بالكهرباء من شفافة إلى شبه شفافة أو بيضاء لتوفير الخصوصية.

الزجاج الذكي

إن طلاء الزجاج التقليدي يخفّف من انتقال الضوء والحرارة. غير أن طلاءً أساسه ثنائي أوكسيد الفاناديوم المعدل بالتنغستين (Tungsten-Modified Vanadium Dioxide) يسمح للضوء المرئي بالمرور في كلّ وقت، ولكنه يعكس الأشعة تحت الحمراء عند درجة الحرارة 29 مئوية. وعليه عند هذه الدرجة يُمنع مرور أية حرارة من الزجاج. وبالتالي يسمح الزجاج الذكي الذي لونه أصفر/أخضر قليلاً بالربح الشمسي المفيدة في الشروط الأبرد ويمنع الربح الشمسي الزائد من الأشعة تحت الحمراء في الشروط الحارة.

واجهات الزجاج الذكي

تبدل واجهات المباني من الزجاج الذكي خصائصها الفيزيائية تجاوباً مع حساسات كاشفة (Sensors Detecting) للضوء الخارجي وأحوال الطقس، فتخفّف بالتالي من استهلاك الطاقة الضرورية للمحافظة على البيئة الداخلية الملائمة. وعليه فإنّ الواجهات الذكية لها ميزات بيئية من حيث تقليل انبعاث الغازات الدفيئة العالمية وكذلك تخفيف نفقات تشغيل المباني المترتبة على الزبائن والمستثمرين.

تركز الواجهات الذكية الحقيقية على طاقة الأشعة الشمسية الواردة على واجهة البناء، وتكيف وظيفة السطح الخارجي للقيام بالتحكّم الحراري المناسب والحماية من الشمس، بالإضافة إلى إمكانية توليد الكهرباء بواسطة منظومات الخلايا الكهرضوئية. ويمكن التحكّم في أشعة الشمس من طريق وصل الزجاج المتلوّن كهربائياً أو باستخدام الأفلام الصفيحية الموشورية (Laminated Prismatic) أو المجسمة (Holographic) التي تحرف الإشعاع الشمسي وفقاً لزاوية وروده. أضف إلى ذلك، تستجيب الواجهات الذكية لجريان الهواء أو للمصادر الحرارية الأرضية لضمان تهوية مناسبة وسريعة الاستجابة. وتتحقّق هذه الوظيفة عادة باستخدام واجهة مزدوجة القشرة التي تعمل عمل فجوة تهوية. وفي فصل التدفئة يمكن أن تدفّئ القشرة المزدوجة الهواء البارد الداخل، وعندما يكون التبريد مطلوباً يمكنها ازالة الحرارة الزائدة المتراكمة في وحدة الزجاج المزدوجة عن طريق الحمل الحراري.

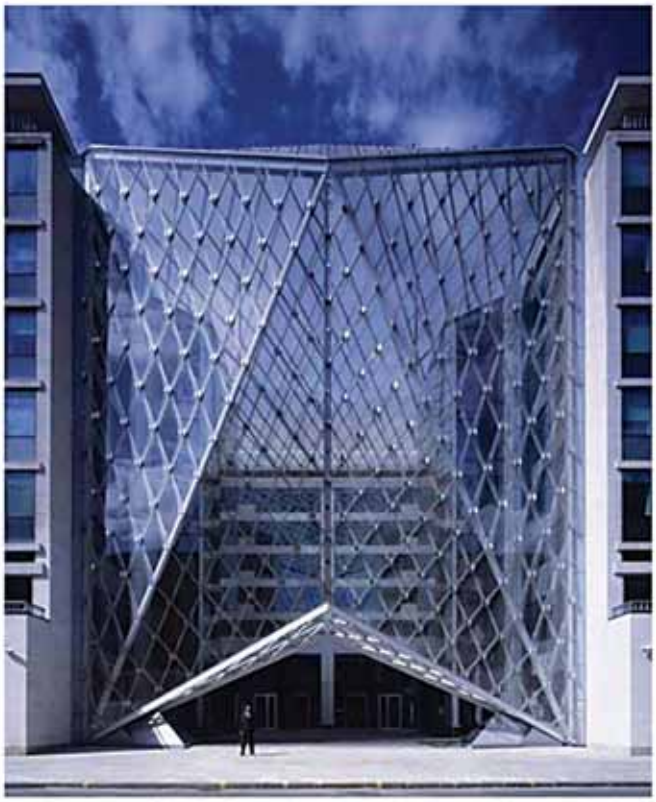
والأكثر من ذلك يمكن تخزين الطاقة الحرارية الفائضة من أجل إعادة توزيعها عند الضرورة.

تستجيب منظومات التظليل الذكية لتخفف الإشعاع الشمسي الوارد. إذ توضع حجب أو ستائر متحركة بين لوحي الزجاج تفتح أو تغلق طبقاً لحساسات شمسية أو أجهزة تحسس الطقس. إن مثل هذه المنظومات الميكانيكية، بما فيها النموذج الأولي لتجهيزات حجاب التظليل القزحي (Prototype Iris Diaphragm Shading Device) الذي استعمله جان نوفيل (Jean Nouvel) في معهد العالم العربي في باريس، تحتاج إلى صيانة كبيرة من أجل تشغيلها المستمر.

أنظمة إسناد الزجاج

الواجهات الزجاجية الحديثة معقدّة جداً، كما هو مبين في الشكل 23.7. إذ إن تثبيت التزجيج، وخاصة الزجاج المتحكم في أشعة الشمس، يجب أن يكون مرنا بشكل كافٍ ليأخذ بالحسبان التسامحات والحركات الحرارية. ويجب ترك فراغ (خلوص) عند الحافة (Edge Clearance) بقدر 3 mm على الأقل في وحدات الزجاج المفرد و5 mm في وحدات الزجاج المزدوج. ويجب أن يكون غطاء الحافة كافياً ليتحمل حمل الرياح التصميمي، ومساوياً عادة كحد أدنى لسمك الزجاج أو لوحدة الزجاج بحيث يضمن خط رؤية. كما يجب التحقّق من سُمك الزجاج بحيث يناسب سرعة الرياح المتوقّعة، وأن يعدل بحسب اعتبارات تأثير الطبوغرافية المحلية وارتفاع البناء وحجم عنصر التزجيج.

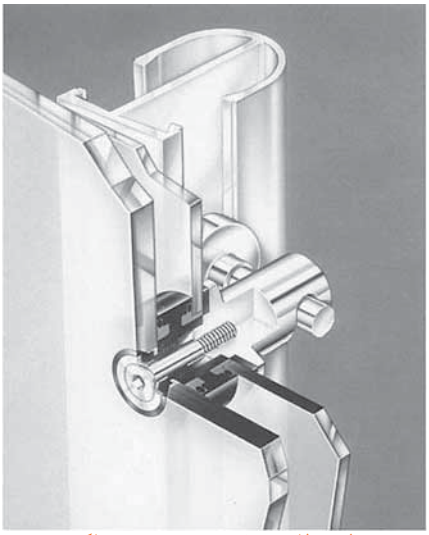
يقدم **نظام بيلكينغتون المسطح** (الشكل 24.7) للمصممين واجهة زجاجية غير متقطعة ونضرة. والمثبتات الوحيدة التي يمكن رؤيتها في الواجهة الخارجية هي رؤوس البراغي الغارزة (Countersunk Bolt Heads). حيث يصمم النظام الذي يمكن أن يستعمل للتزجيج المفرد أو المزدوج أو الثلاثي، شاقولياً أو مائلاً، بحيث تكون كل وحدة تزجيج مسنودة بمفردها بنظام دعامات فاصلة، بحيث لا يوجد حد يقيد من ارتفاع البناء. وتراعى الحركات الناجمة عن الرياح والحرارة من طريق صفيحة التثبيت التي تكون مرنة كفاية لتسمح للزجاج ببعض الدوران. وفي أنظمة الزجاج المزدوج تُسند الوحدات أساساً باللوح الخارجي. يتمّ ختم وصلات تناكب الزجاج مع الزجاج (Glass-To-Glass Butt Joints) بالسيليكون.



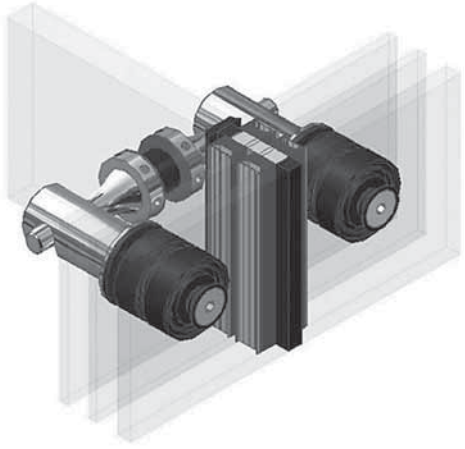
(الشكل 23.7) واجهة زجاجية ـ 55 شارع بيكر، لندن.

يمكن أن تحقّق **أنظمة التزجيج المسطّح الثلاثية** (الشكل 25.7) التي تتألف من طبقة زجاج تتحكم بأشعة الشمس وزجاج مضاعف منخفض الانبعاث وفراغين هوائيين بعرض 16 mm القيمة $U = 0.8\ W/m^2\ K$. تصنع وحدات الزجاج العازل من ثلاثة ألواح من الزجاج المقسى والمشرب بالحرارة بسمك يراوح بين 4 و19 mm بحسب حجم الوحدة.

صمم مبنى الفايننشال تايمز في دوكلاندز (Docklands)، لندن (الشكل 26.7) بواجهة طويلة شفافة محشوة بين نهايتين صلبتين من إكساء الألومنيوم. ويتألف القسم الزجاجي، 96x16 m، من جدار معلق من الزجاج المفرد المقسى مثبت ببراغي بصفائح تجميع مستديرة مربوطة من الخارج بأذرع كابولية (Cantilevered Arms) إلى ما يشبه الأجنحة (Aerofoil Forms). يعطي هذا الشكل جداراً متصلاً من الزجاج يلفت النظر في النهار وشفافاً في الليل عندما تشاهد عمليات الطباعة المضاءة بوضوح.



(الشكل 24.7) منظومة تزجيج مسطحة للواحهات مقدمة من بيلكينغتون.



(الشكل 25.7) مخطط نظام تزجيج ثلاثي، مقدمة من بيلكينغتون.

(الشكل 26.7) نظام تزجيج - مبنى الفايننشال تايمز، لندن، مقدّم من غريمشو للعمار وجو رايد وجون بيك.

الزجاج البنيوي

تستخدم غالباً أعمدة زجاجية كزعانف (Fins) للحدّ من الانحراف الزائد الذي تسببه الرياح والأحمال الجانبية على الواجهات الزجاجية. تكون المثبتات بين زجاج الواجهة والوحدات الزعنفية عادة ملاقط من الفولاذ الذي لا يصدأ مثبتة ببراغي خلال ثقوب مهيأة سلفاً في الزجاج المقسى أو الصفيحي، مع أنه يمكن استعمال لواصق سيليكونية أيضاً. ويشير المعيار (Bs En 13022: 2006) إلى أنه حيثما يكون هناك تعرض للضوء فوق البنفسجي فإن إحكام سدّ أي وحدة تزجيج بنيوية من الخارج يجب أن يكون بالسيليكون. والأكثر من ذلك، يشير المعيار (Bs En 15434: 2006) إلى أنه حيثما يكون ثمة تعرّض للضوء فوق البنفسجي فإن اللاصق السيليكوني هو اللاصق البنيوي الوحيد المناسب لتثبيت الوحدات الزجاجية. تكون الزعانف التي ارتفاعها طابق من الزجاج المقسى بعرض 200 ـ 300 mm وسمك 12 ـ 15 mm، وتثبت إلى الأرض و/ أو إلى أعلى الزجاج بنعال من الألومنيوم أو الفولاذ الذي لا يصدأ. توضع طبقة بينية لينة بين المعدن المثبت والزجاج لمنع تركز الإجهادات على سطح الزجاج وللسماح بالحركة الحرارية التفاضلية بين الزجاج والمعدن.

الزجاج متين تحت الضغط، لذلك يعدّ مادة مناسبة كأعمدة وجدران حاملة شريطة أن يضمن التصميم ما يكفي من المتانة والصلابة والاستقرار. وعلى العموم، يعد التحنب (Buckling) العامل الحرج، مع أنه يجب مراعاة عامل الأمان فيما يتعلق بالجساءة (Robustness) والحماية من الضرر العارض. ولا ضرورة لأن تكون الأعمدة الزجاجية مربعة المقطع، حيث يمكن مثلاً أن يكون المقطع المتصالب والمصنوع من الزجاج الصفيحي المقسى حلا أنيقا وفاعلاً.

تصنع العوارض الزجاجية عادة من زجاج صفيحي مقسى. فالعارضة ذات المجاز 4 m والعمق 600 mm والمصنعة من ثلاث صفائح من الزجاج المقسى، سماكة كل منها 15 mm عادة، يمكن أن يتحمّل حملاً يزيد على 5 طن، وبالتالي إذا استعملت عند تباعدات 2 m بين مراكز العوارض فإنها تحمل سقفاً زجاجياً مجازه 4 m. يمكن أن تربط العوارض الزجاجية بالأعمدة الزجاجية بالتلسين (اللسان والنقرة) (Mortice And Tenon) وتثبت بلاصق.

تمّ تشييد مبانٍ ذات الطابق الواحد زجاجية بالكامل، كما هو الحال في

السرادق الصغيرة عند جسر غيتسهيد الألفي (Gateshead Millennium Bridge) (الشكل 27.7)، وفي ردهات المداخل وفي المظلّات الكابولية باستعمال خليط من الزجاج الصفيحي والمقسّى للجدران والأعمدة والعوارض. وقد استعملت مثبّتات معدنية في الغالب، غير أنه عندما يكون المطلوب توفير الصفاء الكامل لمنظومة الزجاج يستعمل مواد بنيوية لاصقة عالية المُعامل من أجل التثبيت غير المرئي.

(الشكل 27.7) تفاصيل التزجيج البنيوي ـ سرادق عند جسر غيتسهيد الألفي؛ المعماريون ويلكنسون إير.

حين يطلب تركيب وحدات بنيوية صافية من الزجاج المزدوج يمكن استعمال مباعدات من الزجاج، بدلاً من الألومنيوم، مع تثبيتها وسدّها بالسيليكون الصافي، مع أنه قد يلزم حكّ الحواف وتخريشها لإخفاء المجففات الضرورية. ويجب أن نتذكر أن المباني الزجاجية بالكامل تتطلب اعتبارات تصميمية مدروسة بعناية ولاسيما ما يتعلق بالكسب الشمسي المفرط والعوامل البيئية الأخرى.

حيثما استعمل الزجاج كعنصر حمّال يجب أن يكون مطابقاً لمتطلبات الأداء البنيوي والحريق المنصوص عليها في الأجزاء ذات الصلة من المعيار (BS EN 1365). والشرط عادة هو 60 دقيقة للسلامة والعزل، وقد يُخفف إلى (EI30) في المباني السكنية التي لا يزيد ارتفاعها على 5 m.

يمكن أن تعدّ وحدات التزجيج البنيوي المزدوج المعبأة بهلام غازي بديلاً للواجهات والأسقف. تعطي الفجوة بعرض 70 mm المعبأة بالهلام الغازي القيمة 0.25 U، وتعطي الفجوة بعرض 30 mm المعبأة بالهلام الغازي القيمة 0.54 U أما نفاذية أشعة الشمس والضوء خلال فجوة 70 mm مملوءة بالهلام النانوي فهي 19%، وخلال فجوة 30 mm مملوءة بنفس الهلام هي 49%. ويمكن أن تشمل المتطلبات البنيوية أن يكون اللوح الداخلي من الزجاج الصفيحي المقسى.

بيوت الدرج والدرابزونات والأرضيات الزجاجية

من الاستعمالات الأخرى للزجاج الأدراج والمماشي والأرضيات والدرابزونات والمظلات. حيث يستعمل للأدراج الزجاج الصفيحي الملدن أو المقسى مع طبقة بينية من البوليمر. وتتوقف السماكة الإجمالية على مجاز الدرجة ومثبتاتها. غير أن النظام النماذجي يتألف من زجاج صفيحي 25 و10 mm على أن تكون الطبقة الأكثر سمكاً من الأعلى. الزجاج، على كل حال، زلق عندما يبتل، حتى لو عولج بالسفع بالرمل، أو ألصق به راتنج مبلمر أو جرى تخديده، ويجب ألا يستعمل بطبيعة الحال في الأماكن الخارجية. تم تنفيذ درج كامل من الزجاج في نوتينغ هل (Notting Hill) (الشكل 28.7) حيث جُمعت الأجزاء القائمة (Risers) من الدرجات ومداساتها (الجزء الأفقي) بالسيليكون البنيوي. وسُند الدرج بكامله من جانب واحد إلى جدار حجري واستند من الجانب الآخر إلى حائط كامل الارتفاع من الزجاج الصفيحي بوساطة أظفار معدنية وسيليكون بنيوي. واستخدم السفع بالرمل لأحداث بقع نقطية في الدرجات لمنع الانزلاق.

(الشكل 28.7) درج زجاجي ـ منزل في ناتينغ هل، لندن.

تتألف الأرضيات الزجاجية عادة من ألواح مساحتها حتى 1 m^2 وتستعمل لمظهرها الجمالي في دور السكن والأماكن التجارية. يمكن أن تضاء الألواح الزجاجية الصافية أو الملونة من تحتها لخلق معالم ممتعة. وتتوقف سماكات الأرضيات على الأحمال المتوقعة وأنظمة الحريق، غير أنها تكون عادة في حدود 29 mm (10 + 19 mm) للأوساط السكنية وحتى 50 mm (25 + 25 mm) للمواقع التجارية. وتُحك سطوح الزجاج عادة أو تسفع بالرمل من أجل السلامة. يوجد في برج سيرز في شيكاغو شرفات تبرز 1.2 m إلى الخارج عند الطابق 103، أرضيتها من زجاج سمكه 40 mm، من أجل إتاحة المجال للنظر إلى المدينة في الأسفل.

تُصنع درابزونات الزجاج الظفرية من زجاج مشرب بالحرارة ومقسّى، بسماكة تراوح بين 12 و 25 mm بحسب ارتفاعها والحمل المتوقع عليها. ويمكن أن تشتمل المعالم على انحناء وعلى زخرفة وتزيينات مطبوعة بالشبك على الساخن.

قد تصنع المظلات الزجاجية للمباني التجارية من صفائح الزجاج المقسّى التي توفر سلامة مضاعفة من خطر الانهيار. ومن المبتكرات الحديثة أيضاً الاستعمال البنيوي للقضبان الزجاجية في جسد العناصر المضغوطة وللأنابيب الزجاجية في العناصر البنيوية المضغوطة.

كما يجب أن يطابق الزجاج البنيوي ما ورد في الأجزاء ذات الصلة من المعيار (BS EN 1365)، والمتعلّقة بخصائص تحمل الأحمال والأداء في الحريق.

(الشكل 29.7) سقف زجاجي - المتحف البريطاني، لندن. منظر عام داخلي للصالة الكبرى وغرفة المطالعة. المعماريون: فوستر وشركاه. الصورة تقدمة من نيجل يونغ من فوستر وشركاه.

قائمة التحقُّق من التزجيج

قد يكون الزجاج أكثر مكونات البناء الأخرى أداءً لوظائف متعدّدة. لذا من الضروري التأكّد من أن كل العوامل قد روعيت في مواصفات الزجاج. من البدهي أن كثيراً من عوامل التحكم البيئية مترابطة فيما بينها وعلى من يضع المواصفات أن يتحقق من تبعات قرار التصميم وفق جميع الضوابط والأبعاد والموسطات. ويبين سقف الفناء الكبير في المتحف البريطاني في لندن (الشكل 29.7) الكثير من العوامل المتعلقة بمعالم السقف.

الوظائف الرئيسية المفتاحية:

المنظر الداخلي والخارجي نهاراً وليلاً.

المظهر البصري في النهار وفي الليل - اللون والانعكاسية.

التوازن في وعي ترشيد الطاقة بين ضوء النهار والإضاءة الصناعية.

السماء والوهج المنعكس

التدفئة الزائدة والتحكّم الشمسي.

الظل وحجب الضوء.

الكسب الشمسي السلبي وكفاءة الطاقة.

الراحة الحرارية وقيم U والتكاثف.

التهوية.

التحكم الصوتي.

الأمان - التلف بالصدم، والتخريب المتعمد وانتشار الحريق.

المراجع

FURTHER READING

Bahamón, A. 2006: *Glass houses*. New York: Collins Design.

Behling, S. and Behling, S. (eds.) 2000: *Glass, structure and technology in architecture*. München: Prestel.

Bell, M. and Kim, J. (eds.) 2009: *Engineering transparency. The technical, visual*

and spatial effects of glass. New York: Princeton Architectural Press.

Boubekri, M. 2008: *Daylighting, architecture and health. Design strategies*. Oxford: Architectural Press.

Button, D. and Pye, B. (eds.) 1993: *Glass in building: a guide to modern architectural glass performance*. Oxford: Butterworth Architecture.

Centre for Accessible Environments. 2007: *Glass in Buildings. Specifiers' handbook for inclusive design*. London: CAE.

CIBSE. 2006: *Designing for improved solar shading control*. TM37. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

Compagno, A. 2002: *Intelligent glass façades. Material*. 5th ed. Boston: Birkhäuser.

Crosbie, M.J. 2005: *Curtain walls: recent developments by Cesar Pelli*. Basel: Birkhäuser.

DEFRA. 2005: *The Government's Standard Assessment Procedure for energy rating of dwellings SAP 2005 edition*. Watford: BRE.

Energy Saving Trust. 2006: *Windows for new and existing housing*. Publication CE66, London: Energy Saving Trust.

Evergreen, 2008: *Architectural materials. Glass*. Taschen GmbH.

Glass and Glazing Federation. 2006: *Marking of installed safety glass*. London: Glass and Glazing Federation.

Glass and Glazing Federation. 2008: *A guide to best practice in the specification and use of fire-resistant glazing systems*. 2nd ed. London: Glass and Glazing Federation.

Glass and Glazing Federation. 2008: *Project green good glazing guide. Environmentally green working practices in the glass and glazing industry*. London: Glass and Glazing Federation.

Hyatt, P. and Hyatt, J. 2004: *Designing with glass: great glass buildings*. Australia: Images Publishing Group.

Institution of Structural Engineers. 1999: *Structural use of glass in buildings*. London: Institution of Structural Engineers.

Juracek, J.A. 2006: *Architectural surfaces: details for architects, designers and artists*. London: Thames and Hudson.

Kaltenbach, F. 2004: *Translucent materials: glass, plastics, metals*. Basel: Birkhäuser.

NBS. 2006: *You've been framed. Specification data for glass and glazing*. NBS Shortcut 12. Newcastle-upon-Tyne: National Building Specification.

NBS. 2008: *Stained and decorative glass. Leading by example*. NBS Shortcut 66. Newcastle-upon-Tyne: National Building Specification.

Pilkington. 2000: *The European glass handbook*. St. Helens: Pilkington.

Richards, B. 2006: *New glass architecture*. London: Laurence King.

Ryan, P., Otlet, M. and Ogden, R.G. 1998: *Steel supported glazing systems*. SCI publication 193. Ascot: Steel Construction Institute.

Saint Gobain. 2000: *Glass guide*. Goole: Saint Gobain.
Schittich, C. et al. 2007: *Glass construction manual*. 2nd ed. Basel: Birkhäuser.
Uffelen, C. Van. 2009: *Clear glass. Creating new perspectives*. Hamburg: Braun.
Watts, A. 2003: *Modern construction. Facades*. Austria: Springer-Verlag.
Watts, A. 2007: *Facades. Technical review*. London: RIBA Enterprises.
Wigginton, M. 2002: *Glass in architecture*. 2nd ed. London: Phaidon.
Wigginton, M. and Harris, J. 2002: *Intelligent skins*. Oxford: Architectural Press.
Wurm, J. 2007: *Glass structures. Design and construction of self-supporting skins*. Basel: Birkhäuser.

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials and structures.
BS 644: 2009 Timber windows. Factory assembled windows of various types.
BS 952 Glass for glazing:
Part 1: 1995 Classification.
Part 2: 1980 Terminology for work on glass.
BS 3447: 1962 Glossary of terms used in the glass industry.
BS 4255 Rubber used in preformed gaskets for weather exclusion from buildings:
Part 1: 1986 Specification for non-cellular gaskets.
BS 4873: 2009 Aluminium alloy window and door sets. Specification.
BS 4904: 1978 Specification for external cladding for building purposes.
BS 5051 Bullet-resisting glazing:
Part 1: 1988 Bullet resistant glazing for interior use.
BS 5252: 1976 Framework for colour co-ordination for building purposes.
BS 5357: 2007 Code of practice for installation of security glazing.
BS 5516 Patent glazing and sloping glazing for buildings:
Part 1: 2004 Code of practice for sloping and vertical patent glazing.
Part 2: 2004 Code of practice for sloping glazing.
BS 5544: 1978 Specification for anti-bandit glazing (glazing resistant to manual attack).
BS 5713: 1979 Specification for hermetically sealed flat double glazing units.
BS 5821 Methods for rating the sound insulation in buildings and of building elements:
Part 3: 1984 Method for rating the airborne sound insulation of facade elements and facades.
BS 6100 Building and civil engineering terms:
Part 1: 2004 Vocabulary. General terms.
BS 6180: 1999 Barriers in and about buildings. Code of practice.
BS 6206: 1981 Specification for impact performance requirements for flat safety glass and safety plastics for use in buildings.

BS 6262 Glazing for buildings:

Part 1: 2005 General methodology for the selection of glazing.

Part 2: 2005 Code of practice for energy, light and sound.

Part 3: 2005 Code of practice for fire, security and wind loading.

Part 4: 2005 Code of practice for safety related to human impact.

Part 6: 2005 Code of practice for special applications.

Part 7: 2005 Code of practice for the provision of information.

BS 6375 Performance of windows and doors:

Part 1: 2009 Classification for weather tightness and guidance on selection and specification.

Part 2: 2009 Classification for operation and strength characteristics and guidance on selection and specification.

Part 3: 2009 Classification for additional performance characteristics and guidance on selection and specification.

BS 6399 Part 2: 1997 Loading for buildings. Code of practice for wind loads.

BS 6510: 2005 Steel-framed windows and glazed doors.

BS 7412: 2007 Specification for windows and door sets made from unplasticised polyvinyl chloride (PVCU) extruded hollow profiles.

BS 7950: 1997 Specification for enhanced security performance of casement and tilt/turn windows in domestic applications.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 7: 1990 Code of practice for glazing.

BS 8206-2: 2008 Lighting for buildings. Code of practice for day lighting.

BS 8213 Windows, doors and roof lights:

Part 1: 2004 Design for safety in use and during cleaning of windows.

Part 4: 2007 Code of practice for the survey and installation of windows and external door sets.

pr BS ISO 11479 Glass in building. Coated glass:

Part 1: 2009 Physical defects.

Part 2: 2009 Colour of facade.

pr BS ISO 18292: 2009 Energy performance of fenestration systems. Calculation procedure.

BS EN 356: 2000 Glass in building. Security glazing. Classification of resistance to manual attack.

BS EN 357: 2004 Glass in building. Fire resistant glazed elements with transparent or translucent products.

BS EN 410: 1998 Glass in building. Determination of luminous and solar characteristics of glazing.

BS EN 572 Glass in building. Basic soda lime silicate glass products:

Part 1: 2004 Definitions and general properties.

Part 2: 2004 Float glass.

Part 3: 2004 Polished wired glass.
Part 4: 2004 Drawn sheet glass.
Part 5: 2004 Patterned glass.
Part 6: 2004 Wired patterned glass.
Part 7: 2004 Wired or unwired channel shaped glass.
Part 8: 2004 Supplied and final cut sizes.
Part 9: 2004 Evaluation of conformity/product standard.
BS EN 673: 1998 Glass in building. Determination of thermal transmittance (U-value). Calculation method.
BS EN 1026: 2000 Windows and doors. Air permeability. Test method.
BS EN 1036 Glass in building. Mirrors from silver coated float glass for internal use:
Part 1: 2007 Definitions, requirements and test methods.
Part 2: 2008 Evaluation of conformity. Product standard.
BS EN 1051 Glass in building. Glass blocks and glass pavers:
Part 1: 2003 Definitions and description.
Part 2: 2007 Evaluation of conformity. Product standard.
BS EN 1063: 2000 Glass in building. Security glazing. Classification of resistance against bullet attack.
BS EN 1096 Glass in building. Coated glass:
Part 1: 1999 Definitions and classification.
Part 2: 2001 Class A, B and S coatings.
Part 3: 2001 Class C and D coatings.
Part 4: 2004 Evaluation of conformity. Product standard.
BS EN 1279 Glass in building. Insulating glass units:
Part 1: 2004 Generalities, dimensional tolerances.
Part 2: 2002 Requirements for moisture penetration.
Part 3: 2002 Requirements for gas leakage rate.
Part 4: 2002 Methods of test for the physical attributes of edge seals.
Part 5: 2005 Evaluation of conformity.
Part 6: 2002 Factory production control and periodic tests.
BS EN 1364 Fire resistance tests for non-load bearing elements:
Part 1: 1999 Walls.
Part 2: 1999 Ceilings.
Part 3: 2006 Curtain walling. Full configuration.
Part 4: 2007 Curtain walling. Part configuration.
BS EN 1365 Fire resistance tests for load bearing elements:
Part 1: 1999 Walls.
Part 2: 2000 Floors and roofs.
Part 3: 2000 Beams.

Part 4: 1999 Columns.

Part 5: 2004 Balconies and walkways.

Part 6: 2004 Stairs.

BS EN 1522: 1999 Windows, doors, shutters and blinds. Bullet resistance. Requirements and classification.

BS EN 1634 Fire resistance and smoke control tests for door, shutter and openable window assemblies:

Part 1: 2008 Fire resistance tests for doors, shutters and openable windows.

Part 2: 2008 Fire resistance characterisation test for elements of building hardware.

Part 3: 2004 Smoke control test for door and shutter assemblies.

BS EN 1748 Glass in building. Special basic products:

Part 1.1: 2004 Borosilicate glasses. Definition.

Part 1.2: 2004 Borosilicate glasses. Conformity.

Part 2.1: 2004 Glass ceramics. Definition.

Part 2.2: 2004 Glass ceramics. Conformity.

BS EN 1863 Glass in building. Heat strengthened soda lime silicate glass:

Part 1: 2000 Definition and description.

Part 2: 2004 Evaluation of conformity.

BS EN ISO 10077 Thermal performance of windows, doors and shutters:

Part 1: 2006 Calculation of thermal transmittance. General.

Part 2: 2003 Calculation of thermal transmittance. Numerical method for frames.

BS EN ISO 10456: 2007 Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining the declared and design thermal values.

BS EN 12150 Glass in building. Thermally toughened soda lime silicate safety glass:

Part 1: 2000 Definition and description.

Part 2: 2004 Evaluation of conformity.

BS EN 12337 Glass in building. Chemically strengthened soda lime silicate glass:

Part 1: 2000 Definition and description.

Part 2: 2004 Evaluation of conformity/product standard.

BS EN 12519: 2004 Windows and pedestrian doors. Terminology.

BS EN ISO 12543 Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass:

Part 1: 1998 Definitions and descriptions.

Part 2: 1998 Laminated safety glass.

Part 3: 1998 Laminated glass.

Part 4: 1998 Test methods for durability.

Part 5: 1998 Dimensions and edge finishing.

Part 6: 1998 Appearance.

BS EN 12567 Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance:

Part 1: 2000 Complete windows and doors.

Part 2: 2005 Roof windows and other projecting windows.

BS EN 12600: 2002 Glass in building. Impact test method and classification for glass.

BS EN 12608: 2003 Unplasticised polyvinyl chloride (PVC-U) profiles for the fabrication of windows and doors.

BS EN 12758: 2002 Glass in building. Glazing and airborne sound insulation.

BS EN 12898: 2001 Glass in building. Determination of the emissivity.

BS EN 13022 Glass in building. Structural sealant glazing:

Part 1: 2006 Glass products for structural sealant glazing systems for supported and unsupported monolithic and multiple glazing.

Part 2: 2006 Assembly rules.

BS EN 13024 Glass in building. Thermally toughened borosilicate safety glass:

Part 1: 2002 Definition and description.

Part 2: 2004 Evaluation of conformity.

BS EN 13119: 2007 Curtain walling. Terminology.

BS EN 13363 Solar protection devices combined with glazing:

Part 1: 2003 Calculation of solar and light transmission. Simplified method.

Part 2: 2005 Calculation of total solar energy transmittance and light transmittance. Detailed calculation method.

BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

BS EN 13541: 2001 Glass in building. Security glazing. Testing and classification.

BS EN 13947: 2006 Thermal performance of curtain walling. Calculation of thermal transmittance.

BS EN 14178 Glass in building. Basic alkaline earth silicate glass products:

Part 1: 2004 Float glass.

Part 2: 2004 Evaluation of conformity.

BS EN 14179 Glass in building. Heat soaked thermally toughened soda lime silicate safety glass:

Part 1: 2005 Definition and description.

Part 2: 2005 Evaluation of conformity. Product standard.

BS EN 14321 Glass in building. Thermally toughened alkaline earth silicate safety glass:

Part 1: 2005 Definition and description.

Part 2: 2005 Evaluation of conformity. Product standard.

BS EN 14351-1: 2006 Windows and doors. Product standard, performance characteristics.
BS EN ISO 14438:2002 Glass in building. Determination of energy balance value. Calculation method.
BS EN 14449: 2005 Glass in building. Laminated glass and laminated safety glass. Evaluation of conformity.
BS EN 14600: 2005 Door sets and openable windows with fire resisting and/or smoke control characteristics. Requirements and classification.
BS EN 14963: 2006 Roof coverings. Continuous rooflights of plastics. Classification.
BSEN15193: 2007 Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting.
BS EN 15254-4: 2008 Extended application of results from fire-resistance tests. Non-load bearing walls. Glazed constructions.
pr EN 15269: 2008 Extended application of test results from fire-resistance and/or smoke control for door, shutter and openable window assemblies.
BS EN 15434: 2006 Glass in building. Product standard for structural and/or UV resistant sealant.
pr EN 15752-1: 2008 Glass in building. Adhesive backed polymeric film. Definitions and descriptions.
pr EN 15755-1: 2008 Glass in building. Adhesive backed polymeric filmed glass. Definitions and descriptions.
CP 153 Windows and rooflights:
Part 2: 1970 Durability and maintenance.
Part 3: 1972 Sound insulation.
PD6512 Use of elements of structural fire protection:
Part 3: 1987 Guide to the fire performance of glass.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 346 The assessment of wind loads:
Part 1: 1992 Background and method.
Part 2: 1989 Classification of structures.
Part 3: 1992 Wind climate in the United Kingdom.
Part 4: 1992 Terrain and building factors and gust peak factors.
Part 5: 1989 Assessment of wind speed over topography
Part 6: 1989 Loading coefficients for typical buildings.
Part 7: 1989 Wind speeds for serviceability and fatigue assessments.
Part 8: 1990 Internal pressures.
BRE Digest 453: 2000 Insulating glazing units.

BRE Digest 457: 2001 The Carbon Performance Rating for offices.
BRE Digest 497: 2005 Factory glazed windows (Parts 1 & 2).
BRE Digest 498: 2006 Selecting lighting controls.

BRE Good building guide

BRE GBG 61: 2004 Lighting (Parts 1, 2 & 3).

BRE Information papers

BRE IP 3/98 Daylight in atrium buildings.
BRE IP 2/02 Control of solar shading.
BRE IP 3/02 Whole life performance of domestic automatic window controls.
BRE IP 11/02 Retrofitting solar shading.
BRE IP 17/03 Impact of horizontal shading devices on peak solar gains through windows.
BRE IP 1/05 Impact standards for glass.

BRE Report

BR 443: 2006 Conventions for U-value calculations.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Glass Manufacturers Confederation, 9 Churchill Way, Chapeltown, Sheffield, South Yorkshire S35 2PY, UK (0114 2901850).
Glass & Glazing Federation, 44-48 Borough High Street, London SE1 1XB, UK (0870 042 4255).
Plastics Window Federation, Federation House, 85-87 Wellington Street, Luton, Bedfordshire LU1 5AF, UK (01582 456147).
Steel Window Association, The Building Centre, 26 Store Street, LondonWC1E 7BT, UK (020 7637 3571).

8

المواد الخزفية

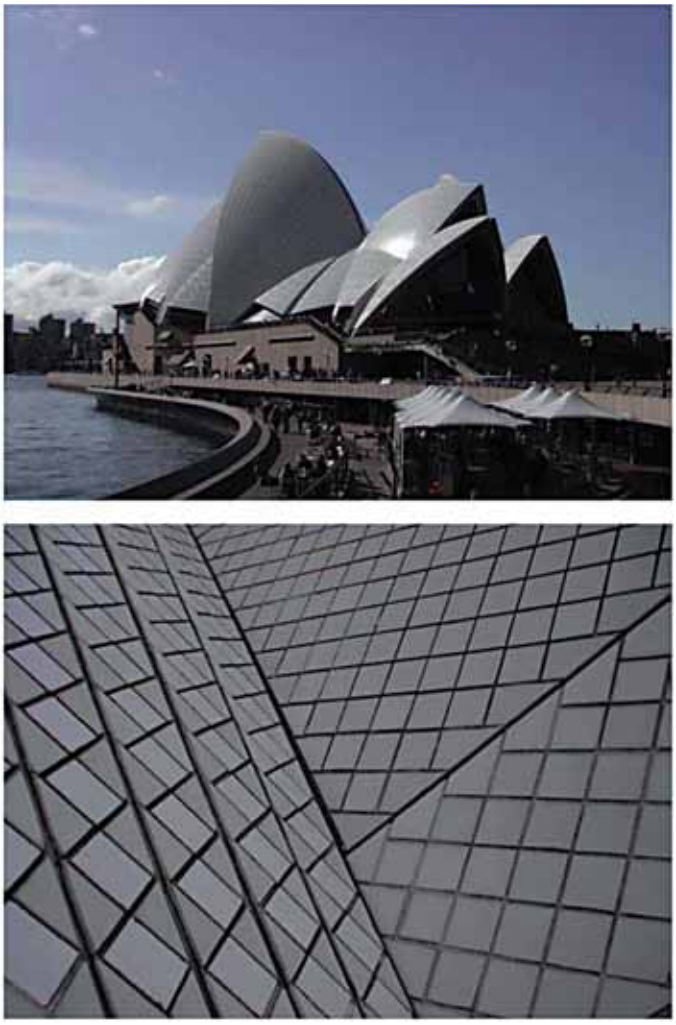
مقدمة

صنعت المواد الخزفية من الصلصال المشوي واستعملت في البناء في مصر منذ 4000 سنة قبل الميلاد على الأقل، وهي تمثّل أقدم مواد بناء مصنعة. وعلى الرغم من أن التعريف الدقيق للخزف يشمل الزجاج والحجر والإسمنت فإنّ هذا الفصل يتناول فقط الخزف التقليدي الذي أساسه الصلصال. وينشأ التنوّع في المنتجات الخزفية التقليدية المستعملة في صناعة البناء من اتساع مجال الصلصال الطبيعي وخلائطه المستعملة في صناعته. فسطح دار الأوبرا الرائع في سيدني (Sydney Opera House) قد تمّ إكساؤه (الشكل 1.8) ببلاط خزفي أبيض يعكس تبدلات الضوء بحسب ساعات النهار.

أنواع الصلصال

ينتج الصلصال (الغضار) من تجوية الصخور النارية، الغرانيت عادة، التي تتألّف أساساً من الفلدسبار (Feldspar)، فلز سيليكات الألومنيوم. ويعرف الصلصال المتشكّل بالقرب من الصخر الأم باسم الصلصال الأولي. وهو أقرب إلى كونه مادة نقية وأقل لدونة وأكثر عرضة للتشوّه والتكسّر عند الشي. وينتج الكاولين (Kaolin) ($Al_2O_3\ 2SiO_2\ 2H_2O$)، وهو أنقى أنواع الصلصال، مباشرة من تفكّك الفلدسبار في الغرانيت. أما الصلصال الثانوي، الذي يتم نقله مع الماء، فيتمتع بلدونة أكبر ويتلون عند شيه بلون أصفر برتقالي فاتح (Buff) أو بني بحسب محتواه من الأكاسيد الداخلة في تركيبه وطبيعتها. وعلى العموم، فإن الصلصال الثانوي، الذي يتوضع في أثناء عملية الترسب يتوزع بحجوم أضيق وتكون بنيته الجزيئية أكثر انتظاماً.

أكثر فلزات الصلصال استعمالاً في صناعة مواد البناء هو الكاولين والإيلايت (Illite) (صلصال المايكا) والمونتموريلونايت (Montmorillonite)، وهو أكثر أنواع الصلصال لدونة ومركباته كثيرة. فشكل بلورات الصلصال يكون سداسي الأضلاع عموماً، وتتراكب بلورات الكاولين الصافي من طبقات متناوبة من الألومينا والسيليكا (الشكل 2.8). غير أنه في صلصال الإيلايت والمونتموريلونايت يكون التركيب المتنوع ناتج من الترسيب الذي ينتج بنيات أكثر تعقيداً.



(الشكل 1.8) خزف سقف دار الأوبرا في سيدني وتفاصيله، المعماريون: (Jern Utzon and Ove Arup). الصورة: (Arthur Lyons).

يعد صلصال الخزافين (Ball Clays) صلصالاً ثانوياً يحتوي على بعض المواد العضوية التي تحترق أثناء الشيّ، وحبيباته الناعمة الصغيرة الحجم تجعله لدناً أكثر. وعندما يشوى منفرداً فإن له تقلصاً كبيراً وينتج خزفاً رمادياً فاتحاً أو أصفر برتقالياً فاتحاً، غير أنه يمزج عادة مع أنواع أخرى من الصلصال كالكاولين ليصبح أكثر قابلية للتشغيل. أما الصلصال الطيني (Terracotta) فيحتوي على نسبة كبيرة من أوكسيد الحديد تمنحه اللون الأحمر المميز عند الشيّ. ومع أن المواد الصلصالية الرئيسية المستعملة في صناعة الخزف هي الكاولين والإيلايت والفلدسبار وصلصال الخزافين، فكثيراً ما يضاف الطبشور والكوارتز وغيرهما من المكونات الضئيلة لإعطاء الخزف خصائصه المطلوبة عند الشيّ.

الماء في الصلصال

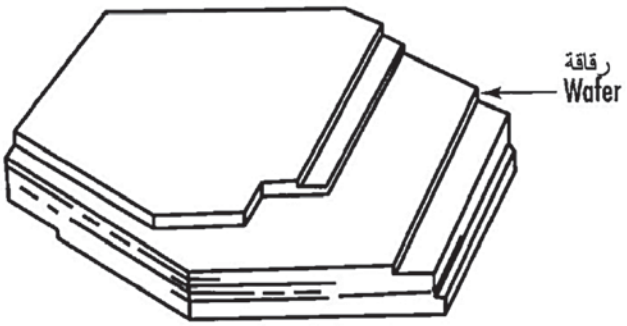
يحتوي الصلصال الرطب على ماء مرتبط كيميائياً وفيزيائياً. ويتغلغل الماء المرتبط فيزيائياً بين جزيئات الصلصال فيسمح لها بالانزلاق بعضها فوق بعض أثناء عملية التشكيل الرطب. وفي أثناء الجفاف التدريجي للصلصال المشكّل قبل الشيّ تبقى نسبة ضئيلة من الماء المرتبط فيزيائياً في الصلصال لتحفظ له شكله. وفي أثناء الشيّ يزول آخر ما تبقّى من الماء المرتبط فيزيائياً عندما تتجاوز درجة الحرارة 100 مئوية.

عملية التصنيع

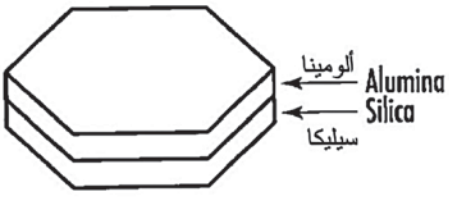
تُشكّل منتجات الخزف في عملية رطبة أو جافة. ففي العملية الأولى يجب تجفيف الأشغال اليدوية بعد البثق ببطء قبل شيّها، بحيث يتم التقلص من دون تشققات. وعندما يتطلّب الأمر مستوى عالٍ من الدقة في الأبعاد، كما في معظم بلاط الجداران والأرضيات، تستعمل العملية الجافة بحيث يُضغط الصلصال المسحوق بالشكل المطلوب. يحدّد المعيار (BS EN 14411:2006) أنواع بلاط الخزف طبقاً للطرق الذي تنتج فيه سواء بالبثق أو بالعملية الجافة، إضافة إلى خصائص امتصاصها للماء، بغض النظر عن استعمالاتها النهائية.

في أثناء شيّ الصلصال ومع التدّرج في زيادة درجة الحرارة، يزول معظم الماء المرتبط كيميائياً عند الدرجة 500 مئوية. وعند الدرجة 800 مئوية تكون المواد الكربونية قد احترقت وتحوّلت إلى ثنائي أوكسيد الكربون، وتبدأ عملية التلبيد (Sintering) منتجة في البداية مادّةً عالية المسامية. ومع زيادة درجة الحرارة حتى

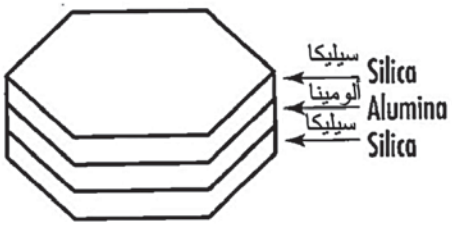
1200 مئوية يُعاد تبلور مركبات الألومينا والسيليكا لتشكّل المولايت (Mullite). فإذا زيدت درجة حرارة الشيّ أكثر نحصل على خزف أكثر تزجّجاً نتيجة استمرار إعادة التبلور، فإذا بلغت درجة الحرارة 1300 مئوية يتبلور جميع ما بقي من السيليكا. وبوجود أملاح البوتاسيوم أو الصوديوم يحدث التزجيج معطياً منتجاً كتيماً.



بلورة الصلصال التقليدية (مكبرة × 1500)
Typical clay crystal (magnified × 150 000)

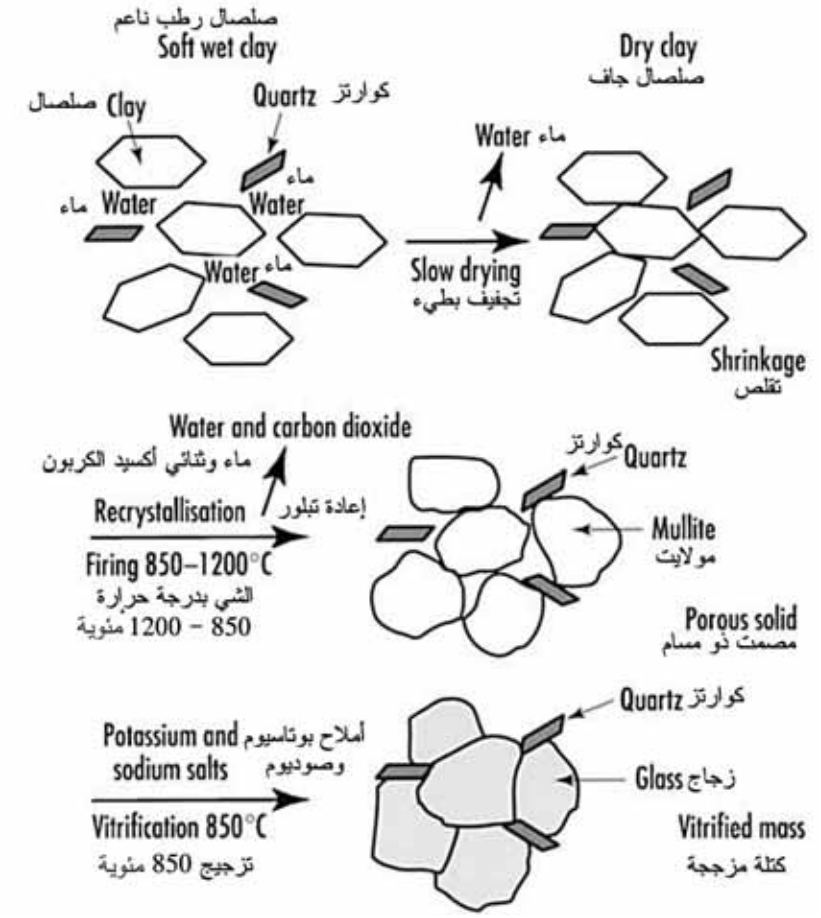


Kaolin wafer structure بنية رقائق الكاولين



Illite or montmorillonite wafer structure
بنية رقائق الإيلايت أو المونتموريلونايت

(الشكل 2.8) بنية الصلصال.



(الشكل 3.8) شيّ الصلصال.

منتجات الخزف

الصلصال الناري

ثمّة أنواع من الصلصال المكوّن أساساً من خلائط الألومينا والسيليكا والغني بالسيليكا (40-80%) مع قليل من أوكسيد الحديد (2-3%) ينتج منتجات مقاومة للانصهار (Refractory)، ويصمد لدرجات حرارة عالية من دون أن يتشوه. وتقاوم منتجاته الكثيفة البنية اللهب الشديد، في حين تصلح منتجاته العازلة الأقل كثافةً لتبطين المداخن. ويستعمل الصلصال الناري الأبيض المزجّج عادة للمراحيض وقنوات التصريف والمغاسل في المختبرات والمصانع.

صلصال الآجُرّ

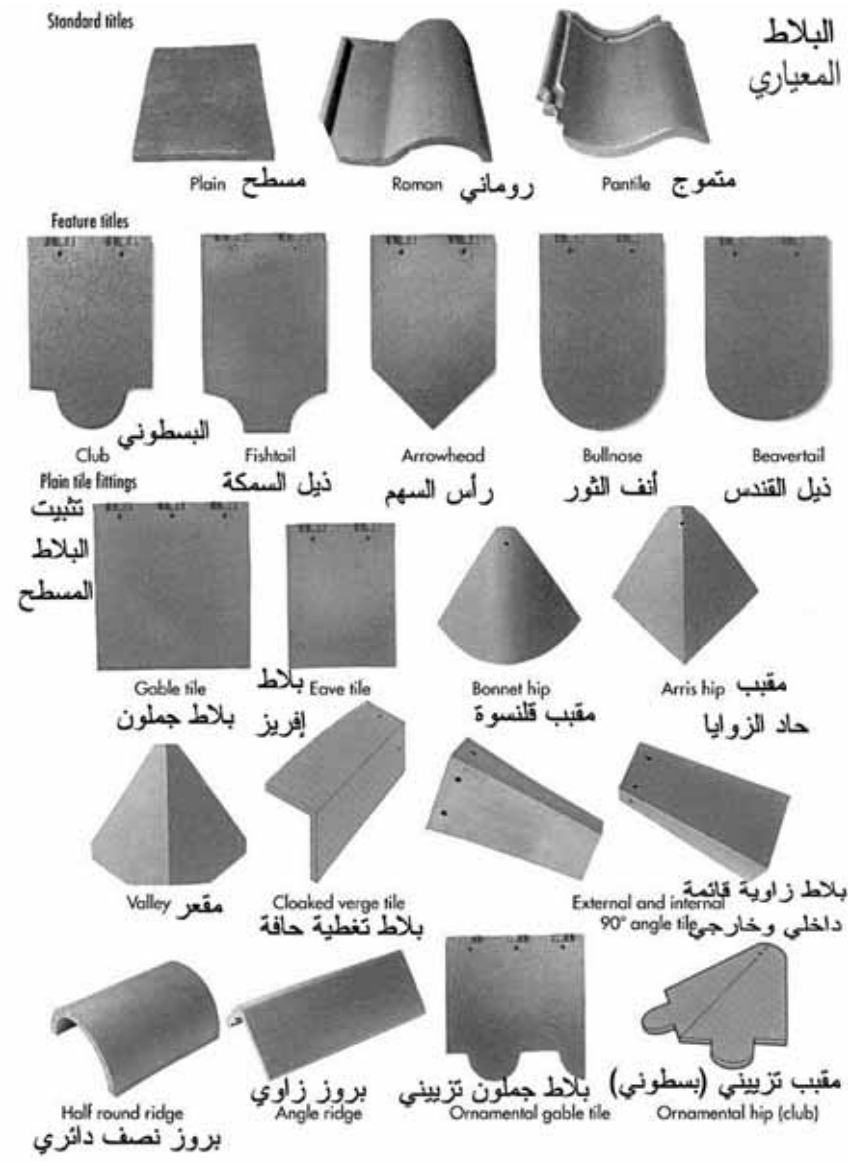
الآجُرّ وبلاط الأسقف

يمكن أن يصنع الآجُرّ من أنواع كثيرة من الصلصال، وفي مقدمتها مارل كيوبر (Keuper marl) ومارل إتروريا (Etruria marl) وصلصال أكسفورد (Oxford clay) وصلصال لندن (London clay) وطَفَل تكوينات الفحم الحجري وصلصال ويلد وغولت مع بعض ترسبات الطمي (Alluvial) والصلصال الناري. يختلف تركيب الصلصال اختلافاً كبيراً بناء على نوعه، غير أنه يحتوي عادة على 40-60% سيليكا، و10-25% ألومينا، 3-9% أوكسيد الحديد. ويمكن أن يصل الفاقد عند الشيّ إلى 17% في حال اشتمل الصلصال على مستويات عاليه من المواد العضوية. وقد تمّ وصف إنتاج الآجُرّ في الفصل الأول.

يصنع الآجُرّ المزجج طبقاً لمجال واسع من اللمعان العالي وبألوان موحّدة أو مزركشة. ويوفر الآجُرّ المزجج ذو اللون الثابت مادة لا تحتاج إلى صيانة كبيرة ومقاوِمة للصقيع والتخريب وصالحة للجدران العاكسة للضوء. ويمكن إنتاج الآجُرّ المعياري والآجُرّ الخاص بحسب الطلب. وتعتبر تقانات تشييد الآجُرّ العادي مناسبة، غير أنه لتخفيض الأثر البصري لوصلات الملاط يمكن تقليص سماكتها المعيارية من 10 mm إلى 6 mm. ولأعمال الصيانة، وبغية مقاربة الحديث مع القديم الموجود، قد يكون من الضروري شيّ الآجُرّ المزجّج مرة ثانية بدرجات حرارة منخفضة لمماثلة ألوان المواد الموجودة من قبل.

يصنع بلاط الأسقف من صلصال مماثل لصلصال الآجُرّ، مثل مارل إتروريا، ولكن سواء صنِّع القرميد يدوياً أو آلياً تجب غربلة المواد الخام بنعومة أكبر من تلك المستعملة للآجُرّ. ولا يزجّج بلاط الأسقف الخزفي التقليدي الأحمر أو البني أو البرتقالي أو الرمادي الداكن (Brindled) أو "المعتّق" وهو أملس بسيط أو بإنهاء رملي. على الرغم أنه يمكن استعمال معظم البلاط الصلصالي المتشابك بميل لا يقل عن 22.5^0، إلا أن أحد منتجات المملكة المتحدة من بلاط الصلصال الطيني الأحمر المتشابك تماماً يمكن أن يستعمل بميل منخفض حتى 15^0. وعندما تُطلب الألوان الزاهية، يتوافر القرميد المموج بلمعة قوية وخفيفة، وبمجال من الألوان القوية، أو بمواصفات حسب الطلب. أما للبلاط البسيط الأملس، يتم إنتاج مجال واسع معياري من المثبتات مناسب لتغطية خطوط التقاء سطحين مائلين (تحدبات

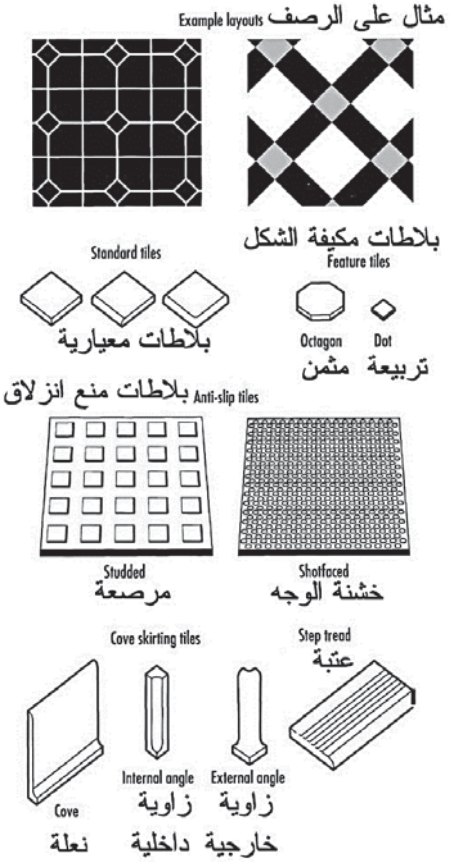
وتقعّرات) وخطوط التقاء السطح مع الجدار (Eaves) وخطوط الذروة (Ridges) والحواف (Verges) والزوايا الداخلية والخارجية كما هو مبيّن في الشكل 4.8. ترص البلاطات وترزم عادة لحمايتها وتسهيل تداولها في الموقع.



(الشكل 4.8) بلاط الأسقف ـ البلاطات المكيفة والمسطحة المناسبة.

بلاط الأرضيات من المارل

يُصنع بعض أنواع بلاط الأرضيات أيضاً من مارل إتروريا. ويكون الشيّ على درجة حرارة 1130 مئوية فينتج تزجيجاً كافياً ليعطي منتجات عالية المتانة ومقاومة للكيميائيات والصقيع، مع تشرّب محدود للماء يقل عن 3%. وهذا يقابل الفئة الأدنى من تشرب الماء (المجموعة 1) وفقاً للمعيار (BS EN 14411: 2006). يحدّد تشرب الماء المتوسط (المجموعة 2) بين 3% و 10%. في حين تشير المجموعة 3 إلى تشرب الماء أكثر من 10%. وحيثما كان المطلوب مقاومة عالية للانزلاق يمكن إدماج بروزات أو مجروش الكربورندوم (Carborundum Grit) (كربيد السيليكون) في سطح البلاط (الشكل 5.8). يبيّن الشكل 6.8 الاستعمال المناسب لبلاط الأرضيات.



(الشكل 5.8) بلاط الأرضيات ـ المرقش والأملس والخاص.

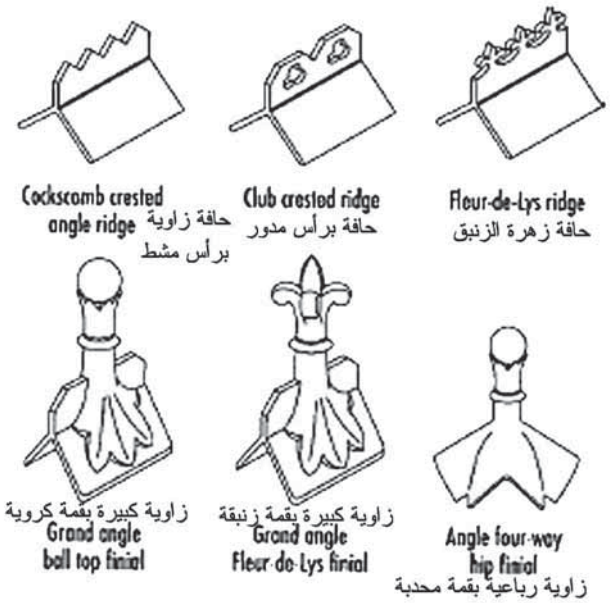
(الشكل 6.8) بلاط الأرضيات.

الصلصال الطيني (التراكوتا)

لإنتاج مكونات معقدّة من الصلصال الطيني لعناصر المباني يجب أن يكون الصلصال أكثر نعومة مما هو ضروري للآجُرّ أو بلاط الأسقف. يتسبّب وجود أوكسيد الحديد في الصلصال في تلوين المنتج المشوي باللون البرتقالي الفاتح أو البني أو الأحمر. وفي أواخر القرن التاسع عشر شيّدت مبانٍ مدنية كثيرة ببلوك من الصلصال الطيني العالي الزخرفة. وقد استخدمت تلك المواد لأنها أرخص ثمناً من الحجر وذات ديمومة ويمكن قولبتها بأي شكل. وكانت البلوكات غالباً مجوّفة جزئياً لتسهيل تجفيفها وشيّها، وكانت تملأ بالخرسانة في أثناء البناء.

وما تزال بلوكات الصلصال الطيني الحديثة تستعمل في المباني الجديدة أو في ترميم القديمة كمربعات منحوتة بسيطة (Plain Ashlar) أو ذات مقاطع مكيّفة (Profiled) أو على شكل منحوتات تزيينية. يمكن أن يستعمل الصلصال الطيني

كطبقة خارجية للجدران الفجوة أو كسوة بسماكة 25 ـ 40 mm معلقة على مثبّتات ميكانيكية من فولاذ لا يصدأ. ويتطلّب إنتاج بلوكات الصلصال الطيني صنع نموذج أكبر حجماً (ليأخذ بالحسبان التقلّص)، ليصنع منه قوالب من الجص. ثم يُضغط الصلصال الجاهز في قالب الجص ويجفف في شروط متحكم بها ثم يشوى. تنتج من الصلصال الطيني ألوان تقليدية إضافة إلى اللونين الأخضر والأزرق وبنسيج متنوّع. ويمكن تلوين الصلصال الطيني كي يتماشى عند الترميم مع أشغال الصلصال الطينيّة القائمة والتي خضعت للتغيرات الطبيعية. إلى جانب استعماله كوحدات للإكساء، يستعمل الصلصال الطيني أيضاً في صنع بلاط الأرضيات وفي صنع مجال واسع من البلاط التزييني لذرى البناء وتيجانه (الشكل 7.8). وقد وصف بلوك البناء من الصلصال الطيني المنتج بالبثق في الفصل الثاني.



(الشكل 7.8) بلاطات وقمم الحواف من الصلصال الطيني.

كسوة الصلصال الطيني العازل للمطر

الكسوة العازلة لماء المطر هي عنصر خارجي لمقاومة العوامل الجوية في أنظمة الجدران المتعدّدة الطبقات العازلة للمطر. ويُصرف الماء عن الواجهة العازلة للمطر، وتُهوّى من الخلف لتحمي الجدار البنيوي من المفعول الضار للشمس والرياح وماء المطر. كما إن تصميم الوصلات والفجوة بين الواجهة والبناء يكفل

تعادل ضغط الهواء بين الفجوة والوسط الخارجي مما يمنع مرور الرطوبة التي يحملها الهواء عبر الفجوة. وتوضع في بعض المنظومات مانعة إحكام شاقولية مطاطية من مادة الإيتيلين بروبيلين دايين فئة (EPDM) (Mthylene Propylene Diene Monomer) (M-class) في الوصلات الشاقولية. ويثبت غشاء تنفّس عادة على البناء قبل تركيب عازل المطر.

تُعدّ أنظمة عزل المطر مناسبة للمباني الحجرية والخرسانية والمباني ذات الأطر الخشبية والخرسانية. تركّب شبكة أفقية أو شاقولية من الألومنيوم المسحوب على الواجهة تاركة فجوة هوائية بسمك 25 mm. ثم تعلق وحدات عزل المطر على أنظمة الإسناد. يمكن تصنيع قطع عزل المطر من الصلصال الطيني أو من مجموعة كبيرة من المواد الأخرى، بما فيها ألواح الحجر أو الفولاذ غير القابل للصدأ أو النحاس أو الألومنيوم أو الزنك. وتكيف أشكال قطع عزل المطر بحيث ينساب ماء المطر بعيداً عن وصلات التصريف المفتوحة وبحيث يمكن فك بعض الواحدات من أجل الصيانة والإصلاح. ثمة مجال واسع من الألوان والأبعاد متوافر في وحدات الصلصال الطيني لتحقيق المظهر الجمالي المطلوب. إن الكسوة العازلة للمطر من الصلصال الطيني مقاومة للحريق ومتينة ولا تحتاج عملياً إلى صيانة باستثناء التنظيف من حين إلى آخر.

(الشكل 8.8) كسوة من الصلصال الطيني عازلة للمطر.

القيشاني (الصيني، الخزف المزخرف)

القيشاني (الصيني) صلصال طيني مزجّج يستعمل كوحدات بنيوية أو على شكل بلاطات مزخرفة تستعمل في الإكساء. كان القيشاني شائعاً في القرن التاسع عشر، وكثيراً ما كان يستعمل مع أشغال الآجُرّ المتعددة الألوان في واجهات المباني، مثل المباني السكنية العامة. يمكن أن يزجّج الصلصال الطيني بعد شيّه بشكل أولي وتصلبه إلى حالة البسكويت، أو يطبق التزجيج **الزلق** قبل شيّه لأول مرة. ويمتاز هذا الأخير بأنه يخفض مخاطر تشقق طبقة التزجيج عشوائياً مع أنه يحد من تنوع الألوان. يتوافر الخزف القيشاني بنسيج يشبه قشرة برتقالية لامع أو غير لامع (مت (Matt))، وبألوان بسيطة أو مرقشة. ومادته ذات ديمومة طويلة، ولا تتأثر بعوامل التجوية أو الصقيع أو الأشعة فوق البنفسجية، غير أن الصدمات القوية قد يُشظي سطحه ويسبب له ضرراً غير بسيط.

الخزف الحجري

يصنع الخزف الحجري من صلصال ثانوي لدن، بشكل نموذجي من مزيج من صلصال ناري مع إضافة صهور كالفلدسبار. وعندما يشوى بدرجة حرارة بين 1200 مئوية و1300 مئوية تتزجج المادة وتنتج خزفاً كتيماً ذا مقاومة كيميائية عالية. ومعظم الأنابيب الصلصالية المزجّجة غير المصقولة هي من الخزف الحجري، ولأغلب الأغراض تستعمل وصلات من البولي بروبيلين التي تسمح مرونتها بالتكيف مع حركة الأرض، ومع ذلك، إذا تطلّب الأمر، فإنه تتوافر أكمام وصل وسدات بلاليع (Socket/ Spigot) تقليدية من الخزف الحجري.

تصنّع ألواح خزفية كبيرة من الخزف الحجري مربعة طول ضلعها 1.2 m وسمكها 8 mm كوحدات إكساء للواجهات. ويمكن لهذه الألواح، الثابتة اللون والمقاومة للحريق والصقيع، أن تكون منتظمة اللون أو مبرقشة أو مزججة أو من دون تزجيج. وأمّا أنظمة التثبيت فيمكن أن تكون ظاهرة أو مخفية، كما أن أنظمة الوصلات المفتوحة توفر تهوية خلفية تسمح بتبديد أي رطوبة منتشرة من جدار الإسناد بواسطة حركة الهواء الطبيعي.

بلاط الأرضيات من الخزف الحجري

يستعمل الخزف الحجري كذلك في صنع بعض أنواع بلاط الأرضيات. وإن درجة حرارة الشي المرتفعة تعطي منتَجاً بمسامية منخفضة تقل عادة عن 3%. في

إحدى العمليات الإنتاجية يطبّق على البلاطات تزجيج حبيبي داخل الفرن للحصول على إنهاء زجاجي كتيم. يصنف المعيار (BS EN 14411: 2006) ستة مستويات من مقاومة الاهتراء لبلاط الأرضيات المزجج. ولا ينصح باستعمال الصنف 0 للأرضيات. أما الصنف 5 فيملك أعلى مقاومة لحركة مرور المشاة ولمدة طويلة.

الفخار

ينتج الفخار من مزيج من الكاولين وصلصال الخزافين والصوّان مع صهور من الفلدسبار في بعض الحالات. فعندما تشوى هذه المادة بدرجة حرارة 1100 مئوية تصبح مسامية وتحتاج إلى تزجيج لمنع امتصاص الماء. وفي صناعة سلع الصرف المزججة التقليدية يتم التزجيج الملحي بإضافة الملح الشائع الرطب إلى الفرن في أثناء الشي. يتفكك الملح ليشكل أوكسيد الصوديوم الذي يتفاعل مع السيليكا والألومينا على سطح القطعة الصلصالية فينتج تزجيج ملحي كتيم للرطوبة.

بلاط الجدران الفخاري

يصنع البلاط الجداري (الشكل 9.8) من الصلصال الترابي مضافاً إليه التالك (Talc) (سيليكات المغنيزيوم) أو الحجر الكلسي (كربونات الكالسيوم) لضمان الحصول على صلصال أبيض مشوي. ومن أجل إعداد الصلصال لصنع بلاط الجدران بعمليّة جافة تخلط المكونات كلها، المؤلّفة تقليدياً من مزيج الصلصال الصيني (الكاولين) وصلصال الخزافين والرمل السيليسي، مع بعض البلاط الأرضي المعاد تدويره وتخلط بالماء لتشكل مادة زلقة. وتُنخل هذه المادة وتركز لرفع كثافتها ثم تجفّف وتتحوّل إلى مسحوق ناعم بمرورها في برج محمّى بدرجة حرارة 500 مئوية. عندئذ يضغط مسحوق الصلصال المحتوي على نسبة رطوبة تقارب 8% على شكل بلاط. يتوجب تزجيجه من أجل التزيين ومن أجل الكتامة، ويمكن تنفيذ ذلك قبل الشي في عملية واحدة، أو بعد شيذ البلاط بدرجة حرارة 1150 مئوية حتى مرحلة البسكويت والتصلّب (Biscuit Stage) في فرن نفقي. ثم تُطلى البلاطات غير المشوية أو المشوية حتى التصلّب بطبقة تزجيج لزج ثم تشوى بإشعاع حراري لمدة 16 ساعة تقريباً. وتنتقى البلاطات المتضررة كي يعاد تدويرها وترزم البلاطات الجيدة النوعية من أجل توزيعها. والمقاسات المعيارية للبلاط هي: 108 x 108 mm و150 x 150 mm و200 x 150 mm و200 x 200 mm و250 x 200 mm.

الصيني المزجّج

الصيني المزجّج المستعمل في صنع الأواني الصحية (Sanitary Ware) له بدن شبيه بالزجاج يحصر الماء بامتصاصه في أماكن تصدّعه أو انكساره بنسبة 0.5%. حيث يصنع الخزف الصيني عادة من مزيج الكاولين (25%) وصلصال الخزافين (20%) والفلدسبار (30%) والكوارتز (25%). وفي ما يتعلق بالقطع الكبيرة كالمراحيض والمغاسل يحتاج هذا الخزف إلى تجفيف مضبوط قبل شيّه لمنع تشققه. ويطبق التزجيج المحتوي على أكاسيد معدنيّة لتلوين كلّ المساحات المرئية من القطع قبل شيّها.

(الشكل 9.8) بلاط جداري.

بلاط الأرضيات من الصيني المزجج

يستعمل الصيني المزجّج أيضاً لصنع بعض بلاط الأرضيات لطبيعته الكتيمة. ويمكن أن تكون البلاطات غير المزجّجة ملساء أو مخشنة ببروزات أو محزّزة لتعطي خصائص عدم انزلاق إضافية. والحجوم المعيارية هي 100 mm x 100 و150 mm x 150 و200 mm x 200 و300 mm x 300 بسماكة تراوح عادة بين 8 و13 mm. ويستعمل طلاء إضافي لتبطين أحواض السباحة ووقايتها من تسرب الماء.

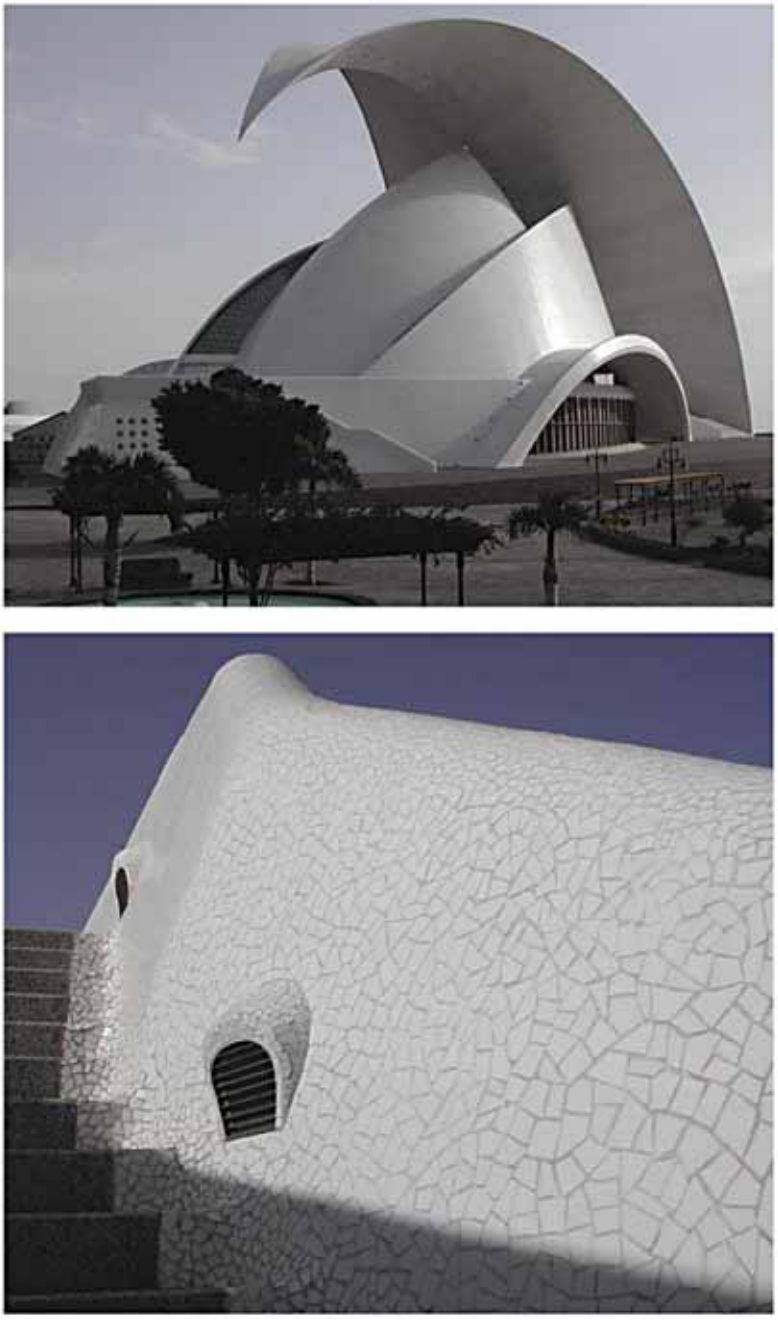
إعادة إنتاج البلاط الزخرفي

يمكن إعادة إنتاج بلاط الخزف الجداري المقولب وبلاط اللوحات الفنيّة ذات الألوان القوية المشويّة مع السطح وبلاط الأرضيات الهندسي بحيث يتماشى مع القطع الموجودة سابقاً من حيث الشكل واللون والبنية من أجل أعمال الترميم. ويحتفظ بعض الصناعيين بالمهارات العملية اللازمة والرسومات التفصيلية المناسبة لضمان جودة عالية لمنتجات الصيانة التي يمكن أن تحلّ محل القطع المفقودة أو التالفة. وثمة طلب متزايد أيضاً على إعادة إنتاج البلاط التزييني في أشغال البناء الحديثة.

الفسيفساء (الموزاييك)

الفسيفساء خزف صعب الاهتراء، سواء كان مزججاً أو غير مزجج، وهو واق من الصقيع ومقاوم للمواد الكيميائية. يمكن استعمال الموزييك غير المزجج في الأماكن الخارجية وغيرها من الأماكن المعرضة للبلل، كأحواض السباحة، حيث من المهم وجود مقاومة جيدة للانزلاق. يتم الإمداد بالفسيفساء عادة ملصقا غلى صحائف من الورق لتسهيل استعماله. يبين الشكل 10.8 أرضية من الفسيفساء الرسمي، أما الشكل 11.8 فيبين إنهاء فسيفساء من بلاط مكسرة استعمله كَلاترافا (Calatrava) على سطح قاعة الموسيقى في تينيريف متبعاً التقنية التي طوّرها غاودي (Gaudi).

(الشكل 10.8) فسيفساء (الموزاييك). الصورة بإذن (Architectural Ceramics).



(الشكل 11.8) إنهاء وتفصيل فسيفساء خزفي ـ قاعة الموسيقى، تنيريف (Tenerife) المعماري (Santiago Calatrava). الصورة آرثر ليونز (Arthur Lyons).

الغرانيت الخزفي

الغرانيت الخزفي مزيج من خزف وحجر أُعيد تشكيله ويصنع من خليط من الفلدسبار والكوارتز والصلصال. تسحق هذه المكونات وتنخل وتخلط وتضغط تحت ضغط عالٍ جداً، ثم تشوى في درجة حرارة 1200مئوية. تنتج المادة على شكل ألواح سمكها 20 و30 mm ثم تقطّع وتصقل لإعطاء سطح قاسٍ براق مظهره كالمرمر (الرخام) أو الغرانيت الطبيعي، ومناسب لأسطح العمل. تراوح الألوان بين لون المغرة الذهبية (Ochre) والأبيض العاجي (Off-White) والرمادي والأخضر والأزرق بحسب المواد الأولية الداخلة فيه.

المراجع

FURTHER READING

Centre for Accessible Environments. 2006: *Specifiers' handbooks for inclusive design*. London: Centre for Accessible Environments.

CIRIA. 2006: *Safer surfaces to walk on. Reducing the risk of slipping*. C652. London: Construction Industry Research and Information Association.

Creative Publishing International. 2003: *The complete guide to ceramic and stone tile*. USA: Creative Publishing International.

DfES Publications. 2007: *Floor finishes in schools*. Nottingham: Department for Education and Skills.

Durbin, L. 2004: *Architectural tiles: conservation and restoration*. Oxford: Elsevier.

Lemmen, H.V. 2002: *Architectural ceramics*. Princes Risborough: Shire Publications.

NBS. 2007: *Rainscreen cladding. Letting the air in to keep the rain out*. NBS Shortcut 26. Newcastle-upon-Tyne: National Building Specification.

Ripley, J. 2005: *Ceramic and stone tiling*. Marlborough: Crowood Press.

Taylor, K. 2008: *Roof tiling and slating*. Marlborough: Crowood Press.

Terreal. 2005: *Terracotta and architecture*.Twickenham: Terreal.

Teutonico, J.M. (ed.) 1996: *Architectural ceramics: their history, manufacture and conservation*. London: James & James Science Publishers.

Wilhide, E. 2003: *Materials; a directory for home design*. London: Quadrille Publishing.

STANDARDS

BS 65: 1991 Specification for vitrified clay pipes, fittings, and ducts, also flexible mechanical joints for use solely with surface water pipes and fittings.

BS 493: 1995 Airbricks and gratings for wall ventilation.

BS 1125: 1987 Specification for WC flushing cisterns.

BS 1188: 1974 Ceramic wash basins and pedestals.

BS 1196: 1989 Clayware field drain pipes and junctions.

BS 1206: 1974 Fireclay sinks: dimensions and workmanship.

BS 3402: 1969 Quality of vitreous china sanitary appliances.

BS 5385 Wall and floor tiling:

Part 1: 2009 Code of practice for the design and installation of internal ceramic and natural stone wall tiling and mosaics in normal conditions.

Part 2: 2006 Design and installation of external ceramic and mosaic wall tiling in normal conditions. Code of practice.

Part 3: 2007 Design and installation of internal and external ceramic floor tiles and mosaics in normal conditions. Code of practice.

Part 4: 2009 Design and installation of ceramic and mosaic tiling in special conditions. Code of practice.

Part 5: 2009 Design and installation of terrazzo, natural stone and agglomerated stone tile and slab flooring. Code of practice.

BS 5504 Specification for wall hungWC pan:

Part 1: 1977 Connecting dimensions.

Part 2: 1977 Independent water supply. Connecting dimensions.

BS 5506 Specification for wash basins:

Part 3: 1977 Wash basins (one or three tap holes), materials, quality, design and construction.

BS 5534: 2003 Code of practice for slating and tiling.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 11.1: 1989 Code of practice for wall and floor tiling.

BS EN 295 Vitrified clay pipes and fittings and pipe joints for drains and sewers:

Part 1: 1991 Requirements.

Part 2: 1991 Quality control and samples.

Part 3: 1991 Test methods.

Part 4: 1995 Requirements for special fittings, adaptors and compatible accessories.

Part 5: 1994 Requirements for perforated vitrified clay pipes.

Part 6: 1996 Requirements for vitrified clay manholes.

Part 7: 1996 Requirements for vitrified clay pipes and joints.

Part 10: 2005 Performance requirements.

BS EN 538: 1994 Clay roofing tiles for discontinuous laying. Flexural strength test.

BS EN 539 Clay roofing tiles for discontinuous laying. Determination of physical characteristics:

Part 1: 2005 Impermeability test.

Part 2: 2006 Test for frost resistance.

BS EN 997: 2003 WC pans andWC suites with integral trap.

BS EN 1304: 2005 Clay roofing tiles and fittings. Product definitions and specifications.

BS EN 1308: 2007 Adhesives for tiles. Determination of slip.

BS EN 1324: 2007 Adhesives for tiles. Determination of shear adhesion strength of dispersion adhesives.

BS EN 1346: 2007 Adhesives for tiles. Determination of open time.

BS EN 1347: 2007 Adhesives for tiles. Determination of wetting capability.

BS EN 1348: 2007 Adhesives for tiles. Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives.

BS EN 1457: 1999 Chimneys clay/ceramic flue liners.

BS EN 1806: 2006 Chimneys. Clay/ceramic flue blocks for single wall chimneys. Requirements and test methods.

BS EN ISO 10545 Ceramic tiles:

Part 1: 1997 Sampling.

Part 2: 1997 Dimensions and surface quality.

Part 3: 1997 Water absorption and apparent porosity, relative and bulk density.

Part 4: 1997 Modulus of rupture and breaking strength.

Part 5: 1998 Determination of impact resistance.

Part 6: 1997 Resistance to deep abrasion for unglazed tiles.

Part 7: 1999 Resistance to surface abrasion for glazed tiles.

Part 8: 1996 Determination of linear thermal expansion.

Part 9: 1996 Resistance to thermal shock.

Part 10: 1997 Determination of moisture expansion.

Part 11: 1996 Determination of crazing resistance.

Part 12: 1997 Determination of frost resistance.

Part 13: 1997 Determination of chemical resistance.

Part 14: 1997 Determination of resistance to stains.

Part 15: 1997 Determination of lead and cadmium given off by glazed tiles.

Part 16: 2000 Determination of small colour differences.

BS EN 12002: 2008 Adhesives for tiles. Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts.

BS EN 12004: 2007 Adhesives for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation.

BS EN 12808 Grouts for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation:

Part 1: 2008 Determination of chemical resistance of reaction resin mortars.

Part 2: 2008 Determination of resistance to abrasion.

Part 3: 2008 Determination of flexural and compressive strength.

Part 4: 2002 Determination of shrinkage.

Part 5: 2008 Determination of water absorption.

BS EN 13502: 2002 Requirements and test methods for clay/ceramic flue terminals.

BS EN 13888: 2009 Grout for tiles.

BS EN 14411: 2006 Ceramic tiles. Definitions, classification, characteristics and marking.

BS EN 14437: 2004 Determination of the uplift resistance of installed clay or concrete tiles for roofing.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 467: 2002 Slate and tile roofs: avoiding damage from aircraft wake vortices.

BRE Digest 486: 2004 Reducing the effect of climate change by roof design.change. Modifications to good practice guidance.

BRE Good building guides

BRE GBG 28: 1997 Domestic floors - repairing or replacing floors and flooring.

BRE GBG 64: 2005 Tiling and slating pitched roofs (Parts 1, 2 and 3).

ADVISORY ORGANISATIONS

British Ceramic Confederation, Federation House, Station Road, Stoke-on-Trent ST4 2SA, UK (01782 744631).

CERAM Research, Queens Road, Penkhull, Stoke-on- Trent, Staffordshire ST4 7LQ, UK (01782 764428).

Clay Pipe Development Association Ltd., Copsham

House, 53 Broad Street, Chesham, Buckinghamshire HP5 3EA, UK (01494 791456).

Clay Roof Tile Council, Federation House, Station Road, Stoke-on-Trent, Staffordshire ST4 2SA, UK (01782 744631).

Tile Association, Forum Court, 83 Copers Cope Road, Beckenham, Kent BR3 1NR, UK (020 8663 0946).

9

الأحجار والأحجار المصبوبة

مقدّمة

يشير مصطلح الأحجار إلى الصخور الطبيعية بعد نزعها من القشرة الأرضية. وتتضح أهمية الأحجار كمادة بناء بانتشارها الواسع منذ مرحلة ما قبل التاريخ واستخدامها بشكل معقد من قبل الحضارات المبكرة في العالم، بما فيها حضارة المصريين والإنكا في البيرو والمايا في أميركا الوسطى.

من الناحية الجيولوجية يمكن تصنيف جميع الصخور ضمن واحدة من ثلاث مجموعات: النارية والمتحوّلة والرسوبية، وفقاً للعملية الطبيعية التي أنتجت بواسطتها على سطح الأرض أو ضمنها.

ولأعمال التشييد يتطلب توصيف الأحجار طبقاً للمعيار ـ (BS EN 12440:2008) معرفة العائلة العلمية البترولوجية [الصخرية] كما هي معرفة ضمن المعيار (BS EN 12670:2002)، بالإضافة إلى تحديد مجال الألوان النموذجي لها ومكان مصدرها. حيث يجب تفصيل الأخير بقدر الإمكان متضمناً موقع المقلع وأقرب مدينة له والمنطقة والبلد.

أنواع الحجر

الصخور النارية

الصخور النارية هي الأقدم، حيث إنها تشكلت من تصلّب النواة المنصهرة للأرض أو الصهارة [المغما] (Magma). وتشكل الصخور النارية نحو 95% من القشرة الأرضية، التي تبلغ سماكتها حتى 16 km. وتعرّف الصخور النارية

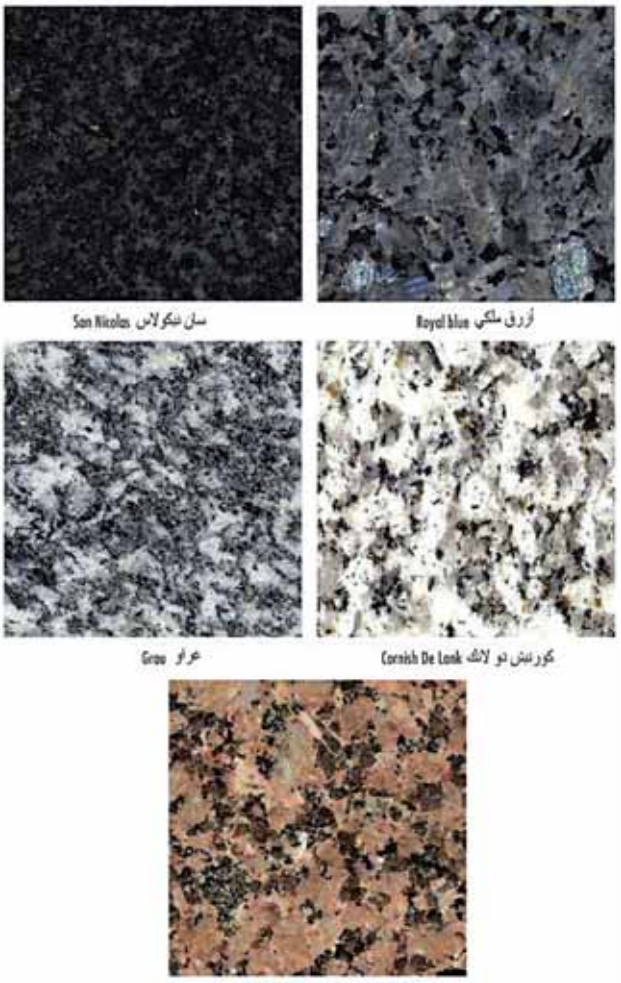
كصخور باطنية [بلوتونية] (Plutonic) أو صخور بركانية (Volcanic)، اعتماداً على كون تصلبها قد تم ببطء ضمن القشرة الأرضية أو بسرعة على السطح بالترتيب. ففي الصخور الباطنية سمح التبريد البطيء من الحالة المنصهرة بنمو البلورات الكبيرة التي تعتبر خاصية مميزة لصخور الغرانيت. أما الصخور البركانية كالخفاف (Pumice) والبازلت (Basalt) فتتكون من حبيبات ناعمة ولا يمكن تمييز بلوراتها المنفردة بالعين المجردة؛ وبذلك تكون هذه الأحجار أقل إمتاعا للنظر. وتُبدي أحجار الدولرايت (Dolerites) التي تتشكل بمعدل تبريد متوسط ذات بنية حبيبية متوسطة.

إلى جانب حجم البلورات تتنوع الصخور النارية أيضاً بتركيبها وفقاً لطبيعة الصهارة الأصلية، والتي تتكون بشكل أساسي من مزيج من السيليكات. حيث تعطي الصهارة الغنية المحتوى بالسيليكا الصخور الحمضية (مثل الغرانيت) بينما تشكل الصهارة منخفضة المحتوى بالسيليكا الصخور القاعدية (مثل البازلت والدولرايت). وتتكون صخور الغرانيت بشكل أساسي من الفلسبار (Feldspar) (الأبيض أو الرمادي أو الزهري) الذي يحدّد اللون العام للحجر ولكنه يمكن أن يكون معدلاً بوجود الكوارتز (العديم اللون أو الرمادي أو الأرجواني) أو الميكا (Mica) (فضي إلى بني) أو الهورنبلند (Horneblend) (غامق اللون). وتحتوي الصخور القاعدية، كالدولرايت والبازلت، بالإضافة إلى الفلسبار على الأوجيت (Augite) (أخضر قاتم إلى الأسود) وأحياناً على الزبرجد (Olivine) (أخضر). وبالرغم من عدم استخدام البازلت والدولرايت بشكل كبير كأحجار بناء إلا أنها كثيراً ما تستخدم كحصويات، كما يتم حالياً استخدام البازلت المصبوب كحجر معاد التشكيل.

الغرانيت

معظم أحجار الغرانيت قاسية وكثيفة وبالتالي تشكّل مادة بناء عالية الديمومة، وهي عمليّاً غير نفوذة للماء ومقاومة للضرّر الناتج من الصدمات ومستقرّة في البيئات الصناعية. ويتأثر مظهر الغرانيت كثيراً بإنهاء سطحه الذي يمكن أن يكون إمّا منشوراً أو مخرّماً بخشونة أو منقراً أو مشغولاً على الناعم أو مشحوذاً أو مصقولاً. إلا أن هيئته المصقولة بشكل كبير هي الأكثر فاعلية في إظهار شدّة الألوان وانعكاس الضوء على البلورات. بالإضافة إلى ذلك يمكن تعريض الغرانيت للّهب لتكوين سطح متشظ بفعل التمدد التفاضلي لمكوناته المختلفة المتبلورة. ويجمع

العديد من المباني الحديثة ما بين المواد الملمعة والمواد المعرضة للّهب لتوليد تناقض مثير للاهتمام في اللون والنسيج. كما توجد مقالع الغرانيت الزهري والرمادي في اسكوتلندا وشمال إنجلترا ومقاطعتي ديفون (Devon) وكورنوول (Cornwall)، إلا أن هناك مجموعة كبيرة متنوعة من الألوان تتضمن الأسود والأزرق والأخضر والأحمر والأصفر والبني تستورد من دول أخرى (الشكل 1.9 الجدول 2.9). بسبب الكلفة العالية لاستخراج الغرانيت من المقالع وإنهائه فهو غالباً ما يستخدم كمادة إكساء (بسماكة 40 mm خارجياً و 20 mm داخلياً) أو بدلاً من ذلك يمكن أن يصب مباشرة ضمن وحدات إكساء من الخرسانة.



(الشكل 1.9) مختارات من الغرانيت.

الجدول 1.9 الغرانيت في المملكة المتحدة والمستورد

اللون	الاسم	بلد المنشأ
من المملكة المتحدة		
رمادي فاتح	ميريفيل، ديفون (Merrivale, Devon)	إنجلترا
رمادي فضي	دولانك وهانترغانتيك، كورنوول (De Lank & Hantergantick, Cornwall)	إنجلترا
زهري فاتح وقاتم إلى أحمر مع قليل من البني	شاب (Sahp)	إنجلترا
زهري (وردي)	بيترهيد (Peterhead)	اسكتلندا*
أحمر شاحب إلى غامق	روس أوف مل (Ross of Mull)	اسكتلندا
رمادي	أبردين (Aberdeen)	اسكتلندا*
أسود	هيلند (Hillend)	اسكتلندا*
أسود	بيلتموس (Beltmoss)	اسكتلندا*
المستورد		
أحمر مع أسود	بالمورال الأحمر (Balmoral Red)	فنلندا
أحمر	بون أكورد الأحمر (Bon Accord Red)	السويد
أسود	بون أكورد الأسود (Bon Accord Black)	السويد
أحمر	غرانيت فيرغو (Virgo Granite)	السويد
أحمر قاتم مع أزرق إلى الأرجواني الكوارتزي	روز سويد (Rose Swede)	السويد
رمادي	الرمادي الملكي (Grey Royal)	النرويج
رمادي	الرمادي السردينى (Sardinian Grey)	سردينيا
أصفر	نيرو تيجوكا (Nero Tijuca)	البرازيل
بيج/ بني	جوبارانا (Juparana)	البرازيل
أزرق	اللؤلؤة الزرقاء (Blue Pearl)	النرويج
أخضر/ أسود	اللؤلؤة الزمردية (Emerald Pearl)	النرويج
زهري إلى أحمر	توركيكودا (Torcicoda)	البرازيل
بيج/ بني	غياليو فينيزيانو (Giallio Veneziano)	البرازيل

يستخدام الغرانيت في أشغال الأرضيات وفي الأجزاء الصلبة من المواقع العامة كالأرصفة العادية أو المرصوفة بترتيبات تزيينية والحواجز الحجرية [الأطاريف]. ويستخدم أيضاً الغرانيت الملمع كمادة لسطح طاولات المطابخ لمقاومته وديمومته وجودة إنهائه العالية.

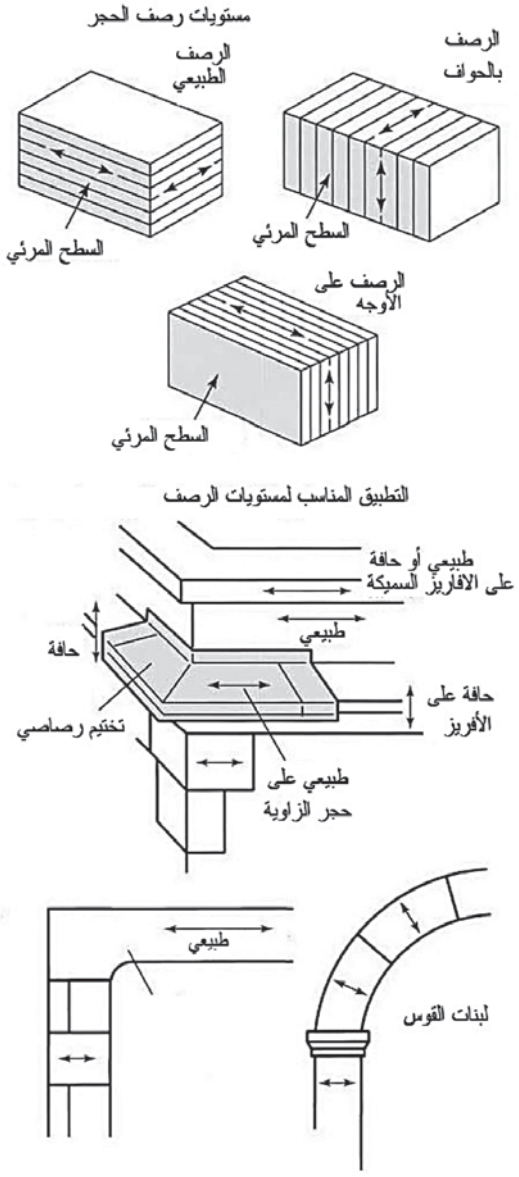
البازلت المصبوب

البازلت هو حجر ناعم الحبيبات وبقساوة الغرانيت تقريباً. يمكن صهره بدرجة حرارة 2400^{0} مئوية وصبّه على شكل وحدات من البلاط ذات اللون الرمادي المعدني القاتم. ويمكن تكوين سطح ذي زخرفة خفيفة بتدوير البازلت المصهور ضمن القالب. ويؤدي التلدين في الفرن إلى تشكيل سطح قاس ليس بحاجة إلى صيانة، عملياً، ويكون ذا نسيج لامع مرقّط بظلال من اللون الأخضر والأحمر والبرونزي. كما يمكن قص الوحدات المصبوبة المشحوذة أو المصقولة، بحجم أكبر إلى القياس المناسب لاستخدامها كمنصات عمل.

الصخور الرسوبية

تنتج الصخور الرسوبية بتأثير التجوية والحت للصخور الأقدم. ففي العصور الجيولوجية الأولى كان من الممكن أن تكون هذه الصخور [الأقدم] هي الصخور النارية الأصلية. إلا أن صخوراً أخرى رسوبية ومتحوّلة قد أعيد تَشكّلها بعد ذلك. ويؤدي فعل التجوية بالماء والجليد والرياح إلى تفتيت الصخور إلى أجزاء صغيرة يتمّ حملها بواسطة الأنهار حيث تفرز بحسب أحجامها وطبيعتها بالتأثير اللاحق للماء. وتتوضع معظم الرواسب في المحيطات كطبقات رسوبية من الطين أو الرمل حيث تتراكم في طبقات وتصبح مضغوطة، وفي النهاية تلتصق مع بعضها بواسطة المعادن المتبقية في المياه الجوفية مثل كربونات الكالسيوم (الكالسيت (Calcite)) أو الكوارتز (السيليكا) أو أوكسيد الحديد أو الدولوميت (كربونات المغنزيوم والكالسيوم). إن مستويات تشكل الطبقات الطبيعية والمرافقة لتشكل الرسوبيات قد تكون سميكة أو رقيقة، لكنها من المحتمل أن تكون ضعيفة مما يشكل ميزة مفيدة في عملية استخراج الأحجار من المقالع. للحصول على أفضل صلابة وديمومة في الأشغال الحجرية يجب تركيب الأحجار وفقاً لسريرها الطبيعي (الطبقات أفقية) في ما عدا مداميك الكرنيشات (Cornices) وجلسات النوافذ والمداميك الأفقية البارزة التي يجب أن تركب فيها الأحجار وأسرّتها

عمودية على مستوى الجدار. والأحجار المركبة وسرائرها الشاقولية الموازية للجدار تميل للتفكّك في صفائح (الشكل 2.9). عند استخراج الأحجار تكون محتوية على **رطوبة متبقية** من المقلع وقد يكون نحتها وتشكيلها أسهل مما لو تمّ ذلك لاحقاً نتيجة تعرضها للجو المحيط.



(الشكل 2.9) مستويات سرير الحجر الطبيعي.

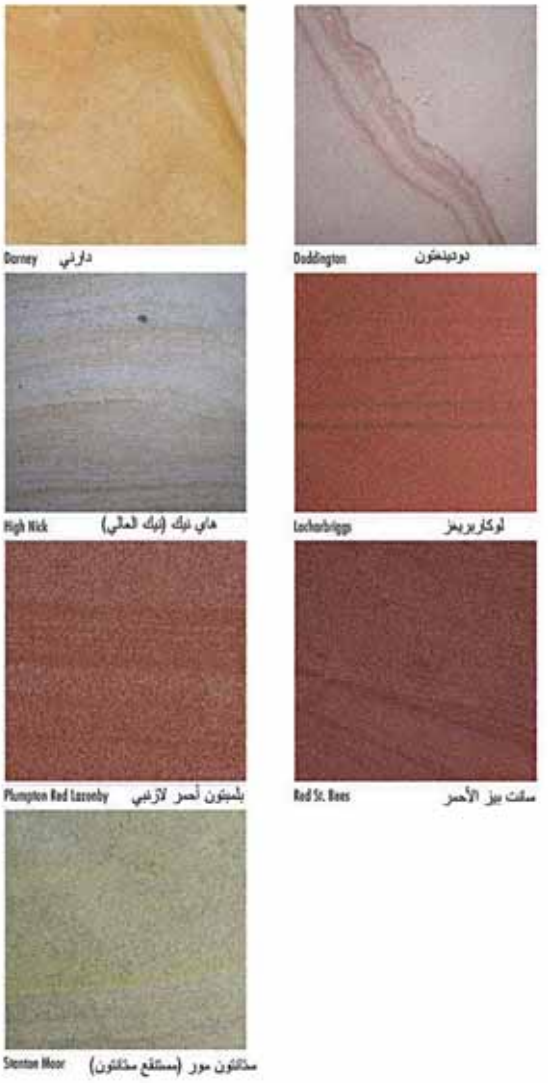
الجدول 2.9 الصخور الرملية النموذجية في المملكة المتحدة ومميزاتها

الاسم	اللون	المصدر	المميزات
دادينغتون (Daddington)	أرجواني/ زهري	نورثمبرلاند (Northumberland)	حبيبات ناعمة إلى متوسطة
دارلي ـ ديل ستانكليف (Darley Dale-Stancliffe)	أصفر برتقالي	ديربيشاير (Derbyshire)	حبيبات ناعمة
حجر بيركوفر الحبيبي (Birchover Gritstone)	زهري إلى أصفر برتقالي	ديربيشاير (Derbyshire)	حبيبات متوسطة إلى خشنة
حجر يورك (York stone)	أصفر برتقالي، أصفر فاقع، رمادي، بني فاتح	يوركشاير (Yorkshire)	حبيبات ناعمة
حجر مانسفيلد (Mansfield stone)	أصفر برتقالي إلى أبيض	نوتينغهامشاير (Nottinghamshire)	حبيبات ناعمة
هولينغتون (Hollington)	زهري شاحب، زهري محمر خامد مع أحزمة أكثر قتامة	ستافوردشاير (Staffordshire)	حبيبات ناعمة إلى متوسطة
سانت بيز (St. Bees)	أحمر قاتم	كمبريا Cumbria	حبيبات ناعمة
البنانت الأزرق (Blue Pennant)	رمادي قاتم/ أزرق	وسط غلامورغان (Mid-Glamorgan)	حبيبات ناعمة

الأحجار الرملية

الرواسب الرملية الملتصقة ببعضها بواسطة كربونات الكالسيوم والسيليكا وأوكسيد الحديد والدولوميت تنتج الأحجار الرملية الجيرية [الكلسية] والسيليكاتية والحديدية والدولوميتية على الترتيب. وتبعاً لطبيعة الراسب الرملي الأصلي يمكن أن يكون نسيج الحجر الرملي ناعماً أو خشناً. وتتراوح ألوان الأحجار الرملية من الأبيض والأصفر البرتقالي والرمادي إلى البني ودرجات الأحمر اعتماداً على الإسمنت الطبيعي [المادة الرابطة]؛ وهي عادة مقاومة للتجمّد بالصقيع. ويبيّن الجدول 2.9 بعض الأحجار الرملية الشائعة في المملكة المتحدة، كما توضح الصور في الشكل 3.9 أمثلة منها. وقد بنيت حالياً مدرسة تشستر للغناء (الشكل 4.9) من الحجر الرملي الأحمر الموجود في لوكاربريغز (Locharbriggs) لينسجم مع الحجر الرملي القديم للكاتدرائية. إذ تحتوي بعض الأحجار الرملية المستوردة من الهند أحفوريات السرخس المغروسة في طبقاتها الصخرية (الشكل 5.9). والإنهاء النموذجي لها هو المنشور والمفلوق الوجه والمنظف بالفرك، مع أنه يمكن اختيار مجموعة من الإنهاءات المشغولة بالأدوات مثل المخرز (Broached)

والمدقوق بالأزاميل (المسمسم) (Droved) (الشكل 6.9). في حالة استخدامه كإكساء تكون سماكة الحجر الرملي عادة 75-100 mm ويثبت بمشابك وأفاريز غير حديدية. ويستخرج الحجر الرملي من مقالع في اسكوتلندا وشمال إنجلترا ويوركشاير (Yorkshire) وديربيشاير (Derbyshire)، بما في ذلك الأحجار الرملية الحمراء القديمة والجديدة وأحجار يورك وأحجار المطاحن. ويستورد كذلك الحجر الرملي من إسبانيا وإيطاليا حيث مصدر أحجار بيترا سيرينا (Pietra Serena).



(الشكل 4.9) نماذج عن الحجارة الرملية في المملكة المتحدة. مصدر الصور (stone stancliffe).

(الشكل 4.9) حجر لوكار الرملي الأحمر ـ مدرسة تشستر للغناء المعماريون: آرمرل وسنيل. صورة الحجر الطبيعي مزودة من قبل أحجار ستانكليف.

الحجر الرملي الجيري [الكلسي]

لا يتمتع الحجر الرملي الجيري بالديمومة في البيئات الحمضية، ما يمكن أن يؤدي إلى الانحلال البطيء للإسمنت الطبيعي للحجر والمكوّن من كربونات الكالسيوم. إن الكالسيت النقي أبيض اللون ولذلك تكون هذه الأحجار عادة بيضاء اللون.

الحجر الرملي السيليكاتي

تتكون الأحجار الرملية السيليكاتية بشكل أساسي من حبيبات السيليكا (الرمل) الملتصقة ببعضها بواسطة سيليكا طبيعية إضافية، وبالتالي فهي تتمتع بالديمومة حتى في البيئات الحمضية. حيث تكون الأحجار الرملية السيليكاتية عادة رمادية اللون.

الحجر الرملي الحديدي

تتماسك الأحجار الرملية الحديدية بواسطة أكاسيد الحديد، التي يمكن أن تكون بنيّة أو صفراء كالمُغْرَة أو حمراء. وهي بشكل عام تتمتع بالديمومة.

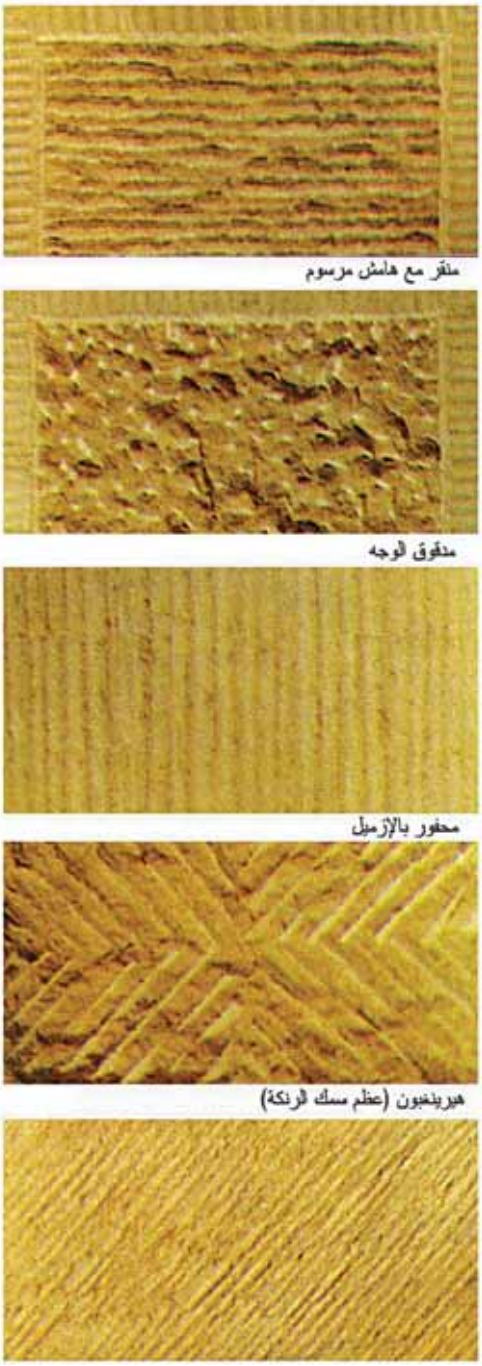
الأحجار الرملية الدولوميتية

تتماسك الأحجار الرملية الدولوميتية بمزيج من كربونات المغنيزيوم والكالسيوم ولذلك فهي لا تتأثر كثيراً بالعوامل الجوية في بيئات المدن. وهي عادة ذات لون أبيض عاجي أو صفراء برتقالية.

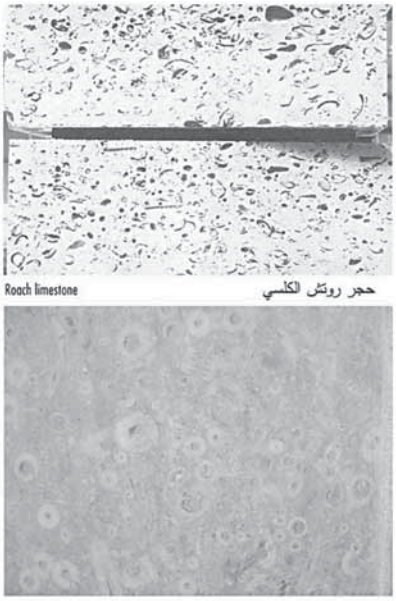
الأحجار الكلسية

تتكوّن الأحجار الكلسية بشكل رئيسي من كربونات الكالسيوم، حيث تكون إمّا متبلورة من المحاليل كالكالسيت، أو متشكّلة من تراكم الأصداف الأحفورية المترسبة والعائدة لمتعضيات بحرية متنوعة (الشكل 7.9). وهي تصنف عادة وفقاً لنمط تشكّلها. وتتوفر منها ألوان كثيرة تتراوح ما بين الأبيض العاجي والأصفر البرتقالي والكريم والرمادي والأزرق. تتواجد الأحجار الكلسية في إنجلترا في حزام يمتد من دورست (Dorset) وكوتسوولدز (Cotswolds) وأكسفوردشاير (Oxforshire). ومن لينكولنشاير (Lincolnshire) إلى يوركشاير (Yorkshire). كما يستورد الحجر الكلسي من أيرلندا وفرنسا والبرتغال لتوسيع لوحة ألوانه. تمّ إدراج بعض الأحجار الشائعة في المملكة المتحدة في الجدول 3.9، وهناك صور لأمثلة من الحجر الكلسي والحجر الحديدي في الشكل 8.9. أمّا الإنهاءات المعيارية لهذه الأحجار فهي: المفروك على الناعم، والمسحوب على الناعم، والمفلوق الوجه، مع أن الإنهاءات المشغولة بالأدوات هي مناسبة أيضاً لها. وفي حالة الاستخدام الخارجي يجب أن لا يختلط الحجر الكلسي مع الحجر الرملي أو يوضع فوقه، لأنّ ذلك يسبب التلف السريع للحجر الرملي.

(الشكل 5.9) حجر رملي أحفوري هندي.



(الشكل 6.9) إنهاءات نموذجية مشغولة حفراً.



(الشكل 7.9) أحجار بورتلند الكلسية الأحفورية.

(الشكل 8.9) أمثلة من الأحجار الكلسية في المملكة المتحدة. مزوّدة من قبل أحجار ستانكليف.

الحجر الكلسي السرئي [الأوليتي]

تتشكّل الأحجار السرئية بتبلور كربونات الكالسيوم في طبقات متمركزة حول أجزاء من الصدف أو الرمل، تنتج حبيبات كروية تقريباً أو سرئيات (Olitic). تتماسك السرئيات مع بعضها بواسطة الترسب اللاحق للكالسيت فينتج الصخر. ويصل قطر السرئيات عادةً إلى 1 mm مما يعطي نسيجاً حبيبياً للحجر الذي يمكن أن يحتوي أيضاً على مستحاثات أخرى. كما تتمتع الأحجار السرئية بقابلية جيّدة للتشغيل، وتتضمن أحجار باث (Bath) وأحجار بورتلاند (Portland). وقد تمّ استخدام كلّ من أحجار كليبشام (Clipsham) وكيتون (Ketton) بشكل كبير في أوكسفورد وكامبردج على التوالي، بما فيها مبنى الملكة الحالي في كلية إيمانويل في كامبردج (الشكل 9.9)، الذي بُني من حجر كيتون الكلسي الحمّال مع أعمدة ضخمة متناسبة، وعتبات قوسية منبسطة للرواق وفتحات النوافذ. وقد تمّ استخدام الملاط الكلسي لضمان توزيع الحمولة بشكل متساوٍ ما بين الأحجار. أما مبنى فاوندرس (Foundress Court) في كلية بمبروك في كامبردج (الشكل 10.9) فقد تمّ بناؤه بواسطة حجر باث من نوع مونكس بارك (Monks Park) على ثلاثة طوابق من منسوب الأرض، كإكساء جيد التفاصيل مستند إلى طبقة داخلية من البلوك الحمّال. وقد تمّت الاستفادة من مرونة الملاط الكلسي لتخفيض العدد المرئي من فواصل الحركة.

(الشكل 9.9) أحجار كيتون الكلسية. مبنى الملكة، جامعة إيمانويل، كامبردج المعماريون هوبكنز للعمارة. الصورة: آرثر ليونز.

الحجر الكلسي العضوي

تتشكّل الأحجار الكلسية العضوية في طبقات متراصفة من الأصداف المكسرة وبقايا الهياكل العظمية لحيوانات بحرية كثيرة وللمرجانيات. وكثيراً ما يندمج الصلصال في الأحجار الكلسية العضوية مما ينعكس سلباً على صقلها الذي كان من الممكن الحصول عليه بمجرد قص الحجر.

الجدول 3.9 الأحجار الكلسية النموذجية في المملكة المتحدة وخصائصها المميزة

الاسم	اللون	المصدر	المميزات
أنكاستر (Ancaster)	كريم إلى الأصفر البرتقالي	لينكولنشاير (Lincolnshire)	حجر كلسي سرئي ـ يحوي أصدافاً متنوعة؛ الحجر النحوت متوفر
حجر باث (Bath stone) ـ وستوود غراوند (Westwood Ground) ـ مونكس بارك (Monks Park)	بني شاحب إلى الكريم الفاتح	آفون (Avon)	حجر كلسي سرئي خشن الحبيبات - اللون أصفر برتقالي ناعم الحبيبات - اللون أصفر برتقالي
كليبشام (Clipsham)	أصفر برتقالي إلى الكريم	روتلاند (Rutland)	حجر كلسي سرئي متوسط الحبيبات مع أصداف؛ بعض أحجاره زرقاء؛ الأحجار الأفضل نوعية تكون ذات ديمومة
دولتينغ (Doulting)	بني شاحب	سمرسيت (Somerset)	ذو نسيج خشن؛ وجود الأحفوريات غير شائع
هوبتون وود (Hopton Wood)	كريم أو رمادي	ديربيشاير (Derbyshire)	حجر كلسي فحمي يحتوي العديد من المستحاثات الجذابة؛ يمكن تلميعه
كيتون (Ketton)	كريم شاحب إلى الأصفر البرتقالي والزهري	لينكولنشاير (Lincolnshire)	حجر كلسي سرئي متوسط الحبيبات؛ ذو نسيج منتظم؛ يتمتع بالديمومة
حجر بورتلاند (Portland stone) ـ روتش (Roach) ـ ويتبد (Whitbed) ـ بيسبد (Basebed)	أبيض	دورست (Dorset)	الأوجه المكشوفة تبيض بالتجوية، وغير المكشوفة تصبح سوداء. حجر صدفي خشن ذو نسيج مفتوح؛ يقاوم التجوية بشكل جيد ناعم الحبيبات ـ بعض كسر الأصداف وذو ديمومة ناعم الحبيبات مع أصداف قليلة؛ مناسب للنحت
بيربك (Purbeck)	أزرق/ رمادي إلى الأصفر البرتقالي	دورست (Dorset)	بعض الأصداف؛ يتمتع بالديمومة

(الشكل 10.9) أحجار بات – قاعة فوندرس كلية بمبروك، كامبردجُ. المعماريون: إريك باري للعمارة. الصورة: آرثر ليونز.

الأحجار الكلسية المتبلورة

عندما تتبخر المياه المحتوية على بيكربونات الكالسيوم فإنها تترك ترسّباً من كربونات الكالسيوم. وفي حالة الينابيع الحارة فإن المادة الناتجة هي الترافرتين (Travertine). أما في الكهوف فتنتج النوازل والصواعد أو رخام الأونيكس (Onyx-Marble)

الأحجار الكلسية الدولوميتية

في الأحجار الكلسية الدولوميتية تمّ استبدال المحتوى الأصلي من كربونات الكالسيوم جزئياً بكربونات المغنيزيوم. وعموماً تعطي هذه العملية حجراً كلسياً ذا ديمومة أكبر مع أنه غير مقاوم للأجواء الملوثة كثيراً.

الصخور المتحوّلة

تتشكّل الصخور المتحوّلة بإعادة تبلور الصخور الأقدم، وذلك عند تعرّضها لحرارة أو ضغط عاليين أو لكليهما معاً ضمن القشرة الأرضية. حيث يتحوّل الصلصال إلى أردواز (Slate) والحجر الكلسي إلى رخام والحجر الرملي إلى صخر كوارتزي.

الأردواز

ينتج الأردواز من رسوبيات الصلصال ذات الحبيبات الناعمة والخالية من الرمل. وقد تشكّلت مسطحات فلق الأردواز المتميزة في [عملية] تحوّل الصلصال، وغالباً ليس لهذه المسطحات علاقة بمسطحات تشكل الطبقات الأصلية. يمكن فلق الأردواز إلى مقاطع رقيقة (عادة بسماكة بين 4 و10 mm للاستخدام في الأسطح) لتعطي إنهاءً معرّقاً طبيعياً، أو يمكن نشر الحجر أو قذفه بالرمل أو فركه على الناعم أو شحذه أو تلميعه أو معالجته باللهب أو نقشه (نقره) بالمطرقة. يتوفر منه مجال من الألوان المميزة: الأزرق/ الرمادي والرمادي الفضي والأخضر من مقاطعة البحيرة (Lake District)، وهناك الأزرق والأخضر والرمادي والأحمر الخوخي من شمال ويلز (North Wales)، والرمادي من كورنوول. كما يستورد الحجر الأردوازي من أيرلندا (رمادي/ أخضر)، أو كندا (أزرق/ رمادي)، أو فرنسا (أزرق/ رمادي)، أو الهند (أزرق/ رمادي)، أو الصين (أزرق/ أخضر/ رمادي)، أو البرازيل (رمادي/ أخضر/ خوخي)، أو (أزرق /أسود) من إسبانيا التي تعد المنتج الأكبر لهذه المادة في العالم. يعتبر الحجر الأردوازي قوياً مقاوماً للأحماض والتجمّد بالصقيع، حيث يمكن أن يدوم حتى 400 سنة كمادة لإكساء الأسطح. الحدّ الأدنى الذي ينصح به لزاوية ميل الأسطح المكسوة بالأردواز هو 20^0 للأماكن المحمية أو متوسطة الانكشاف، و22.5^o للأماكن شديدة الانكشاف، وتتطلّب هذه الحالات استخدام أكبر طول ممكن لبلاطات الأردواز (460 أو 560 أو 610 m). عند استخدام بلاطات سميكة من الأردواز (حتى سماكة 20 m) في الأسطح التي ميلها دون 25^0 يجب ملاحظة أن البلاطات تتوضع وفق ميل أقل كثيراً من العوارض الحاملة. ويجب أن تكون مسامير التثبيت مصنوعة من النحاس أو الألومنيوم. يستخدم حجر الأردواز أيضاً للأرضيات، والإكساء، وللطبات، ولجلسات النوافذ ولدعسات الأدراج. عند استخدامه كمادة إكساء يجب تثبيته بوسائط تثبيت غير حديدية، أو صبه مباشرةً ضمن وحدات إكساء إسمنتية.

تحقق أحجار الأردواز المستخدمة في إكساء الأسطح وفي الإكساء الخارجي خصائص الصنف A1 المتعلقة بأدائها أثناء الحريق من دون الحاجة لإجراء اختبارات عليها.

عموماً تتوفر أحجار الأردواز المعادة التدوير والمستخدمة في الأسطح، وخاصة الأردواز من ويلز، بعدة قياسات، وتكون مناسبة لحالتي أعمال الصيانة

وأعمال المباني الجديدة، حيث يكون المظهر المجوّى مطلوباً بشكل فوري. وتتمتع أحجار الأردواز من ويلز بسمعة جيدة من حيث الديمومة، مما يجعل المنتج المعاد التدوير خياراً قابلاً للتطبيق. وتتوفر أحجار أردواز معيّنة من بعض المناطق، مثل سويثلاند ولايسترشاير، كمنتج معاد التدوير فقط. ولهذا النوع الخاص من أحجار الأردواز مسمار تثبيت علوي وحيد. وخلافاً لمعظم بلاط الأردواز المستخدم في إكساء الأسطح، والذي يكون بمقاسات موحدة، فإن هذا النوع يكون متدرجاً من البلاطات الكبيرة عند الأطناف إلى الوحدات الأصغر عند ذروة الجملون (الشكل 11.9).

أردواز ويلز ذو قياسات منتظمة

أردواز سويثلاند Swithland متدرج القياسات

(الشكل 11.9) الأسطح من حجر الأردواز.

أحجار الأردواز المعادة التكوين

يتم تصنيع أحجار الأردواز معادة التكوين، والمستخدمة في إكساء الأسطح، بخلط حبيبات الأردواز ومادة مالئة خاملة براتنج يتصلب بالحرارة ثم تصب في قوالب لتعطي مظهر الإنهاء بالأردواز الطبيعي المتشقق. تحتوي بعض المنتجات تسليحاً من الألياف الزجاجية، وتوفر مجالاً من الألوان أوسع من ذلك المتوفر في الأردواز الطبيعي. يمكن استخدام بعض أحجار الأردواز المتداخلة [المتشابكة] لميل ينخفض حتى 17.5° بينما يمكن استخدام أحجار الأردواز المحاكية للطبيعية ذات التراكب المضاعف بميل ينخفض حتى 20° حسب درجة انكشافها. ويتم كذلك تصنيع الأردواز معاد التكوين ضمن الإسمنت المسلح بالألياف الزجاجية (GRC) كما هو موصوف في الفصل 11.

الرخام

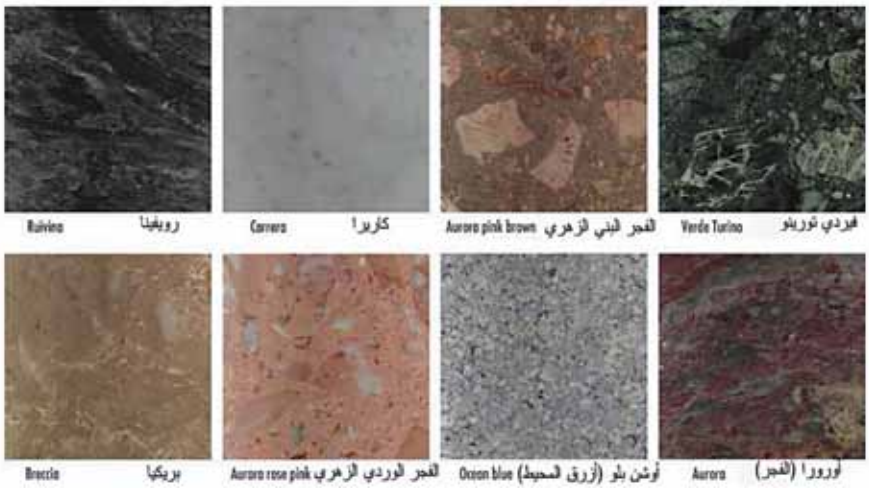
الرخام هو حجر كلسي متحوّل، تمّ فيه إعادة تبلور كربونات الكالسيوم إلى فسيفساء من بلورات الكالسيت متساوية القياس تقريباً. تزيل هذه العملية، إذا اكتملت، جميع آثار الأحفوريات، ويرتبط قياس البلورات إلى حدّ كبير بمدة العملية. حيث تباع بعض الأحجار الكلسية التي يمكن صقلها كرخام، إلا أن الرخام الحقيقي لا يحتوي أية بقايا متحجرة. فالكالسيت بحد ذاته أبيض اللون وبذلك سيكون الرخام النقي أبيض نصف شفاف. تتعلّق مميزات الألوان والعروق في العديد من أحجار الرخام بالشوائب الموجودة ضمن الحجر الكلسي الأساسي؛ حيث تتراوح الألوان من الأحمر والزهري والبنفسجي والبني والأخضر والبيج والكريم والأبيض إلى الرمادي والأسود. إذ تهاجم الحموض الرخام؛ لذلك ينصح بالسطوح المشحوذة بدلاً من الملمعة كثيراً بالنسبة للتطبيقات الخارجية. عموماً تكون أحجار الرخام قاسية وكثيفة، بالرغم من أنها قد تحوي أحياناً شقوقاً وعروقاً تحتاج للملء براتنجيات الإيبوكسي. ومعظم أحجار الرخام المستخدمة ضمن بريطانيا مستوردة من أوروبا، كما هو مبين في الجدول 4.9؛ وقد اختيرت صور لبعضها في الشكل 12.9.

في حال الإكساء الخارجي فوق مستوى الطابق الأول تستخدم بلاطات بسماكة 40 mm بينما تكون سماكة 20 mm مناسبة للتبطين الداخلي وكذلك للإكساءات الخارجية حتى مستوى الطابق الأول. يجب أن تكون ملازم وخطافات

التثبيت مصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ أو البرونز الفوسفوري أو النحاس. كما يجب تنفيذ بلاطات رخام الأرضيات والتي تكون بسماكة دنيا مقدارها 30 mm على طبقة مفروشة بسماكة 25 mm. وتكون بلاطات رخام الجدران وأرضيات الحمامات عادة بسماكة تتراوح ما بين 7 و10 mm.

الرخام المعاد التكوين

يتمّ تصنيع الرخام المعاد التكوين من كسر الرخام مع الراتنج على شكل بلاط وبلاطات لاستخدامه كإنهاءات للأرضيات والجدران. وتكون لهذه المادة نفس الألوان النموذجية للرخام ولكن من دون العروق المصاحبة للمادة الطبيعية.



(الشكل 12.9) مختارات من الرخام الإيطالي.

الكوارتزيت

الكوارتزيت هو عبارة عن حجر رملي متحوّل. تتمّ إعادة بلورة حبيبات الكوارتز في مصفوفة من الكوارتز فينتج حجر مُعمّر وصعب الاهتراء، وهو يستخدم بشكل أساسي كمادة لإكساء الأرضيات. ويسمح وجود المايكا للمادة بأن تنفلق وفق مستويات انفصال ناعمة مما ينتج إنهاءات متشققة. يستورد الكوارتزيت بشكل أساسي من النرويج وجنوب أفريقيا، ويتوفر باللون الأبيض والرمادي والأخضر الرمادي والرمادي الأزرق والأصفر بلون المغرة.

الجدول 4.9 مختارات من الرخام المستورد

اللون	الاسم	بلد المصدر
أبيض	كرارا أبيض/ الصقلي (White Carrara/ Sicilian)	إيطاليا
أبيض	بينتيليكون أبيض (White Pentelicon)	اليونان
كريم	بيرلاتو Perlato	صقلية
كريم	ترافرتين (Travertine)	إيطاليا
بيج	بوتيشينو (Botticino)	صقلية
زهري	روزا أوروا (الفجر الوردي) (Rosa Aurora)	البرتغال
أحمر	بيلباو أحمر (Red Bilbao)	إسبانيا
بني	بني نابليوني (Napolean Brown)	فرنسا
أخضر	فيردي ألبي (Verde Alpi)	إيطاليا
أسود	بلجيكي أسود (Belgian) Black	بلجيكا
أسود مع عروق بيضاء	نيرو ماركينا (Nero Marquina)	الجزائر

المرمر

المرمر هو الجص أو كبريتات الكالسيوم المتشكلة طبيعياً. وقد استخدم تاريخياً في المباني مثل قصر كنوسوس (Knossos) في كريت، ولكن في المملكة المتحدة اقتصر استخدامه بشكل رئيسي على النصب التذكارية المنحوتة والزخارف. وإن أنقى أشكاله أبيض نصف شفاف، إلا أن آثاراً من أوكسيد الحديد تمنحه تلوينات من البني الفاتح أو البرتقالي أو الأحمر.

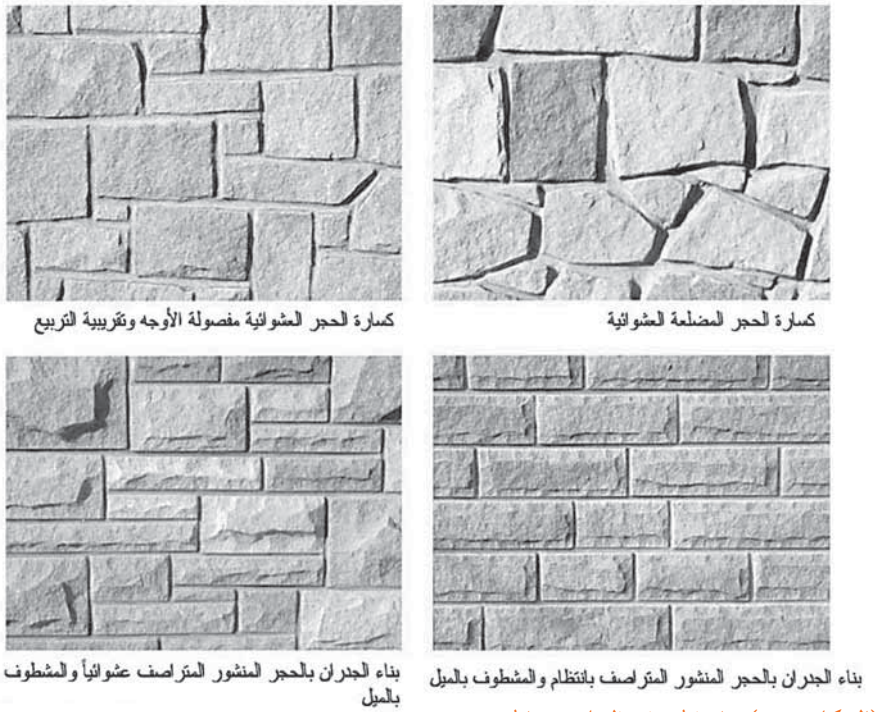
أشغال الحجر

بناء الجدران التقليدي

يمكن أن تستخدم أحجار الإكساء كبديل عن الآجُرّ أو البلوك في الطبقة الخارجية في الجدران ذات الفجوة المعيارية. فالحجر الكلسي والحجر الرملي هما الأكثر استخداماً لأعمال الجدران إلا أن الأردواز يستخدم أيضاً عندما يكون متوفراً محلياً. بالرغم من أن مورّدي الأحجار يمكن أن يقوموا بتوريد الحصى العشوائي [الدبش] وكذلك الحجر المشكّل يدوياً، إلا أن الأحجار المنشورة من الأعلى والأسفل هي عموماً الأكثر توفراً. ويكون إنهاؤها عادةً مفلوق الوجه أو مائل الوجه [مبوّزاً] أو مفروكاً على الناعم أو منشوراً بالمنشار. وأبعادها المعيارية هي 100 أو 105 mm إذا كانت نائمة [السماكة]، وبارتفاعات مداميك نموذجية 50، 75، 100، 110، 125، 150، 170، 225 و300 mm (الشكل 13.9). قد يكون للأحجار طول معين، على سبيل المثال 300 mm أو 450 mm بالرغم من أنها غالباً ما تكون بأطوال مختلفة. تتوفر غالباً أحجار الزاوية والأجزاء المحيطة بالأبواب والنوافذ وجلسات النوافذ ومكونات أخرى كأجزاء معيارية. في الأشغال المبنية من أحجار متوازية السطوح (Ashlar Masonry) ويتمّ شغل الأحجار بعناية ووصلها بدقة. حيث تكون الأحجار ضمن الصفوف الأفقية [المداميك] ذات ارتفاعات متساوية وبشكل مستطيل تام في الواجهة. ويكون عرض الفواصل ما بينها عادة دون 6 mm.

يجب أن يكون الملاط المستخدم في بناء الحجر أضعف من الحجر المختار نفسه. من أجل الحجر الكلسي والرملي المساميين كثيراً ما تستخدم حصويات مطحونة من الحجر كحصويات للملاط، بخلطة نموذجية بنسب 1:3:12 إسمنت بورتلاندي ومعجون الكلس والحجر المطحون. وفي حالة حجر باث متوازي السطوح تكون نسب الخلط النموذجية هي 1:2:8 من الإسمنت والكلس وغبار الحجر. ويمكن ربط الأحجار الرملية الكثيفة بخلطة أقوى نسبها 1:1:6 والغرانيت بخلطة نسبها 1:2 أو 1:3 إسمنت بورتلاندي إلى الحصويات الناعمة. كما يجب أن تكون الوصلات عموماً ذات لون ونسيج مماثل للحجر المشغول نفسه، كما يجب أن تكون متراجعة قليلاً لتضفي تأكيد مظهر الأحجار بدلاً من الوصلات. في أعمال الحجر المتوازي السطوح الذي تستخدم فيه أحجار بزوايا قائمة مقصوصة

بشكل دقيق يكون من المناسب استخدام وصلات مملوءة، ومسح مع وجه الحجر، وموائمة للحجر بعرض 5 mm.



(الشكل 13.9) بناء الجدران التقليدي بالحجر.

يبيّن معمل دايفد ميلور لأدوات المائدة في هاثرسيج ديربيشاير (الشكل 14.9) استخدام أحجار ديربيشاير المفضّلة تقليدياً في البناء الحجري الحمّال، والذي نفذ بالترابط مع عناصر زاوية وأحجار إسناد من الخرسانة المسبقة الصنع. يأخذ المبنى هيئته من شكل قاعدته العائدة لخزان غاز قديم والتي تشكّل أساسات للمبنى.

أقفاص الحجارة

أقفاص الحجارة هي أقفاص من الشبك مملوءة بصخور مكسرة أو بأنقاض الخرسانة المعادة التدوير. وهي تستعمل بكثرة في تطبيقات الهندسة المدنية كجدران إستنادية، حيث تكدّس ببساطة حتى تصل إلى الارتفاع المطلوب، إما بشكل شاقولي أو بميل مناسب. حيث تنتقل الحمولات الضاغطة عبر الأحجار أو كسارة الخرسانة، ويتمّ حجز أية حركة انتشارية بواسطة قوى الشد ضمن القفص الشبكي.

وتكون الأقفاص عادة من المنسوجات الثقيلة العيار أو الشبكات الفولاذية الملحومة، والتي يمكن أن تكون مطلية إمّا بالزنك أو بخليط الزنك/ الألومنيوم أو بالكلوريد المتعدد الفينيل، ولكن لاستخدامها في تطبيقات المباني الحمّالة كالجدران يجب أن تكون الشبكات من الفولاذ غير القابل للصدأ. إذ تستخدم أقفاص الحجارة الآن كأجزاء مهمة في تشييد المباني عندما يكون مظهر جمالي خشن خاص مطلوباً (الشكل 15.9). ويمكن أن تورد أقفاص الحجارة إلى الموقع مملوءة أو مغلّفة بشكل مسطّح ليتم ملؤها وتربيطها عادةً بواسطة رباطات حلزونية من سبائك مطلية أو من الفولاذ غير القابل للصدأ. يتوفر منها مجال من المقاسات مبنية أساساً على وحدة متكرّرة بقياس متر واحد.

(الشكل 14.9) بناء حجري – حّمال معمل ديفيد ميلور لأدوات المائدة في هاثرسيج ديربيشاير. المعماريون هوبكنز. بعدسة آرثر ليونز.

(الشكل 15.9) مركز لندن لسباق الزوارق. المعماري إيان ريتشي.

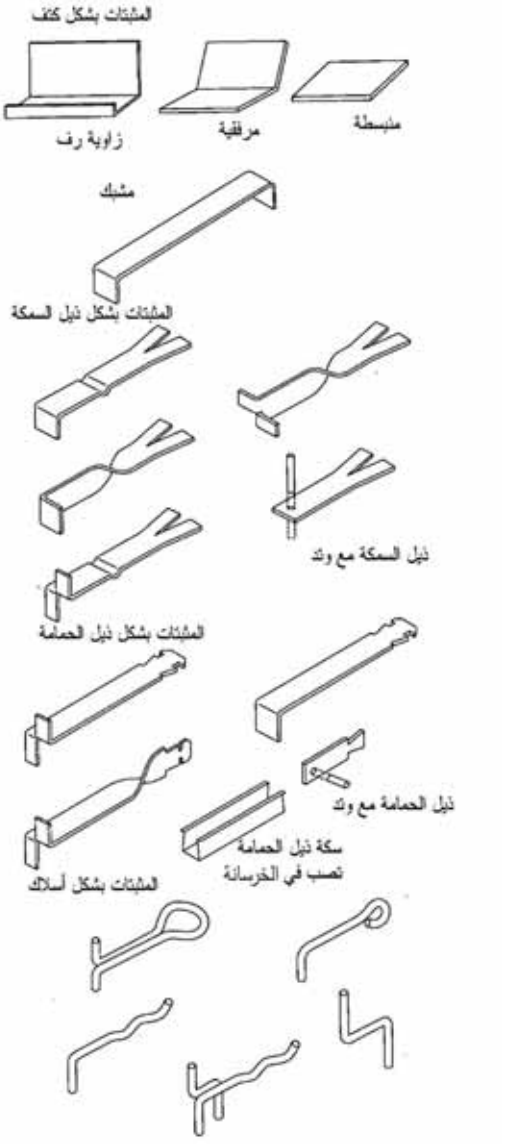
كبديل يمكن بناء هياكل إسنادية في المواقع العامة بمظهر جمالي أنعم وذلك بتركيب من الحجارة وشبكات الفولاذ والخشب (الشكل 16.9).

(الشكل 16.9) نظام سند التربة من الخشب والشبك والحجارة.

الإكساء بالحجر

في أغلبية الأبنية التجارية الكبيرة يستخدم الحجر كمادة إكساء تثبّت ميكانيكياً على النظام البنيوي. وتحدّد متانة الحجر إلى حدّ كبير السماكة المناسبة لألواح الإكساء. أمّا بالنسبة للغرانيت والرخام والأردواز فتستخدم عادة بلاطات بسماكة 40 mm للواجهات الخارجية التي تعلو الطابق الأرضي، في حين بالنسبة للأحجار الكلسية والرملية الأطرى ينصح غالباً بسماكة دنيا مقدارها 75 mm. إلا أنّه في حالة الارتفاعات الأقل من 3.7 m فوق مستوى سطح الأرض يسمح بمقاطع أقل سماكةً، شريطة أن تكون بمتانة كافية كي لا تعاني من التشوّه والانهيار. يعطي المعيار BS 8298:1994 تفاصيل لسماكات الأحجار المستخدمة في الإكساءات الخارجية والبطانات الداخلية. ويجب أن تكون وسائط التثبيت (الشكل 17.9) مصنعة من الفولاذ غير القابل للصدأ أو من المعادن غير الحديدية، ويجب أن يتم اختيار قياساتها بحيث تتحمّل الوزن الميت للإكساء بالإضافة إلى الحمولات المطبقة من الرياح ومعدات الصيانة. كما يجب ترك فواصل حركة تستوعب الحركات البنيوية التفاضلية للإطارات، والحركات الناتجة من الحرارة والرطوبة للإكساء. ويجب ترك فواصل انضغاط أفقية بعرض أدنى 15 mm عند كل منسوب طابقي؛ وفواصل حركة شاقولية بعرض 10 mm بتباعد كل 6 m تقريباً. وتستخدم لسدّ الفواصل مركبات البولي سلفايد والبولي يوريثان والسيليكون، على ألا تستخدم مركبات السيليكون التي تترك بقعاً على الأحجار والتي يصبح لونها قاتماً

بامتصاصها للسيليكون السائل. لذا يجب حماية منظومات الإكساء الحجري بشكل مثالي في الطوابق الأرضية من الأذى الناجم عن الصدم بواسطة التفاصيل التصميمية.



(الشكل 17.9) وسائط التثبيت النموذجية للإكساء الحجري الصفائحي.

الإكساء الحجري ذو الخلفية الخرسانية

الطريقة البديلة للإكساء الحجري التقليدي هي استخدام قشرة حجرية كاملة على ألواح إكساء خرسانية. يثبت الحجر على الخرسانة بمجموعة من التشاريك غير القابلة للتآكل ومائلة باتجاهات متعاكسة مما يولّد تثبيتاً ميكانيكياً غير معتمد على التماسك ما بين الحجر والخرسانة المصبوبة. وفي حالة الحجر الكلسي تكون سماكة 50 mm مناسبة للقشرة. كما يجب أن تُصب الخرسانة مع التسليح المناسب ومع وسائط التثبيت إلى هيكل المبنى.

بلوك البناء ذو الوجه الحجري

يصنع بلوك البناء ذو الوجه الحجري بأبعاد معيارية 215 x 440 mm وتوضع على وجهها قشرة من الرخام أو الغرانيت الملمّعين، مثبّتة بلاصق مقاوم للتجمد بالصقيع. وتتوفر مجموعة من الأشكال الخاصة الموائمة، تتضمن بلوكات للزوايا وبلوكات طرفية وعتبات مشكّلة مع وصلات زاوية من الحجر المشطوف بشكل مائل.

الإكساء الحجري الخفيف الوزن

يمكن لصق مقاطع رقيقة من الحجر (نحو 6 mm) إلى مادة خلفية داعمة خفيفة الوزن لتخفيض الوزن الميت للإكساء الحجري (الشكل 18.9). ويعتبر هذا التخفيض في الوزن مهماً بالمقارنة مع المقاطع الحجرية السميكة والتي قد تتطلّب تقنيات الإكساء الحجري التقليدية. فإحدى هذه المواد المستخدمة أصلاً في الصناعات الفضائية، هي الألواح المحشوة المكونة من نواة من الألومنيوم على شكل خلايا النحل ووجهين من راتنج الإيبوكسي المسلح بالألياف الزجاجية. تُلصق الواجهة الحجرية على أحد الوجهين فينتج لوح إنهاء حجري خفيف الوزن، والذي إذا وضعت تفاصيله بشكل مناسب فسيتمتع بجميع الخصائص البصرية المرافقة لأحجار البناء المصمتة.

الإكساء الحجري الواقي من المطر

تتضمن المنظومات المهواة من الإكساء الحجري الواقي من المطر عادة الحجر الطبيعي مدعوماً من الخلف بالخرسانة الخفيفة و/ أو العزل، ومثبّتةً إلى نظام إسناد من الألومنيوم. ويلصق الحجر ذو السماكة البالغة 10-8 mm عادة مع

الخرسانة الخفيفة بسماكة 19 mm. تُصنّع مسبقاً وحدات خاصة للزوايا الخارجية والداخلية لتوائم الواجهة.

(الشكل 18.9) ألواح الإكساء الحجري الصفائحي القشري الخفيف الوزن الصورة من IP 10/01 أعيد إنتاجها بموافقة من BRE.

تدهور الحجر

إن العوامل الرئيسية التي تسبّب تدهور الحجر هي تأثير الأملاح الذائبة والتلوث الجوي والتجمّد بالصقيع وتآكل المكونات المعدنية والتصميم أو العمالة السيئين.

فعل الأملاح الذائبة

إذا تبخرت الرطوبة المحتوية على الأملاح الذائبة من على سطح الأشغال الحجرية، فإنّ الأملاح سوف تبقى على السطح، إمّا على شكل طفح أبيض [تزهر] أو كبلورات ضمن الطبقة السطحية المسامية. وإذا تتابعت دورات الترطيب والجفاف فإنّ المادة المتبلورة تتراكم ضمن المسامات حتى تصل إلى النقطة التي يتجاوز عندها الضغط الناتج قدرة تحمل الحجر على الشد، مما يؤدي إلى تفتته. ويؤثر الحجم الفعلي للمسامات كثيراً في ديمومة الأحجار المنفردة، ولكن عموماً تكون الأحجار الأكثر مسامية كالحجر الكلسي والحجر الرملي عرضة لتأثير الأملاح الذائبة.

التلوّث الجوي

إن الأحجار التي أساسها كربونات الكالسيوم حساسة بشكل خاص لهجوم الملوثات الجوية الحامضية. ويكوّن ثنائي أوكسيد الكبريت بوجود الماء والأوكسجين من الجو حمض الكبريت، الذي يهاجم كربونات الكالسيوم وينتج كبريتات الكالسيوم. وتكون الأحجار الكلسية والرملية الكلسية قابلة للتلف نتيجة هذا الهجوم. ففي حالة الحجر الكلسي، يكون الجص (كبريتات الكالسيوم) الذي تكون على السطح قابلاً للذوبان قليلاً، وعلى السطوح المكشوفة ينغسل تدريجياً تاركاً الحجر الكلسي المتآكل نظيفاً. أما في المناطق التي لا تغسل فيصبح السطح مسوداً بالسخام (Soot) وتتولّد قشرة صلبة تتقرح في النهاية كاشفة الحجر الكلسي المغطى بمسحوق. ويتفاعل الحجر الكلسي المغنيزي بشكل مشابه، عدا أنه في بعض الحالات تؤدي إعادة تبلور كبريتات المغنزيوم تحت القشرة المسودة لحدوث تفكّك غائر أكثر خطورة على الحجر. فعندما تغسل الأحجار الرملية الكلسية بالمطر فإنها تتفكك تدريجياً إلى مسحوق؛ أما في المناطق التي لا تغسل فإنها تولّد قشرة صلبة حيث تنسد المسامات بالجص. وتنهار هذه القشرة في النهاية نتيجة التمدّد الحراري التفاضلي. وتكون الأحجار الكلسية الدولوميتية أقل عرضة للتلف نتيجة الهجمات الحمضية، إلا إذا كانت تحتوي على نسب كبيرة من الكالسيت الحساس. كما يمكن للأحجار الرملية السيليسية التي لا يتمّ مهاجمتها مباشرة بالحموض الجوية أن تتضرر من كبريتات الكالسيوم المغسولة من الأحجار الكلسية، والتي تسبب عندئذٍ تلفاً تبلورياً لسطح الحجر الرملي. حيث يتأثر الرخام أيضاً، والذي هو بالأساس كربونات الكالسيوم، بالحموض الجوية. فأي سطح ملمّع يتعرض إلى التآكل بشكل تدريجي؛ وبما أن الرخام غير مسامي عموماً فإن الضرر التبلوري غير معتاد، ويقتصر الضرر على تشكل ما يشبه السكر (Sugaring) في بعض الحالات.

فعل التجمّد بالصقيع

يحدث الضرر الناتج من التجمّد بالصقيع في أجزاء المبنى التي تتجمّد عندما تكون مبللة جداً، مثل الطبات والكرنيشات والمداميك البارزة وواقيات النوافذ وجلساتها. يؤدي التجمّد بالصقيع إلى انفصال قطع من الحجر، ولكنه لا يؤدي إلى تشكّل مسحوق كما في حالة الهجوم التبلوري. عموماً تكون الأحجار الكلسية والكلسية المغنيزية عرضة أكثر إلى ضرر التجمّد بالصقيع من الأحجار الرملية. لا

يتأثر الرخام والأردواز والغرانيت المستخدم في المباني من التجمّد بالصقيع بسبب مساميتها المنخفضة.

تآكل المعادن

يمكن أن تسبب مياه المطر المنسابة عن النحاس وسبائكه تشكّل بقع خضراء اللون على الحجر الكلسي. كما يشكل كلّ من الحديد والفولاذ بقعاً من الصدأ صعبة الإزالة من على الأحجار المسامية. ويحدث ضرر كبير في الأشغال الحجرية بسبب تمدّد الحديد والفولاذ الناتج من الصدأ. فيجب أن تكون جميع وسائط التثبيت الجديدة والمستبدلة مصنعة عموماً من الفولاذ غير القابل للصدأ أو المعادن غير الحديدية.

الحريق

نادراً ما يسبّب الحريق دماراً كاملاً لأشغال الحجر. ففي حالة الغرانيت والرخام ومعظم الأحجار الرملية قد تسودّ السطوح أو تتشظّى. ولا تتأثر الأحجار الكلسية عموماً بالحريق، مع أن الألوان الفاتحة قد تتحوّل بشكل دائم إلى اللون الزهري نتيجة تأكسد أكاسيد الحديد ضمن الحجر. ويعدُّ حجر الريغيت (Reigate)، وهو حجر رملي كلسي، مقاوماً للحرارة أيضاً ولكنه لا يتمتع بديمومة للاستخدام الخارجي.

النباتات

عموماً يجب إزالة النباتات الكبيرة، بما فيها اللبلاب، من الأشغال الحجرية القديمة؛ مع أن نبات فرجينيا المتسلقة (Virginia Creeper) والأنواع المماثلة لا تعتبر مؤذية. قد تساهم الأشنيات (Lichen) في تدهور الأحجار الكلسية، مع وجوب معالجة الأحجار المتأذية. وتكون سطوح الجدران الرطبة الموجهة شمالاً وكذلك سطوح الأحجار الرملية المائلة عرضة لنمو الطحالب وتكاثر الأشنيات.

صيانة الأشغال الحجرية

التنظيف

يجب غسل إكساء الغرانيت والرخام والأردواز بانتظام بمحلول تنظيف معتدل. وعلى الأخص يجب غسيل الرخام الخارجي الملمّع بشدة مرتين في السنة على الأقل لمنع انطفاء لمعة السطح بشكل دائم. وعندما لا يكون الحجر الكلسي ذاتي التنظيف بفعل ماء المطر، يجب تنظيفه بواسطة بخاخ ماء ناعم وفرشاة، لإزالة

الرواسب فقط لا القشرة الجصية المتشكلة على السطح. إلا أن غسيل الحجر الكلسي قد يسبب بقعاً زنجبيلية أو ظهور طفح عندما يجف الحجر، مع المخاطرة بإمكانية صدأ المثبتات الحديدية المغروسة فيه، لذلك يجب ضبط كميات المياه المستخدمة على نحو مناسب. يتم تنظيف الحجر الرملي عادةً ميكانيكياً بالسفع الحاك أو بالتنظيف الكيميائي. يكون السفع الحاك بالرمل ذي الحبيبات العادية أو الخشنة مناسباً للأحجار القاسية إلا أنه قد يؤذي بشكل كبير الأحجار الطرية والسطوح المشكلة. يستخدم حمض الهيدروفلوريك وكذلك هيدروكسيد الصوديوم [الصودا الكاوية] في تنظيف الأحجار الرملية كيميائياً، إلا أن كليهما يعتبر مادة خطرة يجب استعمالهما بعناية شديدة من قبل متعهدين مختصين.

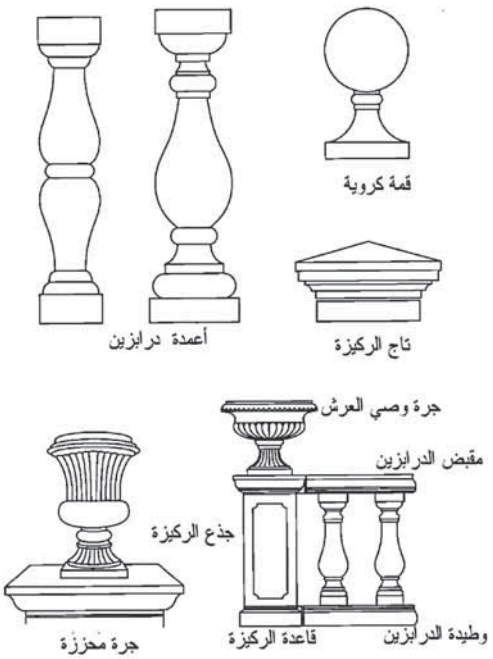
الحفاظ على الحجر

عموماً يجب ألاّ تطبق على الحجر الطلاءات مثل طلاء السيليكون الصاد للماء إلا بعد استشارة خبراء والقيام بتجارب. فقد تسبب المعالجة بالسيليكون في بعض الحالات تجمّع رواسب ملحية خلف الطبقة التي تمّت معالجتها مما يؤدي في النهاية إلى انهيار الحجر. كما يجب عدم تطبيق المعالجة بالسيليكون على سطوح الحجر التي تآكلت أصلاً. يمكن استخدام السيلانات البوليميرية (Polymeric Silanes) لتقوية الأحجار المتآكلة. حيث يمتص الحجر السيلانات حتى عمق 50 mm، وهي تتحول إلى بوليمير مسببة استقرار الحجر من دون أن تغيّر مظهره الخارجي. تؤمن المركبات المختلفة الداخلة في تركيب السيلانات مجالاً من خصائص التقوية وصدّ المياه بما يجب أن يتوافق مع الطبقة التحتية. عموماً تكون مثل هذه المعالجة مناسبة للعناصر التجميلية الصغيرة التي تكون في خطر مباشر بخسارتها إذا تركت من دون معالجة.

الحجر المصبوب

يمكن إعادة إنتاج مظهر الأحجار الطبيعية كأحجار باث وكوتسوولد وبورتلاند ويورك باستخدام مزيج من غبار الحجر والحصويات الطبيعية مع الإسمنت. وفي حالات معيّنة يمكن إضافة أصبغة أكاسيد الحديد لمطابقة الأشغال الحجرية الموجودة أصلاً وفقاً للرغبة. يتوفر العديد من العناصر المعمارية مثل الأعمدة الكلاسيكية والتيجان والدرابزينات وأعمدة الأروقة كعناصر معيارية (الأشكال 19.9 و20.9)، إلا أنّه يمكن صبّ منتجات أخرى خصيصاً وفقاً لمتطلبات المصمم، كما هو واضح في واجهة مبنى مياه نهر التيمز في ريدينغ (Reading) (الشكل 21.9).

ويمكن تحقيق إنهاءات عالية الجودة من قبل مصنّعين مختصين، وأحياناً تتفوّق الأحجار المصبوبة على الأحجار الطبيعية من حيث المتانة ومقاومة اختراق الرطوبة. يمكن أن تكون الأحجار المصبوبة متجانسة، أو لأسباب اقتصادية يمكن أن تكون مادة الوجه ملتصقة بقوّة مع خلفية من الخرسانة، وفي هذه الحالة يجب ألا تقل سماكة مادة الوجه عن 20 mm. يشترط المعيار (BS 1217:2008) ألاّ تقل سماكة تغطية فولاذ التسليح غير المعالج عن 40 mm عند أي وجه ظاهر، وألا تقل عن 30 mm إذا كانت الفولاذ مغلفناً. تتطلّب المعادن المقاومة للتآكل (مثل الفولاذ غير القابل للصدأ والبرونز والنحاس) تغطيةً بسماكة لا تقل عن 10 mm عند أي وجه مكشوف. وتصمّم معظم وحدات بناء الحجر لتركب بفواصل بعرض 5 أو 6 mm، وينبغي ملء ثقوب التموضع المعدة لتشاريك الوصل بشكل كامل. وينصح باستخدام الملاط المحتوي على الكلس، بدلاً من الإسمنت والرمل المعياريين (الجدول 5.9). يجب توخي الحذر في الصنعة لمنع تلوث سطح الأحجار المصبوبة بالملاط، لأنه سيكون صعب الإزالة. ويجب أن يقاوم الحجر المصبوب العوامل الجوية بنفس أسلوب الحجر الطبيعي المكافئ.



(الشكل 19.9) وحدات نموذجية من الحجر المصبوب.

(الشكل 20.9) عمود أيوني كلاسيكي من الحجر المصبوب.

(الشكل 21.9) إعادة بناء الإكساء الصفائحي الحجري – مبنى مياه نهر التايمز في ريدينغ الصورة بموافقة شركة بيتون ترنت المحدودة.

الأحجار المصبوبة الجافة والمبتلة

يتم تصنيع الحجر المصبوب بعملية صبّ إمّا جافة أو مبتلة. حيث يتمّ تشكيل الحجر المصبوب بالطريقة الجافة من خرسانة ذات هبوط صفري بتجربة المخروط، والتي تُرصّ بشدة بواسطة الرج. وتستخدم هذه العملية في الصبّ المتكرّر للوحدات الأصغر، التي يمكن إزالتها من القالب مباشرة بعد الرصّ، مما يسمح بصنع العديد من الوحدات كل يوم. تستخدم عملية الصبّ المبتل في تصنيع الوحدات الأكبر حجماً، التي تبقى في القالب لمدة 24 ساعة وقد تتضمّن مثبتات إرساء بداخلها وكذلك تسليحاً أكثر تعقيداً.

الجدول 5.9 عيارات الملاط التي ينصح بها لأشغال الحجر المصبوب

درجة الانكشاف	بناء حجر اسمنت : رمل	مع الملدنات اسمنت : رمل	إسمنت : كلس : رمل
شديدة	1: ½ 4	1: 6	1: 1: 6
معتدلة	1: 6	1: 8	1: 2: 9

المراجع

FURTHER READING

Chacon, M.A. 1999: *Architectural stone: fabrication, installation and selection*. New York: John Wiley.

CIRIA. 2009: *Dry stone retaining walls and their modifications-condition appraisal and remedial treatment*. C676. London: Construction Industry Research and Information Association.

Dernie, D. 2003: *New stone architecture*. London: Laurence King.

Dernie, D. 2009: *Stone architecture*. London: Laurence King.

Environment & Heritage Service 2006: *Cleaning masonry buildings (Brick, stone and external renders)*. Technical Note 52. Belfast: Environment & Heritage Service.

Garner, L. 2007: *Dry stone walls*. 2nd ed. Princes Risborough: Shire Publications.

Hugues, T., Steiger, L. and Weber, J. 2005: *Dressed stone. Types of stone, details, examples*. Basel: Birkhäuser.

Jenkins, J. 2003: *The slate roof bible*. USA: Chelsea Green Publishing.

Kicklighter, C.E. 2003: *Modern masonry, brick, block, stone*. Illinois: Goodheart Willcox.

Mäckler, C. (ed.) 2004: *Material stone. Constructions and technologies for contemporary architecture*. Basel: Birkhäuser.

Meyhöfer, D. 2009: *Set in stone*. Hamburg: Braun.

Pavan, V. 2004: *New stone architecture in Italy*. Basel: Birkhäuser.

Pavan, V. 2005: *New stone architecture in Germany*. Basel: Birkhäuser.

Price, M. 2007: *Decorative stone. The complete source book*. London: Thames & Hudson.

Scottish Executive. 2007: *Igneous rock*. Edinburgh: Scottish Executive.

Scottish Executive. 2007: *Building, paving and roofing stone*. Edinburgh: Scottish Executive.

Studio Marmo. 2007: *Stone sampler*. New York W.W. Norton.

STANDARDS

BS 845-2: 2003 Specification for ancillary components for masonry. Lintels.

BS 1217: 2008 Cast stone. Specification.

BS 5080 Structural fixings in concrete masonry:

Part 1: 1993 Method of test for tensile loading.

Part 2: 1986 Method for determination of resistance to loading in shear.

BS 5385 Wall and floor tiling:

pr Part 1: 2008 Design and installation of ceramic and natural stone and mosaic wall tiling and in normal internal conditions. Code of practice.

Part 5: 2009 Design and installation of terrazzo, natural stone and agglomerated stone tile and slab flooring. Code of practice.

BS 5534: 2003 Code of practice for slating and tiling.

BS 5628 Code of practice for the use of masonry:

Part 1: 2005 Structural use of unreinforced masonry.

Part 2: 2005 Structural use of reinforced and prestressed masonry.

Part 3: 2005 Materials and components, design and workmanship.

BS 5642 Sills and copings:

Part 1: 1978 Specification for window sills of precast concrete, cast stone, clayware, slate and natural stone.

Part 2: 1983 Specification for copings of precast concrete, cast stone, clayware, slate and natural stone.

BS 6093: 2006 Design of joints and jointing in building construction. Guide.

BS 6100 Building and civil engineering. Vocabulary:

Part 6: 2008 Construction parts.

BS 7533 Pavements constructed with clay, natural stone or concrete pavers:

Part 1: 2001 Guide to the structural design of heavy-duty pavements.

Part 2: 2001 Guide to the structural design of lightly trafficked pavements.

Part 3: 2005 Code of practice for laying precast concrete paving blocks.

Part 4: 2006 Construction of pavements of precast concrete flags or natural stone slabs.

Part 6: 1999 Code of practice for laying natural stone, precast concrete and clay kerb units.

Part 7: 2002 Construction of pavements of natural stone setts and cobbles.

Part 8: 2003 Structural design of lightly trafficked pavements of precast concrete and natural stone flags.

Part 10: 2004 Structural design of trafficked pavements constructed of natural stone setts.

Part 11: 2003 Code of practice for the opening, maintenance and reinstatement of pavements of concrete, clay and natural stone.

Part 12: 2006 Structural design of trafficked pavements using concrete paving flags and natural stone

slabs.

Part 13: 2009 Design of permeable pavements with concrete paving blocks and flags, natural stone slabs and setts and clay pavers.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 6: 1990 Code of practice for slating and tiling of roofs and claddings.

Part 11 Code of practice for wall and floor tiling: Sec. 11.1: 1989 Ceramic tiles, terrazzo tiles and mosaics. Sec. 11.2: 1990 Natural stone tiles.

BS 8221 Code of practice for cleaning and surface repair of buildings:

Part 1: 2000 Cleaning of natural stones, brick, terracotta and concrete.

Part 2: 2000 Surface repair of natural stones, brick and terracotta.

BS 8297: 2000 Code of practice for the design and installation of non-loadbearing precast concrete cladding.

BS 8298: 1994 Code of practice for design and installation of natural stone cladding and lining:

pr Part 1: 2007 General.

pr Part 2: 2007 Traditional handset external cladding.

pr Part 3: 2008 Stone-faced pre-cast concrete cladding systems.

pr Part 4: 2007 Rainscreen and stone on metal frame cladding systems.

BS EN 771 Specification for masonry units:

Part 5: 2003 Manufactured stone masonry units.

Part 6: 2005 Natural stone masonry units.

BS EN 772 Methods of test for masonry units:

Part 4: 1998 Determination of bulk density and porosity.

Part 11: 2000 Determination of water absorption.

Part 14: 2002 Determination of moisture movement.

Part 20: 2000 Determination of flatness of faces.

BS EN 1341: 2001 Slabs of natural stone for external paving. Requirements and test methods.
BS EN 1342: 2001 Setts of natural stone for external paving. Requirements and test methods.
BS EN 1343: 2001 Kerbs of natural stone for external paving. Requirements and test methods.
BS EN 1469: 2004 Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements.
BS EN 1925: 1999 Natural stone test methods. Determination of water absorption coefficient.
BS EN 1926: 2006 Natural stone test methods. Determination of uniaxial compressive strength.
BS EN 1936: 2006 Natural stone test methods. Determination of real and apparent density.
BS EN 5534: 2003 Code of practice for slating and tiling.
BS EN 12057: 2004 Natural stone products. Modular tiles. Requirements.
BS EN 12058: 2004 Natural stone products. Slabs for floors and stairs. Requirements.
BS EN 12059: 2009 Natural stone products. Dimensional stonework. Requirements.
BS EN 12326 Slate and stone products for discontinuous roofing and cladding:
Part 1: 2004 Product specification.
Part 2: 2000 Methods of test.
BS EN 12370: 1999 Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallisation.
BS EN 12371: 2001 Natural stone test methods. Determination of frost resistance.
BS EN 12372: 2006 Natural stone test methods. Determination of flexural strength.
BS EN 12407: 2007 Natural stone test methods. Petrographic examination.
BS EN 12440: 2008 Natural stone. Denomination criteria.
BS EN 12670: 2002 Natural stone. Terminology.
BS EN 13161: 2008 Natural stone test methods. Determination of flexural strength.
BS EN 13364: 2002 Natural stone test methods. Determination of breaking load at dowel hole.
BS EN 13755: 2008 Natural stone test methods. Determination of water absorption.
BS EN 14157: 2004 Natural stones. Determination of abrasion resistance.
BS EN 14579: 2004 Natural stone test methods. Determination of sound speed propagation.
BS EN 14580: 2005 Natural stone test methods. Determination of static elastic modulus.

BS EN 14581: 2004 Natural stone test methods. Determination of linear thermal expansion coefficient.

BS EN 14617: 2008 Agglomerated stone. Test methods.

BS EN 14618: 2009 Agglomerated stone. Terminology and classification.

BS EN 15388: 2008 Agglomerated stone. Slabs and cut-to-size products for vanity and kitchen tops.

DD CEN/TS 15209: 2008 Tactile paving surface indicators produced from concrete, clay and stone.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 420: 1997 Selecting natural building stones.

BRE Digest 448: 2000 Cleaning buildings: legislation and good practice.

BRE Digest 449: 2000 Cleaning exterior masonry (Parts 1 and 2).

BRE Digest 467: 2002 Slate and tile roofs: avoiding damage from aircraft wake vortices.

BRE Digest 502: 2007 Principles of masonry conservation management.

BRE Digest 508: 2008 Conservation and cleaning of masonry (Part 1 Stonework).

BRE Good building guide

BRE GBG 64 Part 3: 2005 Tiling and slating pitched roofs: natural and man-made slates.

BRE Information papers

BRE IP 6/97 External cladding using thin stone.

BRE IP 7/98 External cladding-how to determine the thickness of natural stone panels.

BRE IP 17/98 Use of lightweight veneer stone claddings.

BRE IP 18/98 Stone cladding panels-in situ weathering.

BRE IP 9/99 Cleaning exterior masonry.

BRE IP 10/00 Flooring, paving and setts.

BRE IP 10/01 Lightweight veneer stone cladding panels.

BRE Reports

SO 36: 1989 The building limestones of the British Isles, E. Leary.

BR 84: 1986 The building sandstones of the British Isles, E. Leary.

BR 134: 1988 The building magnesian limestones of the British Isles, D. Hart.

BR 195: 1991 The building slates of the British Isles, D. Hart.

ADVISORY ORGANISATIONS

Men of the Stones, Beech Croft, Weston-under-Lizard, Shifnal, Shropshire TF11 8JT, UK (01952 850269). National Federation of Terrazzo, Marble & Mosaic Specialists, PO Box 2843, London W1A 5PG, UK (0845 609 0050).

Stone Federation Great Britain, Channel Business Centre, Ingles Manor, Castle Hill Avenue, Folkestone, Kent CT20 2RD, UK (01303 856123).

UK Cast Stone Association, 15 Stone Hill Court, The Arbours, Northampton NN3 3RA, UK (01604 405666).

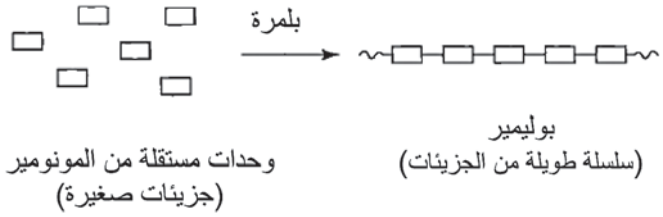
10

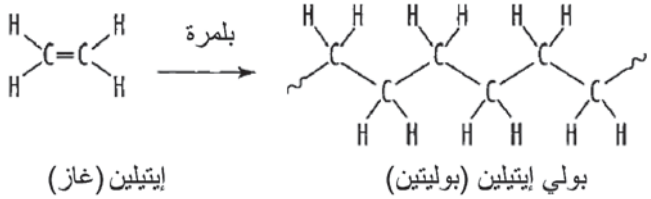
المواد البلاستكية

مقدّمة

المواد البلاستيكية المستخدمة في صناعات البناء عموماً عبارة عن مواد قليلة الكثافة وغير حمّالة. وعلى عكس المعادن فإنها لا تتآكل ولكنها تتفكّك بفعل أشعة الشمس المباشرة، مع انخفاض مقابل في متانتها الميكانيكية. كما أن معظم المواد البلاستيكية سهلة الاشتعال إلا إذ تمت معالجتها؛ ويصدر معظمها أثناء احتراقه دخاناً ضاراً بالصحة. تستخدم تقريباً 20% من المواد البلاستيكية المنتجة في المملكة المتحدة في صناعة البناء؛ ويشكل بولي الفينيل كلوريد (PVC)، الذي يتضمّن محتوى عالياً من الطاقة، نحو 40% من هذه السوق، بشكل أساسي في الأنابيب، وكذلك أيضاً في الإكساءات، وعزل الكابلات الكهربائية، وفي النوافذ والأبواب، وفي تطبيقات الأرضيات. ويتمّ تشكيل المواد البلاستيكية الرغوية (Foamed Plastics) المستخدمة في العزل الحراري والصوتي في مواد ذات خلايا مفتوحة أو مغلقة، حيث تقاوم هذه الأخيرة مرور الهواء والماء.

تشكل المواد البلاستيكية في ما يخص تركيبها الكيميائي مجموعة متنوعة من المواد، بنياتها الجزيئية تشبه السلسلة، وتتألف من عدد كبير من الوحدات الصغيرة المتكرّرة. ومع أن بعض المواد، كالمطاط ومشتقات السليلوز، مبنية على منتجات طبيعية، فإنّ معظم المواد البلاستيكية يتم إنتاجها من منتجات بتروكيميائية. أمّا تصنيع البولي إيتيلين، والذي يعود إلى عام 1933، فيتضمن بلمرة لمونومير الإيتيلين الغازي العديم اللون تحت ضغط عالٍ وبالدرجة 200 °C؛ فيتحّول إلى بوليمير شفاف هو البولي إيتيلين أو البوليتين (الشكل 1.10).



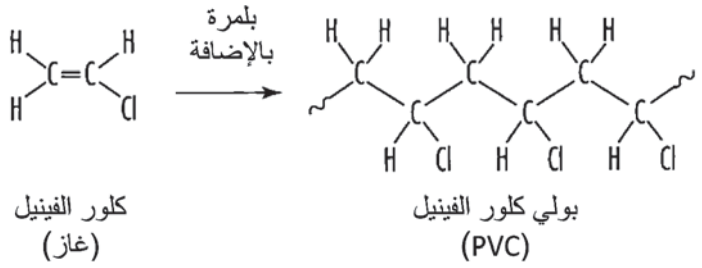


(الشكل 1.10) بلمرة الإيتيلين إلى بولي إيتيلين.

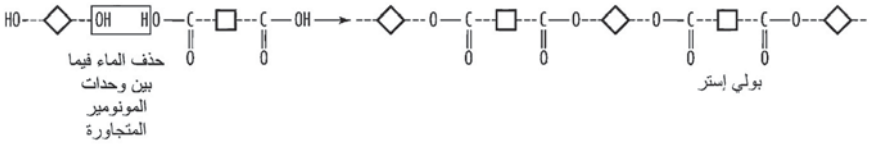
البلمرة

عند إنتاج البوليتين تتصل وحدات الإيتيلين ذوات الجزيئات الصغيرة بنهاياتها بواسطة عملية البلمرة بالإضافة (Addition Polymerisation)، فينتج سلسلة طويلة من الجزيئات الضخمة. ويتمّ بعملية مشابهة تحويل كلوربيد الفينيل إلى بولي فينيل كلوريد (الشكل 2.10)، وكذلك تحويل مونومير الستيرين إلى البوليستيرين (Polystyrene)، والحصول على بولي رباعي فلور الإيتيلين (Polytetrafluoroethylene) (أي التفلون (PTFE) من رباعي فلور الإيتيلين (Tetrafluoroethylene).

مع أن العمود الفقري لجزيئات المواد البلاستيكية يتألّف بشكل رئيسي من سلاسل ذرات الكربون، إلا أن تغيرات تحدث، خصوصاً عندما تتضمّن عملية البلمرة نزع الماء من بين وحدات المونومير المتجاورة. وعليه ففي عملية البلمرة بالتكاثف (Condensation Polymerization) (الشكل 3.10)، يتمّ دمج ذرات الأوكسجين أو النيتروجين في العمود الفقري لسلاسل الجزيئات الضخمة كما هي الحال في البولي أستر(الراتنجيات) والبولي أميد (النايلون).



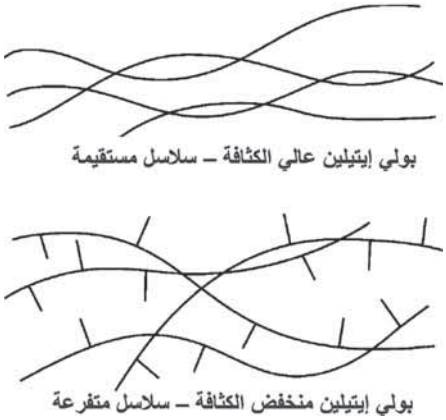
(الشكل 2.10) بلمرة كلور الفينيل إلى بولي كلور الفينيل.



(الشكل 3.10) البلمرة بالتكاثف (Condensation polymerization).

السلاسل المتفرّعة

يمكن لسلاسل البوليميرات المتشكلة من عمليات البلمرة أن تكون خطية أو متفرعة، وذلك وفقا للشروط المطبقة أثناء عملية البلمرة. ففي حالة البولي إيتيلين يؤثر ذلك في اصطفاف وتراص السلاسل، وبالتالي على الكثافة الكلية للمادة. وعليه فإن للبولي إيتيلين العالي الكثافة (s.g.0.97) عدد قليل من السلاسل المتفرعة بالمقارنة مع البولي إيتيلين منخفض الكثافة (s.g.0.92) (LDPE) الذي يكون ليناً وشمعياً (الشكل 4.10).



(الشكل 4.10) بلاستيك بسلاسل مستقيمة ومتفرعة.

البوليميرات التشاركية

عندما يتبلمر نوعين مختلفين أو أكثر من المونوميرات مع بعضها البعض يكون الناتج بوليميراً تشاركياً. وتعتمد خواص البوليمير التشاركي كثيراً على تسلسل ارتباط المكونات مع بعضها البعض الذي يمكن أن يكون بشكل متواتر، أو عشوائي أو على شكل زمر (بلوك Block) (الشكل 5.10).

(الشكل 5.10) بوليميرات تشاركية عشوائية ومتواترة وزمرية التشكل.

ويمكن انتاج بلاستيك أكثر تعقيداً بغية الحصول على مواصفات فيزيائية خاصة، وذلك بجمع مكونات متعددة. وعليه يتم إنتاج الأكريلونيتريل بوتاداين ستيرين (آ. ب. س) (ABS) (Acrylonitrile Butadiene Styrene) من خلال تطعيم وحدات ستيرين ـ أكريلونيتريل ضمن لاتكس البوتاداين مسبق التشكل بحجوم جزيئية يتم التحكم بها بعناية.

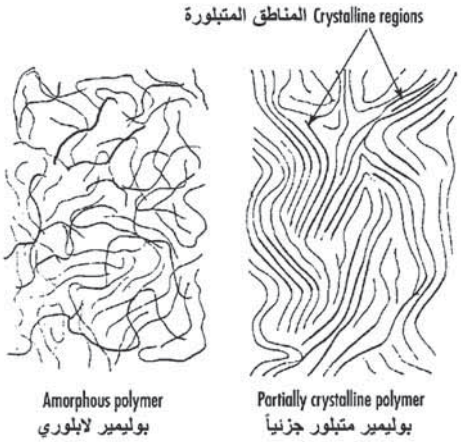
البنية البللورية

تتألف البوليميرات في حالة التصنيع الابتدائية بمعظمها من سلاسل جزيئة غير متبلورة تتوضع وتتوجّه بشكل عشوائي. ومع ذلك إذا تمّ شدّ المادة البلاستيكية في اتجاه واحد، كما هي الحال عند سحب ألياف الغزل، فإن ذلك يسبّب تجاور السلاسل الجزيئية ويقود إلى تشكل جزئي لمناطق تبلور مع تباين في الخواص (الشكل 6.10). كما يمكن أن تتشكّل المناطق المتبلورة خلال تصلّب البوليميرات البسيطة كالبولي إيتيلين، ولكنها تكون محدودة بسعتها نتيجة التشابك العام للسلاسل الجزيئية.

درجة حرارة التحوّل الزجاجي

تتحرّك كلّ من سلاسل جزيئات مادة البلاستيك بحرية بالنسبة لبعضها البعض

في الحالة المنصهرة، مما يسمح بقولبة المادة في عمليات التشكيل المختلفة المستخدمة في صناعة المكونات. وعندما يتمّ تخفيض درجة حرارة المادة البلاستيكية المنصهرة، تنخفض حرية حركة السلاسل الجزيئية، ويصبح البلاستيك تدريجياً أكثر لزوجة، إلى أن تتصلّب عند درجة حرارة انصهارها المميزه. ومع ذلك، حتى وهي صلبة، فإن معظم المواد البلاستيكية تبقى مطاطية أو مرنة بسبب الدورانات ضمن السلاسل الجزيئية الفردية. فإذا تمّ تخفيض درجة الحرارة أكثر تصبح المادة في النهاية قاسية وهشة، حيث لا تعود الحركة ممكنة ضمن الوحدات الجزيئية. وتُدعى درجة الحرارة التي تتحول عندها المادة البلاستيكية من الحالة المرنة إلى الحالة الصلبة **بدرجة حرارة التحول الزجاجي** المميزة للمادة البلاستيكية. ووفقا لطبيعة مادة بلاستيكية ما فإن هذه الدرجة يمكن أن تكون أعلى أو أخفض من الدرجات المعتادة لحرارة الجو المحيط. والأكثر من ذلك فإن درجة حرارة التحول الزجاجي لنوع معين من المواد البلاستيكية يمكن أن تتغير بشكل كبير بإضافة الملدنات (Plasticisers)، على سبيل المثال، ويميز ذلك الفرق في الخواص الفيزيائية بين بولي الفينيل كلوريد غير الملدن (PVC-U) والبولي الفينيل كلوريد الملدن (PVC).



(الشكل 6.10) البلورة في البوليميرات.

أنواع البوليميرات

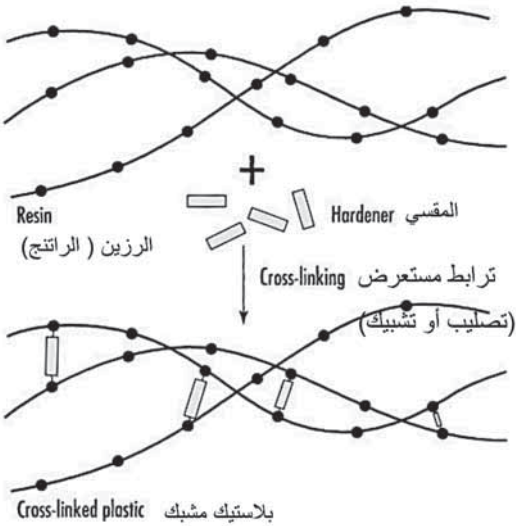
تصنف البوليميرات عادة وفقا لخواصها الفيزيائية كبوليميرات تتلدن بالحرارة (ترموبلاستيكية (Thermoplastic))، أو تتصلّب بالحرارة (ترموستية (Thermosetting))، أو مطاطية (Elastomeric).

المواد الترموبلاستيكية

تلين المواد الترموبلاستيكية بالتسخين وتعود إلى حالتها الأولى بالتبريد، وهذه العملية عكوسة، ولا تتأثر بها المادة عند تكرار دورات التبريد والتسخين، شريطة عدم تطبيق درجات حرارة مفرطة في الارتفاع، التي تؤدي إلى تفكك البوليمير. يذوب العديد من المواد الترموبلاستيكية في المذيبات العضوية، بينما ينتفخ البعض الآخر بامتصاص المذيب. وعادة يتمّ إنتاج المواد الترموبلاستيكية في البدء على شكل حبيبات صغيرة ليتم استخدامها لاحقاً في تصنيع المكونات البلاستيكية.

المواد البلاستيكية الترموستية

تتميز المواد البلاستيكية الترموستية (المتصلّبة حرارياً) بامتلاكها لبنية ذات روابط مستعرضة (Cross-Linked) ثلاثية الأبعاد، تتشكّل عبر نشوء روابط فيما بين سلاسل الجزيئات الضخمة المتجاورة (الشكل 7.10). كما تتصف المواد البلاستيكية الترموستية بأنها لا تلين بالتسخين بل أنها فقط تتفحم وتتحطم إذا ما سُخنت إلى درجات حرارة عالية. ويتم إنتاجها عادة ابتداءً من مسحوق متبلمر جزئياً، أو بخلط زوج من المكونات مثل الراتنج (Resin) والمقسّي (Hardener)، حيث يتكون الراتنج بشكل رئيسي من جزيئات ضخمة، فيقوم المقسّي بإنجاز الترابط المستعرض للراتنج السائل لتحويله إلى بلاستيك ترموستي.

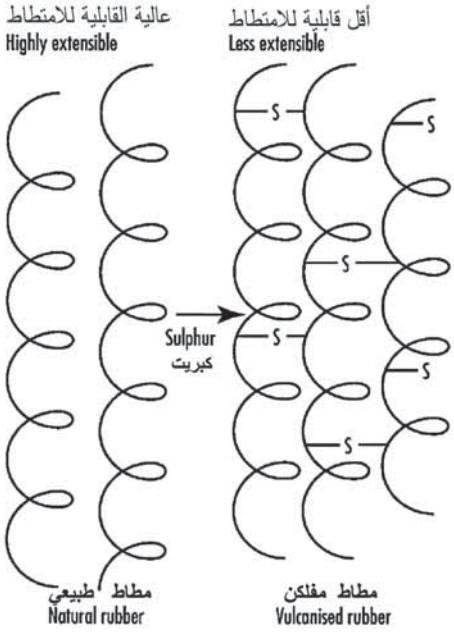


(الشكل 7.10) تشابك أو تصالب المواد البلاستيكية الترموستية.

يتم إنضاج لواصق راتنج الإيبوكسي والبوليستر في درجة حرارة الغرفة، كما في حالة البوليستر المقوى بالألياف الزجاجية (GRP)، بينما يتطلب الأمر رفع درجة الحرارة والضغط من أجل الفينول والراتنج باساس من الفورمالدهيد. وتقاوم المواد البلاستيكية الترموستية عادة الذوبان بالمذيبات بسبب بنيتها ثلاثية الأبعاد، وهي أقسى من المواد الترموبلاستيكية.

المطاطيات

المواد المطاطية (البلاستيكية المرنة) عبارة سلاسل بوليميرات طويلة تكون فيها السلاسل الجزيئية الحلزونية الطبيعية أو المتعرجة حرة في الاعتدال عند شدها، وتعود إلى وضعها الأصلي عند إزالة الحمولة. وتتعلّق درجة مرونة المادة بقابلية التمدّد للسلاسل البوليميرية. وعليه فإن للمطاط الطبيعي قدرة عالية على التمدّد. إلا أنه عند إضافة الكبريت إليه، فإن عملية الفلكنة (Vulcanisation) تقيد الحركة بازدياد عبر تشبيك السلاسل البوليميرية المتجاورة مع بعضها البعض (الشكل 8.10). وتقتضي معظم الاستخدامات إنجاز بعض التشابك لضمان عودة المادة المطاطية إلى وضعها الأصلي عند إزالة الإجهاد عنها.



(الشكل 8.10) المطاطيات وتأثير التصليب (التشبيك).

المضافات

الملدنات

تُضاف الملدنات إلى المواد البلاستيكية غالباً لزيادة مرونتها. وتؤمن إضافة الملدن فصل السلاسل الجزيئية عن بعضها، مما يقلّل التجاذب المتبادل في ما بينها. وعليه فإن بولي فينيل كلوريد غير الملدن (PVC-U) يناسب صناعة لوازم مياه الأمطار وقطع النوافذ والتلبيس بالبلاستيك [الصنفرة (Glazing)]. في حين يستخدم بولي فينيل كلوريد الملدن كأغشية مرنة ذات طبقة أحادية للأسقف، وكأغطية الأرضيات من بلاط ورقائق، وكعوازل للكابلات الكهربائية. ويمكن أن يؤدي فقدان الملدن، بهجرته، إلى تصلّب وهشاشة مكونات البولي فينيل كلوريد الملدن.

المواد المالئة

غالباً ما يضاف إلى المواد البلاستيكية الطبشور أو الرمل أو الصلصال الصيني أو أسود الكربون بهدف تقليل التكلفة أو تحسين مقاومتها للحريق أو تقليص شفافيتها. بينما يضاف أوكسيد التيتانيوم إلى بولي فينيل كلوريد غير الملدن لإنتاج سطوح جيدة اللمعان. بينما تضاف ألياف الزجاج إلى راتنجيات البوليستر لتقوية المادة المركبة، وفق ما سيتم عرضه حول البوليستر المقوى بألياف الزجاج (GRP) في الفصل الحادي عشر.

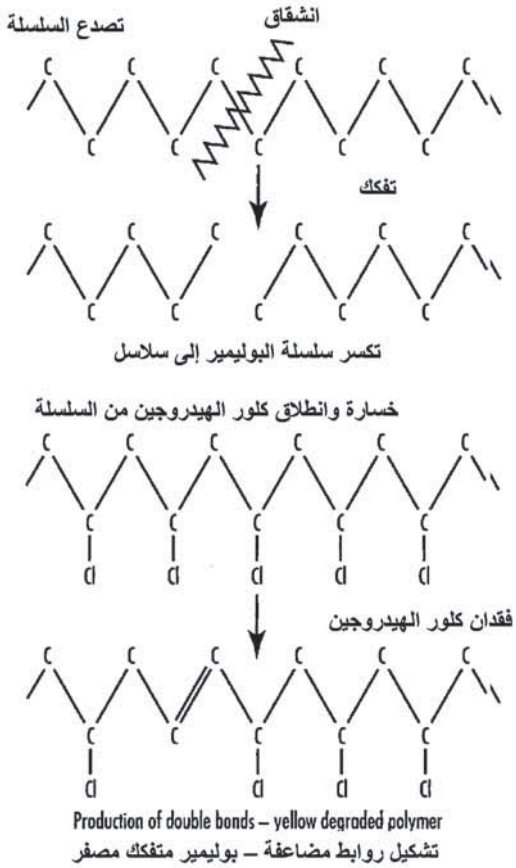
الملونات والمثبتات

قد تضاف الأصبغة والملونات إلى المونوميرات أو البوليميرات. وتضاف المثبتات إلى البلاستيك لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية التي قد تسبب تفككه. وعلى سبيل المثال فإنه تتم إضافة مركبات القصدير العضوية إلى صفائح بولي فينيل كلوريد الشفاف لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية الواردة بشكل تفضيلي وتجنّب التفكّك للبوليمير المذكور عبر إزاحة كلور الهيدروجين منه.

تفكك [تدرّك] المواد البلاستيكية

غالباً ما يعزى تفكّك المواد البلاستيكية إلى تفكّك السلاسل الجزيئية الطويلة إلى سلاسل أصغر (الشكل 9.10)، أو إلى فقدان الملدن في حالة الـ (PVC). ويمكن للسلاسل الجزيئية البوليميرية أن تتفكّك تحت تأثير الحرارة، أو الأشعة الفوق بنفسجية

أو الأوزون، أو بتراكب هذه العوامل، مما يؤدي إلى تناقص الطول المتوسط للسلسلة الجزيئية. كما يحدث تغير لون البلاستيك عبر إنتاج وحدات جزيئية ذات روابط مضاعفة، مما يؤدي عادة إلى اصفرار البلاستيك. وقد تتطور تشققات عشوائية (تجزع السطح) وتشققات ناتجة من الإجهادات على سطح البلاستيك، حيث يتسبب التفكك بالتشابك (Cross-Linking) الذي يؤدي إلى هشاشة السطح.



(الشكل 9.10) تفكك المواد البلاستيكية.

وعندما يفقد الـ (PVC) الملدن بنتيجة هجرته، فإنّ درجة حرارة تحوله الزجاجي ترتفع تدريجياً، ولهذا تصبح المادة في النهاية هشة عند درجة حرارة الوسط المحيط. وعادة يتم إدماج الزيوت ذوات درجات حرارة الغليان المرتفعة في البولي فينيل كلوريد الأصلي مثل ثنائي بيوتيل فتالات وثنائي أوكتيل فتالات، ولكن هذه الملدنات تتبخّر تدريجياً وتترك السطح عرضة للتشقق والانكماش.

خواص المواد البلاستيكية

الحريق

جميع المواد البلاستيكية قابلة للاحتراق، مصدرةً دخاناً وعوادم ضارة (الجدول 1.10). وينتج أول أوكسيد الكربون CO من احتراق معظم المواد العضوية، ولكن بالإضافة إلى ذلك فإن البلاستيك المحتوي على النيتروجين، مثل رغوة البولي يوريثان، يولّد سياتيد الهيدروجين، وينتج البولي فينيل كلوريد حمض كلور الهيدروجين. لبعض أنواع البلاستيك ولا سيّما الأكريلات، والبوليستيرين الموسّع انتشار سطحي سريع للهب مع ناتج احتراق على شكل قطرات. ومع ذلك هناك مواد بلاستيكية يصعب اشتعالها عندما تُعالج بمعوقات الاحتراق، كما أن هناك مواد أخرى تتمتع بقابلية الانطفاء الذاتي.

الجدول 1.10 السلوك الشائع للمواد البلاستيكية المستعملة في البناء في الحريق

نوع المادة	السلوك في الحريق
المواد الترموبلاستيكية	
بولي بروبيلين، البوليتين	تنصهر وتحترق بسرعة
بولي فينيل كلوريد	ينصهر ولا يحترق بسهولة، ويصدر دخاناً وكلور الهيدروجين
التفلون (PTFE/ETFE)	لا يحترق ولكن يصدر دخاناً ساماً بدرجات الحرارة العالية
بولي ميتيل ميتا أكريلات	ينصهر ويحترق بسرعة، وينتج قطرات من المادة الملتهبة.
بوليستيرين	ينصهر ويحترق بسرعة، وينتج دخاناً أسود كثيفاً وقطرات من المادة الملتهبة.
البوليمير التشاركي آ ب إس	يحترق بسرعة
البولي إيريتان	تحترق الرغويات بسرعة منتجة دخاناً عالياً السميّة يتضمن السايانات والإيزوسايانات
المواد الترموستية	
البكاليت (الفينول ـ فورمالدهيد)	يقاوم الاشتعال، ولكن ينتج مواد مؤذية
الميلامين ـ فورمالدهيد واليوريا ـ فورمالدهيد	يتضمن الدخان غاز النشادر
البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (GRP)	يحترق مع إصدار دخان، ولكن تتوفر منه أصناف تعيق اللهب
المواد المطاطية	
المطاط العادي	يحترق بسرعة وينتج دخاناً أسود وثنائي أوكسيد الكبريت
النيوبرين (Neoprene)	أكثر مقاومة للاحتراق من المطاط العادي

المتانة

بالرغم من أن المواد البلاستيكية تتمتع بقيم جيدة لنسبة متانة الشد إلى الوزن، فإن مُعامل مرونتها منخفض، مما يجعلها غير مناسبة لمعظم حالات تحمّل الأحمال، والاستثناء الوحيد لذلك هو حالة البولي استر المسلّح بالألياف الزجاجية والمستخدم في بعض التطبيقات المحدودة لتحمل الأحمال. وعموماً، تلين المواد الترموبلاستيكية في درجات حرارة معتدلة وتتعرض للزحف في الشروط المحيطة العادية.

الحركة بالحرارة والرطوبة

تتمتع معظم المواد البلاستيكية بتمدد حراري عالٍ. وتمدد البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (GRP) يماثل تمدّد الألومنيوم، إلا أن معظم أنواع البلاستيك الأخرى تتمتع بقيم أعلى لمُعامل التمدّد الخطي. ولذلك يجب أخذ الحيطة بالتفاصيل للسماح بحركة مناسبة تحت تأثير الحرارة، خصوصاً عندما ينطوي على استبعاد تأثير الأحوال الجوية. تقاوم معظم المواد البلاستيكية امتصاص الماء ولذا فهي لا تبدي حركة بالرطوبة والقيم النموذجية لمعاملات التمدّد الخطي هي كما يلي:

بوليتين قاسي $(110\text{-}130)\times10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$ (HD) (Polythene)

بولي بروبيلين (Polypropylene) $110\times10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$

آ. ب. س $(83\text{-}95)\times10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$ (ABS)

بولي فينيل كلوريد $(40\text{-}80)\times10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$ (PVC)

بوليستر مسلّح بالألياف الزجاجية $(20\text{-}35)\times10^{-6}\ ^{o}C^{-1}$ (GRP)

عمليات تشكيل المواد البلاستيكية

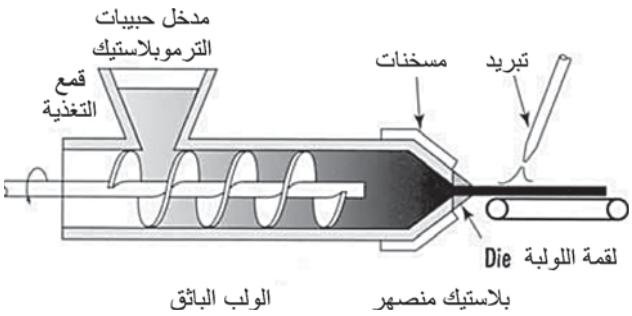
يمكن تشكيل المواد البلاستيكية وفقاً لطبيعة المنتَج، إمّا بعمليات للإنتاج المستمر أو بعمليات للإنتاج على دفعات. فمن أجل المواد الترموبلاستيكية يعتبر الإنتاج على مرحلتين غالباً هو الأنسب، حيث يتمّ في الأولى تقديم المادة الأولية المنتجة من قبل منتِج أولي للمادة البلاستيكية على شكل مسحوق أو حبيبات؛ ثم يتمّ تشكيلها في بثق أو صفائح يُعاد تشكليها للحصول على المنتج النهائي. بينما

يجب إنتاج المواد البلاستيكية الترموستية في عملية بمرحلة واحدة اعتباراً من مواد مبلمرة جزئياً أو اعتباراً من مزج الراتنج والمقسي. ويتمّ تشكيل المواد البلاستيكية الرغوية بنفخها بغاز تمّ توليده داخلها، أو بانتاجها بعملية التفريغ التي تقلّل الاعتماد على غازات الفلور كربونات (CFCs) و (HCFCs) المستخدمة سابقاً والتي تضر البيئة.

العمليات المستمرة

البثق

يتمّ تلقيم حبيبات البلاستيك باستمرار إلى برميل حلزون البثق المسخن، الذي يجبر الترموبلاستيك المنصهر بالمرور عبره لقمة اللولبة ذات الشكل المناسب لإنتاج القضبان أو الأنابيب أو المقاطع بالشكل المطلوب (الشكل 10.10). وتتضمن المنتجات: الأنابيب ولوازم مياه الأمطار والألياف.



(الشكل 10.10) تشكيل البلاستيك بالبثق.

نفخ الأغشية

كما هي الحال مع إنتاج الأنبوب الترموبلاستيكي المنصهر بطريقة البثق، يتمّ نفخ الهواء لتشكيل غطاء بلاستيكي أسطواني متواصل، يجري بعد ذلك فرده بشكل مسطح، وتشذيبه لإنتاج صفيحة مطوية. ويتمّ التحكم في سماكة الصفيحة المنتجة من خلال ضبط ضغط الهواء المطبق.

طريقة الصقل

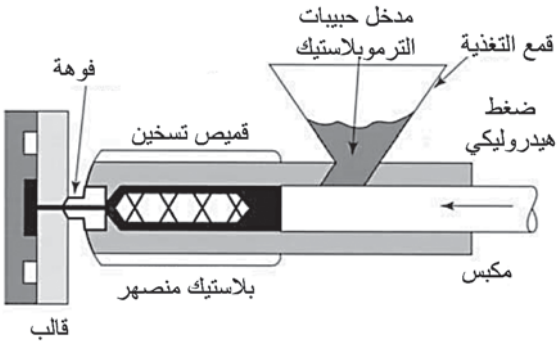
يمكن إنتاج صفائح الترموبلاستيك اعتباراً من حبيبات البلاستيك بالضغط

والانصهار بين مجموعة من الاسطوانات الساخنة. كما يمكن إنتاج ألواح منه بتسخين زوج أو أكثر معاً من الصفائح الترموبلاستيكية، ويمكن خلال هذه العملية أن يتمّ إدماج صفيحة تسليح.

التشكيل بعمليات على دفعات

القولبة بالحقن

يتم صهر حبيبات الترموبلاستيك في باثق لولبي لتعبئة مكبس يقوم بحقن البلاستيك المنصهر في قالب مناسب. وبعد التبريد يتم نزع القطع البلاستيكية من القالب، وتُشذب حسب الضرورة. وتعد هذه العملية قليلة التكلفة وسريعة. ويمكن أن تُلحق سلسلة من القوالب بآلة البثق لتأمين استمرارية الإنتاج (الشكل 11.10). ويمكن قولبة البوليميرات الترموستية بالحقن بتشكيلها في البدء بدرجة حرارة منخفضة ومن ثم تسخينها في القالب لتشبيك السائل البلاستيكي.



(الشكل 11.10) تشكيل البلاستيك بالحقن في القلب.

القولبة بالضغط

في عملية الصب في القالب تحت الضغط للراتنجيات الترموستية، يتمّ تعريض كمية مناسبة من مسحوق الراتنج غير المتشابك للضغط والتسخين ضمن القالب. وعندما ينصهر البوليمير ويتشابك، يمكن بعدها فتح القالب، وإخراج القطعة.

التشكيل بالكبس

يستخدم الكبس لتشكيل الصفائح الترموبلاستيكية إلى مكونات. حيث يُسخن البلاستيك الصفائحي في البدء إلى درجة التلين ثم يكبس بين زوج من لقم القالب المشكلة بشكل مناسب.

التشكيل بالتفريغ وبالنفخ في القالب

يتمّ خلال التشكيل بالتفريغ تسخين صفيحة الترموبلاستيك على قالب ويتمّ التفريغ عبر سلسلة من الثقوب الصغيرة، ليتم سحب البلاستيك اللين في شكل مناسب. وبالمثل يتم في عملية التشكيل بالنفخ تطبيق ضغط هواء موجب في أنبوب من البوليمير المنصهر مما يؤدي إلى توسعه ليأخذ شكل القالب.

التشكيل السريع للنموذج الأولي

تمكن تقنيات التصنيع الجديدة بمساعدة الحاسوب من تصنيع مكونات النماذج الأولية بتسامحات دقيقة للغاية اعتباراً من صور لنمذجة الجسم الصلب (Solid Modelling Images) باستخدام تصميم ثلاثي الأبعاد بمساعدة الحاسوب. ولا يتضمّن ذلك فقط تصميم عناصر البناء، ولكن أيضاً صناعة النماذج المعمارية.

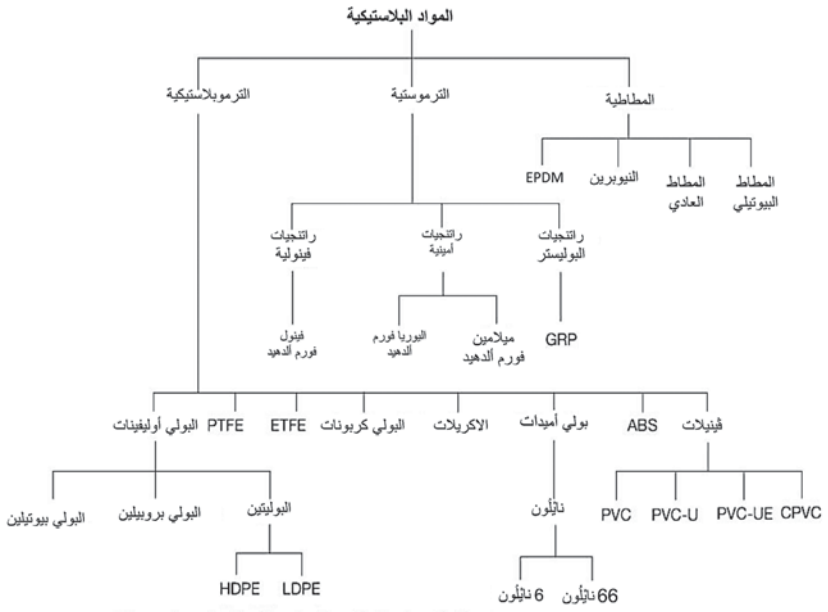
وتستند هذه الأنظمة إلى التراكم المتتالي لطبقات رقيقة جداً من المادة الصلبة للنموذج الدقيق لتطابق المقاطع المنضدة المصممة بواسطة الحاسب (CAD). وقد تمّ تطوير أنظمة تراكم متتالٍ متنوعة لترسيب طبقات البلاستيك. ويتدرّج ذلك من الثقب الصغير باستخدام تقانة الليزر إلى البلمرة الدقيقة للراتنج البلاستيكي اللزج لتشكيل طبقات رقيقة جداً واستخدام الورق اللاصق المقطع بالليزر للحصول على أشكال المقطع المطلوبة. وينتج كلّ نظام جسماً صلباً ثلاثي الأبعاد بدقة عالية، خلال فترة زمنية تمتد لعدة ساعات وذلك وفقاً لحجم المنتج. وعندما يحتاج أي جزء من التراكم للجسم الصلب إلى مسند أثناء التصنيع، يقوم النظام تلقائياً بإنتاج مواد إضافية بشكل ضعيف. ويمكن إزالة هذه المواد بسهولة بعد اكتمال الجسم الكامل، وكذلك في حال المعالجة النهائية لإنتاج الراتنج بالليزر. في كل هذه العمليات التصنيعية تكون الطبقات التراكمية رقيقة للغاية بحيث يمكن الحصول على سطوح دقيقة وناعمة.

ويسمح عكس هذه العملية بتحويل النماذج الأولية للمكونات المعقدة الشكل

أو النماذج المعمارية المصغرة إلى ملفات دقيقة للتصميم ثلاثي الأبعاد بواسطة الحاسوب، وذلك باستخدام آلية محساس دقيق يتحسس جميع أنحاء سطوح الجسم الهدف. مما يسمح للمصمم بتوليد ملفات للحاسوب (CAD) لأشكال ثلاثية الأبعاد على درجة عالية من التعقيد، والتي يكون من المستحيل رسمها عملياً بشكل مباشر بواسطة نظام التصميم بواسطة الحاسوب.

المواد البلاستيكية في البناء

تمّ في (الشكل 12.10) جمع ومقارنة المجال الواسع للمواد البلاستيكية الترموبلاستيكية والترموستية والمطاطية في عائلات. كما تم استعراض استخداماتها النموذجية في البناء في الجدول (2.10).



(سيتم وصف مواد العزل في الفصل 13 والمواد اللاصقة في الفصل 14)

(الشكل 12.10) المواد البلاستيكية المستخدمة في البناء.

(وسيتم وصف البوليستر المسلح بألياف الزجاج في الفصل 11، والرغويات البلاستيكية في الفصل 13، والمواد البلاستيكية المستخدمة بشكل رئيسي كمواد لاصقة في الفصل 14).

(سيتم وصف مواد العزل في الفصل 13 والمواد اللاصقة في الفصل 14).

الجدول 2.10 الاستخدامات النموذجية للمواد البلاستيكية في البناء

نوع المادة البلاستيكية	أمثلة من المواد البلاستيكية المستخدمة في البناء
المواد الترموبلاستيكية	
البولي إيتيلين (البوليتين)	
المنخفض الكثافة	كابحات للبخار، ورقائق لعزل أسقف القرميد المائلة (Sarcking)، أغشية للحماية من الرطوبة (DPCs)، (DPM)
العالي الكثافة	خزانات المياه الباردة، شبكات المياه الباردة
مترابط عرضياً (PEX)	شبكات المياه الباردة والساخنة
البولي بروبيلين (PP)	أعمال الأنابيب ومستلزماتها، وشبكات الصرف وخزانات المياه وخزانات المراحيض وأغشية الحماية من الرطوبة، وألياف لتسليح الخرسانة
بولي بيوتيلين (PB)	شبكات أنابيب المياه الساخنة والباردة ومستلزماتها
بولي فينيل كلوريد (PVC) (PVC-U)	لوازم مياه الأمطار، وشبكات الصرف والمياه الباردة، والخدمات تحت الأرض، وإطارات النوافذ والأبواب، البيوت الزجاجية، ابواب المرآب، ألواح التسقيف الشفافة، خزانات المياه الباردة
(PVC-UE)	إكساء، وألواح إكساء، الأسقف المستعارة، التسكيرات الشاقولية، ألواح النوافذ
(PVC)	بلاط ورقائق تغطية للأرضيات، تسقيف أحادي الطي، وعزل الكابلات، وأنظمة مسالك الكابلات الكهربائية، أغشية عازلة لأسقف القرميد المائلة، هياكل غشائية قابلة للشدّ، تزجيج الأبواب المرنة، وإحكام للأبواب، وطلاء الدرابزين، أفلام إنهاء فينيلية للمنتجات الخشبية.
(CPVC)	أنظمة المياه الساخنة والباردة، إطارات النوافذ والأبواب
(ETFE)	أنظمة أغشية الجدران والأسقف المنتفخة ونصف الشفافة
التفلون (PTFE)	شريط إحكام لأنابيب المياه، منشآت غشائية مشدودة وصلات حركة منخفضة الاحتكاك
بولي متيل ميتاكريلات	حمامات، أحواض (صواني) الأدواش وأحواض المطبخ، والتَزْجِيج، النوافذ السقفية، ووحدات الإضاءة.
بولي كربونات	تزجيج مقاوم للتخريب، وحمامات المنتجعات، أحواض المطبخ
البوليستيرين	ألواح للحمامات والأدواش، بلاط ديكور من البوليستيرين الموسع
البوليمير التشاركي (ABS)	الأنابيب ولوزامها، لوازم مياه الأمطار، وشبكات الصرف، وأحواض الأدواش
النايلون (Nylons)	أقنية ومجاري الكبلات الكهربائية والمفاصل والمكونات قليلة الاحتكاك، وشرائط فرشاة لإحكام الأبواب والنوافذ. بلاطات سجاد والسجاد، وستائر الأدواش
المواد الترموستية	
الفينول فورمالدهيد	صفائح ديكور
الميلامين فورمالدهيد	صفائح للأبواب ولأسطح العمل، ومكونات كهربائية مصبوبة، كراسي المراحيض
اليوريا فورمالدهيد	صفائح ديكور
البوليستر المسلح بالزجاج (GRP)	ألواح للكسوة والتسقيف، لوازم مياه الأمطار تحاكي الحديد الصب، خزانات المياه الباردة، حمامات المنتجعات، أبواب المرائب، ألواح وبلاط ديكور

المطاطيات	
المطاط العادي	الأرضيات، وموانع تسرب وإحكام للأبواب، مساند ضد الاهتزاز
مطاط النيوبرين	موانع التسرب والإحكام للزجاج، وحشوات الإحكام
مطاط (EPDM)	موانع التسرب والإحكام للزجاج، حشوات إحكام، ومنظومات التسقيف أحادية الطبقة.
المطاط البوتيلي (Butyl Rubber)	أغشية تبطين للمعالم المائية، ولمواقع المكبات
المطاط النتريلي (Nitrile Rubber)	بلاط وأغطية للأرضيات

المواد الترموبلاستيكية [اللدائن الحرارية]

البوليتين (البولي إيتيلين)

يعد البوليتين أي البولي إيتيلين (PE) من أرخص المواد البلاستيكية ويتوفر ضمن مجموعة من الأصناف التي تختلف عن بعضها بالكثافة وبالخواص الفيزيائية. فللبولي إيتيلين المنخفض الكثافة (LDPE) درجة حرارة تَلَيُّنْ 90 درجة مئوية بينما يتلين البولي إيتيلين العالي الكثافة (HDPE) عند الدرجة 125 درجة مئوية.

أصناف البولي إيتيلين		الكثافة (m^3/ kg)
(LLDPE)	البولي إيتيلين خطي منخفض الكثافة	900-939
(VLDPE)	البولي إيتيلين المنخفض الكثافة بشكل كبير جداً	880-915
(LDPE)	البولي إيتيلين المنخفض الكثافة	916-925
(MDPE)	البولي إيتيلين المتوسط الكثافة	926-940
(HDPE)	البولي إيتيلين العالي الكثافة	941-970
(HMWPE)	البولي إيتيلين ذو الوزن الجزيئي المرتفع	947-950
(UHMWPE)	البولي إيتيلين ذو الوزن الجزيئي فائق الارتفاع	930-935
(PEX)	البولي إيتيلين متشابك أو مترابط عرضياً	926-970

يقاوم البولي إيتيلين المواد الكيميائية وهو قاسٍ في درجات الحرارة المنخفضة إلا أنه سرعان ما يصبح هشاً عند تعريضه للضوء فوق البنفسجي، إذا لم يتم خلطه بأسود الكربون. ويحترق البولي إيتيلين، ويتمتّع بعامل تمدّد حراري عالٍ نسبياً. ويستخدم البولي إيتيلين المنخفض الكثافة بشكل واسع كأغشية واقية للرطوبة وكطبقات حماية من الرطوبة في جدار الأبنية وكحواجز للبخار. أمّا البولي إيتيلين العالي الكثافة، والذي هو أقسى من البولي إيتيلين المنخفض الكثافة، فيستخدم كأغشية خزانات للأقبية [تغليف الأقبية]. أما البولي إيتيلين ذو الوزن الجزيئي الفائق الارتفاع (والذي ينصهر بالدرجة 130^{o} درجة مئوية) فهو خامل كيميائياً، وله مقاومة

جيّدة للتشققات الناتجة من الإجهادات البيئية الناجمة عن المذيبات والزيوت ومواد التنظيف. أما البولي إيتيلين الخطي المنخفض الكثافة المستخدم في الأنابيب وأغلفة الكبلات فيمكن بثقه بسهولة وله مقاومة جيدة للصدمات.

يستخدم البولي إيتيلين لإنتاج خزانات المياه الباردة، ولكنه مناسب فقط لتطبيقات أنابيب المياه الباردة، بسبب تمدده الحراري العالي. وتتطلب أنابيب الماء الرئيسية المضغوطة، والمصنعة من البولي إيتيلين المتوسط الكثافة (PE80) ومن البولي إيتيلين ذي الوزن الجزيئي فائق الارتفاع (PE100)، استخدام سماكات جدران كبيرة بسبب انخفاض مقاومة البولي إيتيلين للشد.

يستخدم البولي إيتيلين المترابط عرضياً [المتشابك] (PEX)، والمصنّع بتأثير محفِّز بيروكسيدي على البولي إيتيلين النظامي في أنظمة المياه الساخنة المنزلية، وفي أنظمة التدفئة تحت الأرض، لأنه يستطيع تحمل درجات حرارة تشغيل تصل إلى 90 درجة مئوية. ويتم في أنظمة التدفئة تحت الأرض إدماج طبقة من الألومنيوم في أنابيب (PEX) لمنع دخول الأوكسجين الذي يمكن أن يتسبب بتآكل المكونات المصنعة من الفولاذ داخل النظام. ويمكن لأنواع معيّنة من أنابيب الحواجز، والمصنعة من المواد التركيبية، العمل في درجات حرارة تصل إلى 95 درجة مئوية. ويوصف المعيار (BS EN ISO 11542-1: 2001) البولي إيتيلين ذا الوزن الجزيئي الفائق الارتفاع.

البولي بروبيلين

إن البولي بروبيلين الذي يتليّن عند الدرجة 150 درجة مئوية أقسى بقليل من البولي إيتيلين القريب منه كيميائياً. ومثل البولي إيتيلين، فإنّ البولي بروبيلين مقاوم للمواد الكيميائية وحساس للأشعة فوق البنفسجية، ولكنة بعكس البولي إيتيلين يصبح هشّاً في درجات الحرارة التي تقلّ عن الصفر المئوي. ومع ذلك فإن لبوليميراته التشاركية مع الإيتيلين مقاومة محسنة للصدمات في درجات الحرارة المنخفضة.

يستخدم البولي بروبيلين في الأنابيب وشبكات الصرف وخزانات المياه وطبقات الحماية من الرطوبة في الجدران (DPCs)، وفي أغماد وصل لأنابيب الفخار وفي خزانات المراحيض. وتستخدم ألياف البولي بروبيلين في الإسمنت المسلح بالألياف، لزيادة مقاومته للصدمات بالمقارنة مع المادة غير المسلحة. أما الجوانب الدائمة لقوالب الخرسانة، والمصنوعة من البولي بروبيلين، فكثيراً ما

تتكوّن من أنظمة مزدوجة الطبقات تحتوي على عازل من البوليستيرين، وحماية من الرادون عند الضرورة. كما أن بعض أنواع أغشية التنفس المستخدمة تحت البلاط، وفي مباني الإطارات الخشبية يتمّ تصنيعها من منظومات متعددة الطبقات متتضمنةً البولي بروبيلين مع البولي إيتيلين وتسليح من الألياف الزجاجة. إن مثل هذه المنتجات كتيمة للريح والماء ولكنها نفوذه للبخار. كما أن بعض أنواع الجيوتكستايل (Geotextiles) المستخدمة في تثبيت التربة يتمّ تصنيعها كمادة على شكل حصيرة اعتباراً من ألياف البولي بروبيلين المتواصلة، وغير المنسوجة، والمترابطة حرارياً. ويمكن تسليح هذه المادة بألياف البوليستر المنسوجة. ويعدُّ البولي بروبيلين مقاوماً للتعب بشكل كبير ولذلك فهو يستخدم كمفاصل متكاملة في المكونات خفيفة الوزن.

ويبين المعيار (BS EN ISO 1873-1: 1995) نظام التعريف بالأحرف لأنواع البولي بروبيلين.

البولي بيوتيلين

يستخدم البولي بيوتيلين (البولي بيوتين ـ 1 ب ب (Polybutene-1 PB)) في أعمال الأنابيب كبديل للنحاس. ويتميّز بالمرونة، ويقاوم سطحه الداخلي العالي النعومة تراكم القشور والرواسب. ويمكنه تحمل درجات حرارة تشغيل مستمر تصل إلى 82 درجة مئوية. وبما أن البولي بيوتيلين نفوذ بعض الشيء للأوكسجين فإن بعض الشركات المصنِّعة للأنابيب تقوم بإدخال البوليمير التشاركي لكحول إيتيل الفينيل (EVOH) كحاجز بين الطبقات.

ويبين المعيار (BS EN ISO 8986-1: 1999) نظام التوصيف للبولي بيوتيلين.

بولي الفينيل كلوريد

يعتبر بولي فينيل كلوريد من أكثر المواد البلاستيكية استخداما في صناعة البناء. ويتوفر بشكليه غير الملدن (PVC-U) والملدن (PVC). وكلا الشكلين قابل للاحتراق، ويعطي دخاناً ضاراً من كلوريد الهيدروجين. ومع ذلك يحترق الشكل غير الملدن منه بصعوبة. ويبدأ الـ (PVC) بالتليّن في الدرجة 75 درجة مئوية، ولذلك فهو لا يستخدم في أنظمة المياه الساخنة، بالرغم من أنه من الممكن استخدام الـ (PVC) المكلور (CPVC) بدرجات حرارة أعلى. الـ بي في سي (PVC) قابل للذوبان في بعض المذيبات العضوية، والتي يمكن لذلك استخدامها في لحام الوصلات، ولكن الـ (PVC) لا يتأثر بالأحماض والقلويات.

يستخدم الـ (PVC) الملدن بشكل واسع في صناعة أغطية الأرضيات، إما

على شكل وحدات بلاط، أو غطاء متصل بشكل مستمر. كما أنه من أكثر المواد استخداماً في أنظمة التسقيف الأحادية الطبقة، ويعود ذلك إلى ديمومته وتنوع ألوانه وسهولة تطبيقه. كما يقدم بديلاً لرقائق البتْيومين [القار] كغشاء لعزل الأسقف المائلة. ويعد الـ (PVC) الملدن معياري لعزل الكابلات الكهربائية. ويُصنع العديد من المكونات الصغيرة للأبنية بصب الـ (PVC) في القوالب بالحقن.

بولي فينيل كلوريد غير الملدّن

يستخدم الـ بولي فينيل كلوريد غير الملدّن (PVC-U) بشكل واسع في لوازم مياه الأمطار، التي تكون عادة بالألوان الأبيض، والرمادي، والأسود، أو البني وبالمثل بالنسبة للملوثات وأنابيب الصرف الصحي. كما أنها تستخدم أيضاً بألوان مرمّزة لمنظومات المياه الجوفية والغاز والشبكات الكهربائية والاتصالات. ويستخدم الـ (PVC-U) على نحو واسع في تصنيع إطارات النوافذ، وإطارات الأبواب، والمستنبتات الزجاجية، بطريقة البثق، والتي تتضمن عادة وحدات محكمة الإغلاق من الزجاج المزدوج. وعندما لا يمكن بلوغ الجساءة الكافية باستخدام الـ (PVC-U) لوحده يتم إدخال الفولاذ ضمن المقاطع المبثوقة لإعطائها متانة وحماية إضافية ضد الدخول عنوة. كما يستخدم الـ (PVC-U) في صناعة ألواح الأغطية المُشكلة شبه الشفافة والشفافة والملونة للبنى المنزلية كمظلات السيارات (Carports) والمستنبتات الزجاجية، عندما تقتضي الحاجة منتجات اقتصادية، مع أن مثل هذه المنتجات عرضة في النهاية لزوال اللون والتشقق نتيجة التأثير المباشر للضوء فوق البنفسجي. وتبين الأبحاث الحديثة أنه من الممكن إعادة تدوير الـ (PVC-U) لعدة مرات من دون فقدان الأداء. ويتم عموماً طحن المادة المطلوب إعادة تدويرها وتحويلها إلى حبيبات يعاد استخدامها في البثق التشاركي (Co-Extrusion) للمقاطع المُشكلة، أو في إنتاج سدات الفجوات (Cavity Closers) من الـ (PVC-U) المعاد تدويره 100%.

بولي فينيل كلوريد المبثوق الخلوي غير الملدن

يستخدم بولي فينيل كلوريد المبثوق الخلوي غير الملدن (PVC-UE) في الإكساء، والتسكيرات الشاقولية والأسقف المستعارة، وألواح النوافذ وألواح الزوارق والمكونات الأخرى ذات المقاطع المنتظمة. ويتمّ تصنيع هذه المنتجات بواسطة البثق المشترك لمادة الـ (PVC-U) ذات المقاومة العالية للصدمات كطبقة سطحية فوق نواة من رغوة الـ (PVC) ذات الخلايا المغلقة. وتستخدم عادة بكربونات الصوديوم كعامل رغوي. وتنشأ نسبة الصلابة المرتفعة إلى الوزن من تراكيب القشرة الخارجية الكثيفة

والنواة الخلوية. ويتم تأمين استقرار كلٍّ من النواة الخلوية والقشرة الخارجية بواسطة مضافات معدنية لمنع تدهور المادة وتغير لونها. كما يجب تجنّب التماس مع القار. وعند تعرّض المادة للنار فإنها تنصهر وتتفحم ولكن مع انتشار سطحي محدود للهب. وقد تم وصف المادة في المعيار (BS 7619: 1993).

البنى الغشائية القابلة للشد

يستخدم البوليستر الملبّس بالـ (PVC) كمادة معيارية للبنى الغشائية القابلة للشدّ وللمظلات. وتتعلق ديمومته مباشرة بدرجة شفافيته، فعندما تكون النفوذية للضوء بمقدار 15% فإن مدة 15 سنة تعد توقعاً معقولاً للديمومة. وعند مستويات أدنى من الشفافية ينخفض كثيراً عمر الخدمة المتوقع. ومع ذلك فإن طلاء السطح العلوي للقماش بورنيش بوليمير فلوري يحسن الديمومة. ومع أن النسيج الأبيض هو المعيار فإنه يتوفر طيف من الأغشية الملونة والمنمطة وفقا لرغبة الزبون. وتعد أغشية البوليستر الملبسة بالـ (PVC) بديلاً أرخص تكلفة من القماش الملبس بالتفلون، لكنها قابلة للاحتراق. كما أن البوليستر الملبس بالـ (PVC) أكثر مرونة من الألياف الزجاجية الملبسة بالتفلون، ولهذا يعد مادة مفضلة للبنى المؤقتة التي يمكن أن تُطوى بغرض نقلها وتخزينها. أمّا العزل الحراري الذي توفره الأسطح الغشائية القابلة للشد والمؤلفة من طبقة واحدة فهو ضئيل جداً.

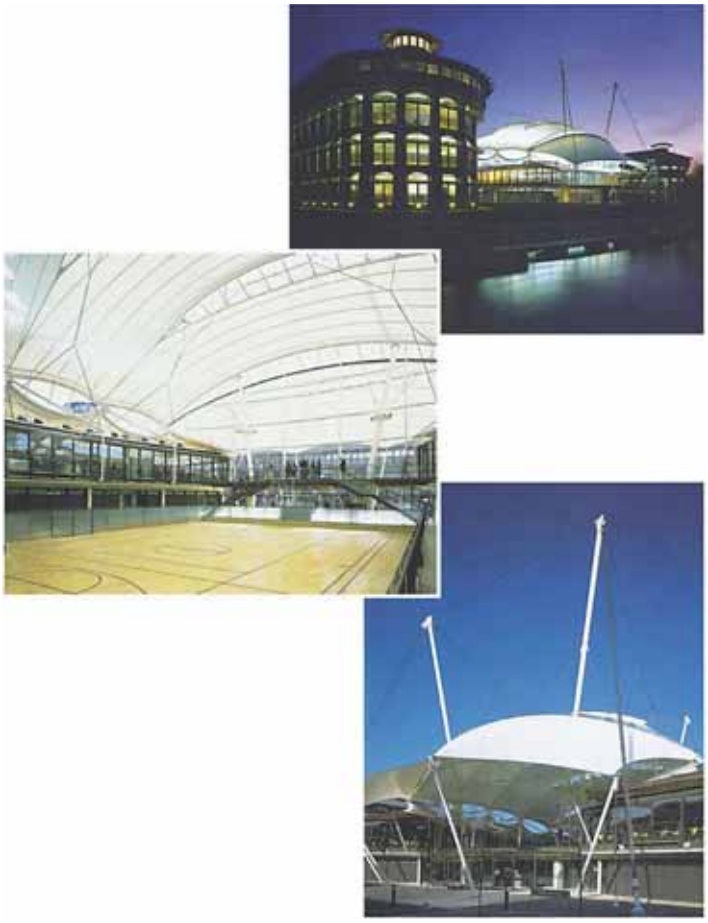
ويتم تصنيع بنى غشائية قابلة للشدّ من مجموعة من الألواح المفصلة والمدروزة أو الملحومة مع بعضها. ويتمّ شدها عادة بواسطة أسلاك أو قضبان تمرّ عبر جيوب عند الحواف أو بتثبيتها مباشرة على العناصر البنيوية. وينبغي شدها بدقة لتوليد الشكل الصحيح والمقاومة اللازمة لحمولات الريح والثلج. كما يمنح استخدام الانحناء المزدوج العناصر اللوحية الجساءة البنيوية للهيكل الغشائي كله. ويمكن عادة إصلاح الضرر الناجم عن حادث طارئ أو تخريب متعمد في الموقع.

بولي رباعي فلور الإيتيلين (التفلون)

تستخدم الأقمشة المنسوجة من الألياف الزجاجية المغلفة بالبولي رباعي فلور الإيتيلين (PTFE) في البنى الغشائية المشدودة الدائمة. عند التعرّض للنار يطلق التفلون (PTFE) نواتج احتراق سامة، ولكن فقط عند درجات الحرارة التي فوقها يكون أي قماش قد فشل ونفس الحرارة والدخان. إنّ الأغشية المشدودة المصنوعة من الألياف الزجاجة المغلفة بالتفلون ومن الصنف 0 في التقييم ضدّ الحريق أكثر تكلفة من البوليستر المغلف بالـ (PVC) ذي التصنيف 1، إلا أنه أكثر ديمومة

وعمره المتوقّع يتجاوز 20 ـ 25 سنة. ويتمتع سطح الـ (PTFE) المنخفض الاحتكاك بخواص جيّدة للتنظيف الذاتي.

لقد تم تسقيف مبنى خدمات الإيرادات الوطنية (Inland Revenue Amenity Building) في نوتنغهام (الشكل 13.10) والقبة الألفية (Millennium Dome) في غرينتش بأغشية مشدودة مصنعة من الألياف الزجاجية المغلفة بالتفلون. تعطي الأقمشة نصف الشفافة إضاءة جيدة للحيز الداخلي خلال النهار، وسطوحاً متوهجة أخاذة في الليل. ففي مبنى نوتنغهام تم تعليق السقف الغشائي من أربعة أعمدة فولاذية وربط بالهيكل الثابت تحته بواسطة عناصر قابلة للنفخ تمتص أي حركة.



(الشكل 13.10) غشاء الشد ـ مبنى خدمات الإيرادات الوطنية في نوتنغهام المعماريون: (Hopkins Architects). الصورة بإذن: (MartineHamilton Knight).

أمّا فندق برج العرب في دبي الذي يبلغ ارتفاعه 321 m والمقيّم سبع نجوم (الشكل 14.10) فقد تم إكساء إحدى واجهاته بغشاء مشدود من الألياف الزجاجية المغلفة بالـتفلون. وهو المبنى الأول الذي يستخدم هذه المادة باتجاه شاقولي.

(الشكل 14.10) غشاء مشدود من الألياف الزجاجية المغلفة بالتفلون. فندق برج العرب في دبي المعماريون (WS Atkins) تصوير آرثر ليونز.

ويتميز شريط التفلون بمعامل احتكاك منخفض جداً ودرجة انصهار عالية. ولذا فهو مثالي للاستخدام كشريط إحكام للوصلات المحلزنة في أنابيب المياه والغاز. كما أنه يستخدم لتشكيل الوصلات المنزلقة في البنى الكبيرة.

ويبيّن المعيار (BS EN ISO 12086-1: 2006) نظام التوصيف للبوليميرات الفلورية.

البوليمير التشاركي إيتيلين ـ رباعي فلور الإيتيلين

يستخدم البوليمير التشاركي إيتيلين ـ رباعي فلور الإيتيلين (ETFE) كرقاقة نصف شفافة للوسائد الهوائية المضغوطة بضغط منخفض ومغلفة للمباني ذات الإطارات المعدنية. ويمتاز البوليمير التشاركي الفلوري على الزجاج، حيث يقدّم عزل حراري أكبر مع شفافية أعلى للضوء فوق البنفسجي، وذلك عند استخدامه

لتشكيل منظومات وسائد هوائية بطبقتين إلى خمس طبقات. والـ ETFE قوي ومقاوم للتحطم، وهو بنصف تكلفة زجاج مكافئ ويعادل فقط واحد بالمائة منه وزناً، ولذا فهو يقدم وفراً اقتصادياً كبيراً في النظم الهيكلية الحاملة. ويمكن لـ (ETFE)، والذي مدة حياته المتوقعة 25 عاماً، تحمّل أحمال الصيانة، ويمكن إصلاحه بسهولة وهو قابل لإعادة التدوير. وقد تمّ استخدامه بفعالية عالية كمغلّف للإطارات الفراغية المصنعة من مقاطع فولاذية أنبوبية مغلفنة للمحميات البيئية (Biomes) (قباب لإيواء نباتات من جميع أنحاء العالم) في مركز عدن، كورنوول (Cornwall) (الشكل 15.10). ويشكل الهيكل البنيوي من طبقة خارجية جيوديزية متعدّدة السطوح، مع مركبات لمجموعة من الأشكال السداسية والخماسية والمثلثية كطبقة داخلية للإطار الفراغي ثلاثي الأبعاد. ويتطلّب الأمر فقط نظام ضخّ صغير يتمّ تغذيته بالكهرباء من خلايا ضوئية للمحافظة على ملء الوسائد المصنعة من الـ (ETFE) بالهواء. وفي مركز الفضاء الوطني في لايستر، الذي تم تصميمه أيضاً من قبل مهندسي عمارة جريمشو (Grimshaw Architects)، يشتمل برج مكسو بالوسائد الهوائية المصنعة من الـ (ETF) على المعارض الرئيسية لصواريخ الفضاء (الشكل 16.10).

وإذا كان هنالك حاجة إلى تصريف آلي للدخان في ردهة من الـ (ETFE) فإنه من الممكن دمج أسلاك كهربائية في إطارات الوسائد، التي تحرّر الوسائد ما عدا نقطة واحدة في حال اندلاع الحريق. وعلية فقد تمّ تحويل ردهة مغلقة إلى ينبوع ضوء مفتوح بشكل كامل.

ويمكن ضبط سويات الضوء النافذ عبر وسائد الـ (ETFE) باستمرار من طريق استخدام طبقات داخلية مطبوعة جزئياً ضمن الوسائد، والتي يمكن تقريبها أو إبعادها من بعضها من طريق تغيير ضغط الهواء الذي يتمّ ضخه، وبذلك يتمّ تعديل تأثير التظليل. كما يمكن توليد نقوش مثيرة للاهتمام باستخدام وسائد ملونة، بينما تعطي الرقائق المطلية بالألومنيوم تأثيراً ذا انعكاس عالٍ مع اختراق مخفّض لضوء الشمس.

بولي ميتيل ميتا أكريلات

يتوفر الأكريليك أو بولي ميتيل الميتا أكريلات (Polymethyl Methacrylate) (PMMA) [اسمه الشائع بلكسيغلاس Plexiglas] بتنوع كبير من الألواح النصف شفافة أو الشفافة الرائقة أو الملونة اللمّاعة. وهو يلين عند الدرجة 90 مئوية،

ويحترق بسرعة مع تساقط قطرات من المادّة المحترقة. وعند تشكيل الأكريليك يمكن أن يحدث فيه تشقّقات إجهادية إذا لم يتم تلدينه بشكل كامل، إلا أن هذه المادة تقاوم عموماً التدهور الناجم عن الضوء فوق البنفسجي. وكثيراً ما يستخدم الأكريليك كإشارات تزينيه، وللنوافذ السقفية وملحقات أجهزة الإنارة. كما يتمّ تصنيع صواني الحمامات والأدواش من الأكريليك كبديل أخف للحديد الصبّ أو السيراميك. ومع أنه غير مقاوم للحك فإن من الممكن التخلّص من الخدوش بصقلها بمادة صقل معدنية خاصة. كما يمكن إعادة تدوير بولي ميتيل ميتا أكريلات من مصادر صناعية وتجارية بشكل كامل، بعد تنظيفه وفصله عن مواد النفايات الأخرى. ويبين المعيار الإنجليزي (BS ISO 8257-1: 1987) نظام التوصيف لبولي ميتيل ميتا أكريلات.

(الشكل 15.10) مشروع عدن، كورن وول. المعماريون غريمشو آرشيتكش تصوير آرثر ليونز.

البولي كربونات

تستخدم البولي كربونات (Polycarbonate) (PCs) كتزجيج مقاوم للتخريب، لأنها ذات مقاومة عالية للصدمات، وشفافة جيدة للضوء، وقابلية اشتعالها منخفضة. ويستخدم التزجيج بالبولي كربونات بشكل واسع في النوافذ السقفية، والقبب السقفية، وملاجئ التدخين، ومظلات السيارات، والمماشي المظلّلة وحواجز الطرقات. ويقدّم بلوك البولي كربونات بديلاً خفيف الوزن للبلوك الزجاجي المصبوب التقليدي. كما تؤمّن الأنظمة الخلوية المبثوقة الخاصة، والمؤلّفة من جدران مزدوجة أو ثلاثية أو خماسية أو سباعية، خواص مشتركة من العزل الحراري ومقاومة التخريب. ويمنع سطح الحماية الخارجي التدهور بتأثير الأشعة فوق البنفسجية لمدة عشرة سنوات، ويمكن حني المقاطع في الموقع في حدود مواصفات المُصَنِّعْ.

ويبيّن المعيار (BS EN ISO 7391-1: 2006) نظام توصيف البولي كربونات.

(الشكل 16.10) (ETFE) مركز الفضاء الوطني في لايستر المعماريون غريمشو تصوير آرثر ليونز.

الأكريلونيتريل بوتاداين ستيرين

بلاستيك الأكريلونيتريل بوتاداين ستيرين (Acrylonitrile Butadiene Styrene) (ABS) عبارة عن بوليميرات تشاركية ثلاثية (Terpolymers) معقّدة، تُصنع بتركيب

زوج من البوليميرات التشاركية: البوليمير التشاركي ستيرين ـ أكريلونيتريل والبوليمير التشاركي بوتادايين ـ ستيرين.

بلاستيك الـ (آ. ب. س) (ABS) غالي الثمن نسبياً، ولكنه متين ويحافظ على مقاومته في درجات الحرارة المنخفضة. ويستخدم لتصنيع القطع المقولبة، ولوازم شبكات الصرف ومياه الأمطار. ويتطلّب لحامه بمادة مذيبة استخدام نوع خاص من المادة الاصقة المذيبة للـ (ABS).

النايلون

يستخدم النايلون، وهو عادة النايلون 66 أو النايلون 6، لتصنيع المكونات الصغيرة عندما يكون الاحتكاك المنخفض مطلوباً. والنايلون متين وقوي ولكنه يغدو هشّاً ويصبح مسحوقاً عند تعرض طويل لأشعة الشمس. كما أن البلاط المصنع من النايلون 66 معمّر وصعب الاهتراء.

الكيفلر

يتمّ إنتاج ألياف الكيفلر (بولي بارا بنزاميد (Polyparabenzamide)) ببثق محلول البوليمير البارد في أسطوانة عند الدرجة 200^0 مئوية مما يؤدي إلى تبخّر المذيب. ويتمّ مطّ الألياف الناتجة بعملية سحب تؤدي إلى اصطفاف جزيئات البوليمير على طول الألياف، فتنتج مادةً ذات معامل امتطاط عالٍ جداً، تستخدم في صنع الحبال والبلاستيك المركب.

المواد البلاستيكية الترموستية [المتصلدة حرارياً]

فينول الفورمالدهيد

يعد الفينول فورمالدهيد (Phenol Formaldehyde) (PF) [اسمه الشائع باكليت (Bakelite)] أصل الراتنجيات الترموستية وما زال أرخصها. والاستخدامات الرئيسية الحالية له هي في إنتاج الصفائح من طريق الضغط الساخن للطبقات المشربة بالراتنج من الورق، أو من القماش المشرّب، أو من ألياف الزجاج. وللراتنج المعالج لون بني، ولكن يتمّ تلبيس الصفائح المقاومة للحرارة المستخدمة في سطوح العمل وألواح الجدران بغشاء تزييني من الورق المطبوع وتُطلى بعدها بإنهاء من الميلامين فورمالدهيد الشفاف. ويقاوم الفينول فورمالدهيد الاشتعال، ولكنه يصدر رائحة الفينول عند احتراقه.

اليوريا فورمالدهيد

تشابه اليوريا فورمالدهيد (Urea formaldehyde) (UF) مادة الفينول فورمالدهيد، سوى أنها بسبب شفافيتها يمكن إنتاجها بمجال من الألوان بما فيها الأبيض. وتستخدم هذه المادة في إنتاج المكونات الكهربائية والمكونات الأخرى المنتجة بالقوالب، كمقاعد المراحيض. وتقاوم اليوريا فورمالدهيد الاشتعال، ولكنها تصدر رائحة السمك عند احتراقها. ولم تعد رغوة اليوريا فورمالدهيد تستخدم في عزل الجدار ذي الفجوة.

الميلامين فورمالدهيد

يتوفر الميلامين فورمالدهيد (Melamine formaldehyde) (MF) شفافاً وبنطاق واسع من الألوان. ويصبح بعد معالجته حرارياً صعب الاهتراء ومتيناً ومقاوماً للحرارة، ولذا فهو يستخدم كطبقة سطحية لطبقات الفينول فورمالدهيد البنية والأرخص ثمناً وذلك في إنتاج سطوح العمل وألواح الجدران. ويقاوم الميلامين فورمالدهيد الاشتعال ولكنه يصدر رائحة السمك عند احتراقه.

المواد المطاطية

المطاط الطبيعي

يتم جني المطاط الطبيعي من بعض أصناف شجر الهيفا البرازيلية (Hevea brasiliensis)، في أفريقيا وجنوب أميركا وماليزيا. ويغلب على تركيب اللاتكس الأبيض (latex) سيس بولي الايزوبرين (Cis-polyisoprene) وهو عبارة عن جزيئات ضخمة تحمل بعض الروابط المضاعفة في السلسلة الكربونية للجزيئة. وهذه الروابط المضاعفة هي التي تسمح له بالتشابك مع الكبريت عند تسخين المطّاط الطبيعي مع الضغط أثناء عملية الفلكنة.

يتمّ تعزيز المطاط الطبيعي عادة بالكربون ويعالج بمضادات الأكسدة لمنع تفسخه. ويستخدم في فرش الأرضيات وفي المساند المضادة للاهتزاز في الأبنية والهياكل الكبيرة. ويمتاز المطاط الطبيعي بأنه مصدر متجدّد وبأن أشجار المطاط تقوم بامتصاص ثاني أوكسيد الكربون خلال نموها. كما يمكن إعادة تدوير المطاط الطبيعي غير الملوث عدة مرات من دون أن يتفسّخ بشدة.

النيوبرين

على عكس المطاط الطبيعي، يقاوم النيوبرين (البولي كلورو برين (Polychloroprene) الهجوم الكيميائي، ولذا فهو يستخدم كمادة إحكام للزجاج، وفي أنظمة حشوات الإحكام (Gasket Systems)، ويتوفر فقط باللون الأسود.

الـ إي بي د أم

على عكس النيوبرين، يمكن الحصول على إي بي د أم (مونومير الإيتيلين بروبيلين دايين (Ethylene Propylene Diene Monomer) (EPDM)) بأي لون. كما يتميّز بقابلية المطّ الكبيرة، وبمقاومته الجيّدة للعوامل الجوية كالضوء فوق البنفسجي والأوزون. ولذا فهو يتجاوز النيوبرين كمادة رئيسية للاستخدام كحشوات إحكام وشرائح للطقس. كما يستخدم الـ (EPDM) بشكل واسع في أنظمة التسقيف ذات الطبقة الواحدة .

المطاط البيوتيلي

المطاط البيوتيلي (Butyl Rubber) عبارة عن بوليمير تشاركي بين الإيزوبيوتيلين والإيزوبرين، وتتميّز هذه المادة بمقاومتها الجيّدة للعوامل الكيميائية والجوية. وتستخدم كمواد تبطين لمكبات النفايات، كما تستخدم في المعالم المائية الديكورية.

المطاط النتريلي

يتشكّل المطاط النتريلي (Nitrile Rubber) من طريق البلمرة التشاركية بين الأكريلونيتريل والبوتادايين. وهو مقاوم للماء وللزيوت ولذا فإنه غالباً ما يستخدم في الوصلات الحركة البنيوية والتي يمكن أن تتعرّض لزيت سطحي.

المواد البلاستيكية المركبة

للمواد البلاستيكية المركبة (Composite Plastics)، كالبوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (الفصل 11) خواص فيزيائية تختلف كثيراً عن تلك التي تتميّز بها مكوناتها كلّ على حدة. وقد وصل تنوع متزايد في أصناف المواد البلاستيكية المركبة إلى صناعة البناء، محفز بالطلب على تنوع المنتجات وبإعادة التدوير في بعض الحالات.

المواد المركبة من الخشب والبلاستيك

تشتمل المواد المركبة من الخشب والبلاستيك (WPC) على طيف من المواد التي تتضمّن البوليميرات كالبولي إيتيلين والبولي بروبيلين وبولي فينيل كلوريد المخلوطة مع الألياف الطبيعية ونشارة الخشب. ويمكن أن تكون المواد البلاستيكية المستخدمة بكر أو معادة التدوير. بينما تكون الألياف الطبيعية عادة عبارة عن كسارات الخشب، ولكن يمكن أيضاً استخدام ألياف القنب، أو ألياف السيزال (Sisal) [ليف أبيض متين]، أو الخيش [قنب كلكتا أوالجوت (Jute)] أو الأرز. لقد تمّ تعريف هذه المواد في المنشورات (DD CEN/TS 15534: 2007) وBRE). Digest 480: 2004)

يتم في الإنتاج المعياري للمواد المركبة من الخشب والبلاستيك تجفيف نشارة الخشب إلى نسبة رطوبة 2% أو 3% ثم طحنها بالدق ليصبح طول ألياف الخشب أقل من 5 mm. ويمكن إضافة طحين الخشب كمادة مالئة لتعطي حجماً للمنتج. ويتمّ مزج ألياف الخشب المحضرة وأية مادة مالئة مع زيوت التزليق والمثبتات ضدّ الأشعة فوق البنفسجية والملونات في البوليمير المنصهر ضمن عملية إنتاجية تتمّ على دفعات أو بشكل مستمر. ويتم عندئذ تشكيل المكونات بواسطة الحقن من أجل المواد المعمارية المصبوبة بالقوالب. يستخدم البثق أو السحب (Pultrusion)، وتركيب من البثق والسحب، لإنتاج المقاطع المتواصلة كمقاطع النوافذ ومتن المراكب.

يمكن تصنيع المواد المركبة من الخشب والبلاستيك لمنتجات الخارج مثل ظهر المراكب، ومواد بناء الأسوار، وأثاث الحدائق باستخدام نسبة كبيرة من المواد البلاستيكية المعاد تدويرها ونفايات الخشب، مما يساهم بتقليص كمية هذه المواد في مجرى النفايات.

تكون المواد المركبة من الخشب والبلاستيك عموماً أقل صلابة من الخشب ولها مقاومة أقل، إلا أنها عادة مقاومة للتعفّن ولهجوم الحشرات. أمّا مقاومتها للحريق فهي مماثلة لمقاومة الخشب ذي الكثافة نفسها، إلا أنه تمّ تحسينها بإدخال مثبطات اللهب والدخان في تركيبها أثناء عملية التصنيع. ويتم تصنيع هذه المواد عادة باللون الرمادي أو البني للتقليل من آثار بهوت اللون. أمّا الحركة الحرارية لهذه المواد فهي كبيرة ولذا من الضروري استخدام فواصل تمدد مناسبة.

الكوريان

الكوريان (Corian) عبارة عن مادة مركبة من مواد معدنية طبيعية وأصبغة وبوليمير الأكريليك، التي تجمع معًا لإنتاج مادة قاسية وذات ديمومة عالية، وتتوفر بمجموعة واسعة من الألوان. ويتألّف تركيبها النموذجي من 33% من بوليمير الأكريليك، و67% من ثلاثي هيدرات الألومنيوم. وكثيراً ما يستخدم هذا المنتج الخاص في المطابخ، وفي سطوح طاولات العمل الأخرى لأنه يمكن صبّه بأشكال معقّدة تجمع بشكل غير واضح في وحدات منفردة بأساس من البلاستيك المركب. وتتراوح سماكة الكوريان ما بين 6 إلى 19 mm، وتصل أبعاد الألواح إلى 930x3650 mm.

المواد البلاستيكة الناقلة للضوء

لقد تمّ تطوير مجموعة من المواد الحساسة للألوان والضوء، وذلك من طريق طمر مصفوفة من القنوات البلاستيكية الناقلة للضوء في طبقة أساس تحتية من الخرسانة أو بوليمير الأكريليك. وتقوم كل قناة من القنوات الناقلة للضوء بعمل يشبه عمل الألياف الضوئية بحيث تجمّع الضوء أو الظل من أحد الطرفين وتنقله إلى الطرف الآخر، مما يولّد وميضاً وتعتيماً على التوالي. وهذا يولد أثر تموج ضوئي عندما يمر شيء ما أو ضوء على السطح. ووفقاً للطبقة التحتية يمكن استخدام هذه المادة كبلاط للأرضيات، وكجدران، وكقواطع، وكواجهات للمباني، أو أسطح للطاولات. في كل حالة تتمّ رؤية السطح متجاوباً مع حركة الجسم أو مع تغيرات شدة الضوء واللون، ويمكن أن تكون الوحدات بلاطات مفردة أو ألواح كبيرة وتتوفر بمجوعة من الألوان المعيارية أو حسب الطلب.

الأفلام البلاستيكية المتغيرة اللون

تتسبّب الأفلام البلاستيكية مزدوجة اللون (Dichroic) بتغيير اللون المراقب ودرجة التعتيم تبعاً لمكان المراقبة وكذلك لاتجاه وشدة مصدر ضوء. فعلى سبيل المثال تبدل صفيحة مزدوجة اللون لونها بين الأخضر والذهبي والبرتقالي وأخرى تبدله بين الأرجواني والأزرق. ويمكن استخدام هذه الأفلام لجعل الغلاف الخارجي أو البيئة الداخلية للمباني تبدو نشطة.

ويمكن للأصبغة المتبدّلة اللون في ألواح الإكساء من البلاستيك المسلّح بالألياف أن تبدل لونها مع درجة الحرارة، مما يسمح للبناء بالاستجابة بصرياً

لدرجة الحرارة في الخارج. ويتم إدخال الصباغ القابل لتبديل لونه حرارياً (Thermochromic Pigment) في ألياف النواة وفي المعطف الهلامي لاكتساب أكبر قدر من التأثير.

إعادة تدوير المواد البلاستيكية

أدّى تزايد استخدام المواد البلاستيكية في حياتنا اليومية إلى قلق بشأن التراكم الكبير للنفايات، والذي يمكن حلّه فقط بإعادة تدوير واسعة النطاق. ويتحلّل الكثير من المواد البلاستيكية ببطء في مطامر النفايات لأن معظمها يعتمد على منتجات الصناعات البتروكيميائية، فينبغي عدم هدر هذا المصدر المحدود.

وقد تناول المعيار (BS EN 15343: 2007) قضية إعادة تدوير المواد البلاستيكية. كما تصف النشرة (DDCEN/TS 14541: 2007) استخدام المواد المستعملة مثل (PVC-U) والبولي بروبيلين والبولي إيتيلين في صناعة الأنابيب. ويقارب استخدام المواد البلاستيكية في البلدان الأوروبية نحو الـ 44 مليون طن سنوياً، كما أن أكثر من نصف ما يستهلك من الـ (PVC) يعود للمنتجات الخاصة بصناعة البناء. وتعود معظم مواد البناء هذه إلى المقاطع المُشكلة بشكل رئيسي لصناعة النوافذ. وحالياً في أوروبا يُعاد تدوير أكثر من 50% من نفايات مقاطع النوافذ (56,000 طن في العام) وطحنها إلى حبيبات لإعادة بثقها. ويمكن إعادة تدوير معظم الـ (PVC-U) أكثر من عشر مرات من دون خسارة مهمة في خواصه الفيزيائية، مما يعطيه عمراً طويلاً محتملاً.

كما يمكن إعادة تدوير البوليستيرين الموسّع من طريق الاستخلاص المذيب في مادة لها مظهر الخشب والكثير من خصائصه. ويمكن إعادة تدوير قوارير الـ (PVC) إلى أنابيب بلاستيكية ببثقها بشكل مشترك مع (PVC) جديد يتوضع كقشرة خارجية وداخلية فوق نواة من الـ (PVC) المعاد تدويره.

ومع ذلك فإن العديد من المواد البلاستيكية المعاد تدويرها يشكّل مقاومة مخفضة للتحلّل نتيجة فقدان المثبتات أثناء إعادة التصنيع، ولذا فإن هذه المنتجات تخفق ببلوغ المعايير التقنية والتي تعود عادة للجودة التي تتحقّق بالمواد الجديدة بدلاً من المواءمة مع الهدف.

ويمكن التعرّف على معظم النفايات البلاستيكية المنزلية من خلال رموز إعادة

التدوير (الشكل 17.10) والتي تنقسم إلى سبعة أصناف: البولي إيتيلين ترفتالات (PET-1)، البولي إيتيلين العالي الكثافة (HDPE-2)، بولي فينيل كلوريد (PVC-3)، بولي إيتيلين المنخفض الكثافة (LDPE-4)، البولي بروبيلين (PP-5)، البوليستيرين (PS-6) وباقي المواد البلاستيكية (7). وبعمليات فصل مناسبة يمكن تحقيق مستويات محسّنة من إعادة التدوير بدلاً من الرمي في المطامر. ويجري حالياً إعادة تدوير بعض نفايات القوارير البلاستيكية المنزلية في مواد عزل للطوابق العلوية.

خشب البلاستيك المعاد تدويره

تُقطّع النفايات المنزلية البلاستيكية المخلوطة إلى رقائق صغيرة، ويتمّ صهرها على الدرجة 200 مئوية، فتتحوّل إلى سائل لزج رمادي يتمّ صبه في قوالب لإنتاج عناصر بنيوية. وقد تمّ استخدام المنتج (بولي وود (Polywood)) في إقامة جسر خفيف بطول 7,5 m وبطاقة تحمّل تساوي 30 طناً في أميركا. وتم استخدام البلاستيك المعاد تدويره في بناء عوارض على شكل I (I-beams) ومقاطع بنيوية أخرى. ويتميّز خشب البلاستيك المعاد تدويره على الخشب العادي بأنه لا يحتاج إلى إصلاح أو معالجة بمواد كيميائية ضارّة، وأن استخداماته تُخفض الطلب على مواقع مطامر النفايات. ويتميّز البولي وود بأنّه خفيف بالرغم من أنه أكثر كثافة من الخشب العادي؛ إلا أنه يعاني من الزاحف. وله حركة حرارية أكبر وصلابة أقل (معامل مرونة) من الخشب العادي. وقبل استخدامه في التشييد مؤخراً، ستخدم البولي وود في المنصّات، والتسييج، وفي مفروشات الحدائق، وفي التطبيقات

البحريّة المختلفة. وقد تمّ بثق أحد المنتجات في المملكة المتحدة يحتوي على 90% من المواد الترموبلاستيكية المعاد تدويرها في مقاطع بلون الخشب للإكساءات، والمنصّات، والنوافذ، والأبواب، والمستنبتات، والأكواخ، والمنتجات المشابهة التي عادةً تستخدم الخشب.

المواد البلاستيكية الممزوجة المعاد تدويرها

عند مزج النفايات البلاستيكية التي تمّ طحنها مع الراتنج وبعض المتفاعلات (Reagents) ما يسبّب تفاعلاً ناشراً للحرارة، ينتج سائلاً بلاستيكياً يمكن أن يُسكب ويصب في القوالب. وسرعان ما تتصلّب المادة وتنضج بعد عدة ساعات فتتحوّل إلى منتج قوي وكتيم للمياه وذي ديمومة، ويمكن أن يكون بديلاً عن الخشب والخرسانة. ويعتمد هذا المنتج بشكل كبير على البلاستيك المنزلي المعاد تدويره، والذي كان يُرسل سابقاً إلى مطامر النفايات.

المراجع

FURTHER READING

Armijos, S. 2008: *Fabric architecture: Creative resources for shade, signage and shelter*. London: W. W. Norton.

ASFP. 2008: *Guide to class 0 and class 1 as defined in the UK Building Regulations*. Technical Guidance Document 5. Aldershot: Association for Specialist Fire Protection.

Bechthold, M. 2008: *Innovative surface structures technologies and applications*. Abingdon: Taylor & Francis.

Clough, R. and Martyn, R. 1995: *Environmental impact of building and construction materials: plastics and elastomers*. London: Construction Industry Research and Information Association.

Cousins, K. 2002: *Polymers in building and construction*. Shrewsbury: RAPRA Technology Ltd.

Halliwell, S. 2002: *Polymers in building and construction*. Shrewsbury: RAPRA Technology Ltd.

HVCA. 2006: *Guide to the use of plastic pipework*. *TR/11*. London: Heating and Ventilating Contractors' Association.

Jeska, S. 2007: *Transparent plastics: Design and technology*. Basel: Birkhäuser.

Kaltenbach, F. 2004: *Translucent materials: glass, plastics, metals*. Basel: Birkhäuser.

Koch, K.-M. (ed.) 2004: *Membrane structures: The fifth building material*. Munich: Prestel.

Ritter, S. 2007: *Smart materials in architecture, interior architecture and design*. Basel: Birkhäuser.

Scheuermann, R. and Boxer, K. 1996: *Tensile structures in the urban context*. Oxford: Butterworth Heinemann.

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials:

Part 4: 1970 Non-combustibility test for materials.

Part 6: 1989 Method of test for fire propagation for products.

Part 7: 1997 Classification of the surface spread flame of products.

BS 743: 1970 Materials for damp-proof courses.

BS 1254: 1981 Specification for WC seats (plastics).

BS ISO 1382: 2008 Rubber. Vocabulary.

BS 3012: 1970 Low and intermediate density polythene sheet for general purposes.

BS 3757: 1978 Specification for rigid PVC sheet.

BS 3837-1: 2004 Expanded polystyrene boards. Boards and blocks manufactured from expandable beads.

BS 3953: 1990 Synthetic resin bonded woven glass fabric laminated sheet.

BS 4023: 1975 Flexible cellular PVC sheeting.

BS ISO 4097: 2007 Rubber, ethylene-propylene diene (EPDM). Evaluation procedure.

BS 4154 Corrugated plastic translucent sheets made from thermosetting polyester resins (glassfibre reinforced):

Part 1: 1985 Specification for material and performance requirements.

Part 2: 1985 Specification for profiles and dimensions.

BS 4203 Extruded rigid PVC corrugated sheeting:

Part 1: 1980 Specification for performance requirements.

Part 2: 1980 Specification for profiles and dimensions.

BS 4213: 2004 Cisterns for domestic use.

BS 4514: 2001 Unplasticized PVC soil and ventilating pipes, fittings and accessories.

BS 4592-6: 2008 Industrial flooring and stair treads. Glass reinforced plastics (GRP).

BS 4607 Non-metallic conduit fittings for electrical installations:

Part 1: 1984 Specification for fittings and components.

Part 5: 1982 Specification for rigid conduits.

BS 4660: 2000 Thermoplastics ancilliary fittings for below ground drainage.

BS 4840 Rigid polyurethane (PUR) foam in slab form:

Part 1: 1985 Specification for PUR foam for use in transport containers.

Part 2: 1994 Specification for PUR foam for use in cold rooms and stores.

BS 4841 Rigid polyisocyanurate (PIR) and polyurethane (PUR) products for building end-use applications:

Part 1: 2006 Laminated insulation boards.

Part 2: 2006 Thermal insulation for internal wall linings and ceilings.

Part 3: 2006 Roofboard thermal insulation under bituminous built up roofing membranes.

Part 4: 2006 Roofboard thermal insulation under non-bituminous single-ply roofing membranes.

Part 5: 2006 Thermal insulation for pitched roofs.

Part 6: 2006 Thermal insulation for floors.

BS 4901: 1976 Plastics colours for building purposes.

BS 4962: 1989 Specification for plastic pipes and fittings for use as subsoil field drains.

BS 4965: 1999 Specification for decorative laminated plastics sheet veneered boards and panels.

BS 4991: 1974 Specification for polypropylene copolymer pressure pipe.

BS 5051: 1988 Bullet-resistant glazing. Specification for glazing for interior use.

BS 5241 Rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foam when dispensed or sprayed on a construction site:

Part 1: 1994 Specification for sprayed foam thermal insulation applied externally.

Part 2: 1991 Specification for dispensed foam for thermal insulation or buoyancy applications.

BS 5254: 1976 Polypropylene waste pipe and fittings.

BS 5255: 1989 Thermoplastics waste pipe and fittings.

BS 5391 Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) pressure pipe:

Part 1: 2006 Specification.

BS 5608: 1993 Specification for preformed rigid urethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foams for thermal insulation of pipework and equipment.

BS 5617: 1985 Specification for urea-formaldehyde (UF) foam systems suitable for thermal insulation of cavity walls with masonry or concrete inner and outer leaves.

BS 5618: 1985 Code of practice for thermal insulation of cavity walls by filling with urea-formaldehyde (UF) foam systems.

BS 5955 Plastics pipework (thermoplastics materials):

Part 8: 2001 Specification for the installation of thermoplastics pipes and associated fittings for use in domestic hot and cold water services and heating systems.

BS 6203: 2003 Guide to the fire characteristics and fire performance of expanded polystyrene materials (EPS and XPS) used in building applications.

BS 6206: 1981 Specification for impact performance requirements for flat safety glass and safety plastics for use in building.

BS 6515: 1984 Specification for polyethylene dampproof courses for masonry.

BS 6730: 1986 Specification for black polythene pipes up to nominal size 63 for above ground use for cold potable water.

BS 7291 Thermoplastic pipes and associated fittings for hot and cold water:

Part 1: 2006 General requirements.

Part 2: 2006 Polybutylene (PB) pipes and fittings.

Part 3: 2006 Cross-linked polyethylene (PE-X) pipes and fittings.

BS 7412: 2007 Specification for windows and door sets made from unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) extruded hollow profiles.

BS 7414: 1991 White PVC-U extruded hollow profiles with heat welded corner joints for plastics windows: materials type B.

BS 7619: 1993 Specification for extruded cellular unplasticized PVC (PVC-UE) profiles.

BS 7722: 2002 Surface covered PVC-U profiles for windows and doors.

BS 8203: 2001 Code of practice for installation of resilient floor coverings.

BS 8204 Screeds, bases and in situ floorings:

Part 6: 2008 Synthetic resin floorings. Code of practice.

BS 8215: 1991 Code of practice for the installation of damp proof courses in masonry construction.

BS ISO 8257 Plastics. Polymethyl methacrylate (PMMA) moulding and extrusion materials:

Part 1: 1987 Designation.

Part 2: 2007 Preparation of test specimens and determination of properties.

BS ISO 10840: 2008 Plastics. Guidance for the use of standard fire tests.

BS ISO 18225: 2007 Plastics piping systems. Multilayer piping systems for outdoor gas installations.

pr BS ISO 22621: 2008 Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels.

BS ISO 23559: 2007 Plastics. Film and sheeting. Guidance on the testing of thermoplastic films.

BS EN 198: 2008 Sanitary appliances. Baths made from cross-linked cast acrylic sheets.

BS EN 438 High-pressure decorative laminates. Sheets based on thermosetting resins:

Part 1: 2005 Introduction and general information.

Part 2: 2005 Determination of properties.

Part 3: 2005 Classification and specifications. Less than 2mm thick.

Part 4: 2005 Classification and specifications. Thickness 2mm and greater.

Part 5: 2005 Flooring grade less than 2mm thick.

Part 6: 2005 Exterior grade of thickness 2mm or greater.

Part 7: 2005 Composite panels for internal and external wall and ceiling finishes.

Part 8: 2009 Classification and specifications for design laminates.

BS EN 607: 2004 Eaves gutters and fittings made of PVC-U. Definitions, requirements and testing.

BS EN 1013 Light transmitting profiled plastic sheeting for single skin roofing:

Part 1: 1998 General.

Part 2: 1999 Glass fibre reinforced polyester (GRP).

Part 3: 1998 Polyvinyl chloride (PVC).

Part 4: 2000 Polycarbonate (PC).

Part 5: 2000 Polymethyl methacrylate (PMMA).

BS EN 1329 Plastics piping systems for soil and waste discharge - unplasticized PVC-U:

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1401 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage. Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U):

Part 1: 1998 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

Part 3: 2001 Guidance for installation.

BS EN 1451 Plastics piping systems for soil and waste discharge. Polypropylene (PP):

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1452 Plastics piping systems for water supply. Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U):

Part 1: 2000 General.

Part 2: 2000 Pipes.

Part 3: 2000 Fittings.

Part 4: 2000 Valves and ancillary equipment.

Part 5: 2000 Fitness for purpose of the system.

DD ENV Part 6: 2002 Guidance for installation.

DD ENV Part 7: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1455 Plastics piping systems for soil and waste discharge. ABS:

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

BS EN 1456 Plastic piping systems for buried and above ground drainage. Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U):

Part 1: 2001 Specifications for piping components and the system.

DD CEN/TS Part 2: 2003 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1462: 2004 Brackets and eaves gutters.

BS EN 1519 Plastics piping systems for soil and waste discharge. Polyethylene (PE):

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1565 Plastics piping systems for soil and waste discharge. Styrene copolymer blends:

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 1566 Plastics piping systems for soil and waste discharge. Chlorinated polyvinyl chloride (PVC-C):

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD ENV Part 2: 2001 Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U).

BS EN 1796: 2006 Plastics piping systems for water supply. Glass reinforced thermosetting plastics (GRP) based on unsaturated polyester resin (UP).

BS EN 1873: 2005 Prefabricated accessories for roofing. Individual rooflights of plastics.

BS EN ISO 1873 Plastics. Polypropylene moulding and extrusion materials:

Part 1: 1995 Designation system and basis for specification.

Part 2: 2007 Preparation of test specimens and determination of properties.

BS EN ISO 5999: 2007 Flexible cellular polymeric materials. Polyurethane for load-bearing applications. Specifications.

BS EN ISO 7391 Plastics. Polycarbonate (PC) moulding and extrusion materials:

Part 1: 2006 Designation system and basis for specifications.

Part 2: 2006 Preparation of test specimens.

BS EN ISO 8986 Plastics. Polybutene (PB) moulding and extrusion materials:

Part 1: 1999 Designation system and basis for specification.

Part 2: 1996 Preparation of test specimens and determination of properties.

pr EN ISO 11295: 2008 Guidance on the classification and design of plastics piping systems used for renovation.

pr EN ISO 11296: 2008 Plastics piping systems for the renovation of underground non-pressure drainage networks.

prENISO 11298: 2008 Plastics piping systems for the renovation of underground water supply networks.

BS EN ISO 11542 Plastics. Ultra high molecular weight polyethylene (PE-UHMW) moulding and extrusion materials:

Part 1: 2001 Designation system and basis for specification.

Part 2: 1998 Preparation of test specimens and determination of properties.

BS EN ISO 12086 Plastics. Fluoropolymer dispersions and moulding and extrusion materials:

Part 1: 2006 Designation system and basis for specification.

Part 2: 2006 Preparation of test specimens and determination of properties.

BS EN 12200 Plastics rainwater piping systems. Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U):

Part 1: 2000 Specification for pipes, fittings and the system.

DD CEN/TS Part 2: 2003 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 12201 Plastics piping systems for water supply. Polyethylene (PE):

Part 1: 2003 General.

Part 2: 2003 Pipes.

Part 3: 2003 Fittings.

Part 4: 2001 Valves.

Part 5: 2003 Fitness for purpose of the system.

DD CEN/TS Part 7: 2003 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 12224: 2000 Geotextiles and geotextilesrelated products. Resistance to weathering.

BS EN 12225: 2000 Geotextiles and geotextilesrelated products. Microbiological resistance.

BS EN 12608: 2003 Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) profiles for the fabrication of windows and doors.

DD CEN/TS 12666: 2005 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage. Polyethylene (PE). Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 13162: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made mineral wool (MW) products. Specification.

BS EN 13163: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made products of expanded polystyrene (EPS). Specification.

BS EN 13164: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made products of extruded polystyrene foam (XPS). Specification.

BS EN 13165: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made rigid polyurethane foam (PUR) products. Specification.

BS EN 13166: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made products of phenolic foam (PF). Specification.

BS EN 13167: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made cellular glass (CG) products. Specification.

BS EN 13168: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made wood wool (WW) products. Specification.

BS EN 13169: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made products of expanded perlite (EPB). Specification.

BS EN 13170: 2008 Thermal insulation products for buildings. Factory made products of expanded cork (ICB). Specification.

BS EN 13171: 2008 Thermal insulating products for buildings. Factory made wood fibre (WF) products. Specification.

BS EN 13172: 2008 Thermal insulating products. Evaluation of conformity.

BS EN 13244 Plastics piping systems for buried and above-ground pressure systems for water. Polyethylene (PE):

Part 1: 2002 General.

Part 2: 2002 Pipes.

Part 3: 2002 Fittings.

Part 4: 2002 Valves.

Part 5: 2002 Fitness for purpose of the system.

Part 7: 2003 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 13245 Plastics. Unplasticised polyvinyl chloride (PVC-U) profiles for building applications:

Part 1: 2004 Designation of light coloured profiles.

Part 2: 2008 PVC-U and PVC-UE profiles for internal and external wall and ceiling finishes.

BS EN 13476 Plastic piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage systems. Structured wall piping systems:

Part 1: 2007 General requirements.

Part 2: 2007 Specifications for pipes and fittings. Type A.

Part 3: 2007 Specifications for pipes and fittings. Type B.

DD CEN/TS Part 4: 2008 Guidance for the assessment of conformity.

BS EN 13566: 2002 Plastics piping systems for renovation of underground drainage networks.

BS EN 13598 Plastics piping systems for nonpressure underground drainage and sewerage. Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U), polypropylene (PP) and polyethylene (PE):

Part 1: 2003 Specification for ancillary fittings.

Part 2: 2009 Specification for manholes and inspection chambers.

BS EN 14364: 2006 Plastics piping systems for drainage and sewerage. Glass-reinforced thermoplastics thermoplastics (GRP) based on unsaturated polyester (UP) resin. Specification for pipes.

BS EN 14408: 2004 Plastic piping systems for the renovation of underground gas networks.

BS EN 14409: 2004 Plastic piping systems for the renovation of underground water networks.

DD CEN/TS 14541: 2007 Plastics pipes and fittings for non-pressure applications. Utilisation of non-virgin PVC-U, PP and PE materials.

DD CEN/TS 14632: 2006 Plastics piping systems for drainage. GRP based on polyester resin (UP).

BS EN 14693: 2006 Flexible sheets for waterproofing on concrete surfaces.

DD CEN/TS 14758-2: 2007 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage. Polypropylene with mineral modifiers (PP-MD).

BSEN14909: 2006 Flexible sheets for waterproofing. Plastic and rubber damp proof courses.
BS EN 15012: 2007 Plastics piping systems. Soil and waste discharge systems within the building structure.
BS EN 15014: 2007 Plastics piping systems. Buried and above-ground systems for water.
BS EN 15342: 2007 Plastics. Recycled plastics. Characterisation of polystyrene (PS) recyclates.
BS EN 15343: 2007 Plastics. Recycled plastics. Plastics recycling traceability.
BS EN 15344: 2007 Plastics. Recycled plastics. Characterisation of polyethylene (PE) recyclates.
BS EN 15345: 2007 Plastics. Recycled plastics. Characterisation of polypropylene (PP) recyclates.
BS EN 15346: 2007 Plastics. Recycled plastics. Characterisation of polyvinyl chloride (PVC) recyclates.
BS EN 15347: 2007 Plastics. Recycled plastics. Characterisation of plastics waste.
PD CEN/TR 15438: 2007 Plastics piping systems. Guidance for coding of products and their intended uses.
DD CEN/TS 15534 Wood plastic composites (WPC):
Part 1: 2007 Test methods for characterisation of WPC materials and products.
Part 2: 2007 Characterisation of WPC materials.
Part 3: 2007 Characterisation of WPC products.
BS EN ISO 15877 Plastics piping systems for hot and cold water installations. Chlorinated polyvinyl chloride (CPVC):
Part 1: 2003 General.
Part 2: 2003 Pipes.
Part 3: 2003 Fittings.
Part 5: 2003 Fitness for purpose of the system.
Part 7: 2003 Guidance for the assessment of conformity.
BS EN ISO 21003 Multilayer piping systems for hot and cold water installations inside buildings:
Part 1: 2008 General.
Part 5: 2008 Fitness for purpose of the system.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 404: 1995 PVC-U windows.
BRE Digest 430: 1998 Plastics external glazing.
BRE Digest 440: 1999 Weathering of white external PVC-U.

BRE Digest 442: 1999 Architectural use of polymer composites.
BRE Digest 480: 2004 Wood plastic composites and plastic lumber.
BRE Good building guides
GBG 25: 1996 Buildings and radon.
GBG 73: 2008 Radon protection for new domestic extensions and conservatories with solid concrete
ground floors.
GBG 74: 2008 Radon protection for new dwellings. Avoiding problems and getting it right.
GBG 75: 2009 Radon protection for new large buildings.

BRE Information papers

BRE IP 12/97 Plastics recycling in the construction industry.
BRE IP 7/99 Advanced polymer composites in construction.
BRE IP 8/01 Weathering of plastics pipes and fittings.
BRE IP 12/01 Hot air repair of PVC-U profiles.
BRE IP 2/04 Wood plastic composites: market drivers and opportunities in Europe.
BRE IP 8/08 Determining the minimum thermal resistance of cavity closers.

BRE Reports

BR 274: 1994 Fire safety of PTFE-based materials used in building.
BR 405: 2000 Polymer composites in construction.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Laminated Fabricators Association, 6 Bath Place, Rivington Street, London EC2A 3JE, UK (020 7457 5025).
British Plastics Federation, 6 Bath Place, Rivington Street, London EC2A 3JE, UK (020 7457 5000).
British Rubber Manufacturers' Association Ltd., 6 Bath Place, Rivington Street, London EC2A 3JE, UK (020 7457 5040).

11

البلاستيك والإسمنت والجص المسلحة بالألياف الزجاجية

مقدّمة

تعتمد المواد المركّبة كالبوليستر المسلّح بالألياف الزجاجيّة (GRP)، والإسمنت المسلّح بالألياف الزجاجيّة (GRC)، والجص المسلّح بالألياف الزجاجيّة (GRG)، في تحقيق جدواها على التراكب المفيد للخواص الفيزيائيّة المتباينة للمواد المكوّنة لها. ويكون ذلك ممكناً عندما يضمن التماسك القويّ بين الألياف الزجاجيّة والمادّة الأساس (Matrix Material) عمل المادّتين في المركّب بتناغم. وهكذا فإن البوليستر الذي يمتلك لوحده معامل مرونة منخفضاً جدّاً ينتج عند تسليحه بالألياف الزجاجيّة مادّةً صلبة بشكل كافٍ للاستعمال كمادة للإكساء. كذلك الإسمنت الذي يعدّ لوحده هشّاً، يمكن عند تسليحه بالألياف الزجاجيّة تصنيعه كألواح رقيقة مقاومة للصدم. بشكلٍ مشابه، يزيد التسليح بالألياف الزجاجيّة، مقاومة الجص للصدم وللحريق بشكلٍ ملحوظ.

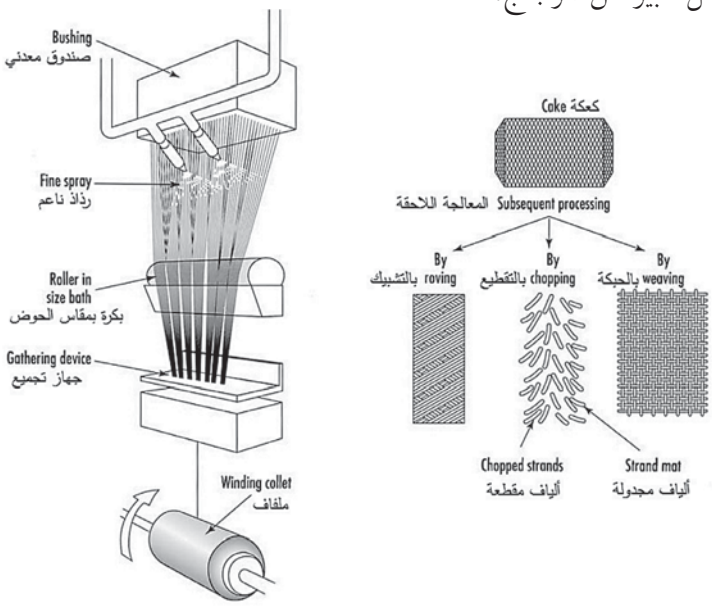
الألياف الزجاجيّة

تصنّع الألياف الزجاجيّة للاستعمال في البوليستر المسلّح بالألياف الزجاجيّة (GRP)، أو في الجص المسلّح بالألياف (GRG) من الزجاج المعياري E، كما هو موضّح في الشكل (1.11). يسيل الزجاج المصهور من الفرن عند درجة الحرارة 1200 مئوية إلى مقدمة الموقد، ومنه إلى مغزل ذي فتحات دقيقة، يتم عبرها سحب الزجاج بسرعة عالية بسماكة تقارب 9 ميكرومتر. تُغطّى بعدها الألياف

حسب القياس، وتُحزَّم قبل لفّها حول ملفاف معدني. ومن ثم تستعمل كعكة الألياف الزجاجيّة كحصائر مستمرة، أو كألياف مجدولة مفكّكة تم تقطيعها بأطوال تتراوح بين 20 و50 mm. يمكن تحويل لفّات الألياف الزجاجيّة إلى حصائر منسوجة، ويمكن تشكيل الألياف المجدولة المقطّعة بلاصق عضوي.

البلاستيك المسلّح بالألياف الزجاجيّة

يعدّ راتنج البوليستر المادّة المعياريّة الأساس للبلاستيك المسلّح بالألياف، بالرغم من إمكانية استعمال راتنجات أخرى تتصلّب حرارياً منها الفينوليك (Phenolic) والإيبوكسي والبولي يوريثان. وتُستعمَل الألياف الزجاجيّة في معظم التطبيقات كلفّات مستمرّة أو كأسلاك مجدولة مقطّعة، إلا أنّ الحصول على منتجات فائقة المقاومة يتم باستعمال الألياف الزجاجيّة المنسوجة والألياف المصفوفة باتجاه واحد. وتتراوح نسبة الألياف الزجاجيّة بشكل واسع من 20-80% من الوزن بحسب المقاومة المطلوبة. ويمكن تحقيق أداءٍ محسَّن باستعمال ألياف زجاجيّة مكلّفة أكثر من الصنف (S) ذات المقاومة والمعامل المرتفعين التي تستعمل بشكل رئيس في صناعة الطيران. الألياف البديلة ذات مقاومة الشد الأعلى، تشمل البولي أراميدات (Polyaramids)، كالكيفلر وألياف الكربون، لكن هذه الألياف أكثر كلفةً بشكل كبير من الزجاج.



(الشكل 1.11) إنتاج ألياف الزجاج ـ تشبيك، ألياف مقطّعة، حصيرة.

عمليّة التصنيع

يعدّ إنتاج قوالب عالية الجودة استثماراً مهماً في تصنيع ألواح الإكساء من البوليستر المسلّح بألياف الزّجاج (GRP). وتصنّع هذه القوالب من الخشب، مع أن الفولاذ أو الجبص المسلّح بالزجاج ذاته يمكن أن يُستعملا أيضاً. ويُعاد استعمال القوالب بتعديلات طفيفة أحياناً (كحشر فراغ نافذة ضمن وحدة جدار) أكبر عدد من المرّات لتخفيض كلف الإنتاج. ولهذا يبقى عدد التصاميم المختلفة للقوالب لأي بناء في الحدّ الأدنى، ويمكن أن ينعكس ذلك في تكرار التصميم.

في عمليّة التصنيع، يُطلى القالب بالزيت لمنع الالتصاق والضرّر المرافق للسطح الخارجي للّوح. ويُطبّق طلاء الجل الذي سيكون في النهاية السطح المعرّض للعوامل الجويّة، بسماكة نهائية من 0.25 إلى 0.4 mm. الأمثلة المبكّرة من البوليستر المسلّح بالزجاج من دون طلاء كافٍ من الجل قد تجوَّت وتحوّلت إلى سطح خشن، مع انكشاف لاحق للألياف الزجاجيّة؛ إلا أنّ طلاءات الجل الحديثة أعطت عند تطبيقها بالسماكة الصحيحة ديمومةً. يتضمّن التصنيع اللاحق **مدّ طبقات** من الألياف الزجاجيّة وراتنج البوليستر بالسماكة المطلوبة، وتكون عادة إمّا لفّات مرشوشة (Sprayed Rovings) أو أليافاً مجدولة مقطّعة (Chopped Strand Mat). ويمكن إدماج التسليح والمثبتات عادة من الألومنيوم للتشابه في معاملات التمدّد، ويمكن زيادة سماكة المناطق التي تتطلّب مقاومة إضافيّة من طريق عملية مدّ الطبقات حسب الحاجة. يمكن أن يُغلّف العزل الرغوي البلاستيكي للحصول على الخواص الحراريّة المطلوبة. يمكن أن يستغرق الإنضاج أسبوعين، بعدها تُخرج الوحدة من القالب، وتشذّب حوافها وتتمّ تهيئتها.

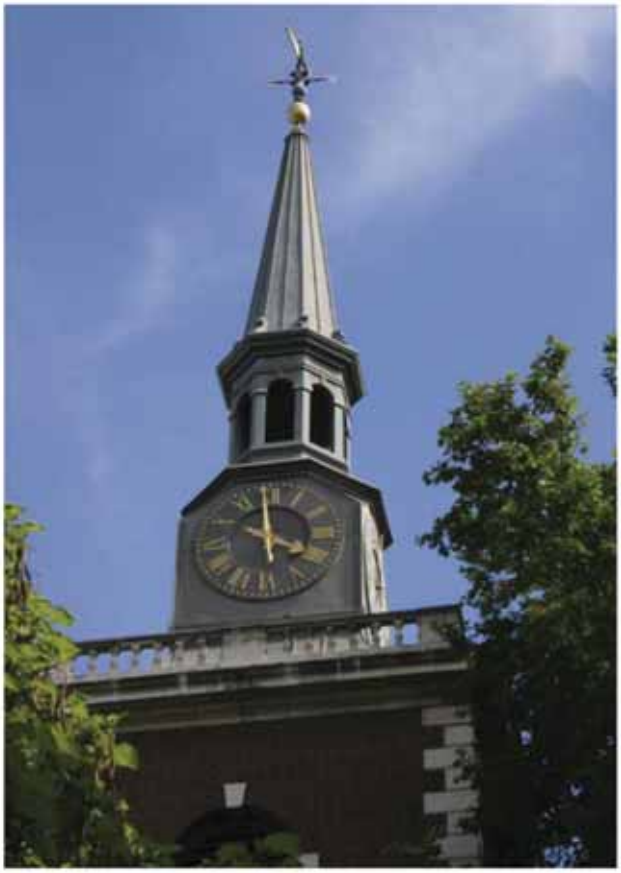
الخواص الفيزيائيّة واعتبارات التصميم

إنّ اختيار البوليستر المسلّح بالزجاج، على سبيل المثال كلوح إكساء، يضفي جماليّته الخاصّة على تصميم البناء. وإنّ النّسبة المرتفعة للمقاومة إلى الوزن للبوليستر المسلّح بالزّجاج، يسمح باستعمال وحدات ألواح كبيرة، إلا أنّ القيود على الكلفة في عملية تصنيع القوالب تقلّل التنوّعات في الألواح إلى الحدّ الأدنى. وتفضّل حواف الألواح والفتحات المنحنية لتخفيض مواضع تركز الإجهادات عند الزوايا الحادّة جدّاً. ويتطلّب مُعامل التمدّد الحراري المرتفع للبوليستر المسلّح

بالزجاج تفصيلات دقيقة لفواصل الحركة، وختمها عند الضرورة بشكل ملائم بمكوّنات تحتفظ مرونتها. ففي بعض الحالات، يمكن حل مسألة التمدّد المرتفع باستعمال هيئات مشكّلة (Profiled Forms) تضفي مقاومةً كذلك. فبهتان اللون واصفرار ألواح البوليستر المسلّح بالزّجاج يمثّلان إشكاليّةً، إلا أنّ المنتجات الحديثة المزوّدة بحماية من الأشعّة فوق البنفسجية أكثر ثباتاً في اللون. عموماً تعدّ الإنهاءات المخشنة قليلاً أكثر ديمومةً من الملساء عند التعرّض لأشعّة الشّمس المباشرة. يمكن تصنيع البوليستر المسلّح بالزّجاج بإضافات مقاومة للحريق، فلراتنجات الفينوليك ميّزة القابلية المنخفضة للاحتراق ولانبعاثات الدّخان. يحول الزّحف الطويل الأمد دون استعمال البوليستر المسلّح للزّجاج كمادّة حمّالة، بالرغم من أنّ البُنى ذات الطابق الواحد أو الوحدات المتنقّلة ذات الطّابقين، والممرّات البنيوية المسقوفة العالية، كثيراً ما تُبنى من هذه المادّة. ويعدّ البوليستر المسلّح بالزّجاج مقاوماً للتخريب، ويمكن أن يصفّح بشكل كافٍ ليكون مقاوماً للرّصاص، فعندما يتطلّب الأمر أن يكون كلا السطحين مكشوفين، يمكن كبس المادّة بين شطري المكبس.

استعمالات البلاستيك المسلّح بألياف الزّجاج

إنّ خصائص خفّة الوزن للبوليستر المسلّح بالزّجاج تجعله مادّة مناسبة جدّاً لصناعة ألواح إكساء كبيرة، وللهياكل المشكّلة حسب الطلب، كما هو موضّح في البرج الذي يعلّق فيه الجرس والقمّة المستدقّة لكنيسة القدّيس جيمس في بيكاديللي بلندن، الشكل (2.11). ويمكن أن تكون الإنهاءات ملوّنة ذاتيّاً، أو تتضمّن إنهاءً حصويّاً من الحجر الطبيعي. إضافةً لذلك، كثيراً ما يُستعمل البوليستر المسلّح بالزجاج، لإنتاج سمات معماريّة كألواح القوارب، والنوافذ الناتئة من السقوف المائلة، والأعمدة التقليديّة، ومظلّات المداخل، الشّكل (3.11). ويمكن تلوين البوليستر المسلّح بالزّجاج ليحاكي أنواعاً مختلفة من الخشب، والأردواز وحجر البورتلاند أو الكوتسوولد (Cotswold)، والرّصاص أو النّحاس. ويستعمل أيضاً لإنتاج طيف واسع من مكوّنات البناء الصغيرة من ضمنها المغاطس، والمجاري المطرية بين الأسقف المائلة، وأنظمة صرف المياه، وزينة حواف السقوف المستوية. إضافةً لذلك، يُصنّع طيف واسع من ألواح الإكساء المركّبة من الراتنجات المُسلّحة بألياف الزّجاج المتضمنه حبيبات من الحجر. وتتوفّر هذه المنتجات المقاومة للصّدم والحريق بإنهاء من حبيبات الحجر أو مطليّة أو مغطاة بالجل.

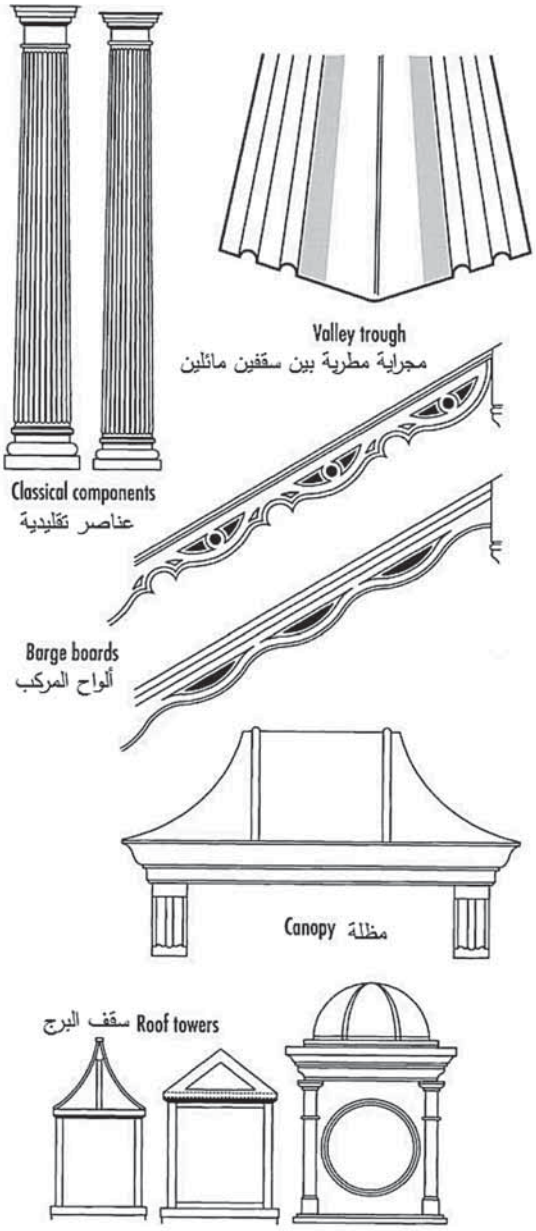


(الشكل 2.11) استبدال قمة البرج بالبوليستر المسلح بالألياف الزجاجية ـ كنيسة القديس جيمس، لندن، الصورة بإذن (Smith of Derby Ltd.).

مركّبات ألياف الكربون والأراميد

تجمع ألياف الكربون، التي تمّ تطويرها أساساً لصناعة الطيران، كلاً من المقاومة والصلابة، مع وزن منخفض، لكنها تملك مقاومة صدم ضعيفة. يتمّ إنتاجها من ألياف البولي أكريلونيتريل (Polyacrylonitrile) بواسطة الأكسدة المضبوطة عند درجة الحرارة 250 مئويّة، تتبعها كربنة عند الدّرجة 2600 مئويّة في جوّ خامل. يتمّ إنتاج ثلاثة أصناف، هي الصّنف العالي المقاومة والصّنف العالي المُعامِل والصّنف المتوسّط المعامل. فألياف الكربون، مثل الألياف الزجاجيّة متوفّرة كمادّة منسوجة أو كألياف مجدولة ومقطّعة أو كخيوط متواصلة. ولألياف الكربون

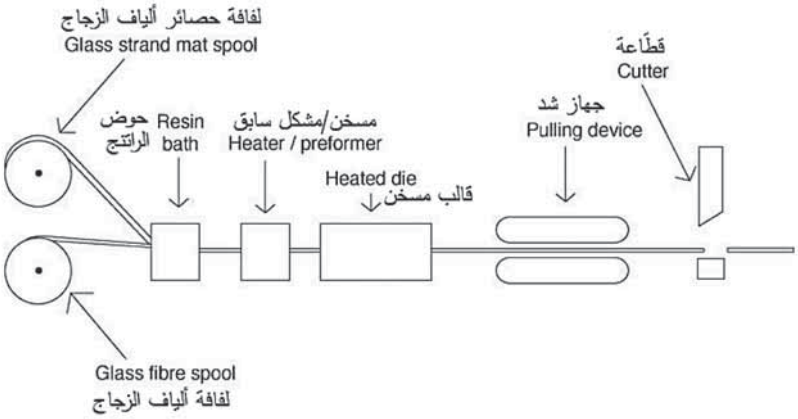
مُعامِل تمدّد سالب صغير على طول الليف، وبالتّالي يمكن إنتاج مادّة مركّبة ذات تمدّد حراري صفري.



(الشكل 3.11) عناصر نموذجية من البوليستر المسلح بالألياف الكربونية.

الأراميدات (ألياف تركيبيّة قويّة ومقاومة للحرارة) هي بوليميرات بللوريّة سائلة متعدّدة الأميد قويّة الرّائحة، بنسبة مرتفعة لمقاومة الشد إلى الوزن، ولكن بخصائص أضعف تحت الضغط أو الانعطاف. مقاومة الصّدم للأراميدات أكبر من تلك التي تتمتع بها الألياف الكربون. ويتم إنتاج ألياف الأراميد، على نحو نموذجي **الكيفلر**، بتدويم الليف المتواصل لإخراجه من المحلول. تتوفّر تشكيلة من المنتجات بطيف من الخواص: المعاملات والاستطالات ومقاومة الصدم. تبدي مركّبات الأراميد مقاومة اهتراء جيّدة. ويمكن جمع ألياف الكربون وألياف الأراميد عندما يكون مطلوباً توّفر المقاومة والصّلادة ومقاومة الصّدم في مادّة مركّبة.

بالرغم من إمكانية استعمال راتنجات البوليستر كمادة الأساس لكلا ألياف الكربون أو الأراميد، إلا أنه عادةً ما يتم إدخال هذه الألياف الأغلى ثمناً في راتنجات إيبوكسي ذات الأداء الأعلى. إضافة إلى عمليّة الإنتاج المعيارية للبوليستر المسلّح بالزّجاج بالمد، تُستعمل عمليتا البثق والتشريب المسبق لتصنيع العناصر المسلّحة بألياف الكربون. تستعمل عملية السحب بالبثق التي هي تراكب بين عمليتي البثق والسحب (الشكل 4.11)، لصناعة المقاطع المتواصلة المصمتة أو المجوّفة. وتنطوي عملية التشريب المسبق على تغطية الألياف المتواصلة أو القماش الليفي المنسوج بخليط من الرّاتنج وعنصر الإنضاج، الذي يمكن أن يُخزّن مجمّداً في هذه المرحلة، ثمّ يُذاب ويوضع في القوالب لتشكيله عند الطلب. يمكن، باستعمال عمليّات القولبة منخفضة درجة الحرارة، تصنيع هياكل كبيرة ومعقّدة لصناعة التشييد. بالنسبة للتسليح الملتصق خارجيّاً بالبنى الخرسانية، يمكن لصق صفائح مسلّحة بألياف الكربون منتجة بالبثق والسّحب، بالخرسانة بواسطة راتنج إيبوكسي ثيكسوتروبيك. بديلاً من ذلك، يمكن لفّ حصيرة من ألياف الكربون المنسوجة حول الخرسانة ولصقها براتنج الإيبوكسي. يمكن تحقيق المستوى المطلوب للتسليح من خلال بناء السماكة المناسبة لحصيرة ألياف الكربون المشبعة براتنج الإيبوكسي. ويمكن تطبيق التقنيّة أيضاً على فولاذ التسليح أو أعمال البناء، أو الخشب، أو حديد الصّب. بالرغم من أنّه عادةً ما يستعمل لأغراض ترميمية، فإنّ هذا النوع من التسليح يمكن استعماله أيضاً في عناصر الأبنية الجديدة.



(الشكل **4.11**) السحب بالبثق.

إعادة تدوير البوليميرات المسلّحة بالألياف

وفقاً لبيانات العام 2004، تنتج صناعة البوليمرات المسلّحة بالألياف في المملكة المتحدة 240000 طن في كلّ عام. ويستعمل 11% منها في صناعة التشييد. حاليّاً، يتم التخلّص من معظم نفايات البوليميرات المسلّحة بالألياف في مواقع الطمر. يمكن إذابة وإعادة تشكيل البوليمرات البلاستيكية الحرارية المسلّحة بالألياف، إلا أنه لا يمكن تطبيق الشيء ذاته على البوليميرات المسلّحة بالزّجاج المتجمّدة حراريّاً.

يتمثّل أحد الحلول للبوليستر المسلّح بالزّجاج في طحن النفايات إلى مسحوق يستعمل بالترابط مع لواصق أخرى، إلا أنّ هذه العمليّة تصبح صعبة عندما توجد مثبتات معدنيّة مدفونة في المكوّنات الأصليّة. ويمكن خلط المسحوق المعاد تدويره مع أنواع أخرى من البلاستيك المعاد تدويره لإنتاج ألواح من البوليستر المسلّح بالزّجاج والبلاستيك، ويمكن استعمالها في الركائز المحمّلة بشكل خفيف، والأرضيّات، والأسوار والتطبيقات المشابهة. كما يمكن تقطيع هذه المادّة وتشكيلها كالخشب الطبيعي التي هي بديل منه. بديلاً من ذلك، ويمكن إدخال البوليستر المسلّح بالزّجاج المطحون في ألواح نشارة خشب، لصنع ألواح من نشارة خشب مسلّحة بالبوليستر المسلّح بالزّجاج الذي يمتلك خواصاً ميكانيكيّة محسّنة مقارنة بالصنف المعياري (P5) من ألواح نشارة الخشب المستعمل في الأرضيات المنزليّة. إلا أنّه عند الأخذ في الحسبان تكاليف الطّاقة والنّقل والعوامل الأخرى، فإنّ

التوازن البيئي تجاه إعادة تدوير البوليمرات المسلّحة بالألياف يمكن أن يكون معتمداً على تضمين اعتبارات مستقبلية لإعادة التدوير في المرحلة الابتدائية للتصميم.

تشمل العمليّات المحتملة البديلة لإعادة تدوير البوليستر المسلّح بالزّجاج، عمليّات حراريّة أو كيميائيّة لاسترجاع الألياف، على الرغم من أن جودة الألياف في هذه العملية تكون قد انخفضت. ويعدُّ الحرق المترافق باستعادة الطّاقة خياراً حيوياً بالنسبة لنفايات البوليستر المسلّح بالزّجاج، لكن حاليّاً معظم مواقع الترميد تحرق المادّة لتخفيض الحجم لا لتوليد الكهرباء. يملك البوليستر المسلّح بالزّجاج محتوىً عالياً من الوحدات الحرارية مقارنة بمعظم الفضلات المنزليّة، التي تعني، بالموازنة، أن نفايات منزليّة أقل يمكن أن تُحرق، وعليه تُرسل نفايات أكثر إلى المكب.

الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة

الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة هو مادّة تمّ تطويرها في بداية السبعينات من القرن الماضي، من قبل مؤسّسة أبحاث البناء (BRE). تنتج المادّة المعيارية من خليط من الألياف الزجاجيّة المقاومة للقلويّات والإسمنت البورتلاندي، والحصويّات الرّمليّة والماء. يتم عادةً ضمُّ إضافات كالبوزولانا والملدّنات والبوليميرات إلى الخليط لإعطاء خواص التصنيع أو الصّب المطلوبة. وتمثّل الخرق الكبير في تطوير المادّة في إنتاج ألياف زجاجيّة مقاومة للقلويّات، كون الألياف الزّجاجيّة المعيارية من الصنف (E)، المستعملة في البوليستر المسلّح بالزّجاج والجبص المسلّح بالزّجاج، تتآكل بسرعة في بيئة الإسمنت المتميّه ذي القلويّة العالية. كما يحتوي الزّجاج المقاوم للقلويّات على أوكسيد الزّيركونيوم إضافةً إلى أكاسيد الصوديوم والسيليكون والكالسيوم التي يتكوّن منها الزّجاج المعياري من الصنف (E). تُصنَع الألياف الزّجاجيّة المقاومة للقلويّات، التي تمّ تحسينها بتطوير مستمر، تحت الاسم التّجاري (Cem-FIL). وإن إضافة الميتاكاولين (Metakaolin)، الذي هو مادّة بوزولانيّة تنتج من كلسنة الصلصال الصيني عند الدّرجة 750 ـ 800 مئوية، إلى خلطات الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة، تمنع نمو بلّورات الكلس حول الألياف الزّجاجيّة. حيث يؤدّي هذا في الإسمنت المسلّح بالألياف الزجاجية غير المخلوط إلى بعض الانخفاض التدريجي للمقاومة. يملك الإسمنت المعياري المسلّح بالألياف الزجاجيّة لوناً رماديّاً، وله مظهر الإسمنت الصفيحي، وهو غير قابل للاحتراق.

تصنيع الألياف الزّجاجيّة المقاومة للقلويّات

يتمّ صهر السيليكا والحجر الكلسي والزيركون (Zircon) في الفرن، ثمّ يُسحب الزّجاج المنتج المقاوم للقلويّات إلى ألياف قطرها 14 أو 20 ميكرومتر، وتُلفّ بعدها في كعكات لاستعمالها لاحقاً كحصائر مستمرّة، أو لتحويلها إلى جدائل مقطّعة. العمليّة مشابهة لتلك تتم في الألياف الزجاجيّة المعيارية من الصّنف (E). يتوفر أيضاً نسيج زجاجي (Cem-FIL) بملمس ناعم.

فرشة الأساس الإسمنتي

يستعمل عادةً الإسمنت البورتلاندي من صنف المقاومة 42.5 أو 42.5R (مقاومة مبكّرة سريعة). ينتج الإسمنت البورتلاندي إنهاءً رمادياً، ويمكن استعمال الإسمنت البورتلاندي الأبيض أو صباغات مضافة لإعطاء مظاهر مختلفة. إلا أنّه لا بدّ من الحذر عند استعمال الصباغات لضمان انتظامية اللّون. الحصويّات الاعتيادية هي الرّمل المغسول والرّماد المتطاير (رماد الوقود المطحون)، لكن يمكن استعمال الرّخام أو الحجر الكلسي أو الغرانيت المكسّر، عندما يكون مطلوباً إنهاء خاصّ بحصويّات مكشوفة.

عمليّات التصنيع

يمكن تشكيل العناصر من الإسمنت المسلّح بالألياف، إما باستعمال مسدس بخ يخلط الألياف الزّجاجيّة مع ملاط الإسمنت، كونها ترش مباشرةً في القالب، أو بالخلط المسبق للإسمنت والرّمل والماء والإضافات والألياف الزّجاجيّة قبل الصبّ. تُستعمل قوالب مماثلة لتلك المستخدمة في إنتاج العناصر من البوليستر المسلّح بالزجاج. تطبّق تقنيّات القولبة بالبثق وبالحقن للمكونات الخطّية أو الصّغيرة، ويمكن استعمال الخلطات المخلوطة مسبقاً والمعبّأة للتطبيقات في الموقع.

الإسمنت المرشوش المسلّح بالألياف الزّجاجيّة

تستعمل تقنيّات الرّش، التي يمكن أن تكون يدويّة (الشكل 5.11) أو آليّة، للوصول إلى السّماكة المطلوبة، التي عادةً ما تكون بين 10 و20 mm. أثناء الرّش يقطع مسدس البخ الألياف بأطوال من 25 إلى 40 mm، مُراكماً لبّادة منتظمة من الألياف والملاط في القالب. يمكن أن تحتوي الخلطة المرشوشة النموذجيّة على

5% ألياف زجاجيّة، و36% إسمنت بورتلاندي، و36% رمل مغسول، و11% إضافات/ بوليمر، و12% ماء. إنّ إنضاج الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة بطيء نسبيّاً، حيث يصل إلى 95% من المقاومة بعد سبعة أيّام.

(الشكل 5.11) رش الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة. الصورة بإذن (Trent Concrete Ltd.).

الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة المخلوط مسبقاً

من الطبيعي أن يُخلط مسبقاً الإسمنت والرّمل والماء والإضافات، ثم تُضاف الألياف المقطّعة. تحتوي الخلطة النموذجيّة حتى 3.5% من الألياف بطول 12 mm، في خلطة بنسبة رمل إلى إسمنت نصف إلى واحد ونسبة ماء إلى الإسمنت 0.35. ثمّ تُصبّ الخلطة وترجّ، أو تكبس في قالب مكونات أصغر. بالنسبة للطّينة للطلاء، من المناسب أن يكون محتوى الألياف الزّجاجية بين 1% و 2%. ينطوي تطوير حديث على الرّش المباشر للمادّة المخلوطة مسبقاً.

خصائص الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة

المظهر

مع أن للإسمنت المعياري المسلّح بالألياف الزّجاجيّة مظهر الإسمنت، يمكن تصنيع تشكيلة واسعة من الألوان، والملمس ومحاكاة المواد الأخرى. ينبغي تجنّب

الإنهاء اللّماع، لأنه يميل للتجزّع، ويظهر العيوب أو التباينات. لإنّ استعمال حصويّات معيّنة متبوع بالتنعيم يمكن أن يحاكي الرّخام أو الغرانيت أو الطين النضيج... إلخ، في حين يمكن إنتاج الحجر المعاد تشييده بمظهر أملس أو مشكّلاً بالأدوات بعملية التنميش بالحمض. ويمكن الوصول إلى إنهاء بالحصويات المكشوفة باستعمال مبطّئات ضمن القالب ثمّ يتبعها الغسيل والفرك بالفرشاة. كما يمكن استعمال الإنهاءات التطبيقية، التي هي عادةً مستحلبات اللاتكس الصناعي بأساس من الماء، على سطوح نظيفة خالية من الغبار.

حركة الرّطوبة والحرارة

يبدي الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة انكماشاً أوليّاً غير عكوس، متبوعاً بحركة رطوبة عكوسة تساوي تقريباً 0.2%. يقع معامل التمدّد الحراري في المجال $(7\text{-}20)\ x10^{-6}\ ^oC^{-1}$، النموذجي للمواد الإسمنتية.

النّاقليّة الحراريّة

تقع النّاقليّة الحراريّة للإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة في المجال 0.21-1.0 W/m.K. تحتوي وحدات ألواح الإكساء ذات الطبقتين المصنوعة من الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة على عازل البوليستيرين الانتفاخي، أو الصّوف المعدني، أو البلاستيك الرغوي. وينبغي تجنّب التجسير البارد، حيث يمكن أن يسبّب تأثيرات تظليل.

الديمومة

الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة أقلّ نفوذيّةً للرّطوبة من الخرسانة العاديّة، لهذا له مقاومة جيّدة للهجوم الكيميائي؛ لكن ما لم يتم تصنيعه من الإسمنت المقاوم للكبريتات، فإنّه يُهاجم بالكبريتات الذائبة. ولا يتأثر الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة بدورات التجمّد والذوبان.

مقاومة الصّدم

يبدي الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة مقاومة عالية للصّدم، لكن صلابته ومقاومته تنخفضان على المدى الطويل. ولكن إدخال الميتاكاولين ($2SiO_2.Al_2O_3$) إلى الخلطة، يبدو أنّه يحسّن الأداء الطويل الأمد للمادة.

استعمالات الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة

يستعمل الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة على نطاق واسع لتصنيع ألواح الإكساء والأسقف المستعارة الخارجية، بسبب خفة وزنه وسهولة تشكيله (الشكل 6.11). ويستعمل في أعمال الترميم كبديل للحجر الطبيعي، وفي التشكيلات المعماريّة، من ضمنها سواتر تزيينيّة معقّدة في بلدان الشرق الأوسط. ويُستعمل كقالب دائم للخرسانة، والقواطع الداخلية المقاومة للحريق، وفي صناعة مكوّنات صغيرة منها الشرائح، والبلاط، والبلاطات التزيينيّة لحرف التقاء الأسطح المائلة. تصنّع شرائح الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة لتحاكي ملمس ولون الأردواز الطبيعي. يُدخل بعض المصنّعين خلطات من ألياف اصطناعية من غير الأسبستوس مع صباغات ومواد مالئة لإنتاج طيف من المنتجات الملوّنة بإنهاءات لامعة أو مَت (غير لامعة) أو معرّقة.

(الشكل 6.11) عناصر من الإسمنت المسلّح بالألياف الزّجاجيّة. الصورة بإذن (Trent Concrete Ltd.).

الجص المسلّح بالألياف الزّجاجيّة

يجمع الجص المسلّح بالألياف الزّجاجيّة (GRG)، بين عدم قابلية الاحتراق لطينة الجص، ومتانة التّسليح لألياف الزّجاج. تحتوي المنتجات عادة على 5% من

ألياف الزّجاج المعيارية، من الصّنف (E)، التي تحسّن كثيراً مقاومة الصدم، بالإضافة إلى مقاومة الحريق. وتتوفّر المنتجات التجاريّة من الجص المسلّح بألياف الزّجاج، كألواح معيارية، وكأنظمة تغليف لوقاية الفولاذ من الحريق، وكألواح جداريّة تزيينيّة. كما في جميع منتجات الجص، يجب أن لا يُستعمل الجص المسلّح بألياف الزّجاج، في الظروف الرّطبة أو عند درجات حرارة تتجاوز بانتظام 50 درجة مئويّة.

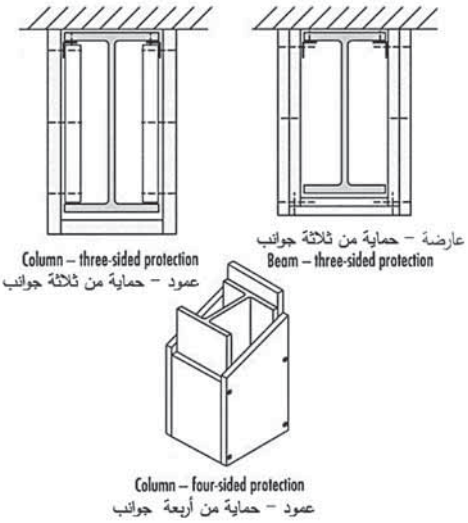
ألواح الجص المسلّح بألياف الزّجاج

تُصنع الألواح المعيارية، التي تتوفر في مجال من السّماكات من 5 إلى 15 mm، بنواة من الجص المسلّح بألياف الزّجاج، ونسيج من ألياف الزّجاج، ويوضع مباشرة تحت طبقات الجبص. وتناسب المادّة طيفاً واسعاً من التطبيقات، من بينها تبطينات الجدران، والسّقوف، والمواقع الخارجيّة المحميّة، كالسقوف المستعارة الخارجية. كما يمكن بسهولة قص المادّة في الموقع، وتثبيتها بالمسامير أو البراغي، بالإضافة إلى ذلك، بسبب فعل التسليح بالليف الزّجاج، يمكن حنيها لتناسب السّقوف القوسيّة. بحيث يعتمد نصف القطر الأصغري للانحناء على سماكة اللّوح. حيث تمتلك المادّة إنهاءً عاجيّاً أملس، ويجب إغلاق الوصلات قبل تنفيذ طينة إنهاء الألواح.

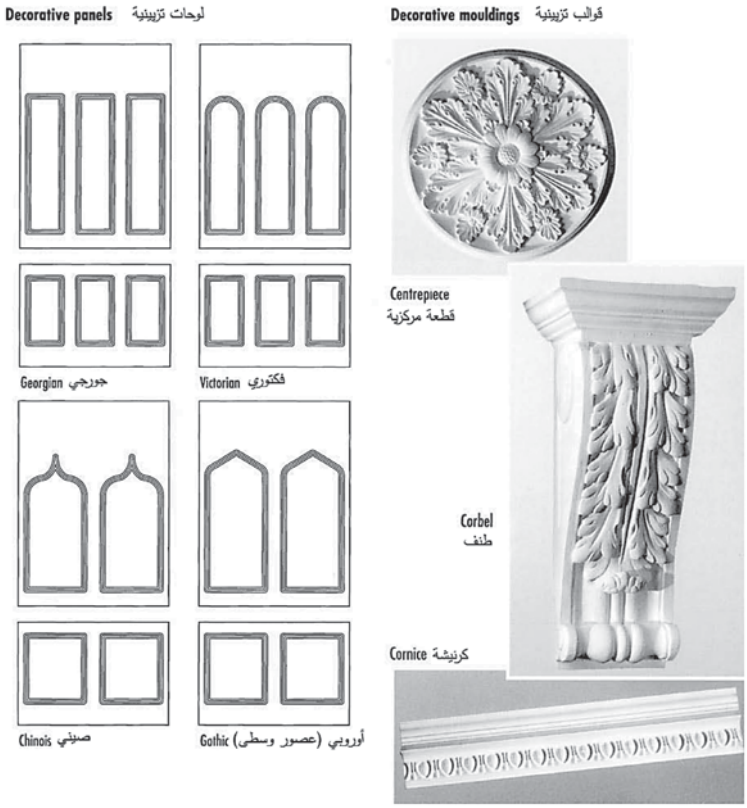
لحماية أشغال الفولاذ من الحريق، تتوفّر ألواح عالية الأداء من الصّنف 0 بسماكات 15، و20، و25، 30 mm. بحسب عامل مقطع الفولاذ (Hp/Am^{-1}). بطبقات مضاعفة ووصلات متداخلة، يمكن تحقيق مقاومة للحريق تصل إلى 120 دقيقة (الشكل 7.11). بمثبتات فولاذية خاصة على الأشغال الفولاذية، يمكن تحقيق مقاومة للحريق تصل إلى 180 دقيقة، وذلك باستعمال ألواح الجبص المسلّح بألياف الزّجاج.

ألواح وعناصر الجص التزيينية المسلّحة بألياف الزّجاج

يمكن استعمال الألواح التزيينيّة المصنّعة بطيف من التصاميم، كألواح لتلبيس الجزء السّفلي من الجدران (Dado) أو كلوحات جداريّة (الشّكل 8.11). تُستعمل مسحات خفيفة من مادّة مانعة للتسرّب في البداية لتثبيت الألواح بالجدران القائمة، والسّماح بالضبط المستوي مع الإنهاء. يمكن طلاء الألواح بعد وصلها.



(الشكل 7.11) الحماية من الحريق بألواح الجبص المسلح بألياف الزجاج.



(الشكل 8.11) عناصر إكساء تزييني من الجص المسلح بألياف الزجاج.

تتوفّر بلاطات للأسقف مصنّعة من الجص المسلّح بألياف الزّجاج بطيف واسع من التصاميم، من بينها الأملس، والخشن، والمنمّط، وبسطح مفتوح أو مغلق الخليّة، بحواف مربّعة أو مستدّقة أو مشطوفة. مع أنّ بعض المصنّعين ينتجون طيفاً واسعاً من الوحدات إلا أن المعيار النموذجي هو عادةً 600 x 600 mm. للجبص المسلّح بألياف الزجاج خواص جيّدة لمقاومة الحريق، فهو غير قابل للاحتراق وفقاً للمعيار البريطاني (BS 476 part 4:1970)، وهو من الصّنف 1 للانتشار السّطحي للّهب وفقاً للمعيار البريطاني (BS 476 part 6:1989)، وحتّى من الصّنف 0 وفقاً لأنظمة البناء، الفقرة (E15)، ومن الصّنف الأوروبي (A2-s1,d0)، (لا مساهمة تُذكر في حمل الحريق، غير ناشر للدخان أو مُصدر لقطرات ملتهبة). فهو لا يصدر أبخرة ضّارّة في الحريق. تُعد البلاطات الصّوتيّة ذات الخواص المحسّنة لامتصاص الصوت وتخفيته عادةً جزءاً من المجال المعياري، الذي يمكن أيضاً أن يشمل مقاسات إمبراطورية لأعمال الترميم.

يُصنّع طيف واسع من عناصر تزيينيّة صغيرة بالجص المسلّح بألياف الزّجاج، منها الكورنيشات، والأفاريز المجوّفة، والقطع المركزيّة في السقوف (بحرات)، والطنوف، والأعمدة، والأقواس، والفجوات الحائطيّة (المشكايات).

المراجع

FURTHER READING

British Gypsum. 2009: *The white book*. Loughborough: British Gypsum Ltd.

British Gypsum. 2009: *The fire book*. Loughborough: British Gypsum Ltd.

Concrete Society. 2004: *Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials*. 2nd ed. Technical Report 55. Camberley: Concrete Society.

Cripps, A. 2002: *Fibre-reinforced polymer composites in construction*. Publication C 564. London: CIRIA.

Glassfibre Reinforced Cement Association. 2006: *GRC in action (2006 revision)*.Wigan: Glassfibre Reinforced Cement Association.

IGRCA. 2007: *Practical design guide for glass reinforced concrete using limit state theory*. Camberley: International Glassfibre Reinforced Cement Association.

Shenoi, R., Moy, S. and Holloway, L. (eds.) 2002: *Advanced polymer composites for structural applications in construction*. London: Thomas Telford.

Transport Research Laboratory. 2008: *Fibre reinforced concrete update (2005-*

2008). CT125-3. Wokingham: Transport Research laboratory.

STANDARDS

BS PL 4: 2005 Properties of unsaturated polyester resins for lowpressure laminating of high strength fibre reinforced composites. Specification.

BS PL 5: 2005 Unsaturated polyester resins for low pressure laminating of high strength fibre reinforced composites. Test methods.

BS PL 6: 2005 Properties of unsaturated polyester resins for low pressure laminating of glass fibrereinforced composites. Specification.

BS PL 7: 2005 Unsaturated polyester resins for low pressure laminating of glass fibre reinforced laminates. Test methods.

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 4: 1970 Non-combustibility test for materials.

Part 6: 1989 Methods of test for fire propagation for products.

Part 7: 1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products.

BS 4592 Industrial type flooring and stair treads:

Part 4: 2006 GRP open bar gratings. Specification.

Part 5: 2006 Solid plates and metal in GRP. Specification.

Part 6: 2008 GRP moulded open mesh gratings and protective barriers. Specification.

BS 5544: 1978 Specification for anti-bandit glazing (glazing resistant to manual attack).

BS 6206: 1981 Specification for impact requirements for flat safety glass and safety plastics for use in buildings.

pr BS ISO 10406: 2007 Fibre reinforced polymer (FRP) reinforcement of concrete. Test methods.

BS ISO 14127: 2008 Carbon-fibre reinforced composites. Determination of the resin, fibre and void contents.

BS ISO 22314: 2006 Plastics. Glass-fibre reinforced products. Determination of fibre length.

BS ISO 25762: 2009 Plastics. Guidance on the assessment of fire characteristics and fire-performance of fibre reinforced composites.

BS EN 492: 2004 Fibre-cement slates and fittings. Product specification and test methods.

BS EN 494: 2004 Fibre-cement profiled sheets and fittings. Product specification and test methods.

BSEN1013-2: 1999 Light transmitting profiled sheet for single skin roofing (GRP).

BS EN 1169: 1999 Precast concrete products. Factory production control of glass-fibre reinforced cement.

BS EN 1170 Precast concrete products. Test method for GRC:

Part 1: 1998 Measuring the consistency. Slump test method.
Part 2: 1998 Measuring the fibre content in fresh GRC.
Part 3: 1998 Measuring the fibre content in sprayed GRC.
Part 4: 1998 Measuring bending strength. Simplified bending.
Part 5: 1998 Measuring bending strength. Complete bending.
Part 6: 1998 Determination of the absorption of water.
Part 7: 1998 Measurement of extremes of dimensional variations.
Part 8: 2008 Cyclic weathering type test.
BS EN 1447: 2009 Plastics piping systems. Glass reinforced thermoplastics (GRP) pipes.
BS EN 1796: 2006 Plastics piping systems for water supply. GRP based on unsaturated polyester resin (UP).
BS EN 12467: 2004 Fibre-cement flat sheets. Product specification and test method.
BS EN 13121-3: 2008 GRP tanks and vessels for use above ground. Design and workmanship.
BS EN 13280: 2001 Specification for glass fibre reinforced cisterns.
BS EN 14649: 2005 Precast concrete panels. Test method for strength retention of glass fibres in cement and concrete.
BS EN 14845 Test methods for fibres in concrete: Part 1: 2007 Reference concretes.
Part 2: 2006 Effect on concrete.
pr EN 15191: 2009 Precast concrete products. Classification of glass fibre reinforced concrete performances.
BS EN 15422: 2008 Precast concrete products. Specification for glass fibres for reinforcement of mortars and concretes.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT

PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 405: 2000 Polymer composites in construction.
BRE Digest 442: 1999 Architectural use of polymer composites.
BRE Digest 480: 2004 Wood plastic composites and plastic lumber.

BRE Good repair guide

BRE GRG 34: 2003 Repair and maintenance of FRP structures.

BRE Information papers

BRE IP 7/99 Advanced polymer composites in construction.

BRE IP 19/01 The performance of fibre cement slates.
BRE IP 10/03 Fibre reinforced polymers in construction: durability.
BRE IP 11/03 Fibre reinforced polymers in construction: predicting weathering.
BRE IP 2/04 Wood plastic composites: market drivers and opportunities in Europe.
BRE IP 4/04 Recycling fibre reinforced polymers in the construction industry.
BRE IP 5/04 Fibre reinforced polymers in construction.

BRE Reports

Report 405: 2000 Polymer composites in construction.
Report 461: 2003 Fibre reinforced polymers in construction: long-term performance in service.
Report 467: 2004 Recycling fibre reinforced polymers in construction: a guide to best practicable environmental option.
Report FB8: 2004 Effective use of fibre reinforced polymer materials in construction.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Plastics Federation, 6 Bath Place, Rivington Street, London EC2A 3JE, UK (020 7457 5000).

Glassfibre Reinforced Concrete Association, Concrete Society, 4 Meadows Business Park, Station Approach, Camberley, Surrey GU17 9AB, UK (01276 607140).

12

مواد الطّينة والألواح

مقدمة

أدخل الرومان إلى بريطانيا التطيين المعتمد على الكلس. وكان يُستعمل أصلاً في بريطانيا لتقوية وختم السّطوح، وتقديم بعض الحماية من الحريق في حالة المواد القابلة للاحتراق، لكن بحلول القرن الثامن عشر تمّ إدراك قيمته كإنهاء تزييني. إن استعمال الطينة الجصّية كمادة ختم وكمادّة تزيينيّة من قبل حضارة المينوان (Minoan) موثّق جيّداً، وتعتمد الممارسة العمليّة الحاليّة في المملكة المتحدة على الجص [الجص] (كبريتات الكالسيوم المائية) أكثر من الكلس. ويستخرج الجص من ترسّبات جيولوجية نتجت عن التبخّر التدريجي لبحيرات تحتوي على الفلز؛ وهناك احتياطات هائلة منه في المملكة المتحدة بشكل رئيس في شمال إنجلترا، وفي شرق المناطق الوسطى أيضاً.

تاريخيّاً، استُعمِلت المواد اللّيفية لتسليح الطّينة، وبشكل خاص للتحكّم في الانكماش في طينة الكلس. تقليدياً، كان شعر الثيران والخيول والماعز هو المواد المعيارية، لكن استُعمِل أيضاً القش وألياف القنّب الهندي والخيش. وكانت غصينات البندق المتشابكة أول مسند خفيف للطّينة، لكن بحلول القرن الخامس عشر أصبحت شرائح الخشب المفلوق شائعة. وعليه فالمكافئ الحديث هو استعمال شبك معدني ممدّد من الفولاذ المغلفن أو غير القابل للصدأ.

طينة الجّص

تصنيع طينة الجّص

يُستَخرج الجص الصّخري، ثمّ يُكسَّر ويُطحَن إلى مسحوق ناعم. ويمكن أن يكون الفلز الطبيعي أبيض اللّون أو ورديّاً فاتحاً، أو رماديّاً أو بنّيّاً، نتيجة كميّات صغيرة من الشوائب التي لا تؤثر في المنتَج. فبالتسخين إلى درجات حرارة تتراوح بين 130 ـ 170 درجة مئويّة، يتم طرد الماء من الجص المتميّه؛ ويعتمد نوع الطينة الناتجة بشكل كبير على مدى عمليّة سحب هذا التميّه.

$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow{130^oC} CaSO_4.1/2H_2O \xrightarrow{170^oC} Ca\ SO_4$$

الجص اللامائي نصف المتميّه الجص المتميّه

يعرّف المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 13279-1:2008) طينة الجص بما فيها تلك المنتجة للأغراض الخاصّة. وتم تعريف ألواح الجص في المعيار (BS EN 520: 2004).

أنواع الطّينة

طينة باريس

تُنتج طينة باريس، من طريق طرد ثلاثة أرباع المحتوى المائي من الجص المتميّه الطبيعي. حيث تتجمّد طينة باريس بشكل سريع جدّاً عند إضافة الماء، لذلك تُستعمل غالباً كمادّة لصنع القوالب.

طينة الجص نصف المتميّه المؤخَّر التصلّب

تعتمد معظم أنواع الطينة المستعملة حاليّاً في التشييد، على الجص نصف المتميّه مؤخَّر التصلّب. إن إضافة كميّات مختلفة من عنصر مؤخِّر للتصلّب، عادة الكيراتين (keratin)، وتُستَعمل لضبط زمن التجمّد (عادةً بين 1.5 و 2 ساعة) للمنتجات المختلفة. تشمل الإضافات والمزائج الأخرى، المواد المالئة، والألياف، والكلس، والحصويّات الخفيفة، والصباغات، ومؤخِّرات التصلب والملدّنات.

أنواع روابط وطينة الجص (BSEN13279- 1: 2008)

الرمز	التسمية
A	رابط من الجص للمعالجة الإضافية
A1	روابط من الجص للاستخدام المباشر
A2	روابط من الجص للاستخدام المباشر في الموقع
A3	روابط من الجص للمعالجة الإضافية
B	طينة من الجص
B1	طينة بناء من الجص
B2	طينة بناء أساسها الجص 50٪ جبس كحد أدنى)
B3	طينة بناء من الجص والكلس (كلس 5٪ >)
B4	طينة بناء من الجص خفيفة الوزن (حصويات عضوية أو لا عضوية)
B5	طينة بناء أساسها الجص خفيفة الوزن
B6	طينة بناء من الجص والكلس خفيفة الوزن
B7	طينة من الجص ذات قساوة سطح محسنة
C	طينة من الجص للأغراض الخاصة
C1	طينة من الجص لأشغال الطينة بالأليف
C2	ملاط من الجص
C3	طينة ماصة للصوت
C4	طينة عزل حراري
C5	طينة واقية من الحريق
C6	طينة غطاء رقيق، منتج إنهاء
C7	منتج إنهاء

طينة الأساس والطينة الأحادية الطبقة

المكوّنات الرّئيسة لطينة الأساس والطينة أحاديّة الطّبقة، هي الجص نصف

المتميّه المؤخَّر التصلّب، مع حصويّات خفيفة للمنتجات خفيفة الوزن، ومع كميّات صغيرة من الحجر الكلسي، والجص غير المتميّه، والصلصال والرّمل. إضافةً إلى إدخال مواد أخرى، لضبط مواصفات المنتج، وزمن التجمّد الّذي يتراوح عادةً بين ساعة وساعتين. وهكذا يُضاف الكلس إلى طينة الأساس، وللخلفيّات ذات المصّ المرتفع، وينبغي عندها إضافة عنصر احتفاظ بالماء أيضاً. فعلى سبيل المثال، يعدّ منتج براونينغ (Browning) مناسباً للاستعمال على الخلفيّات ذات الامتصاص المتوسّط والمرتفع، والتثبيت الميكانيكي الجيّد (كأشغال الآجُرّ والبلوك)، لكن على السّطوح الملساء أو الخلفيات منخفضة الامتصاص كالخرسانة، إذ يتطلب الأمر تنفيذ طلاء رابط تمهيدي. وللحصول على مقاومة صدم أعلى يُضاف الإسمنت وخبث الفرن العالي المحبحب، ويُضاف الحجر الكلسي للطّينة وحيدة الطبقة. ويمكن أن تكون التطبيقات النموذجيّة للجدران 11 mm لطبقة الأساس، مع طبقة إنهاء 2 mm، أو بتطبيق طبقة وحيدة بسماكة 13 mm. حيث تكون عادةً طبقة الأساس للأسقف 8 mm، مع طبقة إنهاء 2 mm. ويُنصح بسماكة إجمالية أعظميّة للطينة قدرها 25 mm.

طينة طبقة الإنهاء

المكوّن الرئيس لطبقة إنهاء الطينة، على نحوٍ مشابه لطينة الأساس، هو الجص نصف المتميّه المؤخَّر التصلّب، لكن مع قليلٍ من الكلس لتسريع التجمّد. وتحتوي المنتجات الخفيفة الوزن الفيرميكولايت المبشور (Exfoliated Vermiculite). وتبلغ عادةً سماكة طبقات الإنهاء على السّطوح أشغال البناء 2 mm، وتُطبّق طينة إنهاء الألواح عادةً بسماكة 2 ـ 3 mm.

الطينة الخفيفة الوزن

تحتوي الطينة الخفيفة الوزن عادةً على البرلايت المتمدِّد اللاعضوي، أو الفيرميكولايت المبشور، ولكن يمكن أن تستعمل أيضاً حصويّات عضويّة خفيفة الوزن. يوضّح الجدول 1.12 مجال الكثافات والناقليّات الحراريّة المرافقة.

الخلفيات المعدة للطينة

تلتصق الطينة بالخلفيّة من طريق العمل المشترك للتعشيق الميكانيكي والالتصاق. ويجب أن تكون الخلفيّات نظيفة، وجافّة، وخالية من الملوّثات الأخرى، كما يجب أن تكون مواصفة الطينة ملائمة لامتصاص سطح الخلفيّة.

فعندما يكون ممكناً، كما في حالة أشغال الآجُرّ، لا بدّ من الحصول على تعشيق ميكانيكي جيّد، من طريق إحداث ترجع في ملاط الوصلات. وعلى المواد القاسية منخفضة الامتصاص كالخرسانة الملساء وبلاط السيراميك، لا بدّ من تطبيق خلّات متعدّد الفينيل (PVA)، أو عنصر رابط خاص. وعلى نحوٍ مشابه، وبغية ضبط الامتصاص المرتفع في السطوح التحتيّة كبلوك الخرسانيّة المساميّة، يمكن تطبيق عنصر رابط، أو ترطيب السطوح التحتيّة قبل تطبيق الطينة. ومع ذلك يمكن تطبيق الطينة مباشرةً على البلوك من الخرسانة المصنّعة بحصويّات كثيفة من دون ترطيب تمهيدي. حيثما يُطبّق طبقتان أو أكثر من الطينة، ينبغي خدش الطبقات التحتيّة، لضمان الالتصاق الجيّد للطبقة اللاحقة. إذا طُبّقت طينة الجص بشكل صحيح، لا تنكمش أو تتشقّق عند الجفاف، ويمكن تطبيق الطبقات اللّاحقة بتعاقبٍ سريع.

الجدول 1.12 علاقة نموذجية بين الكثافة والناقلية الحرارية لطينة الجص

الكثافة (m^3/kg)	الناقلية الحرارية (m3/watt)
600	0.18
700	0.22
800	0.26
900	0.30
1000	0.34
1100	0.39
1200	0.43
1300	0.47
1400	0.51
1500	0.56

ألواح الطينة

يتألّف لوح الطينة من لبّ من الجص ملتصق ببطانة ورقيّة قويّة. فلمعظم ألواح الجدران سطح فاتح اللون لتطبيق أعمال الزينة عليه مباشرة أو لمد طبقة رقيقة من الطينة وسطح آخر رماديّ اللّون. ويمكن أن يكون السّطح التزييني إمّا مستدّقاً، وأما

مربّعاً. وتكون قياسات الألواح المعياريّة بعرض 1200 mm و900 mm، لتتوافق مع أنظمة التقطيع بقوائم خشبيّة أو معدنيّة. ويمكن قصّ ألواح الطينة بالمنشار أو تحزيزها وقصفها. كما يجب دق مسامير التثبيت بشكل مستقيم حتى تغور قليلاً، لكن من دون أن يتمزّق السّطح الورقي. بدلاً من ذلك، يمكن تثبيت الألواح بالبراغي. السّماكات المعياريّة هي 12.5 mm، و15 mm، و19 mm، مع أنه يمكن الحصول أيضاً على ألواح بسماكة 9.5 mm.

فالأصناف المقاومة للرّطوبة هي فقط من ألواح الطينة (النّوع H)، تتطلّب عادةً تطبيق مادة رابطة قبل التطيين. تمتلك هذه الألواح لبّاً مقاوماً للماء وبطائن معالجة، لهذا يمكن استعمالها في الظروف الرّطبة والنديّة كالمطابخ أو الحمّامات، وخلف الإنهاءات الخارجيّة كأشغال التبليط الشّاقوليّة، والألواح المقاومة للعوامل الجويّة، أو في المواقع الخارجيّة المحميّة من المطر المباشر.

تقدّم الألواح المقاومة للحريق (النوع F)، المتوفّرة بسماكات 12.5 و15 mm والمُسلّحة بالألياف الزّجاجيّة، مقاومة للحريق تزيد على ما تقدّمه ألواح الجص المعيارية. يتمّ ترميز الألواح المقاومة للحريق باللّون الوردي. تُسلّح الألواح المقاومة للصّدم أيضاً بالألياف الزجاجيّة، ولها بطانة ورقية عالية المقاومة. والجص المسلّح بالألياف الزّجاجيّة موصوف في الفصل الحادي عشر: البلاستيك والإسمنت والجص المسلحة بالألياف الزجاجية.

لألواح العزل الصوتي المرمزة باللون الأزرق، لبّاً من الجص المعدل، مما يجعلها أثقل وزناً من ألواح الجدران المعيارية. ويعزّز الوزن الزّائد من تخفيف الصّوت بمقدار يصل إلى 5 ديسيبل (5 dB Rw)، مقارنة بلوح الجص المعياري. حيث توفّر ألواح العزل الصّوتي أداءً صوتيّاً محسّناً عند استعمالها مع تفاصيل قويّة. وتتطلّب الوثيقة المصدّقة من أنظمة البناء، الجزء E (مقاومة مرور الصّوت)، كتلةً سطحيّة مقدارها 10 كغ/م^2 للوح الطينة الفاصل والجدران الدّاخليّة وأيضاً الأرضيّات.

تستعمل ألواح الجص الثّقيلة 19 mm، المنتجة بعرض يصل إلى 600 mm، في الجدران والسّقوف والأرضيّات، لتتوافق مع متطلّبات أنظمة البناء، عند التشييد وفقاً للتفاصيل القويّة (Robust Details).

وتتوفّر الألواح بإنهاء من الـ (PVC)، وبخلفيّة من رقائق الألومنيوم أو مغلّفة

لمادة العزل (البوليستيرين المتمدّد، أو البوليستيرين المبثوق، أو رغوة الفينوليك، أو الصوف المعدني)، وذلك للحصول على خواص حراريّة محسّنة. (الناقليّة الحراريّة للوح الطينة القياسي هي 0.19 w/m.k).

أنواع ألواح الجص (BSEN 520: 2004)

النوع	التسمية
A	لوح طينة من الجص بوجه مناسب لطبقة إنهاء من الجص أو للتزيين
H	لوح طينة من الجص بمعدل امتصاص ماء مخفض
E	لوح مغلف بالجص للجدران الخارجية ولكن ليس معرض بشكل دائم للظروف الجوية
F	لوح طينة من الجص بتماسك لب محسن عند درجات الحرارة العالية
P	لوح طينة من الجص ليستقبل طينة من الجص
D	لوح طينة من الجص بكثافة مضبوطة
R	لوح طينة من الجص بمتانة محسنة
I	لوح طينة من الجص بقساوة سطح محسنة

ملاحظة: بعض الألواح تجمع أكثر من تسمية

أنظمة ألواح الطينة

يمكن تشييد جدران داخلية غير الحاملة من ألواح الطينة، باستعمال أنظمة من القوائم المعدنيّة الخاصّة، أو كجدران من القوائم الخشبيّة التقليديّة. وحيث يكون ملائماً، يجب حشر العزل الصوتي ضمن أحياز الفارغة. ويمكن تثبيت التبطين الجاف على أشغال البناء بلطخ من مادّة لاصقة، أو بديلاً من ذلك بتأطير معدني أو خشبي. تستند أنظمة السّقوف المعلّقة من ألواح الطينة عادةً إلى هيكل فولاذي خفيف الوزن مثبّت مباشرة على الخرسانة أو الخشب. كما يمكن الحصول على سطوح محدّبة أو مقعّرة. ويمكن تخفيض انتقال الصّوت عبر أرضيّات الطوابق العليا الموجودة والمستندة إلى عوارض خشبيّة، بواسطة الجمع بين ألواح الطينة المركّبة بشكل مرن و**عزل الصوف** المعدني. ويمكن تحقيق المتطلّبات الصّوتيّة

لأنظمة البناء، الوثيقة المصدّقة (E)، للأبنية السّكنيّة باستعمال التفاصيل القويّة. إذ يحدّد المعيار البريطاني الأوروبي (BS EN 14195:2005) مكوّنات أنظمة ألواح الطينة ذات التأطير المعدني.

بلاطات الأسقف من ألواح الطينة

تتوّفّر بلاطات ألواح الطينة للأسقف في مجال من الإنهاءات الملساء وغير الملساء والمثقّبة، لإنتاج مستويات متعدّدة من خواص عزل وامتصاص الصّوت. حيث تكون البلاطات المعيارية بأبعاد (600 x 600 mm) للتثبيت على تأطير معدني تحتي. تُصنف في مقاومة الحريق من الصّنف (Class 0) والصّنف الأوروبي (A2-sl, d0).

ألواح الجص المسلّح بالألياف

تُصنّع ألواح الجص المسلّح بالألياف، إما بألياف طبيعيّة أو زجاجيّة. تمّ وصف الجص المسلّح بالألياف الزّجاجيّة (GRG) في الفصل الحادي عشر.

تُصنّع ألواح الجص المسلّح بالألياف الطّبيعيّة، من ألياف السيلولوز الناتجة عادةً من الورق المعاد التدوير، أو من ألياف الخشب ضمن خلطة الجص. ويمكن أن تكون الألواح منتظمة بألياف منثورة، أو مصفّحة برقائق من الجص المسلّح المنسوج أو غير المنسوج، لتغلّف لب من البرلايت والجص. وتكون الألواح مقاومة للصّدم والحريق، وتُثبّت بسهولة إلى التأطير الخشبي أو المعدني أو إلى أشغال البناء بمسامير، أو ببراغي، أو بخرزات أو بلاصق كنظام التبطين الجّاف. فمقاس الألواح القياسيّة هو (1200 x 2400 mm)، بسماكات تتراوح عادةً بين 12.5 و18 mm. تُملأ الوصلات أو تُغطّى بشريط لاصق، وتقوّى الزّوايا بزوايا معدنية [خرزات] (Corner Beaded)، كما في حالة منتجات ألواح الطينة المعيارية. ويوفّر لوح مركّب من الجص المسلّح بالألياف والبوليستيرين المتمدد خواص عزل محسّنة. تم تعريف ألواح الجص المسلحة بالألياف في المعيار البريطاني الأوروبي BS EN 15283:2008. (الناقليّة الحراريّة للوح الجص الذي يحتوي على 13% من ألياف خشبيّة تساوي إلى 0.24 w/m.k).

أنواع ألواح الجص المسلحة بالألياف (BSEN 15283: 2008)

النوع	التسمية
GM	لوح جص بحصيرة تسليح
GM-H1, GM-H2	لوح جص بحصيرة تسليح وبمعدل امتصاص ماء مخفض
GM-I	لوح جص بحصيرة تسليح وبقساوة سطح محسنة
GM-R	لوح جص بحصيرة تسليح وبمتانة محسنة
GM-F	لوح جص بحصيرة تسليح وبتماسك لب محسن عند درجات الحرارة العالية
GF	لوح جص بالألياف
GF-H	لوح جص بالألياف وبمعدل امتصاص ماء مخفض
GF-W1, GF-W2	لوح جص بالألياف وبمعدل امتصاص سطحي للماء مخفض
GF-D	لوح جص بالألياف وبكثافة محسنة
GF-I	لوح جص بالألياف وبقساوة سطح محسنة
GF-R1, GF-R2	لوح جص بالألياف وبمتانة محسنة

الطينات الخاصّة

طينة التجديد

تُستَعمل طينة التجديد عندما يتم قشر الطينة الموجودة من على الجدران، خلال التنفيذ النّاجح لمدماك جديد عازل للرّطوبة. تحتوي طينة التجديد على حصويّات تحفّز جفاف السّطح عند تطبيقها على مبانٍ برطوبة متبقيّة، لكن ينبغي عدم استعمالها في المواقع الرطبة بشكل دائم الواقعة تحت مستوى الأرض. كما ينبغي عدم استعمالها حيثما تكون أشغال البناء ملوّثة بشكل كبير بالأملاح، كما في الأبنية التي لم تُشيَّد بمداميك عازلة للرّطوبة، وكذلك على أشغال الآجُرّ لأجزاء جدار صدر الموقد. تحتوي طينة التجديد على مبيد للفطريات لمنع نمو الفطريّات خلال عمليّة الجفاف.

الطينة المقذوفة

ترشّ الطينة المقذوفة على الخلفيّة من آلة قذف كشريط متواصل، تتدفّق

الطينة بشكلٍ كافٍ حتى تلتحم الشّرائط. يجب أن تُراكم الطينة حتى الوصول إلى السّماكة المطلوبة، وتُسوّى بالقدة ليصبح السطح منتظماً، تم تُعالج بالمالج حتى يصبح السطح مستوياً. وكما في جميع أشغال الطينة، يجب أن لا تُنفّذ في ظروف الصقيع، أو الحرارة الزائدة أو الجفاف. ويمكن أن تكون السماكة النموذجية على أشغال البناء 13 mm وينبغي ألاّ تتجاوز 25 mm.

الطينة الماصة للصّوت

للطينة الماصة للصّوت مستوىً لامتصاص الصّوت أعلى من طينة الجص المعيارية، بسبب مساميّتها وملمس سطحها. يُضاف مسحوق الألومنيوم إلى خلطة الطينة الرّطبة لإنتاج فقاعات صغيرة من غاز الهيدروجين، التي تبقى حبيسةً خلال تجمد الطينة، معطيةً بنيةً تشبه أعشاش النّحل. ويتألّف أحد أشكال لوح الطينة الماصة للصّوت من لوح جص متقّب، الذي يمكن أن يُدعّم بلباد من الصّوف الزّجاجي ماص للصّوت بسماكة 100 mm.

طينة الأشّعة السّينيّة

إنّ طينة الأشّعة السّينيّة هي طينة نصف متميهة مؤخَّرة التصلّب، تحتوي على حصويّات الباريتس (Barytes) (كبريتات الباريوم). حيث تستعمل كطينة أساس في المشافي وغيرها، حيث تكون الحماية من الأشّعة السّينيّة مطلوبة. وعلى نحوٍ نموذجي، تعطي طبقة من طينة الأشّعة السّينيّة بسماكة 20 mm المستوى ذاته من الحماية الذي توفّره صفيحة من الرّصاص بسماكة 2 mm، شريطة أن تكون خالية من الشّقوق.

الطينة المزخرفة

كثيراً ما تطبّق الطينة المزخرفة، على السّقوف من ألواح الطينة. يمكن إنجاز تشكيلة من أنماط وملامس مختلفة. ويمكن ترك السّطح المزركش كإنهاء أبيض طبيعي أو طلاؤه حسب الطلب.

الطينة اللّيفية

الطينة اللّيفية هي طينة باريس المسلّحة بألياف القنب الهندي، أو بألياف الحبال، أو بألياف الخيش، أو بالألياف الزّجاجيّة، أو بشبكة من الأسلاك أو بشرائح خشبيّة. تستعمل للصّب في القوالب، ولأشغال الطينة الزخرفيّة، كواجهات

المواقد، والكورنيشات التزيينيّة، والجزء السفلي من الجداران، والأفاريز، والإطارات المحيطة باللّوحات الجداريّة، والطنوف، والقطع المركزيّة في السقوف في كل من أعمال الترميم، والأعمال الجديدة. ويمكن أن تكون مادّة التسليح ابتدائية على شكل ألياف عشوائيّة أو مادّة صفائحيّة، أو متممّة كشرائح الخشب الطّري أو مقاطع فولاذيّة خفيفة الوزن. تمّ وصف الطينة اللّيفية. في المعيارين (BS EN 13815:2006) و(BS EN 15319:2007)

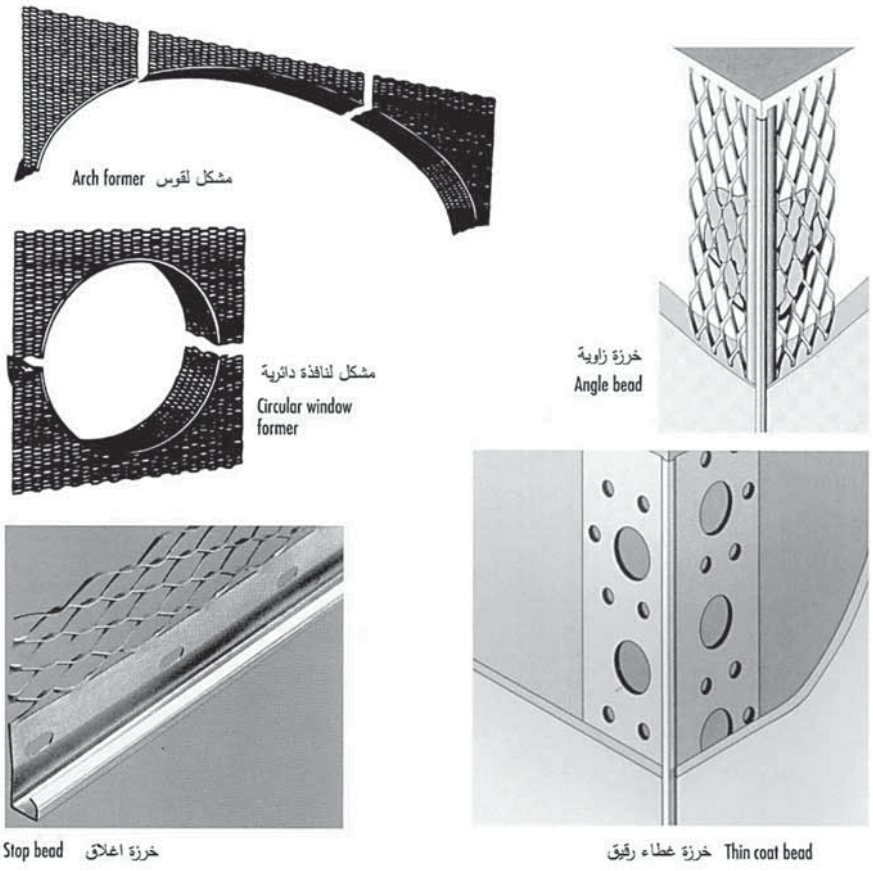
الطينة من مادة متغيّرة الطّور

إنّ طريقةً بديلة لتثبيت درجات حرارة الغرفة الدّاخليّة، عدا عن استعمال كتلة حراريّة، تتمثّل في إدخال مواد متغيّرة الطّور في نسيج البناء. أحد المقاربات هو استعمال طبقة من طينة الجص المحتوية على 26-30% من حجمها من مادّة متغيّرة الطّور. ويستعمل أحد الأنظمة التجاريّة الشّمع المغلّف ضمن حبيبات بقياس 3 ميكرومتر من بولي فينيل الكحول، المشكّلة بالتشتيت، ثمّ المجفّفة إلى مسحوق بمقاس 0.1 ـ 0.3 mm، للخلط في الجص. كما يخضع الشّمع لتغيّر في الطّور عند درجة الحرارة 23 أو 26 درجة مئويّة، ممتصّاً حرارة عندما يذوب، محرّراً إيّاها عندما يتصلّب. تمتلك طبقة بسماكة 30 mm من طينة الجبص متغير الطّور تأثير استقرار حراري مكافئ لكتلة من الخرسانة بسماكة 180 mm، ولكتلة من الآجُرّ بسماكة 230 mm، ويكافئ لوح جص متغير الطور سماكته 15 mm خرسانة بسماكة 100 mm. يمكن استعمال الألواح لتبطين السّقوف أو الجدران حسبما يكون ذلك ملائماً، ويجب تحديد درجة حرارة تغير الطّور. الكلفة الحاليّة هي من مرتبة عشرة أضعاف كلفة لوح الطينة المعيارية.

ملحقات أشغال الطينة

الخرزات

تُصنّع خرزات الزّاويّا والإغلاق من شرائح مثقّبة من الفولاذ المغلفن أو غير القابل للصدأ، أو المعدن المتمدّد. وتوفّر خطوط التقاء أو زويا مستقيمة تماماً محميّة، للطينة التقليدية على أشغال البناء أو على ألوح الطينة رقيقة الغطاء. وتُصنّع أنظمة خاصّة بشكل مشابه من الفولاذ المثقّب المغلفن او المقاوم للصّدأ، لتشكيل فواصل حركة في أنظمة التبطين الجّاف (الشكل 1.12). تم تعريف هذه المكوّنات في المعيار (BS EN 14353:2007).



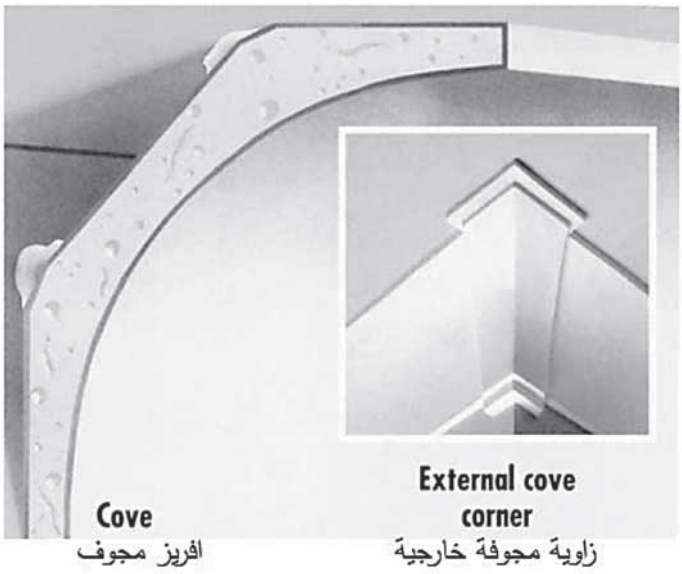
(الشكل 1.12) خرزات الطينة والمُشكّلات القوسية.

قماش وشريط الوصل

يستعمل شريط قماشي، وهو مادّة مفتوحة النّسيج، على طول الوصلات بين ألواح الطينة وفي نقاط الاتّصال بين الطينة ولوح الطينة. ويتوفّر شبكة من ألياف الزّجاج ذاتيّة الالتصاق، وشريط قماشي تقليدي من القنّب الهندي. لمنع التشقق الناتج من الحركة الحرارية في وصلات ألواح الطينة، يعد الشريط الورقي المغموس في طبقة رقيقة من الطينة أكثر فعاليّة غالباً من الشريط القماشي ذاتي الالتصاق. ولقد تم تعريف الشريط الورقي ومركبات الغمس لألواح الجص في المعيار (BS EN 14353:2007).

المجوّفات والكورنيشات

تُصنّع المجوّفات والكورنيشات التزيينيّة من طينة الجص المغلّف ببطانة ورقيّة. يُسلّح الجص، في بعض الحالات، بالألياف الزّجاجيّة. ويمكن قص المكوّنات (الشكل 2.12) بالقياس المطلوب، بواسطة منشار، وتُثبّت عادةً بلواصق خاصة. الأبعاد المعيارية للمجوّفات هي 100 و127 mm.



(الشكل 2.12) مجوفات الطينة المسبقة التشكيل.

مدّات الجبص لتسوية الأرضيّات

يمكن استعمال مدّات تسوية من الجص للأرضيات الدّاخليّة، مصنّعة من خليط من الجص نصف المتميّه والحجر الكلسي وأقل من 2% من الإسمنت، كبديل عن مدّات التسوية التقليديّة من الرّمل والإسمنت، شريطة استعمال تغطية للأرضيّة. والمادّة هي ذاتيّة الصّقل ويمكن ضخّها. تُمدّ على غشاء من البوليتين بسماكة لا تقل عن 35 mm للمدات العائمة، ويمكن استعمالها فوق أنظمة التدفئة تحت الأرضيات. عند تجمدّها، للطينة الصّلبة بعمر 28 يوماً مقاومة ضغط لا تقل عن 30 MPa.

مقاومة مواد الطينة للحريق

تعطي منتجات الجص حماية جيّدة من الحريق، ضمن الأبنية بسبب تركيبها الكيميائي الأساسي. الجص في الطينة وألواح الطينة هو كبريتات الكالسيوم المائيّة ($CaSO_4.2H_2O$)، التي تحتوي على ماء للتبلور يساوي 21% تقريباً. عند تعرّضه إلى حريق، يُطرد هذا الماء المرتبط كيميائيّاً بالتدريج في شكل بخار. تمتص هذه العمليّة الطاقة الحراريّة المتولّدة من الحريق، مما يخفض بشكل ملحوظ انتقال الحرارة عبر الطينة، ويحمي بالتّالي المواد التي تحتها. تبدأ عمليّة نزع الماء من الجص على الوجه المجاور للحريق، وتعمل المادّة منزوعة الماء آنيّاً كونها ملتصقة بالجص الذي لم يتأثر بعد، كطبقة عازلة تبطّئ أي سحب إضافي للماء. حتّى بعد نزع كل ماء التبلور، يستمر الجص اللامائي المتبقّي بالعمل كطبقة عازلة، طالما احتفظ بسلامته. يزيد إدخال الألياف الزّجاجيّة في ألواح الجص، من تماسك المادّة أثناء الحريق. تُصنّف المواد الرّابطة الجصيّة والطينة الجصية بالصنف (A1) (لا مساهمة في الحريق) في حال احتوائها على أقل من 1% مواد عضوية.

إعادة تدوير منتجات الجبص

يتمّ انتاج نسبة كبيرة من الجص المستخدم في ألواح الطينة (ما يزيد على مليون طن سنويّاً)، كمنتج ثانوي لإزالة ثاني أوكسيد الكبريت من الغازات المنبعثة من حرق الفحم الحجري في محطّات توليد الكهرباء. تمتصّ روبة من الحجر الكلسي المطحون ثاني أوكسيد الكبريت، فتنتج كبريتات كالسيوم عالية النّقاوة. لكن يعتمد إنتاج هذا الجص الصناعي (المعروف بالجص مسحوب الكبريت، (Desulphogypsum) (DSG))، على استمرار توليد الكهرباء بواسطة محطّات حرق الفحم الحجري، وأيضاً على محتوى الكبريت في الفحم الحجري المستعمل. يمكن أن يخفّض الفحم الحجري منخفض الكبريت المستورد من أستراليا، إنتاج الجص مسحوب الكبريت.

إنّ نفايات ألواح الطينة في الموقع مرتفعة، تتراوح بين 10 إلى 25% من المادّة المسلّمة. يعدّ التخلّص منها في المكبّات محدوداً جدّاً، لأنّ الجص، بالاشتراك مع مواد قابلة للتحلّل الحيوي، يمكن أن ينتج كبريتيد الهيدروجين السّام. لذا يجب تجميع منتجات الجص في مواقع خالية من قابليّة التحلّل الحيوي. حاليّاً، يبلغ المحتوى الأعظمي للجص المعاد التّدوير المستعمل في ألواح الطينة 18%.

وتُصنَع البطائن الورقيّة لألواح الطينة من 97% ورق وكرتون (ورق مقوّى) معاد التدوير. على المصنّعين جمع كل الفائض من الموقع من منتجات الجص من ألواح وبلاطات أسقف، وتجويفات وجص مسلّح بالألياف الزّجاجيّة، لإعادة التّدوير إلى منتجات جديدة. وتعطي النّشرة (PAS 109:2008) مواصفة إنتاج الجص معاد التّدوير من نفايات ألواح الطينة.

طينة الكلس

تعدّ طينة الكلس المائي مناسبةً للتطبيقات الدّاخليّة، بشكل خاص على البنى التّرابيّة، وجدران الصلصال غير المشوي. وتُنفذ عادةً على طبقتين أو ثلاث طبقات، حيث تتطلّب الجودة الأفضل للعمل، نظام الثلاث طبقات. ففي هذه الحالة، تُنفذ طبقة بسماكة 13 mm من **المواد الخشنة** التي تحتوي على رمل بمقاس 5 mm، ونسبة واحد كلس إلى 2.5 رمل، يتبعها عند جفافها طبقة ثانية بسماكة مماثلة من خليط بنسبة واحد كلس إلى 3 رمل، ثم طبقة نهائية رقيقة بنسبة تتراوح بين واحد كلس إلى واحد رمل، وواحد كلس إلى 2 رمل. يمكن إضافة إضافات أخرى من بينها شعر الخيل وروث البقر، لتحسين خواص تجمّد طينة الكلس.

ألواح سيليكات الكالسيوم

تُصنع ألواح سيليكات الكالسيوم من السيليكا مع الكلس و/ أو الإسمنت، مضافاً إليها عادةً ألياف السيلولوز، أو لبّ الخشب الطّري والميكا أو حشوة من الفيرميكولايت المبشور، لإنتاج طيف من الكثافات. وتُرقّق المادّة عالية الكثافة تحت البخار والضغط، بينما تنتج المادّة منخفضة الكثافة بالدحي ثمّ المعالجة في الفرن (الأتوكلاف). تتميّز ألواح سيليكات الكالسيوم، كألواح الجص، بأنها غير قابلة للاحتراق. هي رمادية أو عاجيّة اللّون، وسهلة التقطيع، والتسمير. وتتميّز كذلك بالدّيمومة، وبمقاومتها للرّطوبة وللمواد الكيميائيّة وللصّدم، مع ثبات في الأبعاد، ونسبة جيّدة للمقاومة إلى الوزن. تتوّفر بمجال من الإنهاءات الصنعيّة الملساء أو غير الملساء للاستعمال الدّاخلي أو الخارجي، وتُصفّح أيضاً إلى البوليستيرين المبثوق للحصول على خواص عزل محسّنة. تشمل السّماكات المعيارية 4.5 و6.0 و9.0 و12.0 mm، بالرغم من توفر سماكات حتى 60 mm لألواح الفيرميكولايت خفيفة الوزن المستعملة للحماية من الحريق، معطيةً حماية من الحريق تصل إلى 240 دقيقة. وتشمل التطبيقات النموذجيّة، تبطينات الجدران

والسقوف والقواطع، والسقوف المعلّقة، والشرائح الشّاقولية والسّفلية في السقوف، وألواح مقاومة العوامل الجويّة، وحماية من الحريق لأشغال الفولاذ البنيوي. كما يمكن إنهاء ألواح الإكساء الخارجي بطينة مرشوشة أو مسوّاة بالمالج، لإنتاج إنهاء مستمر [غير ملحوم]. (النّاقليّات الحراريّة لألواح سيليكات الكالسيوم تقع عادةً في المجال 0.13 ـ 0.29 w/m.k بحسب تركيبها).

المراجع

FURTHER READING

British Geological Survey. 2006: *Gypsum*. London: Office of the Deputy Prime Minister.

BritishGypsum. 2009: *The white book*. Loughborough: British Gypsum Ltd.

British Gypsum. 2009: *The fire book*. Loughborough: British Gypsum Ltd.

Millar, W. and Bankart, G. 2009: *Plastering plain and decorative*. 4th ed. Shaftesbury: Donhead Publishing.

Sawyer, J. 2007: *Plastering*. Shaftesbury: Donhead Publishing.

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 4: 1970 Non - combustibility test for materials.

Part 6: 1989 Methods of test for fire propagation for products.

Part 7: 1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products.

BS 5270 Bonding agents for usewith
gypsum plasters and cement:

Part 1: 1989 Specification for polyvinyl acetate (PVAC) emulsion bonding agents for indoor use with gypsum building plasters.

BS 6100 Building and civil engineering. Vocabulary:

Part 9: 2007 Work with concrete and plaster.

BS 7364: 1990 Galvanized steel studs and channels for stud and sheet partitions and linings using screw

fixed gypsum wallboards.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 8: 1994 Code of practice for plasterboard partitions and dry linings.

BS 8212: 1995 Code of practice for dry lining and partitioning using gypsum plasterboard.

BS 8481: 2006 Design, preparation and application of internal gypsum, cement, cement and lime plastering systems. Specification.

BS 9250: 2007 Code of practice for the design of airtightness of ceilings in pitched roofs.

BSEN520: 2004 Gypsum plasterboards. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 998 Specification for mortar for masonry:

Part 1: 2003 Rendering and plastering mortar.

pr Part 3: 2006 Rendering and plastering mortar with organic polymer binding age.

BS EN 12859: 2008 Gypsum blocks. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 12860: 2001 Gypsum based adhesives for gypsum blocks. Definitions.

BS EN 13055-1: 2002 Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout.

BS EN 13139: 2002 Aggregates for mortar.

BS EN 13279 Gypsum binders and gypsum plasters:

Part 1: 2008 Definitions and requirements.

Part 2: 2004 Test methods.

BSEN13501 Fire classification of construction products and building elements:

Part 1: 2007 Classification using data from reaction to fire tests.

Part 2: 2007 Classification using data from fire resistance tests.

BS EN 13658 Metal laths and beads. Definitions, requirements and test methods:

Part 1: 2005 Internal plastering.

Part 2: 2005 External rendering.

BS EN 13815: 2006 Fibrous gypsum plaster casts. Definitions, requirements and test methods

BS EN 13914 Design, preparation and application of external rendering and internal plastering:

Part 1: 2005 External rendering.

Part 2: 2005 Design considerations and essential principles for internal plastering.

BS EN 13915: 2007 Prefabricated gypsum plasterboard panels with a cellular paperboard core.

BS EN 13950: 2005 Gypsum plasterboard thermal/ acoustic insulation composite panels. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 13963: 2005 Jointing materials for gypsum plasterboards. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 13964: 2004 Suspended ceilings. Requirements and test methods.

BS EN 14190: 2005 Gypsum, plasterboard products from reprocessing. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 14195: 2005 Metal framing components for gypsum plasterboard systems. Definitions, requirements and test methods.

BSEN14209: 2005 Preformed plasterboard cornices. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 14246: 2006 Gypsum elements for suspended ceilings. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 14353: 2007 Metal beads and feature profiles for use with gypsum plasterboards. Definitions, requirements and test methods.

BS EN 14496: 2005 Gypsum-based adhesives for thermal/acoustic insulation composite panels and plasterboards.

BS EN 14566: 2008 Mechanical fasteners for gypsum plasterboard systems. Definitions, requirements and test methods.

PD CEN/TR 15123: 2005 Design, preparation and application of internal polymer plastering systems.

BS EN 15254 Extended application of results from fire-resistance tests:

Part 2: 2009 Non-loadbearing walls. Masonry and gypsum blocks.

pr Part 7: 2009 Non-loadbearing sandwich panels. Ceilings.

BS EN 15283 Gypsum boards with fibrous reinforcement: Part 1: 2008 Gypsum boards with mat reinforcement.

Part 2: 2008 Gypsum fibre boards.

pr EN 15303 Design and application of plasterboard systems on frames: pr Part 1: 2006 General.

BS EN 15318: 2007 Design and application of gypsum blocks.

BS EN 15319:2007 General principles of design of fibrous (gypsum) plasterworks.

PAS 109: 2008 Specification for the production of recycled gypsum from waste plasterboard.

BS EN 15318: 2007 Design and application of gypsum blocks.

BS EN 15319:2007 General principles of design of fibrous (gypsum) plasterworks.

PAS 109: 2008 Specification for the production of recycled gypsum from waste plasterboard.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Good building guides

BREGBG65: 2005 Plastering and internal rendering.

BRE GBG 70: 2007 Plasterboard; types and their applications (Parts 1, 2 and 3).

BRE Good repair guide

BRE GRG 18: 1998 Replacing plasterwork.

ADVISORY ORGANISATION

Gypsum Products Development Association, PO Box 35084, London NW1 4XE, UK (020 7935 8532).

13

مواد العزل

مقدّمة

مع التّشديد المتنامي على التصميم الواعي للطّاقة، واتساع الأثر البيئي للأبنية، وتعاظم الاهتمام بضرورة التركيز على الاستعمال الأمثل لمواد العزل الحراري والصوتي، وذلك لكل من الأبنية الجديدة وأعمال التجديد. فالمباني السكنية مسؤولة حاليّاً عن 27% من انبعاثات غاز الكربون في المملكة المتحدة، بينما 17% من الانبعاثات تصدر عن الأبنية غير السكنية. فلذا وضعت حكومة المملكة المتحدة هدفاً بأن تكون المنازل الجديدة بانبعاث كربون صفري ابتداءً من عام 2016. ولتحقيق هذا الهدف، يلزم زيادة كفاءة الطاقة للمنازل الجديدة بنسبة 25% في العام 2010 و44% في العام 2013، قياساً بمعايير عام 2006. أمّا الأبنية غير السكنيّة، فقد حُدِّد العام 2019 موعداً لتحقيق هذا الهدف، وفق معايير الحفاظ على الطاقة التي جاءت ضمن الوثيقة المعتمدة لأنظمة البناء في المملكة المتحدة، الجزء L: الحفاظ على الوقود والطّاقة الموضّحة في الفصل السابع "الزجاج".

مواد العزل الحراري والصوتي

لمراعاة الكفاءة النسبيّة للمواد العازلة، تم إيراد الناقليّات الحراريّة (w/m.k) عند درجة حرارة معيارية مقدارها 10 درجات مئويّة، للسماح بإجراء مقارنات مباشرة. ولن توضّح قيم (U) قابليّة المقارنة المباشرة، نظراً للسماكات المختلفة المستعملة، وللتنوّع الواسع في التركيبات المستعملة عادة في التشييد.

فإذا أخذنا بالاعتبار الضّبط الصّوتي، يتم التّمييز بين خفض الصّوت المنقول

مباشرة عبر مكوِّنات البناء، وخفض الصوت المنعكس من السطوح ضمن حيّز معين. علاوة على ذلك، يُعبَّر عن الصّوت المنقول بدلالة كل من صوت الصدم، والصوت المحمول بالهواء. ويتولّد الصوت الناجم عن الصّدم، من الصدم المباشر على بنية البناء الذي يهتز عندها ناقلاً الصّوت عبر الهيكل، وهو ذو أهميّة خاصة في الطوابق المتوسطّة. وتؤدّي موجات الصّوت المحمولة بالهواء، النّاجمة عن الصّوت البشري أو المُعدّات المولّدة لصوت، إلى اهتزاز هيكل البناء، وبالتالي إلى انتقال الصّوت. ويكون الصّوت المحمول بالهواء بشكل خاص مهمّاً بالنسبة للجدران الفاصلة، ويزداد بشكل كبير، بالتسرب عبر الانقطاعات في بنية البناء، خصوصاً حول الفتحات غير محكمة الإغلاق. ينتقل الصّوت المجاور بين الغرف بواسطة العناصر المتاخمة، وليس بشكل مباشر عبر الجدران الفاصلة. ويُعبَّر عن الانخفاض في طاقة الصّوت المارّ عبر عنصر في مبنى بالديسبل (dB). إن مضاعفة كتلة عنصر في مبنى تخفّض من انتقال الصوت بما يقارب (5dB)، لذلك فإنّ المواد العازلة للصّوت هي عادةً عناصر بنيوية ثقيلة. إلا أنّ الاستعمال الحكيم للمواد الماصّة المبدّدة للصوت ضمن الجدران، يمكن أن يُخفِّض من الاعتماد على الكتلة فقط لامتصاص الصوت. ويمكن أن ينتقل الضجيج عبر تمديدات الخدمات، لذلك يجب الاهتمام باستعمال الأكمام والتبطينات الصوتيّة بالشكل المناسب.

بالنسبة للأبنية السكنيّة، تتطلب الوثيقة المعتمدة لأنظمة البناء في المملكة المتحدة، الجزء E للعام (2003) ـ "مقاومة مرور الصوت"، والحماية من الصوت القادم من الأبنية المجاورة وضمن الأبنية بما فيها الجدران الداخلية والأرضيات. وإنّ استعمال تفاصيل متشدّدة في الأبنية السكنيّة يمكن أن يضمن التقيّد بالأنظمة، ويحذف متطلّب اختبار الصوت قبل إكمال التشييد لإثبات المطابقة. وتدرج انظمة البناء المعايير الدّنيا لتخفيف الصوت المحمول بالهواء والصوت الناجم عن الصّدم.

يرتبط امتصاص الصوت عند السطوح بمساميّة المادّة. وعموماً، تعدّ المواد الخفيفة ذات السّطوح الليفيّة أو المفتوحة مواد ماصّة جيدة، تخفّض مستويات الضجيج المحيط وأزمنة الصدى، في حين تعد السّطوح القاسية الملساء عاكسة بشكل كبير للصّوت (الجدول 1.13). ويُقاسُ امتصاص الصّوت بناءً على مقياس من صفر إلى واحد، حيث يمثّل الرقم واحد امتصاصاً كاملاً للصّوت.

الجدول 1.13 معاملات نموذجية لامتصاص الصوت عند الترددات 125، 500، 2000 Hz لمواد البناء المختلفة

المادة	معامل الامتصاص		
	Hz 125	Hz 500	Hz 2000
خرسانة	0.02	0.02	0.05
أشغال الآجُرّ	0.05	0.02	0.05
جدار مصمت مع طينة	0.03	0.02	0.04
زجاج 6 mm	0.1	0.04	0.02
ألـواح خـشـب، 19 mm فـوق فـراغ هوائي مقابل لخلفية مصمتة	0.3	0.1	0.1
بلاطات من صوف الخشب، 25 mm على خلفية مصمتة من دون طينة	0.1	0.4	0.6
ألـواح ليفـيـة، 12 mm عـلى خـلـفـيـة مصمتة	0.05	0.15	0.3
ألـواح ليفـيـة، 12 mm فـوق فـراغ هوائي 25 mm	0.3	0.3	0.3
صوف معدني، 25 mm مع 5٪ لوح قاسي مثقب	0.1	0.85	0.35
لوح بوليستيرين متمدد، 25 mm فوق فراغ هوائي 50 mm	0.1	0.55	0.1
رغوة البولي يوريثان المرن، 50 mm على خلفية مصمتة	0.25	0.85	0.9

أشكال مواد العزل

يمكن تصنيف مواد العزل الحراري والصوتي بشكل متعدّد وفقاً لاستعمالاتها المناسبة في البناء، أو أشكالها الفيزيائيّة أو أصل مادّتها. يتوفّر الكثير من مواد العزل بأشكال فيزيائيّة مختلفة، لكل منها استعماله المناسب في البناء. إجمالاً،

يمكن تقسيم الأشكال الرئيسة للمواد إلى:

- مواد العزل البنيوي،
- الألواح والبلاطات الصّلبة ونصف الصلبة،
- حشوات مفكّكة، مواد على شكل بطانيات [رولات] وإنهاءات مطبقة،
- رقائق ألومنيوم.

ومع ذلك، ضمن هذا التصنيف، من الواضح أنّ بعض المواد تمتد على تصنيفين أو ثلاثة. لذلك، تُصَنّف مواد العزل وفقاً لتركيبها، مع وصف لأشكالها المتنوعة، والاستعمالات النموذجيّة في التشييد، وخواص الوقاية من الحريق، حيث يكون ذلك مناسباً. وتُقْسَم المواد بشكلٍ أوليّ إلى مواد من أصل غير عضوي، ومواد من أصل عضوي على الترتيب.

يُصْنَع طيف واسع من مواد العزل غير القابلة للاحتراق، ومن مواد سيراميكية وفلزّات غير عضوية، بما فيها الصخر الطبيعي، والزجاج، وسيليكات الكالسيوم وأنواع الإسمنت. وتُصْنَع بعض المنتجات العضوية من الفلّين الطبيعي أو الألياف الخشبيّة، لكن المواد المطوّرة في صناعة البلاستيك هي السائدة. ففي بعض الحالات، توفّر هذه المواد العضويّة خواص عزل حراري أعلى، لكن كثير منها إما سريع الاشتعال أو يتفكّك بالحريق. وتشمل المواد البلاستيكية الخلوية مواداً مفتوحة وأخرى مغلقة الخليّة. عموماً، تتميّز المنتجات مغلقة الخلّيّة بأنها أكثر صلابة، ولها خواص عزل حراري ومقاومة رطوبة أفضل، بينما تتميّز المواد مفتوحة الخليّة بأنّها أكثر مرونة ونفوذة. تعدّ رقائق الألومنيوم حالة خاصّة، لأنّ خواص عزلها الحراري ترتبط بالبث (Transmission) الإشعاعي بدلاً من الحرارة المنقولة. يبيّن (الجدول 2.13) القيم النموذجية للناقليّة الحراريّة.

الجدول 2.13 قيم نموذجية للناقلية الحرارية لمواد بناء مختلفة

المادة	الناقلية الحرارية (w/m.k)
الهلام الغازي	0.018
رغوة الفينول	0.031 ـ 0.018
رغوة البولي يوريثان (صلب)	0.025 ـ 0.019

رغوة واجهتها رقاقة ألومنيوم	0.020
رغوة البولي إيزوسيانورات	0.025 ـ 0.023
بوليستيرين مبثوق	0.027 ـ 0.025
بولي فينيل كلوريد متمدد	0.030
صوف معدني	0.040 ـ 0.031
صوف زجاجي	0.040 ـ 0.031
بوليستيرين متمدد	0.040 ـ 0.033
سيلولوز (ورق معاد تدويره)	0.040 ـ 0.035
الكتان	0.037
صوف الخروف	0.039 ـ 0.037
زجاج رغوي صلب	0.048 ـ 0.037
رغوة اليوريا فورمالدهيد	0.038
صوف القنب	0.040
لوح فلين	0.042
ألواح من ألياف جوز الهند	0.045
لوح برلايت	0.050 ـ 0.045
لوح عزل ليفي	0.050
بالات قش	0.050
فيرميكولايت متقشر	0.062
قش	0.072
بلاطات من صوف الخشب	0.077
لوح من الألياف متوسط الكثافة	0.10
خرسانة رغوية منخفضة الكثافة	0.10
خرسانة خفيفة إلى كثيفة	1.7 ـ 0.10
بلاطات قش مضغوطة	0.10

خشب طري	0.13
لوح مجدول موجه	0.13
لوح قاسي	0.13
لوح من نشارة الخشب/ خشب معاكس	0.14
ألواح الجص	0.19
رقائق تسقيف من البيتومين	0.19
لوح من نشارة الخشب مترابطة بالاسمنت	0.23
بلوك صلصالي غير مشوي	0.24
ألواح من سيليكات الكالسيوم	0.29
خرسانة مسلحة بالزجاج خفيفة	0.21 ـ 0.5
خرسانة مسلحة بالزجاج كثافة معيارية	0.5 ـ 1.5
أسفلت مصطكي	0.5
أشغال آجُرّ من سيليكات الكالسيوم	0.67 ـ 1.24
أشغال آجُرّ صلصالي	0.65 ـ 1.95
زجاج ـ رقائق	1.05

ملاحظات:

يمكن أن تختلف منتجات مصنعين خاصين عن هذه الأرقام النموذجية

بيانات إضافية متوفرة في (BS 5250: 2002, BS EN 12524: 2000) وBS EN). ISO 10456: 2007)

مواد العزل اللاعضويّة

الخرسانة الرّغويّة

لقد تم شرح صناعة الخرسانة الرّغويّة في الفصل الثالث.

وتعدّ الخرسانة الرغوية بمحتوى هواء يتراوح بين 30-80% مادةً مقاومةً للحريق والتجمّد. ويمكن صبّ الخرسانة الرغويّة بسهولة، من دون الحاجة إلى الرصّ، لكنّها تبدي انكماش تجفيف أعلى من الخرسانة الكثيفة. وهي مناسبة

للعزل تحت الأرضيّات، وعلى السقوف المستوية، حيث يمكن مدّها بميل يصل إلى واحد بالمئة.(تتراوح الناقليّة الحرارية من 0.1 w/m.k عند الكثافة 400 kg/ m^3 إلى 0.63 w/m.k عند الكثافة 1600 kg/ m^3).

الخرسانة بالحصويّات الخفيفة الوزن

تمّ تناول البلوك الخرسانيّ الخفيف والخرسانة الخفيفة المصبوبة في المكان، في الفصلين الثاني والثالث على الترتيب. توفّر مواد الخرسانة الخفيفة طيفاً من خواص العزل وتحمّل الأحمال بدءاً من 0.10 w/m.k عند متانة كسر (2.8 MPa) ترتبط مقاومة انتقال الصوت المحمول بالهواء في جدران البناء بشكلٍ وثيق بكتلة الجدار. لكنّ أي وصلات غير مملوءة بالملاط ستشكّل ممرّات للهواء مما يسمح بتسرّب مهم للصّوت. في الجدران ذات الفجوة، من المهم ثانيةً وجود كتلة، لكن بالإضافة إلى ذلك، لخفض انتقال الصّوت يجب أن تكون طبقتا الجدار مفصولتين ماديّاً، باستثناء الروابط الجداريّة الضروريّة للالتزام بأنظمة البناء.

طينة الجص

تزيد ألواح التبطين الحراريّة المصنوعة من الجص الاستجابة الحرارية في أمكنة الإيواء غير المدفأة بشكل متكرّر، يمكن تحسين هذا الأثر باستعمال ألواح مدعّمة بالبوليستر المطلي بالمعدن، التي تخفّض الفاقد الحراري بالإشعاع وكذلك بالانتقال. وإن إضافة مثل هذه التبطينات للأبنية الجديدة أو للأبنية القائمة المجدّدة يخفّض من خطر التجسير الحراري عند العتبات، وغيرها. (الناقليّة الحرارية لطينة الجص تساوي عادةً 0.16 w/m.k). ويمكن تخفيض انتقال الصوت عبر الجدران الخفيفة، باستعمال طبقتين بسماكات مختلفة من ألواح الجص (مثلاً: 12.5 و19 m)، لأنها تُرْجِع الصدى عند تواترات مختلفة. إن إضافة طبقة إضافيّة من ألواح الجص لترتبط بالأسقف الموجودة بمثبتات مرنة تُخَفِّض من انتقال الصوت من الطوابق الأعلى، خاصّةً إذا اشتملت على غطاء ماصّ للصوت.

بلاطات الصّوف الخشبي

بلاطات الصّوف الخشبي (WW) المصنّعة من الألياف الخشبية ومادة رابطة (الفصل الرابع)، هي مقاومة للحريق والتعفّن معاً. منتجات الصّوف الخشبي موصّفة في المعيار (BS EN 13168:2008) بخواصها المشتركة بين التحمّل والعزل، تعدّ بلاطات الصّوف الخشبي مناسبة كمادّة لأعمال السقوف، يمكن أن يكون وجهها

السفلي مكشوفاً أو مطليّاً أو مُليّساً. وتوفّر بلاطات الصّوف الخشبي خصائص امتصاص جيّدة للصوت بسبب سطحها الخشن المفتوح، وهذا لا يتأثّر كثيراً بتطبيق طلاء مستحلب يُنفذ بطريقة الرّش. العزل الصوتي لبلاطة مسبقة التسوية بسماكة 50 mm، هو عادة 30 ديسيبل. (الناقليّة الحراريّة للصّوف الخشبي هي عادة 0.077 w/m.k).

الصّوف المعدني [الصخري]

يُصْنَع الصّوف المعدني (MW) من صخر بركاني (بشكل رئيس السيليكا، مع الألومينا وأوكسيد المغنيزيوم)، يُخْلَط مع فحم الكوك والحجر الكلسي، ويُصْهَر في الفرن بدرجة حرارة 1500 درجة مئويّة. تُمرّر الصُهارة على سلسلة من الدواليب الدوّارة التي تغزل قطيرات الصُهارة إلى أليافٍ، ثمّ تُغطّى هذه الألياف برابط راتنجي وزيت معدني طارد للماء. تسقط الألياف على سير ناقل، فتُضْغَط الحصيرة المفكّكة إلى السماكة والكثافة المطلوبتين، ثمّ تُمَرّر في فرن حيث يتم إنضاج الرّابط، وأخيراً، يُقطّع المنتج إلى رولات أو بلاطات. المواد الرابطة الحديثة هي بوليميرات حيوية بدلاً من الراتنجات الفينولية، مخفّضةً بالتالي الطاقة المتضمّنة (Embodied Energy). يُعدّ الصوف المعدني غير قابل للاحتراق، وطارد للماء ومقاوم للتعفّن، ولا يحتوي (CFC_S) أو ($HCFC_S$).

يتوفّر الصوف المعدني بطيفٍ من الأشكال حسب درجة انضغاطه خلال التصنيع واستعماله المطلوب:

- مُفكّك لعزل الفجوات المنفوخة.
- حصائر لعزل العلّيّات والبُنى الخفيفة الوزن، وضمن المباني ذات الهيكل الخشبي.
- بلاطات لملء كامل تجاويف أعمال البناء الجديدة.
- بلاطات نصف صلبة لملء تجاويف أعمال البناء الجديدة جزئياً.
- بلاطات صلبة لعزل الأسقف المائلة الدّافئة والأسقف المستوية.
- بلاطات صلبة يتمُّ لصقها بالراتنج لعزل الأرضيّات.
- ألواح مقاومة للعوامل الجويّة لمنظومات التسقيف المقلوبة.

- ألواح كثيفة مطليّة مسبقاً لأعمال الإكساء الخارجية.
- بلاطات للأسقف.

يمكن تغطية وجه الحصائر والألواح برقائق الألومنيوم لتحسين خواصها الحراريّة. يمكن تقطيع بلاطات الأسقف في المصنع بالميل المطلوب أو تغليفها بالبيتومين للاستعمال في منظومات التسقيف ذات الغشاء الأسفلتي الذي يتم تطبيقه باللهب. وتُغطّى وحدات الأرضيّات بالورق عندما تتمّ تغطيتها مباشرة بمدة إسمنتيه. ويمكن بناء أرضيّة مرنة باستعمال وحدات أرضيّات مصنّعة من بلاطات الصّوف المعدني، مع ألياف متّجهة شاقوليّاً لا أفقيّاً، بحيث يتم لصقها مباشرة على ألواح الأرضيات المصنعة من النشارة والمتصلة ببعضها بطريقة الحز واللسان. وتتراوح الناقليّة الحراريّة لمنتجات الصوف المعدني للاستعمال الداخلي، عادةً بين 0.310 و0.039 w/m.k عند الدرجة 10 مئويّة، بالرغم من أنّ لمنتجات الاستعمال الخارجي ناقليّة أعلى.

ويمكن استعمال الصّوف المعدني بفعاليّة لتخفيف (Attenuate) الصوت المنتقل. ففي البنى خفيفة الوزن، تعدّ اللّحف الماصّة للصّوت فاعلة في خفض الصوت المنتقل عبر الجدران الفاصلة، عند اشتراكها مع سطوح مزدوجة من ألواح الجص وفراغ هوائي واسع، كذلك في الأرضيّات المشكّلة بعوارض خشبية تقليديّة، عند اشتراكها مع طبقة مرنة بين العوارض وطبقة إنهاء الأرضيّة. ويمكن استعمال الصوف المعدني المكوَّر [المحبحب] **للتّحشية** بين عوارض الأرضيّة لتخفيض انتقال الصوت، وهذا مناسب بشكل خاص لتحسين العزل الصوتي خلال أعمال التجديد.

يُستعمل الصّوف المعدني، لعدم قابليّته للاحتراق، في صناعة موقفات الحريق، لمنع انتشار النّار عبر الفراغات والتجاويف، معطياً مقاومة للحريق تتراوح بين 30 و120 دقيقة. وتعطي بلاطات الصّوف المعدني عادة حماية للفولاذ من الحريق تتراوح بين 60 دقيقة و4 ساعات. ويمكن الحصول على مستويات مماثلة للحماية باستعمال صوف معدني مرشوش يمكن تغطيته بإنهاءات ديكورية.

تؤمّن عادة البلاطات المستعملة في الأسقف المستعارة المصنّعة من الصّوف المعدني الصّنف (1) من انتشار اللهب وفقاً للمعيار (BS 476 Part 7:1997) والصّنف (0) وفقاً للجزء السادس (Part 6:1989) على كلٍّ من السّطحين الديكوري

والخلفي. وتقع عادة قيم الناقليّة الحرارية لبلاطات الأسقف المستعارة المصنّعة من الصوف المعدني في المجال 0.052 ـ 0.057 .w/m.k يقع عادةً توهين الصوت لبلاطات الأسقف من الصوف المعدني ضمن المجال 34 ـ 36 ديسيبل، إلا أنّه، بحسب انفتاح سطح البلاطة، يمكن أن يتراوح معامل امتصاص الصوت من 0.1 للبلاطات الملساء، مروراً بـ 0.5 للإنهاءات المتشقّقة، وصولاً إلى 0.95 لبلاطات مفتوحة الخليّة المغطّاة بصوف معدنيي بسماكة 20 mm.

الصّوف الزّجاجي

يُصْنَع الصّوف الزّجاجي بعمليّة كراون (الشكل 1.13)، المشابهة للعملية المستعملة في تصنيع الصوف المعدني، حيث يسيل جدول سميك من الزّجاج من الفرن إلى مقدّمة الموقد، ومنه بتأثير الجاذبيّة إلى طبق من سبيكة فولاذية يدور بسرعة، مثقّب بمئات الثّقوب الصّغيرة على مدار محيطها. وتنبذ القوّة المركزيّة الخيوط، التي تُمَدُّ بشكل إضافي فتتحول إلى أليافٍ دقيقة بواسطة تيّار هوائي ساخن. وتُرشّ الألياف بمادة رابطة، يتم مصها بعدئذ على سيرٍ ناقلٍ فتنتج حصيرة بالسّماكة المناسبة. تُعالَج الحصيرة في فرن لتجمد المادّة الرّابطة، ثمّ تُقطّع في النهايةً، وتُشذّب وتُحزَّم.

يتميّز الصّوف الزّجاجي بأنّه غير قابل للاحتراق، وطارد للماء ومقاوم للتعفن، ولا يحتوي (CFCs) أو (HCFCs)، وهو متوفّر بطيف من أشكال المنتج:

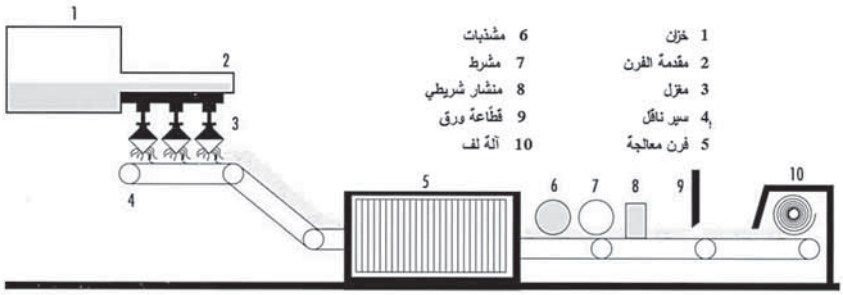
- مفكّك لعزل الجداران ذات الفجوة المنفوخة.
- لفائف من دون وجه أو كطبقة بين ورق الكرافت والبوليتين، للأسقف في المباني ذات الهيكل الخشبي، والجدران الداخلية وفي الأرضيات.
- بلاطات نصف صلبة، مع سيلكون طارد للماء، لملء كامل التجاويف في أعمال البناء الجديدة.
- بلاطات صلبة لملء التجاويف في أعمال البناء الجديدة جزئياً،
- بلاطات مقاومة للضغط، لخرسانة صلبة، أو أرضيّات من عوارض وبلاطات،
- طبقة من صوف زجاجي صلب ولوح جص للتبطينات الجافّة.

● ألواح صلبة مغطّاة بالـ (PVC) لتبطينات الأسقف المكشوفة في المصانع.

(تتراوح الناقليّة الحراريّة لمنتجات الصّوف الزّجاجي عادة بين 0.031 و0.040 w/m.k عند الدرجة 10 مئويّة).

خواص الصّوف الزّجاجي المتعلّقة بالصوت ومقاومة الحريق، تشابه خواص الصّوف المعدني. تستعمل لحف الصّوف الزّجاجي المخففة للصوت، ذات التراكبات لإحكام الإغلاق بين الوحدات المتجاورة، لتخفيض صوت الصدم في الأرضيّات العائمة الخرسانيّة والخشبيّة. اللحف المعيارية مناسبة للاستعمال في القواطع الخفيفة، وفوق الأسقف المستعارة.

يُستعمل الصّوف الزّجاجي المتماسك بالراتنج والمعالج بمادة طاردة للماء في تصنيع بعض أنواع بلاط الأسقف، التي تحقق الصّنف (0) من متطلبات انتشار الحريق من أنظمة البناء (BS 476: Parts 6 and 7)، وتوفّر أيضاً امتصاص الصوت لخفض مستويات الضّجيج العالية.



(الشكل 1.13) عملية كراون لصناعة الصوف الزجاجي.

البلوك الزّجاجي الرغوي أو الخلوي

يُصْنَع الزّجاج الخلوي أو الرغوي من خليط من الزّجاج المكسّر ومسحوق الفحم الناعم، وبتسخينه إلى الدّرجة 1000 مئويّة يتأكسد الكربون مشكّلاً فقاعات ضمن الزّجاج المصهور. ويتم تلدين الزّجاج وتبريده وأخيراً تقطيعه إلى القياس المطلوب. وتتميّز المادّة السوداء بالدّيمومة وعدم قابليّة الاحتراق، وسهولة التشغيل وامتلاكها لمتانة ضغط مرتفعة. وهي مقاومة للماء بسبب بنيتها الخلوية المغلقة، وكتيمة لبخار الماء، لا تحتوي على (CFCs). منتجات الزجاج الخلوي موصّفة في المعيار (BS EN 13167:2008).

تعدّ بلاطات الزّجاج الخلوي مناسبة لعزل الأسقف، بما فيها الأسقف الخضراء، والأسقف المستعملة كمواقف للسيارات نظراً لمتانتها المرتفعة للضغط. يتمّ لصق البلاطات عادةً بالبيتومين الساخن إلى طبقات التسويات الخرسانية، أو إلى الأرضيات المعدنيّة المشكلة، أو إلى الغشاء البيتوميني المسلّح على الأسقف الخشبيّة. ويعدّ الزّجاج الرغوي مناسباً لعزل الأرضيات تحت طبقة التسوية، ويمكن استعماله داخليّاً أو خارجيّاً أو ضمن تجاويف الجدران الخارجية. خارجيّاً، يُمكن تلييسه أو إكساؤه ببلاطات معلّقة، وداخليّاً يمكن إنهاؤه بألواح الجص أو بمعدن متمدّد وطينة تقليدية. (تقع الناقليّة الحراريّة للزّجاج الخلوي في المجال 0.037 ـ 0.048 w/m.k عند الدّرجة 10 مئويّة، وفقاً للصنف).

الفيرميكولايت المتقشّر

يُصْنَع الفيرميكولايت المتقشّر (Exfoliated Vermiculite) (EV) بتسخين فلز الميكا الطبيعي. تستعمل المادّة المحتوية حتى 90% من حجمها هواء، كمادّة مفكّكة مالئة لعزل الطابق العلوي، وفي الرشّة الإسمنتيّة لتنتج غطاءً قاسياً واقياً من الحريق للأشغال الفولاذيّة البنيوية المكشوفة. ويجب تنفيذ الغطاء على طبقتين عندما تكون السماكة المطلوبة أكبر من 30 m. يمتلك المنتج إنهاء سطح غير أملس، يمكن أن يكون مكشوفاً داخليّاً، أو مطليّاً في التطبيقات الخارجيّة. كما يمكن الحصول على وقاية من الحريق تصل إلى 240 دقيقة اعتماداً على سماكة التطبيق، والنسبة بين مساحة السطح المكشوف والمقطع العرضي للفولاذ (H_P/A) (الفصل 5). ويُسْتَعمل الفيرميكولايت لصناعة سدادات معيّنة لوقف الحريق قابلة للفك، حيث تخترق الخدمات [التمديدات] جدران حريق منفصلة. يوصّف المعيار (BS EN 14317) في جزئيها الأوّل والثّاني، الفيرميكولايت المطلي، والطارد للماء والفيرميكولايت المخلوط مسبقاً مع مادة رابطة. (النّاقليّة الحرارية للفيرميكولايت المتقشّر 0.062 .w/m.k ويمكن الحصول على ناقليّة/ حراريّة ضمن خرسانة بحصويات خفيفة مساوية عادة 0.11 .w/m.k).

البرلايت المتمدّد

يُصْنَع البرلايت المتمدّد (EPB) بتسخين معادن الصخر البركاني الطبيعي. يُسْتَعمل للعزل في الموقع بشكليه المفكّك والمترابط للأسطح والسقوف والجدران والأرضيات وأيضاً كألواح مسبقة التشكيل. منتجات البرليت المتمدّد موصّفة في

المعيار (BS EN 13169:2008)، ومادة الإملاء المفكّكة موصّفة في المعيار (BS EN 14316) بجزئيه الأول والثّاني. (النّاقليّة الحرارية لألواح البرليت المتمدد w/m.k. 0.50).

سيليكات الكالسيوم

تمتلك سيليكات الكالسيوم (CS)، الموصوفة في الفصل 12، ميّزة المقاومة الجيّدة للصدم والديمومة العالية. وتُصْنَع ألواح جدران متنوعة من ألواح سيليكات الكالسيوم، المنضدة على البوليستيرين المبثوق. (تمتلك سيليكات الكالسيوم عادة ناقليّة حرارية تساوي 0.29 w/m.k).

الزّجاج والتزجيج المتعدّد

تأثيرات العزل الحراري والصّوتي للتزجيج الثنائي والثلاثي وكذلك استعمال الزجاج منخفض الانبعاثية موصوفة في الفصل 7.

الهلام الغازي (الهوائي)

الهلامات الغازية (Aerogel) هي مواد سيليكاتية لابلّوريّة كارهة للماء (Hydrophobic) خفيفة جدّاً كثافاتها متدنيّة جدّاً تصل إلى 3 kg/ m^3 (كثافة الهواء تساوي 1.2 kg/ m^3). ويُصْنَع الهلام الغازي بتبخّر المذيب من هلام السيليكا تحت ضغط مخفّض. الهلامات الغازيّة عالية المساميّة، تشغل الفراغات الهوائية عادة 95- 97% وحتى 99.8%، لكن المسام صغيرة جداً من قياس 20 نانومتر إلى درجة أنّها أصغر من المسار الحر الوسطي للنيتروجين والأوكسجين في الهواء. وهذا يمنع جزيئات الهواء من الحركة والاصطدام ببعضها البعض، مما يؤدي عادةً لانتقال الحرارة في الحالة الغازية. وبوجود فقط من 3 إلى 5% مادة صلبة، يكون انتقال الحرارة في المرحلة الصلبة محدوداً جدّاً. عند استعماله للملء الكامل للتجاويف في وحدات التزجيج، تمنع حبيبات الهلام الغازي من قياس 0.5 إلى 4 mm حركة الهواء، مما يُخفض من انتقال الحرارة بتيارات الحمل. لذلك يمكن أن يحدث انتقال محدود للحرارة بواسطة الإشعاع فقط عبر وحدة التزجيج.

انتقال الضّوء عبر الهلام الغازي هو تقريباً 80% لكل 10 mm سماكة، مما يعطي ضوءاً منتشراً ويمنع نفاذ الضوء فوق البنفسجي. يُخَفّض انتقال الصوت المحمول بالهواء خصوصاً الترددات الأقل من 500 هرتز. وهذه المادة كارهة للماء ولذلك تقاوم نموّ العفن.

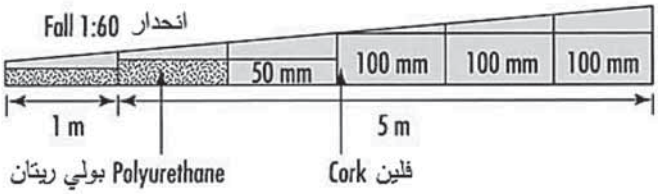
تتوفر وحدات التزجيج من البولي كربونات المملوءة بالهلام الغازي كألواح بقياسات 10 و16 mm، أو بطيفٍ من القياسات الملائمة لمجاري المقاطع المشكلة للزجاج (الفصل 7)، أو كنوافذ سقفيّة شفّافة أو كألواح جداريّة (مثلاً 3660 x 1220 mm). يستعمل أحد أنظمة الإكساء والتسقيف المُسجلة إطارات ألومنيوم لسند ألواح (Sandwich Panel) من صفائح الزّجاج اللّيفي المفصولة بالهلام الغازي. تمتلك الألواح من قياسات 3660 x 1200 mm أو 3600 x 1500 mm (كحدّ أعلى)، قيم U مساوية إلى 0.28 w/m.k. (الناقليّة الحرارية لسيليكا الهلام الغازي تساوي عادة 0.018 w/m.k.).

مواد العزل العضويّة

تم وصف استعمال بالات القشّ في الفصل 17، مع منتجات أخرى معادة التّدوير.

منتجات الفلّين

يتم جني الفلّين من شجرة البلّوط الفليني (Quercus suber) كل 9 سنوات (أو أكثر)، ولذلك يعدّ مادّة صديقة للبيئة. ولتحويله إلى ألواح، تُسْتَعْمل عادة لعزل الأسطح، تُمَدّد حبيبات الفلّين، ثمّ تُشَكَّل تحت الحرارة والضّغط إلى بلوكات باستعمال الرّاتنج الطبيعي في الفلين. وتُقصّ البلوكات بسماكاتٍ قياسيّة أو بسماكات متناقصة تدريجياً لإنتاج ميولٍ في في السقوف المستوية (الشكل 2.13). لزيادة خواص العزل الحراري، يمكن لصق الفلّين إلى البولي يوريثان ذي الخلايا المغلقة أو إلى رغوة البولي إيزوسيانورات (Polyisocyanurate). وينبغي في هذه الحالة وضع هذه الصفائح والفلين في الأعلى. ولا تتأثّر منتجات الفلّين بتطبيق البيتومين الساخن في منظومات التسقيف المستوية. وقد تم وصف الفلين المتمدّد (ICB) في المعيار (BS EN 13170:2008). (النّاقليّة الحرارية للوح الفلّين تساوي 0.042 w/m.k.).



(الشكل 2.13) عزل الفلين بميل للسقوف المستوية.

صوف الخروف

يعدّ صوف الخروف مادّة عزل فاعلة جداً متجدّدة المصدر ذات ناقليّة منخفضة، وأفضل من العوازل اللّيفيّة الأخرى. ويتوفر بشكل بلاطات رماديّة تتراوح في السماكة من 50 و70 إلى 100 mm. فالصّوف مادة ماصة للرطوبة، أي أنّها عكوسة تمتص، وتحرّر بخار الماء، ويعدّ هذا التأثير مفيداً عند استعمالها للعزل الحراري. فعندما ترتفع درجة حرارة البناء يحرّر الصوف رطوبته مسبّباً تأثيراً مبرّداً في الألياف، وبالتالي تدفّقاً مُخَفضاً للحرارة إلى البناء. ففي الشتاء يسخّن امتصاص الرطوبة المادّة ويساعد هذا التطور في الحرارة في منع التكاثف البيني في تجاويف البناء، من طريق المحافظة على درجة حرارة الألياف فوق نقطة الندى، وكذلك تخفّض بكفاءة الفاقد الحراري من البناء.

الصّوف مادة آمنة للتعامل، تتطلّب فقط قفّازات وقناعاً واقياً من الغبار كحدٍّ أدنى من الحماية. ولا يسبّب الصّوف تهيّجاً، إلا في الحالات النّادرة للأشخاص الذين لديهم حساسيّة معيّنة للصّوف. وبلاطات الصّوف التي تحتوي 85% من الصوف و15% بوليستر، للمحافظة على شكلها، يمكن تقطيعها بسهولة بواسطة سكّينٍ حادٍّ أو ثقبها بالقياس المحدّد. من المُحتَمل أن يتعرّض الصّوف للقوارض، التي يمكن أن تستعمله كمادّةٍ للتّعشيش إذا تمكّنت من الوصول إليه، إلا أنّ هذه البلاطات تُعالَج بمبيد حشرات لمنع هجوم العث أو الخنافس، ومؤخر حريق لا عضوي.

عزل بلاطات الصّوف مناسبٌ لتطبيقات السّقائف المُهوّاة بين العوارض أو العوارض الثانوية، وللبنى ذات الهيكل الخشبي. يجب تركيبها مع غشاء تنفس نفوذ للبخار على الجانب البارد بعيداً عن أي مداخن أو مجاري غازات معدنية. يعمل الصّوف أيضاً كمادّة عزل صوتي فاعلة. (النّاقليّة الحرارية لبلاطات الصوف تساوي 0,039 w/m.k).

استُعْمِل صوف الخروف أيضاً بشكل تجريبي كعازل مالئ مفكّك للسّقائف، وللسّقوف المائلة، وللأطر الخشبية وللجدران وللأرضيّات الخشبيّة. يُغْسَل صّوف الخروف الطبيعي، الذي لم يُنْقَع في سائل، عدّة مرات لإزالة الزّيت الطبيعي والدّهن، ثم يُنفش إلى الكثافة المطلوبة. يُرشّ بالبورق كمادّة مؤخّرة للحريق وطاردة للحشرات. الصّوف السائب على شكل لفائف، مناسب فقط للأماكن التي

لن تتبلّل كي لا يرتخي فتنخفض كفاءته الحراريّة. وعازل الصّوف هو مصدر متجدّد مع طاقة متضمّنة منخفضة، لكنّه أكثر كلفة حاليّاً من الصّوف المعدني المعياري (الناقليّة الحراريّة للصوف السائب تساوي 0.037 .w/m.k).

عزل السيلولوز

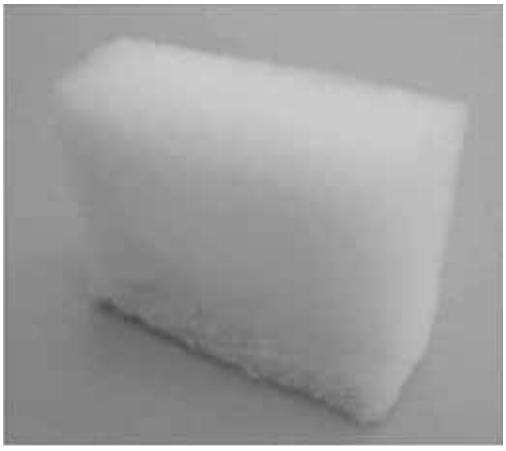
يُصْنَع عازل السيلولوز من ورق مقطّع معاد التدوير. ويُعالَج بالبوراكس لمقاومة قابليّة الاشتعال والاحتراق من دون لهب، وهذا يجعله غير جاذب للطفيليّات، ومقاوم للحشرات، والفطريات والعفن الجاف. وعلى عكس العزل بالألياف المعدنية والعزل بالألياف الزّجاجيّة، لا يسبّب العزل بالسيلولوز تهيّجاً للجلد خلال التركيب. للسيلولوز المعاد التدوير طاقة متضمّنة منخفضة مقارنةً بالعزل بالألياف المعدنية والزجاجيّة، وعند إزالته من بناء يُمكن أن يُعاد تدويره ثانيةً أو يتم التخلّص منه بأمان من دون التسبّب بفضلاتٍ سامّة (تضمن المعالجة بالملح اللاعضوي، البوراكس، أن يتوافق العزل بالسيلولوز مع المعيار BS) (5803Part4:1985 ـ اختبار الحريق الصّنف 1 واختبار الاحتراق من دون لهب الصّنف B2).

يمكن أن يستعمل عزل السيلولوز مباشرةً من الأكياس للأرضيات الداخلية، وأيضاً للسقائف، حيث يتوجّب المحافظة على الفجوة اللازمة لتهوية الطنف. للتجويفات الأخرى، بما فيها فراغات الأسقف المائلة، تُحْقَن المادّة الجافّة تحت الضغط لتملأ بشكل كامل جميع الفراغات لمنع دوران الهواء. ففي الجدران التي تتنفّس [النفوذة للأبخرة]، يُمْلأ عزل السيلولوز داخل غشاء التنفّس، الذي يسمح بمرور بخار الماء عبره إلى الطبقة الخارجيّة للمبنى. يمكن أن يُرش السيلولوز رطباً في ما بين عوارض الجدار قبل إغلاقه. فالسيلولوز مادة ماصّة للماء، تمتص بخار الماء في ظروف الرطوبة المرتفعة، ثمّ تطرحه ثانيةً في الظروف الجّافة. والسيلولوز مادة فعّالة في امتصاص الصّوت المحمول بالهواء. (النّاقليّة الحراريّة للسيلولوز تساوي 0.035 .w/m.k في التطبيقات الأفقية و 0.038 ـ 0.040 .w/m.k في الجدران).

البلاستيك المعاد التدوير

تُصْنَع مادة عزل السقائف من زجاجات البلاستيك معاد التدوير، إلى مادّة غير منسوجة ونظيفة (الشكل 3.13). يحتوي المنتج تقريباً 85-90% من المادة المعادة

التدوير، وخلافاً لألياف الصّوف الزّجاجي أو الصّوف المعدني المكافئة، لايمتلك المنتج أليافاً سائبة يمكن أن تسبّب التهيج. المادّة متوفّرة في لفائف بسماكات من 100 إلى 200 mm، ولها ناقليّة حراريّة تساوي 0.037 .w/m.k.



(الشكل 3.13) عزل بلاستيك المعاد التدوير.

ألياف الكتّان والقنّب وجوز الهند

بازدياد الطلب على مواد عزل مستدامة، أصبحت المنتجات المشتقّة من ألياف الكتّان والقنّب وجوز الهند المتجدّدة متوفّرة. يناسب العزل بالكتّان البنى المهوّاة أو التي تسمح بمرور الأبخرة. ويمكن أن تستعمل البلاطات في الأسقف والجدران، والرّولات في السقائف والأرضيّات المعلّقة والجدران. يُعالَج الكتّان بالبوراكس لمقاومة الحريق والحشرات، ويُلصَق بنشاء البطاطا، معطياً منتجاً ماصّاً للرطوبة، غير سامٍّ مع خواص عزل حراري وصوتي جيدة. (النّاقليّة الحراريّة للكتّان تساوي 0.037 .(w/m.k.

تُستعمل ألياف القنّب المقطّعة والمعالجة بالبوراكس لمقاومة الحريق، لإنتاج بلاطات عزل، وأيضاً كمادة مالئة مفكّكة في الأرضيات والأسقف. ويُخْلَط القنب إمّا مع ألياف الخشب أو مع نفايات القطن و15% من ألياف البوليستر لتشكيل بلاطات عزل. يستعمل القنّب، وهو مادّة متينة جداً، في صناعة أنواع معيّنة من الألواح الحبيبيّة في ألمانيا، وبشكل عام لإنتاج الورق. خرسانة القنّب موصّفة في الفصل 3. (النّاقليّات الحراريّة لمنتجات العزل من القنب تقع في المجال 0.038 ـ 0.040 .(w/m.k.

تمتلك ألواح العزل الحراري والصّوتي المصنّعة من ألياف جوز الهند، ميزة المقاومة الطبيعية للتعفّن. وهي متوفّرة بطيف من السماكات من 10 إلى 25 mm، وتشمل استعمالاتها النموذجيّة عزل الأسقف والأرضيّات بما فيها التطبيقات تحت قدة التسوية. (النّاقليّة الحراريّة لألياف جوز الهند تساوي 0.045 .w/m.k ويبلغ التخفيض في الصّوت لتطبيق نموذجي بسماكة 18 mm تحت قدة التسوية 26 ديسيبل).

ألواح العزل الليفيّة

صناعة ألواح العزل (WF) أو الألواح الطريّة، التي هي ألواح بناء من ألياف الخشب منخفض الكثافة، تم وصفها في الفصل 4. ويجب أن تُسْتَعمل الأصناف المعيارية من ألواح العزل، فقط في حالات عدم وجود أي تماس مع الرطوبة أو أي خطر من تأثيرات التكاثف. تستعمل ألواح العزل لتبطينات الجدران، ويمكن أن تُدعم برقائق الألومنيوم لزيادة العزل الحراري. منتجات عزل ألياف الخشب موصّفة في المعيار (BS EN 13171:2008).

يمكن تشريب ألواح العزل بمؤخرات حريق لاعضويّة، لتعطي انتشاراً سطحياً للّهب من الصنف 1 وفقاً للمعيار (BS 476 Part 7)، أو يتم إنهاؤها بألواح الجص فتعطي سطحاً أملس من الصّنف (0). التقويم الأوروبي لتصنيف أداء الحريق وفقاً للشروط المحدّدة في المعيار (BS EN 13986:2004)، يعطي اللوح المتوسط غير المعالج مرتفع الكثافة (600 kg/ m^3) التصنيف (D-s2,d0)، للاستعمالات كافة عدا الأرضيات. بالنسبة للألواح المتوسطة غير المعالجة المنخفضة الكثافة (400 kg/ m^3)، فإن التقويم المكافئ هو الصّنف E، ويستعمل فيما عدا الأرضيات، والتقويم للوح الطري غير المعالج وبسماكة 9 mm وبكثافة 250 kg/ m^3 هو الصنف (E)، للاستعمال فيما عدا الأرضيات.

تمتلك ألواح العزل المكشوفة خواص امتصاص صوت جيّدة، نتيجة ميّزاتها السطحيّة. ولألواح التبطين الطريّة المعيارية بسماكة 12 mm معامل تخفيض ضجيج قدره 0.42، مع أنّ هذه القيمة تزداد إلى 0.60 في الألواح التي سماكتها 24 mm.

تُسْتَعْمَل ألواح العزل المشرّبة بالبيتومين، بخواصها المحسّنة لمقاومة الماء، كطبقة عزل حراري على الأرضيات الخرسانية. تُغَطّى البلاطات الأرضيّة الخرسانيّة

بالبوليتين، ومن ثمّ بلوح العزل المشرّب بالبيتومين، والإنهاء المطلوب للأرضيّة كألواح نشارة الخشب. لتحسين الأرضيّات الخشبيّة المعلّقة الموجودة، يمكن أن تُخفّض طبقة من ألواح العزل المشرّبة بالبيتومين، موضوعة بشكل حر تحت إنهاء حديث للأرضية، عادة كلاً من انتقال الصوت الناجم عن الصّدم والمحمول بالهواء بمقدار 10 ديسيبل. ويستعمل لوح العزل المشرّب بالبيتومين كثيراً في منظومات التسقيف المستوية، كطبقة حامية من الحرارة للبولي يوريثان، أو البوليستيرين أو رغوة الفينول، قبل تطبيق غشاء البيتومين السّاخن العازل للماء. كما يُستعمل أيضاً كطبقة عزل في السقوف المائلة. (الناقليّة الحرارية لألواح العزل تساوي عادة 0.050 .(w/m.k

البوليستيرين المتمدّد

البوليستيرين المتمدّد (EPS) هو مادّة قابلة للاحتراق تنتج عند احتراقها كميات كبيرة من الدّخان الأسود الضّار بالصحة، مع أن النّوع (A) يعدّ غير قابل للاشتعال بسهولة عند إضافة مؤخّر احتراق. لا يتأثّر البوليستيرين المتمدّد، وهو منتج مغلق الخليّة، بالماء وبالحموض الممدّدة والقلويّات، لكنّه يذوب بسهولة بمعظم المذيبات العضوية. إنه مقاوم للتعفّن والحشرات الطفيليّة، وخالٍ من الفورمالدهيد، و(CFCs) و (HCFCs). تم توصيف البوليستيرين المتمدد في المعيار (BS EN 13163:2008).

كريّات البوليستيرين

تستعمل كريّات البوليستيرين المتمدد كمادة مالئة مفكّكة لعزل التجويفات. لمنع انزلاقها وهروبها عبر الفراغات، يربط أحد الأنظمة كريّات البوليستيرين ببعضها وذلك برشها بلاصق رذاذي من خلّات البولي فينيل (PVA) أثناء عملية الحقن، رغم أن العمليات الأخرى تبقي المادة مفككة. ويمكن عزل الجدران حتى ارتفاع 12 m بهذا النوع من الأنظمة. يجب عدم استعمال العزل بكريّات البوليستيرين عند وجود تمديدات كهربائية في التجويف، لأنّ البوليستيرين يمتص تدريجياً الملدّن من الكابلات البلاستيكية، مسبّباً هشاشتها، التي يمكن أن تقود مستقبلاً إلى مشاكل إذا تمّ تحريك هذه الكابلات. يستعمل الإسمنت بحصويات من كريّات البوليستيرين لتشكيل طبقة حشوة عازلة داخلية، في أنظمة ألواح الإكساء الخرسانيّة.

ألواح البوليستيرين المتمدّد

تستعمل ألواح البوليستيرين المتمدد الصّلبة الخفيفة الوزن للعزل الحراري، ويتوفّر منها أربعة أصناف معيارية (جدول 3.13). تُصَنّف المادّة المعيارية، بالصّنف الأوروبي (F) في ما يتعلّق بالحريق، إلا أنّ بعض الألواح المعدّلة بمؤخر لهب، تُصَنّف بالصِّنْف الأوروبي (E). (مجال التصنيفات هو من (A1) و(A2) وصولاً إلى (F)) يُسمَّى البوليستيرين المتمدد الحمّال لخواص عزله للصوت الصّادم بالنّوع (EPS T) وفقاً لـلمعيار (BS EN 13163: 2008).

الألواح، التي تُصْنَع بصهر الكريّات المسبقة الإرغاء مع بعضها البعض تحت الحرارة والضغط يمكن بسهولة تقطيعها، ونشرها بالمنشار أو صهرها بسلك ساخن. وتوفّر ألواح البوليستيرين العزل الحراري للجدران والأسقف والأرضيّات. إضافةً إلى ذلك، يمكن صب البوليستيرين في الخرسانة المسلّحة ويمكن إزالته منها بسهولة لعمل فراغات للمثبتات.

في عزل الجدار ذي الفجوة، يمكن الاحتفاظ بفجوة بسماكة 50 mm لمنع خطر تغلغل الماء، تُثبت الألواح على الطبقة الداخليّة بمرابط جداريّة خاصة. وبديلاً من ذلك، في نظام الفجوة المملوءة كليّاً، يمكن قولبة الألواح برفق على السطح الخارجي لصرف أي ماء وردّه إلى الوجه الداخلي للطبقة الخارجيّة من الجدار. وتمنع الوصلات المعشّقة التجسير البارد، وتسرّب الهواء، وتغلغل الماء عند وصلات الألواح. لتحسين الجدران الموجودة، يجب حماية عزل البوليستيرين المتمدد الخارجي، باستعمال طينة مسنودة بشكل مناسب أو ببلاطات معلّقة. ويجب أن تسمح الطينة المقاومة للظروف الجويّة بالحركة الناتجة عن الحرارة والرطوبة، وأنْ تكون مقاومة للصّقيع لتقليل الصّيانة. ولعزل الجدران الداخليّة، يمكن استعمال البوليستيرين المتمدد بالتّشارك مع لوح جص سماكته 12.5 mm، إما بشكل منفصل أو كطبقة مثبتة عليه. يستعمل البوليستيرين المتمدد لتأمين العزل الحراري للطوابق الأرضية. حيث يمكن أن يوضع تحت أو فوق بلاطات أرضية الموقع. في الحالة الثانية، يمكن تغطيته بقدة إسمنتية أو إنهاؤه بواسطة ألواح نشارة خشب. وتناسب ألواح الأرضيات المركّبة، المصنّعة من البوليستيرين المتمدّد ولوح مجدول موجّه، الأرضيات المكونة من عوارض وبلوك. بينما توفّر أنظمة خاصة عزلاً حراريّاً لعوارض الخرسانة المسبقة الإجهاد، والأرضيات بقدة من الخرسانة المسلّحة. تخفّض ألواح البوليستيرين المتمدد انتقال الصوت الناجم عن الصّدم

والصوت المحمول بالهواء عبر الأرضيات البينيّة.

البوليستيرين المتمدّد مناسب للعزل الحراري في الأسقف المستوية والمائلة. ويمكن قصه بحيث يؤمن الميل المناسب للأسقف المستوية. وعند تطبيق منتجات البيتومين السّاخن، يجب حماية ألواح البوليستيرين المتمدد، بطبقة مناسبة من الألواح الليفية المشرّبة بالبيتومين، أو ألواح البرلايت أو ألواح الفلين. ففي تطبيقات الأسقف المعدنية، يُمكن وضع طبقة العزل أعلى أو أسفل العوارض الثانوية، في حين تركّب عادةً ألواح البوليستيرين المتمدد في الأسقف المائلة التقليدية فوق العوارض المائلة. بالرغم من أنّ البوليستيرين المتمدد مغلق الخليّة، إلا أنّه يعمل كماص للصّوت، شريطة تركيبه مع فجوة هوائيّة بينه وبين السطح الساند. إنّه يمتصّ الصوت بشكلٍ خاص عند التردّدات المنخفضة ويمكن أن يستعمل في الأرضيات والأسقف. ومع ذلك فهو أقل فاعلية من المواد المفتوحة الخلية كرغوة البولي يوريثان المرن. والبوليستيرين المتمدد الذي يحتوي على فحم الغرافيت هو رماديّ اللّون ويمتلك خواص عزل حراري محسّنة لأنه يمتص الأشعّة تحت الحمراء ويعكس الحرارة. (النّاقليّة الحراريّة للبوليستيرين المتمدد تقع في المجال 0.033 ـ 0.040 w/m.k. بحسب الصنف. للمنتج الحاوي على الغرافت ناقليّة حراريّة مساوية لـ 0.033 w/m.k).

البوليستيرين المبثوق

يُصْنَع البوليستيرين المبثوق (XPS) عادةً بعمليّة التّخلية، بالرغم من أنّ بعضه يُنْفَخ بالـ (CFCs)، أو بثاني أوكسيد الكربون. البوليستيرين المبثوق أكثف قليلاً، ولهذا فهو أقوى قليلاً على الضّغط من البوليستيرين المتمدّد، ولكنّه يمتلك ناقليّة حرارية أقل. له بنية خلوية مغلقة، مع خواص منخفضة جدّاً لامتصاص الماء وانتقال البخار. ويُنْتَج إمّا مع أو من دون قشرة بوليستيرين. البوليستيرين المبثوق موصّف في المعيار (BS EN 13164:2008). وهو متوفّر بكثافات تتراوح من 20 إلى 40 kg/m^3. ويستعمل البوليستيرين المبثوق بشكل واسع، لعزل الجدران ذات الفجوة والأسقف المائلة. نتيجة مقاومته العالية لامتصاص الماء، يمكن أن يستعمل البوليستيرين المبثوق لعزل الأرضيات تحت البلاطات الخرسانيّة، وعلى الأسقف المقلوبة، حيث تعدّ مقاومته للضرر الميكانيكي نتيجة سير الأقدام عليه مفيدة. يتوفر البوليستيرين المبثوق أيضاً بطبقات فوق ألواح نشارة الخشب ذات اللسان والحزّ المقاومة للرطوبة من الصنف المستعمل في تغطية الأرضيّات وذلك للتطبيق المباشر

على بلاطات الأرضيات الخرسانية، بطبقات على ألواح الجص كألواح جدارية. (النّاقليّة الحرارية للبوليستيرين المبثوق تساوي عادة 0.025 ـ 0.027 w/m.k).

الجدول 3.13 أصناف البوليستيرين المعيارية (BS 3837-1: 2004 and BS EN 13163: 2008)

الصنف BS 3837	النوع BS EN 13163	الوصف	الكثافة النموذجية kg/ m^3	الناقلية الحرارية w/m.k
SD	EPS 70	استعمال معياري	15	0.038
HD	EPS 100	استعمال عادي	20	0.036
EHD	EPS 150	استعمال عالٍ جداً	25	0.035
UHD	EPS 200	استعمال فائق	30	0.034

ملاحظة: يحتوي المعيار (BS EN 13163:2008) على مجال الأنواع من (EPS 30) إلى (EPS 500).

البولي فينيل كلوريد المتمدّد

تُصْنَع رغوات الـ (PVC) الملدّن مفتوحة، والمفتوحة جزئياً، والمغلقة الخلية، كمنتجات مرنة أو صلبة، بكثافات من 24 إلى 72 kg/ m^3، تتمتع المنتجات الصلبة مغلقة الخليّة بنفوذية منخفضة للماء، وبإطفاء للحريق ذاتي. تستعمل ألواح (PVC) المتمدّد في الألواح الثنائية الطبقة ولتبطين الجدران. تمتلك المادة المنخفضة الكثافة ومفتوحة الخلية بشكل خاص، امتصاصيّة جيّدة للصّوت، ويمكن استعمالها لتخفيض انتقال الصوت عبر التجاويف الفاصلة (Unbridged Cavities) والأرضيّات العائمة. (النّاقليّة الحراريّة لـ (PVC) المتمدد تساوي عموماً 0.030 w/m.k).

رغوة البولي إيزوسيانورات

تُنْفَخ رغوة البولي إيزوسيانورات (PIR) بالبنتين (بارافين هيدروكربوني) (Pentane). تستعمل كمادة عزل للأسطح، كونها أكثر مقاومةً للحرارة من رغوات العزل العضوية الأخرى التي لا يمكن لصقها مباشرةً بالبيتومين السّاخن. البولي إيزوسيانورات مناسب أيضاً للاستعمال في عزل الجدران والأرضيات. وهو قابل للاحتراق (BS 476 Part 4) مع سطح ناشر للّهب من الصنف 1 (BS 476 Part 7)، لكنّه أكثر مقاومةً للحريق من رغوة البولي يوريثان، ويمكن معالجته للوصول إلى

مقاومة حريق من الصّنف (0). تُصنف ألواح رغوة البولي إيزوسيانورات في الصنف (F) من تصنيفات الحريق، إلا أنّ أنظمة البناء تسمح باستعمالها في فجوات الجدران ضمن طبقات أعمال البناء بسماكة لا تقل عن 75 mm (BS 4841:2008). ويميل البولي إيزوسيانورات ليكون قابلاً للكسر وهشّاً إلى حدٍّ ما. تستعمل أنظمة معيّنة خاصّة عزل البولي إيزوسيانورات المغطّى بـ (PVC-U) لإغلاق التجويفات المعزولة. توفّر مثل هذه الأنظمة حاجزاً مقاوماً للرطوبة، ويمكن أن تساعد في إلغاء التجسير البارد، الذي يسبّب أحياناً التكاثف ونموّ العفن حول فتحات الأبواب والنّوافذ. (النّاقليّة الحرارية لرغوة البولي إيزوسيانورات تقع عادةً في المجال بين 0.023 و0.025 w/m.k.).

رغوة البولي يوريثان

البولي يوريثان الصّلب (PUR) هو رغوة مغلقة الخلية، يصنع في الوقت الحاضر باستعمال ثاني أوكسيد الكربون، أو البنتين أو مركبات الهيدروفلوروكربون. يبقى البنتين أو مركبات هيدروفلوروكربون محصوراً ضمن الخلايا المغلقة محسّناً الأداء الحراري، لكن ثاني أوكسيد الكربون ينتشر خارجاً. تعدّل أنواع معيّنة من البولي يوريثان بواسطة البولي إيزوسيانورات. إنّ منتجات البولي يوريثان الرغوي معرّفة في المعيار (BS EN 13165:2008).

البولي يوريثان الصلب هو مادّة قابلة للاحتراق، ينتج عنها دخان وعوادم كثيرة ضارة بالصحة، مع أنه تتوفّر مادة مقاومة للهب. تُصنف ألواح البولي يوريثان في التصنيف (F) من تصنيفات الحريق، إلا أنّ أنظمة البناء تسمح باستعمالها في فجوات الجدران ضمن طبقات أعمال البناء بسماكة لا تقل عن 75 mm (BS 4841: 2006). يستعمل البولي يوريثان لتحسين خواص العزل الحراري للبلوك الخرساني، إما بملء الفراغات الهوائية في البلوك المفرّغ أو باللصق المباشر على وجه الفجوة. تعدّ ألواح الأسقف، في بعض الأنظمة تُلصق مسبقاً برقائق التسقيف البيتومينيّة، مناسبة للأسفلت المصطكي ولأنظمة التسقيف بأغشية البيتومين المسلّح. نظراً لاستقرار درجة حرارة البولي يوريثان فلا يتطلّب أيّة حماية إضافيّة من تأثيرات تطبيق البيتومين الساخن. وديمومة المادة تجعلها أيضاً مناسبة للاستعمال في الأسقف المقلوبة. وتتوفر طبقات برقائق أو بورق كرافت. وحدات التغطيّة بالصفائح المعدنية المشكّلة، ثنائيّة الطبقة والمُصنَّعة معمليّاً، كثيراً ما تُملأ برغوة البولي يوريثان الصّلب، نظراً لالتصاقه الجيد

وخواصه في العزل الحراري. يستعمل البولي يوريثان المطبق على ألواح الجص كألواح جدارية.

عند حقنه، كنظام ثنائي المكوّن مسبق المزج، في الجدران ذات الفجوة، يلتصق البولي يوريثان جيّداً بأعمال البناء مشكلاً رغوة ومتمدّداً في المكان ليملأ كامل الفراغ الهوائي. وقد استعمل في حالات، عانت فيها مرابط الفجوات من تآكل خطير، وعندما يتطلّب الأمر ربطاً إضافيّاً بين طبقتي الجدار، لكنّه لا يستعمل حاليّاً كمادة عزل في الفجوة على نطاق واسع. إلا أنّ رذاذ رغوة البولي يوريثان ثنائي المكوّن فعال في إغلاق الفجوات حول فتحات الخدمات، وفي منع تشكّل الجسور الباردة، وتحت عزل البلاطات، ولملء المواقع التي لا يمكن الوصول إليها.

رغوة البولي يوريثان المرن هي مادّة مفتوحة الخلية، توفّر خواص امتصاص جيّدة للضّجيج. لذلك تستعمل في القواطع ذات الإطارات الخشبيّة الخالية من الجسور، وفي الأرضيّات العائمة، وفي تبطين مجاري الهواء لتخفيض انتقال الضجيج. رغوة البولي يوريثان مقاومة لنموّ الفطريات، والمحاليل المائيّة والزّيوت، لكنّها ليست مقاومة للمذيبات العضوية. (النّاقليّة الحراريّة لرغوة البولي يوريثان الصلب تقع عادة في المجال 0.019 ـ 0.023 w/m.k، عند كثافة اسميّة 32 kg/m^3. تمتلك رغوة البولي يوريثان المرن عادة ناقليّة حراريّة مساوية إلى 0.048 w/m.k).

رغوة اليوريا ـ فورمالدهيد

استُعْمِلَت رغوة اليوريا ـ فورمالدهيد، على نحوٍ واسع، في ثمانينات القرن الماضي لعزل الجدران ذات الفجوة، لكنّها يمكن أن تنكمش بعد التركيب، مشكّلةً شقوقاً تصل الطبقات الداخليّة بالخارجيّة. وقد أدّى ذلك أحياناً، في ظروف التعرّض الكبير، إلى تغلغل مياه الأمطار. تصدر رغوة اليوريا ـ الفورمالدهيد بعد التركيب أبخرة الفورمالدهيد، التي دخلت في بعض الحالات إلى المباني فسبّبت لشاغليها معاناة من تهيّج العين والأنف. وتنشأ المشكلة عادةً عندما تكون الطبقة الداخلية نفوذة فقط وعندما تزيد سماكة الفجوة المملوءة على 100 mm. تدّعي التطوّرات الحالية، بأنها خفّضت انبعاثات الفورمالدهيد، لكن يجب تنفيذ التركيبات كافّةً، وفق المعيار البريطاني الصّارم (BS 5618:1985). تنصح سلطة الصّحة والسّلامة بعدم استعمال اليوريا ـ فورمالدهيد، عندما تكون الطبقة الدّاخليّة للفجوة مساميّة أو فيها وصلات مع الدّاخل غير مختومة. (النّاقليّة الحرارية لرغوة اليوريا ـ فورمالدهيد تساوي عادة 0.038 .w/m.k).

رغوة الفينوليك

تُسْتَعْمَل رغوات الفينوليك (PF)، التي تمتلك ناقليّات حراريّة منخفضة جدّاً، كبدائل لرغوات البولي يوريثان والبولي إيزوسيانورات الصلبة، وذلك عندما يكون مطلوباً استعمال مادة ذاتية الإطفاء، وإصدارها منخفض للأدخنة. يتم إنتاج رغوات الفينوليك بكثافات تتراوح بين 35 و200 kg/m^3. تُنْفَخ المادّة مغلقة الخليّة بالبنتين، أو بكلوريد الإيزوبروبيل، أو بهيدروفلوروكربون أو بخليط من هذه العناصر. رغوة الفينوليك موصّفة في المعيار (BS EN 13166:2008). توفّر ألواح الجدران المصفحة بألواح الجص خواص عزل حراري جيدة، لأن النّاقليّة الحراريّة لرغوة الفينوليك منخفضة جداً، مقارنةً مع البولي يوريثان أو البوليستيرين المبثوق. تبقى رغوات الفينوليك مستقرّة حتى درجة حرارة مستمرّة تبلغ 120 درجة مئويّة. (النّاقليّة الحراريّة لرغوة الفينوليك في مجال الكثافة 35 ـ 60 kg/m^3 تساوي عادة 0.020 w/m.k.، مع أنّ المادّة مفتوحة الخلية، تمتلك ناقليّة حراريّة تبلغ 0.031 w/ m.k).

رقائق الألومنيوم

تستعمل رقائق الألومنيوم كثيراً كمادّة عازلة بالمشاركة مع رغوة عضويّة أو منتجات الجص العازلة. وهي تعمل عن طريق تراكب تأثيرين فيزيائيّين. يتمثّل التأثير الأوّل في عكس الحرارة الواردة بسبب سطحها العاكس بشكل كبير. بينما يتمثّل التأثير الثاني بتخفيض إعادة إشعاع أيّة حرارة ممتصة، بسبب انبعاثيّة سطحه المنخفضة (Low Emissivity). يمكن حشر عزل رقائق الألومنيوم العاكس بين القوائم، أوالجوائز الثانوية أو العوارض المائلة، مع ترك فجوة هوائية 25 mm، على كل جانب. إضافةً إلى العزل، فهي تعمل كحاجز لتسرب الهواء والبخار.

منتجات العزل العاكسة للحرارة

إن أنظمة اللحف الخاصّة المتضمّنة طبقات متعدّدة من رقائق الألومنيوم، ومواد ليفيّة ومواد بلاستيكية خلويّة، تعمل كعازل من طريق تخفيض الانتقال الحراري بالتوصيل، وبالحمل، وبالإشعاع (الشكل 4.13). تُصْنَع تشكيلة من هذه المنتجات العازلة العاكسة للحرارة باستعمال تركيبات مختلفة من رغوة رقيقة من البلاستيك، ورقائق بلاستيك بفقاعات، وحشوة ليفيّة غير منسوجة، مع رقائق

ألومنيوم عاديّة أو مسلّحة. بالتّالي يمكن لنظام سندوش بسماكة 10 mm، مؤلّف من أربع طبقات من رقائق الألومنيوم، بالتبادل مع ثلاث طبقات من رقائق البولي إيتيلين الفقاعيّة، أن يحقّق عزلاً حرارياً يكافئ ما يحققه صوف معدني بسماكة 100 mm. ويمكن أن يحقّق نظام بسماكة 30 mm، مؤلّف من 19 طبقة مختلطة من رقائق الألومنيوم ورغوة وحشوة، فعالية حرارية في عزل الأسقف تكافئ ما يحقّقه صوف معدني بسماكة 210 mm. يمكن تحقيق مستويات أعلى من العزل، بواسطة أنظمة مكوّنة من عدد أكبر من الطبقات وسماكات كليّة أكبر. (النّاقليّة الحرارية لرغوة مكسو وجهها برقائق الألومنيوم تساوي عادة 0.020 .w/m.k).

(الشكل 4.13) نظام عزل برقائق الألومنيوم متعددة الطبقات.

الكلوروفلوروكربون في البلاستيك الرّغوي

حتّى وقت قريب نسبيّاً، كانت الرغوات الصّلبة للبولي يوريثان وللبولي إيزوسيانورات، تُنْفَخ بالكلوروفلوروكربون. إلا أنّه نظراً للقلق العالمي حول تأثيرات هذه الغازات على طبقة الأوزون، فقد تم إيقاف استعمال الـ (CFCs) لصالح عناصر نافخة ذات احتمال مخَفّض لاستنفاذ الأوزون (ODP)، كالألكانات المُهلْجَنة جزئياً (Partially Halogenated Alkanes Phas)، إن هيدروكلوروفلوروكربون (HCFCs) (Hydrochlorofluorocarbons)، التي ألغيت الآن عملياً لصالح الهيدروفلوروكربون (HFCs) والهيدروكربون، باحتمال صفري لاستنفاذ الأوزون. يمكن استعمال ثاني أوكسيد الكربون كعنصر نافخ، لكنّه ينتج

منتجات ذات أبعاد أقل ثباتاً. وبالتحديد، تمتلك رغوة البولي يوريثان المنفوخة بـ (HFC)، خواصَّ عازلة أفضل (النّاقليّة الحراريّة 0.019 .w/m.k) من الرّغوة المكافئة المنفوخة بثاني أوكسيد الكربون (النّاقليّة الحراريّة 0.022 .w/m.k).

المراجع

FURTHER READING

Bynum, R. and Rubino, D. 2000: *Insulation handbook*. Maindenhead: McGraw.

Communities and Local Government. 2007: *Accredited construction details*. Wetherby: Communities and Local Government Publications.

Communities and Local Government. 2009: *Proposals for amending Part L and Part F of the Building Regulations. Consultation*. London: Communities and Local Government.

Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. and Rudolphi, A. 2008: *Insulating materials. Principles, materials and applications*. Basel: Birkhauser.

Robust Details. 2007: *Robust details handbook*. 3rd ed. Milton Keynes: Robust Details Ltd.

TIMSA. 2006: *TIMSA guidance for achieving compliance with Part L of the Building Regulations*. Farnham: Thermal Insulation Manufacturers & Suppliers Association.

TRADA. 2008: *England and Wales Building Regulations Part E-Resistance to the passage of sound*. High Wycombe: TRADA Technology Ltd

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 4: 1970 Non-combustibility test for materials.

Part 6: 1989 Method of test for fire propagation of products.

Part 7: 1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products.

BS ISO 633: 2007 Cork. Vocabulary.

pr BS ISO 2219: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of expanded cork (ICB). Specification.

BS 2750 Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements:

Part 2: 1993 Determination, verification and application of precision data.

Part 3: 1995 Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements.

BS 3379: 2005 Combustion modified flexible polyurethane cellular materials for loadbearing applications. Specification.

BS 3533: 1981 Glossary of thermal insulation terms.

BS 3837 Expanded polystyrene boards:

Part 1: 2004 Boards and blocks manufactured from expandable beads.

BS 4023: 1975 Flexible cellular PVC sheeting.

BS 4841 Rigid polyisocyanurate (PIR) and polyurethane (PUR) for building end-use applications:

Part 1: 2006 Specification for laminated insulation boards with auto-adhesively or separately bonded facings.

Part 2: 2006 Specification for laminated boards for use as thermal insulation for internal wall linings and ceilings.

Part 3: 2006 Specification for laminated boards for use as roofboard thermal insulation under built up bituminous roofing membranes.

Part 4: 2006 Specification for laminated boards for use as roofboard thermal insulation under nonbituminous single-ply roofing membranes.

Part 5: 2006 Specification for laminated boards for use as thermal insulation boards for pitched roofs.

Part 6: 2006 Specification for laminated boards for use as thermal insulation for floors.

BS 5241 Rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foam when dispensed or sprayed on a

construction site:

Part 1: 1994 Specification for sprayed foam thermal insulation applied externally.

Part 2: 1991 Specification for dispensed foam for thermal insulation or buoyancy applications.

BS 5250: 2002 Code of practice for control of condensation in buildings.

BS 5422: 2009 Method for specifying thermal insulating materials for pipes, tanks, vessels, ductwork and equipment.

BS 5608: 1993 Specification for preformed rigid polyurethane (PUR) and polyisocyanurate (PIR) foams for thermal insulation of pipework and equipment.

BS 5617: 1985 Specification for urea-formaldehyde (UF) foam systems suitable for thermal insulation of cavity walls with masonry or concrete inner and outer leaves.

BS 5618: 1985 Code of practice for thermal insulation of cavity walls by filling with urea-formaldehyde (UF) foam systems.

BS 5803 Thermal insulation for use in pitched roof spaces in dwellings:

Part 2: 1985 Specification for man-made mineral fibre thermal insulation in pelleted or granular form for application by blowing.

Part 3: 1985 Specification for cellulose fibre thermal insulation for application by blowing.

Part 4: 1985 Methods for determining flammability and resistance to smouldering.

Part 5: 1985 Specifications for installations of man-made mineral fibre and cellulose fibre insulation.

BS 5821 Methods for rating the sound insulation in buildings and of building elements:

Part 3: 1984 Airborne sound insulation of façade elements and facades.

BS 6203: 2003 Guide to the fire characteristics and fire performance of expanded polystyrene materials (EPS and XPS) used in building applications.

BS 7021: 1989 Code of practice for thermal insulation of roofs externally by means of sprayed rigid polyurethane (PUR) or polyisocyanurate (PIR) foam.

BS 7456: 1991 Code of practice for stabilization and thermal insulation of cavity walls by filling with polyurethane (PUR) foam systems.

BS 7457: 1994 Specification for polyurethane (PUR) foam systems suitable for stabilization and thermal insulation of cavity walls with masonry or concrete inner and outer leaves.

BS 8207: 1985 Code of practice for energy efficiency in buildings. Design guide.

BS 8216: 1991 Code of practice for use of sprayed lightweight mineral coatings used for thermal insulation and sound absorption in buildings.

BS 8233: 1999 Sound insulation and noise reduction for buildings. Code of practice.

BS ISO 9076 Mineral wool. Loose fill for horizontal applications in ventilated roof spaces:

pr Part 1: 2007 Material specification and test method.

BS ISO 16818: 2008 Building environment design. Energy efficiency. Terminology.

BS EN ISO 717 Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements:

Part 1: 1997 Airborne sound insulation.

Part 2: 1997 Impact sound insulation.

BS EN ISO 5999: 2007 Flexible cellular polymeric materials. Polyurethane foam for load-bearing applications excluding carpet underlay. Specification.

BS EN ISO 6946: 2007 Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method.

BS EN ISO 8990: 1996 Thermal insulation. Determination of steady-state thermal transmission properties.

BS EN ISO 9229: 2007 Thermal insulation. Vocabulary. BS EN ISO 10077 Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of transmittance:

Part 1: 2006 General.

Part 2: 2003 Numerical method for frames.

BS EN ISO 10456: 2007 Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values.

BS EN ISO 10848 Acoustics. Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound:

Part 1: 2006 Frame document.

Part 2: 2006 Application to light elements. Junction small influence.

Part 3: 2006 Application to light elements. Junction substantial influence.

BS EN ISO 12241: 2008 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Calculation rules.

BS EN 12354 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements:

Part 1: 2000 Airborne sound insulation between rooms.

Part 2: 2000 Impact sound insulation between rooms.

Part 3: 2000 Airborne sound insulation against outdoor sound.

Part 4: 2000 Transmission of indoor sound to the outside.

Part 5: 2009 Sound levels due to the service equipment.

Part 6: 2003 Sound absorption in enclosed spaces.

BS EN 12524: 2000 Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values.

BS EN ISO 12567 Thermal performance of windows and doors:

Part 1: 2000 Complete windows and doors.

Part 2: 2005 Roof windows and other projecting windows.

pr BS EN ISO 12574: Thermal insulation. Cellulose fiber loose fill for horizontal applications in ventilated roof spaces:

Part 1: Material specification.

Part 2: 2007 Principal responsibilities of installers.

Part 3: 2008 Test methods.

BS EN 12758: 2002 Glass in building. Glazing and airborne sound insulation.

BS EN 13162: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made mineral wool (MW) products. Specification.

BS EN 13163: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of expanded polystyrene (EPS). Specification.

BS EN 13164: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of extruded polystyrene foam (XPS). Specification.

BS EN 13165: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made rigid polyurethane foam (PUR) products. Specification.

BS EN 13166: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of phenolic foam (PF). Specification.

BS EN 13167: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made cellular glass (CG) products. Specification.

BS EN 13168: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made

wood wool (WW) products. Specification.
BS EN 13169: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of expanded perlite (EPB). Specification.
BS EN 13170: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made products of expanded cork (ICB). Specification.
BS EN 13171: 2008 Thermal insulation products for building. Factory made wood fibre (WF) products. Specification.
BS EN 13172: 2008 Thermal insulating products. Evaluation of conformity.
BS EN ISO 13370: 1998 Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.
BS EN 13467: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Preformed pipe insulation.
BS EN 13468: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Preformed pipe insulation.Water soluble salts.
BS EN 13469: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Preformed pipe insulation.Water vapour transmission properties.
BS EN 13470: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Preformed pipe insulation. Apparent density.
BS EN 13471: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Coefficient of thermal expansion.
BS EN 13472: 2001 Thermal insulation for building equipment and industrial installations. Preformed pipe insulation.Water absorption.
BS EN 13494: 2002 Thermal insulation products for building applications. Bond strength to thermal insulation material.
BS EN 13495: 2002 Thermal insulation products for building applications. Pull off resistance.
BS EN 13496: 2004 Thermal insulation products for building applications. Mechanical properties of glass fiber meshes.
BS EN 13497: 2002 Thermal insulation products for building applications. External thermal insulation. Resistance to impact.
BS EN 13498: 2002 Thermal insulation products for building applications. External thermal insulation. Resistance to penetration.
BS EN 13499: 2003 Thermal insulation products for building applications. External thermal insulation composite systems (ETICS) based on polystyrene. Specification.
BS EN ISO 13788: 2002 Hygrothermal performance of building components and building elements. Calculation methods.
BS EN ISO 13789: 1999 Thermal performance of buildings. Transmission and ventilation heat transfer coefficients. Calculation method.
BS EN ISO 13790: 2008 Thermal performance of buildings. Calculation of energy use for space heating and cooling.

BS EN 13950: 2005 Gypsum plasterboard thermal/ acoustic insulation composite panels.

BSENISO 13971: 2004 Thermal performance of buildings. Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling.

BS EN 13986: 2004 Wood-based panels for use in construction. Characteristics, svaluation of conformity and marking.

BS EN 14063 Thermal insulation products for building. In-situ formed expanded clay lightweight aggregate products.

Part 1: 2004 Specification for the loose-fill products before installation.

pr EN 14064: 2000 Thermal insulation in buildings. In-situ formed loose-fill mineral wool products.

pr EN 14303: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. MW.

pr EN 14304: 2005 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. FEF.

pr EN 14305: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. CG.

pr EN 14306: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. Calcium silicate. CS.

pr EN 14307: 2005 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. XPS.

pr EN 14308: 2005 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. Pur.

pr EN 14309: 2005 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. EPS.

pr EN 14313: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. PEF.

pr EN 14314: 2005 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. PF.

pr EN 14315: 2002 Thermal insulation products for buildings. PUR.

BS EN 14316 Thermal insulation products for buildings. Expanded perlite (EP) products:

Part 1: 2004 Specification for bonded and loose fill products before installation.

Part 2: 2007 Specification for the installed products.

BS EN 14317 Thermal insulation products for buildings. Exfoliated vermiculite (EV) products:

Part 1: 2004 Specification for bonded and loose fill products before installation.

Part 2: 2007 Specification for the installed products.

pr EN 14318: 2002 Thermal insulating products for buildings. Polyurethane foam. PUR.

pr EN 14319: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. PUR.

pr EN 14320: 2002 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. PUR.
BS EN 14933: 2007 Thermal insulation and lightweight fill products for civil engineering applications. Expanded polystyrene (EPS).
BS EN 14934: 2008 Thermal insulation and lightweight fill products for civil engineering applications. Extruded polystyrene foam (XPS).
pr EN 15100: 2004 Thermal insulation products for buildings. Ureaformaldehyde foam. UF.
PD CEN/TR 15131: 2006 Thermal performance of building materials.
BS EN 15265: 2007 Energy performance of buildings. Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods.
BSEN20140 Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements:
Part 2: 1993 Determination, verification and application of precision data.
Part 10: 1992 Airborne sound insulation of small building elements.
BS EN ISO 23993: 2008 Thermal insulation products for building equipment and industrial installations. Determination of design thermal conductivity.
PD 6680: 2002 Guidance on the new European Standards for thermal insulation materials.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digest

BRE Digest 453: 2000 Insulating glazing units.

BRE Information papers

BRE IP 9/98 Energy efficient concrete walls using EPS permanent formwork.
BRE IP 1/00 Air tightness in UK dwellings.
BRE IP 14/01 Reducing impact and structure-borne sound in buildings.
BRE IP 14/02 Dealing with poor sound insulation between new dwellings.
BRE IP 3/03 Dynamic insulation for energy saving and comfort.
BRE IP 2/05 Modelling and controlling interstitial condensation in buildings.
BRE IP 15/05 The scope for reducing carbon emissions from housing.
BRE IP 1/06 Assessing the effects of thermal bridging at junctions and around openings.
BRE IP 8/08 Determining the minimum thermal resistance of cavity closers.
BRE Good building guides
BRE GBG 22: 1999 Improving sound insulation (Parts 1 and 2).
BRE GBG 28: 1997 Domestic floors: construction, insulation and damp-proofing.
BRE GBG 31: 1999 Insulated external cladding systems. BRE GBG 37: 2000

Insulating roofs at rafter level: sarking insulation.

BRE GBG 43: 2000 Insulating profiled metal roofs.

BRE GBG 44: 2001 Insulating masonry cavity walls (Parts 1 and 2).

BRE GBG 45: 2001 Insulating ground floors.

BRE GBG 50: 2002 Insulating solid masonry walls.

BRE GBG 68: 2006 Installing thermal insulation: Good site practice (Parts 1 and 2).

BRE Good repair guides

BRE GRG 7: 1997 Treating condensation in houses.

BRE GRG 22: 1999 Improving sound insulation.

BREGRG26: 1999 Improving energy efficiency: Part 1. Thermal insulation.

BRE GRG 30: 2001 Remedying condensation in domestic pitched tiled roofs.

BRE Reports

BR 262: 2002 Thermal insulation: avoiding risks.

BR 347: 1998 Energy efficient in situ concrete housing using EPS permanent formwork.

BR 358: 1998 Quiet homes; a guide to good practice.

BR 406: 2000 Specifying dwellings with enhanced sound insulation: a guide.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Rigid Urethane Foam Manufacturers Association Ltd., 12a High Street East, Glossop, Derbyshire SK13 8DA, UK (01457 855884).

Cork Industry Federation, 13 Felton Lea, Sidcup, Kent DA14 6BA, UK (020 8302 4801).

Eurisol-UK Mineral Wool Association, PO Box 35084, London NW1 4XE, UK (020 7935 8532).

European Phenolic Foam Association, Kingsley House, Ganders Business Park, Kingsley, Bordon, Hampshire GU35 9LU, UK (01420 471617).

Insulated Render and Cladding Association Ltd., PO Box 12, Haslemere, Surrey GU27 3AH, UK (01428 654011).

National Insulation Association, 2 Vimy Court, Vimy Road, Leighton Buzzard, Bedfordshire LU7 1FG, UK (01525 383313).

Thermal Insulation Manufacturers & Suppliers Association, Kingsley House, Ganders Business Park, Kingsley, Bordon, Hampshire GU35 9LU, UK (01420 471624).

14

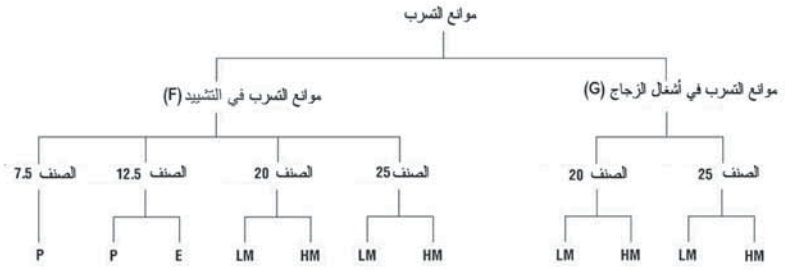
موانع التسرّب وحشوات الإغلاق والمواد اللاصقة

مقدّمة

بالرغم من أنها تستخدم بكميات صغيرة نسبياً بالمقارنة مع مواد الإنشاء الأخرى الحاملة للأحمال فإن موانع التسرب (Sealants) وحشوات الإغلاق (Gaskets) والمواد اللاصقة تلعب دوراً مهماً في النجاح أو الفشل المحسوس للمباني. وإن الجمع ما بين التفاصيل الصحيحة والاستخدام المناسب لهذه المواد ضروري لتجنّب الحاجة لإجراء أعمال إصلاحية عالية الكلفة. حيث يقوم العديد من المصنعين بإنتاج موانع تسرّب ومواد لاصقة خالية من المذيبات كبدائل صديقة للبيئة عن المنظومات التقليدية المبنية على المذيبات.

موانع التسرّب

تُصمم موانع التسرب من أجل إحكام إغلاق الفواصل ما بين أجزاء البناء المتجاورة مع بقائها مرنة بشكل كافٍ لتتكيف مع أية حركة نسبية. وقد يكون مطلوباً منها منع الرياح والمطر والأصوات المحمولة في الهواء. ويتوفر مجال واسع من المنتجات كي تتم مطابقة ميزات أداء مانع التسرّب مع متطلبات الفاصل. ويمكن أن تؤدي الموصفات أو التنفيذ الخاطئين وكذلك التصميم أو التحضير السيئين للفاصل إلى فشل مبكر لمانع التسرب. يصنف المعيار (BS EN ISO 11600:2003) موانع التسرب إلى النوع (G) للتطبيقات المتعلقة بالزجاج والنوع (F) (واجهة) لفواصل البنى الأخرى. وتُعرّف الأصناف في كل من هذين النوعين وفقاً لإمكانية الحركة ومعامل المرونة والعودة المرنة (الشكل 1.14).



ملاحظات: F تشير إلى واجهة و G إلى أعمال الزجاج
رقم الصنف يشير إلى مقدار الحركة الملائمة كنسبة مئوية
P يشير إلى اللدونة، E إلى المرونة، LM إلى معامل المرونة المنخفض، HM إلى معامل المرونة المرتفع

(الشكل 1.14) تصنيف مواقع التسرب المستخدمة في البناء.

إنّ العوامل المفتاحية في تحديد مانع التسرب المناسب هي:

- فهم سبب وطبيعة الحركة النسبية
- ملاءمة طبيعة ومدى الحركة مع مانع تسرب مناسب
- التصميم المناسب للفاصل وتحضير السطح وتنفيذ المانع
- فترة الخدمة العملية لمانع التسرب

الحركة النسبية ضمن المباني

تتعلّق معظم الأسباب الشائعة للحركة في المباني بالهبوطات وتأثير الحمولات الميتة والحية، بما فيها حمولة الرياح وتقلبات درجات الحرارة وتغيرات محتوى الرطوبة، وفي بعض الحالات تأثيرات التدهور الناتج من المواد الكيميائية أو المواد المتحللة كهربائياً. يمكن أن تتراكم هذه التأثيرات المتنوعة أو تكون معاكسة لبعضها وذلك حسب الظروف السائدة.

الهبوطات

تترافق الهبوطات بشكل أساسي مع التغيرات التي تطرأ على الحمولات المطبقة على الأساسات خلال عملية التشييد، بالرغم من أن هذه الهبوطات قد تستمر لبعض الوقت غالباً حتى 5 سنوات بعد اكتمال أعمال التشييد. وقد تؤدي التعديلات اللاحقة على المبنى أو محتوياته إلى حدوث حركة نسبية إضافية. وتكون الهبوطات عادة بطيئة وباتجاه واحد مما يخلق تأثيراً قاصاً على مانعات التسرّب المستخدمة عبر الحدود [في أجزاء المبنى].

الحركة الناتجة من الحرارة

جميع مواد البناء تتمدّد وتتقلص إلى حدّ ما مع تغير درجة الحرارة. بالنسبة للخشب تكون الحركة قليلة، لكنها تكون متوسطة في حالات الزجاج والفولاذ والآجُرّ والحجر والخرسانة، وعالية نسبياً للمواد البلاستيكية والألومنيوم. وتزداد هذه الحركات بتأثير كل من اللون والعزل وسماكة المادة. حيث تمتص المواد القاتمة اللون الإشعاع الشمسي والحرارة بسرعة أكبر من المواد العاكسة للضوء. كما تستجيب الإكساءات المعزولة جيداً بسرعة للتغيرات في الإشعاع الشمسي، مما يولّد حركات تمدد دورية سريعة، بينما تستجيب مواد البناء الثقيلة بشكل أبطأ، لكنها مع ذلك تبدي حركات كبيرة خلال الدورة السنوية. الحركات الحرارية النموذجية مبينة في الجدول 1.14.

الحركة الناتجة من الرطوبة

تقع الحركة الناتجة من الرطوبة ضمن فئتين: الحركات غير العكوسة عندما تتأقلم المواد الجديدة مع البيئة والحركات الدورية العكوسة بسبب التغيرات المناخية. يظهر العديد من مواد البناء، وخاصةً الخرسانة والملاط، تقلصاً أولياً خلال عملية جفافها. تتقلّص كذلك الأخشاب المجفّفة بشكل غير صحيح؛ إلا أن الآجُرّ الجديد المستخدم بعد فترة قصيرة جداً من تصنيعه سوف يتمدد. بعد هذه التأثيرات الأولية سوف تتمّدد وتتقلص جميع المواد التي تمتص الرطوبة بدرجات مختلفة استجابة للتغيرات في محتواها من الرطوبة. يمكن أن تكون الحركات الناتجة عن الحرارة والرطوبة معاكسة أو داعمة لبعضها وذلك حسب الظروف المناخية. يظهر الجدول 2.14 الحركات النموذجية العكوسة وغير العكوسة الناتجة عن الرطوبة.

الحمولات والتآكل

إن الحركات المترافقة مع الحمولات الحية، مثل الآلات وحركة السير والرياح، يمكن أن تسبب حركات دورية سريعة ضمن مكونات المبنى. وغالباً ما يكون تدهور المواد، مثل صدأ الفولاذ أو هجوم الكبريتات على الخرسانة، مترافقاً مع تمدد غير عكوس يؤدي إلى حركة الأجزاء المتجاورة. وقد تتعرّض المباني الخرسانية إلى الزحف، وهو تشوه دائم تدريجي تحت تأثير الحمولات، على امتداد العديد من السنوات.

الجدول 1.14 الحركات الناتجة من الحرارة لمواد البناء

المادة	الحركة الحرارية النموذجية (mm/m لتغير مقداره 85°C)	معامل التمدد الطولي مقدراً بـ $C \times 10^{-6}$
الجدران المبنيّة		
الخرسانة ـ بحصويات قياسية	1.2	10 ـ 14
أشغال آجُرّ سيليكات الكالسيوم	1.2	8 ـ 14
أشغال البلوك الخرساني	1.0	6 ـ 12
الخرسانة ـ المهواة	0.7	8
الخرسانة ـ حصويات من الحجر الكلسي	0.6	7 ـ 8
أشغال الآجُرّ الصلصالي	0.5 ـ 0.7	5 ـ 8
GRC الإسمنت المسلح بالألياف الزجاجية	1.0	7 ـ 12
الطينة	الطينة الكثيفة	1,5
18 ـ 21		الطينة خفيفة الوزن
1.4	16 ـ 18	
المعادن		
التوتياء (على طول الرول)	2.7	32 (22 على عرض الرول)
الرصاص	2.5	29
الألومنيوم	2.0	24
تيتانيوم التوتياء	1.8	20 ـ 22
النحاس	1.4	17
الفولاذ غير القابل للصدأ (أوستنيتي Austenitic)	1.4	18
الفولاذ غير القابل للصدأ (حديدي Ferritic)	0.8	10
الفولاذ غير القابل للصدأ المطلي بـ (Terne)	1.4	17
الفولاذ البنيوي	1.0	12
الحجر والزجاج		
الزجاج	0.9	9 ـ 11
الأردواز	0.9	9 ـ 11
الغرانيت	8.0	8 ـ 10
الحجر الرملي	0.8	7 ـ 12
الرخام	0.4	4 ـ 6
الحجر الكلسي	0.3	3 ـ 4

المواد البلاستيكية		
(ABS)	0,8	95 ـ 83
(PVC) (القاسي)	0,6	80 ـ 40
(GRP) البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية	0,3	35 ـ 18
الأخشاب		
الخشب (على طول الألياف)	5,0	6 ـ 4

ملاحظة :

الحركات النموذجية لمواد البناء قيد الاستعمال الناتجة عن الحرارة محسوبة من أجل تغير في درجة الحرارة مقداره 85° مئوية (مثلاً من ـ 15° مئوية إلى +70° مئوية) (مقاسة بـ mm/m)

الجدول 2.14 الحركات الناتجة من الرطوبة لمواد البناء النموذجية

المادة	الحركة العكوسة /mm) m)	الحركة غير العكوسة (mm/m)
خرسانة	0.6 ـ 0.2	0.8 ـ 0.3 (تقلّص)
خرسانة ممزوجة بالهواء (مهوّاة)	0.3 ـ 0.2	0.9 ـ 0.7 (تقلّص)
أشغال الآجُرّ ـ من الصلصال	0.2	1.0 ـ 0.2 (تمدّد)
أشغال الآجُرّ ـ من سيليكات الكالسيوم	0.5 ـ 0.1	0.4 ـ 0.1 (تقلّص)
أشغال البلوك ـ الكثيف	0.4 ـ 0.2	0.6 ـ 0.2 (تقلّص)
أشغال البلوك ـ الممزوج بالهواء	0.3 ـ 0.2	0.9 ـ 0.5 (تقلّص)
الإسمنت المسلح بالألياف الزجاجية	1.5	0.7 (تقلّص)
الخشب الطري	25 ـ 5 (الرطوبة النسبية 60-90%)	
الخشب القاسي	32 ـ 7 (الرطوبة النسبية 60-90%)	
الخشب المعاكس	3 ـ 2 (الرطوبة النسبية 60-90%)	
ليس للخشب حركة غير عكوسة		

ملاحظة :

الحركات النموذجية العكوسة وغير العكوسة لمواد البناء المبينة الناتجة من الرطوبة (مقاسة بـ mm/m)

أنواع موانع التسرّب

هناك ثلاثة أنواع متمايزة من موانع التسرب، اللدنة والمرنة اللدنة والمرنة، كل منها يبدي خواص مختلفة عن الآخر بشكل كبير يجب ملاءمتها مع التطبيق المناسب لمانع التسرّب (BS 6213:2000).

موانع التسرب اللدنة

لا تسمح موانع التسرب اللدنة والتي تشمل مصطات (Mastics) الأغراض العامة، إلا بمقدار محدود من الحركة ولكن عندما توضع في حالة مشوهه فإنها تقوم بتحرير الإجهادات فيها. تكون الاستعادة المرنة للشكل محدودة بقيمة عظمى مقدارها 40%. تجف موانع التسرب اللدنة بتشكل قشرة سطحية تاركة المادة السائلة محفوظة في الداخل للمحافظة على مرونتها. إلا أنه بمرور الزمن تستمر النواة اللدنة بالتصلب وبالتالي تتعلق الديمومة بسماكة المادة المستخدمة. تكون موانع التسرب اللدنة (الكود P وفقاً للـ (BS EN ISO 11600:2003)) مناسبة أكثر للأماكن التي تكون فيها أغلب الحركة من النوع غير العكوس (BS 6213:2000).

المصطكات ذات الأساس الزيتي

في حالة المصطكات ذات الأساس الزيتي (Oil Based Mastics) يلزم سماكة 10 mm لتأمين الديمومة الأمثلية، مع فترة حياة نموذجية متوقعة ما بين سنتين وعشر سنوات. وتنخفض تأثيرات التحلّل الناتج من الأشعة فوق البنفسجية بالطلاء. تتضمّن استخداماتها النموذجية منع التسرب حول إطارات النوافذ والأبواب في المباني التقليدية ذات الارتفاع المنخفض. والمصطات ذات الأساس الزيتي غير مناسبة للاستخدام مع النوافذ من نوع بولي فينيل كلوريد غير الملدن (PVC-U). (المقدار النموذجي للحركة التي تستوعبها المصطات ذات الأساس الزيتي هو 10%).

موانع التسرّب من البوتيل

تُعدّ موانع التسرب من البوتيل (Butyl sealants) لدنة ولكن بنسيج مطاطي بعض الشيء. تستخدم في الفواصل الصغيرة كمالئ للفراغات وكمانع تسرّب للأغراض العامة حيث يمكن أن تجفّ المصطات ذات الأساس الزيتي بسرعة كبيرة. فترة حياتها المتوقعة هي ما بين 10 و20 سنة إذا كانت محميّة من أشعة

الشمس بواسطة الطلاء، ولكنها تبلغ فقط 5 سنوات في الأماكن المكشوفة. (المقدار النموذجي للحركة التي تستوعبها موانع التسرّب من البوتيل هو 10%).

موانع التسرب من الأكريليك

تستخدم موانع التسرب الأكريليكية ذات الأساس المائي بكثرة للإحكام الداخلي، على سبيل المثال ما بين الطينة والنوافذ الجديدة. لموانع التسرب الأكريليكية ذات الأساس المذيب ديمومة تصل حتى 20 سنة مع التصاق جيد على السطوح الملوثة قليلاً. وهي تستوعب فقط حركة محدودة ولكنها تنتج إحكاماً خارجياً جيداً حول النوافذ في حالتي الأعمال الجديدة والترميمية. (المقدار النموذجي للحركة التي تستوعبها موانع التسرب من الأكريليك ذات الأساس المائي والزيتي هو 15% و20% على الترتيب).

موانع التسرب من البوليمير/ البيتومين

إنّ موانع التسرّب البيتومينية ذات الأساس المذيب مناسبة بشكل عام للفواصل ذات الحركة القليلة في مجرايات المياه المطرية وقطع التغطية [الإغلاق]. يستخدم البيتومين المسكوب ساخناً لمنع التسرب في فواصل الحركة في بلاطات الأرضيات الخرسانية والأسفلتية، مع أنه يجب التحقّق من توافقها مع مواد التغطية اللاحقة للبلاطة.

معجونة زيت بذر الكتان

تحتوي المعجونة التقليدية على مزيج من زيت بذر الكتان (Linseed Oil) ومواد مالئة غير عضوية (BS 544:1969) والتي تتصلّب نتيجة تأكسد الزيت بالهواء مع بعض الامتصاص ضمن الخشب. تتشكّل قشرة بشكل أولي إلا أن الكتلة تتصلّب كمادة نصف صلبة، تُنفّذ بواسطة سكين المعجون على الخشب الذي تمّ تأسيسه. ومن أجل تطبيقه على إطارات النوافذ المعدنية والأخشاب الصلبة ذات الامتصاص المعدوم والأخشاب الطرية المعالجة بمواد حافظة صادة للماء يكون من المناسب استخدام المعجونة التي لا تحتوي على زيت بذر الكتان. يجب طلاء معجونة زيت بذر الكتان خلال أسبوعين بينما يمكن ترك معجونة تغليف المعادن لثلاثة أشهر قبل طلائها.

موانع التسرب المرنة اللدنة

تستوعب موانع التسرب المرنة اللدنة الحركات المتكرّرة البطيئة وكذلك التشوهات الدائمة على حدّ سواء. وهناك مجال من المنتجات يتوفر فيها توازن مناسب للمقاومة وللسيلان اللدن ولخواص المرنة لمختلف التطبيقات.

موانع التسرّب المتعددة الكبريتيد

تتوفر موانع التسرب متعددة الكبريتيد كأنظمة من مكون واحد أو مكونين. تتميز الأنظمة من مكون واحد بأنها جاهزة للاستخدام الفوري. لكنها تجفّ ببطء من طريق امتصاص الرطوبة من الجو بحيث تشكل مبدئياً قشرة خارجية وتجف بشكل كامل خلال أسبوعين إلى 5 أسابيع. وتكون الأنظمة ذات المكون الواحد محدودة في تطبيقاتها على الفواصل حتى عرض 25 mm، ولكن أداءها في حدوده القصوى قريب من أداء المواد ذات المكونين. وتشمل استخداماتها النموذجية فواصل الحركة البنيوية في الأشغال الحجرية، والفواصل ما بين عناصر الخرسانة المسبقة الصنع أو ألواح الإكساء الحجري وكذلك الإحكام حول النوافذ. ينبغي مزج موانع التسرّب المتعددة الكبريتيد ذات المكونين قبل التطبيق مباشرة فتجف خلال 24 ـ 48 ساعة. وهي مناسبة أكثر من الأنظمة بمكون واحد لإغلاق الفواصل ذات العرض الأكبر من 25مم والتي تتعرض لحركات كبيرة أو إلى التخريب خلال فترة جفافها. تشمل استخداماتها إحكام الفواصل ضمن أنظمة الإكساء بالخرسانة وبأشغال الآجُرّ، وأيضاً ضمن ألواح الإكساء الخفيفة الوزن والمعزولة بشكل ضعيف. يبلغ العمر المتوقع لمتعددات الكبريتيد 20 ـ 25 سنة. (المقدار النموذجي للحركة التي تستوعبها موانع التسرب متعددة الكبريتيد يصل إلى 25% للأنظمة الوحيدة المكون و 30% للأنظمة ذات المكونين).

موانع التسرّب المرنة

تُعد موانع التسرّب المرنة مناسبة لإغلاق الفواصل الديناميكية حيث تحدث حركة دورية سريعة. وهي غالباً ما تصنّف إلى منخفضة أو عالية معامل المرونة اعتماداً على صلابتها. يجب استخدام موانع التسرب ذات المعامل المنخفض حيثما تكون الفواصل معرضة إلى فترات طويلة من الضغط أو التمدد وكذلك عندما تكون مادة الطبقة التحتية ضعيفة. تصنف موانع التسرب المرنة بالرمز (E) في الكود (BS EN ISO 11600:2003).

موانع التسرّب من البولي يوريثان

تتوفر موانع التسرب من البولي يوريثان كأنظمة من مكون واحد أو مكونين. وهي منتجات عالية المرونة إلا أنه يجب تحضير السطوح بعناية، وعادة تُطلى بطلاء أساس لضمان التصاق جيد. وتتمتع موانع التسرب من البولي يوريثان بمقاومة جيدة للحت كما أن ديمومتها جيدة تتراوح بين 20 و25 سنة. تطبيقاتها النموذجية تشمل الفواصل ضمن الزجاج الجدران الحاجبة، وألواح الإكساء الخفيفة الوزن والأرضيات. (المقدار النموذجي للحركة الذي تستوعبه موانع التسرب من البولي يوريثان يتراوح ما بين 10% و 30% حسب معامل المرونة).

موانع التسرّب من السيليكون

موانع التسرّب من السيليكون تكون عادة أنظمة من مكون واحد، وهي تجفّ بسرعة نسبياً في الهواء وغالباً ما يترافق ذلك مع نشوء روائح مميزة كرائحة حمض الخل. وعادة تلتصق موانع التسرّب من السيليكون بشكل جيد مع المعادن والزجاج، لكن قد يكون طلاء الأساس ضرورياً على السطوح المفكّكة أو المسامية مثل الخرسانة والحجر. قد تسبِّب موانع التسرّب من السيليكون بقعاً صعبة الإزالة على الأشغال الحجرية. تكون موانع التسرب من السيليكون ذات معامل المرونة الكبير مرنة. وتشمل تطبيقاتها النموذجية الزجاج وأنظمة الجدران الحاجبة وفواصل الحركة في تبليط السيراميك وحول القطع الصحية. تكون موانع التسرب من السيليكون ذات معامل المرونة المنخفض قابلة للاستطالة بشكل كبير وهي مناسبة للاستخدام في الفواصل المعرضة إلى حركات كبيرة نتيجة الحرارة أو الرطوبة. وتشمل تطبيقاتها النموذجية إحكام محيط النوافذ من البولي فينيل الكلوريد غير الملدن (PVC-U) ومن الألومنيوم وكذلك في أنظمة الإكساء. تعدُّ موانع التسرّب من السيليكون معمرة بفترة حياة متوقعة من 25 ـ 30 سنة (المقدار النموذجي للحركة الذي تستوعبه موانع التسرب من السيليكون يتراوح بين 20% إلى 70% حسب معامل المرونة).

موانع التسرب من الإيبوكسي

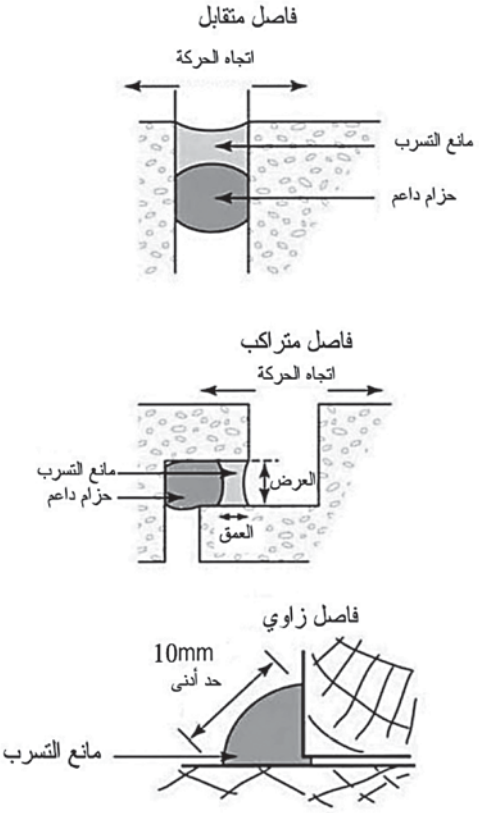
تُعدُّ موانع التسرب من الإيبوكسي ملائمة للفواصل التي تقوم بتحرير الإجهادات، حيث يكون من المتوقع حدوث حركات ضاغطة أكثر من الحركات الشادة. تشمل تطبيقاتها النموذجية فواصل الأرضيات، ومنع تسرب الماء من

فواصل البلاط ضمن أحواض السباحة. ويبلغ العمر المتوقع لموانع التسرب من الإيبوكسي 10 ـ 20 سنة (المقدار النموذجي للحركة الذي تستوعبه موانع التسرب من الإيبوكسي يتراوح بين 5% إلى 15%).

تصميم الفواصل

هناك ثلاثة أشكال من الفواصل: المتقابلة (Butt) والمتراكبة (Lap) والزاوية (Fillet) (الشكل 2.14). إلا أن الفواصل المتقابلة والمتراكبة هي فقط التي تستوعب الحركة. عموماً تستوعب الفواصل المتراكبة والتي يكون فيها مانع التسرّب معرّضاً لإجهادات قاصة ضعف مقدار الحركة التي تستوعبها الفواصل المتقابلة والتي يكون فيها مانع التسرب معرّضاً للضغط أو الشدّ. فضلاً عن ذلك تميل الفواصل المتراكبة إلى أن تكون أكثر ديمومة لأن مانع التسرب يكون محمياً جزئياً من العوامل الجوية. إلا أن إحكام إغلاق الفواصل المتراكبة يكون أكثر صعوبة من إحكام الفواصل المتقابلة. كثيراً ما يتم جعل الفواصل ضيقة جداً، إما لأسباب جمالية أو نتيجة خطأ في حساب تسامحات عناصر البناء. وكنتيجة لذلك يكون مدى الحركة كبيراً بالنسبة لعرض مانع التسرب مما يؤدي إلى انهياره بشكل سريع.

للتحكم في عمق مانع التسرب بشكل صحيح ولمنعه من الالتصاق بالجهة الخلفية من الفاصل يتم إدخال مادة داعمة قابلة للانضغاط في الفاصل، عادة ما تكون عبارة عن خلية مغلقة مستطيلة أو دائرية من البولي إيتيلين (الشكل 3.14). ويلعب البولي إيتيلين دور كاسر الالتصاق لعدم التصاقه بمانع التسرب. وعندما يتم ملء الفاصل بألواح ملء، مثل ألواح الألياف المشبعة أو ألواح الفلين، يجب إدخال شريط بلاستيكي كاسر للالتصاق أو شريحة من البولي إيتيلين على شكل خلية مغلقة. عادة يجب أن يكون عمق مانع التسرب مساوياً نصف عرض الفاصل لموانع التسرّب المرنة والمرنة اللدنة، ومساوياً لعرض الفاصل للموانع اللدنة. والعمق الأدنى المطلوب عادة هو6 mm. يحسب العرض الأدنى للفاصل من الحركة النسبية الكلية العظمى (TRM) التي يجب استيعابها ومن معامل استيعاب الحركة (MAF)، أي قابلية المانع المستخدم للاستطالة. في حالة عدم توفر عمق كاف لإدخال شريحة رغوة البولي إيتيلين يجب عندها إدخال شريط كاسر للالتصاق في الجهة الخلفية للفاصل.



(الشكل 2.14) الفواصل المتقابلة والمتراكبة والزواية.

حساب العرض الأدنى للفاصل وفق (BS 6093:2006):

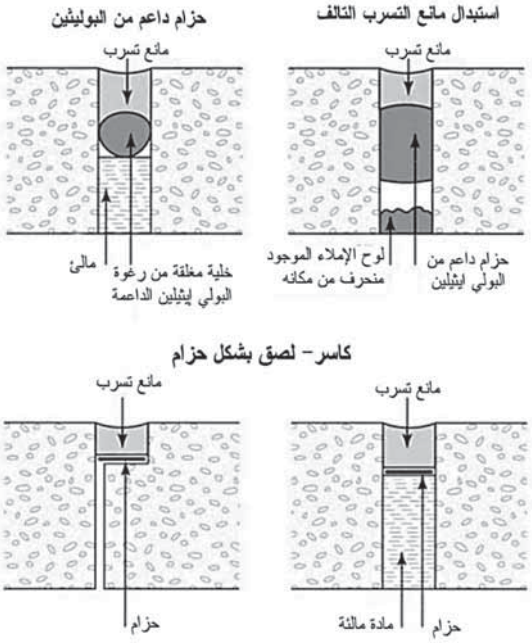
الحركة النسبية الكلية (TRM) = 3 mm

معامل استيعاب الحركة (MAF) = 25%

عرض المانع الملائم للحركة 15 = 3 + 3/0.25 mm

من أجل الحصول على التصاق جيد، يجب تحضير سطوح الفاصل بإزالة الملوثات والمواد المفككة والشحم وبتطبيق مادة أساس أولية، إذا كان ذلك مطلوباً من قبل مصنع مانع التسرب. تطبق معظم موانع التسرب مباشرة بواسطة المسدس، مع أنه يمكن استخدام موانع التسرب المشكلة بواسطة الأدوات وكذلك المصبوبة وبشكل شريط/ شريحة. كما يساعد التشكيل بالأدوات على إزالة فقاعات الهواء المحصورة في الموانع الممزوجة من مكونين، إذا تُركت هذه الفقاعات فسوف

تخفض من ديمومة مانع التسرب. خارجياً تكون فواصل الإكساء المتراجعة إلى الداخل أقل إظهاراً للتلون من الفواصل المسطحة مع أن الإنهاء العادي يكون ذا سطح مقعر قليلاً إلى الداخل. وفي حالة استعمال مانع التسرب في الأشغال الحجرية يجب استخدام الموانع السيليكونية غير المسببة للتلوّن لمنع تسرّب الملدن إلى داخل الحجر والذي قد يسبب تغير لونه. موانع التسرب المستخدمة في الأرضيات يجب أن تكون قاسية، وبالتالي أعرض لتستوعب الحركات الضرورية ومتراجعة لكي تمنع الضرر الميكانيكي. وكبديل عنها يجب استخدام أنظمة فواصل ميكانيكية خاصة.



(الشكل 3.14) موانع التسرب النموذجية.

مماثلة الألوان

بينما تكون معظم موانع التسرّب، عدا المنتجات البيتومينية السوداء، متوفرة باللون الأبيض ونصف الشفاف والدرجات الرمادية والبني، فإنه تتوفر موانع السيليكون المستخدمة حول وحدات المطابخ والحمامات بمجال كبير من الألوان. ولهذا النوع من الاستخدامات غالباً ما تضاف مبيدات الفطريات إلى تركيبة مانع التسرب.

موانع التسرّب المقاومة للحريق

العديد من موانع التسرّب المقاومة للحريق مبنية على استخدام المواد الانتفاخية التي تتمدّد كثيراً في النار. المكونات الانتفاخية المستخدمة عادة هي إمّا فوسفات الأمونيوم أو سيليكات الصوديوم المميهة أو الغرافيت المضغوط (طبقات من الماء والفحم) حيث تدخل هذه المواد في تركيب مانع التسرب المناسب. وتكون موانع التسرب الانتفاخية، من الأكريليك والماستيك ذي الأساس الزيتي، مناسبة لإغلاق الفواصل قليلة الحركة حول الأبواب القاطعة للحريق. من أجل إحكام فواصل الحركة البنيوية المقاومة للحريق تتوفر أصناف من السيليكون المقاومة للحريق بمعامل مرونة منخفض ومواد متعددة الكبريتيد مكونة من جزئين، وكذلك موانع تسرب من الأكريليك. إذ يتم الحصول على المقاومة العظمى للحريق إذا تم تطبيق مانع التسرب على وجهي الفاصل مع وضع عزل من الصوف المعدني أو الألياف الزجاجية في الحيز الفارغ. يمكن الحصول على مقاومة للحريق لمدة أربع ساعات فيما يتعلق بالسلامة والعزل لفاصل حركة بعرض 20 mm ضمن خرسانة بسماكة 150 mm (BS 476-20:1987). يعد السيليكون ذا معامل المرونة المنخفض مناسب لإحكام إغلاق الحواجز المقاومة للحريق والجدران الحاجبة والإكساء وأشغال الحجر المعرضة للحركة. إن متعدد الكبريتيد المكون من جزأين مصمم للاستخدام في الفواصل المقاومة للحريق في الخرسانة وأشغال الحجر. كما أن موانع التسرّب من الأكريليك مناسبة لمجال واسع من المواد ولكن عند استخدامها مع الخشب يجب الأخذ بالحسبان إمكانية خسارتها بالتفحّم.

المواد المالئة الانتفاخية المصنوعة من مستحلبات الأكريليك مع مالئات خاملة وإضافات مؤخِّرة للنار يمكن تطبيقها إما بالمسدس أو بالمالج لإملاء الفراغات الناشئة حول مجاري الخدمات ضمن الجدران المقاومة للحريق. يمكن الحصول على مقاومة للحريق لمدة أربع ساعات باستخدام هذه المواد. الأحزمة الانتفاخية مناسبة للتطبيق ضمن فواصل الحركة البنيوية. معظم موانع التسرّب الانتفاخية هي الآن ذات **إصدار منخفض للدخان** ولا تطلق نواتج احتراق مهلجنة أثناء الحريق. (المقدار النموذجي للحركة الذي تستوعبه موانع التسرب الانتفاخية من الأكريليك هو 15%).

موانع التسرّب الرغوية

تستخدم أحزمة قابلة للانضغاط مكونة من خلية مغلقة من الـ (PVC) والبولي إيتيلين أو من خلية مفتوحة من رغوة البولي يوريثان ومطلية من إحدى أو كلتا حافتيها بلاصق حساس للضغط، من أجل منع التسرّب في فواصل الحركة الحرارية والهبوط التفاضلي، وكذلك في الفراغات حول إطارات النوافذ والأبواب، وفي أشغال مجاري تكييف الهواء. يمكن أن تكون الأحزمة ذات مقطع عرضي منتظم أو ذات مقطع عرضي مُشكل ليلائم تطبيقات محددة. وتستخدم رغوة البولي يوريثان المنفذة بالبخ الهوائي كمالئ لكلّ الاستخدامات. وهي تتوفر إما كرغوة أو كرغوة متمددة وتتصرف كمادة لاصقة مالئة ومانعة للتسرّب وعازلة.

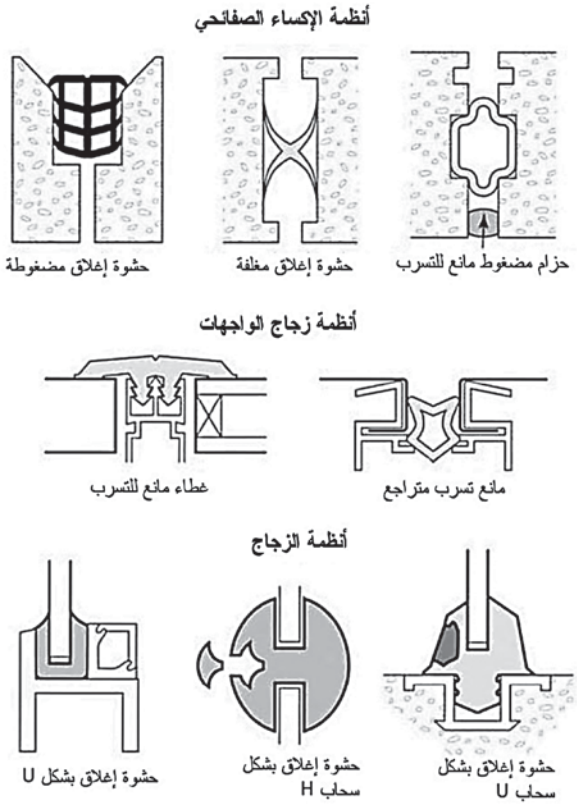
المواد المانعة للتسرّب والمالئة للفواصل الخرسانية

تمّ توصيف مالئات الفواصل الخرسانية التي تستخدم في الأرصفة في الجزأين 1 و2 من المعيار (BS EN 14188:2004) الخاصين بموانع التسرب ذات التطبيق الساخن والبارد على الترتيب. وتصنف موانع التسرب التي تُطبق باردةً كمنظومات بمكون واحد (S) أو متعددة المكونات (M) وتصنف فرعياً إلى النوع الذاتي التسوية (sl) وعديم الارتخاء (ns). وهناك تصنيف إضافي A أو B أو C أو D يرتبط مع درجة تزايد المقاومة للمواد الكيميائية. تصنف موانع التسرب المعيارية للفواصل التي تطبق ساخنة كمرنة (العالية التمدّد) من النوع (N1) وعادية (منخفضة التمدد) من النوع N2). عندما يقتضي الأمر المقاومة ضدّ الوقود أيضاً يكون من الضروري استخدام الدرجات ذات المواصفات الأعلى (F1) و (F2).

حشوات الإغلاق

حشوات الإغلاق (Gaskets) هي قطع طويلة من مكونات مرنة ذات مقاطع عرضية متنوعة قد تكون مصمتة أو مجوفة ومصنوعة من مواد خلوية أو غير خلوية. يتم تثبيتها في مكانها إمّا بالضغط أو بكبسها ضمن مواد البناء المجاورة لها، وهي تقوم بالمحافظة على الإحكام من طريق الضغط على سطحين (الشكل 4.14). وتشمل تطبيقاتها النموذجية إحكام وحدات الإكساء مسبقة الصنع ونظم الواجهات ضد العوامل الجوية. عند استخدامها مع وحدات من الخرسانة مسبقة الصنع أو من البوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (GRP) أو من الإسمنت المسلح بالألياف الزجاجية (GRC) يتم عادة إدخال الحشوات ضمن فواصل متراجعة مفتوحة

التصريف. وبذلك تتصرف الحشوات العازلة كحاجز للمطر، ولكن بما أنها لا تكون بالضرورة مطبقة بإحكام تام على كامل طولها يمكن دعمها برغوة خلوية مضغوطة مانعة لتسرّب الرياح. يجب ألا تُمط الحشوات أو تُحشر أثناء إدخالها لأنها ستتقلص لاحقاً تاركة فراغات أو أنها ستخرج من مكانها مما يؤدي إلى فشلها.



(الشكل 4.14) حشوات الإغلاق النموذجية لأنظمة الزجاج والإكساء الصفائحي.

في أشغال الزجاج وأنظمة الجدران الحاجبة يمكن تطبيق حشوات الإغلاق بشكل سدادات إحكام تمسكها مقاطع مناسبة ضمن عناصر الألومنيوم الشاقولية والأفقية؛ بدلاً من ذلك يمكن أن تكون حشوة الإغلاق متراجعة ضمن الفاصل في نظام الزجاج لإعطاء تأثير بصري أضيق للفاصل. وهناك بعض حشوات الإغلاق المستخدمة مع الزجاج بمقاطع H أو U يتمّ إحكامها بواسطة سحاب أو حزام مالئ يتمّ إدخاله ضمن المقطع بحيث يجعل المادة مضغوطة فتصبح مانعة لتسرب الهواء

والماء. حشوات الإغلاق والأحزمة المانعة للعوامل الجوية والمستخدمة في الأبواب والنوافذ والجدران الحاجبة يتم تصنيفها بحرف ورمز رقمي يحدد الاستخدام والخصائص الفيزيائية الأساسية للمنتج المحدّد مما يسمح بتوصيفها بشكل منايب (الجدول 3.14).

إنّ المواد المعيارية لحشوات الإغلاق المستخدمة في التشييد هي النيوبرين (Neoprene)، والذي يتمتع بمرونة عالية ومونومير الإيتيلين بروبيلين دايين (إي بي د أم) (EPDM) الذي يتمتع بخصائص عزل للعوامل الجوية أفضل من النيوبرين، والمطاطيات السيليكونية التي تتمتع بمقاومة عالية للأشعة فوق البنفسجية، حيث تعمل هذه المواد ضمن مجال كبير من درجات الحرارة وهي متوفرة تقريباً بجميع الألوان. حشوات الإغلاق ذات المقطع بشكل صليب من مطاط بولي كلوروبرين (Polychloroprene) مناسبة للفواصل الشاقولية بين ألواح الخرسانة المسبقة الصنع.

موانع تسرّب الماء ـ التي تُركب في الخرسانة في الموقع من أجل منع التسرب في فواصل الحركة والفواصل البنيوية ـ تصنع من الـ (PVC) أو المطاط وذلك وفقاً للحركة المطلوبة (الشكل 5.14). وتتوفر المقاطع بأطوال كبيرة مسحوبة وكمقاطع متداخلة من المصنع. تشمل تطبيقاتها البنى المحتوية على الماء وإبعاد المياه عن الأقبية. تقوم مانعات تسرب الماء المركبة في قلب الخرسانة بمقاومة ضغط الماء من الجانبين بينما تقوم مانعات تسرب الماء المركبة خارجياً دون تغليف أسفل البلاطات الخرسانية أو غير موضوعة ضمن قالب دائم للخرسانة بمقاومة ضغط الماء من الجهة الخارجية فقط.

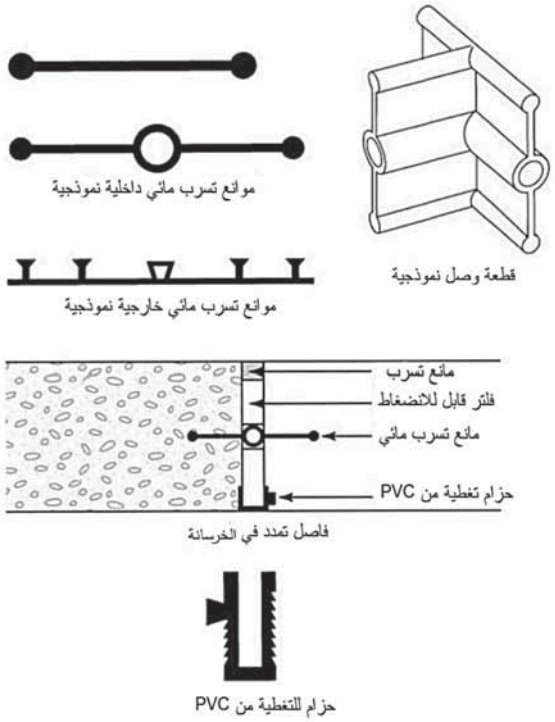
توفر أنظمة مختصة فواصل تمدد كتيمة للمياه من أجل السطوح الأفقية، مثل أسقف مواقف السيارات ومناطق المشاة. عادة ما تجمع هذه الأنظمة مقاطع معقدة من الألومنيوم والفولاذ غير القابل للصدأ مع حشوات مسحوبة من المطاط الاصطناعي. يمكن للمواد أن تحتمل الحمولات الكبيرة مع مقاومة جيدة للبيتومين والمياه المالحة.

تكون أحزمة تثبيت الزجاج الجافة ذات أساس من البوليميرات المطاطية المرنة، وعادة تكون من الـ إي بي د أم (EPDM) أو مطاط البوتيل. وعادة يكون للحزام المطاطي الاصطناعي خلفية ذاتية الالتصاق تلتصق بالبروز الشاقولي المقتطع. مع حاصرات الزجاج الخارجية، يمكن أيضاً وضع حزام تثبيت الزجاج

الجاف على كل حاصرة، والتي تثبت عندها بضغط مناسب لضمان إحكام جيد للزجاج. فقد تم وصف متطلبات الأداء وكذلك تصنيف حشوات الإحكام وأحزمة الأبواب والنوافذ والجدران الحاجبة ضد العوامل الجوية في المعيار (BS EN 12365-1:2003).

الجدول 3.14 تصنيف حشوات الإغلاق والأحزمة العازلة للعوامل الجوية وفقاً للمعيار (BS EN 12365-1:2003) (حرف واحد ورمز من خمسة أرقام)

الحرف (G أو W)	الرقم 2	الرقم 3	الرقم 4	الرقم 5	الرقم 6
الفئة	مجال العمل (mm)	قوة الضغط (KPa)	مجال درجات حرارة العمل° مئوية	استرجاع التشوّه (٪)	الاسترجاع بعد التقدّم في العمر (٪)
حشوة إغلاق (G) حزام عازل للعوامل الجوية (W)	يُميز 9 درجات (1 ـ 9)	يُميز9 درجات (1 ـ 9)	يُميز6 درجات (1 ـ 6)	يُميز8 درجات (1 ـ 8)	يُميز8 درجات (1 ـ 8)



(الشكل 5.14) موانع تسرب الماء في الخرسانة.

المواد اللاصقة

أنواع المواد اللاصقة

قد حلّ محل المواد اللاصقة التقليدية ذات الأساس الحيواني أو النباتي بشكل كبير المنتجات الاصطناعية المنتجة من قبل صناعة البوليميرات، ما عدا الكازين (Casein) الذي يصنع من الحليب المقشود والذي يستخدم حالياً كلاصق للخشب (BS EN 12436:2002). تخضع مجموعة المواد اللاصقة للتطور المستمر ويجب دائماً مطابقة الاستخدامات المحددة المطلوبة مع مواصفات المصنع. ويجب الانتباه بشكل خاص إلى الاستثناءات التي تكون فيها المواد المراد لصقها غير متوافقة مع المواد اللاصقة، وكذلك إلى تنبيهات السلامة المتعلقة بالاستخدام وبانطلاق أدخنة ضارة أو أبخرة قابلة للاشتعال. تكون المواد اللاصقة أكثر فعالية في لصق المكونات المعرضة إلى قوى قص وليس المعرضة للشد المباشر. وتكون فعاليتها في حدها الأدنى عند استخدامها ضد الاجهادات المسببة للتقشير. تتمتع معظم المواد اللاصقة بفترة حياة في المخازن (Shelf Life) مدتها 12 شهراً عندما تخزن من دون فتحها وضمن ظروف مناسبة. أما فترة حياتها في الوعاء (Pot Life) بعد مزج الأنظمة المكونة من مركبين فتتراوح من دقائق قليلة إلى عدة ساعات.

المواد اللاصقة للبلاط

يُصنف المعيار (BS EN 12004:2007) المواد اللاصقة للبلاط ضمن ثلاثة أنواع: الإسمنتية (Cementitious) (C) والانتشارية (Dispersion) (D) والراتنجية التفاعلية (Reaction Resin) (R). ويمكن أن يكون لكلّ من هذه الأنواع خصائص إضافية تُحدد بأصناف تتعلق بخصائص اللاصق المحسنة والجفاف الأسرع والانزلاق الأقل أو الوقت المفتوح المديد (الزمن ما بين مد اللاصق وتركيب البلاطات) (الجدول 4.14). المواد اللاصقة الانتشارية هي بوليميرات مائية انتشارية جاهزة للاستخدام، بينما تتكون أنظمة المواد اللاصقة الراتنجية التفاعلية من مكون أو مكونين تتصلب بتفاعل كيميائي. تُصنف المواد اللاصقة للبلاط التي لا تحتوي على أكثر من 1% من المواد العضوية من حيث مقاومتها للحريق بالأصناف (A1) أو ($A1_{fl}$).

الجدول 4.14 تصنيف المواد اللاصقة للبلاط
وفق التركيب والخصائص (BS EN 12004:2007)

التصنيف	التركيب والخصائص
النوع (C)	مادة لاصقة إسمنتية ـ راتنج لاصق هيدروليكي
النوع (D)	مادة لاصقة انتشارية ـ راتنج من البوليميرات العضوية المائية
النوع (R)	مادة لاصقة من الراتنج التفاعلي ـ راتنج اصطناعي من مكون أو مكونين
الصنف 1	مادة لاصقة عادية
الصنف 2	مادة لاصقة محسنة
الصنف F	مادة لاصقة سريعة الجفاف
الصنف T	مادة لاصقة مخفضة الانزلاق
الصنف E	مادة لاصقة ذات وقت مديد مفتوح
الصنف S1	مادة لاصقة قابلة للتشوه
الصنف S2	مادة لاصقة ذات قابلية عالية للتشوه

المواد اللاصقة لسيراميك الجدران

تتكوّن المواد اللاصقة لسيراميك الجدران عادة من مركبات أسيتات البولي فينيل (PVA) ذات الأساس الأكريليكي أو الإسمنتي. المواد اللاصقة المعيارية من الـ (PVA) التي تُمد كطبقة رقيقة، عادة 3 mm تتحمل فقط الرطوبة، بينما تكون المواد اللاصقة ذات الأساس الأكريليكي المقاومة للماء رقيقة الطبقة مناسبة لتثبيت بلاط الجدران والموزاييك في الظروف الرطبة والمبللة والموجودة على سبيل المثال في الأدواش المنزلية. وتولد بعض المنتجات ذات الأساس الأكريليكي عند جفافها الأمونيا [النشادر]. المنتجات الإسمنتية المقاومة للماء والإسمنتية المعدلة بالبوليمير مناسبة للاستخدامات الداخلية والخارجية ويمكن تنفيذها كطبقات رقيقة أو سميكة. إذ تعدّ المواد اللاصقة الإسمنتية المعدلة بالبوليمير مناسبة لتثبيت بلاط الرخام والغرانيت والأردواز حتى سماكة 15 mm. وتتوفر المواد اللاصقة ذات الأساس من راتنج الإيبوكسي رقيقة الطبقة لمقاومة الكيماويات. في جميع الأحوال يجب أن تكون الطبقة التحتية الحاملة جيدة وأن تكون من الطينة أو أشغال الآجُرّ

أو الخرسانة الحديثة التنفيذ جافة لمدة 2 ـ 6 أسابيع. ويجب تثبيت منتجات الألواح الإسمنتية ومنتجات الأخشاب بشكل جيّد بتباعد 300 mm شاقولياً وأفقياً لضمان صلابتها. في أعمال التجديد يجب إزالة الطلاء المتقشر أو المتعدد الطبقات وتحضير السطوح المزججة بشكل جيد. فعندما تكون المادة اللاصقة للبلاط مصنفة مقاومة للماء وذات أساس إسمنتي أو أكريليكي يمكن استخدامها كمادة ملاط غراوت (Grouting Medium). وكبديل فإنّ مادة الغراوت المكافئة المقاومة للماء متوفرة بمجال واسع من الألوان لتوائم أو تخالف بلاط الجدار. ويتوفر كذلك مادة غراوت للبلاط من راتنج الإيبوكسي من أجل الظروف الشديدة البلل.

المواد اللاصقة لسيراميك الأرضيات

إنّ معظم المواد اللاصقة لسيراميك الأرضيات هي ذات أساس إسمنتي، وتستخدم إمّا بمدّ طبقة سميكة (حتى 25 m) أو بمد طبقة رقيقة حسب جودة الطبقة السفلية الحاملة. المنتجات المعيارية مناسبة لتثبيت بلاط السيراميك والحجارة المشذبة وشرائح الآجُرّ والأحجار والموزايك (Terrazzo) إلى الخرسانة أو المدات الإسمنتية/ الرملية جيدة الجفاف. في حال التبليط على الأرضيات الخشبية المعلّقة فيجب أن تكون مهوّاة بشكل جيد، وقوية بما فيه الكفاية لتتحمل الحمولات الميتة الإضافية. فقد يكون من الضروري وضع طبقة علوية من الخشب المعاكس المخصص للاستخدام الخارجي بسماكة 12 mm مطلي بمادة أساس لاصقة، ويثبت ببراغي المسافات بين مراكزها 200 mm. وفي أعمال التجديد من الأفضل إزالة الإنهاءات القديمة من على الأرضيات، إلا أنه يمكن تثبيت سيراميك الأرضيات فوق السيراميك المنظف كما يمكن تثبيته على بلاط الفينيل المدهون بطبقة أساس شريطة إزالة جميع المواد المفككة أولاً.

يمكن صباغة ملاط الغراوت ذات الأساس الإسمنتي باللون المطلوب، ولكن يجب التأكد من إزالة الملاط الزائد من سطح البلاطات قبل حدوث أي بقع. كما إن المواد اللاصقة التي أساسها إيبوكسي من مكونين ورقيقة الطبقة هي أكثر مقاومة للماء والكيماويات من المنتجات المعيارية ذات الأساس الإسمنتي، وتكون مناسبة أكثر للاستخدامات المعرضة للانسكاب المتكرر من جراء العمليات الصناعية. عندما تكون هناك حركة محتملة في الطبقة الحاملة من المناسب عموماً استخدام المواد اللاصقة ذات الأساس المطاطي من مكونين.

المواد اللاصقة بالتماس

المواد اللاصقة بالتماس ذات الأساس من مطاط البولي كلوروبرين، والمستخدمة بالمذيبات العضوية أو بالمستحلبات المائية، تكون مناسبة عادة للصق طبقات الديكور والمواد البلاستيكية الصلبة الأخرى مثل الـ (PVC) والـ (ABS) إلى الخشب ومنتجات الخشب والمعادن. يتم عادة وضع المادة اللاصقة على كلا السطحين، ويترك المذيب أو المستحلب حتى يصبح جاف الملمس قبل جمع السطحين مع بعضهما، حيث تتولد قوة التصاق فورية قوية. كذلك يمكن أن تكون المستحلبات المائية مناسبة لتثبيت الفلين الكتيم والبوليستيرين الممدد، مع تمتّعها بميزة عدم انطلاق أبخرة. يمكن أن تتأثّر بلاطات البوليستيرين الممدّد بشدّة بالمركبات ذات الأساس المذيب.

المواد اللاصقة لبلاط الأرضيات من الفينيل وللبلوك الخشبي

معظم المواد اللاصقة لبلاط الأرضيات من الفينيل وللبلوك الخشبي تكون ذات أساس إمّا من المطاط/ البيتومين أو المطاط/ الراتنج أو مستحلبات البيتومين المعدلة. في جميع الحالات من الضروري أن تكون الأرضية السفلية جافة ومتينة وناعمة وخالية من أية ملوثات قد تؤثر على الالتصاق. فعند الضرورة يجب تطبيق مواد لتسوية الأرضية من الإسمنت/ الأكريليك أو الإسمنت/ اللاتكس (Latex) على الخرسانة أو الإسفلت أو بلاط السيراميك القديم. تقوم بعض مواد الإسمنت/ اللاتكس بإطلاق الأمونيا خلال تطبيقها.

المواد اللاصقة للخشب

ينبغي أن تكون الفواصل في الخشب عادة على تماس وثيق بحيث لا تزيد الفجوة عن 0.15 mm، إلا أن المواد اللاصقة التي تُدعى **مالئة الفجوات** تلصق بشكل مقبول حتى 1.3 mm. يُستخدم غراء الخشب من أسيتات البولي فينيل (PVA) بشكل واسع لمعظم الأعمال في الموقع وفي أعمال تجميع الوصلات مع الألسنة في المعمل والمستخدمة في الأبواب والنوافذ والأثاث. يجف المستحلب الأبيض متحولاً إلى طبقة رقيقة متلدنة بالحرارة نصف شفافة عديمة اللون، وهي تعطي التصاقاً ذا متانة مماثلة للخشب نفسه، ولكنها غير كافية للصق العناصر البنيوية الحاملة للحمولات. يجب أن تُقمط الأجزاء في مواضعها لفترة تبلغ حتى 12 ساعة لضمان الالتصاق الأقصى، مع أنه يمكن تخفيض هذا الزمن بزيادة درجة

الحرارة. المواد اللاصقة المقاومة للماء من الـ (PVA) والتي تترابط مع بعضها جزيئياً عند جفافها، مناسبة للاستخدام الخارجي المحمي، ولكن ليس للغمر في الماء. وتحتفظ المواد اللاصقة من الـ (PVA) بمتانتها حتى درجة C° 60 مئوية ولا تسبّب تغيراً في ألوان الخشب إلا عندما تتلامس مع المعادن الحديدية.

راتنجات الخشب التي تجف بالحرارة تكون بشكل أساسي عبارة عن أنظمة من مكونين، ذات أسس من المركبات الفينولية مثل اليوريا والميلامين والريزورسينول أو الفينول، والتي تجفّ مع الفورمالدهيد لتوليد المادة اللاصقة الحمّالة (BS EN 301:2006). تتطلّب معظم التركيبات مزج الراتنج مع المقسي، إلا أنه يتوفر أيضاً مسحوق جاف ممزوج مسبقاً يضاف إليه الماء. كما إن المواد اللاصقة البنيوية ذات الأساس الراتنجي مخصصة للاستخدامات الخارجية أو المعرضة لدرجات الحرارة العالية (النوع 1) أو للاستخدامات المحمية (النوع 2). المواد اللاصقة من فورمالدهيد الميلامين لا تقاوم التعرض المطول للظروف الجوية. المواد اللاصقة من اليوريا فورمالدهيد مقاومة عادة للرطوبة أو للاستخدام الداخلي فقط. تخفض بعض المعالجات المؤخرة للحريق والحافظة للخشب من فعالية المواد اللاصقة للأخشاب، إلا أنه عموماً لا تتأثر المواد التي أساسها فورمالدهيد الفينول/ فورمالدهيد الريزورسينول.

المواد اللاصقة لورق الجدران

المواد اللاصقة المعيارية لورق الجدران هي ذات أساس من ميتيل السيلولوز، وهو مسحوق أبيض قابل للذوبان بالماء فينتج محلولاً عديم اللون. من أجل تثبيت الأنواع الأثقل من الورق وتثبيت أحزمة الزخرفة تضاف مادة أسيتات البولي فينيل. ويعتبر نشاء الماء البارد عاملاً لتأسيس لصق الورق على الجدران وكمادة لاصقة لورق الجدران. تحتوي معظم المواد اللاصقة لورق الجدران على مبيدات للفطريات لمنع نمو العفن. يصف المعيار (BS 3046:1981) خمسة أنواع من المواد اللاصقة تتراوح من تلك التي تحتوي على القليل من المواد الصلبة إلى المواد المبتلة والجافة عالية المتانة مع إضافة مبيدات الفطريات.

المواد اللاصقة من راتنج الإيبوكسي

راتنجات الإيبوكسي هي مواد لاصقة من مكونين تجف على البارد، وتولد لواصق ذات ديمومة ومتانة كبيرة. يتطلب معظمها كميات متساوية من الراتنج

والمقسّي ليتم مزجهما، وتتوفر منها تركيبات متنوعة تعطي أزمنة مختلفة للجفاف تتراوح من دقائق إلى ساعات. ويمكن الحصول على لواصق قوية في كل من الخشب والمعدن والزجاج والخرسانة والسيراميك والمواد البلاستيكية الصلبة. يمكن استخدام راتنجات الإيبوكسي داخلياً أو خارجياً، وهي مقاومة للزيوت والماء والأحماض الممدّدة والقلويات ومعظم المذيبات ما عدا الهيدروكربونات المكلورة. تستخدم راتنجات الإيبوكسي بكثرة لتثبيت قطع التثبيث من الفولاذ غير القابل للصدأ في أماكنها على الأحجار وشرائح القرميد قبل الصبّ عليها داخل ألواح الإكساء الخرسانية. يمكن استخدام مواد الإيبوكسي اللاصقة للأرضيات للصق إنهاءات الأرضيات من الفينيل في مناطق الخدمة المبتلة وعلى السطوح المعدنية.

المواد اللاصقة من السيانوأكريليت

مواد السيانوأكريليت هي مواد لاصقة من مكون واحد تقوم بلصق الأجزاء الممسوكة مع بعضها جيداً خلال ثوان. يتم توليد تماسك شدّ قوي بين المعادن وبين السيراميك وبين معظم أنواع البلاستيك والمطاط. تتفعل عملية التصلّب بواسطة الرطوبة [المدمصة] من على أسطح المواد، وتحتاج إلى كميات صغيرة فقط من المادة اللاصقة الصافية. فالالتصاق المتشكل مقاوم للزيت والماء والمذيبات والحمض والقلويات، ولكنه لا يُبدي مقاومة كبيرة للصدمات. إذ يتمّ تصنيع مجال من اللزوجات للمواد اللاصقة لملاءمة التطبيقات الخاصة.

المواد اللاصقة المذابة بالحرارة

المواد اللاصقة المذابة بالحرارة والتي تطبق بواسط مسدس اللصق تكون عادة ذات أساس من البوليمير التشاركي المتلدن بالحرارة وأسيتات فينيل الإيتيلين (EVA). تتوفر مركبات للصق المواد على طبقات تحتية مرنة أو صلبة. وعادة يجب تطبيق المادة اللاصقة على السطح الأقل سهولة للصق أولاً (كمثال السطح الأقسى أو الأنعم) ومن ثم يتم ضغط الجزأين على بعضهما لمدة دقيقة على الأقل. فعند القيام بلصق المعادن يجب تدفئتها مسبقاً لمنع تبدد الحرارة بشكل سريع. يستخدم نوع مشابه من المواد اللاصقة في تثبيت الأغلفة القشرية حرارياً (بالكيّ) على ألواح نشارة الخشب ذات الوجه البلاستيكي أو الخشبي.

المواد اللاصقة لرقائق البيتومين على أسطح المباني

تتوفر المواد اللاصقة من البيتومين للتطبيق على الساخن أو كمستحلب أو في

مذيب هيدروكربوني من أجل اللصق البارد للرقائق البيتومينية المستخدمة على أسطح الأبنية. يجب سكب المواد اللاصقة ومدّها بواسطة المالج لتجنب تشكل الجيوب الهوائية والتي قد تسبّب انفصالاً مبكراً للرقائق عن الطبقة التحتية. يجب إزالة البيتومين الزائد كي لا يسبب بقعاً على المواد المجاورة.

المواد اللاصقة للأنابيب البلاستيكية

تستخدم المواد اللاصقة من راتنج الفينيل ذات الأساس المذيب من أجل لصق الأنابيب والمتممات من الـ (PVC-U) والـ (ABS). يطبق اللاصق بواسطة الفرشاة على كلا الجزأين اللذين يجمعان بعد ذلك مع تدوير بسيط لإحكام الإغلاق. يكون الجفاف سريعاً إلا أنه في منظومات التزويد بالماء البارد، يجب عدم تطبيق ضغط الماء لعدة ساعات.

المواد اللاصقة المالئة للفجوات

إن المواد اللاصقة المالئة للفجوات من الصنف الذي يطبق بالمسدس والتي تكون إمّا من راتنجات المطاط/ المطاط الاصطناعي والمحمولة بالمذيبات مع تقوية المادة المالئة أو من أنظمة دون مذيب تعتبر متعددة التطبيقات. ويتمّ عموماً تركيبها لكي تلصق الأخشاب ومنتجاتها والرقائق الديكورية والصفائح المعدنية والـ (PVC-U) ومواد العزل الصلبة (عدا البوليستيرين) مع نفسها ومع أعمال الآجُرّ والبلوك والخرسانة والطينة والبوليستر المسلح بالألياف الزجاجية (GRP). تشتمل تطبيقاتها النموذجية على تثبيت اللوحات الجدارية الديكورية وقضبان وزرات الجدران (Dado Rails) والقطع التزيينية ونعلات البلاط (Skirting Boards) من دون استخدام مسامير أو براغ. ينبغي أن يكون السطوح المراد لصقها متينة ونظيفة، لكن خاصية ملء الفجوات التي تتمتع بها المنتجات يمكن أن تسمح بتثبيت سطوح غير مستوية. للمواد التصاق فوري جيد ويمكن أن تسمح بضبط العناصر في الموقع.

عامل التماسك ومانع التسرّب من أسيتات البولي فينيل

أسيتات البولي فينيل مادة متعددة الاستعمال وهي لا تعمل فقط كلاصق كما تمّ وصفها، بل تعمل كعامل تماسك أو كمانع تسرب للسطوح. كعامل تماسك فهي تعمل على تماسك المدات الإسمنتية وأشغال الطينة مع السطوح المتينة والمناسبة من دون الحاجة لتعشيق ميكانيكي جيد. كما أنها تقوم بإحكام سطوح الخرسانة المسامية فتمنع تغلغل الغبار.

FURTHER READING

BASA. 1999: *The BASA guide to the ISO 11600 classification of sealants for building construction*. Stevenage: The British Adhesives and Sealants Association.

BASA. 2001: *The BASA guide to the British Standard BS 6213*. Stevenage: The British Adhesives and Sealants Association.

Cognard, P. 2005: *Handbook of adhesives and sealants: basic concepts and high tech bonding*. Netherlands: Elsevier.

Dunn, D.J. 2004: *Handbook of adhesives and sealants: applications and markets*. Shrewsbury: RAPRA Technology.

Hussey, B. and Wilson, J. 1996: *Structural adhesives directory and data book*. London: Chapman and Hall.

Intumescent Fire Seals Association. 1999: *Sealing apertures and service penetrations to maintain fire resistance*. Princes Risborough: IFSA.

Ledbetter, S.R., Hurley, S. and Sheehan, A. 1998: *Sealant joints in the external envelope of buildings: a guide to design*. Report R178. London: Construction Industry Research and Information Association.

Mittal, K. and Pizzi, A. 2009: *Handbook of sealant technology*. Abingdon: CRC Press.

Petrie, E.M. 2007: *Handbook of adhesives and sealants*. 2nd ed. USA: McGraw-Hill Professional.

SPRA. 2006: *Guidance document. The use of sealants*. London: Single Ply Roofing Association

Wolf, A.T. 1999: *Durability of building sealants*. London: Spon.

STANDARDS

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 20: 1987 Method for determination of the fire resistance of elements of construction.

BS 544: 1969 Linseed oil putty for use in wooden frames.

BS 1203: 2001 Hot-setting phenolic and aminoplastic wood adhesives.

BS 2499 Hot-applied joint sealant systems for concrete pavements:

Part 2: 1992 Code of practice for application and use of joint sealants.

Part 3: 1993 Methods of test.

BS 3046: 1981 Specification for adhesives for hanging flexible wallcoverings.

BS 3712 Building and construction sealants:

Part 1: 1991 Method of test of homogeneity, relative density and penetration.

Part 2: 1973 Methods of test for seepage, staining, shrinkage, shelf-life and paintability.

Part 3: 1974 Methods of test for application life, skinning properties and tack-free time.

Part 4: 1991 Methods of test for adhesion in peel.

BS 4255 Rubber used in preformed gaskets for weather exclusion from buildings:

Part 1: 1986 Specification for non-cellular gaskets.

BS 5212 Cold applied joint sealants for concrete pavements:

Part 1: 1990 Specification for joint sealants.

Part 2: 1990 Code of practice for application and use of joint sealants.

Part 3: 1990 Methods of test.

BS 5270 Bonding agents for use with gypsum plaster and cement:

Part 1: 1989 Specification for polyvinyl acetate (PVAC) emulsion bonding agents for indoor use with gypsum building plasters.

BS 5385 Wall and floor tiling:

Part 1: 2009 Design and installation of internal ceramic, natural stone and mosaic wall tiling in normal internal conditions. Code of practice.

Part 2: 2006 Design and installation of external ceramic and mosaic wall tiling in normal conditions. Code of practice.

Part 3: 2007 Design and installation of internal and external ceramic floor tiles and mosaics in normal conditions. Code of practice.

Part 4: 2009 Design and installation of ceramic and mosaic tiling in special conditions. Code of practice.

Part 5: 2009 Design and installation of terrazzo, natural stone and agglomerated stone tile and slab flooring. Code of practice.

BS 6093: 2006 Design of joints and jointing in building construction. Guide.

BS 6213: 2000 Selection of constructional sealants. Guide.

BS 6446: 1997 Specification formanufacture of glued structural components of timber and wood based panel products.

BS 6576: 2005 Code of practice for diagnosis of rising damp within walls of buildings and installation of chemical damp-proof courses.

BS 8000 Workmanship on building sites:

Part 11: 1989 Code of practice for wall and floor tiling.

Part 12: 1989 Code of practice for decorative wall coverings and painting.

Part 16: 1997 Code of practice for sealing joints in buildings using sealants.

BS 8203: 2001 Code of practice for installation of resilient floor coverings.

BS 8449: 2005 Building and construction sealants with movement accommodation factors greater than 25%. Method of test.

BS ISO 16938 Building construction. Determination of staining of porous substrates by sealants used in joints:

Part 1: 2008 Test with compression.

Part 2: 2008 Test without compression.

BS ISO 17087: 2006 Specification for adhesives used for finger joints in non-structural lumber products.

pr BS ISO 20152: 2009 Timber structures. Bond performance of adhesives.

pr BS ISO 28278-1: 2008 Glass in building. Glass products for structural sealant glazing.

BS EN 204: 2001 Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications.

BS EN 205: 2003 Adhesives. Wood adhesives for non-structural applications. Determination of tensile shear strength of lap joints.

BSEN301: 2006 Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements.

BS EN 302 Adhesives for load-bearing timber structures: Part 1: 2004 Determination of bond strength in longitudinal tensile shear.

Part 2: 2004 Determination of resistance to delamination.

Part 3: 2004 Determination of effect of acid damage to wood fibres.

Part 4: 2004 Determination of the effects of wood shrinkage on shear strength.

Part 6: 2004 Determination of conventional pressing time.

Part 7: 2004 Determination of the conventional working life.

BS EN 923: 2005 Adhesives. Terms and definitions.

BS EN 1323: 2007 Adhesives for tiles.

BS EN 1903: 2008 Adhesives. Test method for adhesive for plastic or rubber floor coverings or wall coverings.

BS EN 1965 Structural adhesives. Corrosion:

Part 1: 2001 Determination and classification of corrosion to a copper substrate.

Part 2: 2001 Determination and classification of corrosion to a brass substrate.

BS EN 1966: 2009 Structural adhesives. Characterisation of a surface by measuring adhesion.

BS EN ISO 7389: 2003 Building construction. Jointing products. Determination of elastic recovery of sealants.

BS EN ISO 7390: 2003 Building construction. Jointing products. Determination of resistance to flow of Sealants.

BS EN ISO 8339: 2005 Building construction. Sealants. Determination of tensile properties.

BS EN ISO 8340: 2005 Building construction. Sealants. Determination of tensile properties at maintained extension.

pr EN ISO 8394-1: 2009 Building construction. Jointing products. Determination of extrudability of sealants.

BS EN ISO 9046: 2004 Building construction. Jointing products. Determination of adhesion/cohesion properties of sealants at variable temperatures.

BS EN ISO 9047: 2003 Building construction. Jointing products. Determination of adhesion/cohesion properties of sealants at constant temperature.
BS EN ISO 9664: 1995 Adhesives. Test methods for fatigue properties of structural adhesives in tensile shear.
BS EN ISO 10590: 2005 Building construction. Sealants. Determination of tensile properties of sealants at maintained extension.
BS EN ISO 10591: 2005 Building construction. Sealants. Determination of adhesion/cohesion properties.
BSENISO 11431: 2003 Building construction. Jointing products. Determination of adhesion/cohesion properties of sealants after exposure to heat, water and artificial light through glass.
BS EN ISO 11432: 2005 Building construction. Sealants. Determination of resistance to compression.
BSENISO 11600: 2003 Building construction. Jointing products. Classification and requirements for sealants.
BS EN 12002: 2008 Adhesives for tiles. Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts.
BS EN 12004: 2007 Adhesives for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation.
BS EN 12152: 2002 Curtain walling. Air permeability. Performance requirements and classification.
BS EN 12154: 2000 Curtain walling.Watertightness. Performance requirements and classification.
BS EN 12365 Building hardware. Gaskets and weather stripping for doors, windows shutters and curtain walling:
Part 1: 2003 Performance requirements and classification.
Part 2: 2003 Linear compression force test methods.
Part 3: 2003 Deflection recovery test method.
Part 4: 2003 Recovery after accelerated ageing test method.
BS EN 12436: 2002 Adhesives for load-bearing timber structures. Casein adhesives. Classification and performance requirements.
BS EN 12765: 2001 Classification of thermosetting wood adhesives for non-structural applications.
BS EN 12860: 2001 Gypsum based adhesives for gypsum blocks. Definitions, requirements and test methods.
BS EN 13022 Glass in building. Structural sealant glazing:
Part 1: 2006 Glass products for structural sealant glazing systems.
Part 2: 2006 Assembly rules.
BS EN 13119: 2007 Curtain walling. Terminology.
BS EN 13415: 2002 Adhesives. Test of adhesives of floor coverings.
BS EN 13640: 1999 Building construction. Jointing products. Specifications for test substrates.

BS EN 13880: 2004 Joint fillers and sealants. Tests.

BS EN 13888: 2009 Grouts for tiles. Requirements, evaluation of conformity, classification and designation

BS EN 14080: 2009 Timber structures. Glued laminated timber. Requirements.

BS EN 14187 Cold applied joint sealants. Test methods:

Part 9: 2006 Function testing of joint sealants.

BS EN 14188 Joint fillers and sealants:

Part 1: 2004 Specification for hot applied sealants.

Part 2: 2004 Specification for cold applied sealants.

Part 3: 2006 Specification for preformed joint sealants.

Part 4: 2009 Specification for primers to be used with joint sealants.

pr EN 14496: 2002 Gypsum based adhesives for thermal/acoustic insulation composite panels and plasterboards.

BS EN 14680: 2006 Adhesives for non-pressure plastic piping systems. Specifications.

pr EN 14815: 2003 Adhesives, phenolic and aminoplastic for finger-joints in lamellae for loadbearing timber structures.

BS EN 14840: 2005 Joint fillers and sealants. Test methods for preformed joint seals.

BS EN 15274: 2007 General purpose adhesives for structural assembly. Requirements and test methods.

BS EN 15275: 2007 Structural adhesives. Characterisation of anaerobic adhesives.

BSEN15416: 2006 Adhesives for load bearing timber structures other than phenolic and aminoplastic:

Part 2: 2007 Test methods. Static load test.

Part 3: 2007 Test methods. Creep deformation.

Part 4: 2006 Test methods. Open assembly time.

Part 5: 2006 Test methods. Conventional pressing time.

BS EN 15425: 2005 Adhesives, one component polyurethane, for load bearing timber structures. Classification and performance requirements.

BS EN 15434: 2006 Glass in building. Product standard for structural and/or UV resistant sealant.

BS EN 15466 Primers for cold and hot applied joint sealants:

Part 1: 2009 Determination of homogeneity.

Part 2: 2009 Determination of resistance to alkali.

BS EN 15497: 2009 Finger jointed structural timber.

pr BS EN 15651 Sealants for joints in building construction. Definitions, requirements and evaluation of conformity:

Part 1: 2007 Sealants for facade.

Part 2: 2007 Sealants for glazing.

Part 3: 2007 Sealants for sanitary joints.
Part 4: 2007 Sealants for pedestrian walkways.
Part 5: 2007 Evaluation of conformity.
BS EN 15870: 2009 Adhesives. Determination of tensile strength of butt joints.
BS EN 26927: 1991 Building construction. Jointing products. Sealants. Vocabulary.
BS EN 28394: 1991 Building construction. Jointing products. Determination of extrudability of onecomponent sealants.
BS EN 29048: 1991 Building construction. Jointing products. Determination of extrudability of sealants under standardized apparatus.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 463: 2002 Selecting building sealants with ISO 11600.
BRE Digest 469: 2002 Selecting gaskets for construction joints.

BRE Information paper

BRE IP 12/03 VOC emissions from flooring adhesives.

ADVISORY ORGANISATION

British Adhesives and Sealants Association, 5 Alderson Road, Worksop, Nottinghamshire S80 1UZ, UK
(01909 480888).

15

الدهانات وصباغ الخشب والورنيش والألوان

مقدمة

بما أن اللون هو عامل مهم في توصيف الدهانات وصباغ الخشب والورنيش، فقد تمّ توصيف العناصر الأساسية لكل من المعيار البريطاني ونظام اللون الطبيعي (Natural Color System) ومجموعة ألوان RAL ونظام بانتون (Pantone) ونظام ترميز لوحة ألوان الرسم (Colour Palette Notation)، مع أن أنظمة أخرى للألوان تتضمن نظام مانسيل (Munsell) تُستخدم أيضاً في صناعة البناء. ويعد اللون ميزة مفتاحية في التصميم المعماري، كما هو واضح في الشكل 1.15 حيث نجد تتابع اللون الطيفي المشرق في مطار باراجاز (Barajas) في مدريد، من تصميم (Rogers Stirk Harbour and Partners) و(Estudio Lamela).

(الشكل 1.15) الخاصية اللونية في مطار بارجاز في مدريد. المعماريون: Rogers Stirk Harbour وشركاؤهم الصورة AENA/Manuel Renau.

اللون

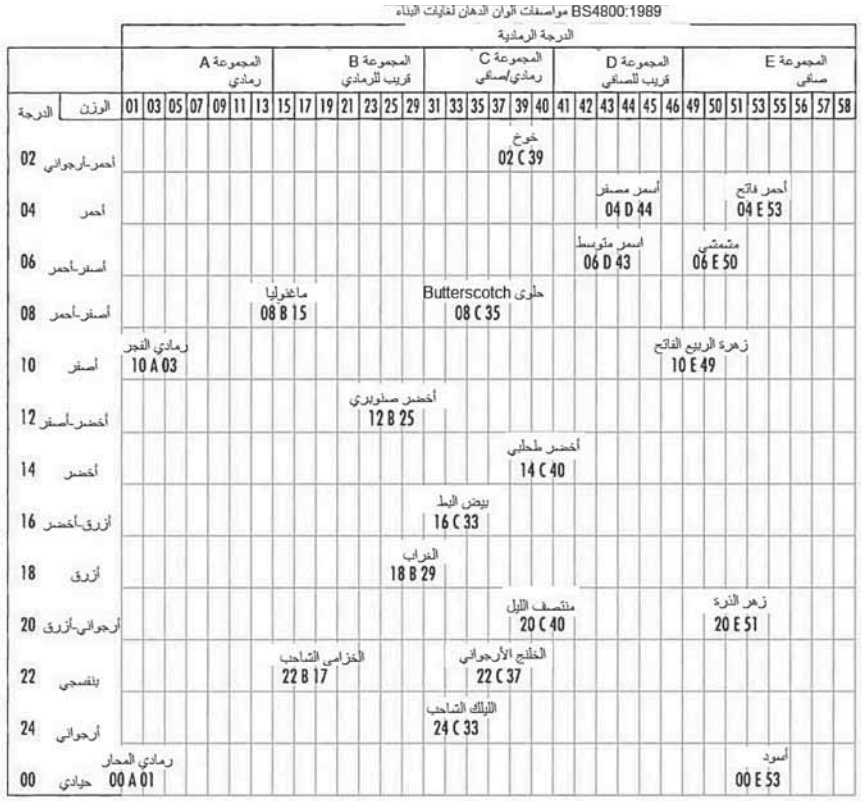
نظام المعايير البريطانية

يحدّد المعياران البريطانيان (BS 5252:1976) (236 لوناً) و(BS 4800:1989) (100 لون) اللون لغايات البناء والدهانات على الترتيب. يعرف لون معين وفق إطار عمل المعيار (BS 4800) بواسطة رمز يتألف من ثلاثة أجزاء هي الدرجة اللونية (Hue) (رقمين 00 ـ 24) والدرجة الرمادية (الأحرف A إلى E) والوزن (رقمين لاحقين) (الشكل 2.15). الدرجة اللونية هي خاصية الحُمرة أو الصُفرة أو الزرقة... إلخ ويتألف إطار العمل من 12 صفاً من الدرجات اللونية في تتابع طيفي بالإضافة إلى صف واحد محايد. الدرجة الرمادية هي مقياس للمحتوى الرمادي في اللون وفق خمس درجات من الرمادي الأقصى وتمثله المجموعة (A) إلى الصافي وتمثله المجموعة (E). الخاصية الثالثة، الوزن، وهو مصطلح ذاتي يتضمن كلاً من الإضاءة (القدرة على عكس الضوء الوارد) والدرجة الرمادية. فضمن العمود الواحد يكون للألوان نفس الوزن ولكن المقارنة بين الأعمدة في المجموعات المختلفة من الدرجة الرمادية يجب أن تتم من حيث الإضاءة. ويحوي إطار العمل حتى 8 أعمدة متساوية الإضاءة في كل مجموعة من الدرجات الرمادية تبدأ بالإضاءة العليا. وهكذا يحدد أي لون من خلال نظام بواسطة رمزه المكون من ثلاثة أجزاء، فعلى سبيل المثال لون الماغنوليا هو أصفر ـ أحمر 08 قريب من الرمادي B وذو وزن خفيف 15 (i.e. 08 B15)، لون منتصف الليل 02C40 ولون الخوخ 02C39. تتضمن مسودة المعيار (BS 4800:2008) 22 لوناً إضافياً ليصبح عدد الألوان الكلي 122 لوناً متضمنة الأسود والأبيض.

نظام اللون الطبيعي

تمّ تطوير نظام اللون الطبيعي (NCS) من قبل معهد الألوان الإسكندينافي في ثمانينات القرن العشرين، وعُدل في 1995 بإصدار ثان تمت فيه إضافة ألوان جديدة وحذفت ألوان أخرى فأصبح العدد الكلي 1950 لوناً. وهو نظام للغة الألوان يمكنه أن يصف أي لون بترميز قابل للنقل بكلمات دون الحاجة للمطابقة البصرية. وقد استخدم هذا النظام من قبل المعماريين والبنائين والمصممين الذين يحتاجون إلى تنسيق مواصفات الألوان عبر مجال واسع من منتجات البناء. وهناك مجموعة من المواد يمكن الإشارة لألوانها باستخدام هذا النظام تتضمن بلاط الأرضيات

والجدران والأسقف وكذلك السجاد والأنسجة وإكساءات الجدران والإنهاءات المرنة للأرضيات والدهانات والأشغال الحديدية والمعدنية المعمارية والتجهيزات الصحية الثابتة وصفائح الإكساء والمفروشات.

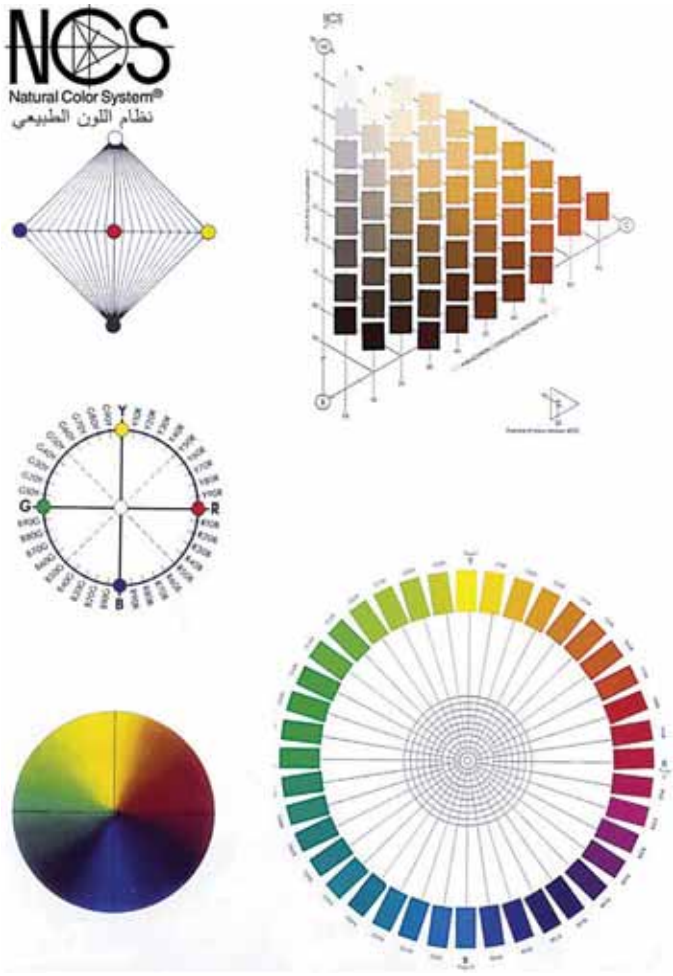


(الشكل 2.15) نظام الألوان المعيارية البريطانية مع بعض الأمثلة التوضيحية.

تمّ بناء نظام اللون الطبيعي على افتراض أنه للأشخاص ذوي الرؤية الطبيعية هناك ستة ألوان صافية: الأصفر والأحمر والأزرق والأخضر والأبيض والأسود. تتوضع الألوان الأربعة الأصفر والأحمر والأزرق والأخضر حول دائرة الألوان، التي تقسم بدورها إلى خطوات مقدارها كل منها 10%. فعلى سبيل المثال يتغير الأصفر إلى الأحمر عبر البرتقالي حيث يوصف بالرمز (Y50R) (أصفر مع 50% أحمر) (الشكل 3.15). من أجل تركيب التغيير الأبيض/ الأسود وكذلك كثافة اللون يمكن تمثيل كل من الأربعين خطوة ذات المقدار 10% حول دائرة الألوان بواسطة مثلثات لونية يكون فيها اللون الصافي على أقصى المحيط والمحور الشاقولي يمثل

السواد/ البياض. وبهذا يمكن توصيف لون ما بأن لديه سواد 10% وشدة لونية 80%. وبالتالي يقرأ التوصيف الكامل للون البرتقالي بالصيغة 1080-Y50R التي تعني سواد 10% وشدة لونية 80% من الأصفر مع 50% أحمر.

يسمح هذا النظام بتقسيمات أدق لدائرة الألوان وهذا ضروري لتعريف أي لون ولإجراء مقارنات مباشرة مع الألوان المعرفة ضمن نظام المعايير البريطانية. وبهذا يكون الماغنوليا (BS 08 B 15) هو (0606-Y41R) (سواد 6% شدة لونية 6% من الأصفر مع 41 أحمر) ولون الخوخ (BS 02 C 39) هو (5331- R21B) ولون منتصف الليل (BS 20 C 40) هو (7415-R82B) في نظام اللون الطبيعي.



(الشكل 3.15) نظام الألوان الطبيعية. الصورة: بإذن معهد الألوان الإسكندينافي.

مجموعة ألوان (RAL)

تستخدم مجموعة ألوان (RAL) بشكل كبير في صناعة البناء لتحديد ألوان الإنهاءات وبشكل خاص المواد البلاستيكية والمعادن وتستخدم كذلك لمواد مثل الآجُرّ المزجج. تشمل الإنهاءات التطبيقية النموذجية الأكريليك والبوليستر والبولي يوريثان وكذلك بعض الدهانات والورنيش. لقد تطور نظام (RAL) الذي تأسس في ألمانيا عام 1925 عبر مراحل عديدة. حيث بدأ بأربعين لوناً ثم تمت إضافة وإزالة العديد من الألوان لاحقاً حتى أصبح العدد 170 طيفاً لونياً معيارياً. بسبب تطوره ليس لنظام RAL (المسمّى RAL 840-HR) ترتيباً نظامياً للألوان بخطوات متساوية بينها. تعرف الألوان بأربعة أرقام، الأول هو فئة اللون (الأصفر 1، البرتقالي 2، الأحمر 3، البنفسجي 4، الأزرق 5، الأخضر 6، الرمادي 7، البني 8، الأسود/ الأبيض 9) وترتبط الأعداد الثلاثة التالية فقط بالتسلسل الذي تم وفقه إضافة اللون إلى الملف، واستعمل أيضاً اسم رسمي لكل لون (RAL) معياري (كمثال: RAL 1017 أصفر الزعفران، (RAL 5010) أزرق زهرة الجنتيانا، RAL 6003 أخضر الزيتون). تمت إضافة بعض الألوان إلى مجموعة (RAL) التقليدية مما أعطى ما يزيد عن 200 لون. سُميت مجموعة الألوان غير الصقيلة (المت) بـ -840 RAL) (HR ومجموعة الألوان الصقيلة بـ (RAL 841-GL). يتوفر للتطبيقات الحاسوبية قرص مدمج يحوي 195 لوناً من ألوان (RAL) التقليدية يعطي مواصفات اللون بأنظمة (RGB) (أحمر/ أخضر/ أزرق) و(HLC) (الدرجة/ الإضاءة/ الصفاء) وصيغة طباعة الأوفست.

منظومة تصميم (RAL)

خلافاً لمجموعة ألوان (RAL) التي تحوي فقط خيارات محدودة من الألوان المعيارية، فإن **نظام تصميم** (RAL) يحتوي 1624 لوناً مرتبة في أطلس للألوان مبني على فضاء ألوان ثلاثي الأبعاد معرّف بإحداثيات الدرجة اللونية (Hue) والإضاءة (Lightness) وصفاء اللون (Chroma). الدرجة اللونية هي خاصية اللون، كمثال الأحمر والأزرق والأصفر. والإضاءة تتدرج من الأسود إلى الأبيض، وصفاء اللون هو إشباع أو شدة اللون. هذا النظام يكافئ الـ (HLS) (الدرجة، الإضاءة، الإشباع) الذي يستخدم إلى جانب الـ (RGB) (الأحمر، الأخضر، الأزرق) في العديد من أنظمة ألوان الحاسوب. يشابه نظام (RAL) نظام اللون الطبيعي فيما عدا أنه مبني على تقسيم رياضي لكامل طيف أطوال الأمواج المرئية بدلاً من التقييم

البصري للألوان الأربعة الأساسية الأحمر والأصفر والأزرق والأخضر.

وبذلك يقسم طيف الألوان إلى خطوات مقدارها على الأكثر 10 حول الدائرة. تمثل كل خطوة درجة لونية معينة موضحة على صفحة في أطلس الألوان المرافق. ولكل درجة لونية على صفحة أطلس الألوان هناك عينات توضح تناقص الإضاءة من الأعلى إلى الأسفل وتزايد الشدة أو الإشباع من الداخل إلى الخارج. وبذلك يرمّز اللون بثلاثة أرقام مرتبطة بالدرجة اللونية والإضاءة وصفاء اللون، على سبيل المثال 55 75 70. إن أرقام مجموعة ألوان (RAL) المعيارية لا تتوافق تماماً مع ترميز نظام تصميم RAL إلا أنه من الممكن تعريف أي لون، وهكذا فأصفر الزعفران (RAL 1017) يصبح 56.5 75.6 69.9 إلا أن لون أصفر الزعفران لن يظهر على صفحات الأطلس لأن الرقم المعرف للدرجة اللونية لا يساوي بدقة 70. إن البرامج الحاسوبية التي تولد الألوان من خلال خاصية الدرجة اللونية والإضاءة والصفاء يمكنها صياغة الألوان وفق هذا النظام مباشرة. تبين النسخة الالكترونية من (RAL) الأطلس اللوني ثلاثي الأبعاد وتقدم 1900 لون معياري وتربط الألوان المقترحة مع أقرب لون (RAL) معياري. تم تنقيح النظام في عام 2007 بإضافة 26 لوناً فاتحاً جديداً وإزالة بعض الألوان الأكثر قتامة والأقل استخداماً.

نظام ترميز لوحة الألوان

تم بناء نظام ترميز لوحة الألوان (Dulux) على ثلاثة عوامل: الدرجة اللونية وقيمة انعكاس الضوء (LRV) وصفاء اللون (الشكل 4.15). تشتق الدرجة أو العائلة اللونية من أقسام الطيف الثمانية. ويقسم كل منها أيضاً إلى 100 قسم (00 ـ 99) لإعطاء لون دقيق ضمن درجة لونية معينة.

العائلات اللونية:

(RR) الأرجواني إلى الأحمر

(YR) الأحمر إلى البرتقالي

(YY) البرتقالي إلى الأصفر إلى الليموني

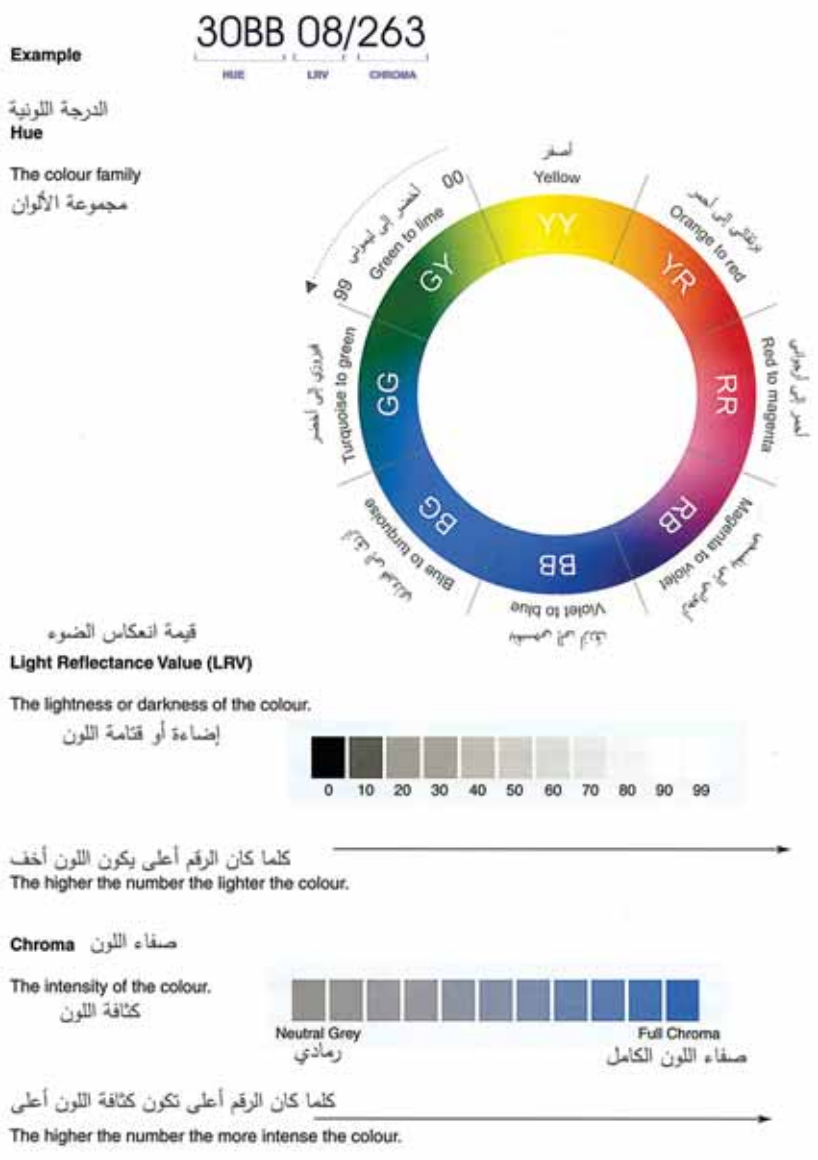
(GY) الليموني إلى الأخضر

(GG) الأخضر إلى الفيروزي

(BG) الفيروزي إلى الأزرق

(BB) الأزرق إلى البنفسجي

(RB) البنفسجي إلى الأرجواني



(الشكل 4.15) رسم توضيحي لتدرّج الألوان. الصورة Imperial chemical Industries plc.

قيمة انعكاس الضوء (LRV) هي مقياس للإضاءة أو القتامة بمقياس 00 ـ 99، بحيث تأخذ الألوان الفاتحة رقماً عالياً من مرتبتين. وبذلك يكون لمعظم الألوان الفاتحة قيمة انعكاس ضوئي ما بين 75 و83، وتقع معظم الألوان في المجال من 04 (قاتم جداً) إلى 83 (فاتح جداً).

صفاء اللون هو مقياس لإشباع أو قوة اللون مقاسة وفق 1000 خطوة من 000 إلى 999، بحيث تدل الأرقام العالية على إشباع أو شدة عالية، وهكذا يعرّف اللون الليموني القوي المشرق كما يلي:

37YY 61 / 877

الصفاء LRV الدرجة اللونية

حيث (LRV) هي قيمة انعكاس الضوء.

يعتمد نظام لوحة الألوان الرئيسية (Dulux) (Master Palette) على نفس نظام لوحة الألوان باستخدام العوامل الثلاثة: الدرجة اللونية وقيمة انعكاس الضوء والصفاء. تشتق الدرجة أو العائلة اللونية من نفس التقسيمات الثمانية للطيف الطبيعي مع إضافة الحيادي (NN). بعدها تقسم كل درجة إلى خمسة أقسام (10, 30, 50, 70, 90) ما عدا (YY) و (YR) واللذين يقسمان إلى 10 و7 أقسام على التوالي. تمثل هذه الأرقام نسبة الحركة عبر الطيف، على سبيل المثال ضمن RR يمثل الرقم الحركة من الأرجواني باتجاه الأحمر. وبناءاً على ذلك يتم توصيف الدرجات اللونية برقمين وحرفين (مثلاً 50RR). وتكون قيمة انعكاس الضوء (LRV) والصفاء كما هو عليه الحال في نظام ترميز لوحة الألوان.

يوصف اللون الأخضر الزمردي القاتم كما يلي:

346 /15 10GG

الصفاء LRV الدرجة

بانتون

يستخدم نظام مطابقة بانتون بكثرة من قبل المعماريين والمصممين الداخليين لتحديد ألوان المواد البلاستيكية والأقمشة والدهان. عادة ما توضع عينات الألوان على قصاصات ورقية بشكل إنهاء مطلي (C) أو غير مطلي (U) أو غير صقيل

(مت) (M). يحدد أي لون معين بالاسم وعدد من ثلاثة أو أربعة أرقام والإنهاء المناسب، مثلاً (Pantone 185 C).

ضمن نظام بانتون هناك مجموعات جزئية متنوعة إحداها مخصصة للدهانات والألوان الداخلية. تحدد هذه المجموعة برقمين متبوعين بشحطة (Dash) ثم أربعة أرقام ولاحقة حرفية. تميز الأحرف (TCX) و(TPX) ما بين الإصدارات المطبوعة على القطن أو الورق على الترتيب. كما أن لكل لون اسم (مثل Pantone 15-1247 TCX Tangerine).

يحتوي نظام بانتون غو (Pantone Goe)، وهو تطوير حديث، على 2058 لوناً مرتبة حسب صفائها اللوني تعرّف بنظام ترقيم من ثلاثة أجزاء مفصولة بشرطات. فالعدد الأول (1 ـ 165) يحدد العائلة اللونية، والعدد الثاني (1 ـ 5) يحدد الصفحة ضمن العائلة والعدد الأخير يحدد الموقع على الصفحة (1 ـ 7). كما تحدد اللاحقة C أو U الورق المطلي أو غير المطلي (مثل Pantone 105-5-3 C).

يمكن لألوان بانتون أن تتطابق فقط بشكل تقريبي مع شاشة ذات ألوان (RGB) أو مع ألوان الطباعة (CMYK) المعيارية، إلا أنه باستخدام الطباعة سداسية الألوان (Hexachrome) والتي تتضمن البرتقالي والأخضر يمكن عادة استعادة حيوية ألوان بانتون. يبين دليل صيغ بانتون الألوان التي يمكن الحصول عليها في أنظمة شاشات (RGB) وطباعة (CMYK).

المقارنة البصرية بين ألوان الدهان

يعتمد المعيار الأوروبي لمقارنة ألوان الدهان (BS EN ISO 3668:2001) على المشاهدة ضمن إضاءة معينة وشروط للرؤية (إما ضوء النهار الطبيعي المنتشر أو الضوء الاصطناعي المحدد علمياً). تبنى عملية مطابقة الألوان على تقييم الفروقات في الدرجة والصفاء والإضاءة ما بين لوحات للتجربة ومعايير الألوان المرجعية.

الإحالة المرجعية بين أنظمة الألوان

يمكن لنظام (NCS) أن يقدم تقاطعاً مراجعياً رقمياً لـ 237 لوناً في المعيار البريطاني BS 5252، وكذلك لـ 189 لوناً من ألوان (RAL) البالغة 194 لوناً، وأيضاً لمجموعة ألوان نظام (Munsell) الـ 1150 ذات الإنهاء غير الصقيل والـ 1500 ذات الإنهاء الصقيل. ويتوفر تقاطع مرجعي مطبوع ما بين نظام (NCS) والمنظومة

الأوروبية (CMYK) (سماوي، أرجواني، أصفر، أسود) المستخدم للطباعة الملونة. وتتوفر جداول للترجمة من نظام NSC0) عبر (RGB) (شاشة الحاسوب) إلى (CMYK) (الطباعة) للعمل على أنظمة CAD0) ضمن أنظمة التشغيل التقليدية.

الدهانات

يعطي المعيار البريطاني (BS 6150:2006) وصفاً تفصيلياً لأنظمة الدهان وتطبيقاتها المناسبة ضمن نطاق مواد البناء المستخدمة في التشييد. يوصف المعيار المعالجات المسبقة للطبقات السفلية وكذلك صيانة وتلف دهانات الإنهاءات. يعتمد اختيار نظام الدهان على مجموعة من العوامل تتضمن ظروف التعرض للوسط الخارجي والوظيفة والطبقات السفلية وقيود الاستخدام والكلفة الأولية والصيانة.

مكونات الدهانات

تتكون الدهانات من خليط من المكونات لكل منها وظيفته المحددة. المكونات المشتركة بينها تتضمن الرابط (أو الوسط) والمذيب والأساس والممددّ [لزيادة امتداد الدهان] والأصبغة والمجففات، مع أن هناك دهانات اختصاصية قد تتضمن مواد مضافة أخرى.

يتصلّب الرابط لينتج الطبقة الرقيقة من الدهان. كان الرابط المستخدم بشكل تقليدي هو زيت بذر الكتان الطبيعي الذي يتجمد بالتأكسد التدريجي عند التعرض للهواء. إلا أن زيت بذر الكتان قد استبدل على نطاق واسع براتنجات الألكيد (Alkyd Resins) التي تتأكسد بالهواء أو براتنجات الفينيل أو الأكريليك التي تتصلّب بالجفاف. لضمان سيولة مناسبة للدهان أثناء تطبيقه بالفرشاة أو البخ يستخدم إما الماء أو مذيبات عضوية (هيدروكربونات أو كيتونات أو إسترات)، كما أن لمرقّقات الدهان نفس التأثير. مادة الأساس، التي تكون عادةً ثاني أوكسيد التيتانيوم الأبيض، تعطي الكتامة المطلوبة على الرغم من أنه يمكن زيادة جسم الدهان بإضافة الممددّات الخامدة مثل السيليكا أو كربونات الكالسيوم أو الغضار الصيني أو مركبات الباريتس (Barytes). غالباً ما تكون المواد الملونة مزيجاً من الصبغات العضوية واللاعضوية والملونات [المخضبات]. تحث المجففات عملية تحول الرابط إلى بوليمير فتضمن عملية جفاف سريع.

لقد قادت التغيرات في التشريعات والاهتمامات البيئية إلى تطوير دهانات بسويات مخفضة من المركبات العضوية المتطايرة (VOCs). وتم ذلك بشكل أساسي بالاستخدام المتزايد للدهانات المحمولة بالماء بدلاً من الدهانات المحمولة

بالمذيبات. وهناك أفضلية للدهانات المحمولة بالماء في بعض النواحي. فهي تصدر رائحة أقل، ويمكن تنظيف الفراشي بالماء وهي تتحمّل السطوح الرطبة. إلا أنها ليست مثالية للاستخدام الخارجي في الظروف الباردة والمبللة. اتجهت بعض التطويرات نحو الدهانات ذات الصلابة العالية، والتي لها محتوى منخفض من المذيب وبالتالي انبعاثات قليلة جداً من المركبات العضوية المتطايرة (VOC).

وهناك توجه إضافي نحو استخدام الدهانات الطبيعية المؤسسة على الزيوت النباتية والكازين (Casein) والسيلولوز والتركيبات المعدنية. وتكون هذه الدهانات خالية من المواد ذات الطاقة المكتنزة العالية مثل المنتجات البتروكيماوية، وتستهلك الدهانات الطبيعية طاقة أقل بكثير في التصنيع وهي صديقة للبيئة في الاستخدام ومشاكلها أقل في إدارة النفايات؛ إلا أنها ليست مناسبة لكل التطبيقات. فعادة ما تكون مستحلبات الكازين والمتوفرة في مجال من الألوان مناسبة للتطبيقات الداخلية فقط.

أنظمة الدهان

يؤدي الطلاء ضمن منظومة الدهان مهمات محدّدة، عادة ما يتطلّب النظام الكامل دهان أساس وطلاء سفلياً وطلاء إنهاء، على الرغم من أنه في حالة المواد الخارجية الجديدة قد يكون من المناسب استخدام أربع طبقات.

دهانات الأساس

يجب أن يلتصق دهان الأساس جيداً مع الطبقة التحتية ويؤمن الحماية من التلف والتآكل، ويؤمن أساساً جيداً للطلاء السفلي. لضمان الالتصاق يجب أن يكون سطح الطبقة التحتية خالياً من المواد المتفككة والمفتتة. يبين الجدول 1.15 الأنظمة المناسبة. للاستخدام على الأخشاب يمكن أن يكون دهان الأساس من الزيوت أو راتنجات الألكيد أو مستحلبات الأكريليك وغالباً مع أوكسيد التيتانيوم. وينصح باستخدام أساس الألومنيوم للأخشاب الراتنجية لإغلاق السطوح القديمة والمدهونة بالكريوسوت أو القار [البيتومين]. من أجل حماية المعادن الحديدية من التآكل يحتوي الأساس على مركبات غنية بالزنك مع الزيوت أو راتنجات الألكيد. يخضع استخدام الدهانات ذات الأساس الذي يحتوي الرصاص في المملكة المتحدة إلى قوانين السيطرة على الرصاص في العمل لعام 2002. تقدّم الطلاءات المنخفضة المركبات العضوية المتطايرة (VOC) المطورة حديثاً إمكانية الحماية المؤقتة من التآكل للأعمال المعدنية البنيوية كأسس إما قبل أو بعد التصنيع. كبديل عنها يمكن استخدام الدهانات المطاطية المعالجة بالأكريليت كأسس حيث تشكل

حاجزاً فيزيائياً على الفولاذ. في حالة المعادن غير الحديدية غالباً ما تستخدم دهانات الأساس من فوسفات الزنك. وقد تسبب دهانات الأساس المناسبة للمعادن الحديدية المزيد من التآكل عند استخدامها على السطوح غير الحديدية خاصة الألومنيوم. تعتمد دهانات الأعمال الحجرية عادة على راتنجات الألكيد أو الأكريليك مع أوكسيد التيتانيوم؛ عندما يُحتمل أن تكون السطوح قلوية مثل الطينة الحديثة أو أشغال الآجُرّ أو الخرسانة يجب استخدام دهان أساس مقاوم للقلويات.

الطلاء السفلي

يقدم الطلاء السفلي التغطية وقاعدة جيدة لطلاء الانهاء. تبنى معظم مواد الطلاء السفلي على راتنجات الألكيد أو مستحلبات الأكريليك.

الجدول 1.15 دهانات الأساس التي ينصح بها لمختلف السطوح التحتية

دهان الأساس	السطح التحتي والحالة المناسبة
الأخشاب أساس الألكيد (محمول بالمذيبات) أساس أكريليك (محمول بالماء) أساس ألومنيوم للأخشاب أساس واقي	الخشب الطري والقاسي، داخلياً وخارجياً الخشب الطري والقاسي الخشب الراتنجي الطري والقاسي للاستخدام الخارجي، يحوي فطريات
الطينة وأشغال البناء أساس أكريليك عازل أساس مقاوم للقلويات	السطوح المفككة والهشة الطينة والإسمنت والخرسانة
المعادن الحديدية المعالجات السابقة فوسفات الزنك الأساس الغني بالزنك أساس كروماتي أساس إيبوكسي المطاط المعالج بالأكريليت	تحسين التصاق أنظمة الدهان الفولاذ والحديد والفولاذ المغلفن وهو مانع جيد للصدأ الفولاذ وهو نظام من مكونين ويجب أن يكون السطح منظفاً بالسفع المعادن الحديدية وغير الحديدية الفولاذ وهو نظام من مكونين يحتوي بودرة الألومنيوم الفولاذ والحديد والفولاذ المغلفن، يجب أن يكون النظام من المطاط المعالج بالأكريليت بشكل كامل
المعادن غير الحديدية فوسفات الزنك المطاط المعالج بالأكريليت أساس الأكريليك المعدني	الألومنيوم الألومنيوم، يجب أن يكون النظام من المطاط المعالج بالأكريليت بشكل كامل الألومنيوم والنحاس والرصاص والنحاس الأصفر (الصفر)، وهو أساس سريع الجفاف ذو قاعدة مائية

طلاء الإنهاء

يوفر طلاء الإنهاء سطحاً تزيينياً وذا ديمومة، ولا تزال بعض أنواع الطلاء اللامعة والحريرية وذات مظهر قشر البيض تستخدم الأساس الزيتي وراتنجات الألكيد مع أن المنتجات المحمولة بالماء أصبحت سائدة بازدياد. تميل بعض الإنهاءات

اللامعة المحمولة بالماء لأن تكون أرق للنظر وهي أكثر نفوذية للرطوبة من الدهانات اللامعة التقليدية القاسية المحمولة بالمذيبات، إلا أن لها ميزة الجفاف السريع بدون انتشار رائحة المذيب؛ وعموماً فإنها أكثر ديمومة ولا تصفر بازدياد عمرها. عادة ما تكون الإنهاءات غير الصقيلة (المت) والحريرية من مستحلبات الفينيل أو الأكريليك.

الدهانات الخاصة

الدهان الأبيض العاكس للضوء

إن الدهانات البيضاء ذات الامتصاص الأقل والانعكاسية الأكبر للضوء يمكنها أن تحسن توزيع الضوء ضمن حيز الغرفة، وبالتالي تخفض الطاقة المطلوبة للحصول على سويات مناسبة من الإضاءة. وتتوفر المنتجات بإنهاءات غير لمّاعة (مت) وبمظهر قشرة البيضة.

الدهانات المتعدّدة الألوان

تعطي الدهانات المتعددة الألوان المتضمنة نقاط سطح اهتراء قاس، يمكن التزجيج فوقه، مما يجعل إزالة الكتابات على الجدران أسهل. ينفذ الدهان بواسطة مسدس البخ الذي يمكن تعديله لتغيير نموذج ونسيج النقاط. يمكن استخدام هذا النظام من الدهان على معظم السطوح الداخلية النظيفة من الغبار والشحوم.

الدهانات المتقطعة الألوان

إن مظاهر الألوان المتقطعة (Broken-Colour Paints) التي تعكس العملية التقليدية لمظاهر الألياف والرخام وقطع القماش والنقوش الصغيرة قد عادت إلى شعبيتها مجدداً. تتطلب معظم التأثيرات الحديثة بالألوان المتقطعة طبقة أساس تنفذ بالفرشاة أو الرول ومن ثم يدهن فوقها طبقة رقيقة لامعة صافية اللون وبعدها تشكيل أو تشويه هذه الطبقة لإعطاء المظهر المرغوب. يستخدم أحد الأنظمة رول خاصاً من قطع القماش التي تفرك طبقة الطلاء الندية مما يؤدي لظهور الطبقة الأولى الأكثر قتامةً بشكل جزئي وعشوائي. كما أن هناك إنهاءات بديلة تتضمن المظهر المعدني واللؤلؤي والليفي. يعطي الإنهاء بألوان قوس قزح وميضاً من درجتين لونيتين بواسطة التداخل البصري للضوء المنعكس. وتكون طبقات طلاء الأكريليك الرقيقة اللامعة ذات الأساس المائي عديمة الرائحة عملياً وتصبح جافة الملمس خلال ساعتين.

دهانات المطاط المعالجة بالأكريليت

تعدُّ دهانات المطاط المعالجة بالأكريليت مناسبة للاستخدامات الداخلية والخارجية والمعرضة لهجمات العوامل الكيميائية أو الظروف الجوية الرطبة أو المبللة. هنالك ميلٌ إلى أن تحل دهانات المطاط المعالجة بالأكريليت محل دهانات المطاط المكلور التي تعتمد على مذيب رباعي كلوريد الكربون والذي يعتبر الآن مضراً بالبيئة. ويمكن تنفيذ الدهانات المطاطية المعالجة بالأكريليت على المعادن أو على أشغال البناء إما بالفرشاة أو بالبخ. عادة تكون سماكة الطبقة الجافة 100 µm بالمقارنة مع 25 ـ 30 µm في معظم منتجات الدهان المعيارية.

الدهان المقاوم للحرارة

يعدُّ طلاء الألومنيوم ذو الإنهاء المعدني اللماع مقاوماً لدرجات حرارة تصل إلى 230 - 260° مئوية. تكون عادة سماكة طبقة الطلاء الجافة 15 µm. كما يمكن استخدام دهانات المطاط المعالجة بالأكريليت بشكل مرضي حتى درجة حرارة 100° مئوية.

الدهانات المؤخِّرة للهب

تصدر الدهانات المؤخِّرة للهب عندما تتعرّض للنار غازات غير قابلة للاحتراق، والتي غالباً ما يكون مكونها الفاعل أوكسيد الأنتيمون [الإثمد]. ويمكن في هذه الحالة رفع صنف الطبقات التحتية القابلة للاحتراق مثل الخشب المعاكس وألواح النشارة المضغوطة إلى الصنف 1 من السطوح الناشرة للهب (BS476 الجزء 7). وتتضمن منتجات هذه الدهانات الإنهاء من دون لمعة (المت) وبنصف لمعة وبلمعة، ويمكن تطبيقها بالفرشاة أو الرول أو البخاخ.

الطلاء الانتفاخي

توفر طبقة الدهانات الانتفاخية التي تبلغ سماكتها عادةً 1 أو 2 mm الحماية من الحريق للفولاذ البنيوي دون تأثير ملحوظ على منظره. عند حدوث حريق يتمدد الطلاء الرقيق حتى 50 ضعفاً ليشكل طبقة من الرغوة العازلة. حيث تتفحم المادة الكربونية في الطلاء التي عادة ما تكون النّشَاء، بينما تؤدي الحرارة أيضاً إلى تحرير الأحماض. وهذه تعمل على انتاج حجوم كبيرة من الغازات غير القابلة للاحتراق التي تفجر النّشَاء المتفحم ضمن الرابط الطري ليتحول إلى طبقة كربونية خلوية

عازلة. يمكن تطبيق الطلاء بحيث يؤمن حماية من الحريق لفترات 30 أو 60 أو 120 دقيقة. إن مستحلبات الدهانات الانتفاخية أو الورنيش الصافي مناسبة للاستخدام على الأخشاب، بالرغم من أنه عندما تكون الأخشاب مشربة بالملح المؤخر للهب في المصنع يجب التحقق من توافقية الطلاء الانتفاخي مع المادة المؤخِّرة للهب.

الدهانات المبيدة للفطريات

تستخدم الدهانات المبيدة للفطريات في المناطق التي يكون فيها نمو الفطر العفني مشكلة متكرِّرة الحدوث. وبحيث تحتوي مزيجاً من مبيدات الفطريات لتعطي فعالية أولية عالية وأداءً مستقراً طويل الأمد. يمكن تحقيق الفعالية الأخيرة بمبيدات الفطريات التي تكون مركباتها قليلة الذوبان حيث تتحرر بشكل تدريجي إلى السطح خلال فترة حياة الدهان. تتوفر منها إنهاءات الأكريليك المت بطيف من الألوان.

دهانات المينا

تعطي دهانات المينا (Enamel Paints) المبنية على البولي يوريثان أو راتنجات الألكيد سطوحاً عالية الديمومة ومقاومة للصدمات وسهلة التنظيف وذات لمعة قوية. تميل ألوانها إلى القوة والإشراق، وهي تناسب الآلات والمصانع في الأماكن الداخلية والخارجية.

دهانات أوكسيد الحديد الميكائي

تتمتع دهانات أوكسيد الحديد الميكائي (Micaceous) بمقاومة جيدة للرطوبة على الفولاذ البنيوي والسكك الحديدية... إلخ. ويعود ذلك إلى طبقات الميكا التي تخفض نفوذية البخار الرطب. عادة ما تكون سماكة الطبقة الجافة 45 ـ 50 ميكرون، وتتطلّب بالتالي وقتاً أطول للجفاف من منتجات الدهان المعيارية. يجب تنفيذ دهانات أوكسيد الحديد الميكائي على دهان أساس معدني مناسب.

دهانات أشغال البناء

إنّ الدهانات الناعمة وذات النسيج الرملي مناسبة لتطبيقها على الجدران الخارجية من الآجُرّ أو البلوك أو الخرسانة أو الحجر أو الطينة. يمكن عادة إخفاء الشقوق الناعمة باستخدام المواد ذات النسيج الرملي. تحتوي دهانات أشغال البناء

عادة على مبيدات للفطريات لمنع تغير الألوان بسبب الفطريات العفنية والطحالب. وتكون المنتجات المبنية على راتنج الأكريليك غالباً ذات أساس مائي إلا أنه قد يتم إنتاج أنظمة مبنية على مذيبات سريعة الجفاف أيضاً. تشكل دهانات سيليكات المركبات المعدنية طبقة حماية متبلورة على سطح الجداران والتي تكون أكثر ديمومة من الإنهاءات العضوية ذات الراتنجات الاصطناعية.

الدهانات الصادة للماء والعازلة للماء

يمكن تطبيق دهانات السيليكون الصادة للماء على السطوح المسامية، بما فيها الآجُرّ والخرسانة والحجر والطينة، لمنع اختراق الرطوبة. إنّ مثل هذه المعالجة لا تمنع تصاعد الرطوبة ولكنها تسمح بالتبخر المستمر ضمن أشغال البناء. يمكن تطبيق أنظمة العزل المائي من الإيبوكسي بمكونين على سطوح الجداران السليمة لتشكيل طلاء كتيم. تشمل التطبيقات النموذجية لهذه الدهانات الغرف التي يسبب فيها التكاثف تقرح طبقات الدهان العادي، وكذلك الأقبية والجدران الخارجية المصمتة حيث تكون هناك مشكلة في إمكانية اختراق الماء، بشرط إمكانية تأمين تماسك جيد بين الطبقة التحتية وراتنج الإيبوكسي. توفر الدهانات القارية إنهاءً عازلاً للماء للمعادن وأشغال البناء، وكذلك يمكن استخدامها كطبقة تلبيس علوية للأسفلت أو لإصلاح الأغشية البيتومينية على أسطحة المباني. يمكن لطلاء البيتومين المائي في حال حمايته من الضرر الفيزيائي تأمين غشاء شاقولي، حيثما يكون منسوب الأرض الخارجية أعلى من منسوب الأرضية الداخلية.

دهانات الإيبوكسي

تعدُّ طلاءات أستر (Ester) الإيبوكسي ذات مقاومة عالية للاهتراء وانسكاب الزيوت ومواد التنظيف والمواد الكيميائية الممددة. وبالتالي فهي تستخدم كثيراً كإنهاءات للخرسانة أو الحجر أو المعادن أو الخشب في الورشات والمصانع ذات حركة المرور الثقيلة. يتمّ إنتاج الكثير منها بشكل نظام من مكونين يجب مزجهما قبل التطبيق مباشرةً.

الدهانات المضادة للرسوم الجدارية

الغاية الأساسية من هذه الدهانات هي تسهيل إزالة الرسوم الجدارية. وتُصنّف هذه الدهانات في نوعين، إمّا سهلة الإزالة [مؤقتة] أو دائمة. تكون الدهانات المؤقتة، والمبنية غالباً على مستحلبات الشمع أو الأكريليت أو البوليميرات

العضوية، سهلة الإزالة بواسطة نفث الماء الحار. أمّا الدهانات الدائمة، والمبنية على الأكريليك الفلوري القوي أو منظومات البولي يوريثان ذات المكونين، فهي طيّعة لمواد التنظيف الكيميائية وتقنيات التنظيف القاشطة. وتكون الدهانات الدائمة المضادة للرسوم الجدارية ناجحة بشكل أكبر على السطوح الناعمة. كما تساعد الإنهاءات المتعددة الألوان على تمويه أي تغير في اللون.

الدهانات المضادّة للميكروبات

يمكن أن تخفض دهانات الجدران والأسقف المضادة للميكروبات المحتوية على شوارد الفضة من مستويات البكتيريا ضمن المستشفيات والبيئات الصحية.

إنهاءات الخشب الطبيعي

تتضمن إنهاءات الخشب الطبيعي كلاً من صباغ الخشب والورنيش والزيوت. صباغ الخشب عبارة عن محاليل راتنجية مصبوغة تتغلغل في السطح وتشكل إنهاءً لامعاً. الورنيش هو محاليل راتنجية غير مصبوغة يراد بها تشكيل طبقة سطحية رقيقة. أما المواد الحافظة للخشب فقد تم وصفها في الفصل 4.

صباغ الخشب

تتضمن معظم أنظمة صباغ الخشب (Wood Stains) للاستخدام الخارجي طبقة طلاء أساس حافظة مبنية على الماء أو المذيب، وذلك للسيطرة على التفسخ ونمو العفن. تتضمن الصيغ النموذجية نافثينات (Naphthenate) الزنك أو النحاس أو ثاني كلوريد فلوانيد (Dichlorofluanid) أو ثلاثي (هكسيل غليكول) ثنائي البورات أو رباعي هيدرات ثماني بورات ثنائي الصوديوم (Tri- (Hexylene Glycol) Biborate and Disodium Octaborate Tetrahydrate). تكون الإنهاءات بصباغ الخشب إمّا منخفضة أو متوسطة أو عالية التوضع، وذلك وفقاً للطبيعة المحدّدة لاستخدامها. وهي عادة تحتوي على أصبغة أوكسيد الحديد لامتصاص الضوء فوق البنفسجي الذي قد يسبب تخرب الخشب غير المحمي. وعموماً يكون صباغ الخشب عميق التغلغل، مناسباً للخشب المنشور بشكل خشن، بينما تعطي أنظمة الصباغ متوسطة أو عالية التوضع الحماية الفضلى من العوامل الجوية للأخشاب المستوية الملساء. تكون المنتجات الصباغية مبنية على الأكريليك و/ أو راتنجات الألكيد.

في حالة الخشب المنشور، تتوفر كل من المواد المبنية على المذيبات

العضوية والمواد المبنية على الماء، وعادة في مجال محدود من الألوان. إن المنتجات منخفضة التوضع المبنية على المذيبات وقليلة المحتوى من المواد الصلبة تتغلغل بعمق تاركةً إنهاءاً غير صقيل (مت) صاداً للماء، مما يحسن عروق الخشب الطبيعية، ولهذا فهي مناسبة للإكساء الخشبي. ينبغي أن يزيل الاختراق العميق خطورة التقشر أو التقرح على سطح الخشب. فالمنتجات المتوسطة والعالية التوضع الخاصة بأعمال النجارة الخارجية إما أن تكون نصف شفافة، فتسمح برؤية لعروق الخشب جزئياً، أو تكون بألوان كامدة غير شفافة من أجل التجانس. تتوفر المنتجات بمجال كبير من الألوان بإنهاءات مت أو لامعة. طبقة الطلاء الأولى تخترق وتلتصق بالسطح بينما تؤمن الطبقة الثانية طبقة رقيقة مستمرة ذات مسام ميكروية تكون نفوذة لبخار الرطوبة وصادة للماء بنفس الوقت، وتخفض بالتالي من حركة الرطوبة في الخشب. ويجب تنفيذ طبقات إضافية عند عروق النهايات. إن الطلاء الذي تبلغ سماكته عادةً 30 ـ 40 µm يجب أن يبقى مرناً بما فيه الكفاية ليتقبل الحركات الطبيعية للخشب. تتوفر الآن بشكل عام المنتجات المنخفضة المركبات العضوية المتطايرة (Law - VOC) المبنية على المستحلبات المحمولة بالماء أو على الراتنجات المحمولة بالمذيبات العالية المحتوى بالمواد الصلبة.

دهانات الورنيش

دهانات الورنيش التقليدية هي عبارة عن تراكيب من الراتنجيات وزيوت التجفيف، إلا أن معظم المنتجات الآن مبنية على راتنجات الألكيد المعدلة. تتوفر دهانات ورنيش البولي يوريثان كإنهاءات مت أو ساتان أو لامعة بأحد النظامين المبنيين إما على الماء أو على المذيبات. تعطي الأنظمة المبنية على المذيبات الطلاء الأقسى والأكثر ديمومة وبسماكة حتى 8 µm وهي مناسبة لأعمال الخشب الخارجية. تحافظ المنتجات على لون الخشب الطبيعي أو تحسنه أو تضيف لوناً. تضاف عوامل ساترة إلى مركبات الدهان لحماية الخشب من تأثيرات الضوء فوق البنفسجي. إن راتنجات الألكيد المعدلة باليوريثان مناسبة للاستخدام الداخلي ولها ميزة المقاومة العالية للخدش والسوائل الحارة. تسبب العوامل الجوية الخارجية فشل الدهان بتفتته وتقشره لأن الضوء المار خلال الورنيش يسبب تدريجياً تخرب السطح الخشبي التحتي. فعلى سبيل المثال ينبغي أن تكون الفترات أطول ما بين عمليات الصيانة عندما تكون أبواب الخشب القاسي المزينة بورنيش البولي يوريثان محميةً من المطر وضوء الشمس المباشر لوجودها في رواق. يجب أن تختم

نهايات العروق لمنع الرطوبة المحتجزة من تشجيع نشوء الفطريات المسببة للبقع.

تتوفر أيضاً إنهاءات الخشب المكونة بشكل كامل من المنتجات الطبيعية. وتكون هذه الإنهاءات مبنية على خلطات من شمع النحل أو راتنج شجر الأركس أو الزيوت النباتية وقد تضم عناصر معدنية وصبغات ترابية للون والقتامة.

الزيوت

تستعمل الزيوت، كزيت خشب الساج [التيك]، بشكل أساسي في التطبيقات الداخلية. وتكون التراكيب المبنية على الزيوت الطبيعية والتي تستخدم في التطبيقات الخارجية العالية المحتوى بالمواد الصلبة، وتنتج إنهاءً بمسام ميكروية مقاوماً للأشعة فوق البنفسجية وقد يكون شفافاً أو معتماً. ويمكن تجديد الإنهاء الذي يجب ألاّ يتقشر أو يتشقق بتطبيق طبقة إضافية.

المراجع

FURTHER READING

Edwards, L. and Lawless, J. 2007: *The natural paint decorator*. London: Kyle Cathie.

ICI Paints: *ICI Dulux colour palette*. Slough: Imperial Chemical Industries plc.

Moor, A. 2006: *Colours of architecture*. London: Mitchell Beazley.

Reichel, A., Hochberg, A. and Kopke, C. 2005: *Plaster, render, paint and coatings: details, products, case studies*. Basel: Birkhäuser.

STANDARDS

BS 381C: 1996 Specification for colours for identification coding and special purposes.

BS 476 Fire tests on building materials and structures:

Part 4: 1970 Non-combustibility test for materials.

Part 6: 1989 Method of test for fire propagation of products.

Part 7: 1997 Method of test to determine the classification of the surface spread of flame of products.

BS 1070: 1993 Black paint (tar-based).

BS 2015: 1992 Glossary of paint and related terms.

BS 2523: 1966 Specification for lead-based priming paints.

BS 3416: 1991 Specification for bitumen-based coatings for cold applications, suitable for use in contact with potable water.

BS 3698: 1964 Calcium plumbate priming paints.

BS 3761: 1995 Specification for solvent-based paint remover.
BS 3900 Paints and varnishes:
Part 0: 1989 Methods of test for paints. General introduction.
Part D1:1998 Visual comparison of the colour of paints.
BS 4652: 1995 Metallic zinc-rich priming paint (organic media).
BS 4756: 1998 Specification for ready-mixed aluminium priming paints for woodwork.
BS 4764: 1986 Specification for powder cement paints.
BS 4800: 1989 Schedule of paint colours for building purposes.
BS 4900: 1976 Vitreous enamel colours for building purposes.
BS 4901: 1976 Specification for plastics colours for building purposes.
BS 4904: 1978 Specification for external cladding colours for building purposes.
BS 5252: 1976 Framework for colour co-ordination for building purposes.
BS 5589: 1989 Code of practice for preservation of timber.
BS 6150: 2006 Painting of buildings. Code of practice.
BS 6949: 1991 Specification for bitumen-based coatings for cold application, excluding use in contact with potable water.
BS 7079: 2009 General introduction to standards for preparation of steel substrates before application of paints and related products.
BS 7664: 2000 Specification for undercoat and finishing paint.
BS 7719: 1994 Specification for water-borne emulsion paints for interior use.
BS 7956: 2000 Specification for primers for woodwork.
BS 8000 Workmanship on building sites:
Part 12: 1989 Code of practice for decorative wall coverings and painting.
BS 8202 Coatings for fire protection of building elements:
Part 1: 1995 Code of practice for the selection and installation of sprayed mineral coatings.
Part 2: 1992 Code of practice for the use of intumescent coating systems to metallic substrates for providing fire resistance.
BS EN ISO 150: 2007 Raw, refined and boiled linseed oil for paints and varnishes. Specifications.
BS EN 927 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood:
Part 1: 1997 Classification and selection.
Part 2: 2006 Performance specification.
Part 3: 2006 Natural weathering test.
Part 4: 2000 Assessment of water-vapour permeability.
Part 5: 2000 Assessment of the liquid-water permeability.
Part 6: 2006 Exposure of wood coatings to artificial weathering.
BS EN 1062 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete:

Part 1: 2004 Classification.

Part 3: 2008 Determination of liquid water permeability.

Part 6: 2002 Determination of carbon dioxide permeability.

Part 7: 2004 Determination of crack bridging properties.

Part 11: 2002 Methods of conditioning before testing.

BS EN ISO 3251: 2008 Paints, varnishes and plastics. Determination of non-volatile matter content.

BS EN ISO 3668: 2001 Paints and varnishes. Visual comparison of the colour of paints.

BS EN ISO 4618: 2006 Paints and varnishes. Terms and definitions.

BS EN ISO 4624: 2003 Paints and varnishes. Pull-off test for adhesion.

BS EN ISO 10545-16: 2000 Ceramic tiles. Determination of small colour differences.

BS EN ISO 11341: 2004 Paints and varnishes. Artificial weathering and exposure to artificial radiation.

BS EN ISO 11507: 2007 Paints and varnishes. Exposure of coatings to artificial weathering.

BS EN ISO 11917-1: 2006 Paints and varnishes. Determination of resistance to cyclic corrosion conditions.

BS EN 12206-1: 2004 Paints and varnishes. Coating of aluminium and aluminium alloys for architectural reasons.

BS EN 12878: 2005 Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime. Specifications.

BS EN ISO 12944 Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems:

Part 5: 2007 Protective paint systems.

BSEN13300: 2001 Paints and varnishes.Waterborne coating materials and coating systems for interior walls and ceilings. Classification.

BS EN 13438: 2005 Paints and varnishes. Powder organic coatings for galvanized or sherardized steel products for construction.

BSEN13523-22: 2003 Coil coated metals. Test methods. Colour difference. Visual comparison.

BS EN ISO 14680: 2006 Paints and varnishes. Determination of pigment content.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 422: 1997 Painting exterior wood.

BRE Digest 464: 2002 VOC emissions from building products (Parts 1 and 2).

BRE Digest 466: 2002 EN 927: the new European standard for exterior wood coatings.

BRE Digest 503: 2007 External timber structures. Preservative treatment and durability.

BRE Good building guide

BRE GBG 22 1995 Maintaining exterior wood finishes.

BRE Information papers

BRE IP 10/98 Resistance of masonry paints to microbial attack.
BRE IP 8/99 The performance and use of coatings with low solvent content.
BRE IP 16/00 Low-solvent primers: performance in construction steelwork.
BRE IP 7/03 Planned maintenance painting: improving value for money.

TRADA PUBLICATIONS

Wood information sheets

WIS 2/3-1: 2005 Finishes for external timber.
WIS 2/3-11: 2006 Specification and use of woodbased panels in external conditions.
WIS 2/3-16: 2006 Preservation treatment for timber. A guide to specification.
WIS 2/3-60: 2008 Specifying timber exposed to weathering.

ADVISORY ORGANISATIONS

NCS Colour Centre, 71 Ancastle Green, Henley-on- Thames, Oxfordshire RG9 1TS, UK (01491 411717).

Paint Research Association, 14 Castle Mews, High Street, Hampton TW12 2NP, UK (0208 487 0800).

Property Care Association, Lakeview Court, Ermine Business Park, Huntingdon PE29 6XR, UK (0870 121 6737).

16

المواد والمكونات الموفرة للطاقة

مقدّمة

أدّى التوجه المتزايد نحو التصاميم الحريصة على الطاقة إلى تركيز أكبر على المواد والمكونات الموفرة للطاقة والتي تتضمن الخلايا الكهرضوئية (Photovoltaics) والمجمعات الشمسية، حيث يتم تحويل طاقة الشمس إلى كهرباء ومياه ساخنة على التوالي. إذ تُعد الأنابيب الضوئية (Light Tubes) ولاقطات الرياح (Wind Catchers) أجهزة موفرة للطاقة تستطيع إجراء تخفيضات متواضعة في استهلاك الأبنية للطاقة في سياق استراتيجية شاملة وفاعلة للطاقة. يمكن لعنفات الرياح الصُغرية، وعند وجودها في المحيط المناسب، أن تولّد كميات متواضعة من الكهرباء. كما يمكن لأنظمة جني مياه الأمطار أن توقف أو تخفّف استهلاك مياه الشرب الرئيسية في الاستخدامات المنزليّة الأقل حساسية.

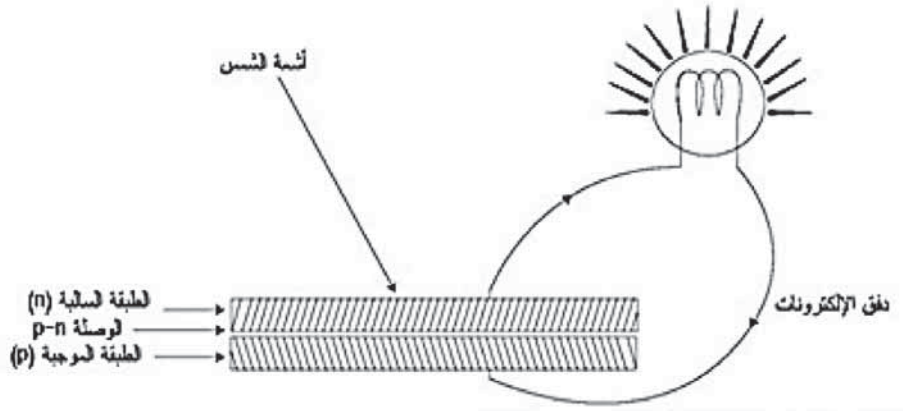
الخلايا الكهرضوئية

الخلايا الكهرضوئية هي أجهزة تعتمد في بنائها على السيليكون، حيث تولد تحت تأثير أشعة الشمس تياراً كهربائياً مستمراً منخفض التوتر. وتتعلق كمية الكهرباء المتولدة بشكل مباشر بشدة إشعاع الشمس الوارد أو السطوع (W/m2). ويعتبر كل من إشعاعي الشمس المباشر والمنتشر فعالين، مع أن شدة إشعاع الشمس المباشر تساوي عادة 10 أضعاف شدته تحت سماء غائمة، وتكون فعالية تحويل الطاقة حوالي 15%. حيث يتم وصل الخلايا الكهرضوئية مع بعضها بالتسلسل لتوليد توتر أعلى. وبعدها يتم تمرير الناتج على محوّل (Inverter) ليقوم بتحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب أكثر قابلية للاستخدام وبتوتر معياري. يمكن

عندها استخدام الكهرباء المتولدة ضمن المبنى أو بيعها إلى شركة الكهرباء الوطنية إذا كانت الكمية المولدة تزيد عن الحاجة.

يتم تصنيع وحدات الخلايا الكهرضوئية من شطائر تحوي على الأقل شكلين مختلفين من السيليكون أحادي أو متعدد التبلور (الشكل 1.16). تقوم بلورات السيليكون من النوعين n وp (سالب وموجب) بتوليد الكهرباء فيما بينها تحت تأثير الإشعاع الشمسي [الفوتوني]. ويتم ترتيب الخلايا بشكل أنساق متكررة مستطيلة الشكل تتراوح مساحتها بين 0.3 و. 1.5 m^2 تستطيع وحدة نموذجية مساحتها متر مربع واحد أن تنتج 150 W من الطاقة الكهربائية تحت أشعة الشمس المشرقة ذات السطوع $1000\ W/m^2$.

تُصفّح الخلايا عادة بطبقة حماية من الزجاج مدعومة من الخلف بصفائح معدنية وتوضع على هيكل معدني. وتتوفر كذلك أنظمة نصف شفافة مدمجة ضمن وحدات الزجاج المضاعف أو ضمن وحدات مرنة يُغطى وجهها بغطاء بلاستيكي. عادة تكون وحدات السيليكون أحادي أو متعدد التبلور سوداء أو زرقاء اللون. وتكون الوحدات أحادية التبلور ذات لون منتظم بينما يكون للوحدات متعددة التبلور سطح براق. ويمكن الحصول على ألوان أخرى ولكن بدرجات أقل من الكفاءة.



(الشكل **1.16**) الخلية الكهرضوئية.

البديل، وهو عبارة عن وحدات أنساق متكررة من أغشية من خلايا السيليكون غير المتبلور (Amorphous Thin-Film Silicon) (TFS) ذات الألوان الأحمر المت (غير اللامعة) أو البرتقالي أو الأصفر أو الأخضر أو الأزرق أو الأسود، ويمكن تنضيدها ضمن الزجاج أو لصقها على خلفية من البلاستيك المرن. تكون لهذه الأنظمة درجات من الكفاءة أخفض بكثير من الخلايا المتبلورة في ظروف الإضاءة الجيدة، إلا أنها أكثر فعالية في ظروف الإضاءة الضعيفة. أما كلفة إنتاج الخلايا الكهرضوئية المكونة من غشاء السيليكون غير المتبلور فهي أقل بكثير من الأنظمة المتبلورة، وهذا الأمر هو الذي يحسن من كفاءتها المنخفضة عند 8%. لإن الوحدات الهجينة التي تجمع بين تقنية أحادي التبلور وتقنية الغشاء الرقيق قد تعطي ناتجاً جيداً ضمن مجال ظروف الإضاءة المختلفة. ومن المتوقع أن تزداد حصة الخلايا الكهرضوئية المكونة من غشاء السيليكون في السوق من 14% في 2008 إلى 30% بحلول عام 2015.

تتضمن التطورات الراهنة إنتاج الخلايا الكهرضوئية من تلوريد الكادميوم (CdTe) بكفاءة تبلغ 10%. فالمواد الأحدث، والتي تتضمن سيلينايد إينديوم النحاس (CIS) وسيلينايد غاليوم إينديوم النحاس (CIGS)، يمكنها تحويل الطاقة بمعدل 11%. يمكن للمركبات الرقيقة متعددة الطبقات تحقيق معدلات تحويل تبلغ 20%، ويمكن للخلايا متعددة الوظائف، من زرنيخيد الغاليوم (Gallium Arsenide)، والغالية الثمن تحقيق كفاءة تبلغ 40%، وذلك بامتصاص معظم الطيف الشمسي بما فيه الضوء تحت الأحمر وفوق البنفسجي.

يمكن الحصول على المزيد من الطاقة الكلية بملاحقة اتجاه الشمس بتحريك الخلايا الكهرضوئية لتأخذ الاتجاه الأمثلي أو باستخدام المرايا لزيادة الإشعاع الشمسي الذي يتم استقباله. إلا أن هذه الأنظمة تكون أكثر كلفة، ويلزمها صيانة لاحتوائها على أجزاء متحركة.

تورد أنظمة الخلايا الكهرضوئية عادة على شكل ألواح، إلا أنه يتوفر منها أيضاً ألواح إكساء وبلاط للأسطح المائلة ولأنظمة التزجيج. إن موقع وزاوية ميل الخلايا الكهرضوئية هما أمران حرجان فيما يتعلق بالحصول على الناتج الأعظمي. في النصف الشمالي من الكرة الأرضية يتم الحصول على الفعالية العظمى بالتوجيه إلى الجنوب مع زاوية ميل عن الأفق تساوي خط العرض الجغرافي مطروحاً منه 20^o (الشكل 2.16). ففي حالة مدينة لندن عند خط عرض 51^o تكون زاوية الميل الأمثلية هي 31^o عن الأفق. إلا أنه في مناطق المدن يجب أخذ تأثير البيئة المحيطة

بالحسبان عند تقييم الطاقة الشمسية المتوفرة. حيث تؤثر الظلال والانعكاسات المتبادلة ما بين المباني المتجاورة بالإضافة إلى أنماط الطقس المعتادة المحلية على الطاقة الشمسية السنوية الكلية، والتي تحدد بالنتيجة الناتج الكهربائي.

يتناقص أداء وحدات الخلايا الكهرضوئية، وخصوصاً تلك المصنعة من السيليكون المتبلور، مع ازدياد درجة الحرارة، فكل من أنظمة الأسطح أو الجدران الحاجبة أو الإكساء الحاجز للمطر يجب أن تكون مهواة بشكل طبيعي للحفاظ على الكفاءة. ويجب أن يكون استخدام الخلايا الكهرضوئية جزءاً متكاملاً مع استراتيجية الطاقة المتبعة في المبنى.

تولد وحدة من الخلايا الكهرضوئية المتبلورة مساحتها 1 m^2 عندما تعمل بفاعلية نحو 100 kWh في السنة. ويكون زمن استرداد كلفة مثل هذه الوحدة من مرتبة 10 سنوات، متضمناً الطاقة المبذولة في التصنيع؛ وتدوم معظم الوحدات المركبة ما بين 20 إلى 30 سنة. تقدم أنظمة مصممة بشكل جيد ناتجاً أعظمياً مقداره 1.2 kW، منتجةً بالتالي 1000 kWh في السنة أي ما يعادل تقريباً خمس الاستهلاك المنزلي الوسطي السنوي في المملكة المتحدة.

(الشكل 2.16) مصفوفة من الخلايا الكهرضوئية. الصورة بالإذن من: (Solar Century) (Solarcentury.com).

مواد إكساء الأسطح والواجهات من الخلايا الكهرضوئية

الأردواز والبلاط من الخلايا الكهرضوئية (الشكل 3.16)، واللذان يتمتّعان

بالمظهر العام للأردواز المصنوع من الإسمنت مع الألياف، ومظهر البلاط الأملس اللامع على التوالي، يمكن استخدامهما على الأسطح الموجهة بشكل مناسب كبديل بيئي لمواد تغطية الأسطح المعيارية، على أن تكون مقبولة كجزء مناسب من التخطيط المعماري. يحتوي الجزء السفلي من قطع الأردواز المنفردة على الخلايا الكهرضوئية التي تتصل مع بعضها لتكون منظومة خلايا كهرضوئية معيارية. البلاطات عبارة عن شرائح بعرض 2.1 m من المادة، موسومة في وحدات لتحاكي بلاط الأسطح التقليدي، وتتراكب مع بعضها لتعطي التأثير البصري المطلوب. الحصول على (KW1) من الطاقة في الشروط المثلى يتطلب 10 m^2 من بلاطات الأردواز أو16 m^2 من البلاط حسب مقدار التراكب. يمكن تنسيق بلاطات الأسطح من الخلايا الكهرضوئية مع بلاطات موائمة من الألواح الشمسية المستخدمة في أنظمة الماء الساخن لتعطي مظهراً متكاملاً تماماً للسطح المبلط.

تتوفر أغشية عالية الأداء لإكساء الأسطح تحتوي على فيلم مطبق مرن من خلايا السيليكون غير المتبلور. وفي حالة المباني العالية، والتي تكون مساحة سطحها صغيرة نسبياً، قد يكون من المناسب أكثر استخدام إكساءات الحواجز المطرية أو الجدران الحاجبة أو شفرات كواسر الشمس التي تحوي منظومات الخلايا الكهرضوئية. يمكن إنتاج وحدات أفلام رقيقة من الخلايا الكهرضوئية بأبعاد حتى 2.2X2.6 m من أجل تطبيقات الواجهات والأسطح.

(الشكل 3.16) الأردواز من الخلايا الكهرضوئية الصورة بالإذن من: (Solar Century) (solarcentury.com).

التزجيج بالخلايا الكهرضوئية

إن الخلايا الكهرضوئية السيليكونية غير المتبلورة المدمجة كطبقة مع الزجاج أو مع أنظمة الزجاج المضاعف يمكن أن تكون مصدراً للطاقة الكهربائية. يمكن أن يكون الزجاج نصف شفاف، مع المحافظة على إمكانية الاتصال البصري مع الخارج أو غير شفاف بألوان متنوعة. ويتم تنفيذ الوصلات الكهربائية على محيط الوحدات ضمن نظام الإطار. يمكن معايرة التباعد بين الخلايا لإعطاء التوازن الأمثلي ما بين توليد الكهرباء وتمرير ضوء النهار.

المجمِّعات الشمسية

النوعان القياسيان للمجمِّعات الشمسية هما نظام اللوح المسطح ونظام الأنابيب المفرغة. تتألف مجمعات اللوح المسطح من صفيحة معدنية ماصة للحرارة ملتصقة بشكل وثيق مع أنابيب ماء نحاسية تقوم بنقل المياه المسخنة إلى نظام تخزين. يتم الوصول إلى الكفاءة العظمى باستخدام صفيحة ماصة سوداء غير لامعة منخفضة الانبعاث، والتي تحد من خسارة الطاقة من خلال إعادة الإشعاع مرة ثانية من السطح الساخن. فالغطاء الزجاجي المضاعف ذو المحتوى المنخفض من الحديد والذي يمرر أكبر كمية من طاقة الأمواج القصيرة يقوم بحماية الصفيحة الماصة ويحافظ على الحرارة المحتجزة. يتم عزل الوجه السفلي لمجموعة الأنابيب بواسطة الألياف الزجاجية أو برغوة البولي إيزوسيانورات لمنع خسارة الحرارة بانتقالها إلى الغلاف المصنوع من الألومنيوم وإلى هيكل السقف تحته أو إلى النظام الحامل.

تتألف المجمعات من نوع الأنابيب المفرغة (الشكل 4.16) من أنبوب من الزجاج المضاعف، مع خلاء بين الطبقتين. الزجاج الخارجي شفاف يسمح بمرور الضوء والحرارة وبحد أدنى من الانعكاس. والأنبوب الداخلي مطلي ليمتص أكبر كمية من الإشعاع. يتم نقل الحرارة من الأنبوب الداخلي عبر وحدة مغلقة من نظام التبخير والتكثيف إلى مبادل حراري ضمن المجرى الرئيسي للسائل، الذي يدور إلى نظام تخزين الحرارة. وإن ثمن المجمعات من نوع الأنابيب المفرغة أعلى بكثير من المجمعات من نوع اللوح المسطح، إلا أنها أكثر فعالية إذا تم توجيه زاويتها بشكل صحيح وتقوم بإعطاء درجات حرارة أعلى.

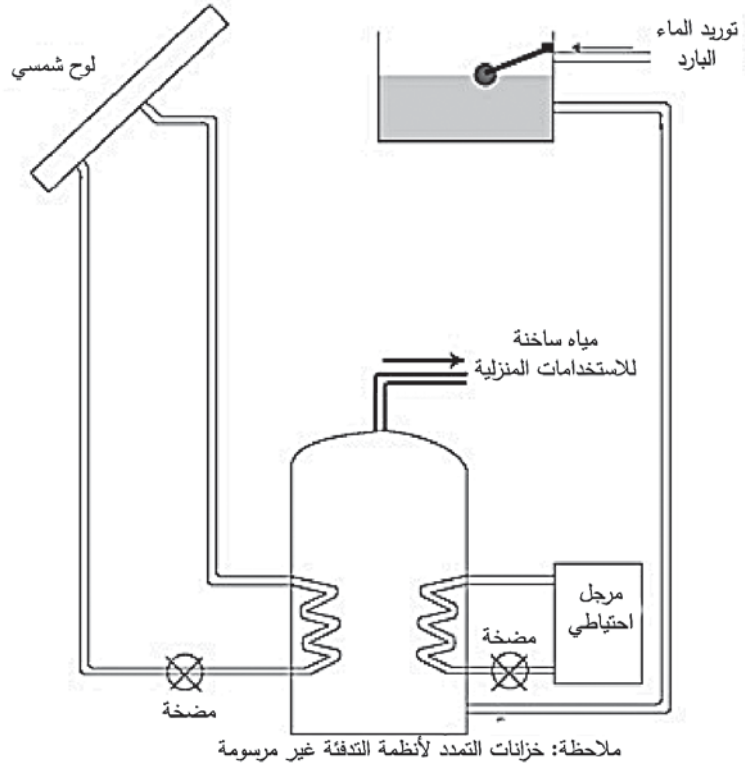
يمكن أن توضع المجمعات الشمسية ذات اللوح المسطح في أي موقع غير

مظلل في مستوى الطابق الأرضي أو مثبتة على المباني. التوجيه الأفضل لها هو باتجاه الشمس في منتصف النهار، إلا أن انحرافاً يصل إلى 15^{o} شرقاً أو غرباً سيكون له تأثير ضئيل. الميلان الأمثلي على الأفق لمجمعات المياه الساخنة الشمسية للحصول على الكفاءة العظمى على مدار السنة يساوي خط العرض الجغرافي للموقع. ومع ذلك للحصول على كفاءة أكثر في الشتاء، عندما يكون العائد الشمسي بسعر أعلى، يجب زيادة الميل على الأفق بمقدار 10^{o} لالتقاط المزيد من الطاقة عند ارتفاعات أقل للشمس. إن أنظمة المياه الساخنة الشمسية ثقيلة الوزن ويجب أن يتم تثبيتها بشكل أمين إلى بنية حاملة مناسبة. وعند تركيبها على الأسطح المائلة المكسوة بالبلاط أو الأردواز يجب ترك فجوة فارغة لتأمين مرور مياه المطر والثلج الذائب بشكل سليم.

يمكن دمج أنظمة المجمعات الشمسية، التي لها مظهر يشبه بلاط الأسطح الخرساني المعياري مع السطح المبلط، دون حدوث تأثير بصري مهم. علاوة على ذلك يمكن جعل البلاطات من المجمعات الشمسية مشابهة لبلاطات الخلايا الكهرضوئية مما يعطي مظهراً متكاملاً لسطح ذي بلاط يتمتع باستجابة شمسية.

(الشكل 4.16) المجمعات الشمسية من الأنابيب المفرغة.

عادة يتم تدوير المياه الساخنة من المجمع الشمسي خلال أنظمة غير مباشرة إلى الخزان الشمسي (الشكل 5.16). وهو بدوره يتصرف كخزان للحرارة في الماء المسخن مسبقاً، الذي يتم تغذيته إلى نظام أسطوانة الماء الساخن المعيارية، حيث يمكن رفع درجة الحرارة بواسطة مرجل إلى المستوى المطلوبة. ويمكن أن يتم تدوير الماء إما بواسطة منظومة سيفون حراري ثقالي (Thermosyphon) ـ يشغله الحمل الحراري للماء الساخن مع خزان يتوضع فوق المجمع ـ أو بواسطة نظام مضخات، وعندها يمكن أن يوضع الخزان أسفل المجمع. ويجب أن يحتوي الماء المدور على مضاد للتجمد ومانع للصدأ. يغذي نظام مباشر بديل الماء مباشرة من الصنبور إلى المجمع الشمسي، إلا أنه قد تنشأ مشاكل نتيجة تشكل القشور وحدوث التآكل في الأنابيب. يمكن للوح مجمع شمسي مساحته 5 m^2 تسخين 250 ليتراً من الماء في اليوم، ما يمثل حاجة عائلة نموذجية من أربعة أشخاص.



(الشكل 5.16) مجمع شمسي ونظام مياه ساخنة منزلية.

إن محطات تدفئة مناطقية (District-Heating Plants) بالطاقة الشمسية في أوروبا، بما فيها إسكندينافيا، تساهم بشكل كبير في التخفيض المباشر لمتطلبات الطاقة لأنظمة المياه الساخنة المنزلية في المدن الصغيرة. ويتم تسخين الماء بواسطة مجموعات ضخمة من المجمعات الشمسية قبل أن تقوم الأنظمة التقليدية لتسخين الماء بالوقود برفع درجة الحرارة إلى الدرجة المطلوبة للاستخدامات المنزلية. علاوة على ذلك يمكن لأنظمة التسخين الشمسية عند وصلها مع خزانات الحرارة الضخمة تحت الأرض أن تخفض بشكل كبير استهلاك الطاقة في الشتاء وذلك بالتسخين المسبق لإمدادات المياه في الأوقات التي لايكون فيها العائد الشمسي المباشر فاعلاً.

أنظمة التسخين الشمسية الهوائية

تتكون أنظمة التسخين الشمسية الهوائية القابلة للتطبيق في الأبنية التجارية من ألواح فولاذية تتوضع على الجدران أو الأسطح تقوم بامتصاص الطاقة الشمسية وبنقل الحرارة إلى مجاري هواء داخلية مصنّعة من الصفائح المضلعة. وتقوم تيارات الحمل الحراري بنقل الهواء الساخن إلى داخل المبنى حسب المطلوب، مكمّلة بذلك نظام التدفئة الرئيسي.

الأنابيب الضوئية

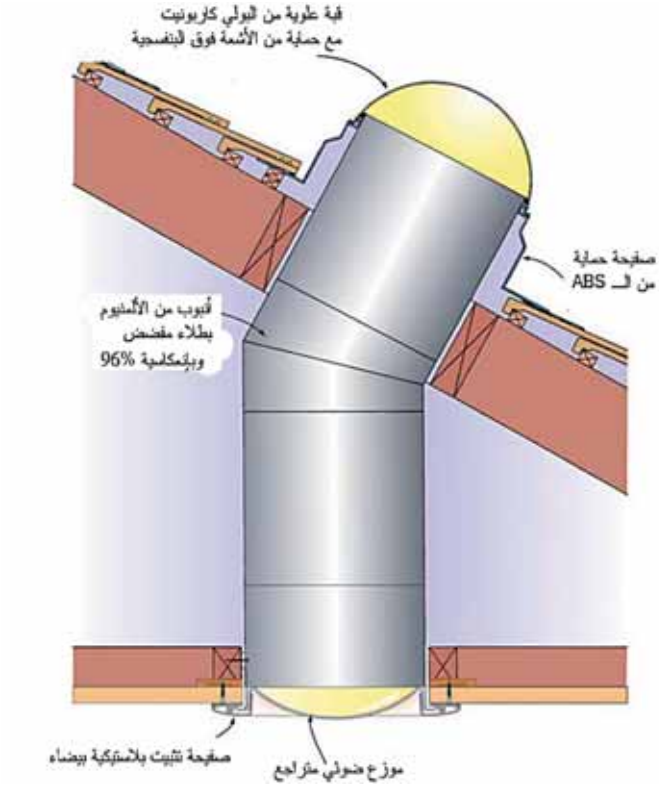
تقوم الأنابيب الضوئية بنقل إشعاع الشمس المباشر وضوء النهار الطبيعي من مستوى السطح إلى داخل فراغ المبنى أسفله (الشكل 6.16). على مستوى السطح تقوم قبة من الأكريليك ذاتية التنظيف بتمرير الضوء إلى أنبوب ذي انعكاسية عالية، ينقل الضوء بدوره إلى قبة بيضاء نصف شفافة على مستوى السقف حيث يتم توزيع الضوء إلى الفراغ الذي تحته. يمكن أن يكون الأنبوب ذو الإنهاء المرآتي بأي طول مع انحناءات، مع أن كمية الضوء المنقولة تنخفض في الحالة النموذجية بمقدار 3% لكل متر من الطول وبمقدار 8% لكل انعطاف.

تتراوح أقطار الأنابيب الضوئية المعيارية من 200 إلى600 mm مع أنه تتوفر قياسات أكبر تصل إلى 1500 mm للتطبيقات التجارية. يجب أن تكون الأنظمة خالية من التكاثف، ولا تسبّب خسارة في حرارة داخل المبنى في الشتاء ولا

اكتساب حرارة الشمس في الصيف. وتتوفر أيضاً وحدات مستطيلة الشكل، تشبه بمظهرها النوافذ السقفية الحافظة للطاقة، المعيارية أو المثبتة بشكل مسطح على السقف، حيث يمكن أن تكون الوحدة السقفية عبارة عن ناشر مربع الشكل ليكون متكاملاً مع نظام السقف المستعار.

تعطي منظومةً بقطر 330 mm عادة ما بين 100 W تحت سماء ملبدة بالغيوم في الشتاء و400 W تحت شمس الصيف التامة، وذلك لأنبوب مستقيم لا يتجاوز طوله 3 m. ويمكن لمثل هذه الأنظمة أن تقدم حلولاً موفرة للطاقة للأبنية القائمة كما يمكن أن تعد كعنصر واحد من ضمن استراتيجية متكاملة لإنارة المباني الجديدة.

هناك أنظمة أكثر تعقيداً تدمج ما بين وظيفتي الأنبوب الضوئي ولاقط الرياح حيث تسمح بإدخال ضوء النهار والتهوية الطبيعيين إلى الفراغات الداخليه التي تخدمها أنظمة الزجاج الخارجي العادية بشكل ضعيف.



(الشكل 6.16) أنبوب ضوئي. الرسم التوضيحي بإذن (Monodraught).

أنظمة نقل ضوء الشمس

يمكن نقل ضوء الشمس الذي تتلقاه ألواح التجميع الموجودة على السطح إلى أي موقع داخلي لا يزيد بعده على 20 m، وذلك باستخدام حزم من الألياف الضوئية بقطر 30 mm تنتهي بأجهزة إنارة مصدرة للضوء، ويكون الناتج مركباً من الضوئين المنتشر والمتوازي.

أنظمة ضخّ الحرارة

تعمل مضخات الحرارة بسحب الحرارة من مصدر ذي درجة حرارة منخفضة وطرحها بدرجة حرارة أعلى. تستخدم العملية المعيارية دارة تبريد يشغلها محرك كهربائي. يتم ضغط سائل التبريد فيطلق الحرارة في مكثف، ومن ثم يتمدد ضمن الدارة ساحباً المزيد من الحرارة ضمن المبخر قبل أن يتم إعادة ضغطه. الميزة البيئية الأساسية لنظم الضخ الحراري هي أنه يتم فيها توليد كمية أكبر من الحرارة المفيدة نتيجة الكهرباء المستخدمة في مضخة الضاغط بالمقارنة مع كمية الوقود المستهلك في منظومات التدفئة التقليدية بالغاز أو الكهرباء. حيث يمكن لنظام نموذجي أن يولد KW4 من الحرارة المفيدة لكل KW1 من الكهرباء المستهلكة.

المصدر المعياري للحرارة هو الأرض، إلا أنه يمكن استخدام الهواء العادم أو جريان المياه الجوفية بديلاً عنها. في المملكة المتحدة تكون درجة حرارة المياه والهواء الجوفيين نحو 12^{o} مئوية ودرجة حرارة الهواء العادم تبلغ عادة 21^{o} مئوية. يعتمد حجم التجهيزات المركبة في الأنظمة ذات المصدر الأرضي على الحمولة المتوقعة. حيث يمكن أن تتكون الدارة الأرضية من مصفوفة أفقية من الأنابيب بعمق أدنى مقداره 0.6 ـ 1.0 m أو مجموعة من المبادلات الحرارية غلى شكل آبار شاقولية. وتؤثر ظروف التربة بشكل كبير على فعالية أنظمة المصادر الأرضية. وخصوصاً تُعد الترب الجافة الرملية ذات الناقلية الحرارية المنخفضة غير مناسبة للأنظمة الأفقية.

عادة تستخدم مضخات الحرارة الصغيرة لوحدها لتدفئة الفراغات، لأن الحرارة العظمى التي يمكن الحصول عليها للمياه الساخنة المنزلية باستخدام أنظمة التبريد التقليدية هي 48 ـ 50^{o} مئوية. يتم وصل العديد من التجهيزات المنزلية مع أنظمة التدفئة أسفل الأرضيات. يمكن للوحدات الكبيرة المستخدمة في التطبيقات

غير المنزلية إنتاج طاقة تصل إلى 130 KW ودرجات حرارة للمياه تصل إلى 70° مئوية. إن تصميم أنظمة التدفئة بالضخ الحراري موصوف في المعيار (BS EN 15450:2007).

أنظمة التبريد بالمياه الجوفية

تقدم أنظمة التبريد بالمياه الجوفية بديلاً من أنظمة تكييف الهواء التي تستهلك الطاقة بكثافة في المباني الأكبر. درجة الحرارة النموذجية للمياه الجوفية في المملكة المتحدة هي 12° مئوية، مع أنها في لندن عادة 14° مئوية. وبعد الحصول على الموافقات الرسمية يمكن استخلاص المياه الجوفية لاستخدامها في أنظمة التبريد شريطة اتخاذ التدابير المناسبة للتخلص منها إلى البحيرات أو الأنهار أو منظومات الصرف السطحي أو إلى طبقات التربة الحاملة للماء بالحقن داخل الأرض. النظام المستخدم في مبنى مجلس نواب بورتكيوليس (Portcullis House) في وستمنستر يستخدم بئرين بعمق 150 m في الطبقة الطبشورية الحاملة للماء. حيث تُستخلص المياه بدرجة حرارة 14° مئوية لاستخدامها ضمن المبادلات الحرارية ومن ثم يتم التخلص منها وهي بدرجة حرارة 21° مئوية. وتُستخدم بعض المياه الرمادية لوظائف غير متعلقة بمياه الشرب.

لاقطات الرياح

لقد كانت لاقطات الرياح معلماً معمارياً متعارفاً عليه على أسطح المباني في الظروف المناخية الحارة ـ الجافة لقرون من الزمن. إلا أنه من أجل تخفيض الكلف المرتبطة بأنظمة تكييف الهواء يمكن الآن تصميم هذا المصدر الإضافي للتهوية الطبيعية ضمن مبان أكبر في الظروف المناخية المعتدلة لمساندة أنظمة التهوية الطبيعية الأخرى.

يعمل لاقط الرياح بالتقاط الهواء على الجانب المواجه للرياح من البئر اللاقط وتوجيهه إلى الأسفل بمقدار ربع دائرة بواسطة مجموعة من المراوح. حيث تؤدي قوة الرياح إلى إدخاله إلى الفراغ السفلي. وبما أن الهواء الداخل أبرد وأكثر كثافة من ذلك الموجود داخل المبنى فإنه يزيح هذا الهواء الدافئ الفاسد الذي يصعد بواسطة تهوية المدخنة الطبيعية من خلال أرباع الدوائر الأخرى للبئر اللاقط ليخرج

من الجهة المعاكسة لالتقاط الرياح. فعند استخدام نظام متناظر سيكون أحد أرباع الدوائر مواجهاً بشكل دائم للرياح السائدة ويتصرّف كلاقط والربع المعاكس سوف يؤمن غالبية طرد الهواء بفعل المدخنة. يمكن لغطاء علوي زجاجي للاقط الرياح أن يحسن سحب الهواء بفعل المدخنة لأنه يسخن أكثر الهواء الفاسد. يمكن استخدام الصمامات (Dampers) لتخفيض تدفق الهواء خلال أشهر الشتاء والسماح بالبرودة في وقت الليل فقط في أشهر الصيف الحارة. يجب أن تتوضع لاقطات الرياح قرب ذرى الأسطح الجملونية للحصول على فعاليتها العظمى. يمكن للاقطات الرياح المغذاة بالطاقة الشمسية، والتي تحتوي لوحة من الخلايا الكهرضوئية (الشكل 7.16)، أن تشغل أوتوماتيكياً مروحة سحب ذات استهلاك منخفض للطاقة لزيادة التهوية الطبيعية في الظروف المشمسة.

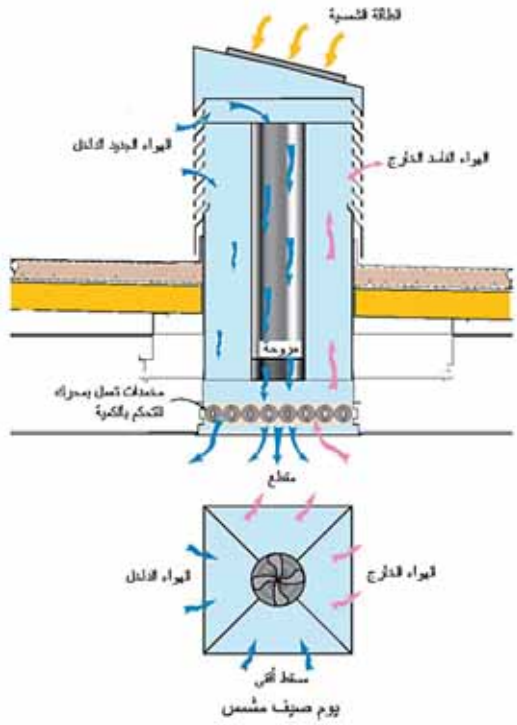
للعمل في الأبنية متعددة الطوابق تتطلب لاقطات الرياح وجود أنظمة مناسبة من مجاري الهواء والصمامات، وقد تتضمن كذلك مبادلات حرارية من أنظمة التدفئة المركزي لتلطيف الهواء الخارجي الداخل عند التشغيل في فصل الشتاء.

أنظمة عنفات الرياح

يمكن لعنفات الرياح الصغرية توليد حتى KW 1.5 من الطاقة الكهربائية اعتماداً على قطر عنفة الرياح وظروف سرعة الرياح المحلية. تقوم عنفة بقطر m 1.75 تعمل عند سرعة الرياح m/s 12.5 بتوليد KW 1، مع سرعة تشغيل دنيا للرياح تبلغ تقريباً m/s4. حيث يتم تحويل التيار الكهربائي المستمر المتولد إلى تيار متناوب بتوتر معياري وتردد 50 هرتز ليتم استخدامه قبل استجرار تيار إضافي من الإمداد الوطني. ويراد بعنفات الرياح الصغرية أن تقوم فقط بدعم إمدادات الكهرباء الأساسية النظامية للمستهلك حاجة. وهناك بعض المشاكل المتعلقة بالتخطيط المعماري بسبب التأثير البصري وإحداث الضجيج.

إنّ تحديد الموقع الدقيق للعنفات الصغرية، على أسطح المنازل مثلاً، هو أمر مهم لأن طاقة الرياح تتناسب مع مكعب سرعتها. وتتأثر سرعات الرياح كثيراً في المناطق الحضرية بالوضع الطبوغرافي المباشر للموقع. تشير الأبحاث الحالية إلى أن أفضل موقع لعنفات الرياح الصغرية المنزلية هو على ذروة الجملون عند طرفه. ويجب الحصول على معلومات عن سرعة الرياح المحلية من محطات

الرصد الجوي المحلية أو من قاعدة بيانات (NAOBL) لسرعات الرياح. إن بعض البيئات في التجمعات السكانية الحضرية غير مناسبة لاستخدام عنفات الرياح الصغرية لأن سرعات الرياح الوسطية تكون منخفضة. مما يعني أن التكلفة البيئية لتركيب العنفات الصغرية وصيانتها وتجهيزاتها الملحقة وإخراجها من الخدمة لن يتم استرجاعها أبداً خلال فترة حياتها الفاعلة.



(الشكل 7.16) لاقط رياح معزز شمسياً ـ يوم مشمس. الرسم التوضيحي بإذن (Monodraught).

أنظمة إدارة المياه

أنظمة جني مياه الأمطار

تسمح أنظمة جني مياه الأمطار بتجميع وتصفية وتخزين مياه الأمطار من على الأسطح لاستخدامها كمياه غير صالحة للشرب. تعتمد سعة التخزين على مساحة السطح والاحتياج المتوقع. ففي أنظمة معيّنة عندما يكون مستوى خزان الماء غير كاف تتم التغذية أوتوماتيكياً بالمياه الرئيسية.

تمّ وصف ثلاثة أنواع من أنظمة جني مياه الأمطار في المعيار (BS 8515:2009). يمكن إيصال المياه من الخزان بواسطة الجاذبية أو بمضخات ذاتية التشغيل مباشرة إلى نقاط الاستخدام؛ ويمكن بدلاً عن ذلك ضخ المياه المخزنة إلى خزان مرفوع حيث تتم التغذية بعدها إلى نقاط الاستخدام بالجاذبية. تتطلب أنظمة التصفية عمليات صيانة سنوية روتينية على أن تستبقي الجسيمات ذات القياس الأكبر من 1.25 mm. تعد مياه الأمطار مناسبة لشطف المراحيض وغسيل الملابس والسيارات وسقاية الحدائق ووظائف أخرى غير الشرب. ويجب وضع علامات واضحة على صنابير مياه الأمطار تدل على عدم صلاحيتها للشرب. يتوفر في المعيار (BS 8515:2009) دليلاً لحساب سعة التخزين المطلوبة. ولآجُرّاء حساب تقريبي لسعة التخزين المطلوبة، يُعد استهلاك منزلي قدره 50 ليتر/ يوم/ شخص مناسباً. لأخذ التقلبات في كمية الإمداد بالحسبان يجب أن تكون سعة التخزين مساوية 5% من الاحتياج السنوي أو 5% من محصول مياه الأمطار الوسطي السنوي أيهما أقل. كما يجب اتخاذ التدابير اللازمة لفيضان خزان التجميع.

منظومات إعادة تدوير المياه الرمادية

يمكن إعادة تدوير المياه الرمادية من الأدواش والحمامات المنزلية لاستخدامها في شطف المراحيض. أحد الأنظمة التي يتم التحكم بها إلكترونياً تجمّع المياه الرمادية من الأدواش والحمامات، وتقوم، دون إضافة مواد كيماوية، بقشط المواد العائمة وتسمح بترسب البواقي الرملية وتحتفظ بكمية من المياه الرمادية تصل حتى 100 ل. وتكفي هذه الكمية ـ لشطف المراحيض الموصولة عليها مباشرة 20 مرة. يقوم هذا النظام بتنظيف نفسه أوتوماتيكياً كلما تطلب الأمر ويتمّ استكمال التنظيف بالماء الجديد عند الضرورة. يخضع هذا النظام للتعليمات الصارمة للمياه التي تمنع تلوث المياه الشرب. ويمكن لهذا النظام أن يوفر حتى 30% من استخدام مياه الشرب المنزلية العادية وهذا في المنازل الجديدة يساهم في كود المنازل المستدامة التي تتطلّب استهلاكاً منخفضاً للمياه.

كود مواصفات المياه للمنازل المستدامة:

استهلاك الماء (ليتر/ شخص/ يوم)	مستويات الكود الملزمة
⩾ 120	المستويان 1 و 2
⩾ 105	المستويان 3 و 4
⩾ 80	المستويان 5 و 6

أنظمة تغيّر الطور

يمكن لوحدة صغيرة مملوءة بمادة متغيرة الطور (PCM) أن تتصرف ككتلة حرارية كبيرة وذلك بسحب الهواء الساخن وتبريده بامتصاص حرارة الانصهار الكامنة للمادة المتغيرة الطور خلال الفترات الشديدة الحر. تنعكس العملية عندما تنخفض درجة الحرارة المحيطة حيث يتم إنطلاق الحرارة من جراء تصلب المادة المتغيرة الطور. أنظمة التبريد السلبي التي تعتمد على تقنية الـ (PCM) يمكن أن توضع على الجدران الخارجية لتسحب إما الهواء الجديد أو المعاد تدويره. المواد المتغيرة الطور موصّفة في الفصل 12 الطينة.

المراجع

FURTHER READING

Addington, M. and Schodek, D. 2005: *Smart materials and technologies*. Oxford: Elsevier.

Baker, N. and Steemers, K. 2000: *Energy and the environment in architecture-a technical design guide*. London: E. & F.N. Spon.

Battle McCarthy Consulting Engineers. 1999: *Wind towers*. Chichester: JohnWiley & Sons.

Berge, B. 2009: *Ecology of building materials*. 2nd ed. Oxford: Architectural Press.

Brown, G.Z. and DeKay, M. 2001: *Sun, wind and light: architectural design strategies*. 2nd ed. New York: John Wiley.

CIBSE. 2005: *Reclaimed water*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

CIBSE. 2007: *Solar heating. Design and installation guide*. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

CIBSE. 2008: *Groundwater cooling systems*. TM45. London: Chartered Institution of Building Services Engineers.

Dickson, M. and Farnelli, M. 2005: *Geothermal energy. Utilisation and technology*. London: Earthscan Publications.

Edwards, B. 2005: *The rough guide to sustainability*. London: RIBA Enterprises.

German Solar Energy Society. 2008: *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. 2nd ed. London: Earthscan Publications.

Goetzberger, A. and Hoffmann, V.U. 2005: *Photovoltaic solar energy generation*. Berlin: Springer-Verlag.

Gonzalo, M. andHabermann, K. 2006: *Energy-efficient architecture. Basics for planning and construction*. Basel: Birkhäuser.

Haas-Arndt, D. 2008: *Basics. Water cycles*. Basel: BirkhÌuser.

Herzog, T. (ed.) 2008: *European charter for solar energy in architecture and urban planning*. Munich: Prestel.

HVAC. 2007: *Guide to good practice. Heat pumps*. TR/30. London: Heating and Ventilating Contractors' Association.

Hyde, R. (ed.) 2007: *Bioclimatic housing. Innovative design for warm climates*. London: Earthscan Publications.

Kibert, C. Sendzimir, J. and Guy, G. (eds.) 2001: *Construction ecology: nature as a basis for green buildings*. London: Taylor and Francis.

Langston, C. (ed.) 2001: *Sustainable practices for the construction industry*. Oxford: Butterworth Heinemann.

Luque, A. and Hegedus, S. 2003: *Handbook of photovoltaic science and engineering*. London: John Wiley and Sons.

McCrea, A. 2008: *Renewable energy. A users' guide*. Marlborough: Crowood Press.

Mendler, S. and Odell, W. 2006: *The guide book to sustainable design*. New Jersey: John Wiley and Sons.

NHBC. 2007: *Review of microgeneration and renewable energy techniques*. Amersham: NHBC Foundation.

Parker, D. 2009: *Microgeneration. Low-energy strategies for larger buildings*. Oxford: Elsevier.

Pennycook, K. 2008: *The illustrated guide to renewable technologies*. Bracknell: Building Services Research and Information Association.

Roaf, S., Fuentes, M. and Thomas, S. 2007: *Ecohouse 3. A design guide*. Oxford: Architectural Press.

Roberts, S. 2009: *Building integrated photovoltaics*. Basel: Birkhäuser.

Smith, P. and Pitts, C.A. 1997: *Concepts in practice-energy-building for the third millennium*. London: Batsford.

Smith, P.F. 2009: *Building for a changing climate*. London: Earthscan Publications.

Thomas, R. (ed.) 2001: *Photovoltaics and architecture*. London: Spon.

Thomas, R. and Garnham, T. 2007: *The environments of architecture. Environmental design in context*. Abingdon: Taylor and Francis.

Turrent, D. 2007: *Sustainable architecture*. London: RIBA Enterprises.

Vale, B. and Vale, R. 2002: *The new autonomous house: design and planning for sustainability*. London: Thames and Hudson.

Vallero, D. and Brasier, C. 2008: *Sustainable design. The science of sustainability and green engineering*. New Jersey: John Wiley and Sons.

STANDARDS

BS 6700: 2006 Design, installation, testing and maintenance of services supplying water for domestic use.

BS 8515: 2009 Rainwater harvesting systems. Code of practice.

pr BS 8525-1: 2009 Greywater systems. Code of practice

BS 9459-5: 2007 Solar heating. Domestic water heating systems. System performance characterisation.

BS ISO 21930: 2007 Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products.

BS EN 1085: 2007 Wastewater treatment. Vocabulary.

BS EN 1717: 2001 Protection against pollution of potable water in water installations.

BS EN ISO 9488: 2000 Solar energy. Vocabulary.

BS EN 12975 Thermal solar systems and components. Solar collectors:

Part 1: 2006 General requirements.

Part 2: 2006 Test methods.

BS EN 12977 Thermal solar systems and components. Custom-built systems:

DD ENV Part 1: 2001 General requirements.

DD ENV Part 2: 2001 Test methods.

Part 3: 2008 Performance test methods for solar water heater stores.

BSEN15193: 2007 Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting.

BSEN15217: 2007 Energy performance of buildings. Methods for expressing energy performance and for energy certification of buildings.

BSEN15232: 2007 Energy performance of buildings. Impact of building automation controls and building management.

BSEN15255: 2007 Energy performance of buildings. Sensible room cooling load calculation.

BS EN 15265: 2007 Energy performance of buildings. Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods.

BS EN 15450: 2007 Heating systems in buildings. Design of heat pump heating systems.

BSEN15603: 2008 Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings.

BS EN 61400 Wind turbines:

Part 1: 2005 Design requirements.

Part 2: 2006 Design requirements for small wind turbines.

BS EN 61646: 2008 Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules. Design, qualification and type approval.

BS EN 61730 Photovoltaic (PV) module safety qualification:

Part 1: 2007 Requirements for construction.

Part 2: 2007 Requirements for testing.

DDIEC/TS 61836: 2007 Solar photovoltaic energy systems. Terms, definitions and symbols.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT

PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 438: 1999 Photovoltaics integration into buildings.

BRE Digest 446: 2000 Assessing environmental impacts of construction: industry consensus, BREAM and UK ecopoints.

BRE Digest 452: 2000 Whole life-cycle costing and life-cycle assessment for sustainable building design.

BRE Digest 457: 2001 The carbon performance rating for offices.

BRE Digest 486: 2004 Reducing the effects of climate change by roof design.

BRE Digest 489: 2004 Wind loads on roof-based photovoltaic systems.

BRE Digest 495: 2005 Mechanical installation of roof-mounted photovoltaic systems.

BRE Digest 499: 2006 Designing roofs for climate change. Modifications to good practice guidance.

BRE Information papers

BRE IP 15/98 Water conservation.

BRE IP 13/00 Green buildings revisited (Parts 1 and 2).

BRE IP 17/00 Advanced technologies for 21st century building services.

BRE IP 5/01 Solar energy in urban areas.

BRE IP 3/03 Dynamic insulation for energy saving and comfort.

BRE IP 13/03 Sustainable buildings (Parts 1-4).

BRE IP 10/04 Whole life value: sustainable design in the built environment.

BRE IP 15/05 The scope for reducing carbon emissions from housing.

BRE IP 16/05 Domestic energy use and carbon emissions. Scenarios to 2050.

BRE IP 6/06 Balanced value for sustainable procurement.

BRE IP 2/07 SBEM for non-domestic buildings.

BRE IP 4/07 Environmental weightings. Their use in the environmental assessment of construction products.

BRE IP 1/08 The price of sustainable schools.

BRE IP 2/08 New build and refurbishment in the Sustainable Communities Plan.

BRE IP 3/08 Delivering sustainable objectives through planning.

BRE IP 4/08 Micro-wind turbines on house roofs.

BRE IP 9/08 Applying the code for sustainable homes on the BRE Innovation Park (Parts 1-4).

BRE IP 12/08 An introduction to PassivHaus.

BRE IP 14/08 An introduction to intelligent buildings (Parts 1 and 2).

BRE IP 3/09 Lessons learned from the Barratt green house. Delivering a zero carbon home using innovative concrete systems.

BRE Good building guide

BRE GBG 63: 2004 Climate change.

BRE Good practice guide

(Building Research Energy Conservation Support Unit [BRECSU])

GPG 287: 2000 Design teams guide to environmentally smart buildings: energy-efficient options for new and refurbished offices.

BRE Reports

Report 370: 1999 BRE methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings.

Report 431: 2001 Cooling buildings in London.

Report FB 17: 2007 Micro-wind turbines in urban environments.

Report FB 18: 2008 Siting micro-wind turbines on house roofs.

ADVISORY ORGANISATIONS

British Wind Energy Association, Renewable Energy House, 1 Aztec Row, Berners Road, London N1 0PW, UK (020 7689 1960).

Centre for Alternative Technologies, Machynlleth, Powys SY20 9AZ, UK (01654 705950).

Heat Pump Association, 2 Waltham Court, Milley Lane, Hare Hatch, Reading, Berkshire RG10 9TH, UK (0118 940 3416).

Renewable Energy Association, 17 Waterloo Place, London SW1Y 4AR, UK (020 7747 1830).

Solar Trade Association,National Energy Centre, Davy Avenue, Knowlhill, Milton Keynes MK5 8NG, UK (01908 442290).

UK Rainwater Harvesting Association, Business Centre, Rio Drive, Collingham, Newark, Nottinghamshire NG23 7NB, UK (01636 894900).

17

المواد البيئية والمعادة التدوير

مقدمة

إنّ إدراك الطبيعة المحدودة للموارد في العالم وآثار الاحتباس الحراري [الدفيئة] الناتج من الانبعاثات المتزايدة باستمرار لثاني أوكسيد الكربون قد شجّعت التفكير في إعادة التدوير في عملية التشييد للعديد من النفايات الناتجة بكميات كبيرة، والتي يتم حالياً حرقها أو دفنها في المكبات. تتضمن هذه المواد البلاستيك وألواح الكرتون والقش والورق والإطارات. في حين لا تزال بعض المنتجات معادة التدوير في طور التجربة فإن البعض الآخر أصبح الآن يعد من مواد البناء المعيارية. تتضح جلياً إمكانية إعادة استخدام مواد البناء في المبنى السابق لمركز الأرض في دونكاستر والذي تم بناؤه باستخدام العديد من المنتجات معادة التدوير والمستصلحة، والتي تتضمّن الخرسانة المكسرة وأعمدة الهواتف والزجاج ومشعات التدفئة (الشكل 1.17).

بالات القش

يتم إنتاج بالات القش بكميات كبيرة في البلدان الممكننة زراعياً كمنتج ثانوي لحصاد ودراسة الحبوب آلياً، البالات التقليدية المستطيلة، والتي هي رخيصة الثمن ويمكن التعامل معها من قبل الأفراد تكون مناسبة للبناء. البالات الأسطوانية الكبيرة والمستطيلة الكبيرة جداً والتي تحتاج إلى رفع ميكانيكي تكون أقل فائدة في البناء ولن تُدرس هنا. يتمّ إنتاج البالات المعيارية (ذات الأبعاد النموذجية 330 x 530 x 1050 mm) ضمن آلة تشكيل البالات، وذلك بضغط كميات من القش لتشكيل رقائق بسماكة 100 mm تقريباً. ومن ثم تجمّع هذه الرقائق على طول البالة التي يتم

بعد ذلك ربطها أوتوماتيكياً عادة بواسطة حبلين من البولي بروبيلين. من المحتم أن يكون هناك تفاوت في الطول، كما تكون النهايات مستديرة بعض الشيء. ومن أجل أعمال البناء يجب أن تكون البالات مضغوطة بشكل جيد عند تصنيعها وجافة (برطوبة أعظمية 20%) لمنع نمو العفن والفطريات، وبأدنى كمية ممكنة من الحبوب المتبقية التي قد تجذب القوارض.

(الشكل 1.17) مواد معادة التدوير ـ مركز المؤتمرات في المبنى السابق لمركز الأرض، دونكاستر (Doncaster). المعماريون: (Bill Dunster Architects). الصورة: بإذن (Nick Riley).

عند تشييد المباني يتمّ تكديس البالات ووجهها الأكبر إلى الأسفل، بحيث يكون اتجاه ألياف القش أفقياً في شكل عام. ففي مستوى الطابق الأرضي يجب حماية بالات القش من تصاعد الرطوبة ومن أي احتمال لتشبعها بالمياه السطحية. كما يجب استخدام شبكة فولاذية للحماية من القوارض. يجب ربط البالات المتجاورة بشكل قوي مع بعضها لضمان استقرارها وللتقليل من هبوطها تحت تأثير

الحمولات أثناء فترة التشييد وبعدها. يتم عادة تأمين البالات بواسطة مسامير معدنية كبيرة أو قضبان من خشب البندق، ويمكن رشها بالمبيدات الحشرية لإعطائها حماية إضافية. ومن المناسب تليس الجهة الخارجية بالكلس مع أو الصلصال على شبك معدني لأنها مرنة وذاتية الترمم وتتنفس لمنع تراكم الرطوبة المحصورة. أو بدلاً عن ذلك يمكن استخدام واق مطري مفصول عن الوجه الخارجي للبالات. ويتم إكساء بالات القش من الجهة الداخلية بالطينة الجصية على شبك معدني. كما أن من الممكن إحداث فتحات في بنية بالات القش باستخدام إطارات خشبية، إلا أنه يجب القيام بتفاصيل دقيقة لمنع تغلغل الماء في هذه الأماكن. إذ يتم سند الأسقف عادة على ألواح جدارية خشبية مثبتة على البالات العلوية من أجل الاستقرار. لذا قد تم بناء جدار حامل من بالات القش بارتفاع طابقين في المملكة المتحدة بمعامل إنفاذ حراري U يساوي $0.13\ W/m^2k$.

ثمة طريقة بديلة لاستخدام بالات القش الحاملة، هي بناء إطارات من الخشب أو الفولاذ تتوضع داخلها البالات كحشوة عازلة (الشكل 2.17). مع أن خطر الحريق يكون قائماً خلال عملية التشييد ببالات القش، فإن الإكساءات الداخلية والخارجية غير القابلة للإحتراق وكذلك الطبيعة المتراصة للقش يجعلان المبنى المكتمل مقاوماً للحريق. (الناقلية الحرارية لبالة القش تساوي تقريباً 0.050 (W/mK).

الكرتون

تبين غرف الصف المصنوعة من الكرتون في مدرسة ويستبورو (Westborough) في إسكس (Essex) (الشكل 3.17) أمكانية هذا المنتج المعاد تدويره على نطاق واسع كمادة بناء مفيدة. وتُشكل الألواح المسطحة المركبة والأنابيب هيكل هذا المبنى والذي من المتوقع أن يدوم 20 عاماً.

خلال عملية إعادة التدوير يتم تقطيع ورق وكرتون النفايات وتحويلها إلى عجينة ورقية، هي عبارة عن معلق من ألياف السيلولوز ضمن الماء. وتسيل العجينة على سير ناقل فتجفف من الماء الزائد وتضغط مما يؤدي تلبد الألياف مع بعضها مشكلة لفافة طويلة من الورق. حيث يتم تشكيل ألواح الكرتون المسطحة بلصق طبقات متتابعة من الورق مع بعضها. ويتم تصنيع الأنابيب من عدة طبقات من

الورق الملفوفة بشكل حلزوني على أنبوب معدني ذي قياس مناسب، يستخدم في البداية كمشكل ويكون اللاصق المستخدم هو النّشاء أو صمغ الـ (PVA). ويمكن أن تكون طبقتا الورق الأولى والأخيرة من نوعية مختلفة، كأن تكونا على سبيل المثال مشربتين أو ملونتين لإعطاء الإنهاء المطلوب للسطح. في حالة مبنى مدرسة ويستبورو كانت المقاطع المسطحة عبارة عن ألواح مركبة تتألف من عدة طبقات من الكرتون المسطح وطبقات داخلية على شكل خلايا النحل ومحاطة بإطارات من الخشب لتسهيل تثبيت الوحدات مع بعضها. تم ربط ألواح الجدران والأسقف المتجاورة مع بعضها لتأمين الصلابة العامة للبنية.

(الشكل 2.17) بالات القش في التشييد. المعماريون والصورة: (Sarah Wigglesworth Architects).

(الشكل 3.17) غرف صف مصنوعة من الكرتون ـ مدرسة ويستبورو (Westborough)، إسكس (Essex). المهندسون: (Cottrell + Vermeulen). المعماريون (Buro Happold). الصورة : حقوق الطباعة (Adam Wilson/Buro Happold).

الخصائص

إن الكرتون، مثل الخشب، قابل للاحتراق ويمكن معالجته لتحسين أدائه أثناء الحريق، خاصة فيما يتعلق باختبار الانتشار السطحي للهب. إلا أن بعض المواد المؤخرة للحريق تعتبر غير صديقة للبيئة ويجب تجنبها إذا كانت المادة سيعاد تدويرها لاحقاً.

تتأثر المتانة البنيوية للكرتون بشكل كبير بالماء. فالكرتون يمتص الرطوبة من الهواء، وحتى لو تمت معالجته بشكل خاص أثناء تصنيعه فإنه سيمتص الرطوبة بسهولة. وبالتالي فمن الضروري حمايته من الهواء الرطب الدافئ ضمن المبنى باستخدام غشاء كتيم، وحمايته خارجياً من المطر باستخدام غشاء يسمح بالتنفس فيمنع احتباس الرطوبة في الفراغات. ففي مبنى مدرسة ويستبورو تمت حماية الغشاء البلاستيكي الداخلي بطبقة إضافية من الكرتون بسماكة 1 mm، بينما تمت تغطية الغشاء الخارجي بألواح من الألياف المترابطة بالإسمنت للحماية من الحريق والمطر.

الكرتون هو على الأرجح عرضة للتعفن وهجوم الحشرات. ويمكن منع ذلك بالمعالجة بمنتجات البورون، إلا أن ذلك سيؤثر سلبياً على إمكانية إعادة تدويره. بما أن الكرتون هو مادة معادة التدوير فإنه يحتوي على قليل من الطاقة المتضمنة فيه ولذا يمكن اعتباره **أخضر** بشكل شرعي.

التشييد بالتراب المدموك وباللُّبن

يُعدّ التشييد بالتراب هو أحد أقدم أشكال البناء الذي قام به الإنسان. توجد الأبنية من التراب المدموك في معظم البلدان وقد دامت لمئات السنين. المادة المثالية هي عبارة عن مزيج جيد التدرج من البحص والرمل والسيلت ونواعم الصلصال. كما يجب أن يكون المحتوى من الصلصال كافياً ليتصرف كرابط فعال، ولكن دون زيادة تسبب حركات كبيرة نتيجة الرطوبة أو تشقق المبنى المكتمل. ففي مباني التراب المدموك الحديثة غالباً ما تتم إضافة الإسمنت البورتلاندي كرابط لتحسين تماسك الخلطة الترابية المستقرة.

في بنى التراب المدموك يتم وضع الخلطة على طبقات بعمق يساوي عادة 100 ـ 150 mm ضمن القالب الصلب وتدك إلى الأسفل بقوة فينتج عن ذلك حتماً بعض التفاوت في الكثافة ما بين أعلى وأسفل كل زلقة للقالب (Lift). يجب أن يكون الرص كافياً لتأمين متانة جيدة وإنهاءً أملس.

فتحات النوافذ والأبواب يجب ألا تزيد عن ثلث الطول الكلي لأي جدار لضمان الاستقرار البنيوي. يجب أن تكون العتبات متينة بما فيه الكافية لتحمل الحمولات الساكنة، وكذلك دك الطبقات اللاحقة من التراب. يتوجب تأمين لها بطول 300 mm كحد أدنى عند كل طرف. ومن الضروري وضع صفيحة خشبية أو صبة خرسانية مسلحة في أعلى الجدار بشكل مخفي ضمن الزلقة العلوية وذلك لتوزيع الأحمال من هيكل السقف. يجب أن ينفذ التقاء الجدران بالسقف وفق تفصيلات تضمن الوقاية المناسبة للجدران، والتي تُطلى عادة بعدة طبقات من غسول الكلس والماء لحمايتها. لتحقيق المتطلبات الحرارية لاشتراطات البناء ينبغي تأمين سماكة تزيد عن 700 mm للجدار (الناقلية الحرارية للتراب هي عادة في المجال 0.8 ـ 1.5 W/mK). لقد تم استخدام التراب المدموك في البناء من قبل شركة بيورو هابولد (Buro Happold) في مشروع إيدن (Eden) في كورنوول، وكذلك في مبنى مركز التكنولوجيا البديلة في ماكينلث بويز (Machynlleth, Powys)

حيث كانت الجدران الحاملة للسقف من التراب المدموك بارتفاع 7.2 m.

يختلف البناء باللبن عن التراب المدموك بأن الطين يمزج مع القش أو ألياف الكتان. في الطريقة التقليدية يتم فرد طبقة من الصلصال المحروث جيداً بعمق mm 100 على فراش رقيق من القش؛ يضاف الماء وطبقة ثانية من القش بسماكة أكبر. يتم دعس المزيج ليصبح متجانساً بدرجة معقولة. ويُعد صلصال منطقة ديفون (Devon) مثالي لهذه العملية لأنه متدرج جيداً وبمجال واسع من مقاسات الحبيبات من الحصويات الخشنة مروراً بالرمل الناعم وحتى الصلصال الخشن. لطين منطقة ديفون تمدد وتقلص منخفضين، ولولا ذلك لحدثت تشققات في البنية المكتملة. خلال عملية التشييد يتم دك مزيج الصلصال والقش مع بعضهما حيث يستندان في الأسفل إلى قاعدة من الأحجار لا تقل سماكتها عن 450 mm. يمكن إنجاز تصاميم حرة الشكل دون استخدام القالب. لقد كان هذا النوع من البناء شائعاً في العديد من المناطق في المملكة المتحدة ولا يزال العديد من مباني اللبن القديمة موجوداً حتى الآن في منطقة ديفون. وتؤدي الكتلة الحرارية لأبنية اللبن لاستقرار التغيرات الفصلية، مما يساعد على إبقاء الحيز الداخلي بارداً في الصيف ودافئاً في الشتاء. كما يجب أن يكون الإنهاء الخارجي من طينة الكلس بدلاً عن طينة الاسمنت البورتلاندي، التي تتشقق أو تتكسر سامحة لمياه المطر باختراق الجدار. كما هو الحال في الأبنية من التراب المدموك فإن نقاط التقاء الأسطح مع الجدران يجب أن تكون عميقة بما فيه الكفاية لحماية الجدران من الظروف الجوية الصعبة.

"منزل الحكايات" (The House for Stories) الذي صممه تونو ميراي (Tono Mirai) في مركز بليدفا (Bleddfa) للفنون في بويز (Powys) في ويلز (Wales) تم بناؤه من الطين والقش. وهذا المبنى الذي قُصد به أن يكون مكاناً هادئاً للتأمل والتخيل يقع جزئياً تحت الأرض ولكنه يخرج من الأرض على شكل لولب جميل كما في الشكل 4.17.

الأبنية المحمية بالتراب

تعرّف الأبنية المحمية بالتراب، بما فيها المنازل، بأنها تلك التي يكون فيها السقف وبعض الجوانب مغطاة بالتراب. تُحسّن زيادة عمق الغطاء الترابي من الأداء الحراري ولكن يجب موازنة ذلك مع الزيادة المطلوبة في المتانة البنيوية. عادة

تكون السماكة المناسبة للغطاء الترابي 400 ـ 450 mm، ويتمّ عادة حمل هذا الوزن من المادة بواسطة البنى الخرسانية أو الحجرية. يعدّ عزل الماء أمراً أساسياً في التصميم وهو يتطلب تصريف سطح الأرض واستخدام الأغشية المسلحة.

(الشكل 4.17) بناء من الطين والقش ـ منزل الحكايات، مركز (Bleddfa) للفنون، (Wales,Powys) المعماري، (Tono Mirai.) الصورة: بإذن (Richard Weston).

تستخدم أحد أساليب البناء هياكل بطبقات من الطينة الممزوجة بالألياف لتشكيل البنية العضوية الداخلية. ومن ثم يتم رشها بطبقة عزل من الخرسانة ذات الحصويات الخفيفة متبوعة بخرسانة بنيوية بسماكة 100 mm. فبعد أن تصبح الخرسانة متينة يجهز البناء ويغطى من الخارج بالتربة والعشب. ثمة أسلوب بديل للتشييد يستخدم عزلاً من البوليستيرين المبثوق بين الخرسانة البنيوية والتربة المردومة. ويستخدم كلا الأسلوبين فعل الاستقرار الحراري لكتلة الخرسانة والغطاء الترابي لتخفيض استهلاك الطاقة بشكل كبير. من أجل إدخال كمية كافية من الضوء يجب أن يتوفر على الأقل واجهة واحدة من الزجاج، وبالإضافة لذلك يمكن الحصول على تأثيرات مهمة بواسطة النوافذ السقفية أو الأنابيب الضوئية. يمكن أن تكون التهوية ميكانيكية ولكنها تتم عادة من خلال الفتحات في الزجاج. وفي نفس الوقت يتم منع تسرب الهواء البارد غير المرغوب فيه بإحاطة المبنى بالتراب.

يبين مشروع إسكان هوكرتون (Hockerton) في ساوثول (Southwell)، نوتنغهامشاير (Nottinghamshire) (الشكل 5.17) تطوراً بيئياً من المنازل المحمية بالتراب، حيث يولد السكان الطاقة التي يستهلكون ويجنون مياههم الخاصة ويعيدون تدوير مواد النفايات، فيتخلصون من التلوث وانبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون. من المنطقة العمرانية يمكن فقط رؤية الواجهة الجنوبية المطلة على بحيرة القصب لأن العشب يغطي معظم البنية.

(الشكل 5.17) مساكن محمية بالتربة ـ الجهتين الجنوبية والشمالية. مشروع إسكان هوكرتون Southwell, Nottinghamshire (Hockerton Housing Project)، حقوق الطباعة: الصورة.

المنتجات الصلصالية

لقد أدى الاهتمام بالطاقة الداخلية في معظم المنتجات المصنعة للاستخدام في الأبنية إلى تطوير إضافي لحيز من المنتجات المعتمدة على الصلصال، بما فيها الألواح والطينة. تُعد المباني المصنوعة من منتجات الصلصال غير المشوي ماصة للرطوبة، ولها تأثير إيجابي على التحكم في البيئة الداخلية بامتصاص الروائح وجعل الحرارة والرطوبة مستقرين.

ألواح الصلصال

كبديل لألواح الجص، تصنع ألواح الصلصال من الصلصال وطبقات من القصب على كامل طول وعرض اللوح. يلعب الخيش على كلا الوجهين دور تسليح ومفتاح تثبيت للطينة ذات الأساس الكلسي أو الترابي بسماكة 2-3 mm. يجب تغطية الوصلات بالقماش القطني الرقيق (Scrim) قبل ملئها بالمعجونة مع أنه يمكن طلاء ألواح الصلصال مباشرة إذا كانت محكمة الإغلاق. يمكن استخدام الألواح بسماكة 25 mm في أشغال الجدران الجافة، وكذلك في الأسقف، حيث يجب تثبيتها ببراغي ذات تباعد يساوي 400 و600 mm بين مراكزها على التوالي.

الطينة الصلصالية

تتوفر الطينة الصلصالية، والمعروفة كذلك بالطينة الترابية، بمجموعة من الألوان الذاتية، التي لا تتطلب طلاءً تزيينياً. يمكن تنفيذ هذه الطينة، التي تصنع من خليط الصلصال مع الحصويات الناعمة، على طبقتين بسماكة 3 و10 mm على التوالي أو كطبقة واحدة بسماكة 10 mm. ففي حال الضرورة يمكن تنفيذ طبقة تماسك أولية بسماكة 1مم على السطح المراد إكساؤه. تتصلب الطينة بالجفاف لوحده، دون حدوث تفاعلات كيماوية. كما هو الحال في جميع المنتجات الصلصالية، فإن هذه الطينة تمتص الرطوبة وتستجيب للظروف البيئية مما يساعد على التحكم في الرطوبة النسبية الداخلية.

الإطارات المعادة التدوير

لقد تم استخدام الإطارات معادة التدوير لبناء جدران بنيوية للمنازل الجديدة تُدعى **السفن الأرضية**، في منطقة فايف (Fife) وقرب برايتون (Brighton) في

المملكة المتحدة. توضع الإطارات على مداميك وتملأ بالتراب المدموك ويتم إكساؤها داخلياً بطينة وخارجياً بالبلاط اللاقط للطاقة الشمسية. وحتى هذا التاريخ تم بناء بعض الوحدات السكنية فقط ولكن استناداً إلى أنظمة البناء لا يوجد حد نظري لحجم البناء. تنتج المملكة المتحدة سنوياً 40 مليون إطار مستعمل وهي تكفي لبناء 20000 سفينة أرضية منخفضة الكربون مستقلة بذاتها سنوياً.

الخرسانة الورقية

تصنع الخرسانة الورقية (Papercrete) من الورق المعاد التدوير و/ أو الكرتون مع الرمل والإسمنت البورتلاندي. ويمكن استخدام زجاج النفايات المسحوق من القوارير الزجاجية معادة التدوير بدلاً من الرمل، كما يمكن إدخال المجلات ذات الورق اللماع مع ورق الجرائد العادي ضمن المزيج. يتم صنع المادة بالخلط الجاف للورق المقطع مع الرمل والإسمنت البورتلاندي بنسبة تقريبية 3:1:1. ثم يضاف الماء لتشكيل عجينة ورق بقوام روبة يمكن صبها في وحدات بلوك أو في هياكل ذات بنية مستمرة. عند استخدام بلوك الخرسانة الورقية في البناء يمكن استخدام نفس المادة كملاط. تصبح المادة عند جفافها رمادية اللون. وهي ماصة للماء إلى درجة كبيرة وتجب حمايتها من الرطوبة والعوامل الجوية بوضع تفاصيل مناسبة لها. من الجهة الخارجية يمكن استخدام خلطة أقوى بنسنة ورق إلى إسمنت 1:1 كطبقة تجصيص خارجية ومن الجهة الداخلية يمكن استخدام طينة من الخرسانة الورقية لتعطي إنهاءً منمطاً. لا تزال الخرسانة الورقية مادة قيد التجربة إلا أنها يمكن أن تخفض حتى 20% من مواد النفايات التي تُكدس حالياً في المكبات. وكمادة خفيفة الوزن لها خصائص عزل جيدة كما أن محتواها الإسمنتي يزيد كثيراً مقاومتها للحريق.

أكياس الرمل

في المباني التي شيدتت مؤخراً كمكاتب ومنازل في إيسلينغتون (Islington) في لندن تم استخدام أكياس الرمل (Sandbags) كواجهة ماصة للصوت بجوار خط القطارات ذي الضجيج العالي (الشكل 6.17). فتتصلّب أكياس الرمل المملوءة بمزيج من الرمل والإسمنت والكلس، والمعرضة إلى العناصر المحيطة، آخذة وضعها النهائي. وبعد فترة أخرى من الزمن قد تبلغ 30 عاماً تتفكك أكياس الخيش

تاركة الخرسانة بشكلها المتموج مكشوفةً ومطبوعاً عليها شكل نسيج الخيش. ولا يزال هذا الجدار تجريبياً حيث لا يمكن التنبؤ بتأثير العوامل الجوية فيه كما هو الحال مع أشكال البناء المعيارية الأخرى.

(الشكل 6.17) أكياس الرمل في التشييد. المعماريون والصورة: (Sarah Wigglesworth Architects).

المراجع

FURTHER READING

Addis, B. 2006: *Building with reclaimed components and materials*. London: Earthscan Ltd.

Bee, B. 1998: *The cob builders' handbook*. Vermont: Chelsea Green.

Bingham, W. and Smith, C. 2007: *Straw bale home plans*. Utah: Gibbs M. Smith Inc.

Design Centre Stuttgart, 2008: *Focus green*. Stuttgart: AVEdition.

Easton, D. and Wright, C. 2007: *The rammed earth house*. Vermont: Chelsea Green Publishing.

Fernandez, J. 2006: *Material architecture: emergent materials and issues for innovative buildings and ecological construction*. Oxford: Elsevier.

Guelberth, C.R. and Chiras, D. 2003: *The natural plaster book, earth, lime and gypsum plasters for natural homes*. Canada: New Society Publishers.

Hall, K. 2008: *The green building bible*. 4th ed., Vol. 1. Llandysul: Green Building Press.

Halliday, S. 2008: *Sustainable construction*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Hewitt, M. and Telfer, K. 2007: *Earthships. Building a zero carbon future for homes*. EP78Watford: IHS BRE.

Hren, S. and Hren, R. 2008: *The carbon-free home*. Vermont: Chelsea Green Publishing.

Hyde, R., Watson, S., Cheshire, W. and Thomson, M. 2007: *The environmental brief. Pathways for green design*. Abingdon: Taylor and Francis.

Janssen, J.J.A. 1995: *Building with bamboo: a handbook*. Warwickshire: ITDG Publishing.

Jones, B. 2010: *Building with straw bales: a practical guide for the UK and Ireland*. 2nd ed. Green Books.

Khalili, N. 2002: *Ceramic houses and earth architecture*. Vermont: Chelsea Green Publishing.

King, B. 2007: *Design of straw bale buildings*. Green Building Press.

Lacinski, P. and Bergeron, M. 2000: *Serious straw bale: a home construction guide for all climates*. Totnes: Chelsea Green Publishing.

Magwood, C. and Mack, P. 2005: *More straw bale building: a complete guide to designing and building with straw*. USA: New Society Publishers.

McCann, J. 2004: *Clay and cob buildings*. Princes Risborough: Shire Publications.

Minke, G. 2006: *Building with earth*. Basel: Birkhäuser.

Minke, G. and Friedemann, M. 2005: *Building with straw: design and technology of a sustainable architecture*. Basel: Birkhäuser.

NBS. 2007: *Rammed earth. The hardened soil of architecture*. NBS Shortcut 33. Newcastle-upon-Tyne: National Building Specification.

Pavwels, W. 2007: *Building with reclaimed materials*. Belgium: Beta-plus.

Schofield, J. and Smallcombe, J. 2004: *Cob buildings: a practical guide*. South Carolina: Black Dog Press.

Spiegel, R. and Meadows, D. 2006: *Green building materials*. New Jersey: John Wiley and Sons.

Walker, P., Keable, R., Marton, J. and Maniatidis, V. 2005: *Rammed earth. Design and construction guidelines*. Englewood: IHS BRE.

Weismann, A. and Bryce, K. 2006: *Building with cob. A step-by-step guide*. Totnes: Green books.

Wells, M. 2009: *Earth sheltered house: an architects sketchbook*. Totnes: Chelsea Green Publishing.

Williams-Ellis, C. 2008: *Cottage building with cob, pisé and stabilised earth*. Anon.

Woolley, T., Kimmins, S., Harrison, P. and Harrison, R. 1997: *Green building handbook. v1. A guide to building products and their impact on the environment*. London: E. & F.N. Spon.

Woolley, T. and Kimmins, S. 2000: *Green building handbook. v2. A guide to building products and their impact on the environment*. London: E. & F.N. Spon.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 446: 2000 Assessing environmental impacts of construction.

BRE Digest 452: 2000 Whole life costing and lifecycle assessment for sustainable building design.

BRE Digest 470: 2002 Life cycle impacts of timber. A review of the environmental impacts ofwood products in construction.

BRE Good repair guide

BRE GRG 35: 2006 Earth, clay and chalk walls: inspection and repair methods.

BRE Information papers

BRE IP 3/97 Demonstrating re-use and recycling materials: BRE energy efficient office of the future.

BRE IP 12/97 Plastics recycling in the construction industry.

BRE IP 7/00 Reclamation and recycling of building materials.

BRE IP 3/03 Sustainable buildings (Parts 1-4).

BRE IP 6/06 Balanced Value for sustainable procurement.

BRE IP 8/06 Non-ferrous metal wastes as aggregates in highway construction.

BRE Reports

BRE EP 80: 2008 Earth masonry. Design and construction guidelines.

BR 501: 2009 The Green Guide to Specification (4th edition).

18

الاستدامة

مقدّمة

نشرت حكومة المملكة المتحدة في عام 2008، استراتيجيّة للتّشييد المستدام عكست التزام الصناعة بخفض انبعاث الكربون [بصمة الكربون]، واستهلاك الموارد الطبيعيّة مع المحافظة على قطاع تشييد قوي. .جاءت هذه المبادرة في سياق أوسع من الاهتمام بارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية [الاحتباس الحراري] (Global Warming) وتغير المناخ، وقد أدّى هذا بالمملكة المتحدة إلى وضع أهداف وطنيّة لخفض انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون من مستويات عام 1990 بنسبة 34% بحلول عام 2020، وبنسبة 80% بحلول عام 2050. كمؤشّر على المشكلة، فإنّ سيناريو المدى المتوسط للانبعاثات في لندن، يتوقّع ارتفاعاً بدرجة حرارة الصيف الوسطيّة بمقدار 1.5 درجة مئوية، و(1.3 درجة مئوية شتاءً)، مع ازدياد معدل هطول المطر 6% شتاءً ونقصانه 6% صيفاً.

بما أنّ الأبنية مسؤولة مباشرة أو بشكل غير مباشر عن نحو 44% من انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة (27% من البيوت، و17% من الأبنية غير السكنيّة)، فمن المناسب أن تعكس الأهداف الموضوعة على صناعة التشييد هذا العامل المهم، لذلك فإنّ الهدف هو الانتقال إلى انبعاث كربون صفري للبيوت بحلول عام 2016، وللأبنية الأخرى بحلول عام 2019، بالإضافة إلى ذلك يضيف إنتاج المواد ونقلها نسبة 10% من انبعاثات الكربون في المملكة المتحدة.

على الرغم أن الحلول التقنيّة تستطيع تحسين انبعاثات الكربون من الأبنية السكنية والتجارية والصناعية، إلا أنّ حجر الزاوية للتشييد المستدام، يكمن في

التصميم الشامل الذي يأخذ بالحسبان، الموقع والمناخ المحلي والاتجاه والشكل الخارجي ومغلف البناء وفتحاته.

أهداف الكربون الصفري

كود البيوت المستدامة

تمّ إطلاق كود البيوت المستدامة من قبل حكومة المملكة المتحدة في العام 2007، كجزء من عملية الانتقال نحو بيوت جديدة صفريّة الكربون بحلول عام 2016. في الوقت الرّاهن، على جميع البيوت الجديدة الحصول على تقييم وفق الكود، يعدّه مقوِّم مجاز، يجب أن يكون هذا التقييم ضمن وثيقة بيانات البيت (Home Information Pack) (HIP)، عند نقل ملكية البيت. يكون إجراء التقويم وفق الكود عادة عمليّة من مرحلتين، الأولى هي تقويم مرحلة التصميم (Design Stage Assessment) (DSA)، والثانية هي المراجعة ما بعد التشييد (Post-Construction Review) (PCR). فقط عند إتمام هاتين المرحلتين، تُمنَح الملكية شهادة مستوى الكود. يعرض الكود منظومة تقويم من 1 إلى 6 نجوم، ويميز المستوى الأوّل للقبول بنجمة واحدة، تماماً فوق المستوى الأدنى المطلوب من قبل أنظمة البناء للعام 2006 القسم L (المحافظة على الوقود والطاقة).

يتعلق الكود بتسع قضايا تصميمية محدّدة، يتم تقويم كل منها على أساس نظام النجوم من 1 إلى 6.

كود فئات التصميم للبيوت المستدامة:

الطاقة وانبعاثات ثاني أوكسيد الكربون
المياه
المواد
جريان المياه السطحية
النفايات
التلوث
الصحة والرفاهية
الإدارة
البيئة العامة (Ecology)

بحلول عام 2010 يجب أن تكون البيوت في المستوى 3 من الكود، الذي يستلزم تحسين كفاءة الطاقة بنسبة 25% زيادة على مستوى أنظمة البناء لعام 2006. وبحلول العام 2014 ينبغي تحقيق تخفيض بنسبة 44% (المستوى 4 من الكود)، وفي العام 2016 سيكون تحقيق كربون صفري إلزاميا (المستوى 6 من الكود). في مقاطعة ويلز، يجب أن تكون جميع المساكن الجديدة في المستوى 5 من الكود بحلول العام 2011.

إلى جانب الاعتبارات المتعلّقة بالطاقة، فإنّ العوامل البيئيّة والإجتماعية الأخرى تُقيم بالنجوم. كلّ نجمة تقابل مجموعة نقاط (Point Scores). يُحْسَب تقييم النجوم الإجمالي بجمع النقاط في كل من الفئات التسع، الذي يعطي مجاميع نهائيّة تتراوح بين 36 نقطة للمستوى 1، و57 نقطة للمستوى الثالث، إلى 90 نقطة للمستوى 6. تتلقّى الملكية شهادة نهائية مع تقييم إجمالي من 1 إلى 6 نجوم، وتفصيل لمجموع النقاط ضمن فئات التصميم التسع مبيناً النسبة المئوية للنقاط التي تم إحرازها. في البداية يكون التركيز الأساسي للكود على القضايا القابلة للقياس، بما فيها الطاقة والكربون والمياه والنفايات.

لتحقيق المستوى 1، يجب أن يكون المنزل أكثر كفاءة بالطاقة من المتطلبات الحراريّة لأنظمة البناء لعام 2006 بنسبة 10%. بالإضافة إلى ذلك يجب أن يبنى من مواد تقييمها D أو أفضل، وفقاً للدليل الأخضر للمواصفات الصادر عن مؤسسة بحوث البناء (BRE)، ومصمّما ليستهلك كمية من الماء لا تزيد على 120 لتراً يومياً. ولتحقيق مستوى التقييم 3 يجب أن يكون المنزل بمستوى كفاءة بالطاقة أعلى بـ 25% من مستواه في عام 2006، ومصمّماً ليستهلك كميّة من الماء لا تزيد على 105 لترات يوميّاً.

كي يكون المنزل من المستوى 6، يجب أن يحقق مستوى كربون صفريّ تماماً، بالنسبة للمساحات الفارغة وتسخين المياه، والطبخ، واستعمال كافّة التجهيزات. ويجب أن يكون استهلاك المياه المتوقّع فقط 80 لتراً يومياً، مما يعني أن 3% تقريباً من الاحتياجات المائية سيتم الحصول عليها من تجميع مياه المطر أو إعادة التدوير. إن تحقيق المستوى 6 يتطلّب الحصول على مستويات عالية من العزل والكتامة للهواء. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن يوفّر التصميم مستويات جيّدة من الإضاءة النهارية، مع تحكّم مناسب بمستوى الإشعاع الشمسي لتجنّب التسخين الزائد خلال فترة الصيف. يشمل طيف تقنيات الطاقة المتجددة تسخين المياه

بالطاقة الشمسية وتركيبات أنظمة أخرى، كالخلايا الضوئيّة واسترداد الحرارة والتبريد السلبي والتهوية، ومرجل يعمل بالطاقة الحيويّة (Biomass Boiler)، وأنظمة مياه ونفايات ذات كفاءة عالية.

النموذج الأولي لبيوت صفرية الكربون

تمّ بناء عدد من البيوت التجريبية، لتوضيح المقاربات البديلة لإنجاز بيوت تحقق مستويات كود مختلفة. اشتمل ذلك عدة منازل في حديقة الابتكارات العائدة لمؤسسة بحوث البناء في واتفورد (Watford)، من بينها فقط، منارة شبرد روبنسون (الشكل 1.18) ومنزل بارات (Barratt) الأخضر (الشكل 2.18) حّققا مستوى التقييم 6. يُوضّح الشكل 3.18 مشروع منازل تارماك (Tarmac Homes Project) في جامعة نوتنغهام (Nottingham) وفقاً للمستويين 4 و 6 باستعمال تقنيات بناء تقليديّة. وقد قام بيل دنستر (Bill Dunster) بإنجاز ستة بيوت من المستوى 6 وفقاً للكود في أبتون (Upton)، في مقاطعة نورث هامبتونشاير (Northamptonshire).

(الشكل 1.18) كود البيوت المستدامة ـ المستوى 6 ـ منارة شبرد روبسون، مركز بحوث البناء (BRE)، واتفورد. الصورة: لآرثر ليونز (Arthur Lyons).

بُنِيَت "المنارة" باستعمال ألواح بنيوية معزولة عالية الكفاءة، وبسقف مائل بزاوية 40 درجة، يحتوي على مصفوفة من الخلايا الضوئيّة، ومصيدة رياح متكاملة للتبريد السلبي والتّهوية، بالإضافة إلى أنبوب شمسي لإدخال ضوء نهار إضافي لوسط المنزل. تم تظليل نوافذ المنزل الغربيّة والشرقية، لمنع الكسب الحراري المفرط. وتتضمّن خدمات البناء، مرجلاً يعمل بالطاقة الحيوية، وأنظمة استهلاك منخفض للمياه وإعادة التدوير، وتسخين مياه شمسياً، وتهوية ميكانيكيّة مع استرداد للحرارة، وقياس ذكي للطاقة. يقع جناح المعيشة فوق غرف النوم التي تتطلب مستويات أقل من الإضاءة الطبيعيّة. كان استعمال الألواح البنيوية المعزولة المزدوجة (Double SIP Panels)، بوصلات متعرجة (Staggered Joints) ذا أهمية واضحة في تأمين كتامة الهواء الضرورية، والتجسير الحراري المُخَفّض لتحقيق متطلبات المستوى 6 من الكود. تزداد الكتلة الحراريّة مع إدخال مادة متغيرة الطور في سقوف ألواح الطينة، وستحدد التجارب كفاءتها في منع التسخين الزائد خلال فترة الصيف.

(الشكل 2.18) كود البيوت المستدامة ـ المستوى 6 ـ برّات "غرين هاوس" مركز، (BRE)، واتفورد (Watford) الصورة: لآرثر ليونز (Arthur Lyons).

(الشكل 3.18) كود البيوت المستدامة ـ مشروع بيوت تارماك ـ جامعة نوتنغهام، زوج من البيوت شبه منفصل، المستوى 6 من الكود (مغطى بالطينة) والمستوى 4 من الكود (آجُرّ). الصورة: الأمامية لمنتجات تارماك للأبنية (Tarmac Building Products) والخلفية لآرثر ليونز (Arthur Lyons).

يتضمّن منزل بارات الأخضر ألواحاً من الخرسانة خفيفة الوزن بارتفاع الطابق، ترتبط بطبقة رقيقة من المونة، وبلاطات من الخرسانة مجوّفة بين الطوابق لتعطي كتلة حراريّة. وتضمن مستويات عالية من العزل تحقيق قيم الناقلية الحرارية U المطلوبة. ويحتوي السقف، الذي شكله فراشة والمكون من ألواح بنيوية معزولة، على خلايا ضوئيّة على المنحدر المواجه للجنوب، وسقف أخضر مزروع بنبات السيدوم (Green Sedum Roof) لجهة الشمال. وتكمّل النوافذ العالية الأداء، ذات الإطارات الخشبيّة والتزجيج المقسّى حرارياً الثلاثي الطبقات، الإكساء الخارجي. تتضمّن خدمات البناء تسخيناً شمسيّاً للمياه، وتهوية ميكانيكيّة مع استرداد للحرارة، مع أنظمة لتوفير المياه، ولجمع مياه الأمطار. يتم تشغيل التّظليل الخارجي بستائر آليّة، لتحقيق ربح مفيد أمثلي للطاقة الشمسيّة، ومنع التسخين الزائد في الصيف. حقّق منزل بارات الأخضر 92 نقطة، أي أكثر بنقطتين من متطلبات مستوى التقييم 6 في الكود. يبيّن الجدول 1.18 القيم الرئيسة للناقلية الحرارية U.

الجدول 1.18 قيم U لمنزل بارات الأخضر

عنصر البناء	قيم U ($m^2k/watt$)
السقف	0.09
الجدران	0.11
البلاطة الأرضية	0.09
أرضية مرآب السيارات	0.11
التزجيج (ثلاثي ومملوء بالغاز)	0.70
الأبواب	0.68

ملاحظات:

إحكام الهواء: 1.0 m^3/(hour m^2) @ 50 Pa

معاملات الفاقد الحراري: 0.72 W/m^2 K, cf. Code 6 HLP 0.8 W/ m^2 K (HLP):

يعكس مشروع منازل تارماك (Tarmac) في جامعة نوتنغهام المتطلّبات المختلفة للمستويين 4 و 6 من الكود، داخل بيتين شبه منفصلين. وبُنِيَ كلاهما بمواد تقليديّة من الآجُرّ، أحدهما (كود 6) بجدران صلبة، والآخر (كود 4) بتشييد بفجوة. لكن هذين الشكلين يمكن، مبدئياً، التبديل فيما بينهما بتعديلات مناسبة على مستويات العزل. ويتضمّن كل من البيتين 3 m^2 من ألواح حراريّة شمسيّة، وتجميع مياه المطر وأنابيب شمسية، كما يشتركان بمرجل يعمل على الطاقة الحيويّة، يمكن مراقبته بشكل منفرد. تكمن الاختلافات الجوهريّة في مستويات العزل المصاحبة للجدران الخارجيّة والتزجيج.

المنزل ذو المستوى 4 من الكود، المبني من الآجُرّ والبلوك، يحتوي فجوة سمكها 150 mm مملوءة جزئياً بـ 100 mm من مادة العزل البولي إيزوسيانورات المغلفة برقاقة معدنيّة منخفضة الانبعاثية. فالطبقة الداخلية هي عبارة عن بلوك خفيف الوزن بسماكة 100 mm وبطانة من لوح جص سماكته 12.5 mm، لتعطي بالإجمال جداراً بقيمة U تعادل 0.20 w/m^2.k.

المنزل ذو المستوى 6 من الكود، مشيَّد من بلوك كبير من الخرسانة المساميّة بسماكات 215 mm مع وصلات رقيقة. وهو معزول خارجيّاً بطبقة من البوليستيرين

المتمدّد سماكتها 150 mm، وغطاء رقيق من الطينة. وبإنهاء داخلي بطبقة رقيقة من الطينة البارزة، تكون قيمة U الإجماليّة للجدار مساوية إلى 0.15 $w/m^2.k$.

يحتوي المنزل من المستوى 4 وفق الكود نوافذاً من البولي فينيل كلوريد الخال من الملدن PVC-U، مع طبقة ملء سماكتها 16 mm من غاز الأرغون، وطبقة غطاء قاسية منخفضة الانبعاثيّة بقيمة إجمالية للناقلية الحرارية U تبلغ 1.9 $w/m^2.k$ أما المنزل من المستوى 6 من الكود فيحتوي نوافذاً خشبيّة مع طبقة ملء سماكتها 16 mm من غاز الأرغون وطبقة غطاء طريّة منخفضة الانبعاثيّة، بقيمة إجماليّة للناقلية الحراريةـ U تبلغ 1.5 $w/m^2.k$، وبتقييم يبلغ النطاق A وفقاً لنظام المملكة المتّحدة لتقدير النوافذ الكفوءة للطّاقة (BFRC). وتحتوي الواجهة الجنوبية من المستوى 6، فضاءً شمسيّاً لمنع التسخين الزائد في الصّيف، لكنّه مصمّم ليسمح بالربح الشّمسي المطلوب خلال الشهور الأبرد.

يحتوي المنزل من المستوى 4 نظام تهوية ميكانيكي مع استرداد للحرارة، في حين يستعمل المنزل من المستوى 6 نظام تهوية سلبي بقلنسوة لاسترداد الحرارة.

لبلاطات الخلايا الضوئيّة الاثنتان والسبعون المركّبة على المنزل ذي المستوى 6، إمكانية توليد طاقة في زمن الذروة تقدّر بـ 3.74 kw، تعادل الحمل السّكني المتوقّع في وقت الذروة والبالغ 3.52 kw.

تحتوي البيوت الستّة المبنيّة من إطارات خشبية ثقيلة الوزن في أبتون (Upton) في نورث هامبتونشاير، سقوفاً وبطانات جدران من الخرسانة البيئيّة لإعطاء كتلة حراريّة. تتضمّن خدمات البناء تخزيناً للمياه وألواح ضوئيّة وشمسيّة مع مرجل احتياط يعمل بالطّاقة الحيويّة.

الأبنية غير السكنية الصفريّة الكربون

يعد الوصول إلى أبنية غير سكنيّة صفريّة الكربون بحلول 2019، تحدّياً معقّداً نظراً للتنوّع الواسع في أشكال الأبنية التجاريّة والصّناعيّة والنشاطات التجاريّة المرتبطة بها. لقد وضعت حكومة المملكة المتّحدة هدفاً للوصول إلى انبعاث صفري لثاني أوكسيد الكربون لأبنية القطاع العام الجديدة جميعها، بحلول عام 2018، مع التركيز على المدارس والجامعات لتحقيق الهدف بحلول عام 2016. إنّ التخفيضات المرحلية العامة بنسبة 25% بحلول العام 2010، و44% بحلول 2013،

هي نفس تخفيضات الأبنية السكنية الجديدة. يتم فقط تطبيق استهلاك الطاقة الممنهج، تلك الطّاقة المعرّفة في الفقرة L2006 من أنظمة البناء، والمتوقعة باستخدام النموذج المبسّط لطاقة الأبنيّة (Simplified Building Energy Model). وتُصنّف الطّاقة المستعملة في العمليّات الصناعيّة في هذا السّياق على أنها غير منظمة، ولكنّها تخضع لطيف من الحوافز الحكوميّة التي تشجيع تخفيضها.

كتلة الأبنية القائمة

مع أن التركيز الحالي ينصبّ على الأبنية الحديثة، يمكن الفرض أن 70% على الأقل من كتلة الأبنية القائمة سيظل قيد الاستعمال حتى 2050. فمسألة معالجة إعادة تأهيل تقنيّات الحفاظ على الطّاقة سوف تزداد أهميتها النسبيّة، لأنّ المواصفات الأعلى ستصبح هي المعيار لكلّ أشغال التشييد الحديثة. وتحدّد أنظمة البناء المتطلبات المناسبة عند الشروع بأشغال البناء في الأبنية القائمة.

الجدول 2.18 أهداف أفضل الممارسات لاتحاد شركات توفير الطاقة لإعادة تأهيل منازل اجتماعية وخاصة

عنصر البناء أو وظيفته	تحسينات وقيم U الهدف
الجدران	عزل حتى قيم عظمى لـ U قدرها 0.30 $w/m^2.k$
سقوف مائلة	عزل بين العوارض الخشبية حتى قيمة U تعادل 0.16 $w/m^2.k$
سقوف مستوية	عزل حتى قيمة U تعادل 0.25 $w/m^2.k$ أو أفضل
النوافذ	تقييم (BFRC)، C أو أعلى. أية نوافذ محصورة لا بد أن تكون محكمة ضد الرياح العاتية
الأبواب	أبواب مصمتة حتى قيمة U تعادل 1.0 $w/m^2.k$ أبواب نصفها مزجج حتى قيمة U تعادل 1.5 $w/m^2.k$
تسخين الفضاءات	مثالياً تدفئة مساكن مركزية رطبة ونظام ماء ساخن باستثناء كون الكهرباء الخيار الوحيد
كتامة الهواء	النفاذية الهدف 5 m^3/m^2 Pa. 50
التهوية	يجب تركيب نظام للتهوية
الضوء والتجهيزات	عندما تشكل إعادة التمديد 75% فقط من وحدات تجهيزات الإنارة منخفضة الطاقة حدد تجهيزات منخفضة الطاقة
التقنيات المتجدّدة ومنخفضة الكربون	تشجع توفير التدفئة بالماء الساخن بالطاقة الشمسية وتقنيات أخرى متجددة كالخلايا الضوئية

أصبحت شهادات أداء الطاقة مطلوبة لجميع الأبنية عند عملية البيع أو البناء أو الاستئجار. وتتراوح درجات الشهادات من (A) إلى (G). ويحقق حاليّاً أقل من 50% من كتلة الأبنية القائمة في إنجلترا وويلز، مستوى التقييم (D). بالإضافة إلى ذلك، تقع الكثير من الأبنية الحكوميّة في فئات التصنيف المنخفضة من وجهة نظر كفاءة الطّاقة.

اقترح ميثاق الحفاظ على الطاقة طيفاً من معايير الممارسات الفضلى لإعادة تأهيل كتلة الأبنية القائمة. ومن الواضح أنّ الحصول على تخفيض 60% من انبعاث الكربون هو أسهل في الأبنية ذات الجودة الأقل منه في الأبنية العالية المستوى. تمثل أفضل ممارسة عملية التوازن الأمثل بين الأداء البيئي والجانب العملي.

مواصفات المواد

أثارت اعتبارات الطاقة برنامج التّشييد، مما جعل مصنّعي مواد البناء يدفعون بوثائق اعتمادهم البيئية، وغالباً مع ادعاءات وادعاءات مضادّة بين المواد والنظم المتنافسة. تمثّلت الفوائد الجانبية لهذا السّجال بالاندفاع لتخفيض الطّاقة المتضمنة في عمليات الإنتاج (جدول 3.18)، ولتخفيض الفضلات داخل المصنع وفي الموقع، وللتأكيد أيضاً على قابليّة إعادة التدوير.

كان للمعادن، مثل الفولاذ والألومنيوم والنحاس، ولفترة طويلة، سجلات جيّدة في إعادة التدوير من داخل صناعة التشييد، لكن حالياً، وعلى سبيل المثال، هناك كميّات كبيرة يُعاد تدويرها من Pvc-U ناتجة عن صناعة النوافذ المستبدلة. ويمكن أن تُصْنَع بعض المنتجات البلاستيكيّة بالبثق مع نواة من مادة معادة التدوير وطبقات خارجيّة من مواد بكر (Virgin Material). ويمكن أن يعاد تدوير القوارير البلاستيكيّة إلى مواد عزل للغرف العلوية من المبنى أو إلى مواد مركّبة كالألواح البلاستيكية. ويمكن أن تُسْتَعْمَل النفايات الخشبيّة المنخفضة المستوى في منتجات غير تقليديّة مثل القوالب الدائمة المعزولة لأشغال الخرسانة. وتؤثّر هذه التغييرات بشكل كبير في ميزان التقييمات البيئيّة المفروضة بشكل تقليدي على مواد التشييد. تتقصّى الأبحاث الحالية حول الإسمنت عن منتجات بديلة ذات طاقة متضمنة أقل بكثير، وربّما حيادية بالنسبة للكربون. يمكن تحويل زجاج القوارير الفائض، غير اللاّزم لإعادة التدوير المباشرة، إلى حصويّات رغويّة للخرسانة الخفيفة الوزن.

الجدول 3.18 الطاقة المتضمنة في مواد البناء

المادة	الطاقة المتضمنة (MJ/KG)
الآجُرّ	4.6
إسمنت بورتلاندي (العملية الرطبة)	5.9
إسمنت بورتلاندي (العملية الجافة)	3.3
الخرسانة (4:2:1 خلطة)	0.95
بلوك غازي معالج حرارياً	3.5
الفولاذ (42 ٪ معاد التدوير)	24.4
فولاذ مقاوم للصدأ	56.7
خشب طري ـ منشور	7.8
خشب رقائقي مغرّى	12
خشب قاس	16
(MDF) (لوح ليفي متوسط الكثافة)	16
خشب معاكس	15
زجاج	15
زجاج مقسى	23.5

ملاحظات:

تمّ أخذ البيانات من معهد المهندسين المدنيين (المرجع Hammond and Jones: 2008) من معلومات منشورة

مصادر موثوقة للمواد

تتطلّب المصادر الموثوقة للمواد سلسلة إمداد تتم إدارتها بشكل جيّد، من نقطة استخراج المواد أو جمعها مروراً بالمعالجة والتصنيع، إلى الاستعمال وإعادة الاستعمال، وإعادة التدوير والتخلّص من النّفايات. توفّر خطّة الترخيص العالمية الصادرة عن مؤسسة بحوث البناء (BRE Global Certification Scheme BES 6001) إطاراً موثوقاً ومستداماً لمصادر منتجات التشييد، وهي أيضاً تفتح طريقاً للحصول

على الاعتمادية ضمن قطاع المواد في كود البيوت المستدامة، وكذلك الحصول على برامج الشهادة (BREEAM).

تقويم دورة الحياة

يتضمّن تقويم دورة حياة كاملة الاستخراج والمعالجة والتصنيع والنقل والصّيانة وإعادة الاستعمال وإعادة التدوير والتخلّص النهائي. ويعطي هذا التقويم بشكل واضح أثراً بيئيّاً أكثر واقعيّة من النظر فقط في الطاقة المتضمنة (جدول 3.18). على سبيل المثال، للفولاذ طاقة متضمنة تقدر تقريباً بـ 24 ميغاجول/كغ، ولكنه قابل لإعادة التدوير مرّات ومرّات، دون أي نقصانٍ في الأداء. بالمقارنة، فإنّ للخرسانة التي يمكن عادةً إعادة تدويرها كحصويات فقط، طاقة متضمنة تساوي تقريباً واحد ميغاجول/كغ. وكذلك فإنّ الكميّات المستعملة لأغراض بنيوية متماثلة تختلف بشكل كبير، كما أنّ الطّاقة المتعلّقة بالهدم وإعادة التدوير مختلفة أيضاً.

الدليل الأخضر للتوصيف

من أجل إعطاء المصمّمين والموصّفين توجيهاً حول التاثير البيئي لمواد البناء المختلفة وأنظمة التّشييد، قامت مؤسسة بحوث البناء (BRE) بإصدار الدّليل الأخضر للتوصيف، الذي يقدّم قائمة من طيفٍ واسع من أنظمة التشييد مقابل مجموعة قياسيّة من المعايير البيئيّة، حيث يُعطى كل معيار ترتيباً من (+A) إلى (E)، إلى جانب تقويم موجز إجمالي من (+A) إلى (E). الدليل الأخضر معدّ للاستعمال مع أدوات تقويم البناء كلّها، مثل طريقة التقويم البيئي لمؤسسة بحوث البناء (BRE Environmental Assessment Method) (BREEAM)، وكود البيوت المستدامة.

يسجّل الدليل الأخضر التأثيرات البيئية النسبية لمواد التشييد المستعملة في الأنواع العامة الستة للأبنية:

الأبنية التجارية ـ بما فيها المكاتب

الأبنية التعليمية ـ المدارس والجامعات والكليات

أبنية الرعاية الصحية ـ بما فيها المستشفيات،

محلات البيع بالمفرد

الأبنية السكنية

الأبنية الصناعية

وتُرتّب المواد والمكونات داخل عناصر المبنى الرئيسة، وهي الطوابق الرضية، والطوابق العلوية، والأسقف، والجدران الخارجية، والنوافذ، والجدران الداخلية والقواطع، والعزل، والحدائق.

تتمّ مقارنة المواد داخل كل فئة على قاعدة التشابه، وبهذا يمكن مقارنة أشكال التشييد المتكافئة مباشرة مثل عمود فولاذي أو خرساني. وحيث يكون مناسباً، وتتم مقارنة المواد على أساس عام للناقلية الحرارية U يعادل فاقداً حرارياً مكافئاً.

يعتمد التقييم البيئي على تقويم دورة حياة تتضمّن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، واستخراج الفلزّات والمياه، وسميّة النفايات والتلوّث، والمكبات أو إحراق النفايات، واستنفاذ الوقود الأحفوري، وتلوث الغلاف الجوي والمطر الحامضي. تُبنى المواصفات على فترة 60 عاماً مع تضمين عوامل لفترات متوقعة أقصر للاستبدال. ويتم أخذ المحتوى المعاد تدويره بالحسبان، لكن ذلك يتحسّن باستمرار مع الإدراك المتنامي لأهمّيته البيئيّة.

إعادة التدوير وتفكيك التشييد

على الرغم من الضريبة المرتفعة والمتزايدة على طمر النفايات، فإنّ 30 مليون طن تقريباً من نفايات التشييد تُرسل للطمر كل عام في المملكة المتحدة. إنّ قضية النفايات في مواقع الأبنية (الشكل 4.18) ربما يتم تجاهلها من قبل كثير من الصناعات، على الرّغم من التكلفة الاقتصادية والبيئيّة المرتبطة بها. ولكنّ بعض المنتجين، مثل مصنّعي ألواح الطينة، والبلوك والعزل، يسترجعون النظيف من المواد الفائضة والكسر لإعادة المعالجة.

مع الحاجة المتنامية لإعادة تدوير المواد، يمكن التنبؤ بأنّ اهتماماً أكثر في المستقبل سوف ينصبّ على التصميم يأخذ بالاعتبار تفكيك المباني بدلاً من الهدم، لأنّ ذلك يمكن أن يؤدي إلى إعادة استخدام أكبر للموارد. ويعد تفكيك المباني مسؤولاً عادة عن 6%- 8% من مجمل الطاقة المستعملة في دورة حياة تشييد الأبنية.

(الشكل **4.18**) نفايات موقع البناء.

المراجع

FURTHER READING

Addis, W. and Schouten, J. 2004: *Principles of design for deconstruction to facilitate reuse and recycling*. London: Construction Industry Research and Information Association.

Berge, B. 2009: *The ecology of building materials*. 2nd ed. Oxford: Architectural Press.

BREEAM Environmental Assessments. 2007: *Sustainable construction in steel*. Info. Sheet 2. Ascot: Steel Construction Institute.

BRE Global. 2009: *Framework for the responsible sourcing of construction products*. BES 6001 Issue 2.0. Garston: Building Research Establishment.

BRE Global. 2009: *Methodology for environmental profiles of construction products. Product category rules for Type III environmental product declaration of construction products*. BES 6050 Issue 1.0. Garston: Building Research Establishment.

Energy Saving Trust. 2008: *Roadmap to 60%. Eco-refurbishment of 1960s flats*. London: Energy Saving Trust.

Halliday, S. 2008: *Sustainable construction*. Oxford: Butterworth Heinemann.

Hammond, G. and Jones, C. 2008: *Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institute of Civil Engineers*. Energy 161. Issue EN2, pp. 87-98. May 2008. Institution of Civil Engineers.

Khatib, J. 2009: *Sustainability of construction materials*. Abington:Woodhead Publishing Ltd.

Menzies, G., Turan, S. and Banfill, P. 2007: *Life-cycle assessment and embodied energy. A review*. Proc. Inst. Civil Engineers. Construction Materials 160. Issue CM4. pp. 135-142. November 2007. Institution of Civil Engineers.

NHBC Foundation. 2009: *Zero carbon homes. An introductory guide for house builders*. NF14. Amersham: NHBC Foundation.

Roaf, S., Fuentes, M. and Thomas, S. 2007: *Ecohouse*. 3rd ed. Oxford: Architectural Press.

Robust Details. 2007: *Robust details handbook*. 3rd ed. Milton Keynes: Robust Details Ltd.

SCI. 2009: *Code for Sustainable Homes. How to satisfy the code using steel technologies*. Publication 386. Ascot: Steel Construction Institute.

Turrent, D. (ed.) 2007: *Sustainable architecture*. London: RIBA Publishing.

Wines, J. 2000: *Green architecture*. Cologne: Taschen.

STANDARDS

BS ISO 14025: 2006 Environmental labels and declarations. Type III Environmental declarations. Principles and procedures.

BS ISO 15686 Building and constructed assets. Service life planning:

Part 1: 2000 General principles.

Part 2: 2001 Service life prediction procedures.

Part 3: 2002 Performance audit and reviews.

Part 5: 2008 Life cycle costing.

Part 6: 2004 Procedures for considering environmental impacts.

Part 7: 2006 Performance evaluation for feedback of service life data from practice.

Part 8: 2008 Reference service life and service-life estimation.

BS ISO 21930: 2007 Sustainability in building. Environmental declaration of building products.

BS EN ISO 14040: 2006 Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.

BS EN ISO 14044: 2006 Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT PUBLICATIONS

BRE Digests

BRE Digest 433: 1998 Recycled aggregates.

BRE Digest 446: 2000 Assessing environmental impacts of construction industry consensus, BREEAM and UK Ecopoints.

BRE Digest 447: 2000 Waste minimisation on a construction site.

BRE Digest 452: 2000 Whole life costing and lifecycle assessment for sustainable building design.

BRE Digest 457: 2001 The Carbon Performance Rating for offices.

BRE Information papers

BRE IP 13/03 Sustainable buildings (Parts 1-4).

BRE IP 4/05 Costing sustainability. How much does it cost to achieve BREEAM and EcoHomes ratings?

BRE IP 15/05 The scope for reducing carbon emissions from housing.

BRE IP 16/05 Domestic energy use and carbon emissions. Scenarios to 2050.

BRE IP 6/06 Balanced value for sustainable procurement.

BRE IP 2/07 SBEM for non-domestic buildings.

BRE IP 4/07 Environmental weighting. Their use in the environmental assessment of construction products.

BRE IP 1/08 The price of sustainable schools.

BRE IP 2/08 New build and refurbishment in the Sustainable Communities plan.

BRE IP 3/08 Delivering sustainability objectives through planning.

BRE IP 9/08 Part 1. Applying the Code for Sustainable Homes on the BRE Innovation Park. Lessons learnt about building fabric.

BRE IP 9/08 Part 2. Applying the Code for Sustainable Homes on the BRE Innovation Park. Lessons learnt about energy sources, overheating and ventilation.

BRE IP 9/08 Part 3. Applying the Code for Sustainable Homes on the BRE Innovation Park. Lessons learnt about waster use, harvesting, recycling and drainage.

BRE IP 9/08 Part 4. Applying the Code for Sustainable Homes on the BRE Innovation Park. Lessons learnt about architecture, construction and material sourcing. BRE IP 12/08 An introduction to PassivHaus. A guide for UK application.

BRE IP 1/09 Performance and service life in the Environmental Profiles Methodology and Green Guide to Specification.

BRE IP 3/09 Lessons learnt from the Barratt Green House. Delivering a zero carbon home using innovative concrete systems.

BRE Reports

BR Developer Sheet EcoHomes 2006. The environmental rating for homes.

BR 390: 2000 The Green Guide to Housing Specification. An environmental profiling system for building materials and components used in housing.

BR 418: 2001 Deconstruction and reuse of construction materials.

BR 487: 2007 Designing quality buildings. A BRE guide.

BR 493: 2007 Creating environmental weightings for construction products. Results of a study.

BR 498: 2008 Sustainability through planning. Local authority use of BREEAM, EcoHomes and the Code for Sustainable Homes.

BR 501: 2009 The Green Guide to Specification (4th edition).

BR502: 2009 Sustainability in the built environment. An introduction to its definition and measurement.

GOVERNMENT PUBLICATIONS

Department for Communities and Local Government. 2008: *Greener homes for the future. The Code for Sustainable Homes*. London: Communities and Local Government.

Department for Communities and Local Government. 2008: *Definition of zero carbon homes and non-domestic buildings. Consultation*. London: Communities and Local Government.

Department for Communities and Local Government. 2009: *Definition of zero carbon homes and non-domestic buildings. Consultation. Summary of responses*. London: Communities and Local Government.

Department for Communities and Local Government. 2009: *The Code for Sustainable Homes. Technical Guide 2009 Version 2*. London: Communities and Local Government.

UK Green Building Council. 2007: *Report on carbon reductions in new non-domestic buildings*. London: Communities and Local Government.

ADVISORY ORGANISATIONS

Association for the Conservation of Energy, Westgate House, 2a Prebend Street, London N1 8PT, UK (020 7359 8000).

BREEAM Centre, BRE, Garston, Watford, Hertfordshire WD25 9XX, UK (01923 664940). Centre for Energy and the Environment, University of Exeter, Stocker Road, Exeter, Devon EX4 4QL, UK (01392 264144).

Energy Saving Trust, 21 Dartmouth Street, London SW1H 9BP, UK (0845 120 7799). Sustainability Centre, East Meon, Hampshire GU32 1HR, UK (01703 823166).

Sustainable Homes Ltd., Marina House, 17 Marina Place, Hampton Wick, Kingston-upon-Thames, Surrey KT1 4BH, UK (020 8973 0429).

الثبت التعريفي

إحماء أو تليين (Tempering): إعادة تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة معتدلة (400–600 °م)، ثم تبريده في الهواء مما يقلّل هشاشته ويسمح جزئياً بإعادة تبلوره.

إدخال الفقاعات (Air Entrainment): إضافة عنصر إدخال الهواء إلى خلطة الخرسانة بهدف زيادة الديمومة وقابلية التشغيل.

أردواز (Slate): صخر متحوّل عن الصلصال سهل قطعه.

إسْقاء (Quenching): تسخين الفولاذ إلى درجة حرارة معيّنة ثم تبريده بغمسه بالماء تحت ظروف مراقبة.

أكسدة مصعدية (Anodization): عملية إكساء المعدن بطبقة أوكسيد رقيقة لحماية بوساطة التحليل الكهربائي.

برلايت (Perlite): صخر بركاني زجاجي موجود طبيعياً، يُطلق بخاراً عند تسخينه تقريباً إلى درجة الانصهار فينتج مادةً خليوية ذات كثافة منخفضة.

بلاستيسول (Plastisol): سائل من الفينيل يُعالج حرارياً ليشكل في النهاية مادة صلبة.

تشكيل فوق اللدن (Superplastic Forming): عملية تشكيل صفائح المعدن بالاعتماد على نظرية اللدونة الفائقة التي تعني أن المعدن يمكن أن يتمدّد أكثر من 100% من طوله الأصلي.

تشكيل المعدن المطاوع (Bossing): مثل تشكيل إكساء الرصاص بالمطارق الخشبية.

تنحيس (Brazing): عملية لحام المعادن حيث يتمّ صهر معدن الإملاء وتوزيعه بين جزئين متقاربين أو أكثر بالخاصة الشَّعرية.

تيرن (Terne): سبيكة رصاص تحتوي 10 20% - قصدير و 1.5– 2% أنتيمون.

جدار ساتر (الحاجب) (Curtain Wall): جدار من الزجاج مركّب على هيكل معدني يستخدم كإكساء لواجهات البناء.

جهاز إنارة (Luminaire): يتألّف من مصباح أو أكثر مع كل الأجزاء الضرورية والأسلاك.

حجاب للمطر (Rainscreen): السطح الخارجي من الجدار الذي يقاوم العوامل الجوية.

حشوة (Flashing): شريحة من الصفائح المعدنية (الصاج) توضع عند التقاء سطوح البناء الخارجية لتجعل الوصلة كتيمة للماء.

حشوة الطنف (Eaves Flashing/ Apron Flashing): الحشوة التي تغطّي الوصلة بين سطح شاقولي وسطح مائل.

حوض السكب (Tundish): وعاء عريض مفتوح له فتحة أو أكثر في أسفله لسكب المعدن المصهور في القوالب.

دولرايت (Dolerites): تتشكّل بمعدّل تبريد متوسط ذات بنية حبيبية متوسطة.

رشّة بسمار (Spatter Dash): طبقة إنهاء للجدران الخارجية تتكوّن من مونة إسمنتية مع رمل خشن يرشّ بها سطح الجدار لتمنحه سطحاً خشناً مما يحسّن التصاق الطبقة التالية.

زجاج البوروسيليكات (Borosilicate Glass): نوع من الزجاج مكوّنه الأساسي السيليكا وأوكسيد البورون له مُعامل تمدّد حراري منخفض جداً (C at 20°C/ 6- 10x3˜) مما يجعله مقاوماً جداً للصدمة الحرارية.

زجاج عائم (Float Glass): لوح من الزجاج تمّ تصنيعه بتعويم الزجاج المصهور على سرير من القصدير المصهور. تنتج هذه الطريقة ألواح زجاج مستوية وبسماكة منتظمه.

زحف (Creep): تشوّه طويل الأمد يحدث في الخرسانة تحت تأثير حمولات ثابتة.

سطح (Deck): سطح منبسط قادر على تحمّل الأحمال يشبه الأرضية عادة يبنى في العراء.

سقف مستعار خارجي (Soffit): غطاء سفلي لأي جزء خارجي من مبنى معدني مثل المظلات أو التوسعات الخارجية للمباني.

سيخ توديع (Floating Screeds): شريحة من الطينة تُنفّذ مسبقاً لتحديد سماكة طبقة الطين اللاحقة.

شريط الوصل (Lead Came): شريط من الرصاص يستعمل للوصل بين قطع الزجاج الصغير فينتج ألواحاً أكبر ذات تصاميم خلابة.

صخور باطنية (Plutonic Rocks): تم تصلّبها ببطء ضمن القشرة الأرضية.

صخور بركانية (Volcanic Rocks): تم تصلّبها بسرعة على سطح القشرة الأرضية.

طبّة/ إفريز (Coping): المدماك العلوي من جدار حجري، سطحه العلوي مائل ليصرف مياه الطرد.

طبقة الأوكسيد (Patina): تتكوّن على سطح المعدن، غالباً ما تظهر بلون مختلف عن المعدن الأصلي.

طبقة المينا (Enamel): مادة زجاجية عادة غير شفافة تطبّق على سطوح المعادن والفخاريات بالصهر لحمايتها.

غالينا (Galena) خامات طبيعية قوامها كبريت الرصاص **(PbS)**.

فلكنة (Vulcanisation): عملية كيميائية تحوّل المطاط إلى مواد أكثر ديمومة بإضافة الكبريت.

فلوروبوليمير (Fluoropolymer): بوليمير أساسه الفلوروكربون مع مادة رابطة من الكربون – فلورين. يتميز بمقاومة عالية للمُحلاّت والحموض.

فيرميكولايت (Vermiculite): فلز موجود طبيعياً مركّب من طبقات رقيقة كالميكا.

قاطع ربط أو تماسك (Bond Breaker): مادة تستعمل لتأمين عدم التصاق عنصرين متجاورين مما يسمح لكل منهما بالحركة لوحده.

كبريت الزنك (Zinc Blende): معدن أصفر إلى البني والأسود يتكوّن من كبريت الزنك في شكل بلوري مكعّب مع كميات متفاوتة من الحديد والمنغنيز والكادميوم، والغاليوم، والإنديوم: المصدر الرئيسي للزنك. صيغته (ZnS).

كلوروفلوروكربون (Chlorofluorocarbon (CFC)): مركب عضوي طيار من

مشتقات الميتان والإيتان يحتوي على الكربون والكلور والهيدروجين والفلور.

لباب (Pith): حبل مركزي من الأنسجة الأسفنجية في سوق معظم النباتات الوعائية يعمل كمستودع.

لَبِن (Adobe): صلصال نديّ مقولب يدوياً ومجفّف تحت أشعة الشمس.

لوح الخشب المضغوط (Particleboard): يتكوّن تحت الضغط من نشارة الخشب مع مادة رابطة.

مادة متغيّرة الطّور (Phase Change Material): تمتص حرارة عندما تذوب وتحرّرها عندما تتصلّب.

ماغناتوستركشن (Magnetostriction): تغير أبعاد المواد الحديدية عندما تتعرض لحقل مغناطيسي.

مدماك حزام (String Course): مدماك أفقي رقيق بارز من الحجر أو الآجُرّ حول البناء لتأكيد التقاء طابقين أو مباشرة تحت الطنف .

معدن البنادق أو النحاس الأحمر (Gunmetal): نوع من البرونز استخدم في الأصل في صناعة البنادق.

مونوكوك (Monocoque): طريقة للتشييد يقاوم فيه البناء الأحمال بواسطة القشرة الخارجية (الغلاف).

نحاس أصفر (Brass): سبيكة من النحاس والزنك تحتوي على الزنك بنسبة ما بين 10% و45%.

نوازل مطرية (Down Pipes): الأنابيب الشاقولية في شبكة تصريف مياه الأمطار.

هلام غازي (Aerogel): مادة مسامية صنعية خفيفة جداً تُشتق من الهلام (الجل) حيث يتمّ استبدال المركّبة السائلة في الجل بمركّبة غازية فتنتج مادة صلبة قليلة الكثافة والناقلية الكهربائية وتُدعى أحياناً بالدخان المتجمّد.

وزرة الجدار (Dado): الجزء السفلي من الجدار الذي يُزيّن أو يدهن بشكل مختلف عن بقية الجدار.

ثبت المصطلحات

الفصل الأول

آجُرّ ذو وجه جميل	Fairfaced Brick
آجُرّ سليكات الكالسيوم	Calcium Silicate Bricks
آجُرّ الكلس الرملي	Sand-Lime Brick
آجُرّ المجوف سطحه	Frogged Bricks
آجُرّ الواجهة	Facing Bricks
أربطة الجدران	Wall Ties
أعمال مدنية في المواقع العامة	Hard Landscape
إفريز (طبّات التصاوين والمسابح)	Copings
ألياف البازلت	Basalt Fibre
إنهاء قابل للتنفس (مسامي)	Breathable Finish
بلاط الآجُرّ	Brick Tiles
تبقّع	Staining
تزجيج	Vitrify
تسامح	Tolerance
تشرّب الماء	Water Absorption
تلبيد	Sinter
تنسيق الآجُرّ شاقولياً	Perpends
جدران ذات فجوة	Cavity Walls

Clot	جلطة (كتلة)
Load-Bearing	حمّال (حامل للأحمال)
Chalk	حوّار/ طبشور
Aerated Concrete	خرسانة مسامية (هوائية)
Teak	خشب الساج
Durability	ديمومة
Epoxy Resin	راتنجيات الإيبوكسي
Bonding	ربط
Half-Lap Bond	ربط/ تراكب (نصفي)
Stack Bonding	ربط مكدّس
Vibrator	رجّاج (يستعمل لرصّ الخرسانة)
Brick Paving	رصف بالآجُرّ
Basket-Weave Paving	رصف على شكل حبكة السلّة
Herringbone	رصف على شكل عظم السمك
Running Bond	رصف متتابع
Brick Slips	رقائق الآجُرّ
Firing	شيّ الآجُرّ
Pegement	صباغ/ خضاب
Shale	صخر طيني
Clay	صلصال
Fired-Clay	صلصال مشوي
Fireclay	صلصال ناري
Cills	طبّات النوافذ
Coursing Units	غلقات (وحدات إغلاق المداميك)
Stack	فرك/ تشبيك
Autoclave	فرن

Kiln	فرن/ أتون
Atria	فناءات داخلية ومفتوحة
Recyclability	قابلية إعادة التدوير
Dado	قاعدة مكعّبة (الجزء السفلي من الجدار)
Slop Moulding	قولبة بالسكب
Pallet Moulding	قولبة على لوح
Mean Value	قيمة متوسطة
Abutments	كتف/ دعامة
Gross Dry Density	كثافة جافة إجمالية
Lime	كلس
Quicklime	كلس حيّ
Hydraulic Lime	كلس مائي
Hydrated Lime	كلس مطفأ
Damp-Proof	مانع رطوبة
Compressive Strength	متانة الضغط
Clamp	مُحكم
Watertight	محكم/ كتيم (ضد الماء)
Course	مدماك بناء
Biscuit Stage	مرحلة النضج
Hand-Moulded	مقولَب يدوياً
Mortars	ملاط
Light Wells	مناور
Terracotta	منحوتات طينية/ ترّاكوتا
Thermal Conductivity	ناقلية حرارية
Bas-Relief	نحت نافر
Texture	نسيج

واجهة جانبية للمنازل ذات سطوح مائلة	Gable-End
وصلات حركة/ فواصل تمدد	Movement Joints
وصلة ذات غور مقوّس	Recessed Curved Joint
وصلة متراجعة (غائرة)	Recessed Joint
وصلة المجواة	Weathered Joint
وصلة مستوية	Flush Joint
وصلة مسكة الدلو	Bucket Handle Joint
وطيدة (قاعدة العامود)	Plinth

الفصل الثاني

إنهاءات	Finishes
بروز (بروز مدماك عن الذي تحته)	Over Sail
بلوك الأطاريف	Kerb Blocks
بلوك بوجه جميل (لا يحتاج إلى تلييس)	Fairfaced Block
بلوك خرساني مسامي معالج في فرن	Autoclaved Aerated Concrete Blocks
جدار حمّال (جدار مصمّم لتحّمل الأحمال الشاقولية)	Load-Bearing Wall
جلسة النافذة (العنصر الأفقي السفلي من إطار نافذة أو باب)	Cill
حجر الزاوية (قطعة حجر للزوايا الخارجية)	Quoin
خرسانة مسامية	Aircrete
خرسانة مسامية (مهواة)	Aerated Concrete
دماعة (جزء ناتئ من افريز)	Drip
ربط مكدّس	Stack Bonding
صحة حرارية/ القيمة U	U-Value
عتبة باب أو نافذة	Lintel
غسول الكلس	Limewash
غشاء تنفس	Breather Membrane
فرن	Autoclave

Biodegradable	قابل للتحلّل حيوياً
Fibreboard	لوح من الألياف
Phase Change Material (PCM)	مادة متغيّرة الطور
Sealant	مانع تسرب
Course	مدماك
Damp-Proof Course	مدماك عازل للرطوبة
Target Emission Rate (Ter)	معدّل الانبعاث الهدف
Riven	ممزق/ معرّق
Breathable	نفوذ للهواء
Butt Joint	وصلة تناكب (وصلة تناطح رأس لرأس)

الفصل الثالث

Core Sample Test	اختبار عيّنة جزرة
Slump Test	اختبار هبوط المخروط
Anchorages	إرساءات
Stirrups	أساور (تسليح عرضي)
Portland Cement	إسمنت بورتلاندي
Admixtures	إضافات (مواد مضافة)
Aqueducts	أقنية إصطناعية
Greenhouse Emissions	انبعاثات الغازات الدفيئة
Shrinkage	انكماش
Extrusion	بثق
Pylon	برج معدني (كأبراج نقل الطاقة)
Substructures	بنى تحتية
Sieve Analysis	تحليل منخلي
Efflorescence	تزهّر/ تملّح
Concrete Spalling	تقشّر سطح الخرسانة/ تقفُّع

Sintering	تلبيد
Argillaceous	حجر كلسي صلصالي
Aggregates	حصويّات
Lightweight Aggregates	حصويات خفيفة
Recycled Aggregates	حصويّات معادة التدوير
Grout	حقين
Load Bearing	حمّال
Blastfurnace Slag	خبث الفرن العالي (منتج ثانوي لصناعة الفولاذ)
Concrete	خرسانة
Lightweight Concrete	خرسانة خفيفة
High-Performance Concrete	خرسانة عالية الأداء
Aerated Concrete	خرسانة غازية
Hempcrete	خرسانة القنب
Sprayed Concrete	خرسانة مرشوشة (مقذوفة)
Visual Concrete	خرسانة مرئية
Air-Entrained Concrete	خرسانة مساميّة
Pre-Stressed Concrete	خرسانة مسبقة الإجهاد
Precast Concrete	خرسانة مسبقة الصنع
Monolithic Concrete	خرسانة مستمرّة
In Situ Concrete	خرسانة مصبوبة في المكان
Refractory Concrete	خرسانة مقاومة للحرارة
Plywood	خشب معاكس
Concrete Mixes	خلطات خرسانية
Silica Fume	دخان السيليكا
Tower Cyclone	دوّامة برجية
Pier	ركيزة

روبة	Slurry
روبة سّطحية (طبقة سّطحية غنيّة بالإسمنت)	Laitance
زيادة في الحجم حتى 40%	Bulking
سّفع حاك	Abrasive Blasting
سقف هرمي	Hip-Roof or Hipped Roof
شبك معدني	Metal Lathing
شّد لاحق (شد الكابلات بعد تصلّب الخرسانة)	Post-Tensioning
شّد مسبق (شدّ الكابلات قبل إنضاج الخرسانة)	Pre-Tensioning
شقوق عشوائية	Map-Crazing
شقوق عشوائية متقاطعة في الخرسانة	Map Cracking
شناكل (تسليح عرضي)	Links
صخر طيني	Shale
صلصال	Clay
طينة كلس	Lime Rendering
عناصر مولّدة للرغوة	Foaming Agents
غاز ناتج من مكبّات النفايات	Landfill Gas
فجوات هوائيّة	Blow-Hole
فحم حجري مطحون	Pulverized Coal
قالب	Formwork
قالب منزلق ذاتياً	Self-Climbing Formwork
قضبان تسليح دائرية	Round Reinforcement Bars
قضبان تسليح محلزنة	Ribbed Reinforcement Bars
قضبان تسليح مسنّنة	Indented Reinforcement Bars
كحلة	Pointing
كربنة	Carbonation
كلس	Lime

Quicklime or Lump Lime	كلس حيّ
Hydraulic Lime	كلس مائي
Calcining	كلسنة
Clinker	كلينكر
Adhesive	لاصق
Carborundum	مادة حاكّة
Marl	مارل
Retarders	مبطّئات التصلّب
Screed	مدَّة إسمنتية (طبقة تسوية من الرّمل والإسمنت)
Gutters	مزاريب/ مجارٍ مطرية
Accelerators	مسرّعات التصلّب
Ductility	مطاوعة
Curing	معالجة/ إنضاج
Lime Putty	معجونة الكلس
Quarry	مقلع حجارة
Mortar	ملاط
Rough Cast	ملاط خشن
Plasticisers	ملدّنات
Superplasticizers	ملدّنات فائقة الأداء
Anchor Grips	مماسك إرساء (لتثبيت كابلات المسبق الإجهاد)
Set	يتجمّد
Harden	يتصلّب

الفصل الرابع

Greenhouse Effect	آثار دفيئة/ احتباس حراري
Permissible Stress	إجهاد مسموح
Metabolism	استقلاب

Thatch	أسقف القش
Wane	افتقار الحواف
Structural Insulated Panels	ألواح بنيوية معزولة
Flaxboard	ألواح الكتان
Fibreboards	ألواح ليفية
Split	انفلاق طولي
Shake	انفلاق على طول التجذّع
Wood Wool Slabs	بلاطات صوف الخشب
Compressed Straw Slabs	بلاطات القش المضغوط
Oak	بلوط/ السنديان
Kiln Drying	تجفيف بالفرن
Air Seasoning	تجفيف بالهواء
Planing	تسوية
Limit State Design	تصميم وفق حالات الحدود
Sanding	تنعيم
Fir	تنوب
Douglas Fir	تنوب دوغلاس (خشب الكندي)
Web	جسد العارضة
Flange	جناح عارضة
Serviceability Limit State	حالة حدّ الاستخدام
Ultimate Limit State	حالة حديّة قصوى
Poplar	حور
Birch	خشب البتولا
Beech	خشب الزان
Teak	خشب الساج
Spruce	خشب الشّوح

Laminated Timber	خشب صفائحي
Laminated Veneer Lumber	خشب صفائحي قشري
Cross-Laminated Timber	خشب صفائحي متصالب
Softwood	خشب طّري
Hardwood	خشب قاسي
Heartwood	خشب القلب
Plywood	خشب معاكس
Joinery Timber	خشب المنجور
Sapwood	خشب النسغ
Lignin	خشبين/ لغنين
Bamboo	خيزران
Shingles	دفوف الخشب
Scaffolding	سقائل
Ash Tree	شجر الدردار (المران)
Larch	شجرة الأركس
Checks	شقوق سطحية طولية
Pitch Pine	صنوبر راتنجي
Cambium	طبقة خشب الكمبيوم (من نسيج خلوي لين)
Joist	عارضة ثانوية
Trussed Rafter	عارضة علوية في الجملونات الشبكية
Gymnosperms	عاريات البذور
Mineral Wool	عازل الصوف المعدني
Breathable Insulation	عازل قابل للتنفّس
Laths	قدّة/ شريحة خشبية
Veneers	قشور الخشب
Winter Felling	قطع الشجر شتاءً

كاسيات البذور	Angiosperms
لحاء خارجي	Bark
لحاء دّاخلي	Bast
لوح حُبيبي/ نشارة الخشب	Particleboard
مستوى المياه الجوفية	Water Table
منجور (تجميع الخشب المشغول)	Joinery
نجارة	Carpentry
نواتج تشذيب الغابات/ تقليم	Forest Thinnings
وصلة تناكب	Butt Joint

الفصل الخامس

إحماء (تلدين الفولاذ بالتحمية ثم بالتبريد)	Anneal
ارتشاح الزنك (ازالة)	Leaching Of Zinc (Dezincification)
إزالة الكربون (من المعدن المصهور)	Decarburization
إطار فراغي	Space Frame
أنابيب غير ملحومة	Seamless Tubes
بثق	Extruded
حاشية/ نطاق (حزام يُثبت على النسيج لتقويته)	Welt
دهان الأساس	Primer
سبائك	Alloys
شالكوبريت (كبريت الحديد والنحاس $CuFeS_2$)	Chalcopyrite
طنف/ ظفر قصير (جزء ناتىء من جدار)	Corbel
فيرميكولايت (معدن سيليكات مائي)	Vermiculite
كالسيت (كبريت النحاسCu_2S)	Chalcocite
كسوة/ إكساء	Cladding
مدرفل على الحامي	Hot Rolled
مطاوع/ لدن	Ductile

Deoxidize	يُرجع/ يزيل الأوكسجين
Electroplate	يلبِّس بالكهرباء

الفصل السادس

Profile Metal Decking	أرضيات معدنية مكيفة المقطع
Deck	أرضية
Green Roofs	أسطح خضراء
Pitched Roof	أسطح مائلة
Asphalt	إسفلت
Mastic Asphalt	إسفلت مصطكي
Cold-Deck Roofs	أسقف ذات أرضية باردة
Warm-Deck Roof	أسقف ذات أرضية دافئة
Inverted Roofs	أسقف مقلوبة
Additives	إضافات
Hard Landscaping	أعمال صلبة (المدنية) في الموقع العام
Soft Landscaping	أعمال ليّنة (زراعية) في الموقع العام
Sarking Membranes	أغشية مغلفة
Rainwater Outlet Sleeves	أغماد منافذ مياه المطر
Fibreboards	ألواح الليفية
Ponding	برك الماء
Paving Slabs	بلاطات أرصفة
Wood Wool Slabs	بلاطات صوف الخشب
Bitumen-Saturated Polyester	بوليستر مشرّب بالقار
Extruded Polystyrene	بوليستيرين محضر بالبثق
Degrade	تدهور
Ageing	تشيخ/ شيخوخة
Fatigue	تعب

Softening	تليّن
Biodiverse	تنوّع حيوي
Gypsum	جص
Geotextile	جيوتكستايل
Vapour Barrier	حاجز للبخار
Root Barrier	حاجز للجذور
Ballast	حصى
Mat	حصيرة
Wildlife Habitat	حياة برية
Plywood	خشب معاكس
Hessian	خيش
Hand Rail	درابزون
Primer	دهان أساس
Rigid Urethane Foam	رغوة الأوريتان الصلبة
Polyolefin Laminates	رقاقات البولي أوليفين
Metal Lathing	شبك معدني
Fleece	صوف
Glass Wool	صوف زجاجي
Mineral Wool	صوف معدني
Substrate	طبقة أساس (طبقة تحتية)
Insulation Layer	طبقة عازلة للحرارة
Coating	طلاء
Weatherproof	عازل للعوامل الجوية
Waterproof	عازل للماء
Plant Cuttings	عُقل النباتات
Membrane	غشاء

غشاء القار	Bitumen Membrane
غشاء مانع للماء	Sheathing Membrane
قابلية استطالة	Extensibility
قار/ حُمَر	Bitumen
كسر الحجارة	Stone Chippings
لدائن (بلاستيك) حرارية	Thermoplastic
لوح الطينة	Plasterboard
لوح من ألياف الخشب المجدولة الموجّهة	Oriented Strand Board
لوح من نشارة الخشب المضغوطة	Particleboard
مالئ خامل	Inert Filler
متانة الشدّ	Tensile Strength
مدحاة/ أسطوانة	Roller
مسبق الصنع	Precast
مطّاط صنعي	Elastomeric
مقاومة الثقب	Puncture Resistance
مقاومة الصدم	Impact Resistance
ملدنات	Plasticisers
منظومة منع السقوط	Fall Arrest System
مواد تغطية السطح	Roofing Materials
ميل/ منحدر	Fall
نشارة الخشب	Mulch
نعلة	Upstand
نقطة الندى	Dew Point
نوافذ السطح	Rooflights

الفصل السابع

إبهام (إخفاء)	Obscuration

Kiln	أتون/ فرن
Stresses	إجهادات
Envelope Airtightness	إحكام حصر الهواء
Floor	أرضية
Cylindrical Ribbon	أضمومة أسطوانية
Iridescent Colours	ألوان متقزحة
Blow Pipe	أنبوب النفخ
Reverberation	اهتزازات مرتدّة
Residual	باقٍ (متبقٍّ)
Glass Pavers	بلاط الرصف الزجاجي
Block	بلوك (بلوكة)
Punty	بُنت
Amorphous Structure	بنية لابلورية
Potash	البوتاس (كربونات البوتاسيوم)
Borosilicate	بوروسيليكات
Photocatalytic	تحفيز ضوئي
Warehousing	تخزين
Deterioration	تدهور (تلف)
Recycling	تدوير
Spinning	تدويم
Glazing	تزجيج
Glazing Double	تزجيج مزدوج
Single Glazing	تزجيج مفرد
Roofing	تسقيف
Heat Soaking	تشريب حراري
Float Technique	تقنية التعويم

Rolling Technique	تقنية الدحرجة
Sandblasting Techniques	تقنية السفع بالرمل (الترميل)
Stacking	تكديس/ تصطيف
Mortice and Tenon	تلسين (اللسان والنقرة)
Thermochromic	تلوّن حراري
Thermotropic	تلوّن حراري مداري
Photochromic	تلوّن ضوئي
Electrochromic	تلوّن كهربائي
Softening	تليين
Dispatch	توزيع
Curtain Wall	جدار حاجب
Curtain Walling	جدران حاجبة
Forehearth	الجزء الأمامي من مقدّمة الفرن العالي
Reveals	جوانب فتحة النافذة الظاهرة
Roving	حبل
Granular	حُبيبي
Iris Diaphragm Shading Device	حجاب التظليل القزحي
Louvers	حجاب ذو شفرات (أباجور)
Lime (Calcium Carbonate)	حجر كلسي (كربونات الكالسيوم)
Bundle	حزمة
Aggregates	حصيويّات
Woven Strand Mats	حصير من ضفائر محبوكة
Glaze Stone Beads	خرز حجري
Glass Beads	خرز زجاجي
Vacuum	خلاء/ فراغ
Photovoltaic Cell	خلية كهرضوئية

Balustrade	درابزون
Stair	درج
Hologram	راسم الطيف
Paving	رصف
Central Mullion	ركيزة متوسطة
Soda Ash	رماد الصودا
Sympathetic Resonances	رنين مرافق
Glass	زجاج
Ceramic Glass	زجاج خزفي
Body-Tinted Glass	زجاج خفيف اللون
Cellular Glass	زجاج خلوي
Foamed Glass	زجاج رغوي
Glass Laminated	زجاج صفيحي
Float Glass	زجاج عائم
Variable Transmission Glasses	زجاج متبدّل الناقلية
Dichroic Glass	زجاج مزدوج الألوان
Plate Glass	زجاج مسطح
Cast Glass	زجاج مسكوب
Solid Glass	زجاج مُصمَت
Coated Glass	زجاج مطلي
Toughened Glass	زجاج مقسّى
Heat-Strengthened Glass	زجاج مقوّى بالحرارة
Cullet	زجاج مكسر مناسب للصهر
Annealed	زجاج ملدّن
Crown Glass	زجاج ملكي (قديم)
Glass Low-Emissivity	زجاج منخفض إنفاذ الضوء

Slippery	زلق
Bullion	سبيكة
Blind	ستارة حاجبة للضوء
Silica	سيليكا
Alkaline Earth Silicate	سيليكات قلوية ترابية
Translucent	شبه شفاف
Split Open	شقّ
Clear	صافي (شفاف)
Reverberation	صدى
Light-Emitting Diode (LED)	صمام ثنائي باعث للضوء (ليد)
Glass Wool	صوف زجاجي
Strand	ضفيرة
Incident Light	ضوء ساقط
Interlayer	طبقة بينية
Grinding	طحن
Bait	طُعم
Collet	طوق
Cantilevered Canopy	ظلة كابولية
Glass Beam	عارضة زجاجية
Filling Agent	عامل مالئ
Spontaneous	عفوي
Archway	عقد مقنطر
Inert Gas Fill	غاز خامد مالئ
Opaque	غير شفاف (كامد)
Wastage	فاقد (تالف)
Lehr	فرن التليين (للأشياء المصنوعة من الزجاج)

Ceramic Frit	فريت خزفي
Smart	فطن
Air Bubbles	فقاقيع هوائية
Flemish	فلمنكي
Film	فيلم (رقاقة)
Intumescent	قابل للانتفاخ
Compressible	قابل للانضغاط
Bottle	قارورة
Descriptive Code	قانون وصفي
Dome	قِبّة
Saddle Bars	قضبان استناد
Gob	قطفة/ كتلة
Cullet	كسارة الزجاج
Salt-Cake	كعك ملحي
Amber	كهرمان
Sheet	لوح (صفيحة)
Panel	لوح/ لوحة
Spandrel Panels	لوحات العوارض
Colourfast	لون ثابت
Spacer	مباعدة
Crystalline	متبلور
Frosted	متجمّد
Sandwiched	محشوّ
Acid Etched	محفور بالحمض
Lace	مخرّم (تخريم)
Decolouriser	مزيل للألوان

Conservatory	مستنبت زراعي
Forehearth	مستوقد أمامي
Pulverized	مسحوق
Jeweller’s Rouge	مسحوق الصيّاغ الأحمر
Beveled	مشطوف الحواف
Vandal-Proof	مضاد للتخريب
Bullet-Proof	مضادة للرصاص
Size Applicator	مطباق (مقياس مطابقة الحجم)
Coefficient of Expansion	معامل تمدّد
Abrasion Resistant	مقاوم للخدش
Reeded	مقصّب (مقلّم)
Chopped	مقطّع
Profile Section	مقطع مكيّف شكل
Walkway	ممشى
Domestic	منزلي/ سكني
Embossed	نافر
Aerogel	هلام غازي
Double-Skin Facade	واجهة مزدوجة السطح
Butt Joint	وصلة تناكب
Crystallize	يتبلور
Spall	يتحطّم
Sagbend	يتراخى
Loosen	يتشتّت
Shatter	يتشظّى
Splintering	يتناثر
Diffract	يحرّف

يفلطح	Flatten Out

الفصل الثامن

أبيض عاجي	Off-White
استنساخ	Reproduction
إفريز (خط التقاء السطح مع الجدار)	Eave
إيلايت	Illite
برغلة خشنة متفحمة	Grit Carborundum
بلاطات بسيطة ملساء	Plain Tiles
تبلور	Crystallization
تجوية	Weathering
تراكوتا	Terracotta
ترميم	Refurbishment
تزجيج (التحوّل إلى زجاج)	Vitrification
تزييني	Embellishment
تقعّر (خط التقاء سطحين مائلين في البناء عند التقعر)	Valley
توضعات الطمي	Alluvial Deposits
حافة	Verge
خزف حجري	Stoneware
خط التقاء سطحين مائلين في سقف البناء	Hip
خط الذروة	Ridge
رمادي داكن	Brindled
زجاجي	Glassy
صخور نارية	Igneous Rocks
صعب الانصهار	Refractory
صلصال الخزافين	Ball Clays
صلصال المايكا	Micaceous Clay

Fired Clay	صلصال مشوي
Weald And Gault Clays	صلصال ويلد وغولت
Granular Glaze	طلاء حُبيبي لامع
Rainscreen	عزل مطري
Earthenware	فخار
Formal Mosaic	فسيفساء عاديّة
Feldspar	فلدسبار
Faience	قاشاني (صيني، شيني، خزف مزخرف)
Plaster Moulds	قالب جصي
Finial	قمة/ تاج (قطعة تُركّب في ذروة البناء)
Kaolin	كاولين
Cladding	كسوة
Socket/ Spigot	كُمّ وصل وسدّ
Decorative Slab	لوح (لوحة) مزخرف
Ceramic Panel	لوحة خزفية
Matter Carbonaceous	مادة كربونية
Marl Etruria	مارل إتروريا
Keuper Marl	مارل كيوبر
Interlocking	متراكب
Biscuit Stage	مرحلة التصلب
Vitreous	مزجج
Antique	معتّق
Ochre	مغرة
Studded Profile	مقطع مرصّع
Profiled	مقطع مكيف
Plain Ashlar	مكعّب مسطّح

Mullite	مولايت
Montmorillonite	مونتموريلونايت

الفصل التاسع

Sandstones	أحجار الرملية
Limestones	أحجار الكلسية
Ashlar Masonry	أحجار متوازية السطوح
Kerbs	أطاريف
Gabions	أقفاص الحجارة
Cladding	إكساء
Basalt	بازلت
Travertine	ترافرتين (نوع من الأحجار الكلسية)
Padstones	حجر الأساس
Pumice	خفان
Stair Tread	دعسة الدرجة (الجزء الأ فقي من درجة السلم)
Dolomite	دولوميت (كربونات المغنزيوم والكالسيوم)
Onyx-Marble	رخام الأونيكس
Quarry Sap	رطوبة الطبيعية للصخر
Porticos	رواق مُعمَّد عند مدخل المبنى
Olivine	زبرجد
Sedimentary Rocks	صخور الرسوبية
Metamorphic Rocks	صخور متحوّلة
Igneous Rocks	صخور النارية
Magma	صُهارة (المغما)
Stalagmites	صواعد
Copings	طبّات
Cill	عتبة/ طبّة

غرانيت	Granite
فلسبار (سليكات الألومنيوم)	Feldspar
كالسيت (كربونات الكالسيوم)	Calcite
كورنيشة	Cornice
لسيليكا (الكوارتز)	Silica
محرز	Broached
مرمر	Alabaster
مسمسم (مدقوق بالأزاميل)	Droved
مشربية (عمود درابزين حجري)	Baluster
نوازل	Stalactite
وطيدة (قاعدة التمثال المربعة)	Plinth

الفصل العاشر

إجهاد	Stress
إطار فراغي	Space-Frame
إنطفاء الذاتي	Self Extinguishing
بيت زجاجي مستنبت للنبات	Conservatory
تبديل اللون نتيجة تغير درجة الحرارة	Thermochromism
تدرّك/ تفكّك تقهقري	Degradation
تدهور/ تلف	Cross-Link
تركيب من البثق والسحب	Pultrusion
ترموبلاستيك (يتلدن بالحرارة)	Thermoplastic
ترموست (يتصلب بالحرارة)	Thermosetting
تسكيرات الأفقية/ أسقف مستعارة	Soffits
تسكيرات شاقولية	Fascias
خلايا ضوئية	Photovoltaic Cells
ذي جزيئات ضخمة	Macromolecular

راتنج	Resin
ردهة	Atrium
زحف	Creep
صباغ قابل لتبديل لونه حرارياً	Thermochromic Pigment
طبقة عزل رقيقة من الألومنيوم وتعمل كحاجز للتكاثف	Sarking
طريقة الصقل	Calendering
عتامة/ درجة التعتيم	Opacity
لاتكس/ لبن الشجر (مطاط قبل الفلكنة)	Latex
مثبتات	Stabilisers
محميات بيئية	Biomes
مزدوج اللون	Dichroic
مطاطي	Elastomeric
مظلّات السيارات	Carports
مُعامل التمدد الخطي	Coefficients of Linear Expansion
معامل مرونة	Modulus of Elasticity
معوّقات الاحتراق	Fire Retardant
مقسٍّ	Hardener
ملدنات	Plasticisers
ملونات	Pigments

الفصل الحادي عشر

أراميدات (ألياف تركيبيّة قويّة ومقاومة للحرارة)	Aramid
إسمنت مسلّح بالألياف الزجاجيّة	Glass-Fibre Reinforced Cement (GRC)
إشباع مسبق	Preimpregnation
ألياف زجاجيّة	Glass-Fibres
ألياف الكربون	Carbon-Fibres
بوليستر مسلّح بالألياف الزجاجيّة	Glass-Fibre Reinforced Plastics (GRP)

Cold Bridging	تجسير بارد
Glass-Fibre Reinforced Gypsum (GRG)	جصّ مسلّح بالألياف الزجاجيّة
Roving	حزمة ألياف
Pultrusion	سحب
Woven Fibre Fabric	قماش ليفي منسوج
Valley Trough	مجراية مطرية بين سقفين مائلين

الفصل الثاني عشر

Panel Mouldings	إطارات محيطة باللّوحات الجداريّة
Friezes	أفاريز
Fibre-Reinforced Gypsum Boards	ألواح الجص المسلّح بالألياف
Weatherboarding	ألواح مقاومة العوامل الجويّة
Tile	بلاط
Corner Beads	خرزات الزوايا
Soffits	سقوف المستعارة الخارجية
Fascias	شرائح الإكساء الشّاقولية
Chimney Breast	صدر الموقد
Corbel	طُنُف
Plaster	طينة
Undercoat Plaster	طينة الأساس
Gypsum Plaster	طينة الجّص
Lime Plaster	طينة الكلس
Acoustic Plaster	طينة ماصّة للصّوت
Textured Plaster	طينة المزخرفة
Projection Plaster	طينة المقذوفة
Cornices	كورنيشات

Plasterboard	لوح طينة
Gypsum Screed	مدّة من الجص للتسوية

الفصل الثالث عشر

Floating Floors	أرضيّات عائمة
Sandwich Panels	ألواح ثنائية الطبقة
Particleboard	ألواح من نشارة الخشب
Conduction	انتقال حراري بالتلامس
Convection	انتقال حراري بالحمل
Insulation Blankets	بطانيات عزل
Insulation Batts	بلاطات عزل
Pentane	بنتين (صيغته الكيماوية (C_5H_{12}))
Borax	بوراكسبورات البُوْرَق/ بورات الصوديوم (مسحوق أبيض متبلِّور)
Thermal Bridging	تجسير حراري
Purlins	جوائز الثانوية
Hempcrete	خرسانة القنب
Airborne Sound	صوت محمول بالهواء
Glass Wool	صوف زجاجي
Embodied Energy	طاقة متضمّنة
Joists	عوارضثانوية
Rafters	عوارض مائلة/ عوارض رئيسية مائلة
Hydrophobic	كاره للماء
Polystyrene Beads	كريّات البوليستيرين
Isopropyl Chloride	كلوريد الإيزوبروبيل (صيغته الكيماوية (C_3H_7Cl))
Forehearth	مقدّمة الموقد/ المجمرة
Cellular Plastics	مواد بلاستيكية خلوية
Emissivity	نفاذية الضوء

الفصل الرابع عشر

جدران حاجبة	Curtain Walls
حركة ناتجة من الحرارة	Thermal Movement
حركة ناتجة من الرطوبة	Moisture Movement
حشوات الإغلاق	Gaskets
ذاتي التسوية	Self-Levelling
صوف معدني	Mineral Wool
عامل التماسك	Bonding Agent
عديم الارتخاء	Non-Sag
فترة حياة على الرف	Shelf Life
فترة حياة في الوعاء	Pot Life
قضبان وزرات الجدران	Dado Rails
قطع التغطية (الإغلاق)	Flashings
لدن	Plastic
مرن	Elastic
مرنة/ لدنة	Elastoplastic
مقاطع الألومنيوم الأفقية	Transoms
مقاطع الألومنيوم الشاقولية	Mullions
مواد لاصقة	Adhesives
موانع التسرّب	Sealants
موانع تسرّب الماء	Waterstops
موزايك	Terrazzo
نعلات البلاط	Skirting Boards
هبوطات	Settlements

الفصل الخامس عشر

إضاءة	Lightness

Hue	درجة لونية
Primer	دهان الأساس
Intumescent Coatings	دهانات انتفاخية
Fungicide Paints	دهانات مبيدة للفطريات
Varnishes	دهانات الورنيش
Hexachrome	سداسية الألوان
Wood Stains	صباغ الخشب
Chroma	صفاء اللون
Finishing Coat	طلاء الإنهاء
Undercoats	طلاء سفلي

الفصل السادس عشر

Light Tubes	أنابيب ضوئية
Groundwater Cooling Systems	أنظمة التبريد بالمياه الجوفية
Solar Air Heating Systems	أنظمة تسخين الهواء الشمسية
Phase Change Systems	أنظمة تغّير الطّور
Heat Pump Systems	أنظمة ضخّ الحرارة
District-Heating	تدفئة مناطقية
Natural Stack Ventilation	تهوية المدخنة الطبيعية
Photovoltaics	خلايا كهرضوئية
Thermosyphon	سيفون حراري
Damper	صمّام
Wind Turbines	عنفات الرياح
Amorphous	غير متبلور
Wind Catchers	لاقطات الرياح
Solar Collectors	مجمّعات شمسية
Inverter	محوّل

هواء عادم	Exhaust Air

الفصل السابع عشر

أشغال الجدران الجافة	Drywall
بالات القش	Straw Bales
تراب مدموك	Rammed-Earth
خرسانة ورقية	Papercrete
قماش قطني رقيق	Scrim
لَبِن	Cob
ماصّ للرطوبة	Hygroscopic

الفصل الثامن عشر

احتباس حراري	Global Warming
استدامة	Sustainability
انبعاثات	Emission
انبعاثيّة/ النفاذية للضوء	Emissivity
جريان المياه	Water Run-Off
طاقة حيويّة	Biomass
علوم البيئة	Ecology
مواد بكر	Virgin Material

الفهرس

ـ أ ـ

الآجر الخرساني: 73 ـ 77، 104
الآجر الصلصالي: 19 ـ 20، 25، 31، 34، 39، 42، 44، 46 ـ 49، 63، 67 ـ 68، 70 ـ 74، 76 ـ 77، 104، 720
أخطار الحريق: 322
الأردواز: 200، 211، 415، 576 ـ 578، 581، 585، 590، 648، 657، 720، 735، 772 ـ 773، 775
أسبدين، جوزيف: 119
إسمنت ألومينات الكالسيوم: 134، 150 ـ 152
الإسمنت البورتلاندي: 19، 49 ـ 50، 52، 90، 120، 123 ـ 126، 128 ـ 145، 149 ـ 153، 159، 164، 168، 174 ـ 175، 178، 212، 308، 318، 410، 419، 653 ـ 654، 794 ـ 795، 799
إسمنت سلفوألومينات الكالسيوم: 153
الاسمنت المسلّح: 164، 480، 578، 618، 645، 653 ـ 657، 720 ـ 721، 730
الإسمنتية: 33، 119، 163، 212، 402، 656، 694، 734 ـ 736، 740
أسيتات البولي فينيل: 735، 737 ـ 738، 740
الأشّعة السّينيّة: 254، 674
الإشعاع الشمسي: 513، 515، 521 ـ 523، 719، 770 ـ 771، 805
الأشعة فوق البنفسجية: 232، 419، 449، 451، 458، 462 ـ 464، 482، 485، 491، 497، 501، 521، 552، 608، 618، 626، 630، 648، 722، 732، 765
الإطارات معادة التدوير: 798
الأطر الخشبيّة: 126، 261، 367، 551، 697
الأطر الفولاذية: 77، 367
إعادة التدوير: 48، 100، 130، 388، 398، 624، 629، 633، 653، 679، 789، 791، 805،

807، 812 ـ 815
أعمال الترميم: 124، 320، 459، 555، 657، 660، 675
أكاسيد الصوديوم: 130، 653
أكاسيد الكبريت: 129
أكاسيد النيتروجين: 129
الأكريلونتيريل بوتاداين ستيرين: 604، 626
أكياس الرمل: 799 ـ 800
ألواح البوليكربونات: 263
الألواح الخشب الحبيبية: 304
ألواح الخشب السكريمبر: 312
ألواح الصلصال: 109، 798
ألواح الطينة: 261، 669 ـ 672، 674، 676، 678 ـ 679، 807، 815
ألواح الفولاذ: 351، 386
ألواح الكرتون المسطحة: 791
الألواح الليفية: 226، 289، 312 ـ 315، 457، 703
الألومنيوم: 90، 150، 153، 162، 226، 284، 343، 375، 380، 382 ـ 396، 399، 401، 405، 407، 410، 418، 420، 422 ـ 423، 428، 448، 450، 453، 458، 476 ـ 477، 508، 512، 514، 524، 527 ـ 528، 541، 551، 576، 583، 587، 611، 618، 624، 631، 647، 670، 674، 686، 691، 700، 707 ـ 708، 719 ـ 720، 725، 731 ـ 732، 757 ـ 758، 760، 774، 812
ألومينات الكالسيوم: 134، 146، 150 ـ 153، 174
ألياف السيلولوز: 672، 679، 791
ألياف الكربون: 646، 649 ـ 651
الأملاح: 42 ـ 43، 48، 69، 143، 155، 178، 419، 424، 516، 588، 673
أملاح الليثيوم: 179
الأنابيب الضوئية: 769، 777، 796
الأنتيموني: 150، 285
أنظمة التبريد بالمياه الجوفية: 780
أنظمة التسخين الشمسية الهوائية: 777
أنظمة التشغيل التقليدية: 756
أنظمة التهوية: 780
الانقطاع البنيوي: 107
أنواع الإسمنت: 131، 133، 135 ـ 138، 141 ـ 142، 152، 178، 184، 686، 734
الأوكسجين: 29، 226، 229، 268، 345، 347 ـ 348، 376 ـ 377، 387، 398 ـ 400، 402، 405، 408، 426، 589، 602، 618 ـ 619، 695
أوكسيد الأنتيمون: 285، 760
أوكسيد التيتانيوم الأبيض: 139، 756
أوكسيد الحديد: 20، 29، 73، 126، 130، 139، 143، 153، 345،

402، 420، 485، 543، 545 ـ 546، 549، 565، 567، 580، 761، 763
أوكسيد الكالسيوم: 122 ـ 123، 126، 476 ـ 477
أوكسيد المغنزيوم: 121 ـ 122، 130، 153
أوكسيد النيتروجين: 212
إيبوكسي سلفايد: 512

ـ ب ـ

بخار كيميائي: 517
البلاط الخرساني: 112 ـ 113، 208، 211، 459
بلاطات الصّوف الخشبي: 289، 319، 689 ـ 690
البلوك الخرساني: 62، 83 ـ 84، 86 ـ 87، 89 ـ 91، 94 ـ 98، 102، 104، 107، 110 ـ 112، 114، 122، 689، 705، 720
البلوك الخرسانيّ الخفيف: 98، 689
بوتا، ماريو: 19، 21
البوتادايين: 149، 166، 207، 452، 604، 629
البوتاسيوم: 42، 130، 474، 476 ـ 477، 544
بولي إيزوبوتيلين: 461، 512
البولي إيزوسيانورات: 294، 457، 687، 696، 704 ـ 705، 707 ـ 708، 774، 809
البولي بروبيلين: 53، 147، 163، 192، 452، 462، 552، 616، 618 ـ 619، 630، 632 ـ 633، 790
بولي سلفايد: 46، 512، 585
البولي فينيل: 378، 384 ـ 385، 391، 394، 418، 449، 459 ـ 460، 491، 496 ـ 497، 514، 522، 608 ـ 610، 701، 704، 725، 735، 737 ـ 738، 740، 810
بولي الفينيل كلوريد: 601، 605، 619
البولي كربونات: 482، 626، 696
بولي كلوروبرين: 732، 737
البولي ميتيل: 514، 625
البولي يوريثان: 46، 90، 179، 204، 294 ـ 295، 378، 385 ـ 386، 394، 403، 450، 458، 464، 516، 585، 610، 646، 685 ـ 686، 696، 701، 703 ـ 709، 725، 730، 751، 761، 763 ـ 764
البوليستر: 166، 202 ـ 203، 378، 384 ـ 386، 391، 394، 418، 446 ـ 447، 449، 451 ـ 452، 459، 462، 464، 480، 491، 497، 512، 607 ـ 608، 610 ـ 611، 615 ـ 616، 619، 621، 629، 645 ـ 654، 689، 699، 721، 730، 740، 751
البوليستيرين: 62، 90، 160، 162،

165، 203 ـ 204، 294، 450،
454، 457 ـ 458، 460 ـ 461،
602، 610، 616، 619، 632 ـ
633، 656، 671 ـ 672، 679،
695، 701 ـ 704، 707، 737،
740، 796، 809
البوليستيرين المبثوق: 90، 460، 671،
679، 695، 703، 707، 796
البوليميرات: 9، 166، 179، 455،
603 ـ 605، 608، 613، 618،
623، 627، 630، 652 ـ 653،
732، 734 ـ 735، 762
بوليميرات هيدروكسيلية: 147

ـ ت ـ

التحلّل البيولوجي: 264، 301، 322
التدوير: 11، 48، 100، 130، 154،
159، 185، 388، 398، 576 ـ
577، 582، 624، 629 ـ 630،
633، 653، 672، 678 ـ 679،
696، 698 ـ 699، 789 ـ 791،
794، 798 ـ 799، 805، 807،
812 ـ 815
التراب المدموك: 794 ـ 795، 799
التربيوم: 519
التسليح الفولاذي: 61، 132، 143،
145، 179، 185 ـ 186، 188 ـ
189، 191 ـ 193، 199، 205
التعديل البنيوي: 197
التقييم البيئي: 815
التيتانيوم: 139، 149، 212، 343،
394، 416 ـ 418، 420 ـ 424،
458، 477، 485، 608، 756 ـ
758

ـ ث ـ

ثاني أوكسيد التيتانيوم الأبيض: 756
ثاني أوكسيد الكبريت: 19، 381،
398، 418، 678
ثاني أوكسيد الكربون: 19، 119 ـ
120، 122 ـ 123، 126، 129 ـ
130، 142، 145، 152 ـ 154،
166، 179، 225 ـ 229، 264،
402، 418، 475 ـ 476، 628،
703، 705، 708 ـ 709، 789،
797، 803 ـ 804، 810
ثاني كلوريد فلوانيد: 763
ثنائي أوكسيد الكربون: 68، 284،
503 ـ 504، 543
ثنائي أوكسيد المنغنيز: 25

ـ ج ـ

جدران داخلية: 165، 671
الجص الصّخري: 666
جيني، وليام لوبارون: 344

ـ ح ـ

الحجر الجيري: 90، 344 ـ 345، 408
الحجر الكلسي: 73، 119 ـ 120،
122 ـ 124، 126 ـ 130، 132،

137، 139، 141، 145 ـ 146،
149 ـ 153، 176 ـ 177، 455،
473، 476، 553، 570، 573 ـ
575، 578، 581، 587 ـ 591،
654، 668، 677 ـ 678، 690،
720
الحجر المصبوب: 591 ـ 594
الحـــديـــد: 14، 20 ـ 21، 29، 73،
120، 126، 130، 139، 141،
143، 145، 149، 153، 158،
160، 343 ـ 346، 351 ـ 354،
369، 375، 377 ـ 378، 380 ـ
383، 398، 402، 405، 420،
426 ـ 427، 474، 476 ـ 477،
485، 519، 543، 545 ـ 546،
549، 565، 567، 569 ـ 570،
580، 585، 590 ـ 591، 616،
625، 738، 749، 757 ـ 758،
761، 763، 774
الحديد المنصهر: 345
الحرارة النسبية: 513
حركة الرطوبة: 32، 45 ـ 46، 71،
76، 86، 180، 243، 245 ـ
246، 249، 269، 298، 656،
764
حشوات الإغلاق: 717، 730 ـ 733
الحـصـويـات: 73، 86، 90، 119،
123، 125، 130، 132 ـ 133،
135، 149، 151، 154 ـ 160،
162 ـ 163، 167، 169، 176،
178، 180، 182، 184، 189،
193، 204 ـ 206، 581، 591،
653 ـ 654، 656، 666، 689،
795 ـ 796، 798
حصويّات الباريتس: 674
الحصويّات الخشنة: 155 ـ 159، 169،
204، 795

ـ خ ـ

الخرسانة الرغوية: 149، 688
الخرسانة المرئية: 154، 156، 166،
184، 197 ـ 199، 201، 205 ـ
206، 209
الخرسانة الورقية: 799
الخشب الطبيعي: 312، 652، 763 ـ
764
الخلايا الكهرضوئية: 522، 769 ـ
775، 781

ـ د ـ

دهان الأساس: 394، 757 ـ 758
الدهانات: 314، 380 ـ 381، 385 ـ
386، 747 ـ 749، 751، 755 ـ
757، 759 ـ 763
دهانات الورنيش التقليدية: 764
الديسبروسيوم: 519

ـ ر ـ

راتنج الفينول فورمالدهيد: 309
راتنجات الإيبوكسي: 738 ـ 739

الراتنجية التفاعلية: 734
الربط الفلمنكي: 53، 72
الرسوم الجدارية: 762 ـ 763
رغوة الفينوليك: 294، 303، 671، 707
الرغوة المطاطية: 46

ـ ز ـ

الزجاج الصافي: 474، 499، 513، 520
الزجاج الصفيحي: 478، 484، 492، 495 ـ 497، 501 ـ 502، 514، 517 ـ 518، 521، 527 ـ 529
الزجاج الصفيحي المقسى: 502، 527، 529
الزجاج العازل: 500 ـ 502، 513، 524
الزجاج الهلامي: 502
زيت بذر الكتان: 723، 756
زيت بذر الكتان الطبيعي: 756

ـ س ـ

الستيكو: 324
السيلولوز: 230 ـ 232، 241، 248، 260، 268، 271، 277، 304، 324، 672، 679، 698، 738، 757، 791
السيليكا: 20، 68، 123، 125، 130، 133 ـ 134، 136 ـ 137، 143 ـ 146، 159، 164، 173، 178 ـ 179، 232، 473، 476 ـ 477، 501، 512، 542، 544 ـ 545، 553، 562، 565، 567، 569، 654، 679، 690، 695 ـ 696، 756
سيليكات ثلاثية الكالسيوم: 133
سيليكات ثنائية الكالسيوم: 131 ـ 133، 140، 152
سيليكات الكالسيوم: 67 ـ 72، 74 ـ 77، 132، 134، 146، 150، 159، 164، 174، 370، 679 ـ 680، 686، 688، 695، 720 ـ 721
سيليكات الكالسيوم المائية: 68، 132
سيليكات المغنزيوم: 153 ـ 154
السيليكون: 134، 145، 204، 346، 353، 375، 378، 380، 382 ـ 383، 390 ـ 392، 403، 405، 407، 464، 479، 481، 512، 523، 527 ـ 529، 548، 585 ـ 586، 591، 653، 725، 728 ـ 729، 732، 762، 769 ـ 774

ـ ص ـ

الصخور النارية: 541، 561 ـ 562، 565
الصدأ المتقشر: 188
الصّوف الزّجاجي: 450، 480، 674، 692 ـ 693، 699

الـصّـوف المعـدني: 92 ـ 93، 294، 319، 456، 656، 671، 690 ـ 693، 698 ـ 699، 729
الصلصال: 19 ـ 22، 25 ـ 34، 38 ـ 39، 42، 44، 46 ـ 49، 59، 63 ـ 65، 67 ـ 68، 70 ـ 74، 76 ـ 77، 83، 90، 98 ـ 100، 104، 109، 111، 119 ـ 120، 123 ـ 124، 126 ـ 127، 130، 139، 156، 159، 162، 210، 455، 541 ـ 546، 549 ـ 554، 557، 574 ـ 576، 608، 653، 668، 679، 688، 720 ـ 721، 791، 794 ـ 795، 798
الصناعات الكيميائية: 14، 343
الـصـوديـوم: 42، 130، 133، 174، 177، 279 ـ 280، 285، 387، 422، 476 ـ 477، 544، 553، 591، 620، 653، 729، 763
الـصيـانـة: 19، 24، 38، 53، 123، 186، 258، 320 ـ 322، 384 ـ 385، 408، 423، 446، 448، 457، 463 ـ 465، 467، 484، 508، 546، 551، 555، 576، 585، 624، 702، 756، 764، 814

ـ ض ـ

الضّبط الصّوتي: 683

ـ ط ـ

الطاقة الشمسية: 384، 510، 513، 772، 777، 781، 799، 806، 808، 811
الطلاء: 179، 248، 276، 285، 369 ـ 370، 373، 379 ـ 386، 391 ـ 392، 394، 403، 418، 443، 452، 458، 463، 485، 510 ـ 511، 513، 517، 591، 655، 722 ـ 723، 736، 757 ـ 762، 764
الطلاء اللامعة والحريرية: 758

ـ ظ ـ

الظروف البيئية: 190، 291، 311 ـ 312، 314 ـ 315، 317 ـ 318، 386، 401، 798

ـ ع ـ

عملية الأوكسجين: 347

ـ غ ـ

غاز الزينون: 506
غاز الكربون: 683
غاز الكريبتون: 506
غـاز الـهـيـدروجـين: 90، 425، 674

ـ ف ـ

الفتالوسيانين: 150

الفحم الحجري: 127 ـ 129، 139، 144 ـ 145، 161، 344، 546، 678
الفطريات: 232، 241، 247، 266، 268 ـ 271، 273، 278 ـ 280، 282 ـ 283، 301، 306، 308، 319، 322، 673، 698، 706، 728، 738، 761 ـ 762، 765، 790
فورد، بريان: 13
الفوسفور: 346، 360، 375، 398، 400، 405، 407، 579
الفولاذ: 15، 53، 60 ـ 62، 77، 130، 132، 141، 143، 145، 147، 154 ـ 155، 160 ـ 161، 163 ـ 164، 172، 179، 185 ـ 186، 188 ـ 189، 191 ـ 194، 197 ـ 199، 201 ـ 203، 205، 207، 226 ـ 227، 258، 263، 284، 287، 291، 318، 322، 343 ـ 386، 388 ـ 389، 391، 394، 396، 401 ـ 402، 405، 407، 411، 415، 418 ـ 420، 422 ـ 423، 428، 444، 491 ـ 493، 508، 512، 527، 551، 579، 583 ـ 585، 590، 592، 618، 620، 647، 658، 665، 675، 680، 691، 694، 719 ـ 720، 732، 739، 758، 760 ـ 761، 791، 812 ـ 814
الفولاذ البنيوي: 351، 355 ـ 359، 361، 366 ـ 371، 444، 680، 720، 760 ـ 761
الفولاذ الرقيق: 512

ـ ق ـ

القش: 99، 164، 188، 227، 238 ـ 239، 246، 261، 263، 288 ـ 289، 295 ـ 298، 303، 307، 319 ـ 322، 325، 387، 411، 420، 423، 484، 522، 561 ـ 562، 575، 587 ـ 589، 591، 619 ـ 621، 665، 696، 739، 776، 789 ـ 792، 795 ـ 796
القنّب: 125 ـ 126، 304، 319، 630، 665، 674، 676، 687، 699
قيمة انعكاس الضوء: 752، 754

ـ ك ـ

الكابلات الفولاذية: 194، 373
كبريت المغنيزيوم: 351
الكبريتات: 42، 48، 51، 69، 74، 110، 112، 125، 131 ـ 132، 136 ـ 137، 139 ـ 140، 143 ـ 145، 166، 174 ـ 175، 177، 182 ـ 183، 408، 656، 719
كبريتات الأمونيوم: 69
الكربورندوم: 204، 548

الكربون العضوي: 145
كربونات الكالسيوم: 68، 120، 123، 126، 179، 476، 553، 565، 567، 569 ـ 570، 573، 575، 578، 589، 756
كريّات البوليستيرين: 701
الكلس الرملي: 67 ـ 68
الكلس الصوّاني: 67 ـ 68
كلنكر: 120، 127 ـ 130، 135، 137، 140، 143، 150، 159
الكلوروفيل: 228، 269
كلوريد الكالسيوم: 148، 189، 381
كميات الضوء: 513
الكوارتز: 164، 543، 554، 557، 562، 564 ـ 565، 579
الكوريان: 631
كولينان، إدوارد: 263، 387، 417

ـ ل ـ

لاقطات الرياح: 769، 780 ـ 781

ـ م ـ

مادة الترفينول- د: 519
المجمعات الشمسية: 769، 774 ـ 775، 777
مصطلح الزجاج: 473
مضخات الحرارة: 779
مطرقة شميدت: 185
معادن الحديد: 343، 351، 519، 738، 757 ـ 758
المغنزيوم: 42، 120 ـ 122، 130، 153 ـ 154، 174، 177، 183، 390، 422، 565، 589
الملاط: 33، 40، 42 ـ 43، 45 ـ 47، 49 ـ 54، 56 ـ 57، 59 ـ 60، 62، 67 ـ 69، 71 ـ 72، 76 ـ 77، 85، 89، 92، 99، 103 ـ 104، 107، 109 ـ 110، 119، 122 ـ 125، 132، 139، 141، 146، 148 ـ 149، 159، 166، 201، 211، 312، 389، 482 ـ 483، 546، 573، 581، 592، 594، 654، 689، 719، 736
الملاط الكلسي: 49، 52 ـ 53، 124، 573
الملدّنات: 146 ـ 147، 460، 594، 605، 608 ـ 609، 653، 666
المنتجات البتروكيماوية: 757
منظومات الصرف الصحي: 112
المنظومة الأوروبية: 756
المواد البلاستيكية: 203، 601 ـ 602، 605 ـ 612، 615 ـ 617، 619، 627، 629 ـ 630، 632 ـ 634، 686، 719، 721، 737، 739، 751، 754
المواد البلاستيكية الترموستية: 606 ـ 607، 612، 627
المواد الترموبلاستيكية: 606 ـ 607، 610 ـ 611، 616 ـ 617، 634
مواد التنظيف: 618، 762 ـ 763

مواد السيانوأكريليت: 739
مواد سيراميكية: 686
المواد المطاطية: 607، 610، 628
موانع التسرب: 474، 617، 717، 722 ـ 730
الميتاكاولين: 179، 653، 656
الميلامين فورمالدهيد المكبرت: 147
ميلور، دايفد: 411، 582

ـ ن ـ

نظام بانتون: 747، 755
نظام بيلكينغتون: 523
نظام ترميز لوحة ألوان الرسم: 747
نظام تهوية سلبي: 810
نظام تهوية ميكانيكي: 810
نظام لوحة الألوان الرئيسية: 754
نظام اللون الطبيعي: 747 ـ 751
نظام مانسيل: 747
نوفيل، جان: 523
النيتروجين: 129، 212، 259، 348، 377، 479، 602، 610، 695
النيوبرين: 203، 610، 617، 629، 732

ـ هـ ـ

الهياكل الإطارية الخشبية: 302
الهيدروفلوروكربون: 705، 708
هيدروكسيد الصوديوم: 591
هيدروكسيد الكالسيوم: 122، 144، 151، 179
الهيدروكسيكاربوكسيلية: 148
هيدروكلوروفلوروكربون: 708
هيكسافلورايد الكبريت: 515