مبادئ عمليات تشكيل المعادن

تأليف

المهندس حارث الجبوري

harithaljobory@gmail.com

المحتويات

الفصل الأول تشكيل المعادن ٨

١-١ تصنيع منتجات الفولاذ ٩

١-٢ خطوات إنتاج الفولاذ ١١

١-٣ درفلة الألواح والصفائح (PLATE AND SHEET ROLLING) :..... ١٤

١-٤ تشكيل المعادن ١٥

١-٤-١ الخصائص العامة لعمليات تشكيل المعادن :..... ١٥

١-٥ عمليات التشكيل البارد COLD WORKS..... ١٦

١-٥-١ المميزات (مقارنة بالتشكيل على الساخن) :..... ١٦

١-٥-٢ العيوب: ١٦

١-٥-٣ خصائص المواد التي تشكل على البارد : ١٧

١-٦ عمليات التشكيل الساخن HOT FORMING..... ١٨

١-٧ التشكيل الدافئ WARM WORKING ١٩

١-٨ العمليات الإنتاجية لتشكيل المعادن..... ٢٠

الفصل الثاني مبادئ عمليات التشكيل ٢١

٢-١ الجريان اللدن (PLASTIC FLOW) و الخضوع (YIELDING) ومفهوم الخضوع (YIELD CRITERIA) والجهود الرئيسية (PRINCIPAL STRESSES). ٢٢

٢-٢ منحنى الجهد\ الانفعال العام ٢٢

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٢-٢-١ العلاقة بين الانفعال الهندسي والانفعال الحقيقي : ٢٨

٢-٢-٢ العلاقة بين الجهد الهندسي والجهد الحقيقي :..... ٢٨

٢-٣ الجهد السطحي (PLANE STRESS) والانفعال السطحي (PLANE STRAIN) ٢٩

٢-٣-١ الجهد السطحي: (خصائص) ٢٩

٢-٣-٢ الانفعال السطحي: (خصائص) ٣٠

٢-٤ التشوه المنتظم والشغل الزائد REDUNDANT ٣١

٢-٤-١ التشوه المنتظم HOMOGENEOUS DEFORMATION : ٣٢

٢-٤-٢ الشغل الزائد: ٣٢

الفصل الثالث الــدرفــلة ٣٤

٣-١ الدرفلة ROLLING ٣٥

٣-٢ الخصائص العامة للدرفلة..... ٣٥

٣-٣ مبادئ عملية الدرفلة: ٣٦

٣-٤ عمليات الدرفلة العامة:..... ٣٧

٣-٥ انواع معامل الدرفلة:..... ٣٨

٣-٦ الدرفلة التشكيلية SHAPE ROLLIG ٤١

٣-٧ حساب القوة اللازمة للدرفلة..... ٤٤

٣-٨ عزم الدرفلة والطاقة:-..... ٤٧

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الرابع الطــرق ٥١

٤-١ الطرق:-..... ٥٢

٤-٢ عُدد المكابس PRESS TOOLS :-..... ٥٣

٤-٣ الخصائص العامة للطرق:- ٥٤

٤-٤ طرق القالب المفتوح:- ٥٤

٤-٤-١ خصائص الطرق للقالب المفتوح:- ٥٦

٤-٥ طرق القالب الــمغلق IMPRESSION..... ٥٦

٤-٥-١ خصائص الطرق المغلق:-..... ٥٩

٤-٦ طرق القوالب المغلقة عديمة الزوائد FLASH LESS ٦٠

٤-٧ ملاحظات عن تصميم القالب:- ٦١

٤-٨ فوائد استعمال التزييت:-..... ٦٢

٤-٩ الطرق المضغوط :- ٦٢

٤-١٠ الطرق المقلوب UPSET..... ٦٣

٤-١١ احتكاك هيل HILL FRICTION:- ٦٥

٤-١٢ معادلات الطرق ٦٦

الفصل الخامس البثق ٧٢

٥-١ البثق EXTRUSION :-..... ٧٣

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٥-٢ متغيرات العملية:- ٧٥

٥-٣ البثق الأمامي (المباشر DIRECT):- ٧٦

٥-٤ البثق الخلفي (غير مباشر INDIRECT):- ٧٦

٥-٥ البثق الصدمي (IMPACT) :- ٧٦

٥-٦ بثق الأشكال المجوفة HOLLOW SHAPES :- ٧٧

٥-٧ ملاحظات عن تصميم القالب:- ٧٩

٥-٨ تحليل القوى في عمليات البثق:- ٨٠

٥-٩ البثق في القالب المخروطي TAPERED DIE :- ٨٣

الفصل السادس السـحـب ٨٦

٦-١ عملية السحب DRAWING PROCESS :- ٨٧

٦-٢ متغيرات العملية :- ٨٨

٦-٣ السحب متعدد المراحل MULTI-PASS DRAWING :- ٨٩

٦-٤ طرق سحب الأنابيب TUBE DRAWING :- ٩٠

٦-٥ الخطوات العامة لعملية سحب الأسلاك:- ٩٢

٦-٦ خصائص سحب السلك:- ٩٤

٦-٧ الانفعال في عملية السحب STRAIN IN DRAWING PROCESS :- ٩٦

٦-٧-١ تحليل جهد السحب :- ٩٨

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل السابع تشكيل الصفائح المعدنية ١٠٤

٧-١ القص SHEARING :- ١٠٥

٧-١-١ مراحل عملية القص :- ١٠٦

٧-١-٢ تأثير الخلوص CLEARANCE:- ١٠٧

٧-١-٣ قوة الـــمشكل :..... ١٠٩

٧-١-٤ التجزئة PARTING:-..... ١١١

٧-١-٥ التثقيب والتجويف PIERCING & BLANKING:- ١١٢

٧-١-٦ التجويف الدقيق FINE BLANKING:-..... ١١٣

٧-١-٧ التحديد TRIMMING:- ١١٤

٧-٢ الحني BENDING :-..... ١١٧

٧-٢-١ الارتداد الخلفي أو الرجوعية SPRING BACK :- ١٢٠

٧-٢-٢ اقل نصف قطر للتشكيل:- ١٢١

٧-٢-٣ عمليات الحني الشائعة:- ١٢٢

٧-٢-٤ حساب قوة الحني..... ١٢٦

٧-٣ السحب العميق DEEP DRAWING :- ١٣٠

٧-٣-١ العوامل الرئيسة المؤثرة على عملية السحب العميق (للصفائح الدائرية):- ١٣٣

٧-٣-٢ ملاحظات عامة : ١٣٤

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-٣-٣ خصائص المادة المناسبة لعملية السحب العميق:-.....١٣٥

٧-٣-٤ السحب العميق بدون لوحة مسك:-.....١٣٥

٧-٣-٥ إعادة السحب REDRAWING :-.....١٣٦

٧-٣-٦ ضبط السمك IRONING.....١٣٧

المصادر :.....١٣٩

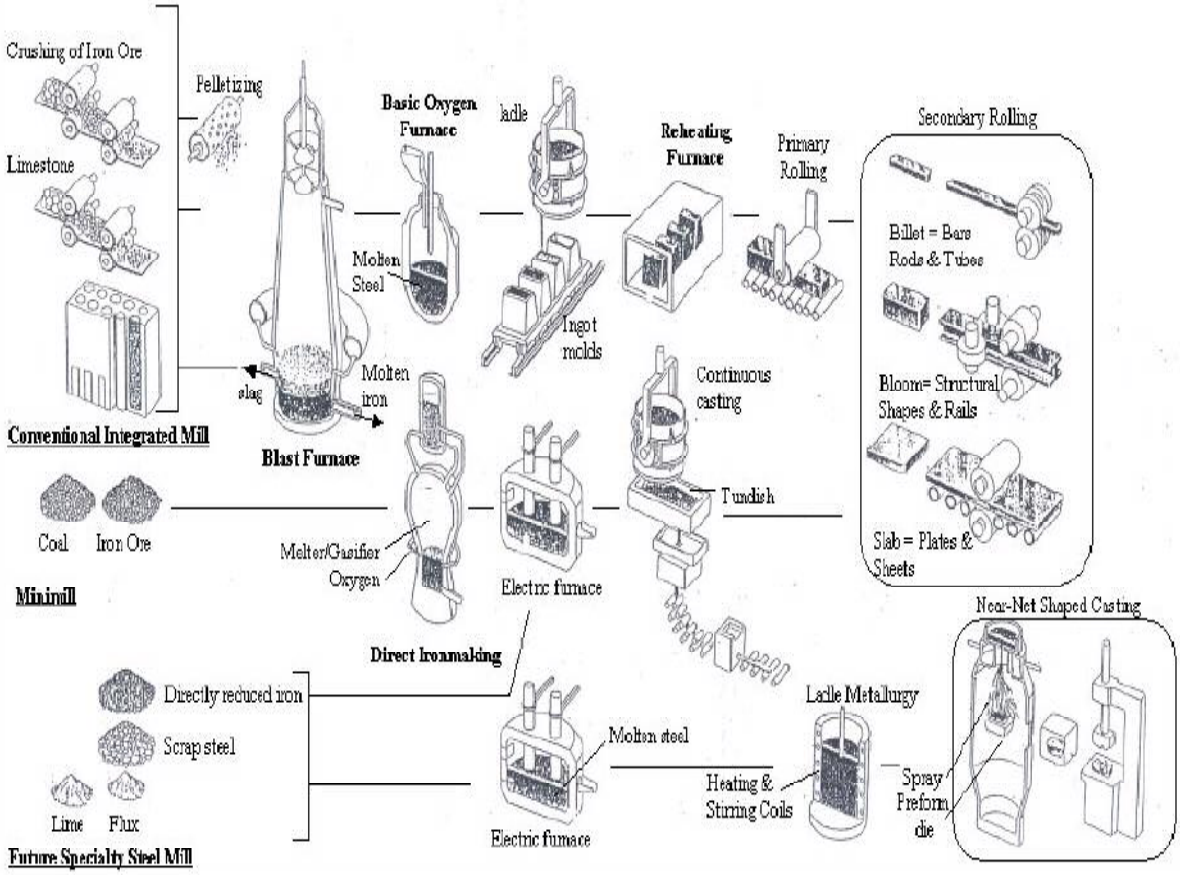
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الأول تشكيل المعادن

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

١-١ تصنيع منتجات الفولاذ

يعتبر الفولاذ عمود الصناعة والحضارة الحالية لذلك فان معرفة كيفية تصـــنيع الفـــولاذ وتهيئته ليصبح جاهزاً لعمليات التشكيل النهائية (موضوع هذا الكتاب) جزء مهم من فهم عمليات التشكيل. وقد تم تناول الفولاذ خاصة و ذلك لأهميته فـــي الصـــناعة و لتشـــابه عمليات تصنيعه مع عمليات إنتاج وتصنيع باقي المعادن.



شكل (١-١) مخطط توضيحي لخطوات انتاج الفولاذ من خاماته

ينتج الفولاذ بأشكال وأنواع مختلفة وفقا لنوع المعمل الذي ينتجه ، و هناك ثـــلاث أنـــواع رئيسية من المعامل هي :

١-المعمل المتكامل (Integrated Mill) : عمليات المعمل المتكامل تتضمن عمليتين :

١- بداية ونهاية (Front-end) : و تتضمن :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

أ – تحضير الفحم ، خام الحديد وحجر الكلس ومن ثم شحنها الى فرن النفخ (Blast furnace) حيث يتم اختزال خام الحديد (للتخلص من الأوكسجين) ويسخن الحديد لدرجة الانصهار حيث ينفصل الخبث (Slag). وهناك الان مصانع حديثة يتم فيها استخلاص الحديد من الخامات بدون الحاجة الى عمليات الصهر. ويتم إنتاج الحديد كذلك بالاختزال المباشر لتقليل المخاطر البيئية، وذلك بالحد من استخدام فحم الكوك ، فظهرت أساليب بديلة لمعالجة الحديد، أحدها هو اختزال الحديد مباشرةً باستخدام الغاز الطبيعي. تختزل خامة الحديد إلى مادة تشبه المسحوق تسمى الحديد الأسفنجي، التي تستخدم في صناعة الصلب. تتكون العملية من تفاعلين رئيسيين:

• أولاً: أكسدة الغاز الطبيعي بمساعدة عامل محفز وحرارة.

$$2\ CH4 + O2 \rightarrow 2\ CO + 4\ H2$$

• ثانياً: هذه الغازات تدفع إلى فرن مشحون بخامة الحديد، عند درجة حرارة بين ٨٠٠–٩٠٠ درجة مئوية، لينتج الحديد الإسفنجي.

$$Fe2O3 + CO + 2\ H2 \rightarrow 2\ Fe + CO2 + 2\ H2O$$

تزال السيليكا بإضافة خبث كالحجر الجيري في خطوة تالية.

ومع نهاية ثمانينات القرن العشرين، وصل إنتاج حديد الاختزال المباشر إلى حوالي ٥٠ مليون طن\سنة. تمتاز هذه الطريقة في إنتاج الحديد بأنها:

١. لا تحتاج إلى فحم الكوك غالي الثمن والغير متوافر.
٢. تكلفة إنشائها أقل بكثير من تكلفة إنشاء الفرن اللافح.
٣. تقنيته بسيطة ويسهل استخدامها.
٤. الحديد الناتج من هذه العملية خال من الكربون بينما الحديد الغفل الناتج عن الفرن اللافح يحتوي تقريبا على ٤ % كربون.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

ب- تتم عمليات تنقية الحديد (Refining) لتحويله إلى فولاذ (Steel).

٢-العمليات النهائية :

تشير إلى عمليات السباكة وإعادة التسخين والدرفلة لتحويل الفولاذ من منصهر إلى منتجات بأشكال قابلة للنقل والتجهيز مثل الاسطوانات (Rods) والأنابيب (Tubes) وتراكيب البناء (Structural beams) والألواح (Plates) والصفائح (Sheets).

٢-المسابك الصغيرة Minmill:

في المصانع الصغيرة يستخدم الفولاذ التالف (الخردة) لإعادة تصنيعه إلى فولاذ جديد أو يصنع بإضافته إلى منصهر الحديد القادم من أفران الاستخلاص. ومن أمثلة هذه المصانع مصانع الإنتاج المستمر التي تعتبر استثمار صغير ومربح مقارنة بأفران النفخ حيث يعتمد فيها إنتاج الفولاذ على خام الحديد والفحم (Coal) (بدلا من فحم الكوك) كمواد أولية. ويتم حاليا إنتاج الحديد فيها بصورة مستمرة.

٣ - مسابك الفولاذ الخاص (Specially steel mill) :

معامل الصلب الخاصة تعتمد أيضا على الخردة ، لكنها على خلاف المعامل الصغيرة تميل لإنتاج الفولاذ ذو المواصفات الواطئة للأسواق المحلية فيما تنتج الفولاذ السبائكي عالي الجودة حسب طلب الزبائن. و تقوم معامل الفولاذ الخاص الحديثة بإضفاء الجودة العالية لمنتجاتها عن طريق عملية تنقية إضافية للفولاذ ومعاملة منصهر الفولاذ السبائكي في محطات سباكة خاصة ومن ثم تحويلها الى أشكالها النهائية.

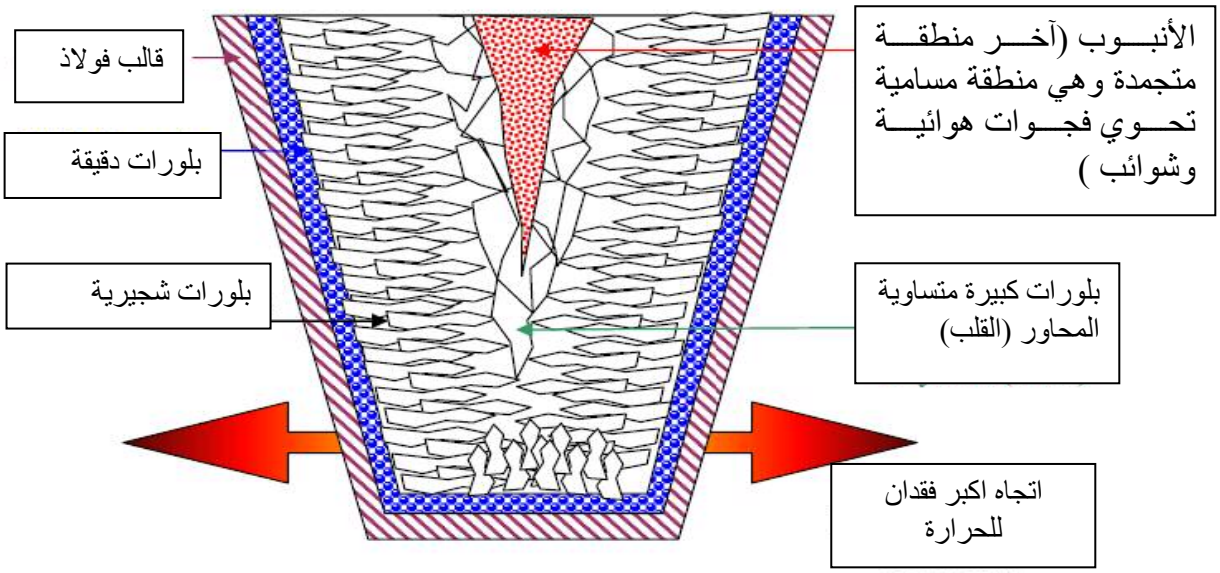
١-٢ خطوات إنتاج الفولاذ

١. يتم صب منصهر الفولاذ الخارج من الأفران في بودقة ومن ثم يسكب في قوالب على شكل مصبوبات (Ingot). للقالب زوايا جانبية كبيرة لتسهيل إخراج المصبوبة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (١-٢) شكل مبسط لشكل المصبوبة

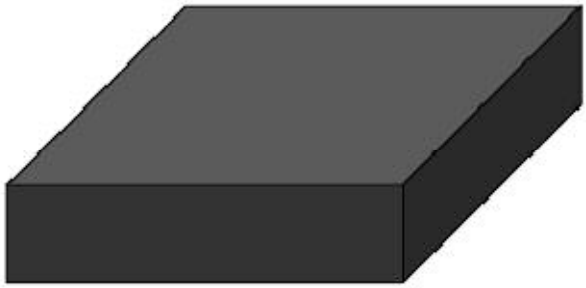
تمتاز المصبوبة (الشكل (١-٣)) بضعف خواصها الميكانيكية بسبب تركيبها البلوري الناتج من انجماد المسبوكة ، لذلك يتم امرار المصبوبة بمراحل اخرى لتحسين خواصها الميكانيكة وتسهيل عملية مناقلتها.



شكل (١-٣) يظهر الشكل التركيب البلوري لمسبوكة من خام الحديد في حالتها الجامدة.

٢. يتم نقل مصبوبة الفولاذ (Ingot) الى افران اخرى وصبها من جديد لتصبح جاهزة لاغراض الدرفلة. تكون أبعاد المصبوبة عادة ١.٧٥ × ٦.٥ × ٦.٥ متر ويصل وزنها الى ٨٠٠٠ كلغم (٨ طن). كما في الشكل (١-٤).

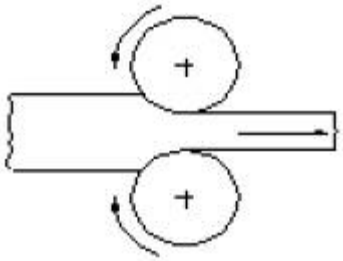
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (١-٤) مصبوبة جاهزة لعملية الدرفلة.

٣. يتم تسخين الفولاذ لدرجة ١٢٠٠م° حيث يصبح مطيلي جدا ومناسبا لعملية الدرفلة (Rolling). وتتم درفلة المصبوبة للحصول على مقاطع بأبعاد مختلفة وهذه العملية تجري في معمل التسنين (Cogging Mill) ومعمل التسطيح (Slabbing Mill).

٤. معمل التسنين عبارة عن درفيلين (اسطوانتين) مع دعامة عالية يصل قطر الدرفيل فيها إلى 500 mm. شكل (١-٥).



شكل (١-٥) شكل يوضح عمل معمل التسنين.

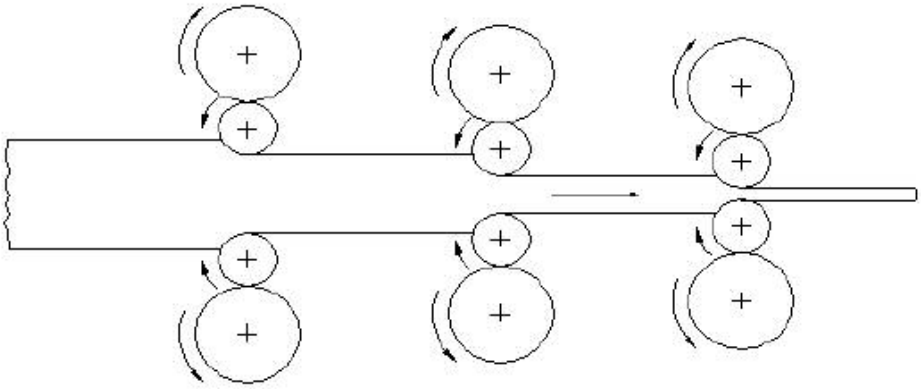
يتم في معمل التسنين تقليل مقطع المصبوبة ليصبح بشكل مربع متجانس طول ضلعه ١٧٥ ملم مع طول للمصبوبة يصل ١٥ متر ، وحينها تسمى المصبوبة (Bloom). شكل (١-٦).

شكل (١-٦) المصبوبة بعد معمل التسنين

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

يتم ضغط المصبوبة ذهابا وإيابا بعكس اتجاه دوران الدرفيل خلال كل شوط لغاية الحصول على مقطع مربع ١٧٥ ملم في نهاية الشوط الأخير.و للحصول على المقطع المنتظم يتم تدوير المصبوبة ٩٠ درجة خلال أشواط الدرفلة. تستغرق هذه المرحلة لدرفلة المصبوبة والحصول على الـ (Bloom) حوالي دقيقتين.

٥. يتم إنتاج المقاطع القياسية (Standard sections) هي (Rods) و (Bars) من الـ (Billet). الـ (Billet) هو عبارة عن (Bloom) يتم تقطيعه إلى خمسة أقسام متساوية الطول ومن ثم يتم إعادة درفلته إلى مقاطع اصغر لتسهيل عملية نقله. الـ (Billet) تدرفل في معامل اصغر تتكون من عدة درافيل ثنائية او من عدد أكثر حسب التصميم. الشكل (١-٧).



شكل (١-٧) عملية انتاج الـ (Billet).

٦. تسخن الـ (Billet) مرة أخرى لدرجة حرارة مناسبة ويتم إدخالها إلى خط درفلة مستمر للحصول في آخر مرحلة على الحجم النهائي المطلوب.

٧. تؤدي الاستطالة عند كل مرحلة إلى زيادة سرعة القطعة تدريجيا والدرفيل عند كل حامل يدور أسرع من سابقه إلى ان تصل السرعة النهائية إلى ما يقرب من ٢٠ ميل في الساعة.

١-٣ درفلة الألواح والصفائح (Plate and Sheet Rolling) :

١. تعمل معامل التسطيح (Slabbing) على مبدأ مشابه لعمل معامل التسنين ، في هذه المعامل تحتوي الدرافيل على جزء منبسط كبير حيث يتم تشكيل ألواح الفولاذ بواسطة التقليص المتتابع للمصبوبة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٢. تتم إعادة درفلة الـ (Slab) الناتج من معمل التسطيح الى ألواح (Plate) وصفائح (Sheets) من الفولاذ.
٣. للحصول على الألواح (Plates) يسخن الـ (Slab) وتتم درفلته بحامل ثنائي أو رباعي متغير الاتجاه.
٤. تنغلق الدرافيل باتجاه بعضها تدريجيا مع كل شوط ذهابا وإيابا مسببة تقليل تدريجي للحصول على السمك المطلوب للوح.
٥. اللوح في النهاية يقطع الى العرض والطول المطلوبين.
٦. يعاد تسخين الـ (Slab) أثناء عملية الدرفلة الى درجة حرارة الدرفلة ١٢٠٠م° ويمرر خلال سلسلة من الحوامل الثنائية ، يعمل كل حامل على تقليل سمك الـ (Slab) بنسبة معينة.
٧. عند تصنيع الصفائح (Sheets) فان الصفيحة الخارجة من المرحلة الأخيرة تلف على بكرات كبيرة.
٨. يتم تحديد العرض المطلوب في المرحلة الأخيرة بواسطة مقص دوار يقطع الـ (Strip) للعرض المطلوب قبل لفه.
٩. ينتج الـ (Strip) الضيق باستعمال شفرات قطع متعددة.
١٠. يكون السطح النهائي لجميع أنواع الفولاذ المدرفل على الساخن اسود اللون بسبب تكون قشرة من الاوكسيد الأسود على السطح.

١-٤ تشكيل المعادن

١-٤-١ الخصائص العامة لعمليات تشكيل المعادن :

- الاستفادة من قابلية المعدن على الجريان بصورة لدنة في الحالة الصلبة.
- تشكيل المعدن الى الشكل المطلوب دون ازالة كميات منه.
- المعدن المفقود هو اقل ما يمكن او معدوم.
- تحتاج إلى قوى كبيرة وطاقة عالية.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- المكائن والعدد المستخدمة في التشكيل تكون مرتفعة الكلفة لذلك يجب أن يكون حجم الإنتاج كبير لتكون العملية اقتصادية.

من طرق تصنيف عمليات التشكيل ، التصنيف وفقا لدرجة حرارة المعدن المشكل.
وبذلك تصنف كالأتي:

١-٥ عمليات التشكيل البارد Cold Works

- تجري هذه العمليات عادة في درجة حرارة الغرفة.
- قد تستخدم درجات الحرارة العالية عرضيا لتحسين المطيلية.
- تكون عمليات إعادة التصنيع غير نافعة.

١-٥-١ المميزات (مقارنة بالتشكيل على الساخن) :

- لا يحتاج إلى تسخين (او اقل مقدار ممكن).
- إنهاء سطحي جيد للمنتج.
- يمكن الحصول على دقة أبعاد جيدة تغني عن الحاجة لعمليات إضافية.
- تحسين مقاومة الشد ومقاومة الكلال ومقاومة البليان (الاصلاد الاجهادي يحسن مقاومة الخضوع).

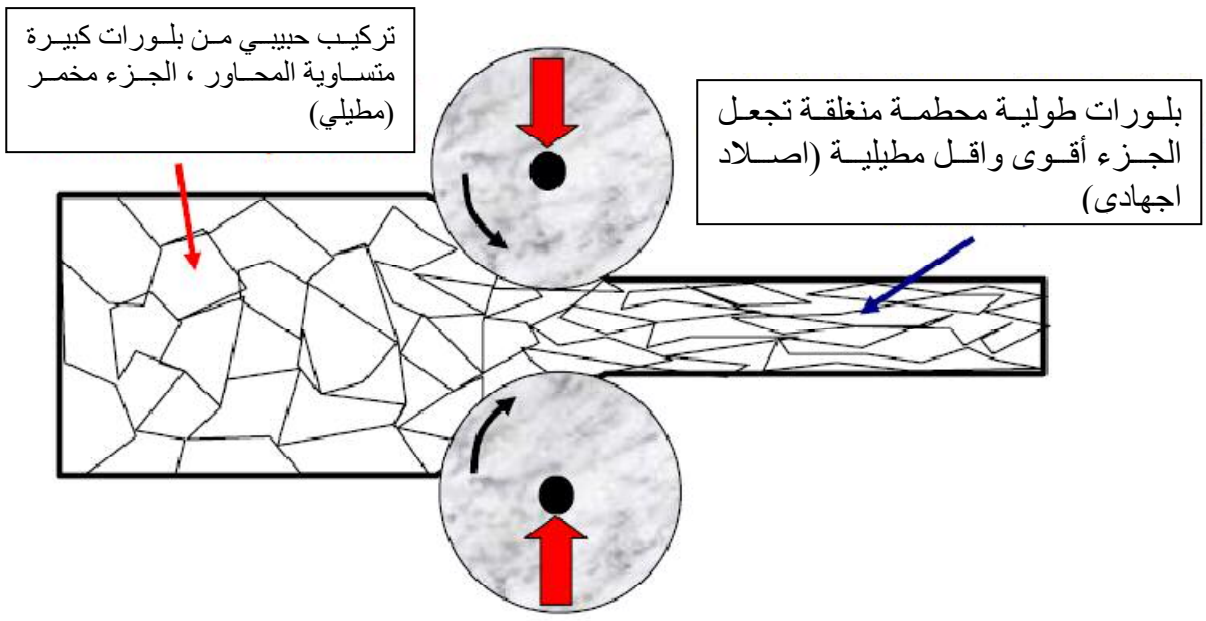
١-٥-٢ العيوب:

- يحتاج قوى عالية (مقاومة الخضوع للمادة المشكلة تكون أعلى ، المطيلية اقل ، الاصلاد الاجهادي يحدث بسبب التشوه اللدن) لذلك تحتاج عمليات التشكيل على البارد معدات أثقل وأعلى قدرة لذلك تستخدم للإنتاج الكمي.
- سطوح المعدن يجب أن تكون نظيفة وخالية من الاكاسيد حيث ان وجود الاكاسيد أو الصدأ يسبب بليان وعطب القوالب والدرافيل.
- من المحتمل ان تتخلف جهود داخلية (Residual stresses) في المعدن.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

١-٥-٣ خصائص المواد التي تشكل على البارد :

- يفضل أن يكون المعدن ذو مقاومة خضوع واطئة ومطيلية عالية (بينما تتم عمليات القطع (Shearing) بصورة أفضل للمواد القصفة (Brittle).
- تفضل المواد ذات معامل المرونة العالي مع مقاومة خضوع واطئة مما يقلل من الرجوعية (Spring back).
- يجب أن يزال الصدأ من السطح بواسطة حمام حامضي (Pickling) (يغطس في الحامض ومن ثم يتم غسله).
- للحصول على أبعاد جيدة للمعدن يجب ان يكون ذو سمك متجانس وسطح صقيل لذلك فان الصفائح المعدنية أحيانا تحتاج إلى عملية تشكيل بسيطة على البارد قبل دخولها إلى عملية التشكيل الرئيسية.
- يمكن تفادي ظاهرة نقطة الخضوع (وهي شائعة في فولاذ واطئ الكاربون) بواسطة شوط من الدرفلة على البارد.
- اذا كانت عملية التشكيل تتضمن معدل تشويه كبير فان مطيلية المعدن يمكن زيادتها قبل العملية بواسطة معاملة حرارية تسمى التخمير (Annealing) حيث تكون عمليات التخمير وسطية أثناء مراحل التشكيل لزيادة المطيلية (Ductility).



شكل (١-٨) تأثير عملية الدرفلة الباردة على سلوك البلورات

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

١-٦ عمليات التشكيل الساخن Hot Forming

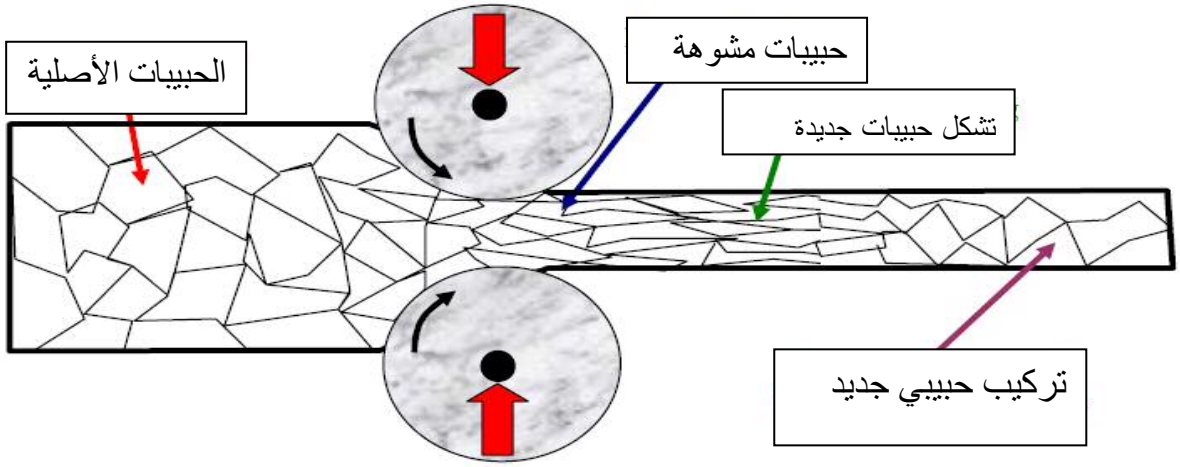
- تكون درجة الحرارة في هذه العمليات عادة أعلى بمقدار (٠,٦) من درجة حرارة انصهار المعدن المشكل. إذا كانت درجة حرارة التشكيل عالية جدا فانها ستسبب نمو حبيبات خشنة كبيرة (تسبب ضعف مقاومة الفولاذ. إذا كانت درجة الحرارة منخفضة كثيرا سيتم تشويه الحبيبات مما يسبب حدوث اصلاد اجهادي يُصعب عملية التشكيل.

درجة الحرارة هي أعلى من درجة حرارة التبلور (Recrystallization Temperature) لذلك فان التبلور يحصل بصورة مستمرة خلال التشكيل. وهكذا فان درجة الحرارة تعتمد على المادة المشكلة. تستبدل البلورة المشوهة نتيجة التشكيل ببلورات وليدة (بطور التشكل) ذات حجم اصغر. إذن التشكيل الساخن لا يعني بالضرورة استعمال درجة حرارة عالية ، فبعض المواد تكون درجة حرارة تبلورها هي ذاتها درجة حرارة الغرفة مثل الرصاص والقصدير. نستنتج من ذلك ان مفهوم التشكيل البارد الصحيح هو التشكيل في درجة حرارة اقل من درجة حرارة التبلور.

- التشوه اللدن فوق درجة حرارة التبلور لا يسبب اصلاد اجهادي وبالتالي لا تحدث زيادة في مقاومة الخضوع وبذلك يصبح مخطط الجهد_الانفعال الحقيقي (True stress–strain curve) أفقي مستمر (Flat) فوق قيمة مقاومة الخضوع وهكذا فانه يمكن إجراء تغييرات جذرية وكبيرة في شكل المعدن بدون حدوث فشل أو تسليط قوى عالية جدا.
- تحسن درجة الحرارة العالية عملية الانتشار للعناصر لذلك فان التشوه اللدن يساعد في التغلب على عيوب.
- يمكن الاستفادة من التشوه اللدن في عملية التشكيل الساخن للحصول على تركيب من حبيبات كروية الشكل ناعمة عشوائية الاتجاه تحدث زيادة في المقاومة والمطيلية والمتانة Toughness.
- باستعمال التشويه اللدن الساخن تتعرض الجسيمات الشائبة في المعدن للتحطيم حيث تنتشر لتكون الياف طولية تجعل المعدن أقوى وتقلل حدوث التشققات.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- بالنسبة للفولاذ يجري التشكيل الساخن في طور الاوستنايت F.C.C (وهو اكثر مطيلية مقارنة بالفرايت B.C.C المتواجد في درجات حرارة اقل).
- الدقة في الأبعاد متدنية بسبب التمدد الحراري وبسبب عدم حدوث تبريد متجانس (المقاطع الرقيقة والسطوح المتماسة مع القالب تبرد أسرع من القلب) ، يمكن تحسين التبريد المتجانس بتسخين العدد والقوالب الا ان ذلك يقلل من عمر خدمتها.
- يسبب التبريد غير المتجانس بقاء اجهادات في المعدن.



شكل (١-٩) تأثير عملية الدرفلة الساخنة على شكل البلورات

١-٧ التشكيل الدافئ Warm working

- عادة يتم بين (٠,٣ – ٠,٦) من درجة حرارة الانصهار.
- عملية متوسطة بين التشكيل الساخن والبارد (من حيث المزايا والعيوب).
- لا يحدث تغير في التركيب المعدني حيث لا يتعرض سطح المعدن للأكسدة والظروف الأخرى عند العمل في درجات الحرارة العالية.
- من الممكن الحصول على ألياف مستمرة تزيد من مقاومة الجزء.
- هذه العملية غير شائعة نسبيا (في مجال التطوير).
- تستعمل بصورة رئيسية للأجزاء الكبيرة والفولاذ الكربوني الحاوي على نسبة كاربون أعلى من ٠,٣٥ % او الفولاذ عالي المحتوى السبائكي.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

١-٨ العمليات الإنتاجية لتشكيل المعادن

- الدرفلة Rolling
- الطرق Forging
- البثق Extrusion
- السحب Drawing
- عمليات تشكيل الصفائح المعدنية Metal Sheet forming وهي عمليات ساخنة وباردة وباستعمال نفس التقنيات والمكائن.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الثاني مبادئ عمليات التشكيل

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٢-١ الجريان اللدن (Plastic Flow) و الخضوع (Yielding) ومفهوم الخضوع (yield criteria) والجهود الرئيسية (Principal Stresses).

لدينا ستة نقاط رئيسية يجب معرفتها لادراك كيفية حدوث عملية التشكيل :

١. لحدوث الجريان اللدن للمعدن يجب أن يجهد بعد نقطة الخضوع (Yield point).
٢. تتضمن عمليات تشكيل المعادن (Metal forming) تحليلات جهود معقدة لمركبات محورين او ثلاث محاور للحصول على جهد مباشر σ (Direct stress) وجهد قص τ (Shear stress).
٣. نحتاج لبعض صيغ التعريف لنظرية الخضوع (Yield theory) التي تمكننا من فهم وتحديد الأنواع المختلفة من حالات الجهد.
٤. سنقوم بمقارنة الجهود الحقيقية المعقدة المسلطة على جزء ما مع بيانات جهد الخضوع (Yield stress) المأخوذة من اختبار فحص الشد Tensile test.
٥. سيكون مفهوم الخضوع مبنيا على الجهود الرئيسية Principal stresses.
٦. الجهود الرئيسية : هي محصلة مركبات القوى المسلطة على سطوح محددة (السطوح الرئيسية Principal planes) والتي تكون عليها جهود القص مساوية للصفر.

لتوضيح معنى الخضوع لا بد من معرفة تصرف المعادن عند تسليط الجهود عليها :

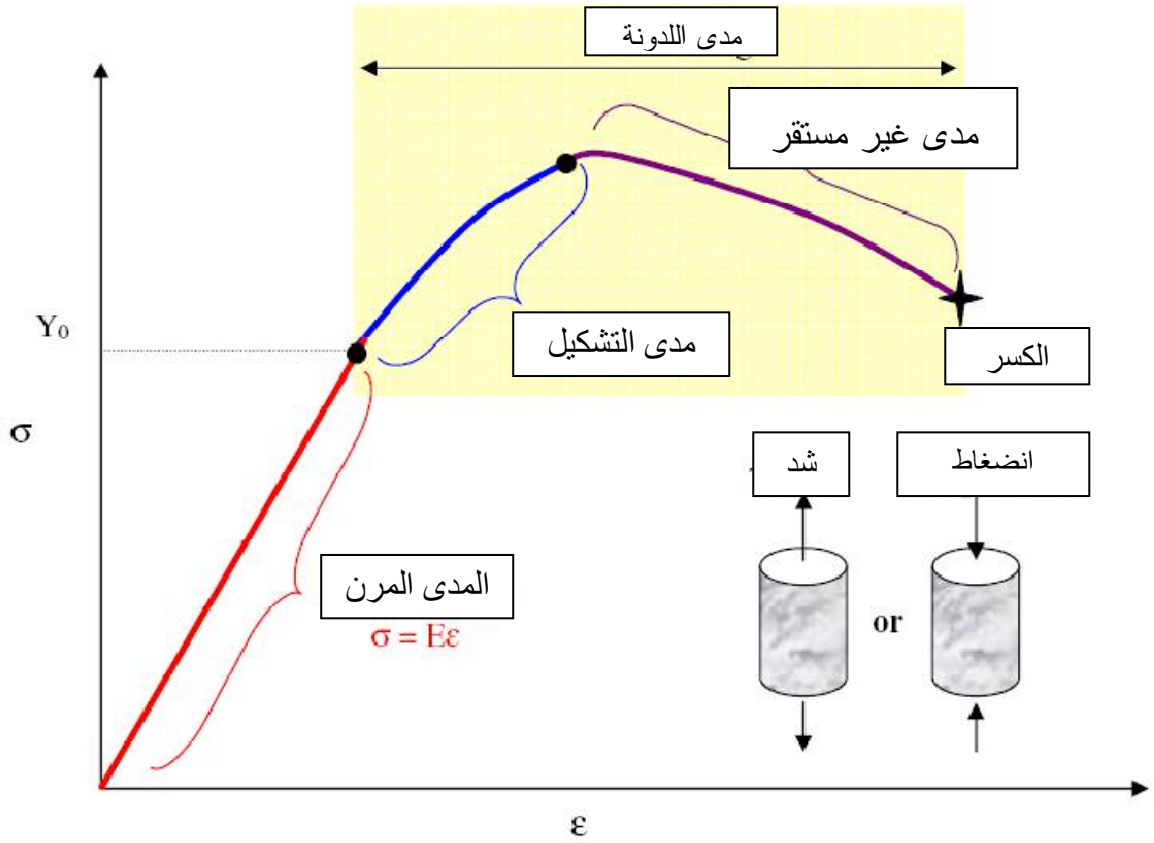
٢-٢ منحنى الجهد\ الانفعال العام

يمر الجزء عند تسليط جهد شد أو ضغط بمرحلتين مميزتين:

١. مرحلة الاجهاد المرن Elastic stress : عند تحرير الجزء من الجهود في أية نقطة في هذا المدى يعود الجز إلى شكله الهندسي الاصلي وأبعاده الأولية.
٢. مرحلة الاجهاد اللدن Plastic stress : فيه يتعرض الجزء إلى تشوه دائم نتيجة الجهود المسلطة والمتزايدة لحين الوصول إلى إجهاد الشد الأقصى

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

Ultimate Tensile stress و حينها يبدأ المعدن بالفشل وينكسر بعد ذلك ، شكل (٢-١).



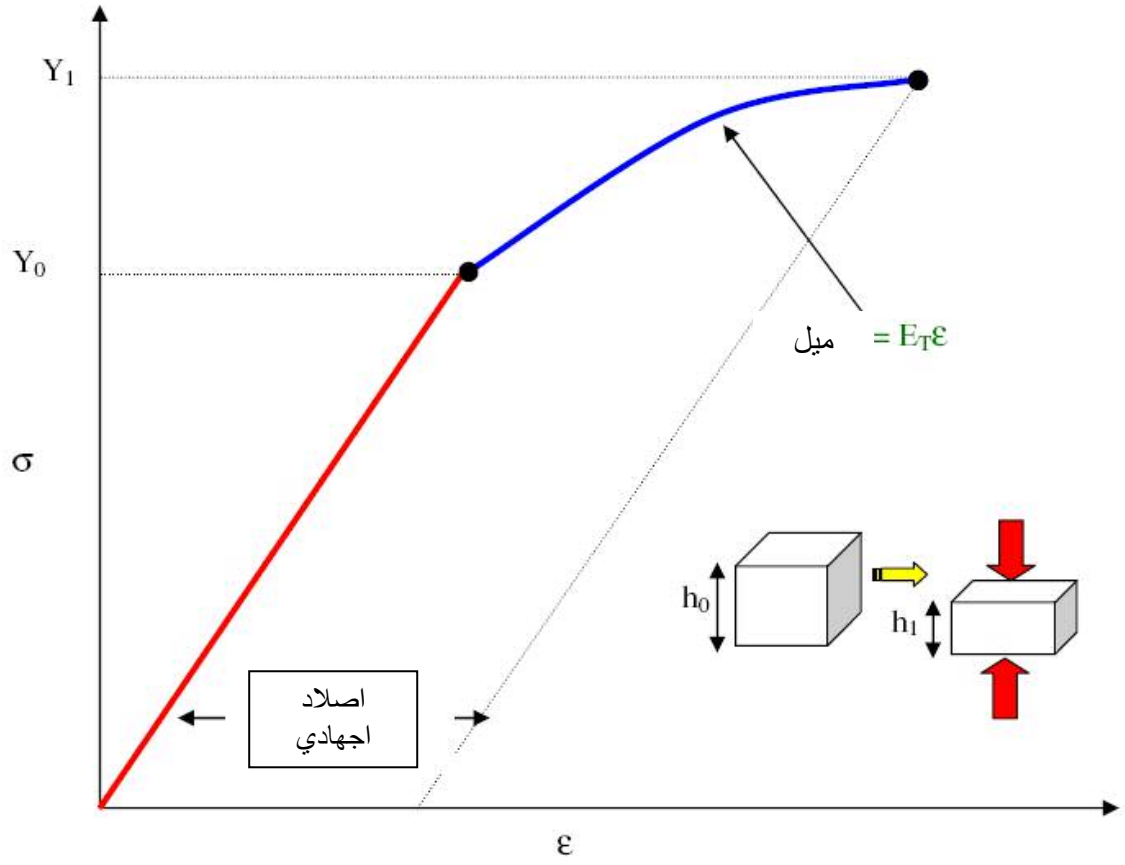
شكل (٢-١) منحني الاجهاد – الانفعال

في منطقة التشوه (Deforming) (في هذا النص سنسميها منطقة التشـــكيل Forming) وبعد تعرض المادة لجهد معين (وهو جهد الخضوع Y_o) تبدأ بالخضوع والانتقال مـــن حالة المرونة إلى حالة اللدونة حيث يصبح التشوه دائمي. هذا التشوه اللدن للمادة يسبب ما يسمى التصليد الانفعالي Strain hardening (وهذا مرتبط بنوع المادة ودرجة الحرارة). هذا التصليد الانفعالي يزيد من مقاومة المادة وبذلك تصبح لها نقطة خضوع جديدة اعلـــى من السابقة.

فعلى سبيل المثال لو أتينا بجسم مكعب من الفولاذ مقاومتـــه للخضـــوع الابتدائيـــة هـــي 500 N/mm^2 ، ثم ضغطنا هذا الجسم بواسطة الطرق لتقليص ارتفاعه بنسبة 20% فان

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

ذلك سيسبب أصلاد انفعالي له. و سنجد ان مقاومة الخضوع لهذه المادة ارتفعت لتصـــل الى $620.42\ N/mm^2$.



شكل (٢-٢) شكل يبين منحني الاجهاد –الانفعال للمادة المطروقة.

اذن كيف نستطيع حساب قيمة مقاومة الخضوع الجديدة للمادة بعد التشكيل ؟

في مدى المرونة (شكل ٢-٢) نلاحظ وجود خط مستقيم يعبر عنه بـــ :

$$\sigma = Ee$$

حيث ان E هو معامل المرونة و e هو الانفعال الهندسي Engineering strain

$$e = \frac{\Delta h}{h_o} = \text{Engineering strain}$$

في حالة تقليص الارتفاع لجسم ما بواسطة الضغط Compression تكون :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

h_o هو الارتفاع الاصلي

و Δh هو التغير في الارتفاع ويساوي $h_1 - h_0$

في مدى التشكيل Forming range نلاحظ ان الشكل يعبر عنه بـــ :

$$\sigma = E_T \varepsilon$$

حيث إن E_T هو معامل اللدونة Plastic modulus و ε هو الانفعـــال الحقيقـــي True strain

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h}{h_o}\right)$$

في حالة تقليل ارتفاع الجسم بواسطة الطرق (h_o هو الارتفاع الأصلي و Δh هو التغيـــر في الارتفاع ويساوي $h_0 - h_1$)

سيكون حساب مقاومة الخضوع الجديدة للمادة باستخدام المعادلة

$$Y_1 = Y_0 + E_T \varepsilon$$

ملاحظة مهمة: (**من المهم جدا استعمال الانفعال الحقيقي True strain في هذه الدراسة**)

أمثلة على فائدة الانفعال الحقيقي.

مثال : (أ) ذراع طوله l_o تمدد طوله بانتظام حتى وصل $l=2l_o$. احسب قيم الانفعالين الهندسي والحقيقي لهذه الاستطالة ؟

(ب) ما هو الطول النهائي l لذراع كان طوله الأولي l_o ثم ضـــغط ، علمـــا إن قيمـــة الانفعالين (ما عدا الإشارة) كما في الفرع (أ) ؟

الجواب :

(أ) الانفعال الهندسي e يساوي :

$$e = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{2l_o - l_o}{l_o} = 1.0$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الانفعال الهندسي ε يساوي :

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_o}\right) = \ln(2) = 0.693$$

(ب)

$$e = -1 = \frac{l - l_o}{l_o}$$

وهكذا فان $l = 0$. وهذا يعني ان الذراع يجب ان يضغط الى سمك صفر ! (واضح انه من المستحيل الحصول على انفعال هندسي مقداره -1).

$$\varepsilon = -0.693 = \ln\left(\frac{l}{l_o}\right), \quad so \quad l = l_o \exp(0.693) = \frac{l_o}{2}$$

باستعمال هذا التعريف فان الذراع بحاجة الى ضغطه الى النصف من طوله الأصلي لإحداث نفس الانفعال الحقيقي في الفرع (أ). هذه النتيجة أكثر منطقية مقارنة بالنتيجة المحصلة باستعمال الانفعال الهندسي.

مثال: ذراع طوله الابتدائي 10 cm استطال الى 20 cm في ثلاث مراحل كالاتي:

المرحلة الأولى : 10 cm إلى 12 cm.

المرحلة الثانية : 12 cm إلى 15 cm.

المرحلة الثالثة : 15 cm إلى 20 cm.

بافتراض حدوث انفعال متجانس في كل مرحلة جد:

(أ) الانفعال الهندسي لكل مرحلة وقارن بين مجموع الانفعال الهندسي للمراحل الثلاثة مع قيمة الانفعال الهندسي الكلي ؟

(ب) اعد الفرع (أ) باستعمال الانفعال الحقيقي ؟

الجواب : (أ)

$$e1 = \frac{2}{10} = 0.2 \quad ، \quad e2 = \frac{3}{12} = 0.25 \quad ، \quad e3 = \frac{5}{15} = 0.33 \quad ،$$

وهكذا فمجموع الانفعالات هو : $e1 + e2 + e3 = 0.78$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

ولكن مقدار الانفعال الكلي هو $e_{Overall} = \frac{10}{10} = 1.0$

(ب) $\varepsilon 1 = \ln(\frac{12}{10}) = 0.18$ ، $\varepsilon 2 = \ln(\frac{15}{12}) = 0.22$ ، $\varepsilon 3 = \ln(\frac{20}{15}) = 0.29$ ،

وهكذا فمجموع الانفعالات هو : $\varepsilon 1 + \varepsilon 2 + \varepsilon 3 = 0.69$

وهو مساوي لمقدار الانفعال الحقيقي الكلي : $\varepsilon_{Overall} = \ln(\frac{20}{10}) = 0.69$.

لاحظ عند استعمال الانفعالات الحقيقية ، ان مجموع الانفعالات المتعاقبة مساوي للانفعال الكلي. وهكذا فان الانفعالات قابلة للجمع وذلك غير ممكن بالنسبة للانفعالات الهندسية.

مثال: بين إن من متطلبات قانون عدم الانضغاط او ثبوت الحجم ان مجموع الانفعـــالات الحقيقية باتجاه المحاور الثلاثة يساوي صفر كما في المعادلة : $\varepsilon_X + \varepsilon_Y + \varepsilon_Z = 0$

(حيث الرموز x و y و z تشير إلى المحاور الرئيسية لنظام المحاور المتعامد) ؟

$$\varepsilon_X = \ln\frac{x}{x_o} \quad ,\varepsilon_Y = \ln\frac{y}{y_o} \quad ,\varepsilon_Z = \ln\frac{z}{z_o}$$

وهكذا

$$\varepsilon_X + \varepsilon_Y + \varepsilon_Z = \ln\frac{x}{x_o} + \ln\frac{y}{y_o} + \ln\frac{z}{z_o}$$

$$= \ln\frac{xyz}{x_o y_o z_o} = \ln\frac{V}{V_o}$$

وبافتراض ثبات الحجم فان $V = V_o$ ، فان

$$\varepsilon_X + \varepsilon_Y + \varepsilon_Z = \ln 1 = 0$$

ملاحظة: منحني الجهد الحقيقي – الانفعال الحقيقي في منطقة اللدونة لعدة مـــواد يخضـــع لصيغة عامة تسمى معادلة هولومون والتي هي :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$\sigma_t = K\varepsilon^n$$

حيث σ_t : هو الجهد الحقيقي.

n : معامل الاصلاد الاجهادي.

K : ثابت المقاومة

حيث n و K من خواص المادة.

٢-٢-١ العلاقة بين الانفعال الهندسي والانفعال الحقيقي :

$$\varepsilon = \ln(e+1)$$

ملاحظة : عند حصول الكسر للمادة في اختبار الشد فان قيمة الانفعال الحقيقي تكون مساوية لـ n .

٢-٢-٢ العلاقة بين الجهد الهندسي والجهد الحقيقي :

$$\sigma_t = \sigma(e+1)$$

ملاحظة : نستطيع استعمال قيم الارتفاع ، الطول ، المساحة (ما عدا الحجم لأنه يبقى ثابت خلال عمليات التشكيل) لحساب قيمة الانفعال وبالتالي سيبقى جوابك نفسه.

مثال : جسم مكعب (100 x 100 x 100 mm) من الفولاذ له مقاومة خضوع ابتدائية هي $500\ N/mm^2$ ، هذا الجسم ضغط بعملية الطرق لتقليل ارتفاعه بنسبة 20%. احسب قيمة مقاومة الخضوع الجديدة علما ان معامل اللدونة (ويسمى الجساءة Stiffness) هو $540\ N/mm^2$ ؟

الجواب : باستخدام الارتفاع لحساب الانفعال :

$h_o = 100$ mm و بما ان نسة التقلص هي 20%

اذن $h_1 = 80$ mm لذلك :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{h_0}{h_1}\right) = \ln\left(\frac{100}{80}\right) = 0.223$$

وتصبح قيمة المقاومة الجديدة

$$Y_1 = Y_0 + E_T\varepsilon = 500 + 540*(0.223)\ N/mm^2$$
$$Y_1 = 620.42\ N/mm^2$$

وباستخدام المساحة لحساب الانفعال :

A_o=100 x 100 mm وبعد التقليص تصبح A_o=80 x 100 mm

وبذلك فان

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right) = \ln\left(\frac{100x100}{80x100}\right) = 0.223$$

وهكذا فان قيمة المقاومة الجديدة هي

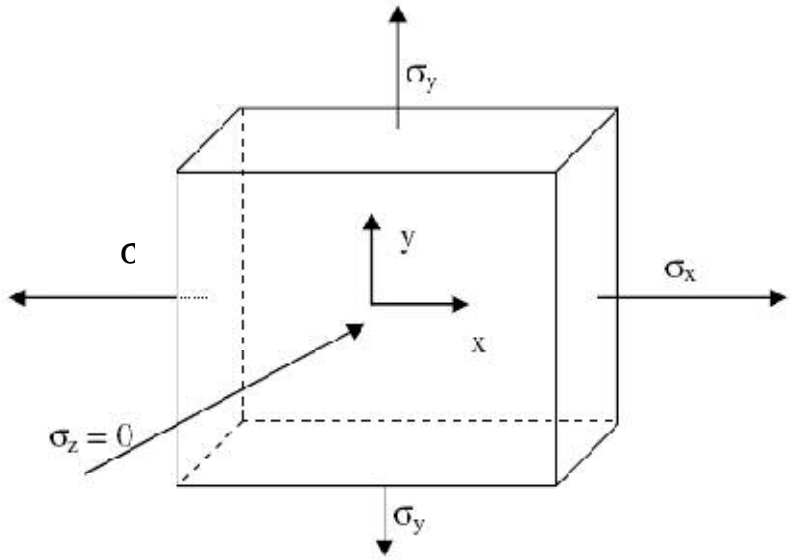
$$Y_1 = Y_0 + E_T\varepsilon = 500 + 540*(0.223)\ N/mm^2$$
$$Y_1 = 620.42\ N/mm^2$$

٢-٣ الجهد السطحي (Plane stress) والانفعال السطحي (Plane strain)

٢-٣-١ الجهد السطحي: (خصائص)

- جميع الجهود تؤثر على سطح واحد.
- نتيجة لتاثير ظاهرة Parsons سيكون هناك تأثير انفعال باتجاه السمك.
- الجهد غير موجود باتجاه z.
- الخضوع يحدث من جراء الشد عند جهد الخضوع المحوري Y .

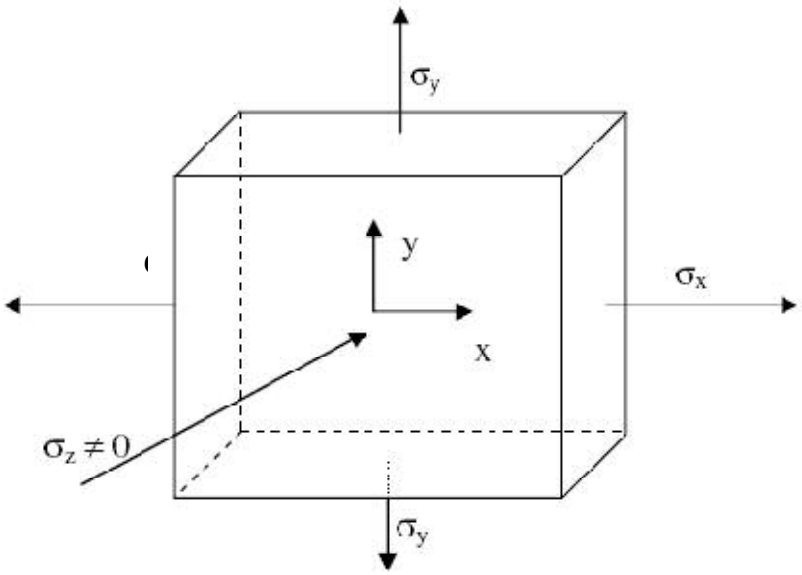
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٢-٣) لاحظ ان الجهد باتجاه المحور z يساوي صفر

٢-٣-٢ الانفعال السطحي: (خصائص)

- لا يوجد انفعال في اتجاه z ، لذلك نحتاج جهد يمنع حدوث الحركة في اتجاه السمك z .
- الخضوع أكثر صعوبة تحت ظروف الانفعال السطحي.
- الخضوع يحدث عند قيمة خضوع انفعال سطحي تعادل $S = \frac{2}{\sqrt{3}} Y = 1.155Y$.



شكل (٢-٤) لاحظ ان الجهد في اتجاه المحور z لا يساوي فر

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

مثال : حِمل ضاغط قيمته 4000 KN مسلط على مكعب من المعدن جيد التزييت طول ضلعه 80 mm على وشك الخضوع. ما هو الحمل المطلوب تسليطه على نفس المكعب لإحداث قوتين على الجانبين الآخرين قيمتهما 1000 KN و 2000 KN على التعاقب؟

الجواب:

الحمل الضاغط سوف يحدث جهد رئيسي هو $\sigma1=625\ N/mm^2$ ،

ناتج من المعادلة التالية :

$(4000\ KN/(80 \times 80\ mm^2))$.

لاحظ عدم وجود احتكاك وبالتالي لا يوجد جهد قص على وجه المكعب. إذن جهد الخضوع Y هو مساوي لـ $625\ N/mm^2$. وبفرض عدم وجود احتكاك على الوجوه الأخرى فان $\sigma2=312.5\ N/mm^2$ $(2000\ KN/(80 \times 80\ mm^2))$ و $\sigma3=156.25\ N/mm^2$ $(1000\ KN/(80 \times 80\ mm^2))$ وطبقا لنظرية فون ميسز.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2$$
$$(\sigma_1 - 312.5)^2 + (312.5 - 156.25)^2 + (156.25 - \sigma_1)^2 = 2(625)^2$$
$$\approx 2\sigma_1^2 - 936\sigma_1 - 635234 = 0$$

ومنها نجد إن $\sigma1=844\ N/mm^2$ بإهمال الجذر السالب. اذن الحمل المطلوب لإخضاع المادة ارتفع إلى 5402 KN $(844\ N/mm^2 \times (80 \times 80\ mm^2))$.

٢-٤ التشوه المنتظم والشغل الزائد Redundant

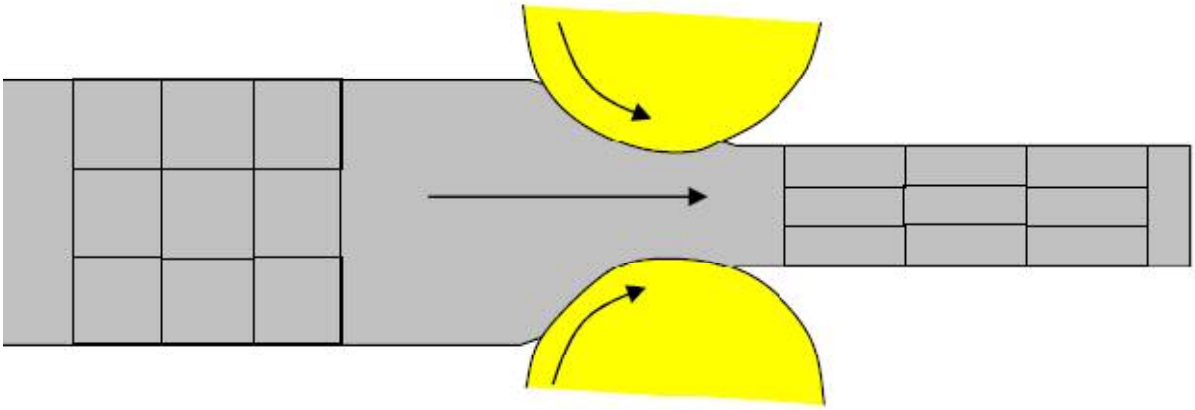
تستعمل نظرية تشكيل المعادن للتنبؤ بالأحمال والجهود المبذولة خلال عملية تشوه المعدن. تساعد معرفة الجهود والانفعالات الموقعية في توقع حدوث الفشل في العدة او المنتج. تتأثر أحمال التشغيل والطاقة المستعملة بصورة كبيرة بعوامل مثل التزييت Lubrication ودرجة الحرارة Temperature والسرعة Speed و شكل العدة Tool Profile والآلية الميكانيكية للعملية المقصودة. تطبق حاليا عدة عمليات معقدة من

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

حيث التحليل النظري للعملية ككل ، لذلك قد تهمل بعض المتغيرات المذكورة أعلاه لغرض التبسيط وبذلك يصبح بالإمكان الحصول على معادلة او تعبير رياضي تجريبي يمكننا من توقع أحمال الشغل المطلوبة مع دقة مقبولة لعمليات التشكيل مثل الطرق والدرفلة و البثق والسحب.

٢-٤-١ التشوه المنتظم Homogeneous Deformation :

تعد هذه العملية مثالية حيث ان الاحتكاك والتشوه الداخلي فيها مهملان فتكون الطاقة المطلوبة لعملية التشوه في حدها الأدنى. اثناء التشوه المنتظم وفي حال رسم خطوط لمربعات او مستطيلات على القطعة المشكلة Work piece فاننا سوف نحافظ على بقائها متعامدة خلال العملية انظر الشكل.

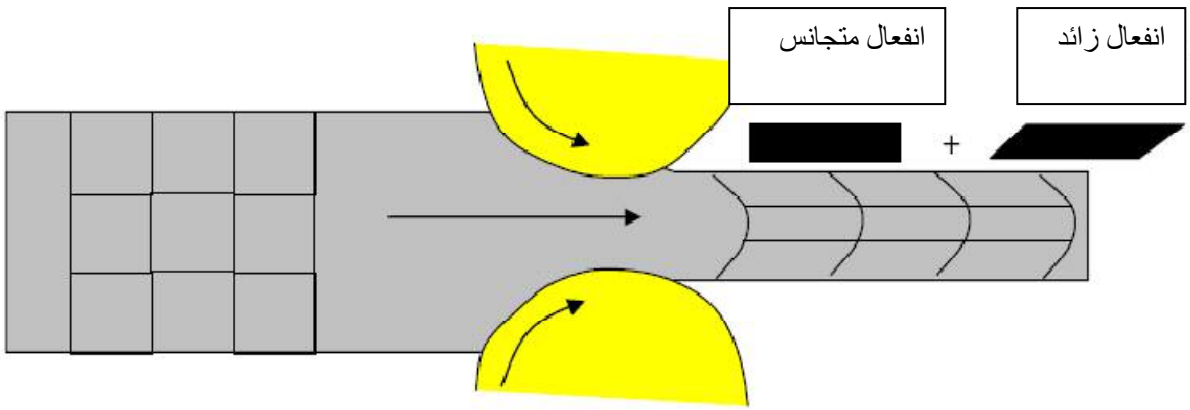


شكل (٢-٥) تشوه منتظم اثناء عملية التشكيل

٢-٤-٢ الشغل الزائد:

في التطبيق العملي يكون الاحتكاك دائما مؤثراً بالإضافة الى ان اغلب عمليات التشكيل تسبب حدوث عمليات قص داخلية والتي تتطلب طاقة إضافية يشار إليها بالطاقة الزائدة (او الفائضة).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٢-٦) تشوه منتظم مع تشوه زائد في المعدن

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الثالث الـــدرفـــلة

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٣-١ الدرفلة Rolling

يتم التشكيل بالدرفلة في كلتا الحالتين الساخنة والباردة على حد سواء. ومن الامثلة الشائعة على منتجات الدرفلة مقاطع البناء بأنواعها المختلفة شكل (٣-١).

شكل (٣-١) مقاطع الفولاذ

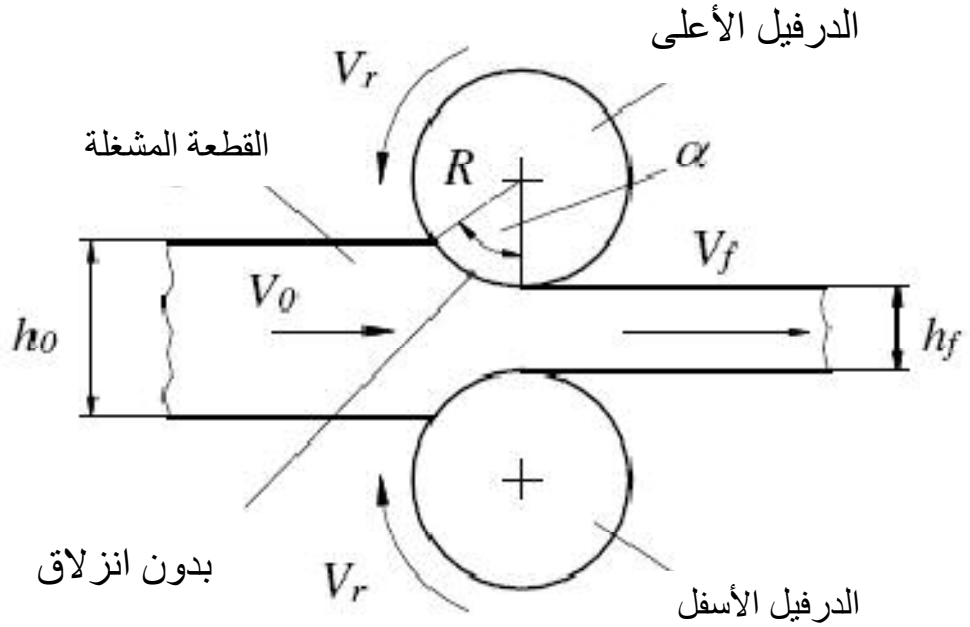
٣-٢ الخصائص العامة للدرفلة

- الدرفلة عادة العملية هي الأولى في تحويل المواد المسبوكة الى منتجات مشكلة نهائيا. يكون ناتج عملية الدرفلة عادة هي bloom (مقطع مربع الشكل) أو slab (مقطع مستطيل الشكل) أو rod (مقطع مدور) أو billet (مربع ولكن اصغر من bloom).
- من الممكن ان تكون عملية الدرفلة (خاصة على البارد) عملية نهائية (لأجزاء الهياكل).
- تعد عملية الدرفلة من ناحية الإنتاج الكمي العملية الأكثر شيوعا من بين عمليات التشكيل.
- الدرافيل عادة مكلفة وباهظة.
- تستخدم عادة لإنتاج الإشكال القياسية (Standard shapes).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٣-٣ مبادئ عملية الدرفلة:

تتلخص عملية الدرفلة (وبالتحديد الدرفلة المستقيمة) بإمرار معدن بين درفيلين يدوران في اتجاهين متعاكسين ويكون الفراغ بين الدرفيلين اقل من سمك المعدن الأصلي. يدخل المعدن بين الدرفيلين بسمك h_o و ينضغط ويخرج بسمك h_f. يعمل كل درفيل بمحركات كهربائية وتدور بسرعة سطحية v_r. هذه السرعة اعلى من السرعة الابتدائية للمعدن v_o لذلك يحدث انزلاق نسبي بين سطح الدرفيل والمعدن المدرفل. سرعة القطعة تزداد من السرعة الابتدائية v_o إثناء حركتها في الجزء بين الدرفيلين. تخرج القطعة المشكلة بسرعة اعلى هي v_f وعند نقطة معينة على طول سطح التماس (بزاوية قيمتها α) حيث تصبح سرعتها مساوية لسرعة الدرفيل (بدون انزلاق).



شكل (٣-٢) المتغيرات المؤثرة على عملية الدرفلة

يعد الاحتكاك مهما لدرفلة المادة ، لكن زيادته كثيرا يؤدي إلى زيادة القوى والطاقة المستهلكة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

قيمة التقليل في السمك الذي نستطيع الحصول عليه في شوط واحد (يسمى Draft) بين زوجين من الدرافيل يعتمد على مواصفات الاحتكاك على طول مسافة التماس:

$$h_0 - h_f = \mu^2 R$$

حيث إن R : نصف قطر الدرفيل.

μ : معامل الاحتكاك بين الدرفيل والمعدن المدرفل.

إذا كان الاحتكاك كبير جداً تصبح الدرافيل غير قادرة على تشكيل المادة إما إذا كان الاحتكاك قليل جداً أصبح مقدار التشكيل قليل جداً لكل شوط وبذلك تزداد كلفة العملية.

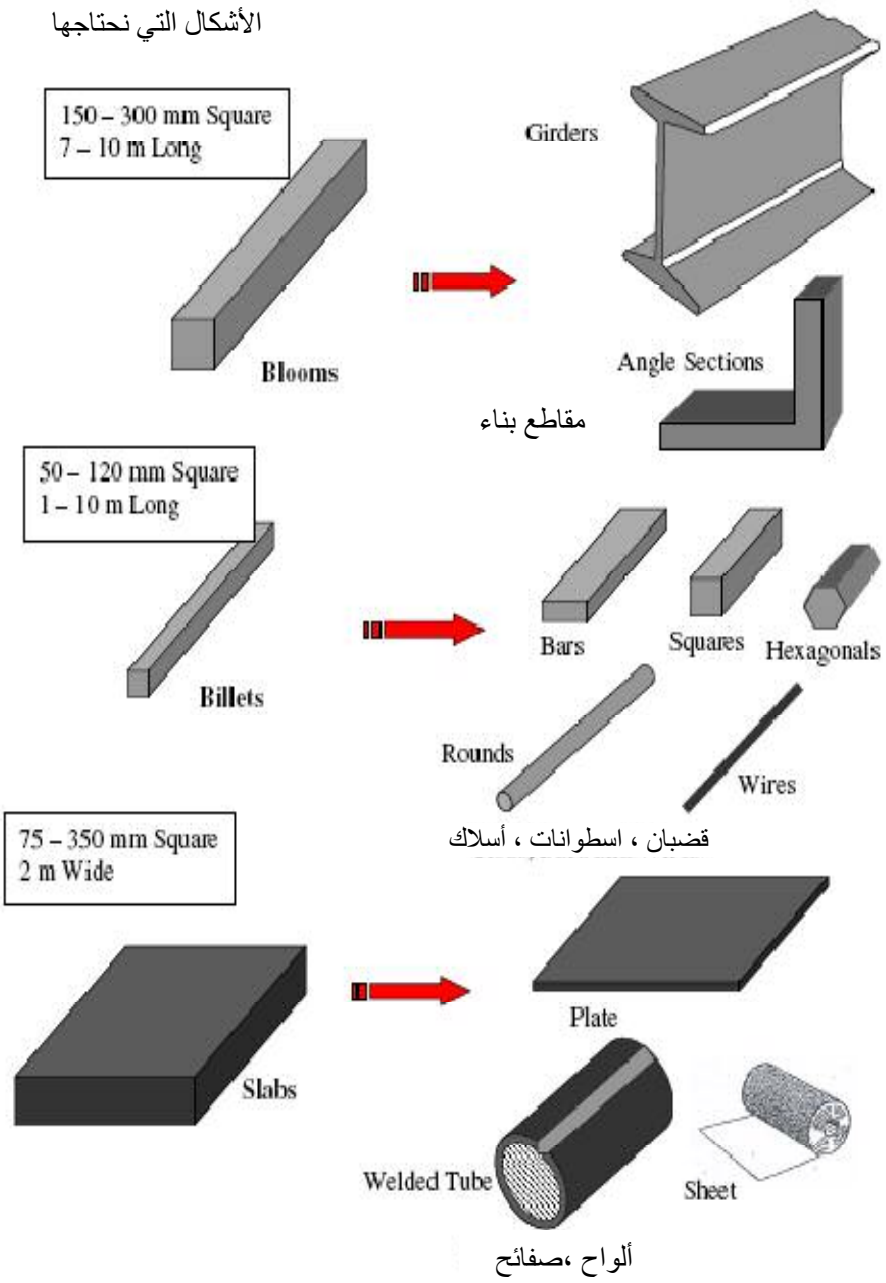
تتحسن الخواص الميكانيكية للمعدن نتيجة الدرفلة بسبب تحطم البلورات الشجيرية القصفة للمصبوبة وتحولها إلى بنية بلورية صغيرة بتركيب حبيبيش.

٣-٤ عمليات الدرفلة العامة:

- درفلة ساخنة لإنتاج الأشكال القياسية لأجزاء الهياكل و تستعمل لإنتاج مقاطع الهيكل (I Beam وسكك الحديد) و Bars (إما مدور أو سداسي Hexagonal) والصفائح Plate & Sheets . كل (٣-٣).

- الدرفلة الباردة: للصفائح (Strips و Sheets) ويستعمل للحصول على دقة و مقاومة وإنهاء سطحي أفضل.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

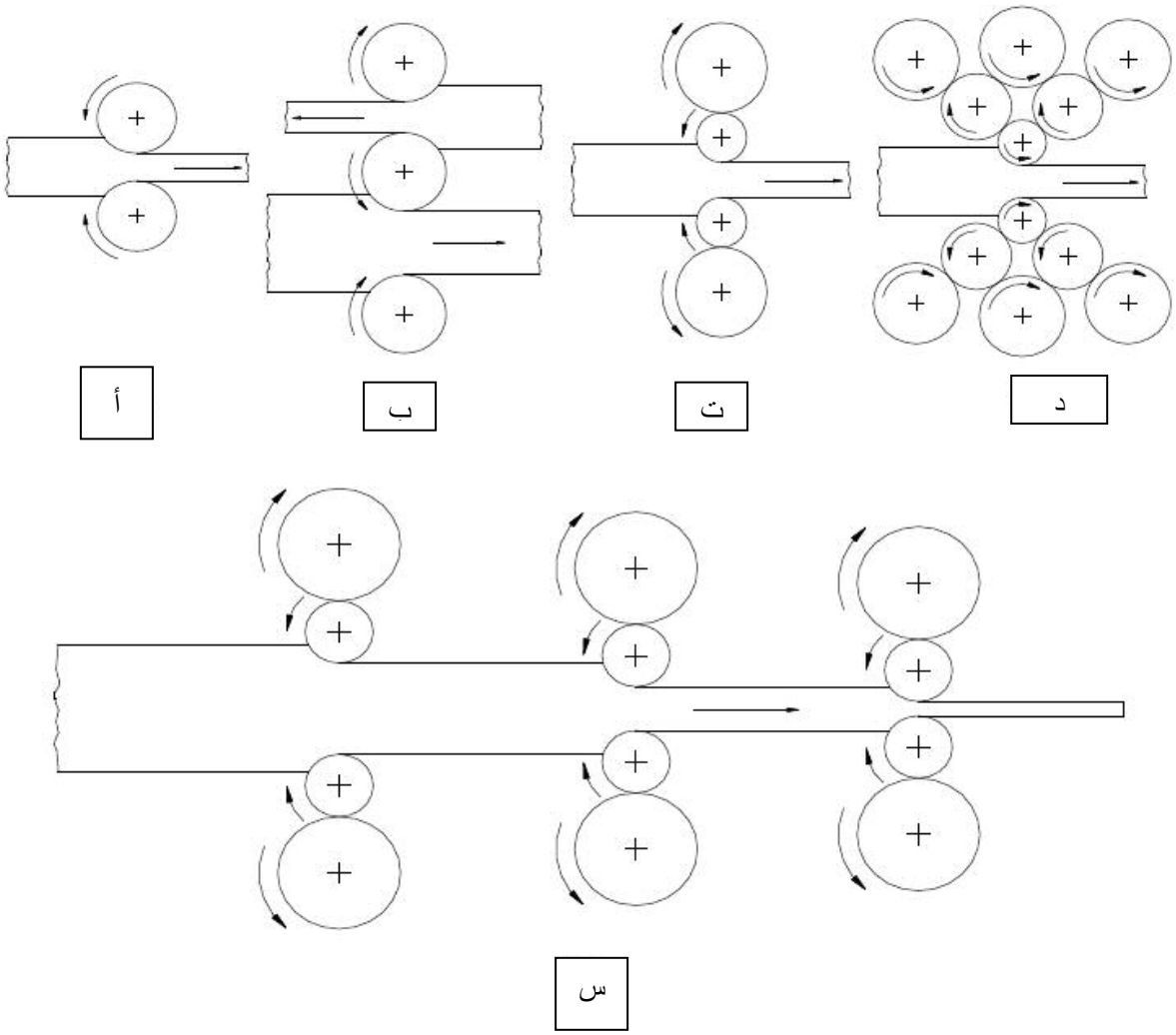


شكل (٣-٣) انواع المنتجات المنتجة بالدرفلة

٣-٥ انواع معامل الدرفلة:

- معامل الدرافيل الثنائية العالية Two-high : تستعمل للدرفلة الساخنة الابتدائية. شكل (٣-٤-أ)

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



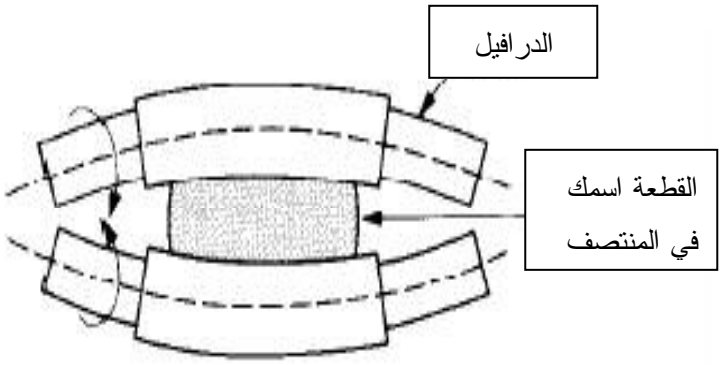
شكل (٣-٤) انواع معامل الدرفلة

- معامل الدرفيل الثلاثية العالية (العكسية): يعكس اتجاه حركة المادة فيه بعد كـل شوط (مع تقليل الفراغ بين الدرفيلين تدريجيا بين الأشواط). شكل (٣-٥) شكل (٣-٤-ب)

شكل (٣-٥) صورة لدرفيل ثلاثي

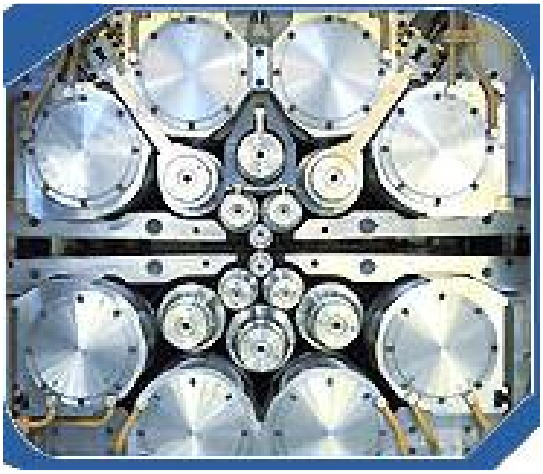
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- معامل الدرفلة الرباعية العالية : لتقليل قوى الدرفلة والطاقة المستهلكة تستعمل درافيل صغيرة القطر (وبذلك يكون سطح التماس مع المواد المدرفلة اقصر) وهي ارخص من الدرافيل الكبيرة وسهلة التبديل ، ومع ذلك فهي تتعرض للانبعاج Deflection أكثر (انظر الشكل ٣-٦) لذلك تحتاج إلى إسناد إضافي يتم بدرفيلين آخرين لتقليل الانبعاج (من هنا جاءت تسمية الرباعية). يستعمل هذا النوع لدرفلة الصفائح العريضة حيث أن قيمة الانبعاج تكون صغيرة. شكل (٣-٤-ت).



شكل (٣-٦) شكل بوضح ظاهرة الانبعاج

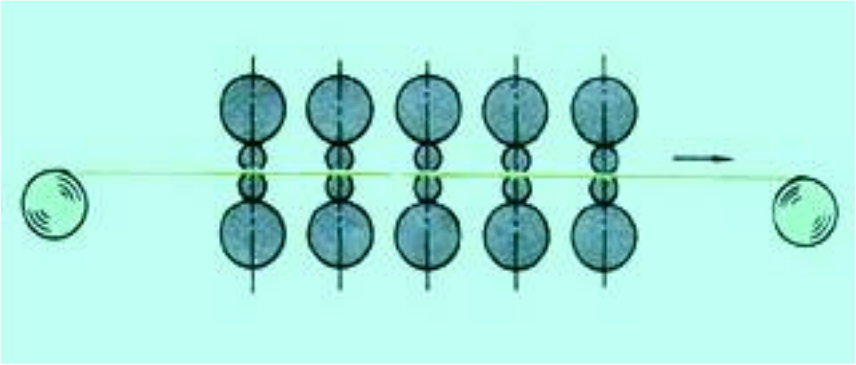
- معامل الدرفلة العنقودية Cluster (Send zimir) : وهي معامل تم تطويرها للدرفلة الباردة لإنتاج الصفائح الرقيقة من المعادن عالية المقاومة. شكل (٣-٤- د) شكل (٣-٧).



شكل (٣-٧) صورة لدرافيل عنقودية

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- معامل الدرافيل الترادفية Tandem rolls : تتم درفلة المعدن هنا باستمرار من خلال عدد من المراحل Stands مع تقليل سمك المعدن المدرفل. كل مرحلة تحوي مجموعة من الدرافيل المسيطر عليها. و مجموعة المراحل هذه تسمى قطار (Train). ومن ذلك فان سرعة المعدن الخارج من كل مرحلة يجب ان تكون مناسبة لدخول المرحلة اللاحقة ويتم ذلك باستخدام أجهزة الكترونية وحاسبات تسيطر على سرعة الدرافيل والحيز المفتوح بينها. شكل (٣-٤ – س) شكل(٣-٨).



شكل (٣-٨) مخطط يوضح عمل معمل درفلة ترادفي

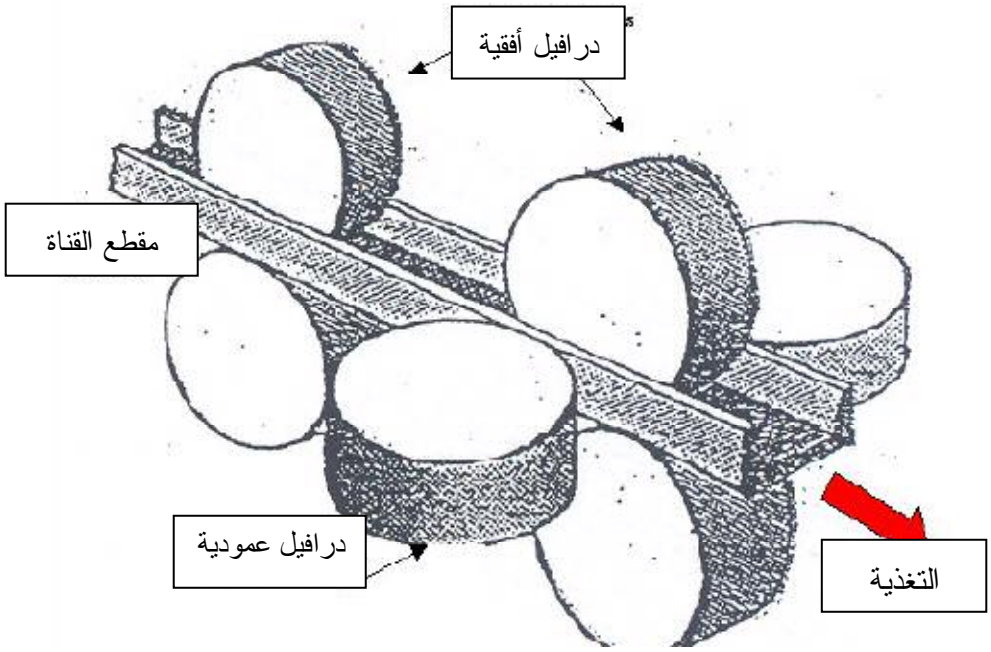
٣-٦ الدرفلة التشكيلية Shape Rollig

- شبيهة بالدرفلة المستقيمة: لكن الدرافيل تحوي على محيطها تشكيلات تناسب المقطع المطلوب انتاجه .
- تستعمل لإنتاج و درفلة معادن باستقامة وطول كبير كمقاطع البناء الفولاذية (مثل I-beam . solid bar و السكك الحديدية). شكل (٣-٩).
- تحتاج هذه الدفلة الى اشواط متعددة وذلك لان المقطع يتم تشكيله تدريجياً شيئاً فشيئا خلال كل مرحلة. وانظر الشكل (٣-١١) ، شكل (٣-١٢) مثال على درفلة الشكل H .

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

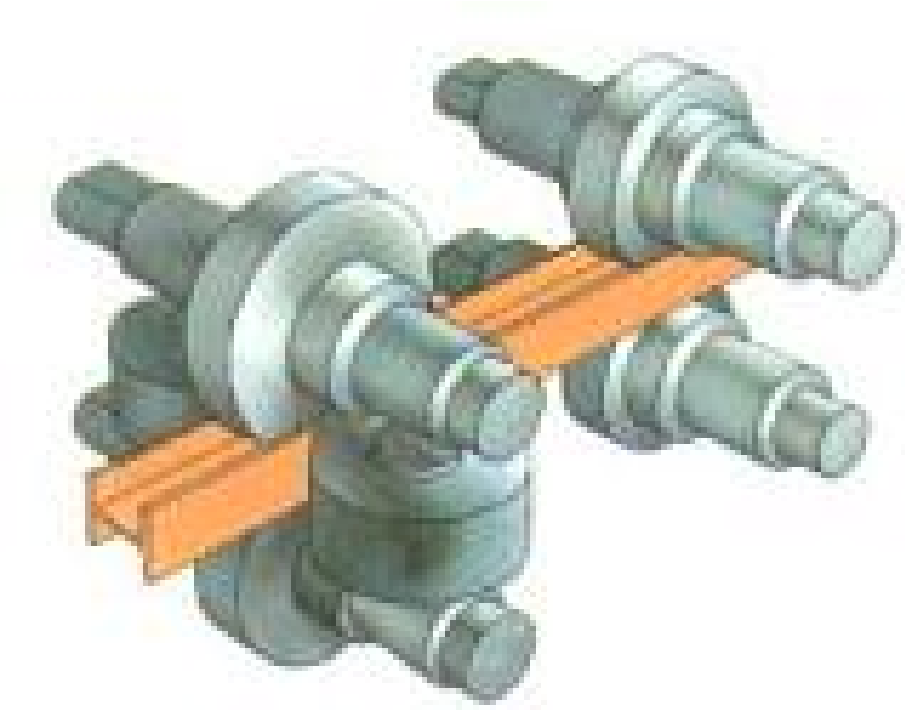
شكل (٣-٩) خط درفلة لانتاج مقطع C

- تصميم الدرافيل يتطلب خبرة كبيرة (لتجنب حدوث العيوب الخارجيـــة والداخليـــة ولضبط الإبعاد ولتقليل بليان الدرافيل).

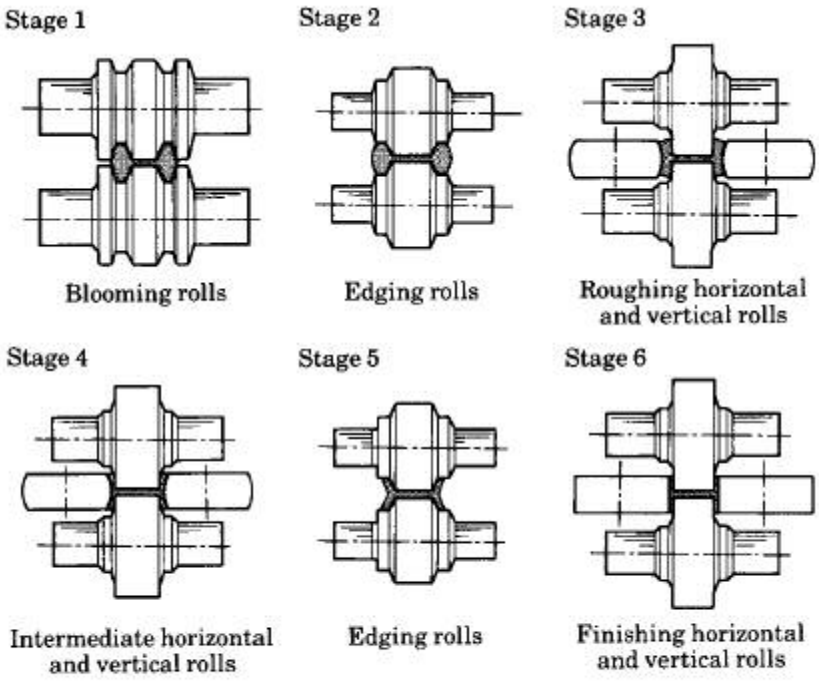


شكل (٣-١٠) انتاج مقطع C بواسطة الدرفلة

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



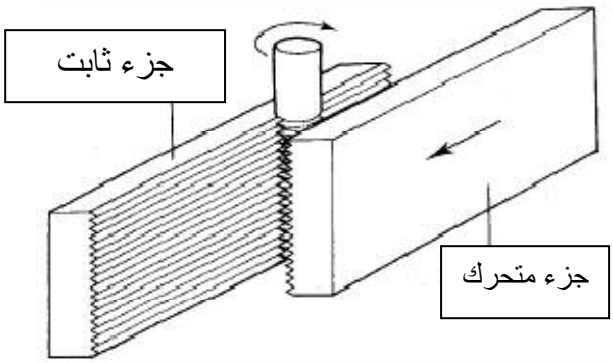
شكل (٣-١١) انتاج مقطع H بواسطة الدرفلة



شكل (٣-١٢) مراحل درفلة جزء ذو المقطع H

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- درفلة التسنين Thread Rolling : الدرفلة الباردة للتسنين المستقيم أو الزاوي يتم تشكيله على الاسطوانات بإمرارها بين قوالب تحوي شكل الأسنان المطلوبة. من ميزات هذه الطريقة معدل إنتاج عالي مع زيادة المقاومة ، شكل(٣-١٣).

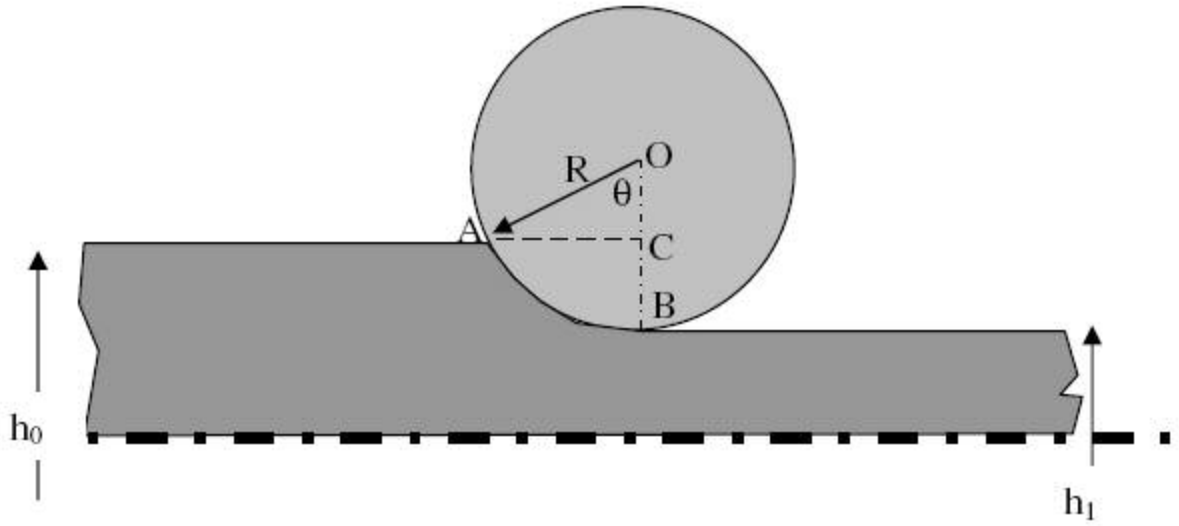


شكل (٣-١٣) درفلة باردة للتسنين

٣-٧ حساب القوة اللازمة للدرفلة

من الممكن حساب القيمة التعريفية للحمل (القوة) المطلوب لدرفلة قطعة من المعدن وذلك من خلال التعبير الرياضي الأتي (شكل ٣-١٤):

$$F_R = \sigma.w.\sqrt{R\Delta h}$$ قوة الدرفلة



شكل (٣-١٤) مخطط لعملية الدرفلة

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

حيث ان σ : هو الجهد.

و w : عرض الدرافيل (عمودي على الصفحة).

طبقاً للمخطط فان Δh هي قيمة التقليل الحاصل في سمك المعدن.

حيث : $\Delta h = h_0 - h_1$

اذن فان $CB = (\Delta h)/2$

وبما ان : $OC = OB - CB$

اذن : $OC = R - (\Delta h/2)$

وحيث إن Δh جداً صغيرة ولايجاد الجهد المؤثر على الخط AB سوف نفترض إن

$$|AC| = |AB|$$

لإيجاد |AB| نستعمل نظرية فيثاغورس

$$|OA|^2 = |AC|^2 + |OC|^2$$

$$|OA|^2 = |AC|^2 + (|OB| - |CB|)^2$$

بالتعويض بـــــ $R + \Delta h$

$$R^2 = |AC|^2 + [R - (\Delta h/2)]^2$$

$$|AC| = [R\Delta h]^{1/2} = |AB|$$

بما أن Δh صغيرة جداً فإن $(\Delta h/2)^2$ ستهمل.

اذن قوة الدرافيل تساوي = Stress x Area

$$F_R = \sigma \times w \times AB$$

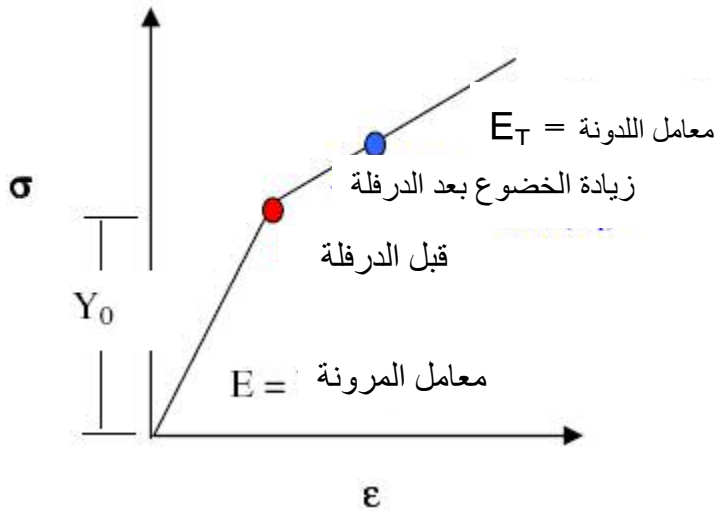
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$F_R = \sigma.w.\sqrt{R\Delta h}$$

كما بينا فإننا نستطيع تخمين القوة المطلوبة للدرفلة من المعادلة التالية:-

$$F_R = \sigma.w.\sqrt{R\Delta h}$$

يمكن الحصول على أفضل تخمين للقوة عندما نستطيع وضع بعض السماحات لتأثير الاصلاد الاجهادي خلال الدرفلة ولتأثير الاحتكاك. خلال الدرفلة الباردة تتعرض المادة للاصلاد الاجهادي ، ولحدوث عملية التشوه (وبالتالي التشكيل) يجب أن يكون الجهد المسلط مساوي او اكبر من مقاومة الخضوع Y_o .
اثناء عملية الدرفلة تزداد قيمة مقاومة الخضوع لتصل الى قيمة جديدة . لذلك نحتاج لأخذ معدل مقاومة الخضوع لاستعماله في حسابات قوة الدرفلة.



شكل (٣-١٥) مخطط الجهد – الانفعال اثناء عملية الدرفلة

و يمكن ان تحسب قيمة مقاومة الخضوع الجديدة عند قيمة انفعال (ε) بالمعادلة الآتية (كما يمكن استنتاجها من الشكل ٣-٩)

$$Y_1 = Y_0 + E_T(\varepsilon)$$

وهكذا للحصول على معدل جهد الخضوع نأخذ المعدل:-

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$\overline{Y} = \frac{Y_0 + Y_1}{2}$$

وكذلك فعند استعمال المواد المعرفة بمعامل الاصلاد الاجهادي n فان معدل جهد الخضوع سيكون بالصيغة التالية :

$$\overline{Y} = \frac{K\varepsilon^n}{1+n}$$

من الممكن تخمين تأثير الاحتكاك (بين الدرفيل والمعدن) بقيمة لا تتجاوز ٢٠% من قيمة قوة الدرفلة. لذلك سنضيف للمعادلة معامل يشير الى تأثير الاحتكاك نرمز له بحرف x فأن كان الاحتكاك صفر فلن تكون هناك حاجة لإضافة قوة فتكون قيمة x تساوي ١ اما اذا كانت تأثير الاحتكاك يعادل ٢٠% من قوة الدرفلة فان قيمة x تساوي 1.2 وهكذا فان كانت قوة الاحتكاك تعادل ٢٥% فان x يساوي 1.25 وهكذا فان أفضل تخمين سيكون بعد حساب تأثير الاصلاد الاجهادي والاحتكاك سيكون:-

$$F_R = \overline{Y}.w.x\sqrt{R\Delta h}$$

٣-٨ عزم الدرفلة والطاقة:-

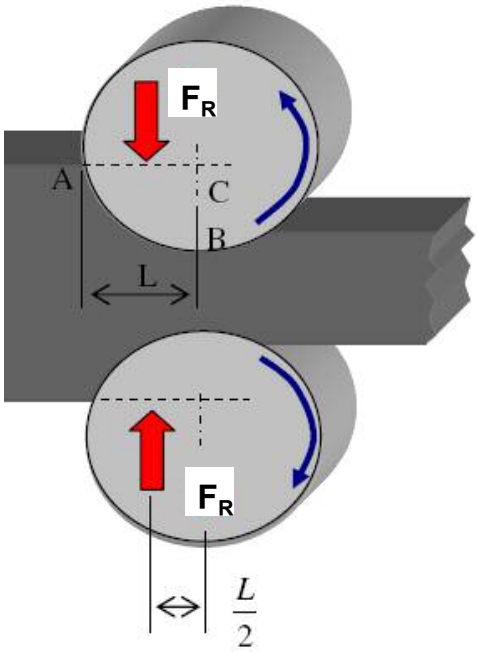
يمكن حساب العزم المطلوب لتدوير الدرفيل بافتراض إن قوة الدرفلة مسلطة في منتصف قوس التماس. وبما إن لدينا درفيلين في الأسفل و الأعلى فان العزم الكلي للعزم (القوة * المسافة) سيكون الآتي:-

$$T_R = 2.\ F_R\frac{L}{2} = F_R L$$

$$L = \sqrt{R\Delta h}$$

$$T_R = F_R\sqrt{R\Delta h}$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٣-١٦) افتراض ان قوة الدرفلة تقع في الوسط

الطاقة المطلوبة = العزم × السرعة الزاوية (ω) علماً ان:-

$$N\ (\text{Revs/sec}) = 2.\pi.n\ (\text{rad/sec}) = \omega$$

حيث N عدد دورات الدرفيل في الثانية .

وهكذا فالطاقة المطلوبة تساوي

$$\text{الطاقة المطلوبة} = F_R \sqrt{R\Delta h}\ .\ 2.\pi.n\ (\text{Watts})$$

أمثلة : لوحة من الفولاذ المطاوع تم درفلتها تحت ظروف الانفعال السطحي. إذا كانت ظاهرة الخضوع لهذه المادة تتبع نظرية تريسكا وكانت الجهود الرئيسية أثناء الدرفلة هي σ_1 =200 N/mm² , σ_3= 100 N/mm². احسب جهد الخضوع لهذه المادة خلال عملية الدرفلة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الجواب:

حسب نظرية تريسكا

$$Y = (\sigma_1 - \sigma_3)$$
$$Y = (200 - 100)\ N.mm^{-2}$$
$$Y = 100\ N.mm^{-2}$$

مثال :- صفيحة ألمنيوم عرض 60 mm درفلت من سمك ابتدائي 15 mm و تم تقليل سمكها بنسبة 30% بواسطة درفيل قطره (500mm). إذا كان سماح الاحتكاك 20% احسب:-

(أ): القوة المطلوبة للدرفيل (إذا كان جهد الخضوع مساوي للمادة في المثال السابق).

(ب): الطاقة المطلوبة اذا كانت سرعة الدرفيل 500 rev/min.

الجواب:-

h_o قلل بنسبة 30% , h_o =15 mm

اذن $h_1 = (100- 30)\%\ of\ h_o$

$h_1 = 70\%\ \ of\ \ h_o = 0.7 * 15\ mm = 10.5\ mm$

$\Delta h = h_o - h_1 = 15 - 10.5 = 4.5\ mm$

$w = 60\ mm\ ,\ x = 1.2\ (from\ 20\%)$

نلاحظ إننا لا نملك قيمة E_T أو قيمة ε لذلك فنحن لا نستطيع استعمال المعادلة

$$Y_1 = Y_o + E_T\ \varepsilon$$

لذلك لحساب $\bar{Y}$ سنستخدم قيمة الجهد أعلاه كما هي:-

$$Fr = \sigma.w.\ x.\ \sqrt{R\Delta h}$$
$$= (100N/mm^2).(60mm).(1.2)\sqrt{(250mm).(4.5mm)}$$
$$Fr = 241.5\ kN$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

(ب) الطاقة المطلوبة عندما تكون سرعة الدرافيل 500 دورة في الدقيقة

$$Tr = Fr.\ \sqrt{R\Delta h}$$

$$Pr = 2\pi.n.Tr$$

$$= 2\pi\ n.\ F_R\ .\sqrt{R\Delta h}$$

$$2*(3.14)\ *(500/60\ rev/sec)*(241.5kN)*\sqrt{(250mm).(4.5mm)}$$

Pr = 424.1 kW (m الى mm بعد تحويل)

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الرابع الطـــرق

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤-١ الطرق:-

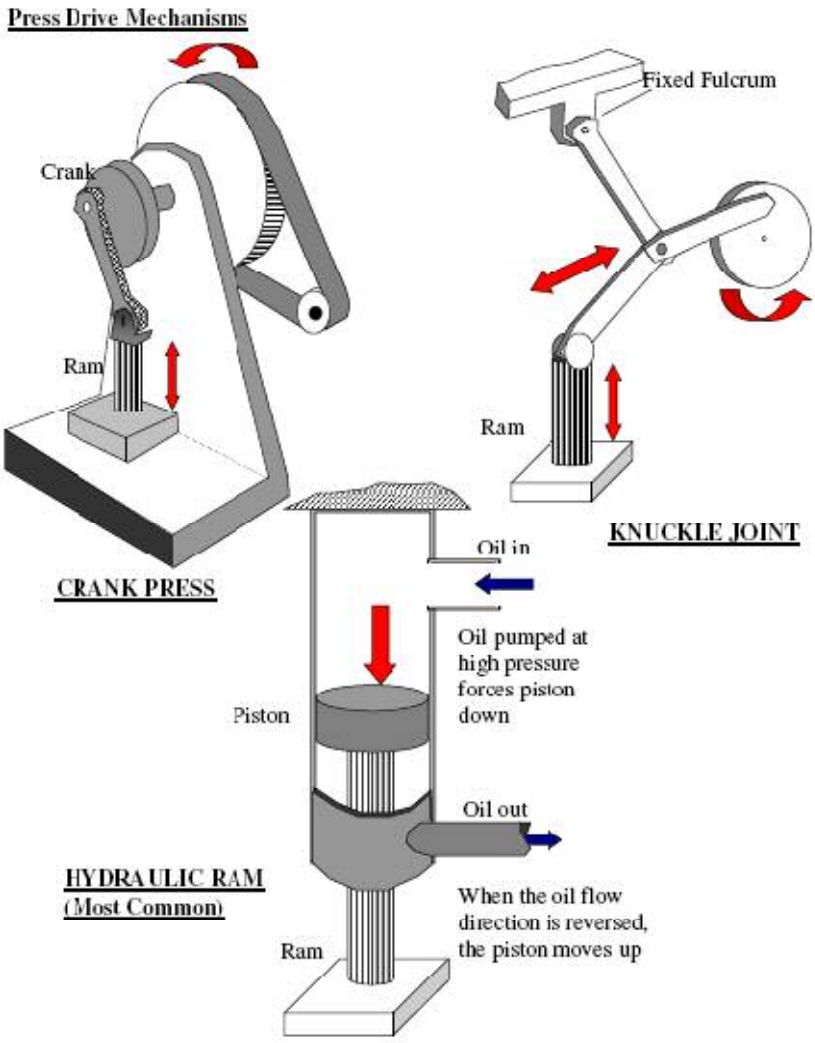
هي عملية تشكيل لدن للمعدن بواسطة قوى ضاغطة (compression) موقعية تنتج بإستخدام مكابس (Presses) او مكائن طرق (Forging machines) شكل (٤-١) و بمساعدة مجموعة متنوعة من القوالب (Dies) والعدد (Tools) .

استعمالات الطرق : يستعمل الطرق بصورة واسعة لانتاج اجزاء المركبات ومحركاتهـا التي تتعرض لجهود عالية مثل عمود الحدبات وذراع التوصيل وغيرها انظر الشكل (٤-٢).

شكل (٤-١) مطارق ومكابس لانتاج المطروقات

شكل (٤-٢) صورة لعمود الحدبات مصنع بعملية الطرق

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-٣) انواع من مكائن الطرق (النوع المرفقي والهيدروليكي).

٤-٢ عُدد المكابس Press tools :-

تستعمل المُشكِلات (Punches) والقوالب (Dies) لتصنيع الاجزاء المطروقة. فالمكبس يسلط قوة تدفع المشكّل مع المعدن إلى او خلال القالب و كما في الشكل (٤-٣). يشد المشكّل الى ذراع المكبس الذي يتحرك الى الأعلى والأسفل. يكون القالب ثابتاً ويثبت الى قاعدة المكبس (Bolster). قوالب الطرق المتكونة من المشكل والقالب مكلفة عادةً لذلك تكون هذه العملية اقتصادية للإنتاج عالي الكمية فقط.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

تتم صناعة عدد وقوالب عملية الطرق بواسطة معامل صناعة القوالب وبمكائن تشغيل ذات دقة عالية. ويستعمل الفولاذ السبائكي لصناعة هذه العدد ويتم تصليدها بواسطة المعاملات الحرارية.

٤-٣ الخصائص العامة للطرق:-

- ينتج أجزاء معقدة.
- يمكن السيطرة على جريان المعدن والتركيب الحبيبي في عملية الطرق لذلك يستعمل الطرق لإنتاج منتجات عالية المتانة تستعمل في تطبيقات حرجة (عجلات الهبوط للطائرات ، أعمدة المحركات النفاثة ، و الأقراص disks للمحركات).
- يمكن انجاز الطَرق في الحالتين الساخنة او الباردة.
- عمليات الطرق الرئيسية:-

طَرق القالب المفتوح Open-die forging

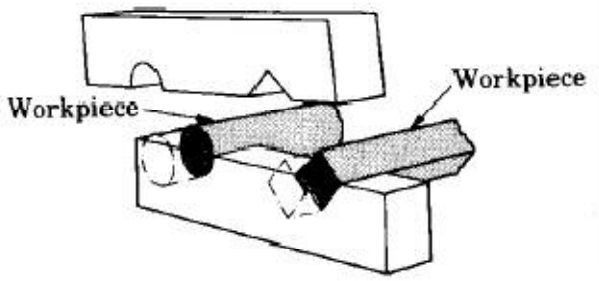
طَرق القالب المغلق Impression forging

طَرق القالب المغلق Closed-die forging

٤-٤ طرق القالب المفتوح:-

وهو نوع من أنواع الطرق الساخن حيث يتم تسخين المعدن قبل الطرق لدرجة حرارة مناسبة. يتم الطرق بين قالبين مستقيمين. يثبت القالب العلوي الى الذراع المتحرك للمطرقة (مطرقة بخارية او هوائية) والجزء السفلي مثبت للقاعدة. يتم تشويه قطعة المنتج وتشكيلها بواسطة صدمات من المطرقة بين كل طرقتين و يتم تدوير القطعة المشكلة للحصول على تشويه منتظم يجب ان يكون التشويه كفوء وناجح للتأكد من ان التشوه اللدن قد وصل إلى قلب مركز المعدن وإلا فان خواص المعدن ستختلف بين الخارج والداخل فيصبح هناك تشوه لدن عند السطح بينما يكون قلب القطعة محتفظاً بطبيعته المسبوكة (بلورات شجيرية خشنة). من الممكن ان يحتوي سطح القالب على تجاويف لإنتاج أشكال بسيطة شكل(٤-٤) (٣-٥) (٤-٦).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-٤) قالب ذو تجاويف بسيطة تستعمل في القوالب المفتوحة

شكل (٤-٥) صورة لعملية طرق بقالب مفتوح

شكل (٤-٦) مطروقة منتجة بعملية طرق القالب المفتوح

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤-٤-١ خصائص الطرق للقالب المفتوح:-

- تعد من ابسط عمليات الطرق.
- مشابه لطريقة الحدادين في تشكيل المعادن.
- تتم عملية الطرق بواسطة المطرقة (Hummers) (المكابس Presses عادة لا تستعمل).
- طرق القالب المفتوح لا يبرز شكل المنتج (لان القوالب مستقيمة) لذلك حجم وشكل المنتج يعتمد على إمكانية المشغل في استعمال القوالب المستقيمة وبذلك فان خبرة المشغل تلعب دورا مهما في هذه العملية.
- التشكيل في هذه العملية بطئ.
- بالإمكان استعمال عدد خاصة وقوالب بإشكال بسيطة لتشكيل مقاطع أو صناعة ثقوب أو أجزاء مقطعة.
- العدد المطلوبة ليست مكلفة.
- الدقة والإنهاء السطحي غير جيدين.
- تعتبر هذه الطريقة خطوة أولية لتجهيز المعدن بشكل مناسب لعمليات أخرى (مثل طرق القالب المغلق) .
- مناسب للأجزاء الكبيرة ذات الإشكال البسيطة مع حجم إنتاج منخفض.

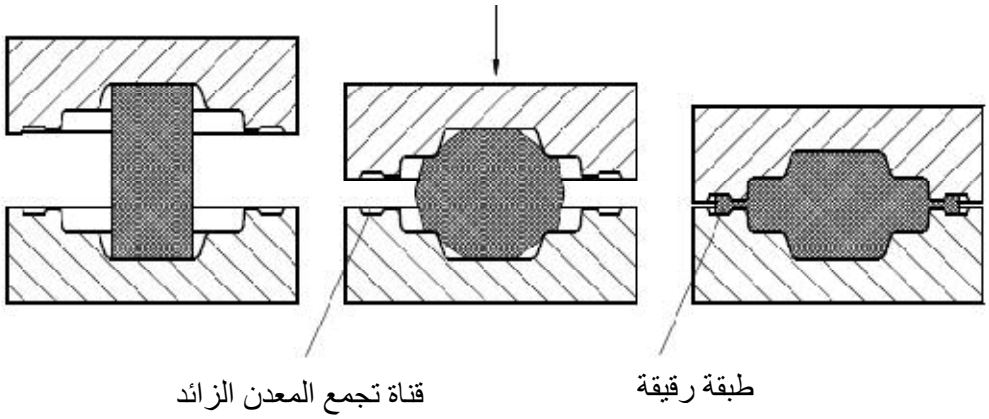
٤-٥ طرق القالب المغلق Impression

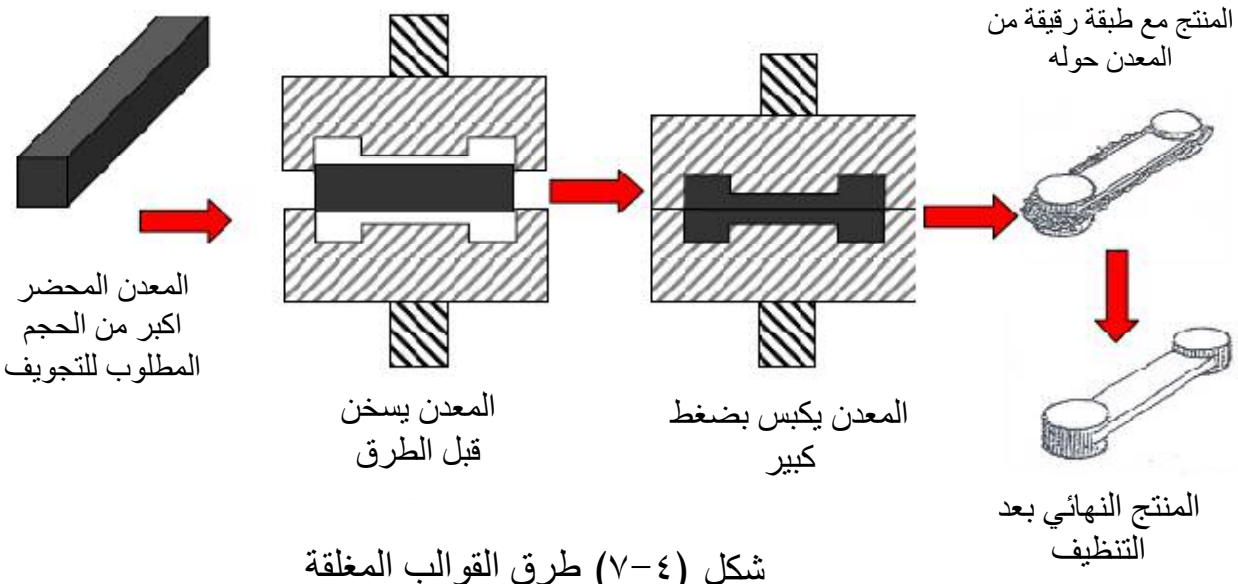
في هذه العملية يتشكل المعدن ويتخذ شكل تجويف القالب عندما يتم طرقه بين نصفي القالب. يوضع المعدن المسخن في تجويف النصف السفلي من القالب ومن ثم يصدم مرة أو أكثر بواسطة النصف العلوي. هذا الطرق يُجبر المعدن على الجريان لملء تجويف القالب بصورة كاملة. إثناء الطرق قسم من المعدن (المعدن الفائض) سيجري خارجاً ليشكل طبقة رقيقة تسمى زائدة (فلاش) flash في قنوات Flash gutters حول التجويف. بما ان الفلاش رقيق السمك فهو يبرد بسرعة كبيرة جاعلا قوى الاحتكاك تمنع المعدن الساخن في التجويف من الخروج خارج القالب وبالتالي فان قوى الضغط العالية

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

تجعل المعدن يملا تجويف القالب. وجود الفلاش يؤثر على حجم المعدن المطلوب لملء تجويف القالب (لا حاجة لحسابات دقيقة لحجم المعدن المطلوب) شكل(٤-٧).

عندما تنتهي عملية الطرق يقطع الفلاش بواسطة قوالب التشذيب (Trimming). بسبب محدودية مطيلية المعدن المطروق لا يمكن تشكيل الأجزاء المعقدة عن طريق تجويف واحد لذلك تستعمل القوالب الحاوية على عدة تجاويف. لإكمال التشويه في كل تجويف ربما نحتاج إلى أكثر من طرقة واحدة من المطرقة ، شكل (٤-٨).



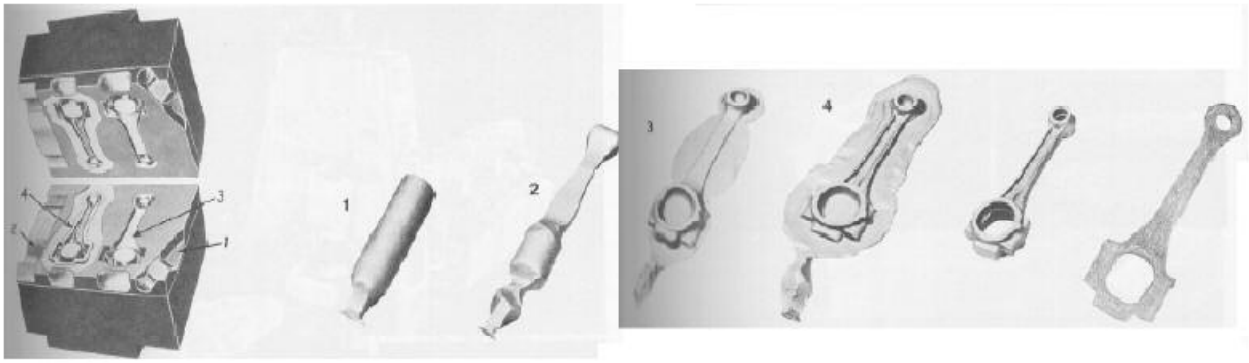


شكل (٤-٧) طرق القوالب المغلقة

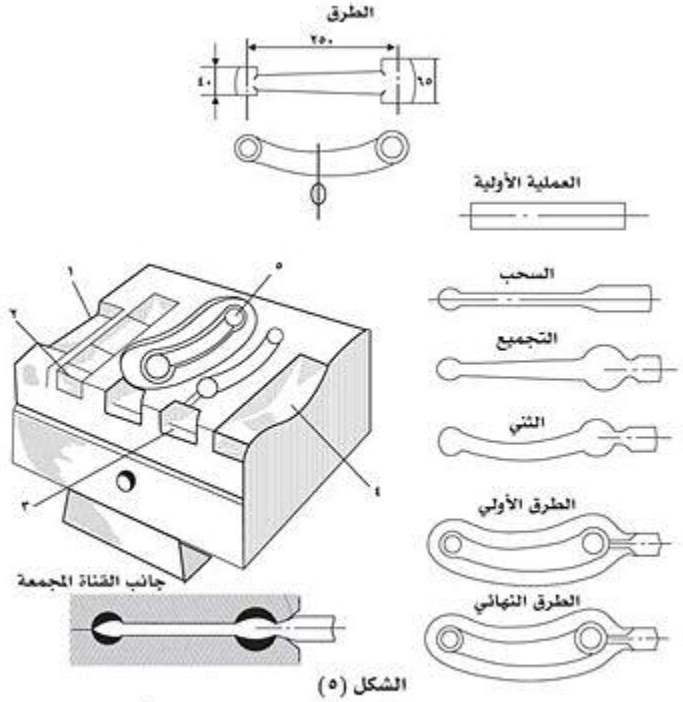
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

مثال:-

تستعمل قوالب الطرق الساخن المغلقة لإنتاج ذراع توصيل (Connecting rod). الخامة الأولية هي عبارة عن اسطوانة يتم طرقها في أربع تجاويف للحصول على المنتج المطلوب بعدها يتم قطع الزوائد (فلاش). كما في الشكل (٤-٩) . من الممكن استعمال عدة قوالب لطرق المنتج الواحد بدلا من وضع عدة تجاويف في قالب واحد (خاصة للأجزاء الكبيرة).

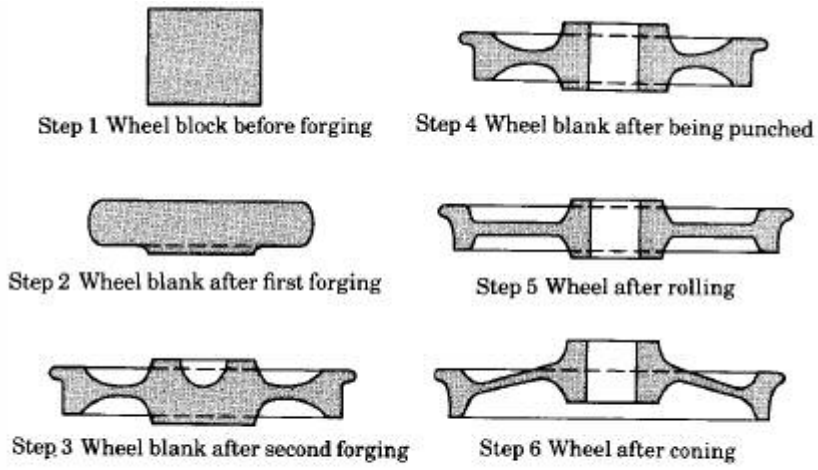


شكل (٤-٨) صور لقالب طرق مغلق متعدد التجاويف



شكل (٤-٩) رسم تخطيطي لمراحل انتاج ذراع التوصيل ورسم للقالب المستعمل

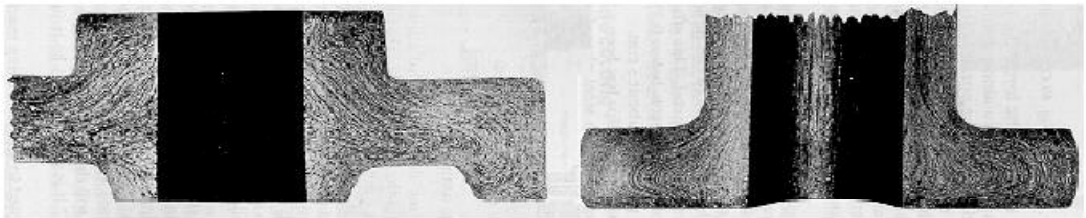
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-١٠) قوالب متعددة للطرق الساخن لإنتاج عجلة من

٤-٥-١ خصائص الطرق المغلق:-

- تذبذب محدود في الإبعاد : جميع المنتجات تنتج في نفس التجويف لذلك تكون المنتجات متشابهة.
- التغير الحاصل في الإبعاد قد يحدث بسبب بليان القالب.
- السماح بخروج الزوائد (الفلاش) يحمي الماكنة من التعرض إلى ما فوق التحمل Overload .
- جريان المعدن بالاتجاهات الممكنة في تجويف يسبب تكون تركيب ليفي (Fibers structure) شكل (٤-١١).
- للجزء المطروق مقاومة اعلى بـ 20% من الاجزاء المسبوكة او المشغلة.

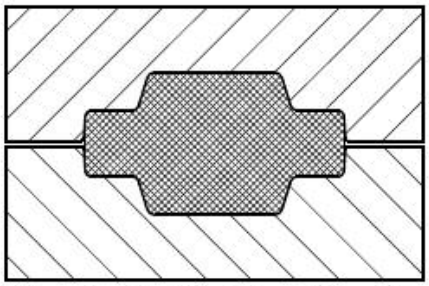


شكل (٤-١١) الألياف الممتدة باتجاه التشكيل في الطرق

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤-٦ طرق القوالب المغلقة عديمة الزوائد Flash less

- هذا النوع شبيه بالنوع السابق لكن بدون ظهور زوائد(في الحقيقة هو نوع من الانواع المغلقة). في هذا النوع يُشكل المعدن داخل التجويف ولا يُسمح له بالخروج من التجويف لتكوين زوائد ، شكل(٤-١٢).
- يحتاج حسابات دقيقة لحجم المعدن اللازم لملئ القالب و إلا فان فان تجويف القالب لن يملئ إذا لم يكن حجم المعدن يكفي. وفي حال كان الحجم أكثر من المطلوب فان المعدن الزائد سيخرج من التجويف مسبباً زيادة قوة الطرق مؤدياً إلى تدني دقة أبعاد المنتج.



شكل (٤-١٢) قوالب الطرق المغلقة عديمة الزوائد

٤-٧ الطرق الحبيبي الاستثماري :

وهو شبيه بالنوع السابق الا ان المادة الخام المستعملة في الطرق عبارة عن مسحوق يتم طرقه مع حرارة وضغط مناسبين للحصول على مطروقة عالية الجودة وبوزن دقيق. شكل(٤-١٣).

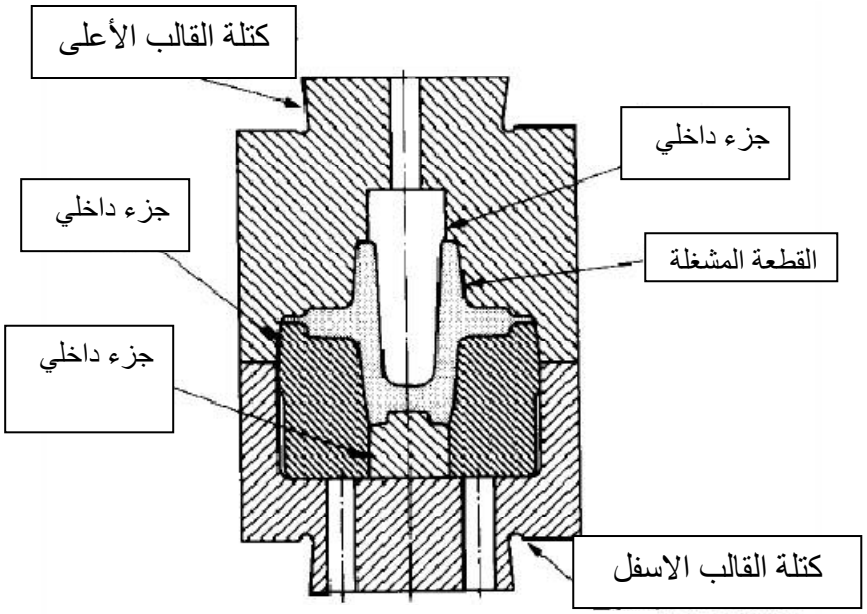
شكل (٤-١٣) مطروقات مختلفة منتجة بطريقة الطرق الاستثماري

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤-٧ ملاحظات عن تصميم القالب:-

- يصنع القالب عادةً من الفولاذ العالي السبائكية او من فولاذ العدد (بوجود عناصر الكروم و النيكل و المولبدنيوم والفناديوم وعناصر أخرى).
- مادة القالب يجب إن تكون مقاومة للصدمة عالية المتانة و مقاومة للبليان (خاصة مقاومة الخدش والاحتكاك (Abrasive, wear)) ، مع صلادة عالية (خاصةً عند درجات الحرارة العالية)، ذات قدرة على مقاومة الكلال الحراري بفعل التغير السريع في الحرارة نتيجة التبريد والتسخين المتناوب.
- يحتاج إلى تجويف وسطح فصل دقيق الصنع ذي نعومة عالية.
- إضافة زوايا نزع للتجويف (Draft angles) (3 على الأقل للألمنيوم و 5-7 درجات للفولاذ) لتسهيل جريان المعدن وسهولة خروج الجزء النهائي من القالب. تكون الزوايا الداخلية اكبر من الخارجية.
- تحوير معظم الزوايا الحادة إلى أقطار (Fillet) .
- يجب إن يكون انسيابية المعدن في الاتجاه الأقل مقاومة و لذلك فالتصميم غير الجيد قد يسبب عدم ملء المعدن لتجويف القالب.
- القوالب المجمعة (Assembled dies) :- من الممكن إن يصنع القالب من عدة أجزاء (Inserts) بدلا من إن يكون القالب قطعة واحدة. من الممكن إن تصنع الأجزاء الداخلية من مواد أقوى من مادة كتلة القالب الأصلي وذلك لتقليل كلفة القالب وهكذا نستطيع تغير الأجزاء الداخلية فقط عند حدوث البليان. شكل (٤-١٤).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-١٤) قالب مجمع

٤-٨ فوائد استعمال التزييت:-

- يستعمل لتقليل الاحتكاك وبالتالي تقليل قوة الطرق وتحسين انسيابية المعدن.
- لتكوين عازل حراري بين قطعة المعدن الساخنة والقالب البارد نسبياً وبذلك يعمل معدل التبريد البطيء على تحسين جريان المعدن.
- يعمل التزييت على منع التصاق المعدن المطروق بالقالب.

٤-٩ الطرق المضغوط :-

قد يكون الطرق بواسطة المطارق غير قادر على إحداث التشويه في المناطق الداخلية في القطع الكبيرة لذلك يلجأ إلى الطرق بواسطة المكابس Presses حيث يَضغُط المكبس المعدن ببطء جاعلاً جريان المعدن أكثر انتظاماً.

ميزات الطرق المضغوط :

- بسبب كون جريان المعدن أكثر انتظاماً فإننا نستطيع استعمال زوايا نزع اصغر.
- الطرق بواسطة المكابس يعطينا أبعاد أكثر دقة.
- يقلل الضوضاء والاهتزازات.
- تكون المكابس كبيرة الحجم بسبب كونها تحتاج طاقة اكبر.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- بسبب بُطء عمل المكابس يزداد زمن التماس بين سطوح القالب والقطعة المشكلة مما يجعل سطح القطعة يبرد بسعة مسببا انخفاض في المطيلية لذلك نحتاج الى تسخين القوالب في بعض الحالات.

٤-١٠ الطرق المقلوب Upset

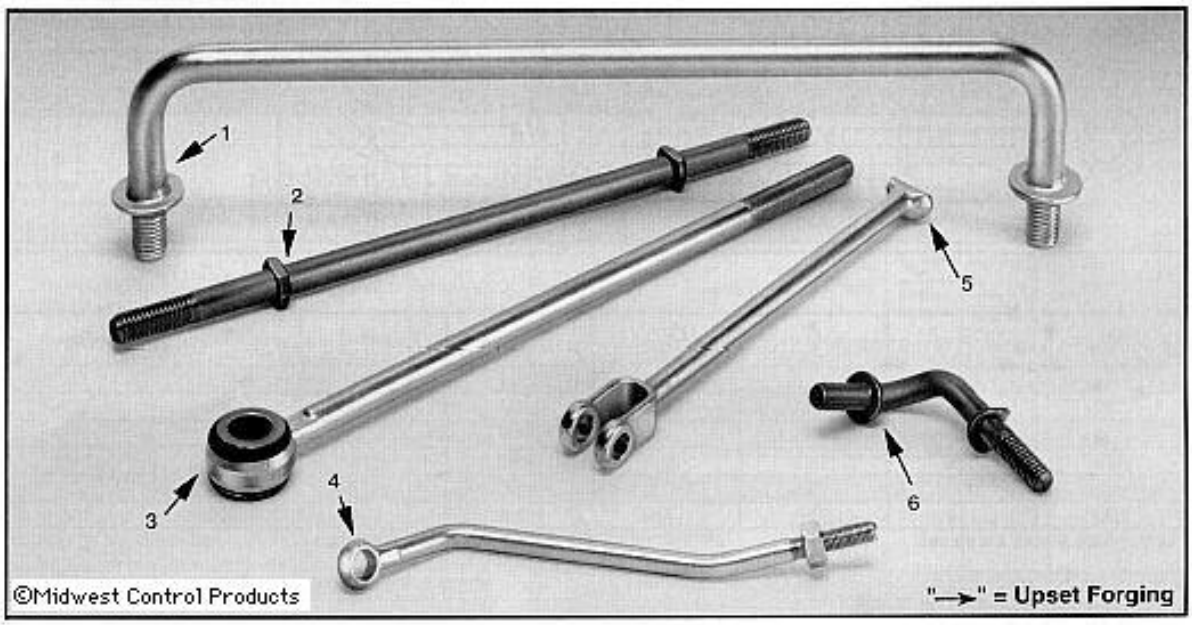
وهو على نوعين :

١-Upsetting: - هو عبارة عن تكبير قطر المادة بواسطة ضغط طولها.

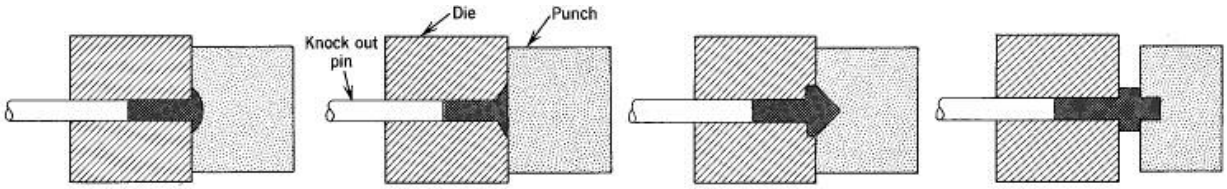
٢-Heading :- هي اكثر عمليات الـ Upsetting تطبيقا وتستخدم في صنع رؤوس (heads) بعض الادوات من الممكن ان تكون هذه العمليات باردة او دافئة اوساخنة. شكل (٤-١٥) ، (٤-١٦) (٤-١٧) (٤-١٨).

شكل (٤-١٥) أجزاء مصنعة بطريقة صنع الرأس

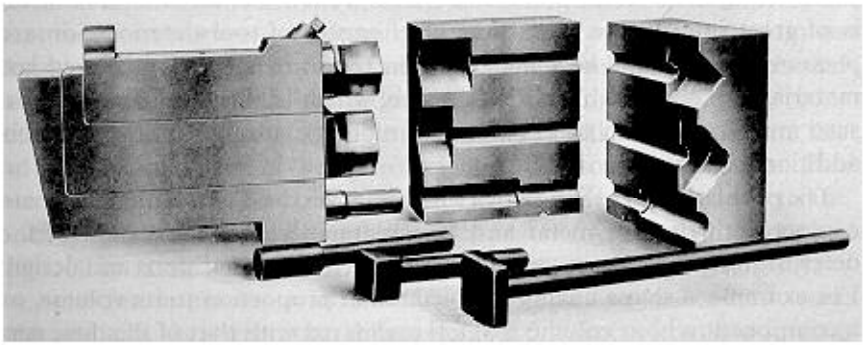
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-١٦) أجزاء مصنعة بطريقة صنع الرأس



شكل(٤-١٧) تشويه كبير يتم باستعمال قوالب متنوعة



شكل (٤-١٨) قالب متعدد التشكيلات

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤-١١ احتكاك هيل Hill Friction:-

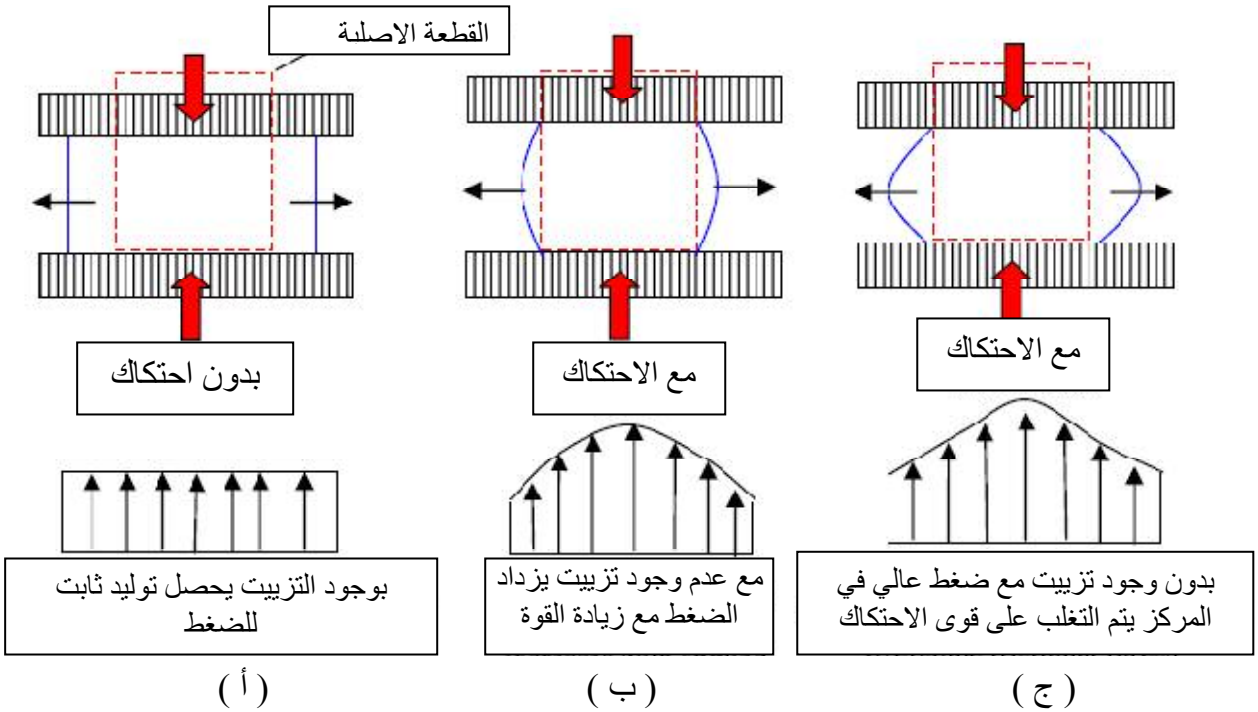
احتكاك هيل: هو عبارة عن شكل توزيع الضغط نتيجة الاحتكاك عند تجربة ضغط أو طرق عينة لحين بدءها بالجريان حيث نلاحظ ان الضغط لا يستمر طويلا بالثبات بل يرتفع ويصل إلى قمته في مركز العينة بسبب الاحتكاك.و يسبب الاخير ظاهرة الانبعاج (Barreling) لذلك نلاحظ ان مركز العينة يتوسع اكبر من النهايتين بسبب الاحتكاك الحاصل بين النهايتين وسطحي اللوحين الضاغطين شكل (٤-١٩).

يظهر في الشكل المذكور اعلاه الآتي :

(أ) الجهود المؤثرة على جزء مضغوط في ظروف الانفعال السطحي بين لوحين مثبتين بصورة متوازية.

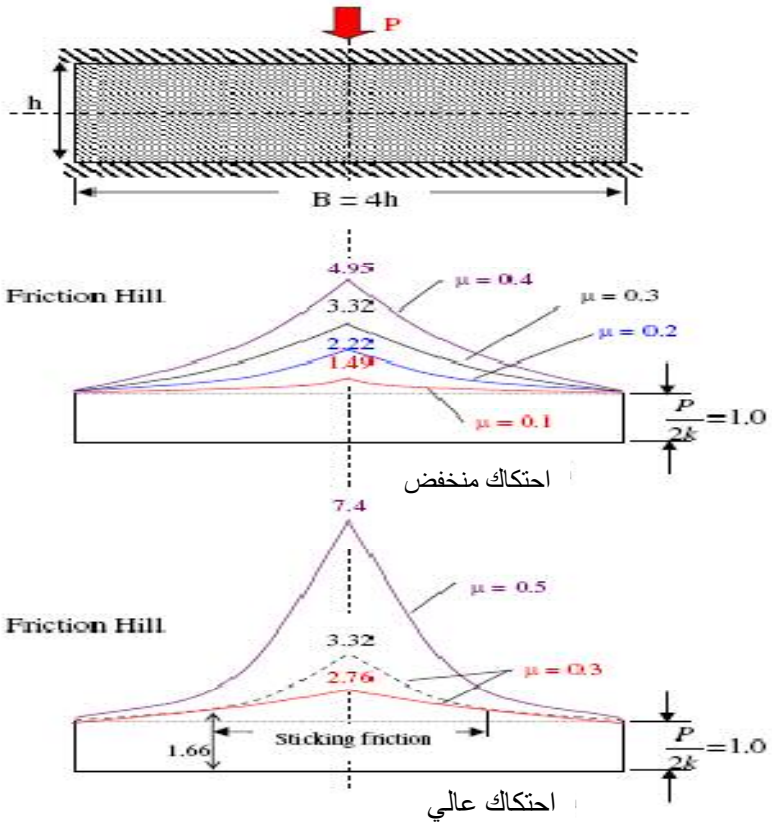
(ب) توزيع الضغط مع احتكاك قليل.

(ج) توزيع الضغط مع حدوث التصاق احتكاكي في منطقة المركز فقط .(μ= 0.3)



شكل (٤-١٩) تطور نمط احتكاك هيل

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-٢٠) شكل يبين تاثير احتكاك على زيادة الضغط المطلوب

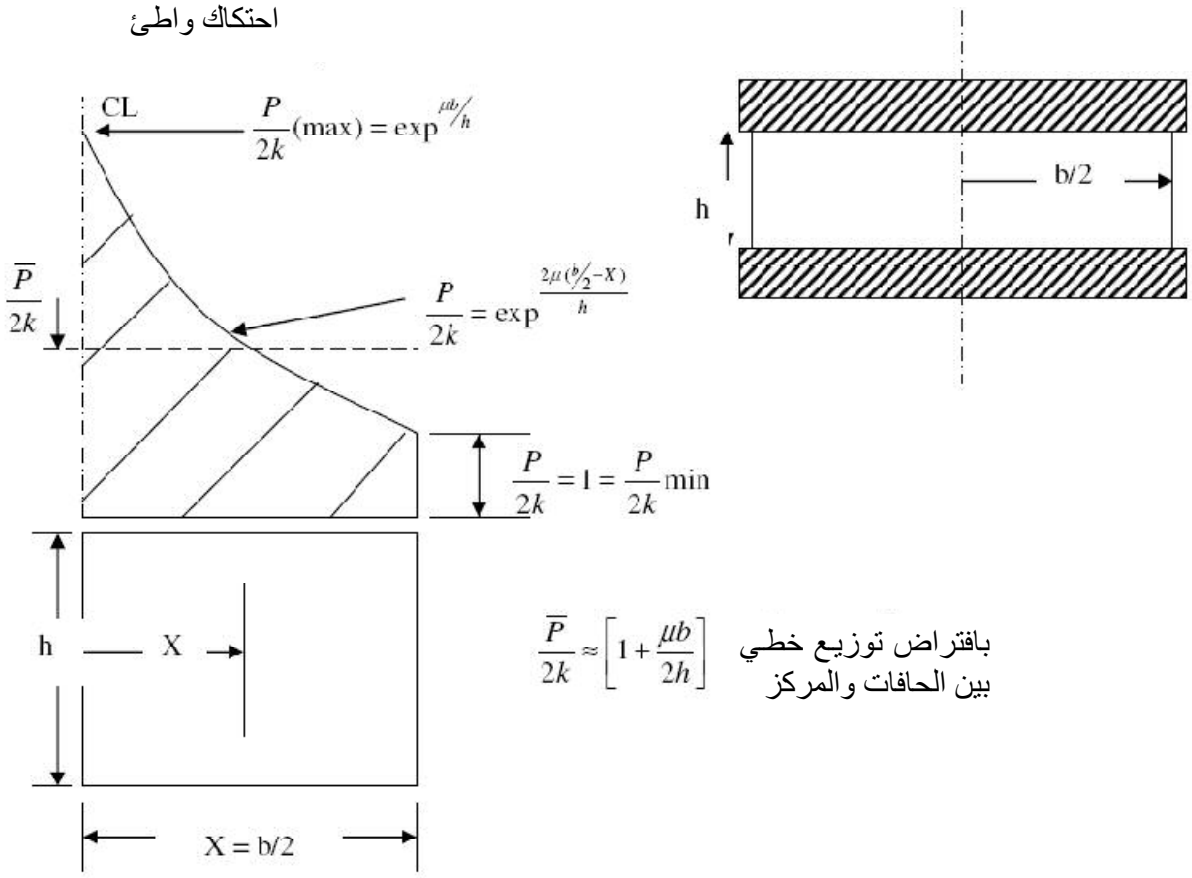
ملاحظة : تذكر إن 2k يمثل جهد الخضوع للمعدن ويساوي Y

٤-١٢ معادلات الطرق

عند وجود تزييت يكون الاحتكاك قليل لذا تستعمل المعادلات الآتية :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

معادلات الطرق للأشكال المستطيلة



شكل (٤-٢١) ارتباط معادلة حساب الضغط مع موقع الضغط

حيث P :- الضغط المطلوب .

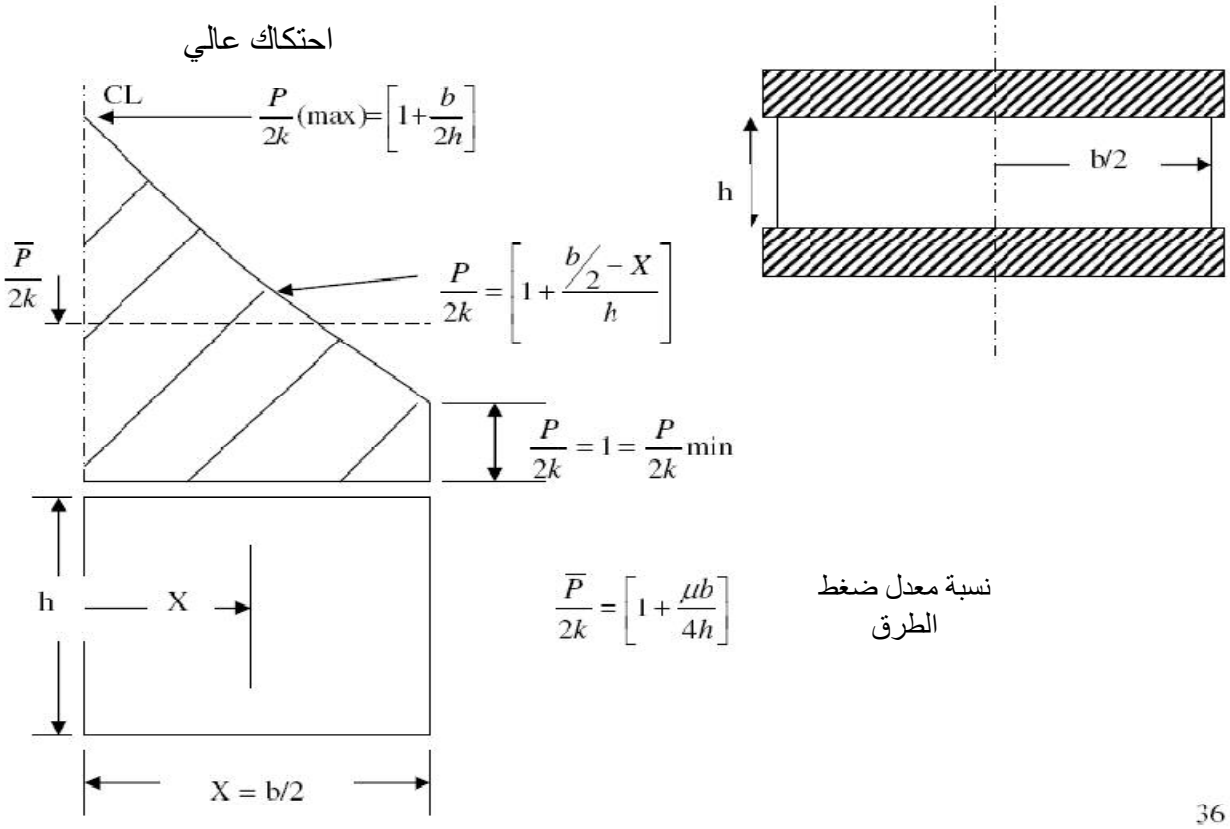
$\overline{P}$:- معدل الضغط.

X :- المسافة من المركز القطعة

h :- ارتفاع القطعة.

أما عند زيادة الاحتكاك بسبب قلة التزييت يتم استعمال المعادلات الآتية :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-٢٢) معالات حساب ضغط الطرق بدون تزييت

حيث P :- الضغط المطلوب .

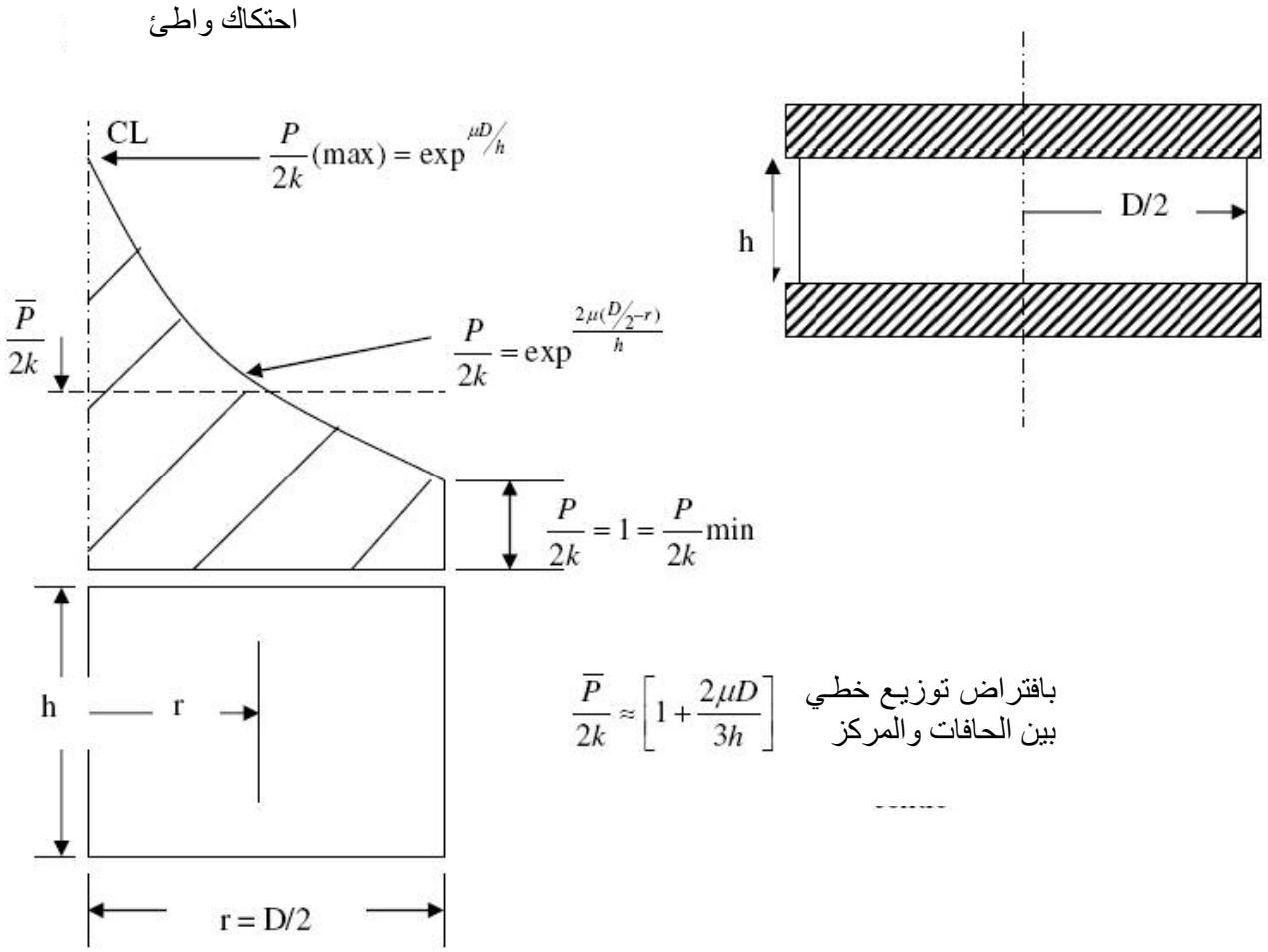
$\overline{P}$:- معدل الضغط.

X :- المسافة من المركز القطعة

h :- ارتفاع القطعة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

معادلات الطرق للأشكال (الأجزاء) الاسطوانية والأقراص



شكل (٤-٢٣) معادلات حساب ضغط الطرق بوجود تزييت

حيث P :- الضغط المطلوب .

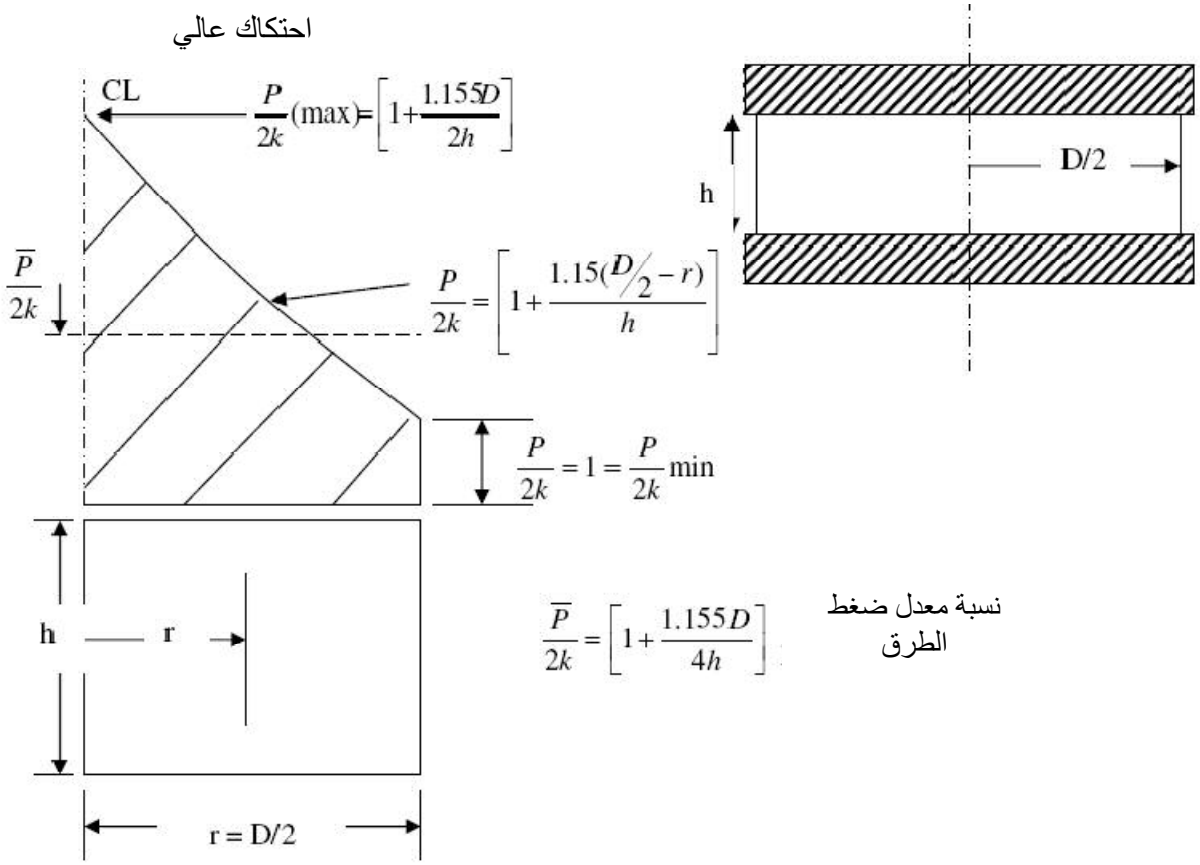
$\overline{P}$:- معدل الضغط.

r :- المسافة من المركز القطعة

h :- ارتفاع القطعة.

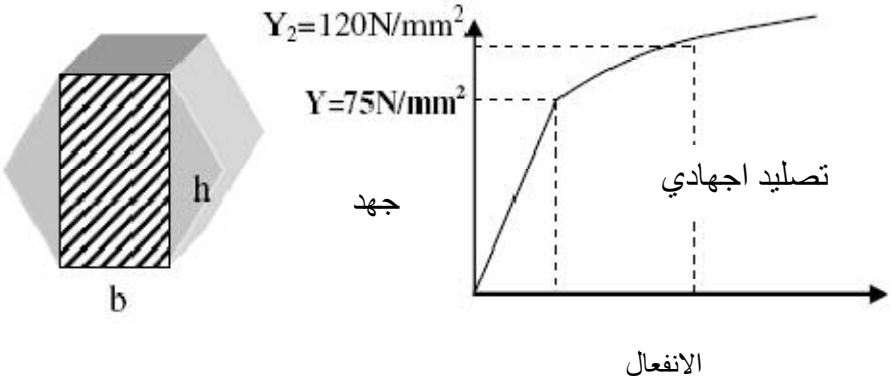
عند عدم وجود تزييت يكون الاحتكاك عالي لذا تستعمل المعادلات الآتية :

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٤-٢٤) معادلات حساب ضغط الطرق بدون تزييت

مثال:- أوجد سعة المكبس الضرورية لطرق اسطوانة (Bloom) طولها (1m) إلى مقطع سداسي طول ضلعه 300mm. إذا كان جهد الخضوع الابتدائي 75 N/m² ثم ارتفع إلى 120 N/m² في نهاية العملية. افترض (آ) إن الاسطوانة مزيتة جزئياً بحيث إن (μ=0.3). (ب) لا يوجد تزييت . مع فرضية وجود ظروف انفعال سطحي. ما هو اكبر ضغط متوقع ؟



شكل (٤-٢٥) طرق مقطع مربع الى مقطع سداسي

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الجواب:- لحل هذه المسألة بطريقة منطقية وإيجاد الأحمال الصحيحة نفترض ان هذه العملية هي عملية طرق قطعة مستطيل مساحة مقطعه هو (b x h) فـــي ظـــروف انفعال سطحي.

$$b = 300mm;\ h = 2b.Sin60^0 = 519.6\ mm$$

(أ) في ظروف التزييت

اكبر ضغط للطرق $\frac{P}{Y} = \exp\left(\frac{\mu b}{h_0}\right) = \exp\left(\frac{(0.3)(300)}{519.6}\right) = 1.189$

نستعمل $Y = 120\ N.mm^2$ وذلك لأننا نريد إيجاد اكبر ضغط للطرق ولـــذلك نســـتعمل اكبر جهد خضوع

$$P = (120\ N.mm^{-2}).(1.189)$$
$$\underline{P = 143\ N.mm^{-2}}$$

سعة المكبس المطلوبة هي :

$$PxA_0 = 143\ N/mm^2\ x\ (300mm\ x\ 1000mm) = \underline{42.9\ MN}$$

(ب) اكبر ضغط للطرق (احتكاك عالي):

$$P = Y\ [1+\frac{b}{2h_0}]$$
$$P = (120\ N/mm^2)\ [1+\frac{300}{2(519.6)}]$$
$$\underline{P = 154.64\ N/mm^2}$$

سعة المكبس الضرورية هي :-

$$PxA_0 = 154.64\ N/mm^2\ x\ (300mm\ x\ 1000mm) = \underline{46.4\ MN}$$

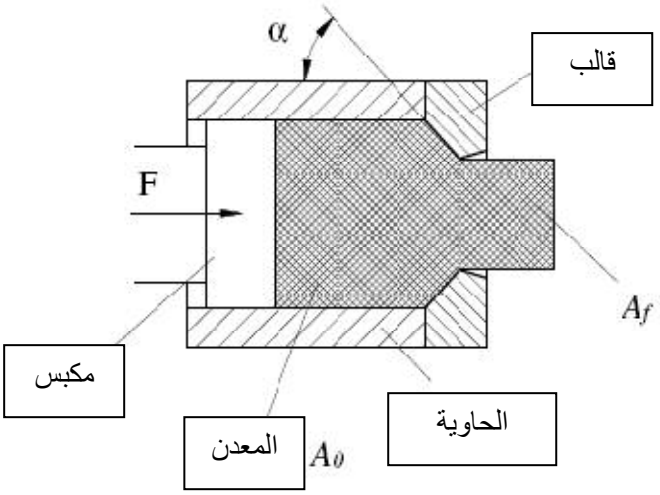
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل الخامس البثق

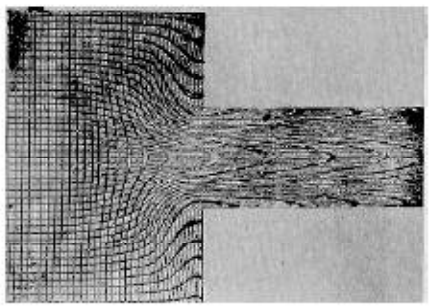
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٥-١ البثق Extrusion :-

البثق:- هو عبارة عن تسليط قوة على كتلة من المعدن ذات مساحة مقطع قيمتها A_o لتمر خلال قالب لتشكيل منتج بمساحة مقطع اقل قيمتها A_f . شكل المقطع النهائي للمنتج شبيه بمقطع القالب. المنتجات المبثوقة لها مقطع حبيبي طولي ، شكل(٥-١). يستعمل البثق لانتاج المقاطع المنتظمة الشكل مع خصائص ميكانيكية جيدة تدخل في المواد الانشائية وهياكل المركبات كما في الاشكال (٥-٢، ٥-٣ ، ٥-٤)



المتغيرات في عملية البثق المباشر

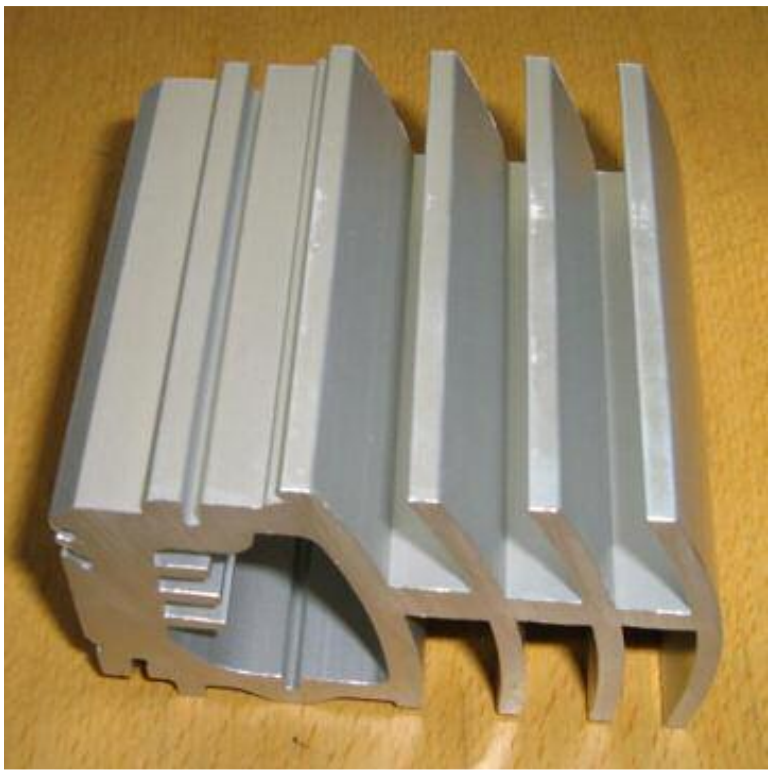


جريان المعدن في البثق المباشر

شكل (٥-١) شكل يوضح عملية البثق وتأثيه على بلورات المعدن

شكل (٥-٢) بعض استعمالات الاجزاء الالمنيوم المصنوعة

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٥-٣) جزء مقعد مصنوع بالبثق

شكل (٥-٤) سيارات حديثة مصنوعة من لحام مقاطع مبثوقة

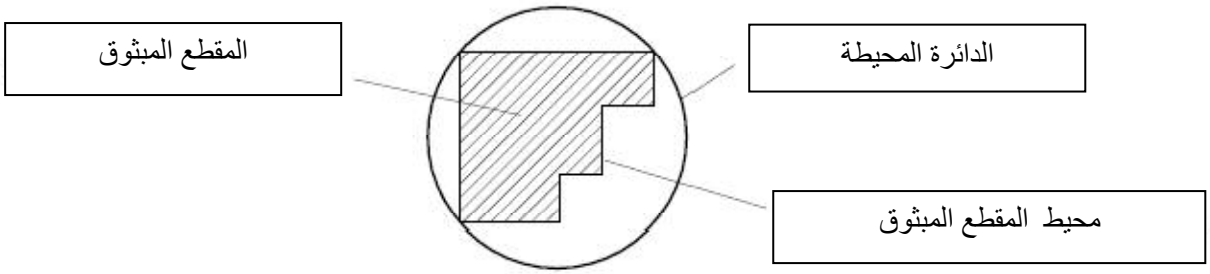
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٥-٢ متغيرات العملية:-

- نسبة البثق (Extrusion Ratio) :- هي نسبة مساحة المقطع الابتدائي الى مساحة المقطع النهائي للمادة $\frac{A_o}{A_f}$.

ويكون مدى هذه النسبة هو 10: 1 ومن الممكن ان تصل الى 1:400 للمواد المطيلية جداً.

- عامل الشكل (Shape factor) :- عامل تعقيد الشكل. هو نسبة طول محيط الشكل (Perimeter) المبثوق الى طول محيط الدائرة المحيطة بالمقطع (Circumscribed circle) (اصغر دائرة يستطيع ان يمر من خلالها مقطع الشكل). شكل (٥-٥).

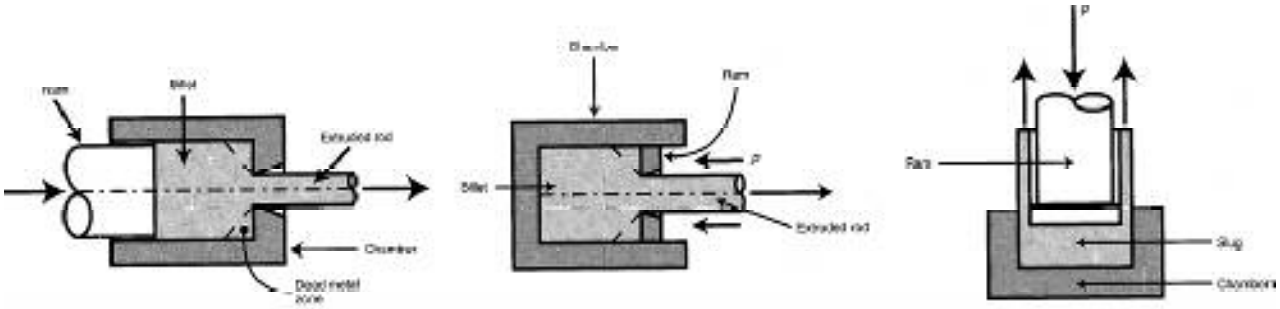


شكل (٥-٥) عامل تعقيد الشكل

- زاوية القالب (α):- تعريف لزاوية القالب.
- قوة البثق (F) :- تعتمد على : مقاومة المادة ، نسبة البثق ، الاحتكاك بين المعدن والقالب ، عامل الشكل ، درجة الحرارة ، سرعة البثق.
- سرعة الذراع:- وتصل إلى 0.5m/s . تستعمل اقل سرع للألمنيوم والمغنسيوم والنحاس والسرع الأعلى للفولاذ.
- سماحات الشكل المبثوق:- عادة من (± 0.25) الى (± 2.5) ملم (تزداد مع زيادة مساحة المقطع المبثوق).

اعتمادا على آلية البثق من الممكن تصنيف عمليات البثق إلى إمامي (Forward) وخلفي (Back ward) وصدمي (Impact) . شكل (٥-٦).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



البثق الصدمي ، الخلفي ، الأمامي

شكل (٥-٦) انواع عمليات البثق

٥-٣ البثق الأمامي (المباشر Direct):-

توضع كتلة المعدن في حاوية ومن ثم تدفع إلى الإمام بواسطة مكبس من خلال فتحة الحاوية (أو من خلال فتحة القالب المثبت في الحاوية).

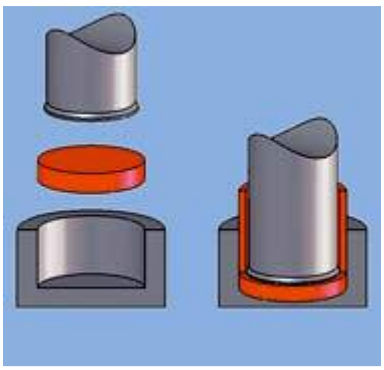
٥-٤ البثق الخلفي (غير مباشر Indirect):-

في هذه الطريقة تكون حركة المكبس في اتجاه معاكس لاتجاه حركة المعدن المثبوق. تقلل هذه الطريقة الاحتكاك بين كتلة المعدن وجدار القالب وبالتالي تقلل الطاقة المبذولة. تكون المعدات هنا اعقد من معدات البثق الأمامي كما إن طول المنتج المبثوق يكون محدود مقارنة بطول المنتج في الطريقة الأمامية.

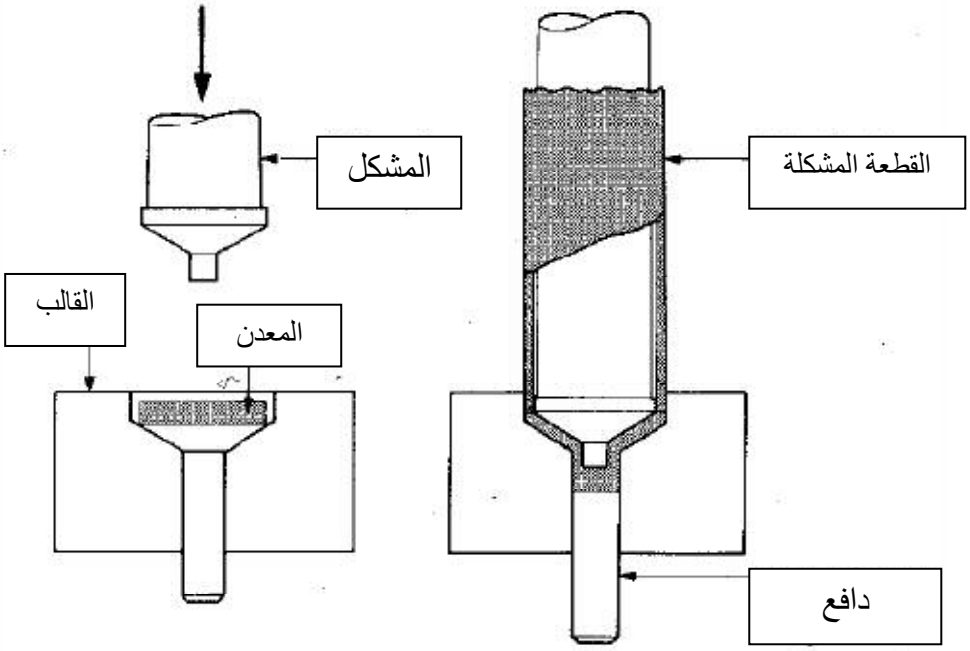
٥-٥ البثق الصدمي (Impact) :-

يتم عادة على البارد. حيث يصدم المُشكّل (مثبت على المكبس) كتلة المعدن بسرعة وقوة نسبياً عالية مسبباً جريان المعدن بمعدل انفعال عالي حول المشكّل ، ويكون سمك المنتج المبثوق معادل للفراغ الموجود بين المشكّل ، والقالب (الحاوية Chamber). تستعمل هذه الطريقة لإنتاج أنابيب معجون الأسنان و المستحضرات الطبية. ويكون معدل الإنتاج عالي (ضربتان للمكبس في الثانية). شكل (٥-٧) شكل(٥-٨).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٥-٧) البثق الصدمي



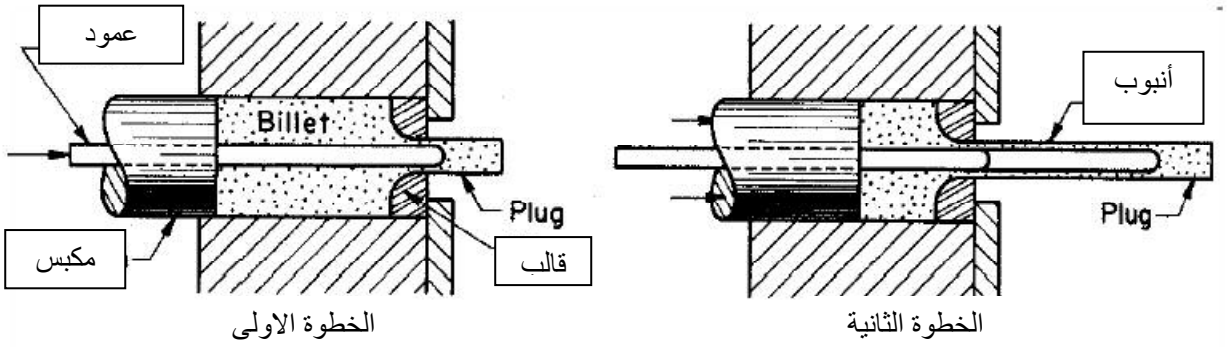
شكل (٥-٨) البثق الصدمي لإنتاج أنبوبة معجون

٥-٦ بثق الأشكال المجوفة Hollow shapes :-

تبثق الإشكال المجوفة بالطرق الآتية :-

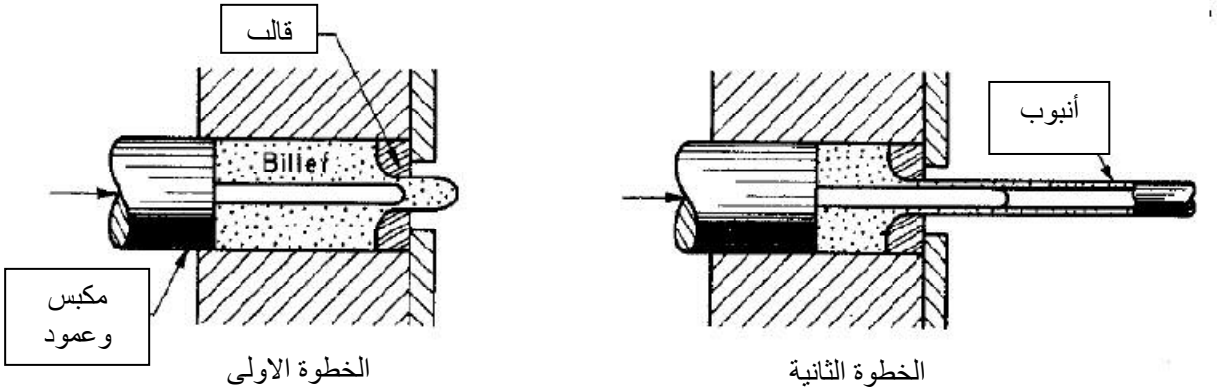
١. عمود موقعي Stationary mandrel :- ينزلق المكبس على طول عمود ثابت. سمك المنتج المبثوق ينتج ويعادل الفراغ بين العمود والقالب و يمكن استعماله لإنتاج الأجزاء الأنبوبية. شكل (٥-٩).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٥-٩) طريقة استعمال العمود الموقعي

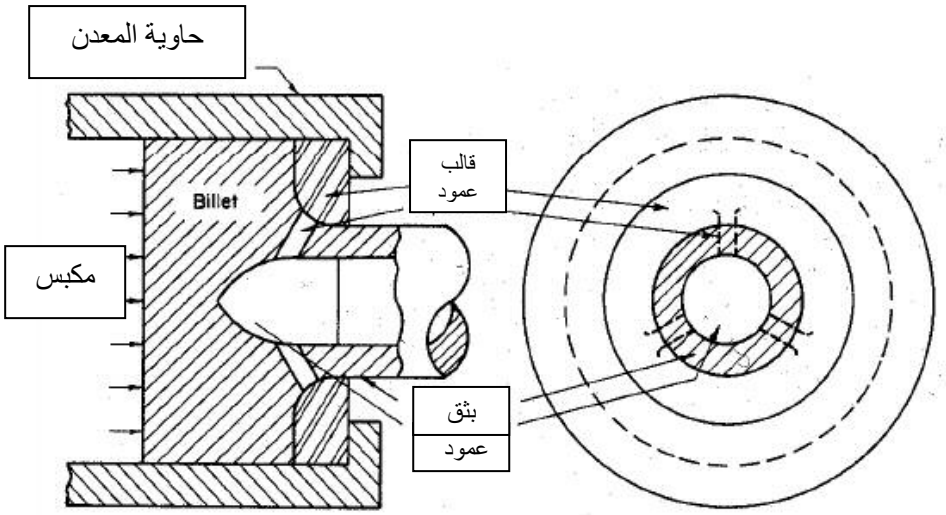
٢. العمود المتحرك:- يثبت العمود إلى المكبس (يتحركان معاً). شكل (٥-١٠).



شكل (٥-١٠) طريقة العمود المتحرك.

٣. العمود العنكبوتي:- يستعمل لبثق أجزاء تحوي تجاويف داخلية معقدة. يثبت العمود إلى القالب بواسطة أضلاع عنكبوتية. تقوم هذه الأضلاع فعليا بتقطيع المعدن فينساب المعدن ويجري حولها. ولكن بعد عبور المعدن للأضلاع يعاني انضغاط إضافي نتيجة تقلص الفراغ بين العمود والقالب. وتعمل القوى الناتجة من هذا التشوه على المعدن معاً مرة ثانية. تبلى هذه الإضلاع بسرعة وكلفتها كبيرة و تستعمل للألمنيوم فقط (بسبب قابليته على تكوين لحام قوي تحت الضغط). لا تستعمل المزيتات هنا لأنها تمنع إعادة التحام المعدن في القالب. شكل(٥-١١).

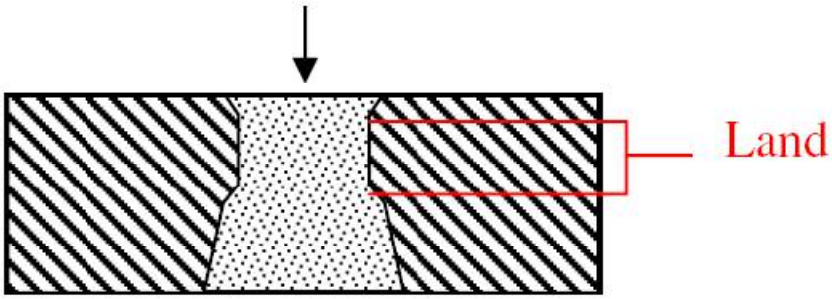
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل(٥-١١) عمود عنكبوتى

٥-٧ ملاحظات عن تصميم القالب:-

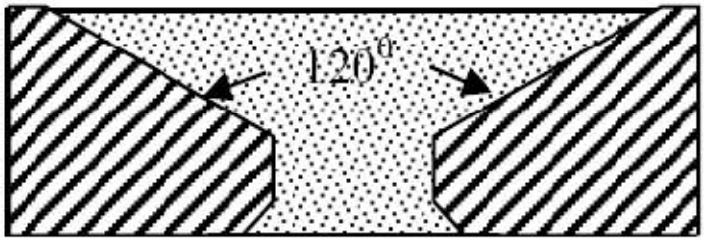
- لبثق المعادن غير الحديدية (خاصة الألمنيوم) تستعمل القوالب المربعة (زاوية البثق $\alpha = 90^{\circ}$) فيتكّون حيز من المعدن الميت (Dead metal zone) في زاويا القالب حيث تحسن من مواصفات المنتج النهائي المبثوق. شكل (٥-١٢).



شكل (٥-١٢) زاوية ٩٠ درجة.

- يكون مدخل القالب للمعادن الحديدية ذا زاوية مفتوحة كبيرة لمنع حدوث نطاق المعدن الميت. شكل (٥-١٣).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

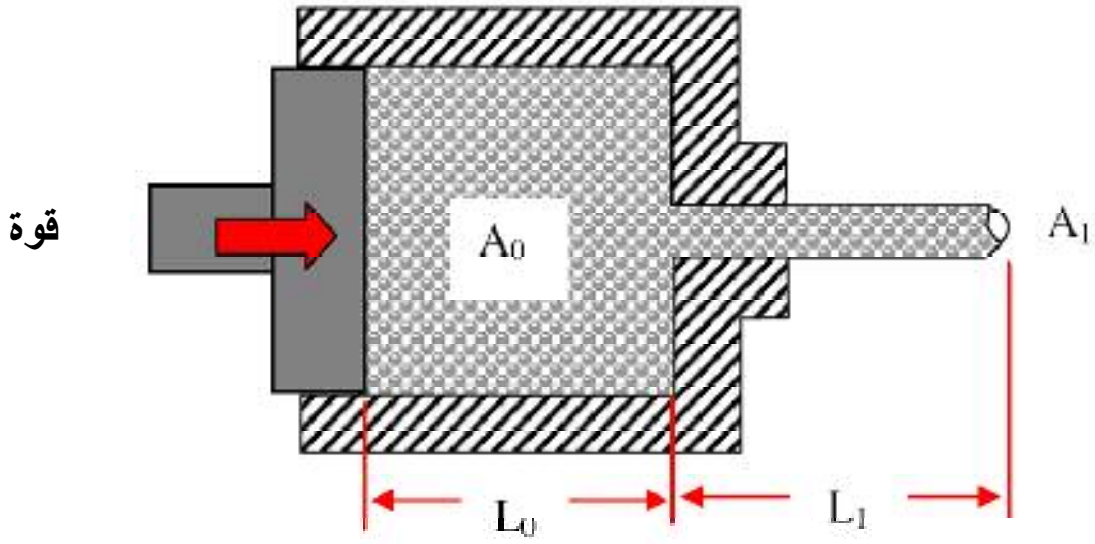


شكل (٥-١٣) معدن بزاوية ١٢٠ درجة.

- يجب تجنب الزوايا والحافات الحادة في القالب.

٥-٨ تحليل القوى في عمليات البثق:-

نحاول في المثال الآتي إيجاد صيغة تمثل الشغل التقريبي المطلوب أو تخمين الضغط أو القوة المطلوبة لانجاز عملية البثق. شكل (٥-١٤).



شكل (٥-١٤)

بما ان الحجم قبل البثق مساوي للحجم بعد البثق :-

إذن :

$$A_0.L_0 = A_1.L_1$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$\frac{A_0}{A_1} = \frac{L_1}{L_0}$$

وبما ان نسبة البثق R هي :

$$R = \frac{A_0}{A_1} = \frac{L_1}{L_0}$$

و بتطبيق نظرية التشويه المتجانس (احتكاك يساوي صفر) الشغل المطلوب يساوي حاصل ضرب كل من القوة والمسافة:-

$$W = F.L$$

لكن $$F = \sigma.Area$$

إذن $$W = \sigma.Area.L = \sigma.Vol.$$

الجهد المسلط يحسب عن طريق جهد الخضوع مضروباً بالانفعال الحقيقي.

$$\sigma = \bar{Y} \ln \frac{L_1}{L_0}$$

وهكذا $$W = Vol.\bar{Y} \ln \frac{L_1}{L_0} = Vol.\bar{Y} \ln \frac{A_0}{A_1}$$

لكن كما يظهر في عملية البثق فان الشغل المبذول:-

$$W = F_{Ext}.L_0 = (P_{Ext}.A_0).L_0 = P_{Ext}.Vol$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

وبالتعويض بقيمة ضغط P_{Ext} في المعادلتين السابقتين.

$$P_{Ext} = \overline{Y} \ln \frac{A_0}{A_1} = \overline{Y} \ln(R)$$

هذه الصيغة تعطي تخمين ضعيف جداً لضغط البثق بسبب إهمال الاحتكاك او الشغل الزائد (بسبب جهود القص الداخلية). لذلك من الممكن تعديل هذه الصيغة لتأخذ في الاعتبار الجهود الداخلية حيث ستصبح بالشكل الآتي:-

$$P_{Ext} = \overline{Y} \left[a + b.\ln(R)\right]$$

حيث (a):- معامل الشغل الزائد (Redundant work) بينما الحد ($b.\ln(R)$) هو تعبير عن الشغل المفيد ولكن تبقى هذه المعادلة في حالة اهمال للاحتكاك.

أما بالنسبة للمواد التي لا تتصلد بالاجهاد مثل الرصاص (Lead) وبعض سبائك الالمنيوم وبعض سبائك الفولاذ فان الثوابت في المعادلة تأخذ القيم الآتية : (اشتقت من قبل العالم Johnson 1957).

ومن خلال التجارب فان قيم a و b هي :

$$a = 0.8 , \quad b = 1.5$$

$$\frac{P_{Ext}}{\overline{Y}} = 0.8 + 1.5 \ln(R)$$

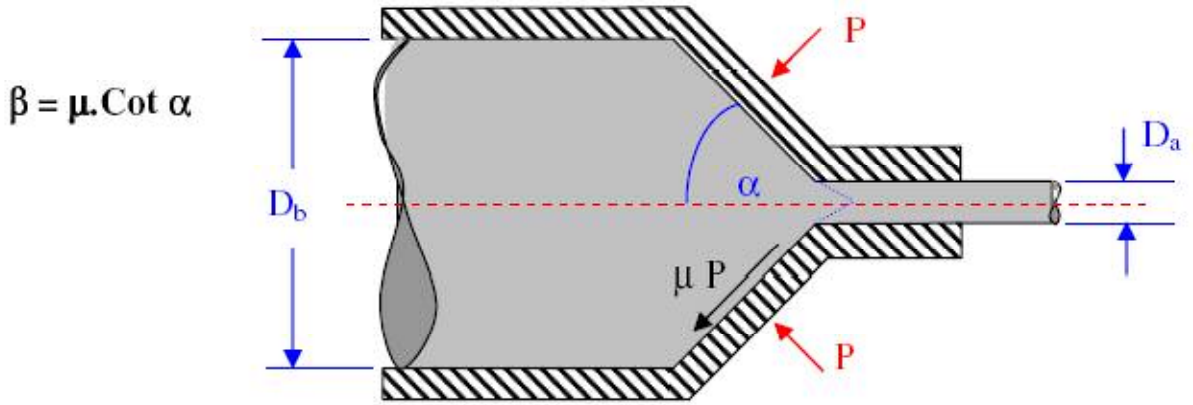
, وبتحوير هذه المعادلة لتتضمن الاحتكاك تصبح :-

$$\frac{P_{Ext}}{\overline{Y}} = [0.8 + 1.5 \ln(R)].\exp^{4\mu L/D}$$

حيث L يمثل طول كتلة المعدن قبل البثق ، D يمثل قطر الكتلة ، μ هو معامل الاحتكاك

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٥-٩ البثق في القالب المخروطي Tapered Die :-



شكل (٥-١٥) القالب المخروطي

عند استعمال القالب المخروط نحتاج الى معرفة تأثير زاوية مخروط القالب.

والمعادلة المستعملة هي:-

$$\frac{P}{\overline{Y}} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_b}{D_a}\right]^{2\beta}\right)$$

مثال:- احسب ضغط البثق للعملية الآتية (شكل ٥-١٦) مستعملاً:-

١) نظرية الحد الأسفل Lower Bound

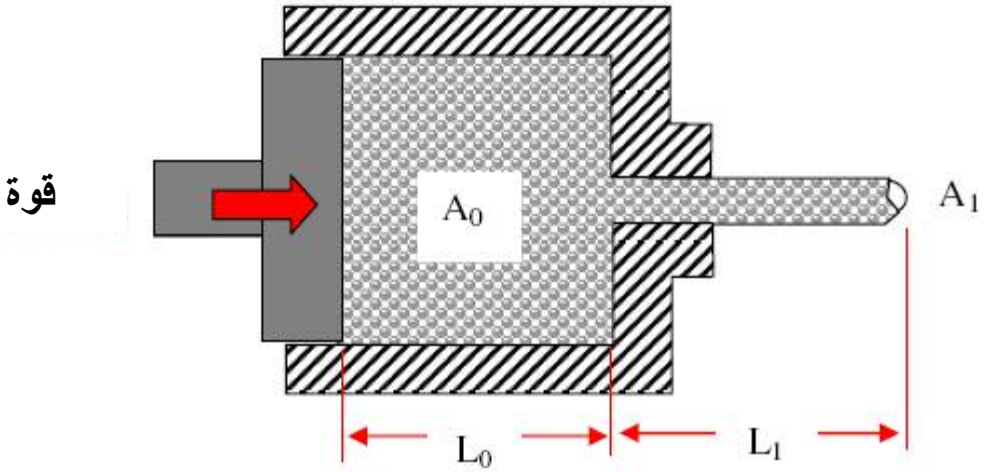
٢) صيغة الشغل مع حساب القص الداخلي كما اشتق من قبل جونسن Johnson حيث $\overline{Y} = 120\,N.mm^{-2}$ ، مساحة كتلة المعدن 400mm² وتبثق إلى مساحة قيمتها 64mm².

٣) إذا كان الطول الأولي لخامة المعدن هو 40mm ومعامل الاحتكاك يعادل 20%. احسب الضغط الجديد المطلوب للتغلب على ألاحتكاك ؟

٤) اذا كانت الزاوية الكلية 50° ما هو ضغط البثق المطلوب.

٥) اشرح النتائج الظاهرة في كل حالة.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٥-١٦) عملية بثق في قالب مربع

الجواب:-

١) باهمال الاحتكاك والشغل الزائد نستعمل المعادلة الآتية :

$$P_{Ext} = \bar{Y} \ln(R) = \bar{Y} \ln \frac{A_0}{A_1} = (120).\ln \frac{400}{64} = 120 \text{ x } 1.83 = 219.9 \text{ N.mm}^{-2}$$

٢) نستعمل المعادلة التالية :

$$P_{Ext} = \bar{Y} [a + b.\ln(R)], \text{ where by Johnson a = 0.8 and b = 1.5}$$

حيث

$$P_{Ext} = (120).[0.8 + 1.5 \ln \frac{400}{64}] = 120 \text{ x } 3.55 = 425.86 \text{ N.mm}^{-2}$$

٣) وباحتساب الاحتكاك نستعمل المعادلة الآتية:

$$P_{Ext} = \bar{Y} \ [0.8 + 1.5 \ln(R)].\exp^{4\mu L/D}$$

وبما ان المساحة الأولية معروفة فاننا نستطيع حساب القطر حيث المساحة تساوي πr^2

$$= (120).[0.8 + 1.5 \ln \frac{400}{64}] \exp^{4(0.2)(40)/(22.56)} = 120 \text{ x } 14.66 = 1759.67 \text{ N.mm}^{-2}$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٤) وفي حال كان القاب مخروطي الشكل نستعمل المعادلة الآتية:

$$P = \overline{Y} \cdot \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_b}{D_a}\right]^{2\beta}\right)$$

حيث

$$\beta = 0.2\text{Cot}\,(25) = 0.43$$

$$P = 120.\frac{1+0.43}{0.43}\left(1-\left[\frac{400}{64}\right]^{0.86}\right)$$

لاحظ إننا استعملنا نسبة المساحة داخل الاقواس.

٥) بدون حساب الشغل الإضافي والاحتكاك (تشويه متجانس) نحتاج لتسليط قوة تعادل 1.83 بقدر مقاومة الخضوع.

- بإهمال الاحتكاك مع حساب تأثير القص الداخلي نحتاج لتسليط 3.55 بقدر مقاومة الخضوع.
- بحساب الشغل الإضافي والاحتكاك في القالب بدون زاوية سنحتاج تسليط 14.66 بقدر مقاومة الخضوع.
- بإضافة زاوية إلى القالب نحتاج 12.78 بقدر مقاومة الخضوع ، نلاحظ إن الضغط انخفض بسبب استعمال زاوية قالب.

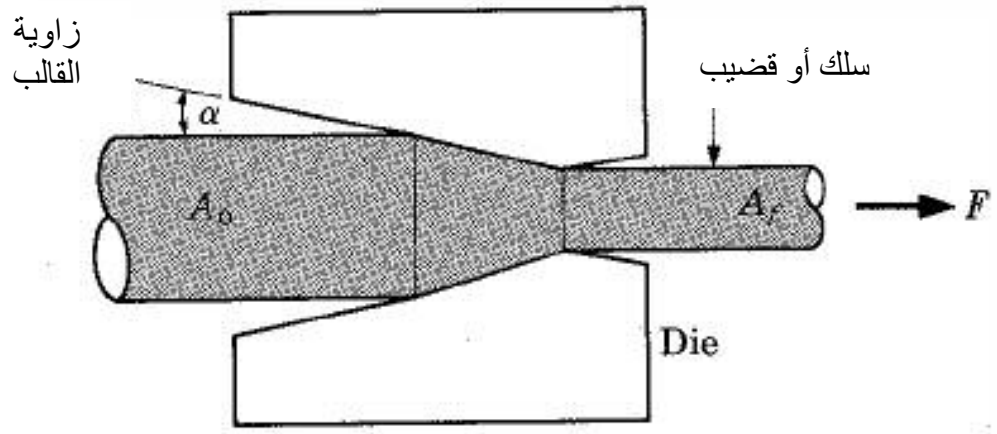
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل السادس السـحـب

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

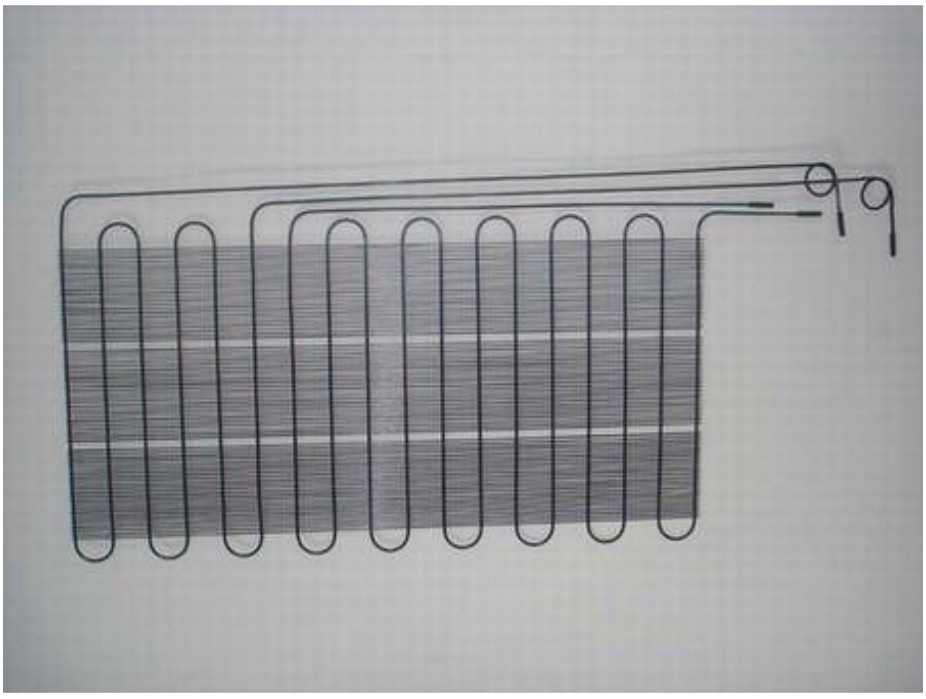
٦-١ عملية السحب Drawing Process :-

عملية السحب:- هي عملية سحب المعدن خلال قالب لتقليل مساحته من مساحة اولية قدرها A_o الى مساحة نهائية قدرها A_f. شكل (٦-١)



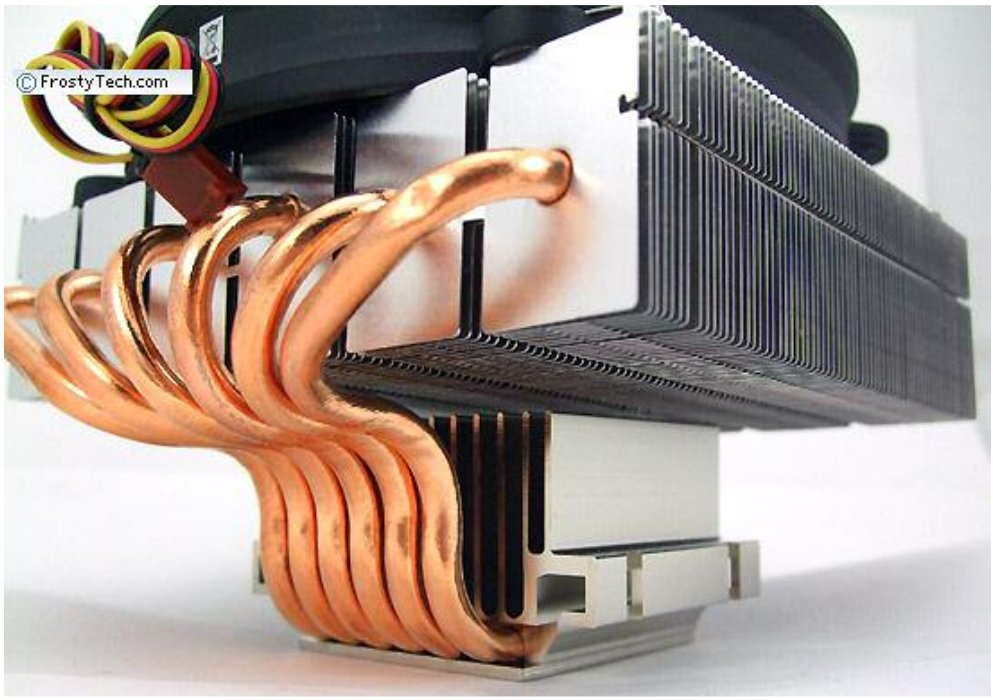
شكل (٦-١) عملية السحب.

ومن امثلة منتجات هذه العملية انابيب المشعات الحرارية والانابيب النحاسية شكل (٦-٢) (٦-٣).

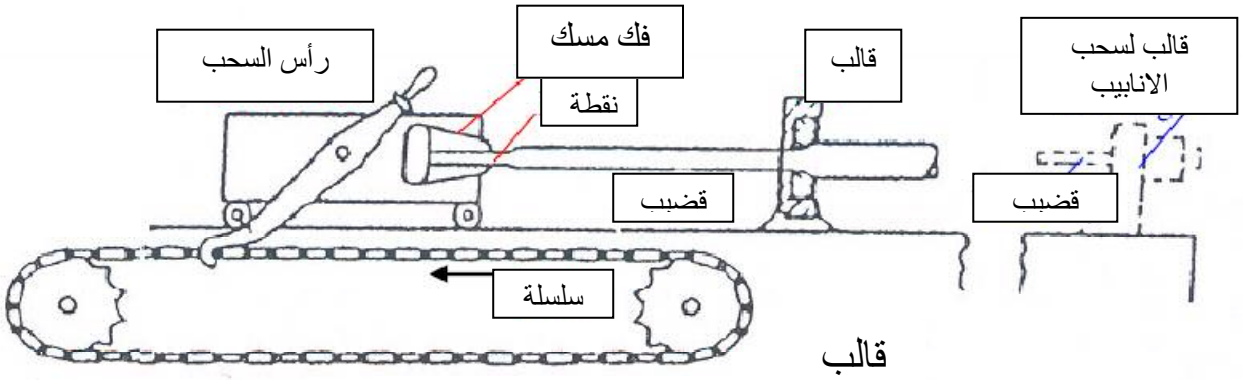


شكل (٦-٢) مشع حراري منتج بطريقة سحب الانابيب

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٦-٣) انابيب تبريد نحاسية مصنوعة بطريقة السحب



شكل (٦-٤) مخطط لماكنة السحب

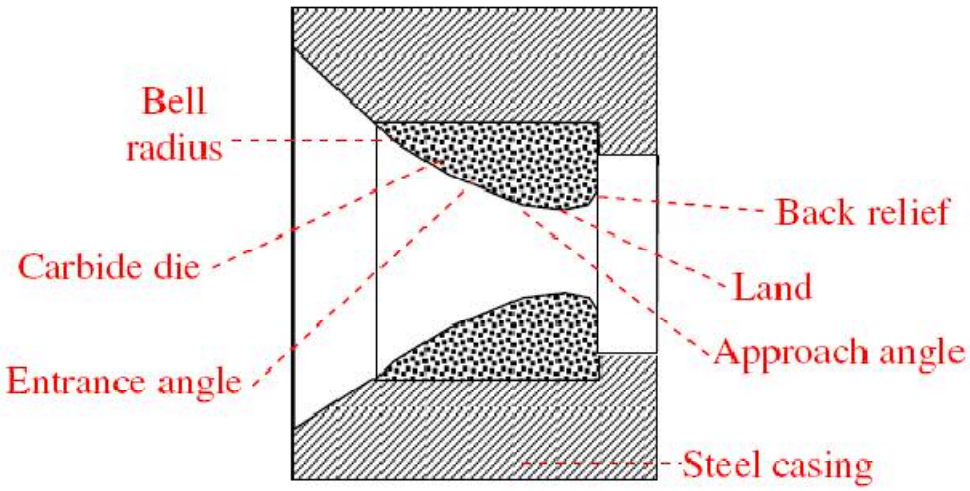
٦-٢ متغيرات العملية :-

- نسبة التقليل في مساحة المقطع العرضي (Reduction) :- وهي النسبة بين المقطع العرضي للمادة المسحوبة والمقطع الابتدائي لها: A_f/A_o. وهي عادة لا تتجاوز نسبة 30% (اصغر قيمة). لتحسين الإنهاء السطحي وضبط الإبعاد من

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الممكن أجراء مرحلة نهائية (Final sizing) مع تقليص بسيط لمساحة المقطع العرضي.

- زاوية القالب (α) :- ولها تأثير على قوة السحب وجودة سطح المنتج .وهي تتراوح بين 6° - 15°. وهي تسهل جريان المعدن وكذلك توجد زوايا أخرى للقالب تتغير قيمتها من المدخل (Entrance) ولغاية زاوية التشكيل.
- قوة السحب:- تعتمد على مقاومة المعدن المسحوب و نسبة التقليل في المقطع العرضي و معامل الاحتكاك للقالب و درجة الحرارة وسرعة السحب.
- سرعة السحب:- قد تصل السرعة إلى (50 m/s) للأسلاك الناعمة.

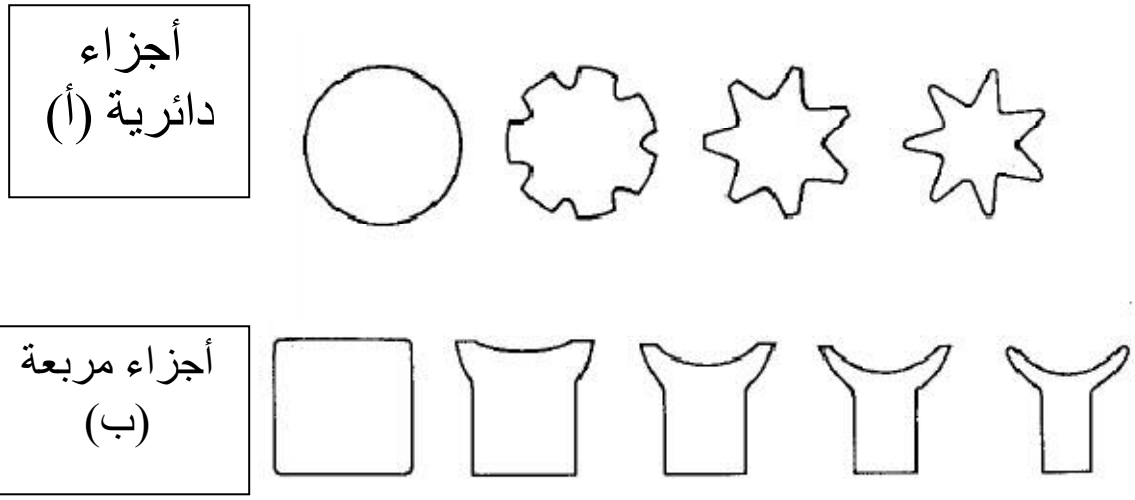


شكل (٦-٥) القالب وتظهر عليه الزوايا مؤشرة

٦-٣ السحب متعدد المراحل Multi-pass drawing :-

إذا كانت نسبة التقليل كبيرة فمن الممكن ان يتم السحب في عدة مراحل. وكذلك يمكن تشكيل شكل المقطع العرضي تدريجياً. شكل (٦- ٦).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٦-٦) السحب متعدد المراحل

٦-٤ طرق سحب الأنابيب Tube drawing :-

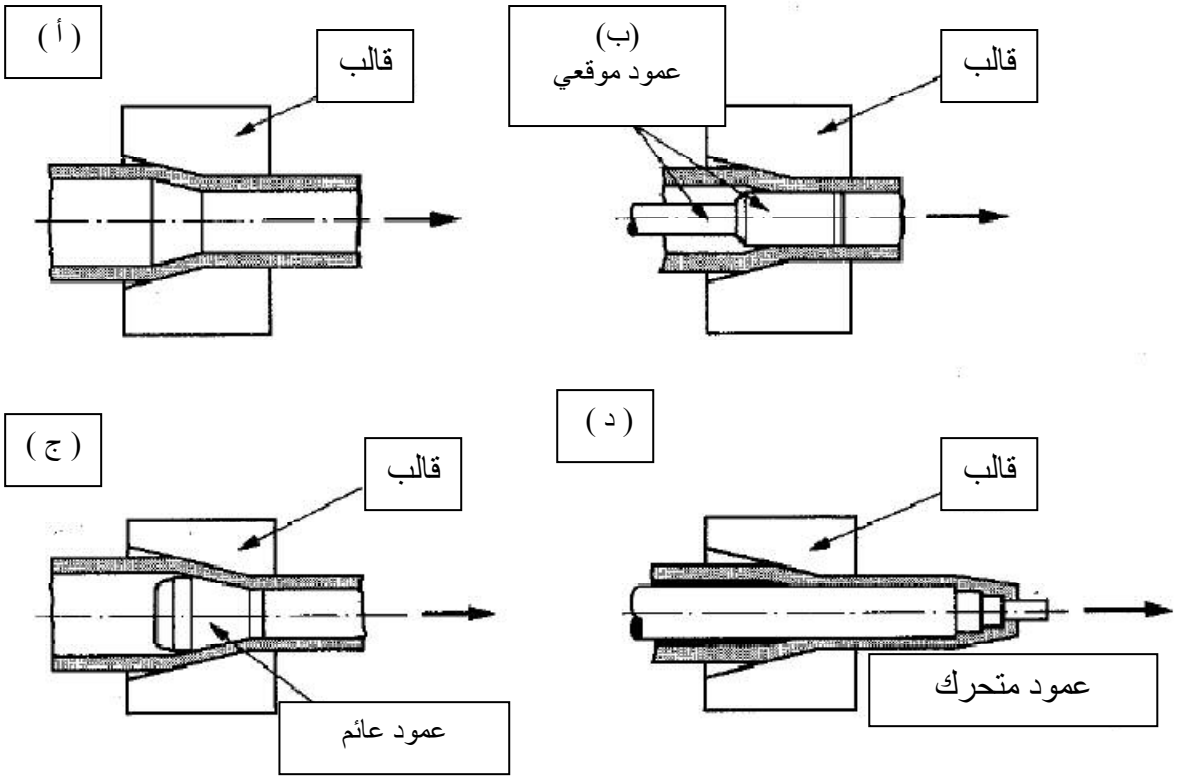
(أ) بدون عمود (Mandrel):- يسحب الأنبوب خلال القالب بدون عمود و بذلك يكون القطر الداخلي والإنهاء السطحي غير مسيطر عليه. شكل (٦-٧-أ).

(ب) مع عمود موقعي:- وهنا لا يتحرك العمود نسبة إلى القالب. و يتحدد سمك الأنبوب بمقدار الفراغ بين العمود والقالب. وبذلك فمن الممكن الحصول على إنهاء سطحي جيد وسمك دقيق. شكل (٦-٧- ب).

(ت) باستعمال عمود عائم (Plug):- يسحب العمود مع الأنبوب لكنه لا يعبر القالب. سمك الأنبوب غير دقيق لأنه يعتمد على موقع إلعمود نسبة إلى القالب. هذا الموقع يتحدد بمقدار الاحتكاك بين القالب والأنبوب من جهة والأنبوب والعمود من جهة اخرى و تستعمل هذه الطريقة لسحب الأنابيب الطويلة الرقيقة الجدران (طول العمود لا يحدد طول الأنبوب). شكل (٦-٧-ج).

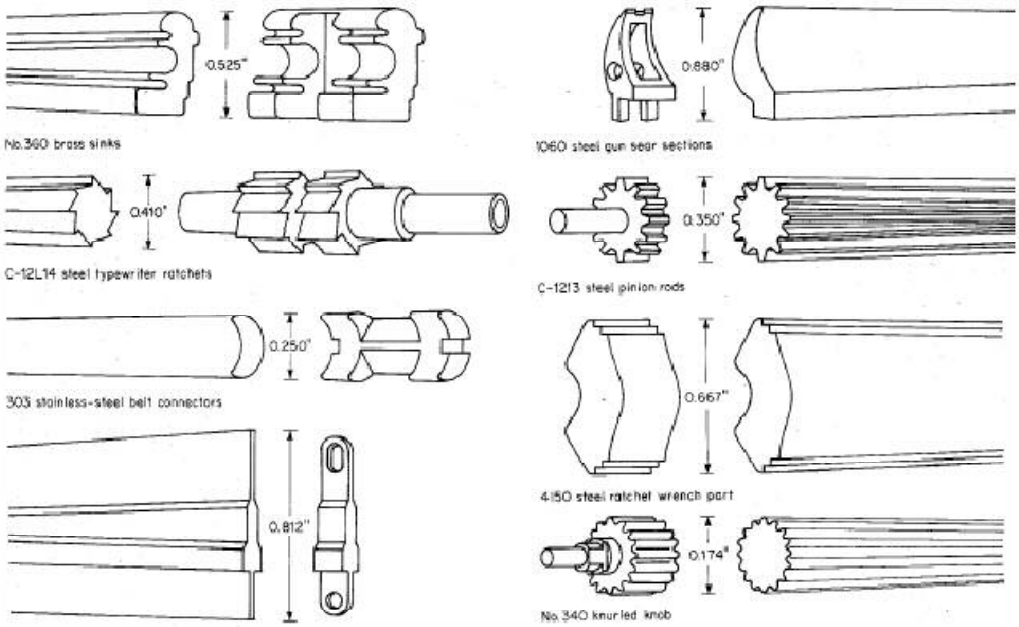
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

(ث) باستعمال العمود المتحرك:- يتحرك العمود مع الأنبوب ليقلل الاحتكاك (لا يوجد احتكاك بين العمود والأنبوب) لذا يجب إن يشغل العمود بدقة. شكل (٦-٧- د)



شكل (٦-٧) طرق سحب الأنابيب

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٦-٨) أجزاء منتجة من الأشكال المسحوبة.

٦-٥ الخطوات العامة لعملية سحب الأسلاك:-

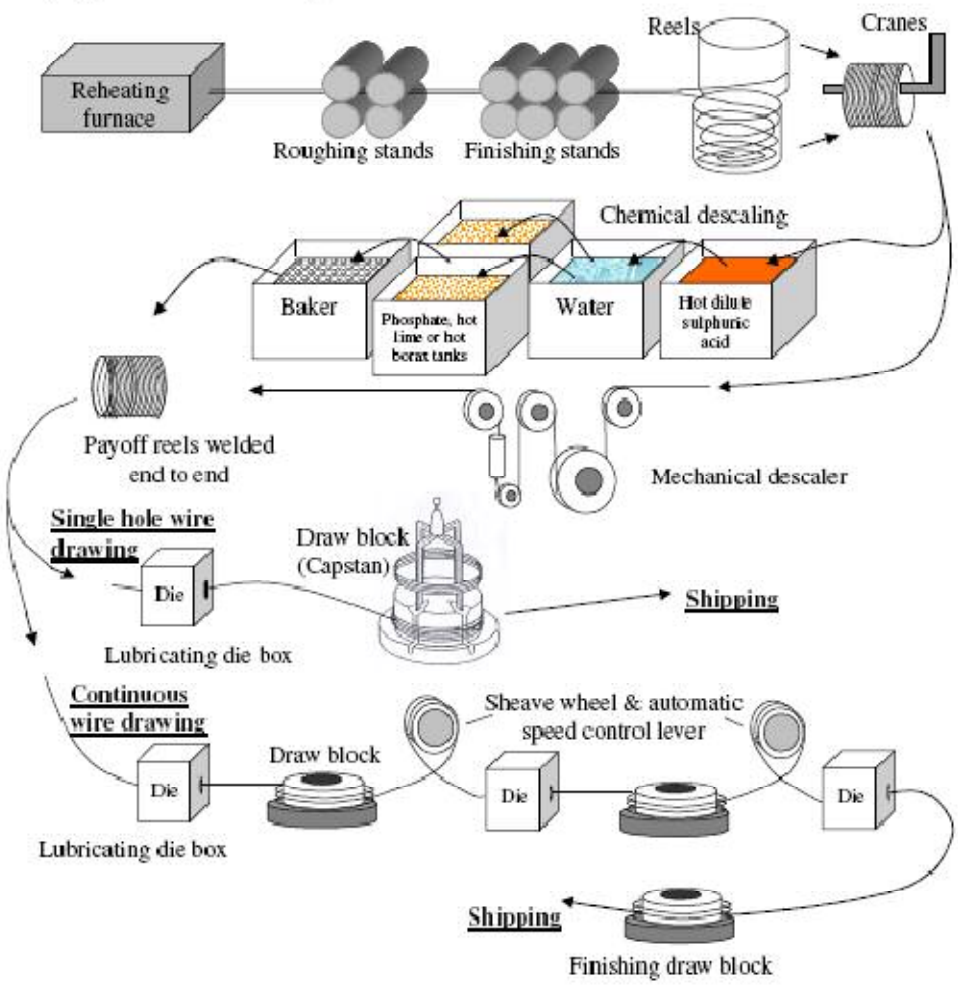
١. تسخين كتل الفولاذ billets في افران إعادة التسخين.
٢. درفلة الكتلة على الساخن قبل سحب الأسلاك.(هذه العملية يجب إن تكون سريعة قبل إن يبرد المعدن ويصبح اقوى).
٣. يوجد نوعين من البكرات لاستلام القضيب ، الأولى تدور بسرعة مناسبة مع سرعة الدرفلة وتقوم بلف القضيب. بينما الثانية ثابتة و في الحالتين تقوم آلية ميكانيكية بلف القضيب حول البكرات. شكل(٦-٩).
٤. تقوم الرافعات بحمل البكرات إلى العملية التالية.
٥. يتم تحضير قضبان الفولاذ لعملية السحب بعدة طرق:-

أ- التنظيف الكيميائي (إزالة القشرة كيميائيا) :- وتتم باستخدام حامض الكبريتيك لتنظيف السطح من الصدأ والاكاسيد وباستخدام مرشات مائية. تطلى القضبان المحضرة بمادة مثل بوراكس الفوسفات لحماية السطح ولتعمل كمزيتات في عملية السحب.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

ب- التنظيف الميكانكي : و هنا تتم إزالة القشرة ميكانيكياً بطرق متعـــددة مثـــل الحث المتعاكس للقضيب أو باستخدام الهواء المضغوط مـــع مـــواد مخدشـــة او باستعمال فرش ميكانيكية ... الخ .

خطوات عملية سحب الأسلاك



شكل (٦-٩) خطوات عملية سحب الأسلاك

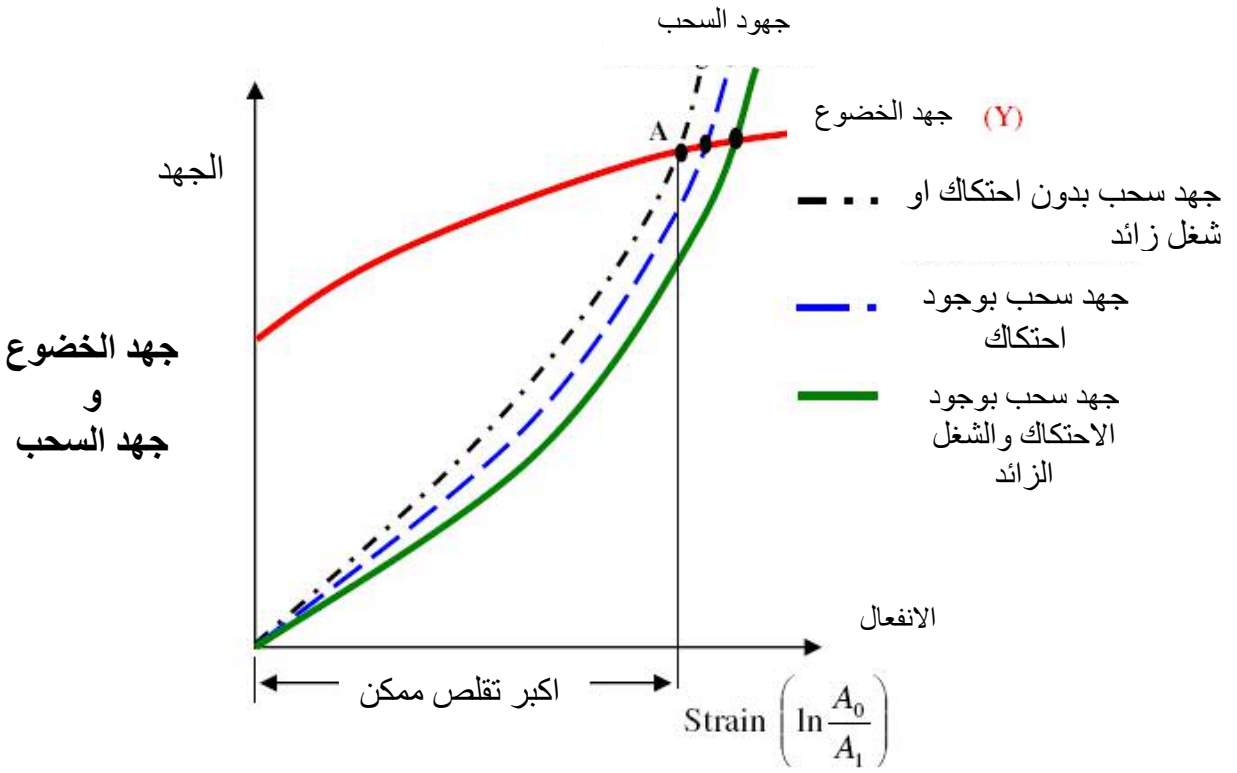
٦. بعد إزالة القشرة يربط القضبان بواسطة اللحام ومن ثم تدخل إلى البكرات.
٧. لسحب سلك مفرد يتم تغذية القضيب إلى صندوق القالب المزيت وبعد السحب يلف لغرض التسويق.
٨. يسحب السلك المستمر بتغذية السلك الى صندوق القالب المزيت ومن ثـــم يـــدرفل على عجلة sheave wheel لضبط سرعة السحب وبعدها يلف على بكرة لغرض التسويق.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٦-٦ خصائص سحب السلك:-

١. اقل قطر سلك ممكن الحصول عليه عن طريق الدرفلة هو 5mm لذلك يتم استعمال السحب للحصول على اقطار اصغر.
٢. لا يمكن سحب المواد اللدنة بسهولة لان عملية السحب المعدن تتطلب إن يمتلك المعدن قوة شد جيدة ومطيلية عالية ، النحاس المخمر والفولاذ أمثلة جيدة على المواد القابلة للسحب حيث لها مقاومة ومطيلية جيدة.
٣. يتم تشغيل رأس القضيب بالخراطة ابتدءا قبل ادخاله إلى قالب السحب قبل سحبه خلال القالب.
٤. تصنع القوالب عادة من كاربيد التنجستن (هي مواد مقاومة للبليان) وهي تستعمل لسحب النحاس و الفولاذ الطري (Mild steel) .
٥. من الممكن إجراء عملية السحب على عدة مراحل وبسلسلة من القوالب لتقليص قطر السلك تدريجياً ومن الممكن إن تكون نسبة التقليص 30% (ولا تزيد عن 50% في أي حال من الأحوال) خلال كل قالب. للأسلاك الرفيعة تكون نسبة التقليص بين (١٥- ٢٥)% بسبب ازدياد احتمالية حدوث كسر في السلك المسحوب خلال العملية.
٦. يعتمد اكبر تقليص مسموح به على مقدار الاحتكاك والقص الداخلي (الشغل الفائض).

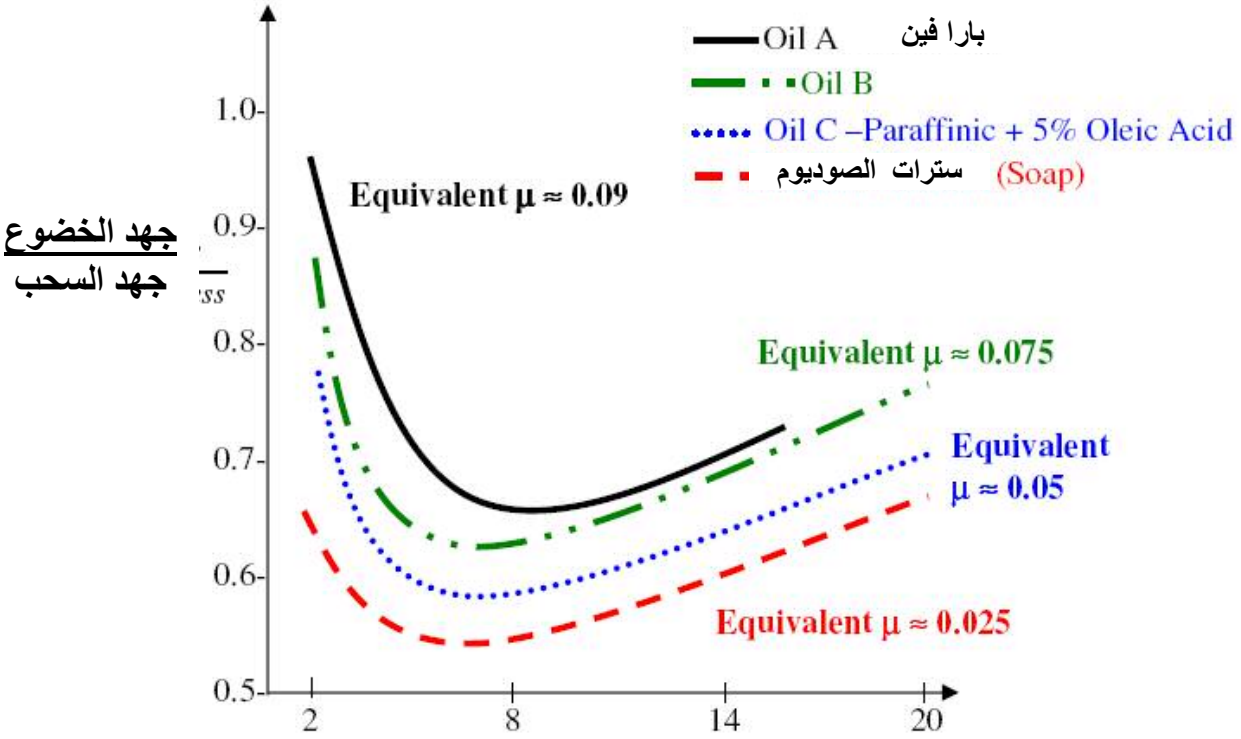
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٦-١٠) منحنى الانفعال الى نسبة (جهد الخضوع\جهد السحب).

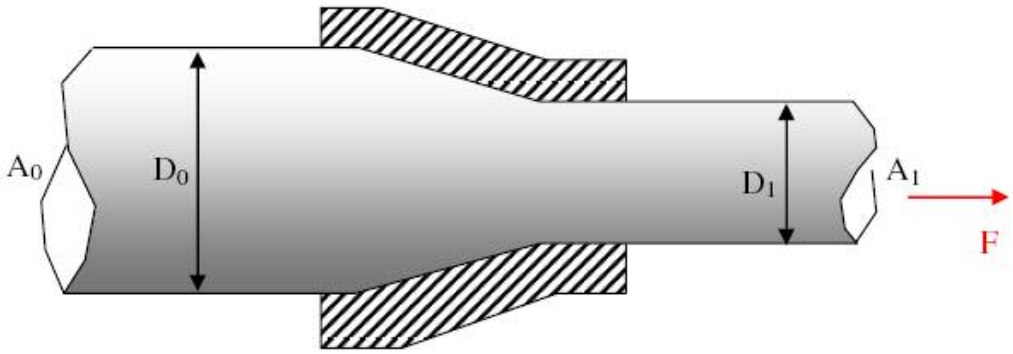
اذا اخذنا منحنى الجهد – الانفعال لمعدن ما ورسمنا عدد من قيم جهد السحب مقابل الانفعال ، نلاحظ ان المنحني سوف يقطع منحني الجهد لتلك المادة. نقطة التقاطع (A) تبين مقدار اكبر تقليص ممكن بدون كسر السلك المسحوب. يزداد جهد السحب بزيادة كل من الاحتكاك والشغل الفائض ويقللان كذلك مقدار التقليص الممكن انظر شكل (٦-١١).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٦-١١) جهود السحب باستخدام زوايا مختلفة للقالب مع معاملات احتكاك مختلفة.

٦-٧ الانفعال في عملية السحب strain in drawing process :-



شكل (٦-١٢) السلك أثناء عملية السحب

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

تأثير الانفعال في عملية السحب مشابه لتأثيره في عملية البثق وذلك من خلال التعبير عنه بمقدار التقلص في مساحة المقطع العرضي:

$$r = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = [1 - \frac{A_1}{A_0}] < 1$$

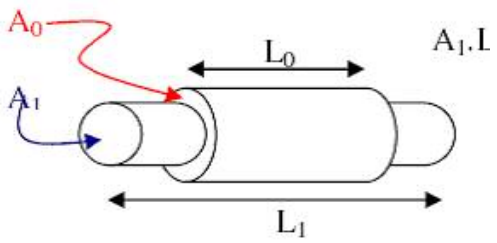
يسبب ثبات الحجم حسب مفهوم اللدونة :-

$$A_1.L_1 = A_0.L_0 = \text{Constant}$$

$$\therefore \frac{L_1}{L_0} = \frac{A_0}{A_1}$$

ومن المعادلة اعلاه :

$$r = [1 - \frac{A_1}{A_0}] \qquad \therefore \frac{A_1}{A_0} = (1 - r)$$



يكون الانفعال للقضيب الظاهر في الشكل

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L_1}{L_0}\right)$$

وبالتعبير عن الانفعال بالمساحة:-

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_1}\right)$$

وبالتعبير عن الانفعال بنسبة التقلص

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{1}{1-r}\right)$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

يكون الشغل المبذول بواسطة قوة السحب وحركة المادة الخارجية من القالب لمسافة مقدارها L_1 هي

$$W = F.L_1$$

في حالة التشويه المتجانس:-

$$W = Vol.\ Y.\ (\varepsilon)$$

في غياب الاحتكاك

$$F = \frac{Vol.}{L_1}.Y.\ln\left(\frac{1}{1-r}\right)$$

$$\sigma = \frac{F}{A_1} = Y.\ln\left(\frac{1}{1-r}\right)$$

٦-٧-١ تحليل جهد السحب :-

يعبر عن جهد السحب (للقضيب او السلك) معوجود الاحتكاك وجهد القص الداخلي :-

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right)$$

ونلاحظ إن هذه المعادلة شبيهة بمعادلة البثق ماعدا الاختلاف في الحد :-

$$\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}$$

بالنسبة لسحب القطع المستطيلة غير الدائرية فان المعادلة تصبح بالشكل الآتي :-

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{h_1}{h_0}\right]^{\beta}\right)$$

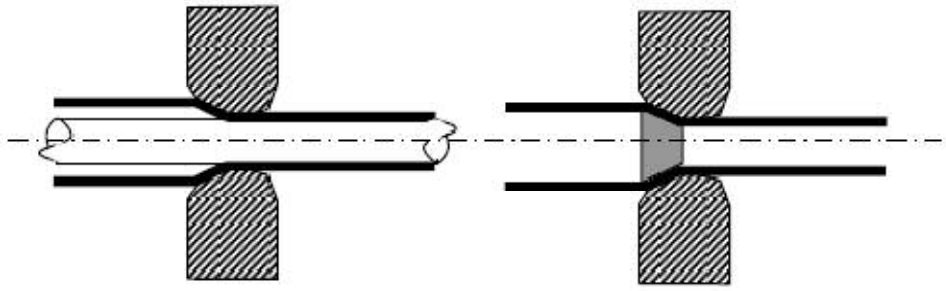
حيث h_o, h_1 هي سمك القطعة قبل وبعد السحب على التعاقب.

وحيث

$$\beta = \mu.\cot\alpha$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

في حال سحب الأنابيب نستعمل قيم β مختلفة



شكل (٦-١٣) عملية سحب الأنابيب

عند استعمال عمود منتظم ، فان :-

$$\beta^* = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)}$$

أما عند استعمال إلعمود العائم

$$\beta^* = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)}$$

حيث μ_1 ، α هما معاملا الاحتكاك والزاوية بين القالب والأنبوب بينما μ_2 ، δ هما معاملا الاحتكاك والزاوية بين الأنبوب والعمود العائم .

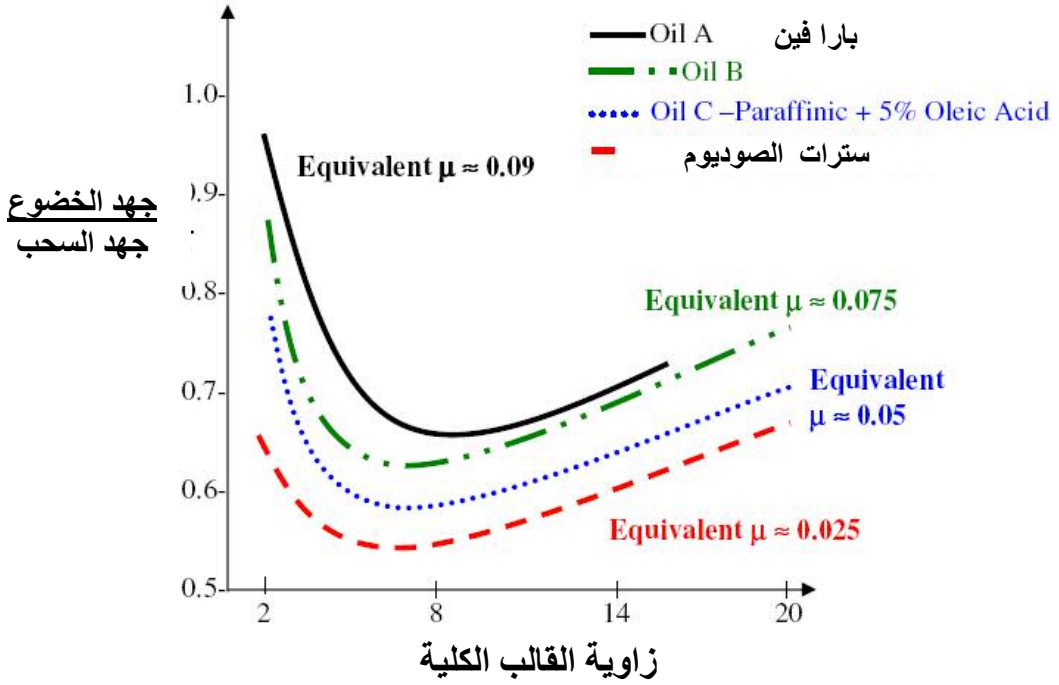
مثال:- إذا كان جهد الخضوع للفولاذ الطري مساوي 120 MPa. جد أفضل زاوية لقالب السحب المطلوب استعماله مع استعمال (زيت البرافين + حامض oleic 5%) كمزيت. تم تحديد جهود السحب الآتية:-

١. جهد السحب بدون احتكاك اضافي هو 160 MPa
٢. جهد السحب مع الاحتكاك هو 176 MPa
٣. جهد السحب مع الاحتكاك والجهد الإضافي هي 190 MPa

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الجواب:-

نعود الى منحني جهد السحب والانفعال شكل (٦-٩) فنلاحظ :



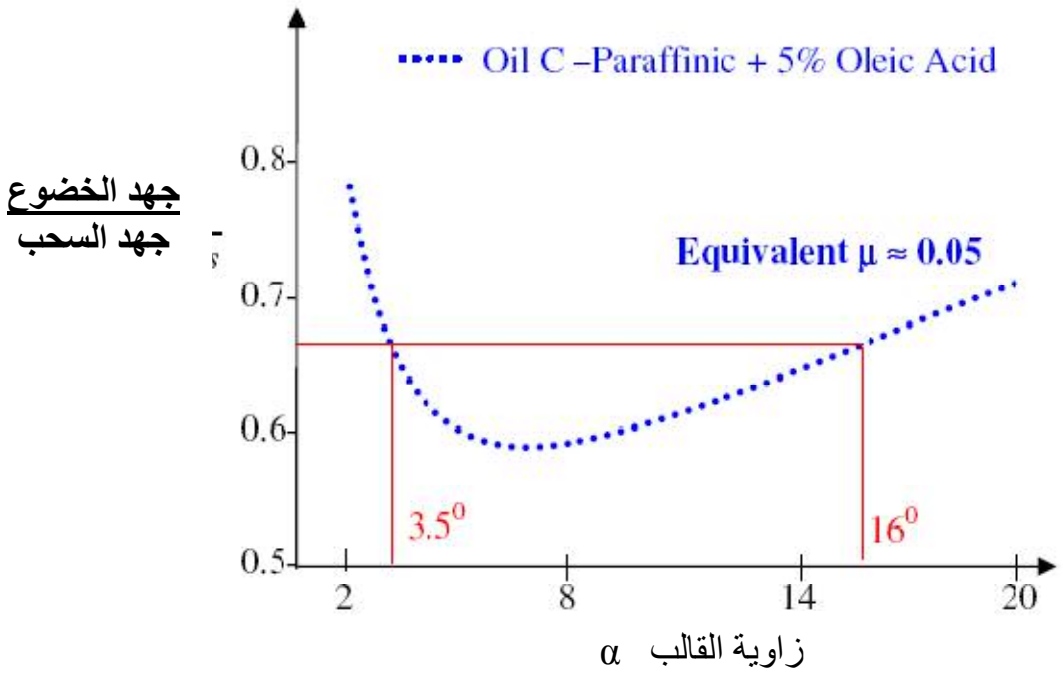
بما ان جهد السحب بوجود الاحتكاك يساوي 176 MPa مع جهد خضوع للفولاذ الطري مقداره 120MPa

إذن :

$$\frac{Yield.Stress}{Drawing.Stress} = \frac{120}{176} = 0.68$$

برسم خط من نقطة 0.68 ليتقاطع على منحني البرافين +حامض أوليك (شكل (٦-١٢)) فاننا نحصل على زاوية هي 7° (3.5° * 2) والتي ستكون مناسبة لسحب قضيب الفولاذ الطري.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



جهد الخضوع / جهد السحب

شكل (٦ -١٤)

مثال:- لوح من سبيكة (النيكـــل – الفضـــة) (NIKEL–SILVER) بعـــرض 12 mm وبسمك 0.6 mm ، تم سحبها الى سمك 0.35 mm خلال قوالب لها زاوية كلية مقدارها 20 درجة. هذه المادة لها جهد خضوع محوري 500 N/mm² ومعامل الاحتكـــاك بـــين المادة والقالب هو 0.08 احسب جهد السحب المطلوب ؟

الجواب:-

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right)$$

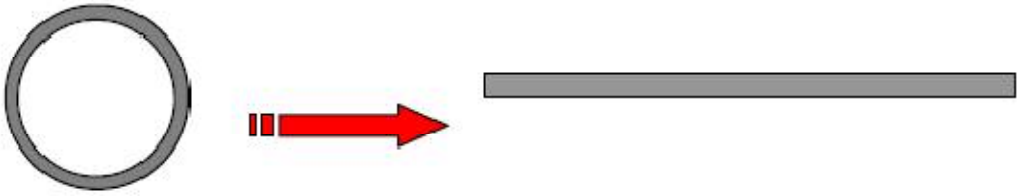
$$\beta = \mu.\cot\alpha = (0.08)*\cot\left[\frac{20^0}{2}\right] = 0.45$$

$$P = Y.\frac{1+\beta}{\beta}\left(1-\left[\frac{D_1}{D_0}\right]^{2\beta}\right) = (500\ N.mm^{-2}).\frac{1+0.45}{0.45}\left(1-\left[\frac{0.35}{0.6}\right]^{2(0.45)}\right)$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$P = (500\ N/mm^2) * 1.2385$$
$$\underline{P = 619.25\ N.mm^{-2}}$$

مثال:-قارن بين نسبة السحب للعمود العائم ، والعمود المنتظم عند سحب أنبوب من الفولاذ الطري قطره الداخلي 50 mm مع سمك 2.5 mm ليصبح بقطر داخلي يساوي 49 mm مع سمك 1.8 mm افترض معامل الاحتكاك والزاوية الكلية هي 0.15 و 30° على التعاقب بين الأنبوب والقالب و0.1 و 20° على التعاقب بين الأنبوب والعمود العائم .



الجواب : المساحة A_o تساوي المحيط x السمك :-

$$\pi.\overline{D}_0.h_0 \approx \pi.D_0.h_0 = 3.14\ (50)(2.5) = 392.7$$

المساحة A_1 :

$$A_1 = \pi.D_1.h_1 = 3.14\ (49)(1.8) = 277.0\ mm^2$$

(أ):

$$\beta_{Plug} = \frac{(\mu_1 - \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)},\ \text{where}\ \mu_1 = 0.15,\ \mu_2 = 0.1,\ \alpha = 15^0,\ \text{and}\ \delta = 10^0$$

حيث :

$$\beta_{Plug} = \frac{(0.15 - 0.1)}{(\tan 15 - \tan 10)} = 0.55$$

وهكذا

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1 - \left[\frac{A_1}{A_0}\right]^{2\beta}\right) = \frac{1+0.55}{0.55}\left(1 - \left[\frac{277}{392.7}\right]^{2(0.55)}\right) = 0.899$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

(ب)

$$\beta_{Mandrel} = \frac{(\mu_1 + \mu_2)}{(\tan\alpha - \tan\delta)}$$

حيث :

$$\beta_{Mandrel} = \frac{(0.15 + 0.1)}{(\tan 15 - \tan 10)} = 2.73$$

وهكذا :

$$\frac{P}{Y} = \frac{1+\beta}{\beta}\left(1 - \left[\frac{A_1}{A_0}\right]^{2\beta}\right) = \frac{1+2.73}{2.73}\left(1 - \left[\frac{277}{392.7}\right]^{2(2.73)}\right) = 1.163$$

نستخرج نسبة الزيادة

$$\%\ \text{Increase} = \frac{0.899 - 1.163}{0.899} = 29\%$$

الجهد المطلوب للعمود المنتظم هو 29% أعلى من الجهد المطلوب للعمود العائم.

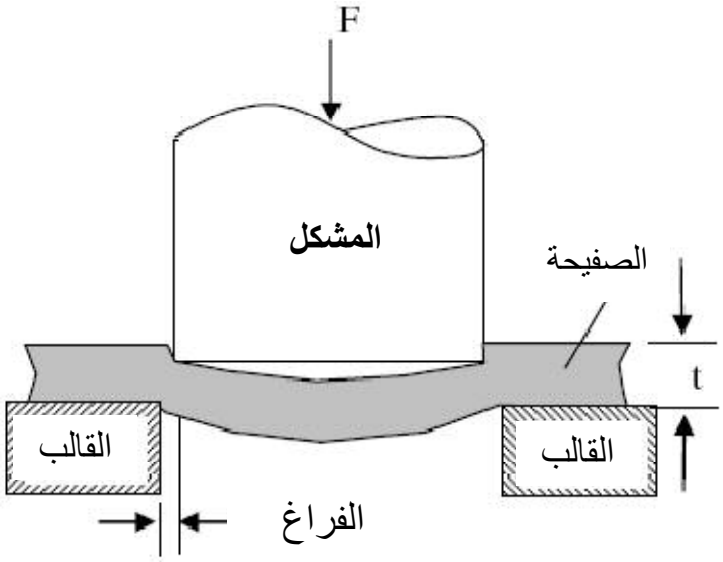
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الفصل السابع تشكيل الصفائح المعدنية

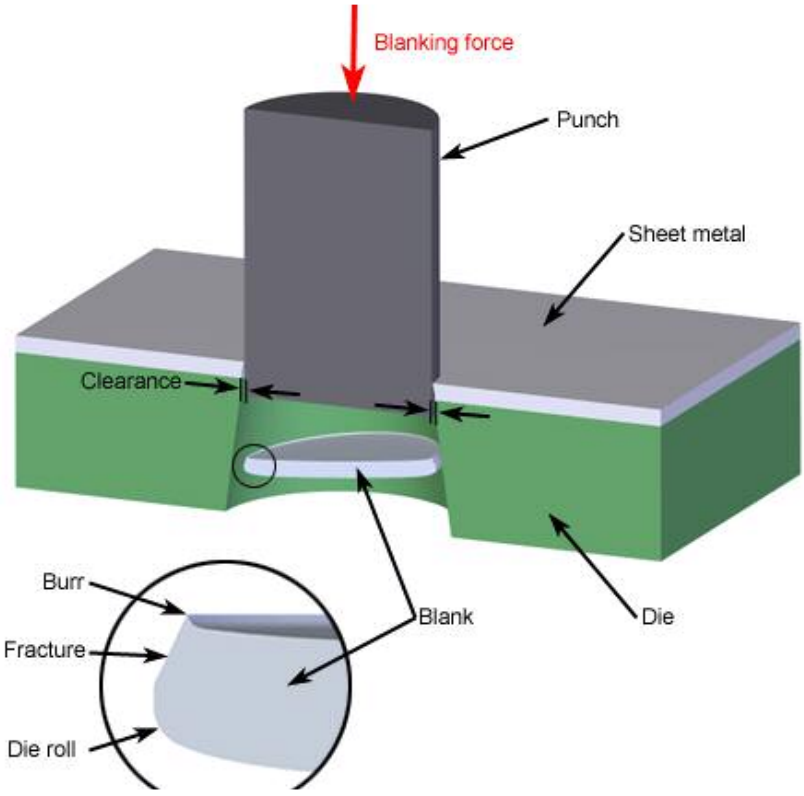
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-١ القص Shearing :-

هي عملية قطع صفيحة المعدن بدون تكون رقائق معدنية chips وذلك بتعريض المعـــدن إلى جهود قصية بين مُشكِّل Punch و القالب Die (الاثنان مصـــنوعان مـــن الفـــولاذ المصلد). شكل (٧-١) (٧-٢).



شكل (٧-١) مخطط لعملية القص



شكل (٧-٢) عملية القص وشكل حافة القطع

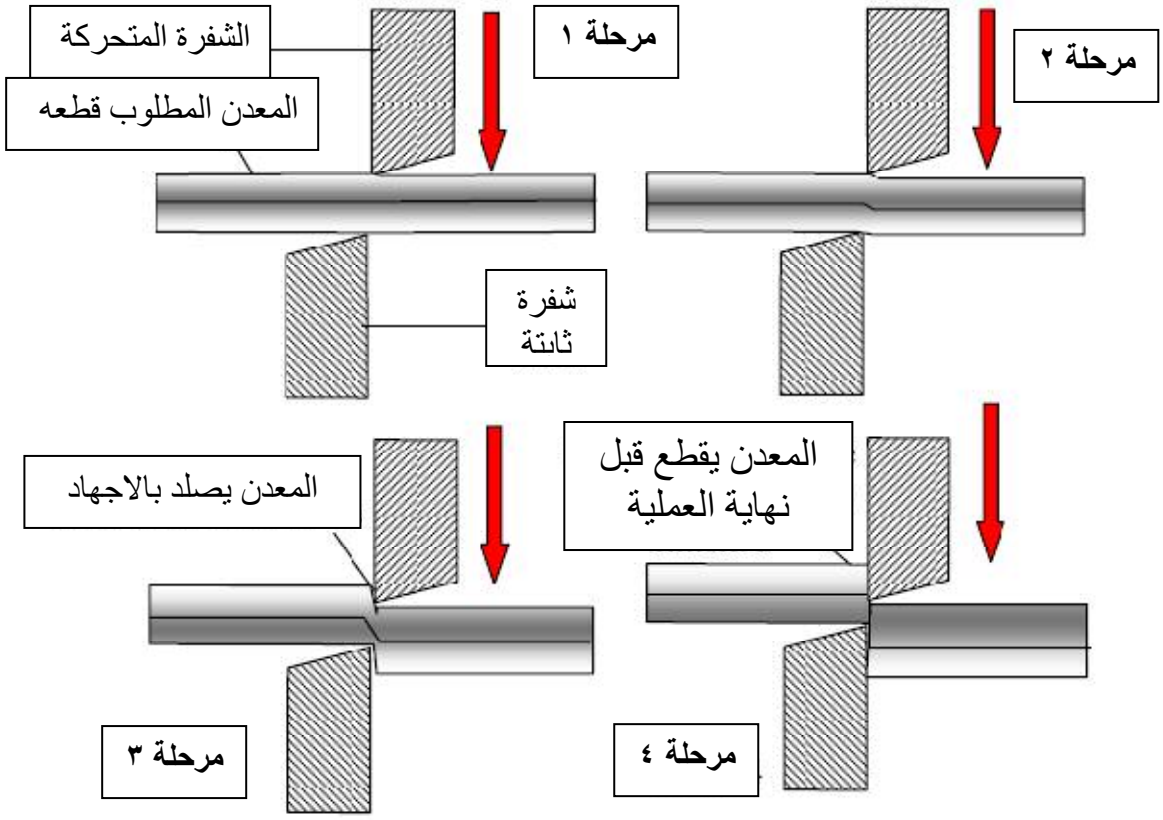
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-١-١ مراحل عملية القص :-

١. تتحرك الحافة العليا للمشكل (punch) باتجاه الحافة السفلى من القالب (Die) الى أن يلامس سطح الصحيفة وتبدأ عندئذ عملية التشكيل. شكل(٧-٣).
٢. مع زيادة الضغط تقترب الحافتين من بعضهما و تبدأ عملية التشويه اللدن.
٣. الحافات القاطعة تبدأ بإختراق المعادن. في هذه المرحلة تمر المادة بمرحلة الاصلاد الاجهادي.
٤. يبدأ الكسر بالحدوث في نطاق الاصلاد الاجهادي من نقطة الاتصال مع الحافات القاطعة.

عندما يلتقي طرفي الكسر يسقط المعدن المقطوع بالقص وينفصل إلى جزئيين مختلفين. يحدث فشل المادة قبل أن تخترق الشفرات المعدن بصورة كلية.

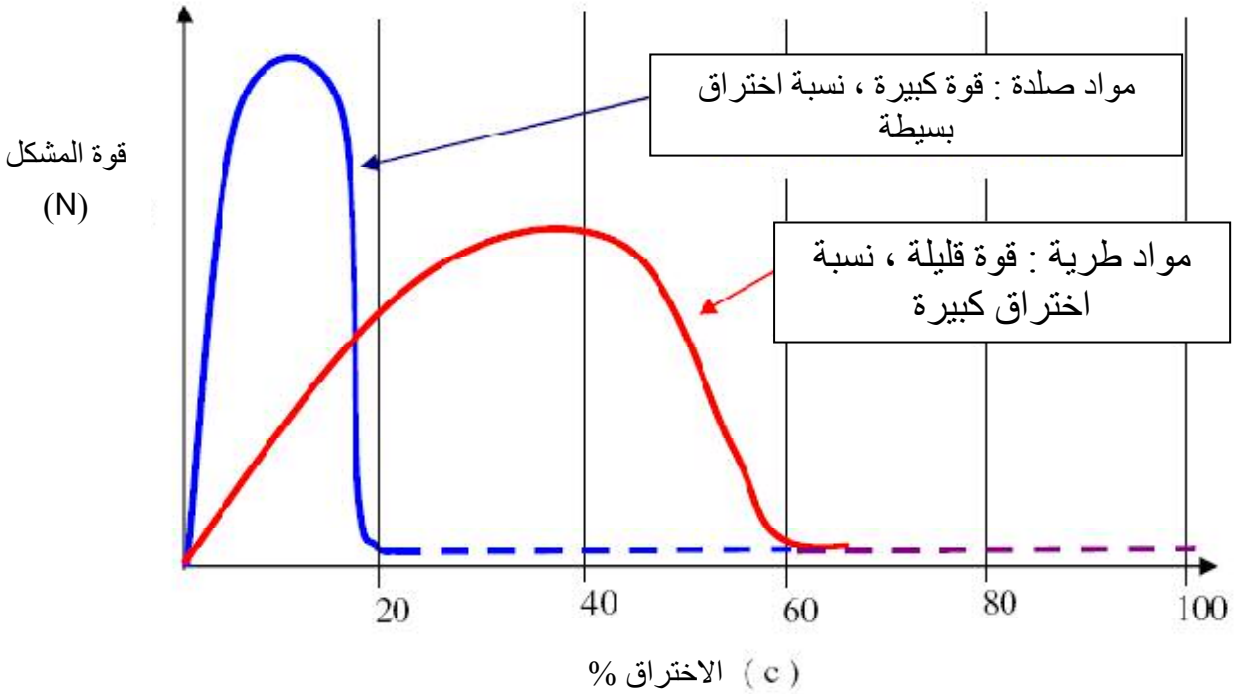
تعرف النسبة بين قيمة السمك الذي تخترقه الشفرة من المعدن الى السمك الكلي له بنسة الاختراق (Penetration).



شكل (٧-٣) مراحل عملية القطع

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

عند ملاحظة الشكل (٧-٤) نلاحظ ان القوة المطلوبة لقطع الجزء تزداد ومن ثم تـــنخفض بسرعة كبيرة عند فشل وكسر المعدن. القوه العظمى (F_{max}) للفولاذ المصلد تحتاج الى نسبة اختراق (c) تصل الى 15%، بينما المعادن الطرية مثل الالمنيوم والنحـــاس فـــان نسبة الاختراق تقريباً 40% لكن مع قوة (F_{max}) اقل.



شكل (٧-٤) العلاقة بين قول القطع ونسبة الاختراق
ملاحظة : المساحة تحت المنحني تتناسب مع الشغل المبذول

٧-١-٢ تأثير الخلوص Clearance:-

جودة السطح المقطوع تعتمد بصورة كبيرة على الخلوص بين حافتي القطع. وهناك ثلاث أنواع من الخلوصات:-

الخلوص غير الكافي (Insufficient) :- هذا الخلوص قليل جداً وفيـــه ينتشـــر التشـــقق الحاصل اثناء العملية خارج حدود حافات القطع. التشققان الناتجان لا يلتقيان و تتم عملية القطع النهائية بحدوث عملية تمزق ثانوية مسببة ظهور حافة مثلومة (jagged) للقطعـــة تقريباً في منتصف سمك الصفيحة (كما في الشكل ٧-٥-أ).

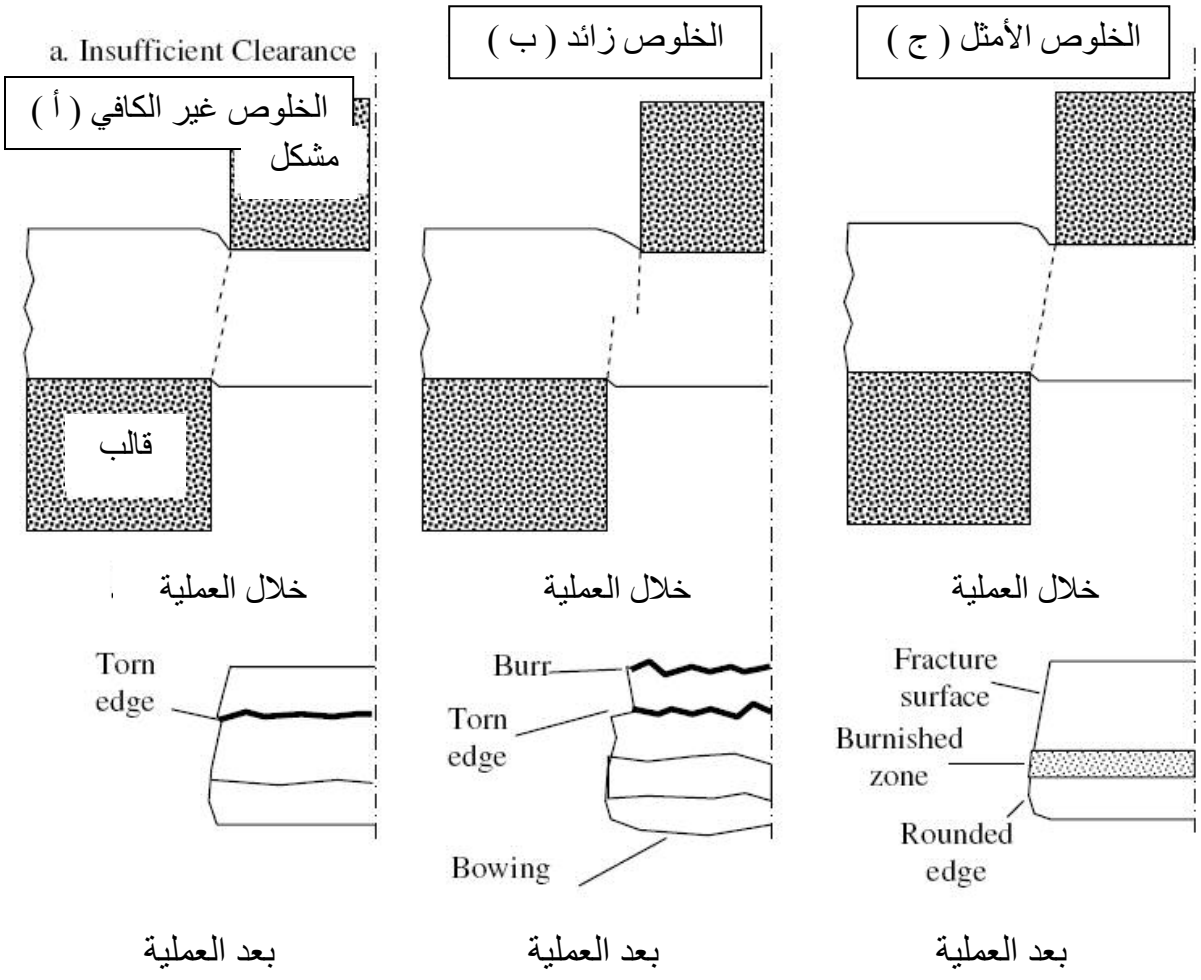
الخلوص الزائد (Excessive) :- هنا الخلوص كبير جداً ومسبباً حدوث قدر زائـــد مـــن التشوه اللدن وعند حدوث التشقق النهائي لا تلتقي الشقان الناتجان فيتأخر الانفعال ويتكون

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

جنح طويل يبرز خارج الحافة العليا. فتتكون حافة حادة تعمل على تمركز الجهود و تكون منشأ لحدوث الفشل او التكسر أثناء عمليات التشكيل اللاحقة او عند دخول الجزء مرحلة الخدمة او الاستعمال (كما في الشكل ٧-٥- ب).

الخلوص الأمثل Optimum :-

هذا الخلوص تبلغ قيمته بين 2 - 7 من سمك المعدن (القيمة الصغرى تستعمل للمعادن الأكثر المطيلية). كما في الشكل(٧-٥-ج).



شكل (٧-٥) تأثير الخلوص على قطع المعدن

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

جدول الخلوص الأمثل لعمليات القطع والثقب لمواد مختلفة

المادة	الصلادة HV	الفراغ % من السمك
الفولاذ الطري	٩٤-١٤٤	٥-١٠
البراص ٣٠١٧٠	٧٧-١١٠	٠-١٠
النحاس	٦٤-٩٣	٠-١٠
الزنك	٦١	٠-٥
الألمنيوم	٢١-٢٨	٠-٥

٧-١-٣ قوة الـــمشكل :

اكبر قوة F_{max} للـــمشكّل هي محصلة لقوة القــص shearing force (تعتمــد علـــى مساحة السطح المقطوع) وقوة الاحتكاك. قوة القص هي ناتج مقاومة القــص القصـــوى لمعدن الصفيحة والمساحة المقطوعة. شكل (٧-٦).

اذن :

$$F_{max} = \tau_{max} .t.x$$

حيث x : محيط الشكل المقطوع

t : سمك المعدن

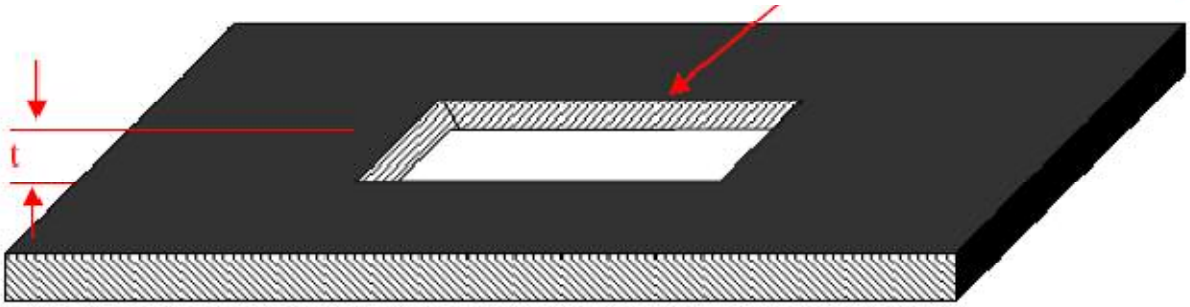
τ max : مقاومة القص القصوى

في هذه المعادلة يفترض ان عملية القص تتم لحظياً على طول الحافات (الحافات موازية لسمك الصفيحة).

المساحة المتعرضة لقوة القص هي المسافة المتعرضة للخرق قبل حدوث الفشل وســقوط المعدن ، لذلك يستخرج الشغل المبذول WD من المعادلة الآتية :-

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

المسافة (المحيط) حول الفتحة (X)

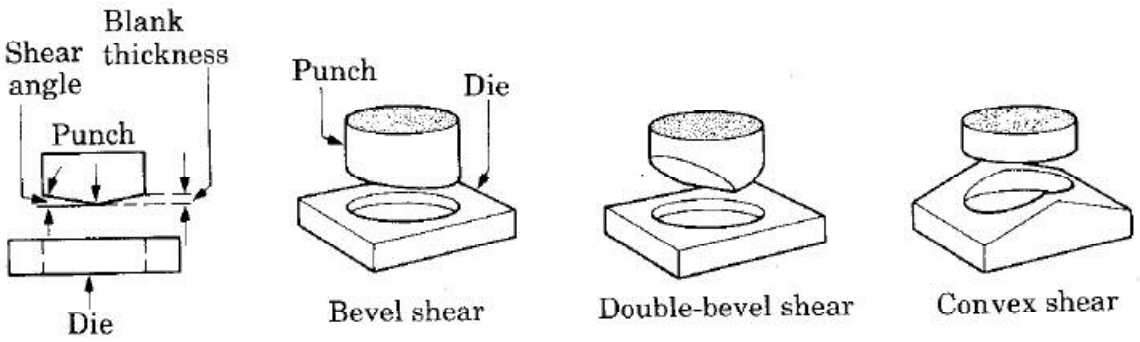


شكل (٧-٦) صفيحة مقطوعة

سمك المعدن x نسبة الخرق x اكبر قوة للـــمشكل = WD (الشغل المبذول)

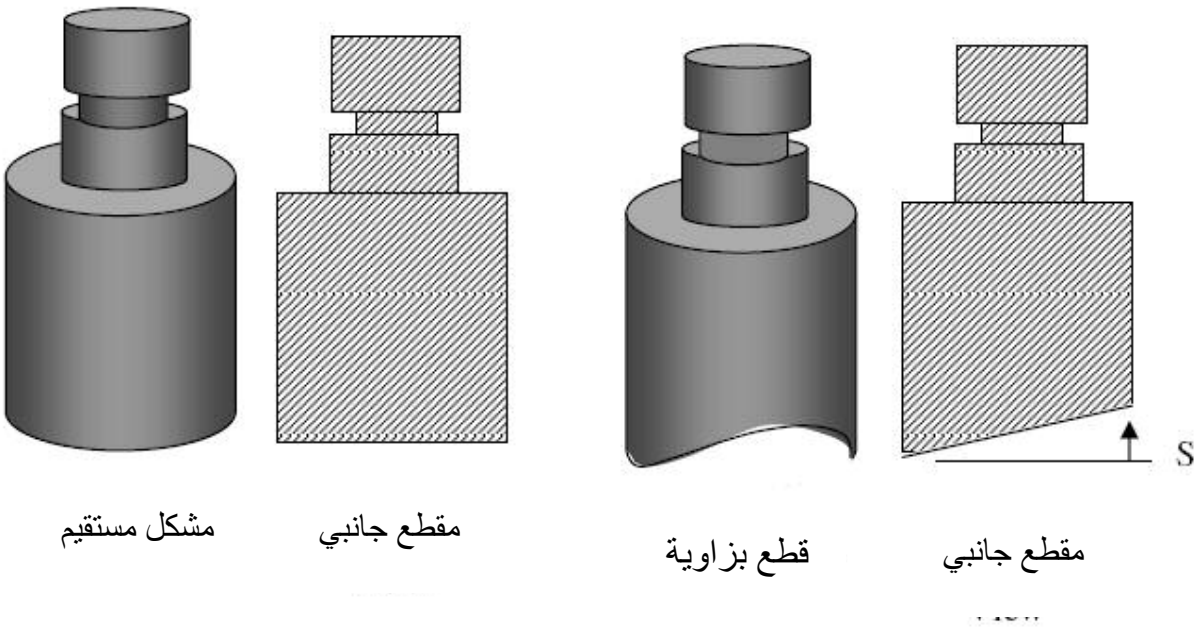
$$\therefore WD = F_{max} \cdot c \cdot t$$

لتقليل القوة F_{max} يتم توزيع الشغل المبذول على طول شوط القطع. قـــوة القطـــع مـــن الممكن تقليلها اذا جعل الـــمشكل ذو سطح غير مستوي. تعمل زاوية القص بين الشـــفرة والصفيحة على تقليل القوة المسلطة (القدرة المبذولة تبقى ثابتة) وكـــذلك يقـــل الصـــوت والضجيج الناتج أثناء عمليةالقطع. شكلي (٧- ٧) (٧ -٨).



شكل (٧-٧) طرق استعمال الزوايا لتقليل الشغل المبذول.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-٨) طرق استعمال الزوايا لتقليل الشغل المبذول.

اعتماداً على شكل حافات القطع والغرض منها يتم تصنيف عمليات القص الى عدة انواع:-

١. التجزئة Parting
٢. التثقيب Piercing (Punching)
٣. التجويف Blanking
٤. التجويف الدقيق Fine blanking
٥. التحديد Trimming

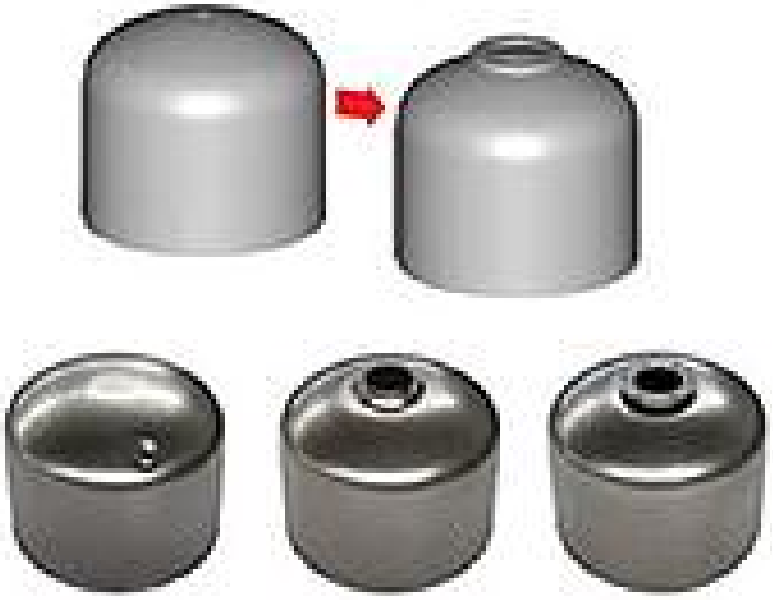
٧-١-٤ التجزئة Parting:-

قطع الصفيحة الى قطعتين بواسطة حافات مستقيمة.

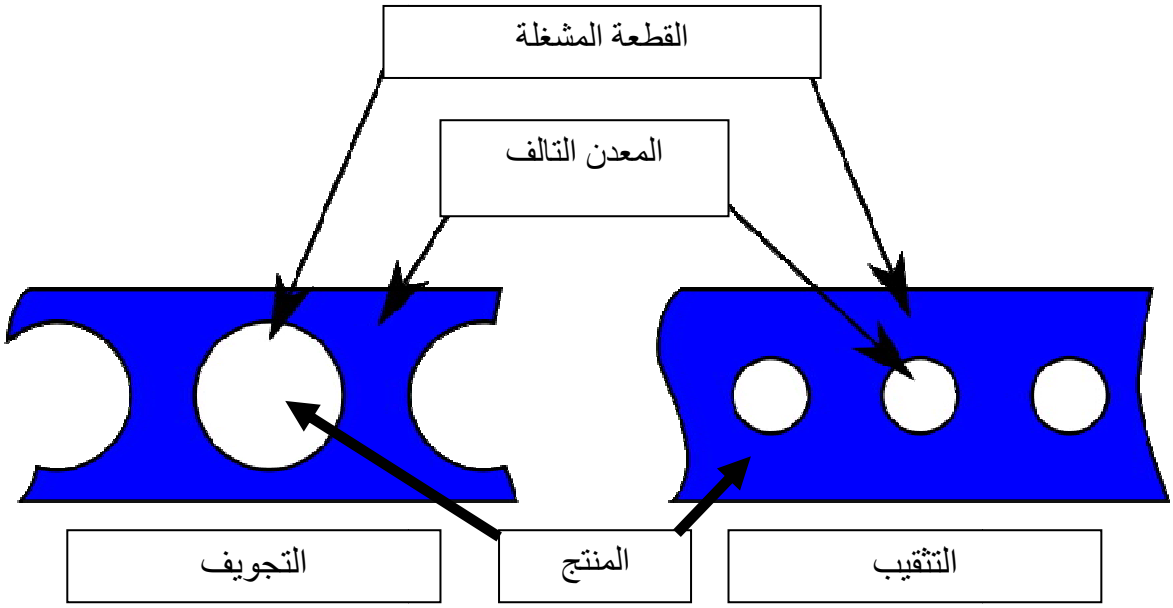
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-١-٥ التثقيب والتجويف Piercing & Blanking:-

هذه العمليتين متشابهتين. كلاهما عبارة عن قطع أشكال مغلقة من خلال عملية قص الصفيحة. الفرق بين العمليتين إنه في "التثقيب" يتم قطع الشكل ورمي باقي الصفيحة بينما في "التجويف" يتم رمي الجزء المقطوع وتكون الصفيحة المثبتة هي المنتج. شكل (٧-٩).

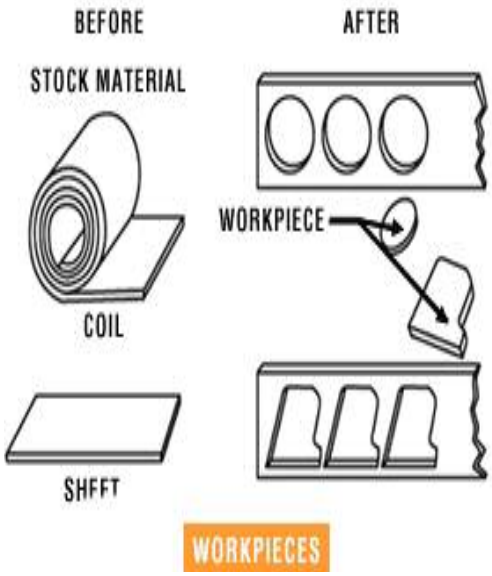


شكل (٧-٩) صورة تبين بع استعمالات عملية التثقيب



شكل (٧-١٠) يبين الفرق بين عملية التثقيب والتجويف

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

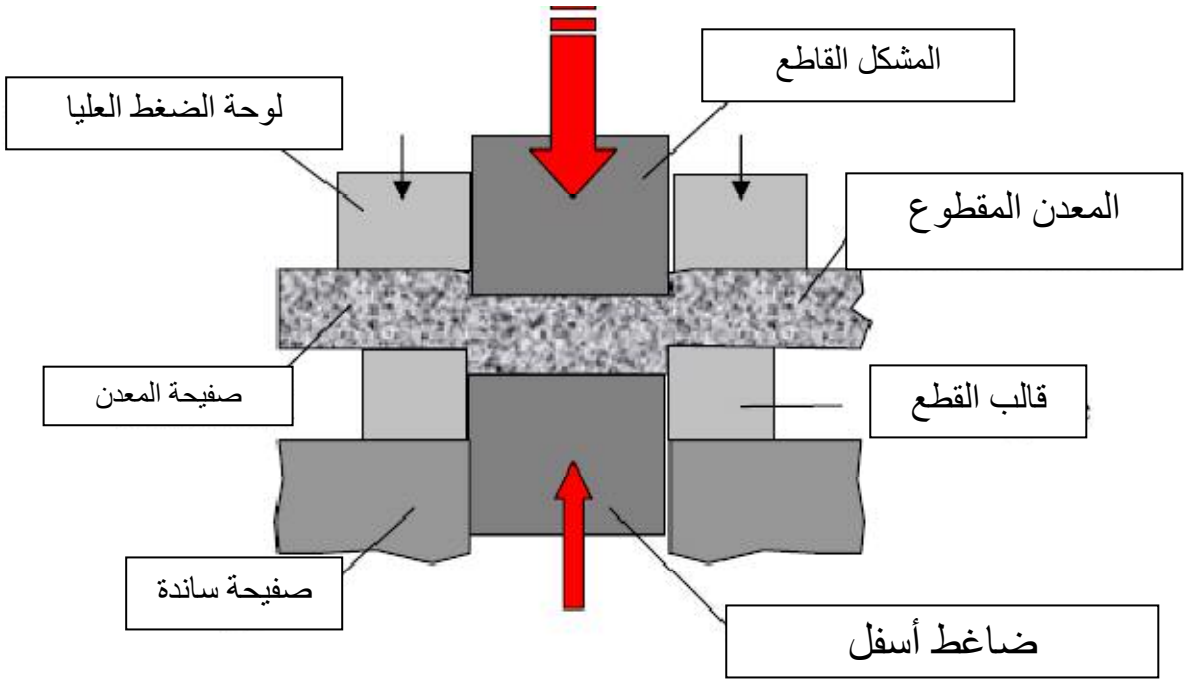


شكل (٧-١١) امثلة على عمليتي التثقيب و التجويف

موقع وترتيب الجزء على طول الصفيحة يؤثر على حجم المعدن التالف وعلى تصميم القالب وأجزاءه.

٧-١-٦ التجويف الدقيق Fine Blanking:-

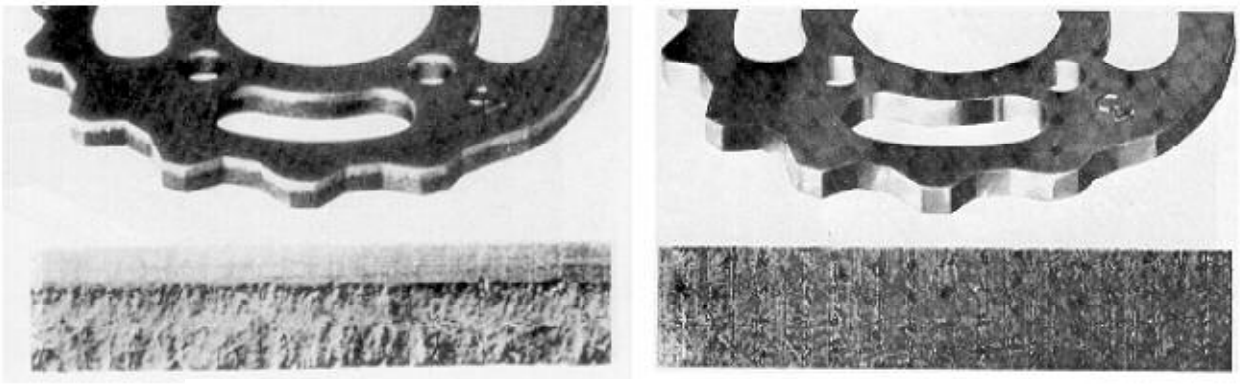
عملية شبيهة بالتجويف العادي ولكن قبل حدوث عملية القص يتم مسك الصفيحة بقوة ويتم ضغط الصفيحة من الأعلى والأسفل للحصول على إبعاد دقيقة وحافة ذات سطح جيد.



شكل (٧-١٢) عملية التجويف الدقيق

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

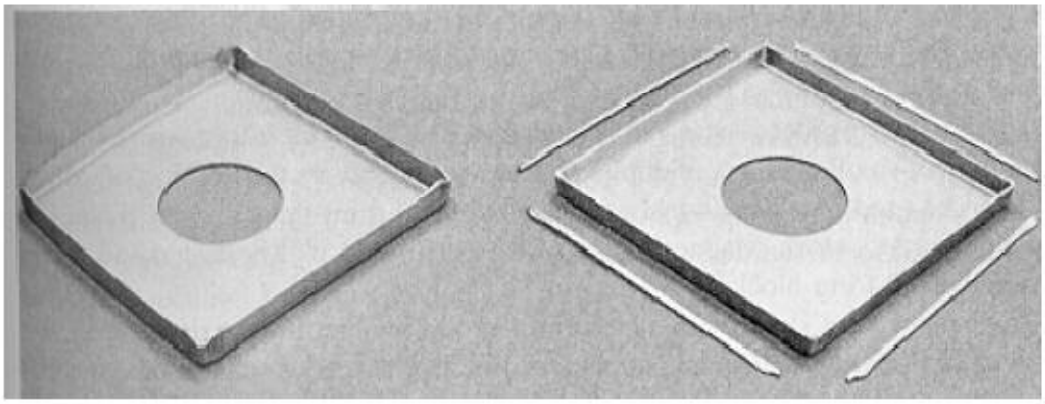
يمنع مسك الصفيحة المعدن من الجريان باتجاه الفسحة الموجودة بين الـــمشكل والقالـــب لذلك يقلل حجم التحزز وبالتالي تكون حافة المعدن ناعمة. في هذه العملية يكون الخلوص بين الـــمشكل والـــقالب اقل من 1% من سمك الصفيحة شكل(٧-١٢) (٧-١٣).



شكل (٧-١٣) جزءان احدهما قطع دقيق (على اليمين) و الأخر عادي (لليسار)

٧-١-٧ التحديد Trimming:-

إزالة المادة الزائدة (Flash) من الجزء. وهي شبيهة بعملية التقطيع. شـــكل(٧-١٤)(٧-١٥).



شكل (٧-١٤) جزء قبل وبعد التحديد

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (٧-١٥) منتج مصنوع بطريقة السحب قبل عملية التحديد

مثال:-

ثقب قطره 100 mm يجري تنفيذه على صفيحة من الفولاذ سمكها 5.6 mm المادة مدرفلة على البارد نسبة الكاربون فيها 0.4% ومقاومة القص القصوى هي 560 N/mm² مع استعمال خلوص اعتيادي للعدة يتم القطع بنسبة اختراق 40% للمشكل . أعط القطر المناسب للمشكل والقالب ؟

الجواب:-

الخلوص المستعمل للفولاذ يتراوح من 5 -10% من سمك المعدن. لكن هذا الفولاذ أكثر ليونة وذلك ظاهر من نسبة الخرق 40% لذلك نستعمل الخلوص الخاص بالألمنيوم وهو 4% لتجنب مشاكل الخلوص الزائد او غير الكافي.

وبذلك يكون حساب الخلوص:-

$$= 5.6 \text{ mm} \cdot (0.04) = 0.224 \text{ mm}$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

وبما ان الثقب المطلوب قطره 100 mm لذلك فان قطر المشكل بجب ان يكون 100mm ايضاً بينما يكون قطر القالب اكبر وقيمته 100.448m 100+2) (0.224* (لان الخلوص من الجانبين)

اذن محيط القص هو:-

$$x = 2*\pi*(r) = 2*\pi*(\frac{100}{2}\,mm)$$

$$x = 314.16\ mm$$

نسبة الخرق (c) هي 40% و τ_{max} = 560 N/mm²

إذن القوة الأعظم للمشكل هي :-

$$= \tau_{max} \cdot t \cdot x$$

$$F_{max} = (560\ N/mm^2)*(5.6\ mm)*(314.16\ mm)$$

$$\underline{F_{max} = 985.21\ kN}$$

مثال

جد اعظم قوة للمشكل و جد الشغل المبذول لتقطيع حلقة فولاذ قطرها الخارجي 44.45mm وقطرها الداخلي 22.3mm من صفيحة مستطيلة سمكها 1.59mm لها جهد قص أقصى قيمته 432N/mm² ، علما ان نسبة الاختراق هي 25% ؟

الجواب:-

اولا نحسب المحيط x :-

$$x = 2*\pi*(R_{outside}) + 2*\pi*(R_{inside}) = 2*\pi*(\frac{44.45}{2}\,mm) + 2*\pi*(\frac{22.3}{2}\,mm)$$

وهكذا فان المحيط يساوي :-

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

$$x = 209.7 \text{ mm}$$

$\tau_{max} = 432 \text{ N/mm}^2$; and the percentage penetration c = 25 %.

اكبر قوة للـــمشكل هي:- $= \tau_{max} \cdot t \cdot x$

$$F_{max} = (432 \text{ N/mm}^2)*(1.59 \text{ mm})*(209.7 \text{ mm})$$
$$F_{max} = 144.04 \text{ kN}$$

الشغل المبذول يساوي :-

$$WD = F_{max} .c. t = (144.04\text{kN})\ (0.25)\ (1.59\text{m})$$
$$= 57.26 \text{ kN}$$

٧-٢ الحني Bending :-

تعتبر هذه العملية من أكثر عمليات التشكيل شيوعاً. وهي عبارة عن عملية تشويه لدن للمعدن حول محور خطي مع عدم تغيير المساحة السطحية أو مع تغير بسيط فيها.

شكل (٧-١٦) ماكنة لحني المقاطع الحديدية

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

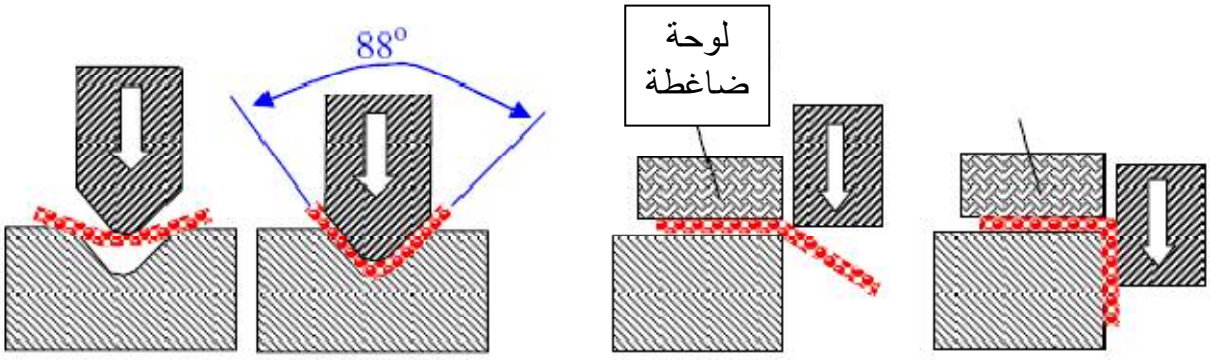
ويستعمل الحني بكثرة في حني الصفائح والانابيب شكل(٧-١٧) (٧-١٨).

شكل (٧-١٧) يبين أنابيب تم حنيها

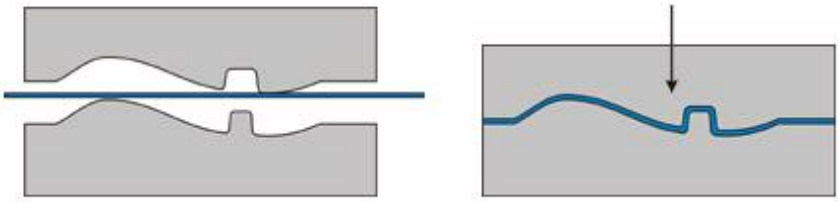
شكل (٧-١٨) منتج متعدد الحنيات

وتستعمل طرق مختلفة في عملية الحني باستعمال قوالب مغلقة ومفتوحة وتستعمل المكابس الهيدروليكية والميكانيكية المختلفة شكل (٧-١٩)(٧-٢٠)(٧-٢١).

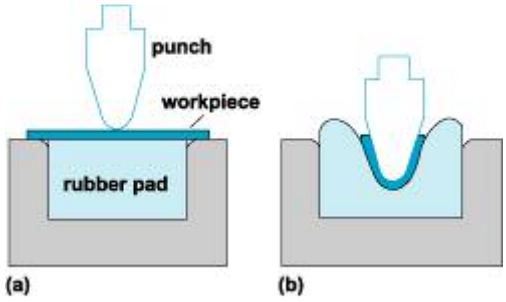
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-١٩) طرق حني متعددة باستعمال عُدد مكبس



شكل (٧-٢٠) عملية حني بواسطة قالب معدني



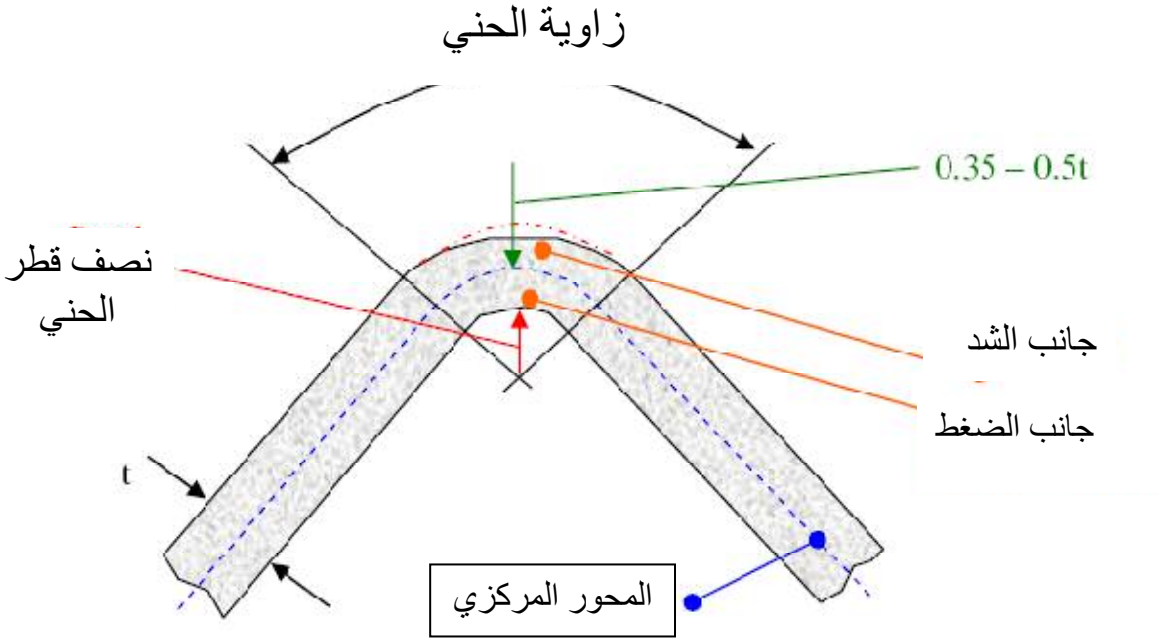
شكل (٧-٢١) حني مع استعمال قالب مطاطي

بالإضافة لاستعمال هذه العملية للتشكيل فانها تستعمل أيضا لزيادة الجساءة للجزء بزيادة عزم القصور الذاتي.

عند الحني تتعرض الطبقات الخارجية للمادة للشد Tension بينما تتعرض الطبقات الداخلية للضغط Compression. وذلك اعتماداً على الموقع من المحور المركزي للصفيحة حيث يكون المعدن إما في حالة شد أو ضغط ، شكل(٧-٢٢).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

بما إن مقاومة الخضوع للمعادن في حالة الضغط هي اعلى منها في حالة الشد فان المعدن في الجانب الخارجي يتعرض للخضوع قبل الداخلي مما يجعل المحور المركزي اقرب إلى الجانب الداخلي (اعتماداً على نصف قطر الحني والمادة).

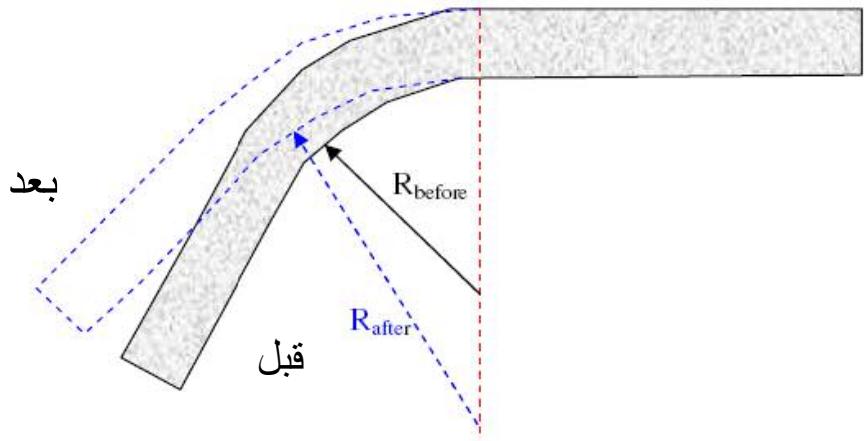


شكل (٧-٢٢) المعدن أثناء الحني

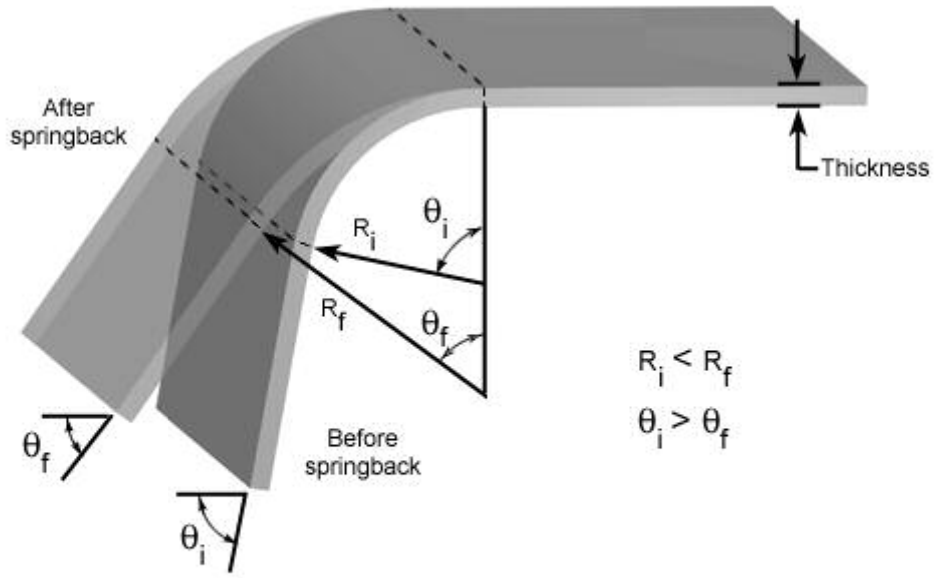
٧-٢-١ الارتداد الخلفي أو الرجوعية Spring back :-

بعد حدوث التشوه اللدن للمعدن ورفع القوة المسلطة فان الطاقة المخزونة للتشوه المرن تتحرر مسببة زيادة في زاوية المعدن المحني. زاوية الحني (α) هي الزاوية الناتجة عند التشكيل (مثلاً 88°) ، بعد إزالة القوة تزداد (α_f بعد رفع القوة لتصل إلى 90°). لذلك عند تصميم القالب يجب حساب قيمة الارتداد الخلفي وأخذها بالاعتبار للحصول على زاوية حني دقيقة وبالقياس المطلوب. شكل (٧-٢٣).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



Spingback in bending



شكل (٧-٢٣) الارتداد الخلفي في الحني

٧-٢-٢ اقل نصف قطر للتشكيل:-

هي اقل قيمة لنصف قطر ممكن تشكيل المعدن بها و التي بنقصانها يحدث تشقق للمعـــدن في السطح الخارجي للحنية. عادة يعبر عنه بدلالة السمك (مثلا 3t تعني اقل نصف قطر للمنحني يساوي ثلاث مرات سمك المعدن) اقل من نصف القطر هذا يحدث تشقق للسطح الخارجي.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

وكلما قل نصف قطر كلما زادت قابلية المعدن للحني. وتزداد قابلية الحني أيضا مع زيادة المطيلية ، ان قابلية الحني العالية تتيح إجراء عمليات الحني المتعاقبة والمعقدة بدون كسر الجزء.

اقل نصف قطر للحني:-

$$R_{\min} = t\left(\frac{50}{r} - 1\right) = t\left(\frac{50}{\frac{A_0 - A_f}{A_0} \cdot 100} - 1\right)$$

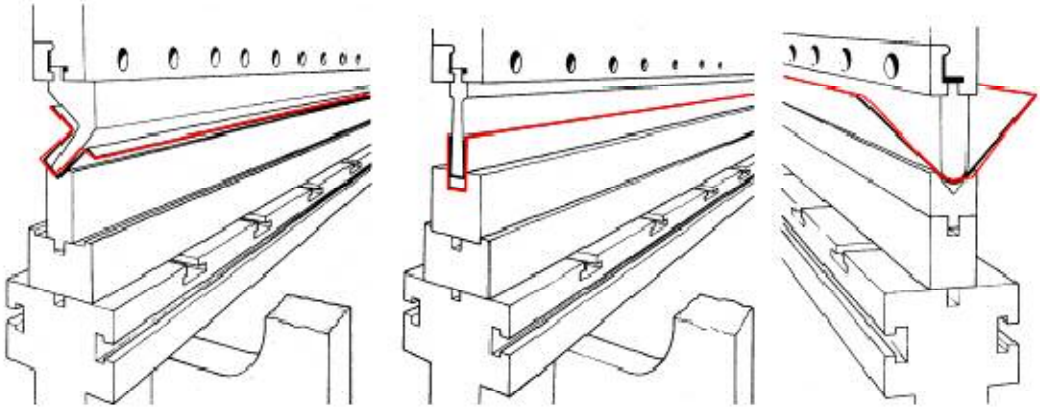
حيث t هو السمك و r هي المطيلية بدلالة التقلص في المساحة (%) عند الكسر.
لذلك فعند r =50% فان $R_{\min}$ =0 أي ان المعدن من الممكن أن يطوى على نفسه بدون إن ينكسر.

٧-٢-٣ عمليات الحني الشائعة:-

- حني الشوط المنفرد single – stroke بين المشكل والقالب (مثل – goose neck وتشكيل الساقية channel وحني نصف القطر ، تشكيل V ،الخ) شكل(٧-٢٤).
- حني متعدد الأشواط: للحصول على إشكال أكثر تعقيد.

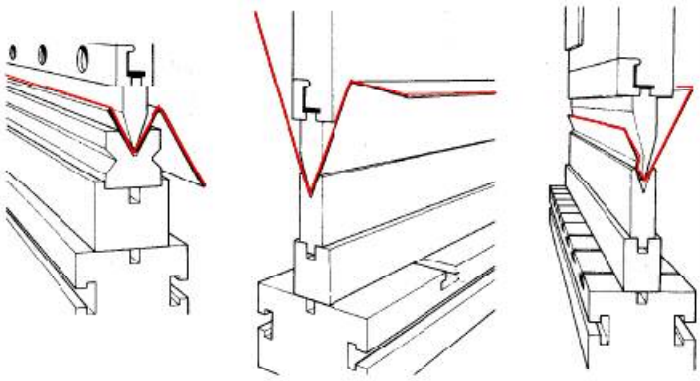
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (٧-٢٤) ماكنة حني يدوية

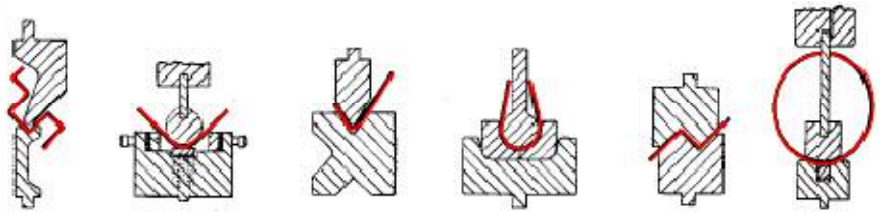


شكل (٧-٢٥) تشكيلات حني مثل الساقية و الأقواس

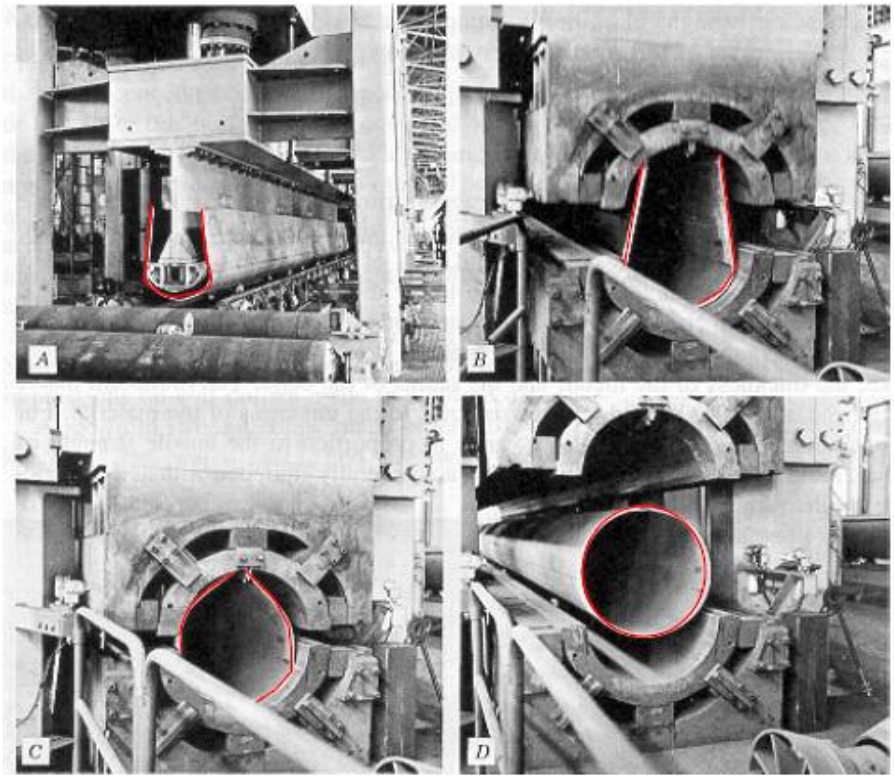
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-٢٦) حني تشكيل مقطع V



شكل (٧-٢٧) عمليات متنوعة لشوط حني واحد

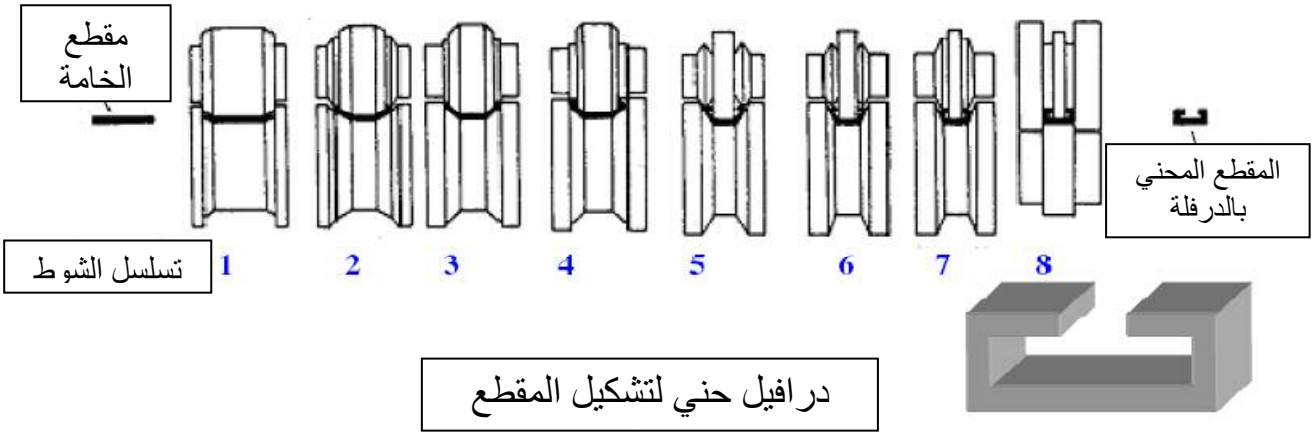


شكل (٧-٢٨) خطوات حني الأنبوب

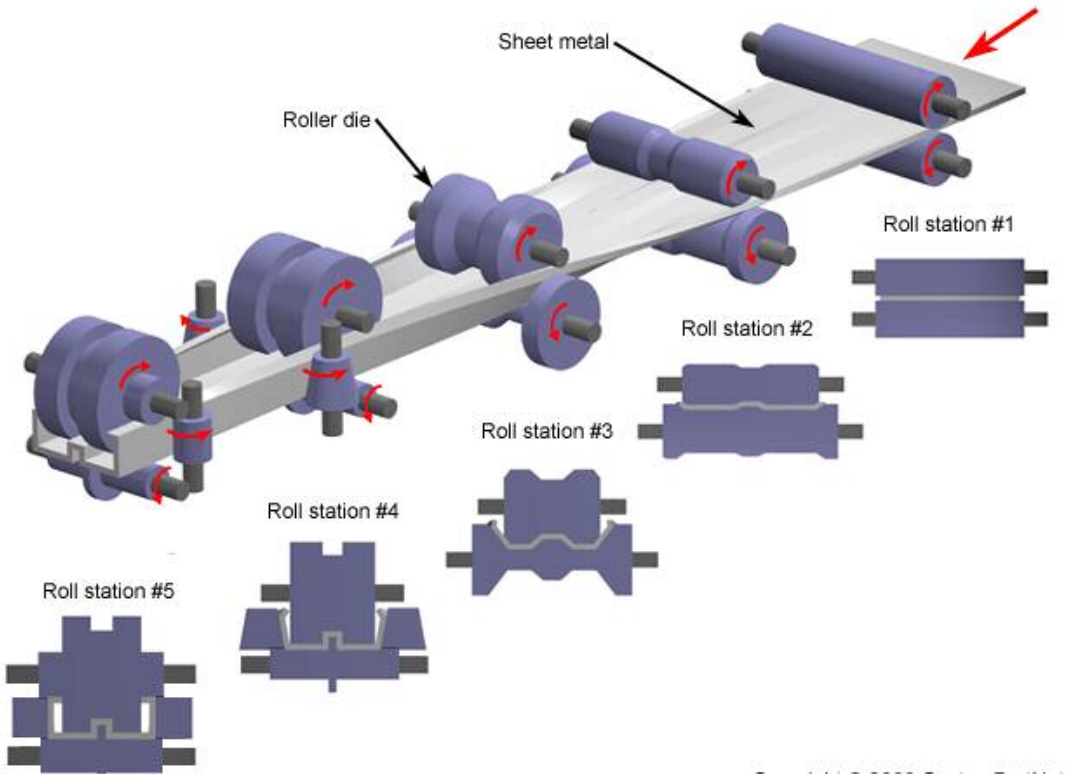
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

- الحني بالدرافيل Roll – forming :-

لحني معدن بشكل معين ولأطوال و مستمرة ، يتم حني المعدن على بامراره مـــن خـــلال سلسلة من الدرافيل شكل(٧-٢٩).



شكل (٧-٢٩) الحني يالدرفلة



شكل (٧-٣٠) عملية حني بالدرفلة لكل معقد

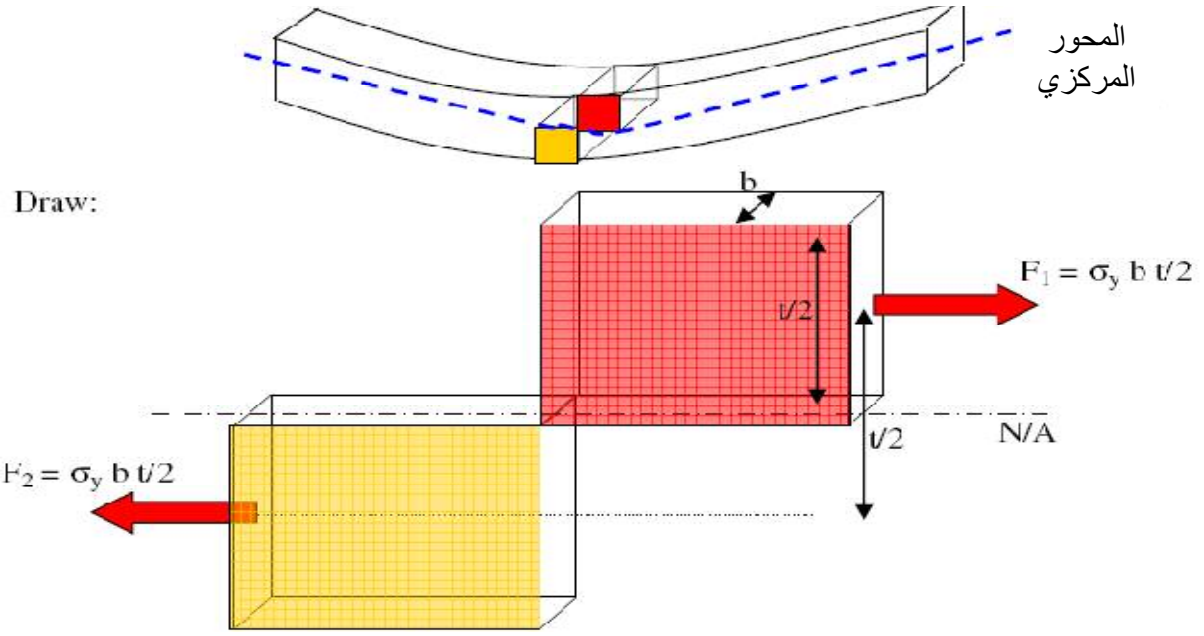
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-٢-٤ حساب قوة الحني

سؤال : جد اقل قوه مطلوبة لحني قطعة رقيقة من صفيحة معدنية ؟:-

الجواب:-

لاحظ الرسم التحليلي لتوزيع القوى على جزء من المعدن (شكل ٧-٣١) :



شكل (٧-٣١) القوى على المعدن المحني

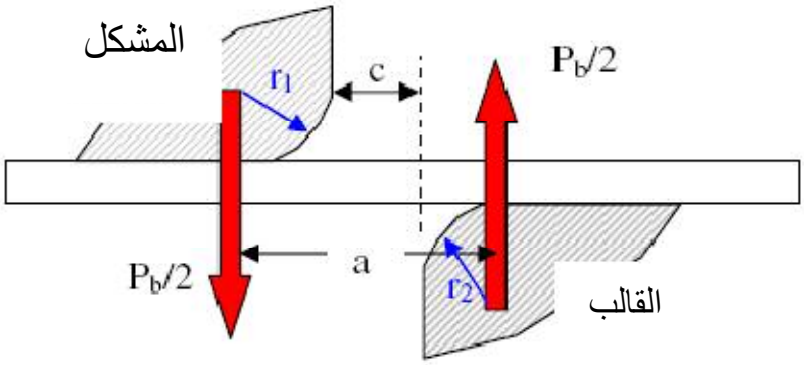
(من الرسم) نستنتج مقدار العزم كالآتي :

$$M = F_1 * t/2 = F_2 * t/2$$

إذن

$$M = \sigma_y \, b \, t^2/4$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



العزم العمودي على جوانب القالب حيث a = r1 + r2 + c

$$M = [P_b/2]*a$$

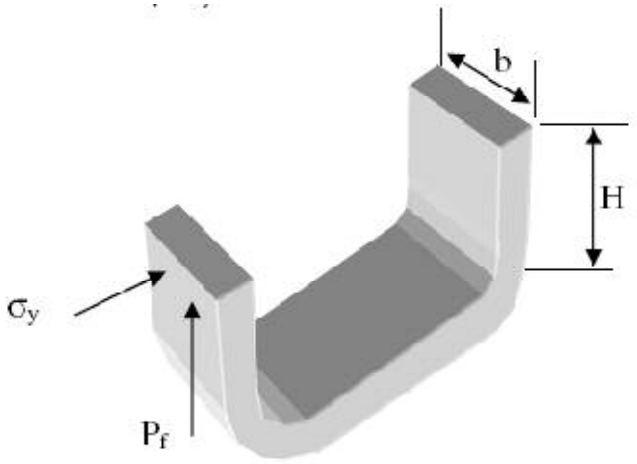
$$P_b = \sigma_y \cdot \frac{bt^2}{2a} \quad \text{Q.E.D.}$$ وهكذا

حيث σ_y هي جهد الخضوع.

عند سحب قطعة معدنية يجب إن تتغلب القوة المسلطة على الاحتكاك الموجود بين المعدن واجزاء القالب. و إذ فرضنا إن المادة مجهدة لحد نقطة الخضوع فان اكبر قوة مطلوبة للـــمشكل للتغلب على الاحتكاك و نرمز لها (P_f) هي:-

$$P_f = 2.\mu.\sigma_y.b.H = \text{قوة الاحتكاك}$$

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



الطول المفتوح على طول سطح القالب = H

= الطول الكلي – (t + r1 + r2)

جهد الاحتكاك $\tau_f = \mu\sigma_y$

قوة الاحتكاك = Stress x Area

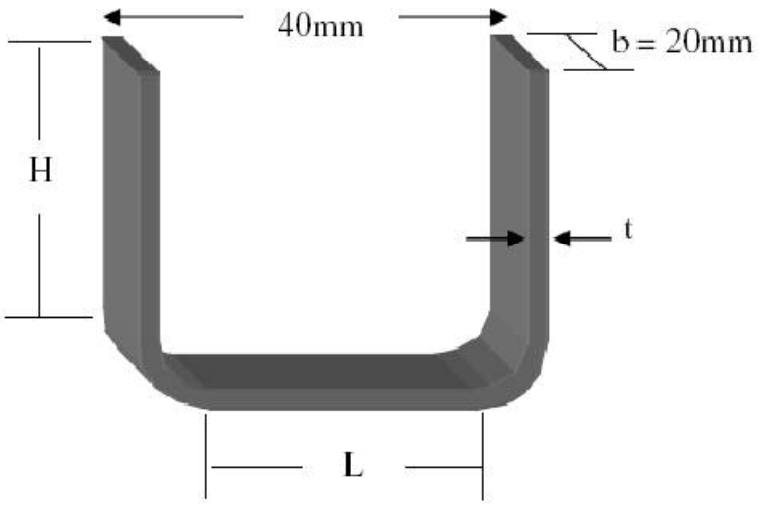
قوة الاحتكاك $= 2.\mu.\sigma_y .b.H$

شكل (٧-٣٢) توزيع القوى على المعدن المحني

مثال:-

القطعة الظاهرة في الشكل (٧-٣٣) تم تصنيعها من صفيحة سمكها ٢ ملم من الفولاذ. جهد الخضوع لهذا هو 500 N/mm². إذا كان نصف القطر للقالب و المشكل متساويين وقيمتها 5 mm و القطعة مسحوبة لعمق 25 mm أسفل سطح القالب.

احسب القوة المطلوبة (أ) للحني (ب) إذا كان معامل الاحتكاك يساوي $\mu = 0.15$.



شكل (٧-٣٣)

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

الجواب :-

حساب الحني:

$$P_b = \frac{Y\ bt^2}{2(r_1 + r_2 + c)}$$

قوة الاحتكاك:-

$$H = depth - (r_1 + r_2 + t)$$

اذا كان $r_1 = r_2$ اذن

$$H = depth - (2r + t)$$
$$H = 25 - (2(5) + 2) = 13mm$$

وبالتعويض

$$P = 2\mu Y\ bh$$
$$= 2 \times 0.15 \times 500 \times 20 \times [13]$$
$$= 39000N$$
$$= 39.0kN$$

وبالتعويض

$$L = [\text{Total length} - (2t + 2r)]$$

$$L = [40 - (2(2) + 2(5))]$$
$$L = 26mm$$

Substituting

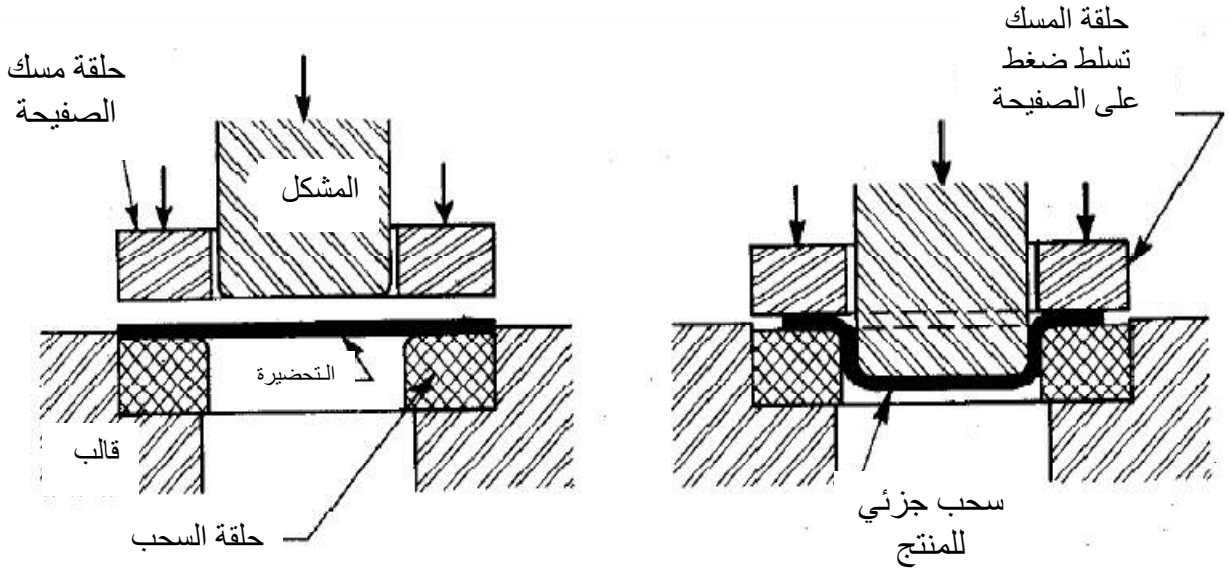
$$P_p = Y[L]b$$

$$= 500[26]20$$
$$= 260000N = \mathbf{260.0kN}$$

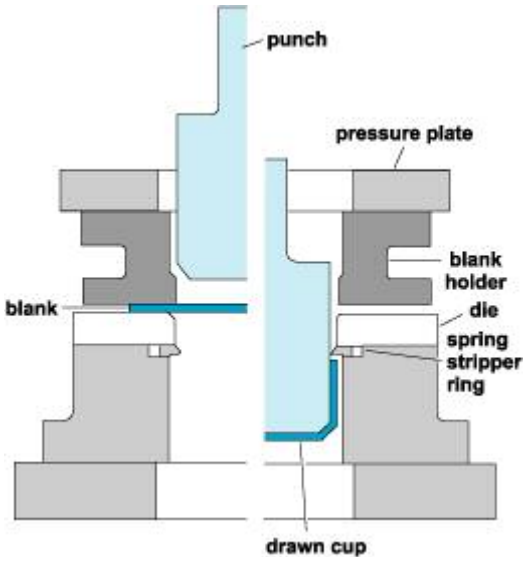
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-٣ السحب العميق Deep drawing :-

يتم تسليط قوة الـــمشكل على صفيحة معدنية مستقيمة باتجاه تجويف القالب. يـــتم مســـك الصفيحة بواسطة لوحة مسك مسلط عليها قوة محسوبة.



شكل (٧-٣٤) خطوات عملية السحب



شكل (٧-٣٥) عملية سحب عميق خلال قالب معقد

وتستعمل عملية السحب بصورة واسعة في نتاج الصفائح الحديدية لانتاج الاواني والاحواض المعدنية وهي عادةمن العمليات النهائية. اشكال (٧-٣٦ الى ٧-٣٩).

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (٧-٣٦) مراحل السحب العميق المتعددة لانتاج اوعية الصودا

شكل (٧-٣٧) حوض الغسل مصنوع بطريقة السحب العميق

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (٧-٣٨) صورة لمنتج مصنوع بعملية السحب العميق

شكل (٧-٣٩) منتجات مختلفة مصنوعة بطريقة السحب العميق

الصفيحة المحضرة للسحب والممسوكة بلوحة المسك يتم سحبها شعاعياً إلى الداخل و في نهاية شوط السحب فان الصفيحة بأكملها تكون قد انضغطت إلى داخل القالب فيما يكون قطرها قد صغر. الغرض من لوحة المسك هو منع الصفيحة تحت جهد الضغط من إن تتعرض للتجعد (wrinkling) ، لذلك فان الاختيار الصحيح لقوة المسك هو أمر مهم ومؤثر على نجاح السحب. عادة يتراوح ضغط صفيحة المسك من 0.7 -1 % من مجموع جهدي مقاومة الخضوع والمقاومة القصوى لمعدن الصفيحة. شكل (٧-٤٠).

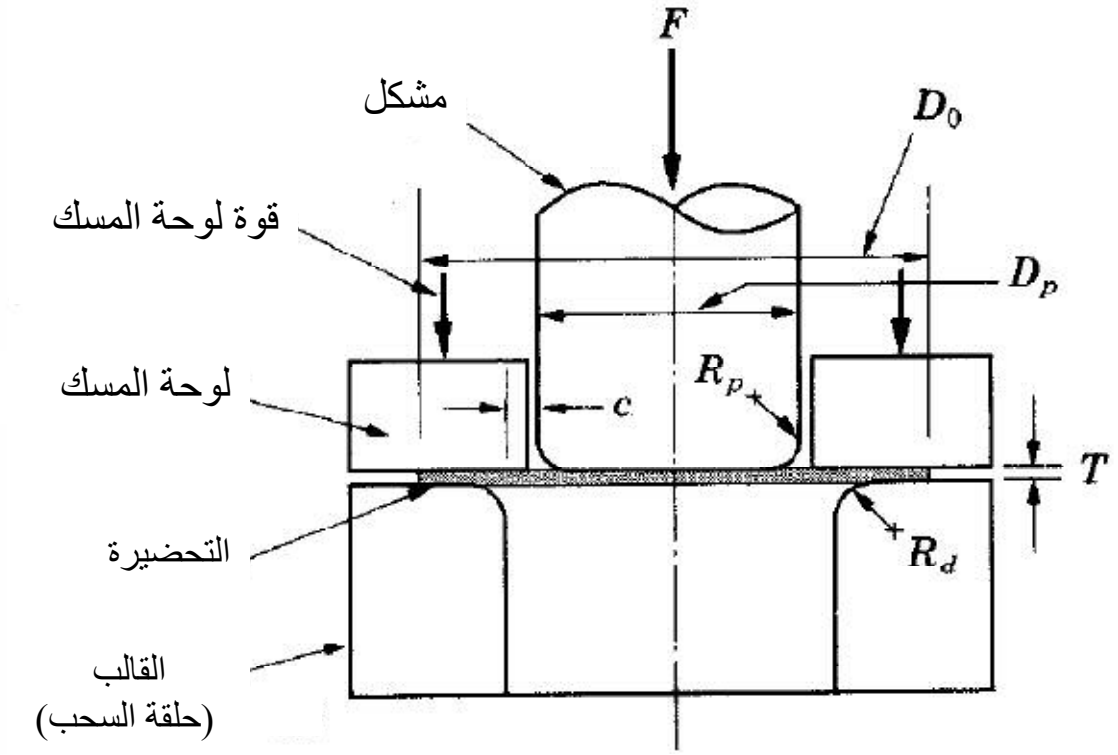
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

شكل (٧-٤٠) تأثثر قوةالمسك على جزدة المنتج المسحوب

٧-٣-١ العوامل الرئيسة المؤثرة على عملية السحب العميق (للصفائح الدائرية):-

١. خصائص معدن الصفيحة.
٢. نسبة قطر المعدن المحضر الى قطر الــمشكل والقالب .
٣. الخلوص بين الــمشكل و القالب.
٤. نصف قطر المشكل R_p .
٥. نصف قطر زاوية القالب R_d.
٦. قوة المسك F
٧. الاحتكاك والتزييت.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-٤١) ابعاد القالب واجزاءه

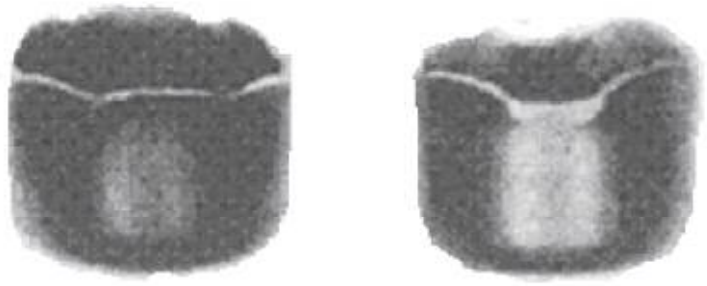
٧-٣-٢ ملاحظات عامة :

- تشكيل عمق العلبة لا يحدث بسبب نقصان في سمك جدران العلبة ولكن بسبب نقصان المساحة الكبيرة للتحضيرة لذلك لا يحدث تغير كبير في سمك الجدران.
- السحب العميق هي طريقة تستعمل للأجزاء العميقة وكذلك للأجزاء قليلة العمق.
- يعبر عن قابلية السحب العميق Deep Drawability بنسبة السحب المحدودة.
- الخلوص بين المشكل والقالب :- عادة يتراوح بين 7 – 14% من سمك الصفيحة. إذا كان الفراغ قليل جداً فسيحدث تمزق وقطع للصفيحة نتيجة ضغط المشكل .
- إنصاف أقطار زوايا القالب R_p , R_d : إذا كانت صغيرة فمن المحتمل إن تسبب فشل عند الزاوية. وإذا كانت كبيرة فان العلبة ستتجعد.
- تحديد حجم المعدن المحضر وشكله لعملية السحب العميق للإشكال المعقدة غالباً ما يحتاج إلى التجربة والخطأ.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

٧-٣-٣ خصائص المادة المناسبة لعملية السحب العميق:-

- مطيلية عالية للسماح بجريان لدن واسع إثناء العملية.
- قابلية أصلاد- إجهادي واطئة لمنع تشقق الجزء وتقليل عمليات إعادة التخمير الضرورية.
- مقاومة شد عالية ليتحمل جهود السحب التي تحاول تمزيق جدران المنتج إثناء سحبة من تحت لوحة المسك.
- حجم حبيبي متجانس ومنتظم للحصول على جريان منتظم وتقليل ظاهرة التأذن earing .



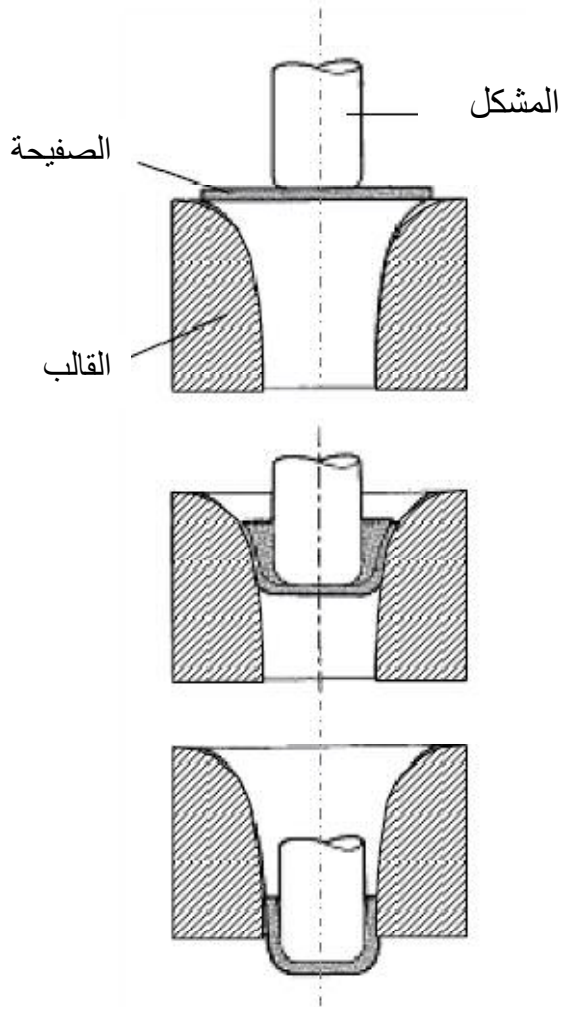
شكل (٧-٤٢) ظاهرة التأذن نتيجة عدم انتظام اتجاه

٧-٣-٤ السحب العميق بدون لوحة مسك:-

من الممكن إن يتم ذلك مع المواد السميكة لمنع حدوث التجعد. وهنا يتم تصميم مدخل القالب بحسابات خاصة.

من الأجزاء الممكن تصنيعها بواسطة السحب العميق ، حاويات الأطعمة ، العلب المعدنية ،أحواض غسل الصحون وغيرها كثير.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



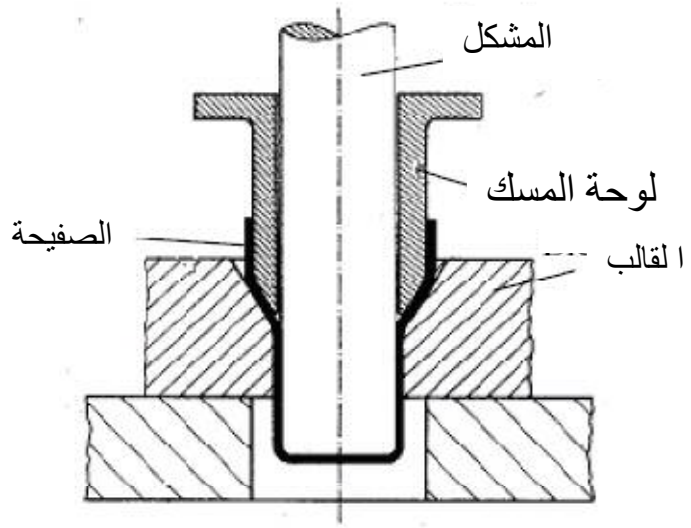
شكل (٧-٤٣) سحب عميق بدون لوحة

٧-٣-٥ إعادة السحب Redrawing :-

الأجزاء التي من الصعب جداً سحبها في عملية واحدة يتم سحبها في عدة مراحل. تسمح لوحة المسك المخروطة بجريان لين للمعدن لمنع التجعد انظر الشكل (٧-٢٨).

يتم تشكيل الإشكال المعقدة بواسطة استخدام المكابس press working. وذلك بتعريض الصفيحة المعدنية لعمليات مركبة من القص والحني والسحب في آن واحد simultaneously. حيث تكبس صفيحة المعدن بين المشكل و القالب ، من الأمثلة : أجزاء هيكل السيارة .

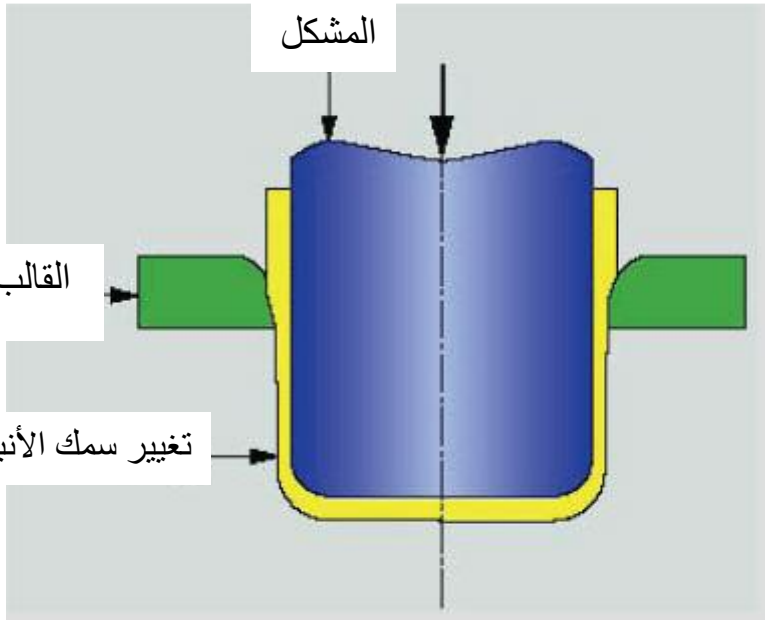
حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-٤٤) إعادة سحب الأنبوب

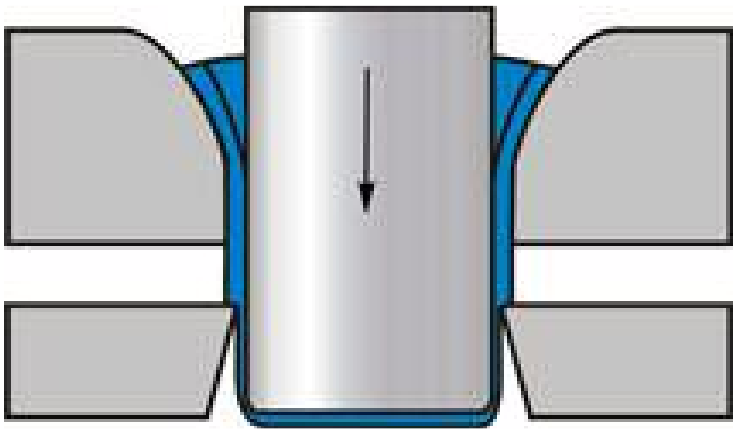
٧-٣-٦ ضبط السمك Ironing

هو عبارة عن إنقاص سمك جدران الجزء المسحوب بسحبه بين مشكل و قالب حيث الفراغ بين المشكل و القالب هو اقل من السمك الأصلي للجزء حيث لا حاجة لاستعمال اللوحة الماسكة. Blank holder ، تنحف الجدران الطويلة بينما يبقى سمك القاعدة بدون تغير. تستعمل هذه العملية لضبط السمك والحصول على سمك متجانس. من تطبيقاتها المعروفة العلب المعدنية.



شكل (٧- ٤٥) عملية ضبط السمك

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com



شكل (٧-٤٦) عملية سحب بدون لوحة مسك مع ضبط السمك

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com

المصادر :

١- Fundamentals of Modern Manufacturing, Groover, Mikell P., 2000 ,John Wiley & Sons, New York.

٢- Manufacturing Processes by B.H Amsted, 1979 ,John Wiley & Sons, Inc.

حارث الجبوري
harithaljobory@gmail.com