مذكرة محاضرات تصميم وصلات اللحام

(Lecture Notes in Welding Joints Design)

إعداد

دكتور أسامة محمد المرضي سليمان خيال

Dr. Osama Mohammed Elmardi Suleiman Khayal

قسم الهندسة الميكانيكية

كلية الهندسة والتقنية

جامعة وادي النيل

عطبرة – السودان

يناير 2019م

تصميم وصلات اللحام

(Weld Joints Design)

مدخل: (Introduction)

هنالك العديد من أطوار اللحام الهامة التي تستحق الإهتمام والأخذ في الاعتبار عند تصميم الماكينات. للمصمِّم فإنّ المعضلة الآنية هي تحديد مقاس اللحام الضروري لجزء معطي وهذا يتطلب تحليلاً للإجهادات حينما تكون الأجزاء معرّضة لأحمال إما سكونية (static) أو متفاوتة (fluctuating). سيتم استخدام الإجراءات التي تنصح بها جمعية اللحام الأمريكية (American Welding Society) (AWS) بتعديلات من شركة لينكولن الكهربائية (Lincoln Electric Company).

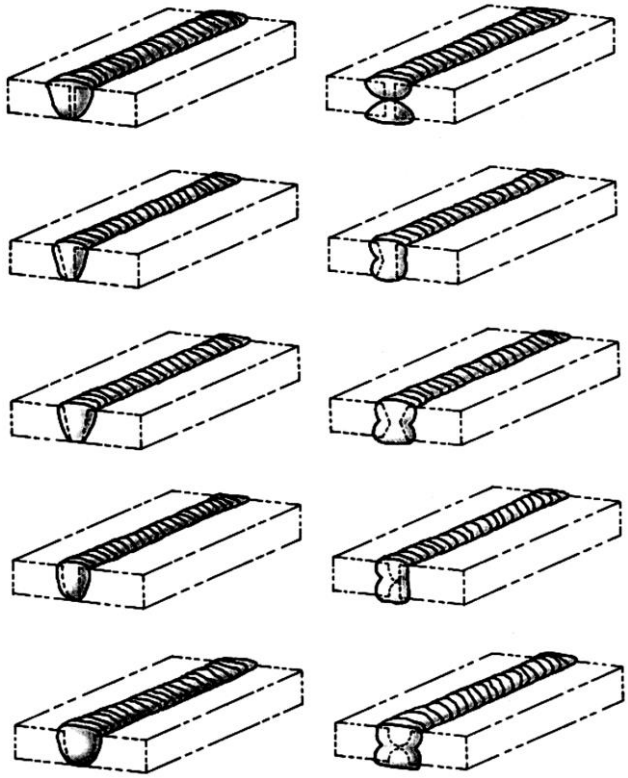
مطلوب من المصمِّم استخدام إجهادات التصميم والإجراءات أو الخطوات التي تحددها الشفرات المختلفة للإنشاءات، الكباري، وأوعية الضغط.

أنواع الوصلات اللحامية: (Types of Welded Joints)

1. اللحمات التناكبية: (Butt Welds)

طبقاً لشركة لينكولن الكهربائية، عندما يتم عمل لحمة تناكبية بصورة جيّدة فسيكون لها متانة أفضل من المادة الأم أو مكافئة لها ولا يكون هنالك داع لحساب للإجهاد في اللحام أو محاولة تحديد المقاس. من الضروري موائمة متانة قطب اللحام (electrode) مع متانة المادة المراد

لحامها عند لحام الفولاذ السبائكي (alloy steels) الشكل (1) يوضِّح بعض أشكال اللحامات التناكبية.



شكل (1) لحامات تناكبية

العديد من المعايير أو الشفرات تقترح خفض المتانة ببعض العوامل مثل كفاءة الوصلة. عندما يتم خفض المتانة، يتم إعطاء معادلة القوة المسموح بها على لحمة تناكبية بالمعادلة التالية:

$$F_{allowable} = S_t \, t \, L \, e$$

حيث،

$F_{allowable}$ = القوة المسموح بها, N

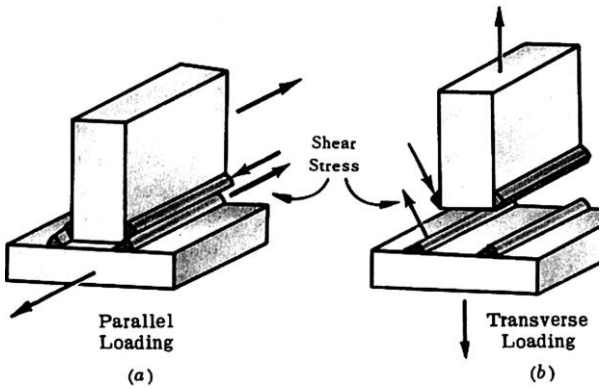
S_t = الإجهاد المسموح به للحمة, N/m^2

t = سمك اللوح

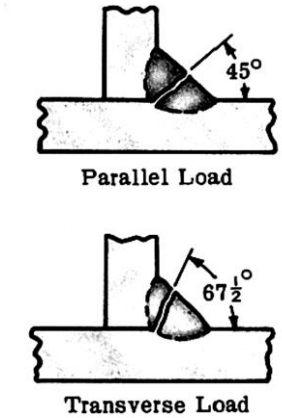
e = الكفاءة

2. اللحامات الزاوية: (لحام حشوة) (Fillet Welds)

يتم تصنيف لحامات الحشوة أو اللحامات الزاوية طبقاً لاتجاه الحمل: (a) حمل متوازي (parallel load)، (b) حمل مستعرض (transverse load). الشكل (2).



شكل (2)



شكل (3)

مستوي إجهاد القص الأقصى في اللحام الزاوي التقليدي 45° هو بعنق 45° عندما يكون معرَّضاً لحمل متوازي وبعنق $67\frac{1}{2}°$ عندما يكون معرَّضاً لحمل مستعرض، كما موضَّح في الشكل (3) عاليه. هذا يقود لمتانة أكبر لحمل مستعرض.

مقاس الساق (leg size) هو أساس تحديد اللحمة في الولايات المتحدة (يستخدم العنق في أوروبا). يتم تحديد مقاس اللحمة الزاوية بطول الساق للمثلث الأكبر القائم المتساوي الساقين أو أطوال الساق للمثلث القائم الزاوية الأكبر.

طول الساق للحمة زاوية بساقين متساويين يتم إعطاؤها بـ w وأطوال الساق للحمة زاوية بساقين غير متساويين يتم إعطاؤها بـ a و b كما موضَّح في الشكل (4). بعد العنق t للحمة زاوية لها ساقين متساويين يتم الحصول عليه بضرب مقاس اللحمة الزاوية (طول الساق) في 0.707، i.e. $t = 0.707w$ (أنظر الشكل (5)).

العنق الفعلي (actual throat) t_a المتحصل عليه بلحام أوتوماتيكي (Automatic welding) يكون أكبر من العنق النظري t (theoretical throat) (أنظر الشكل (6)). لاختراق مقداره P (Penetration)، يكون طول الساق (w + p) وبعد العنق (throat dimension) هو 0.707(w + p). لا تسمح الجمعية الأمريكية للحام AWS بمتانة إضافية نتيجة للاختراق، بالرغم من أنه يمكن أخذ التأثير في الاعتبار إذا رُغب في ذلك.

يجب إعتبار الإجهاد في لحمة زاوية كإجهاد قص على العنق لأي إتجاه للحمل المسلَّط.

الحمل المتوازي المسموح به للحمة زاوية محمَّلة سكونياً هو ،

$$F_{all} = S_{all} A = S_{all}\, w \cos 45° L = 0.707\, S_{all} w L$$

حيث،

S_{all} = إجهاد القص المسموح به = 13,600 psi ($94MN/m^2$)

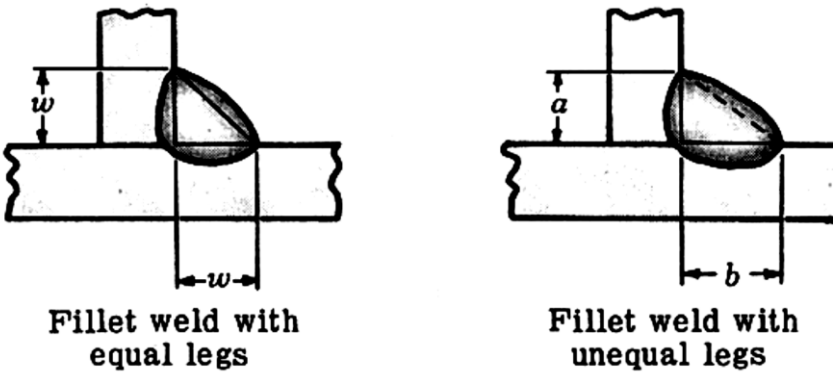
طبقاً لمعيار (شفرة) AWS.

مقاس الساق = w ؛ مساحة العنق عند A = 45° = 0.707 w L

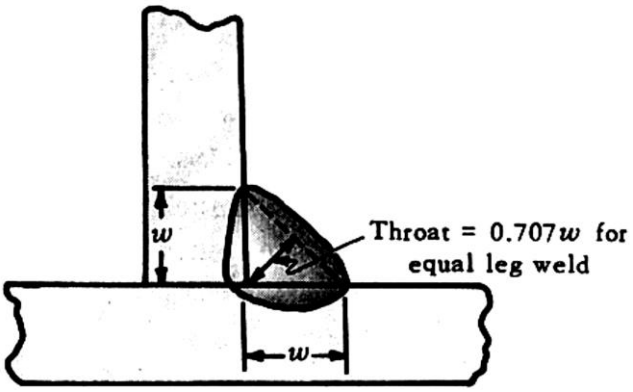
الحمل المستعرض المسموح به في لحمة زاوية محمَّلة سكونياً هو ،

$$F_{all} = S_{all}\, A / \sin 67.5° = S_{all} \left(\frac{wL}{\cos 67.5° + \sin 67.5°} \right) \Big/ \sin 67.5°$$

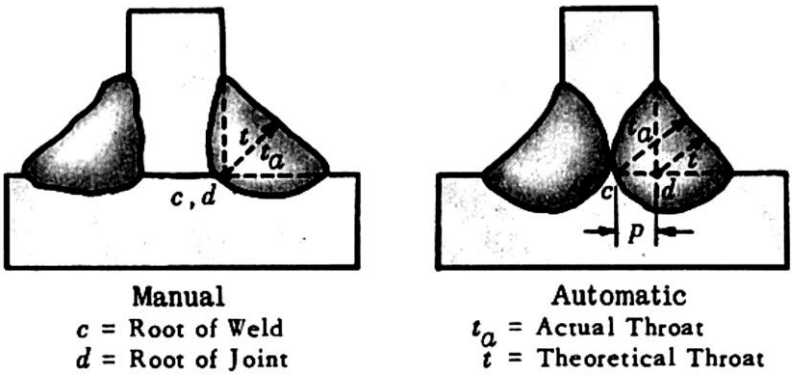
$$= 0.828 S_{all} w L$$



شكل (4)



شكل (5)



شكل (6)

حيث، S_{all} = الإجهاد المسموح به = 13,600 psi (94MN/m^2)

وهو نفسه كما للحمة زاوية محملة بحمل متوازي (parallel loaded fillet weld)

مساحة العنق عند $A = 67\frac{1}{2}^\circ$ = 0.765 w L

طبقاً لجمعية اللحام الأمريكية AWS، إذا تم تطبيق جزء من الحمل متوازياً وجزء أخر مستعرضاً فيجب استخدام الحمل المتوازي المسموح به (Allowable parallel load). حينما تكون هنالك أحمال انحناء أو إلتواء فتكون إجراءات أو خطوات تحليل اللحمة بمعاملتها كخط بدون مساحة مقطع عرضية. يمكن توضيح أنَّ خاصية مثل معاير المقطع لأي مساحة رفيعة تكون مكافئة لخاصية المقطع عندما يتم معاملتها كخط مضروبة في سمكها، بخطأ يمكن تجاهله.

اعتبر الانحناء: $S = \frac{M}{Z}$

حيث، عزم الانحناء = M؛ معاير المقطع = Z؛ الإجهاد = S

إذا كان معاير المقطع Z_w للحمة يتم معاملته كخط فسيتم تحديده بالأبعاد التي هي (الطول)[2].

لتحميل متوازي فإن المعادلة $(w)(Z_w)(0.707)$ تعطي معاير المقطع للحمة، حيث w هو مقاس الساق للحمة. هكذا ،

$$Sw = \frac{M}{(0.707)(Z_w)} \quad \text{أو} \quad S = \frac{M}{(0.707)(Z_w)(w)}$$

الكمية $\frac{M}{Z_w}$ تعطي وحدات $\frac{\text{القوة}}{\text{الطول}}$ ويتم تمثيلها بالرمز f . هكذا ،

$$S = f / 0.707\ w$$

نفس الشيء للحامات مستعرضة،

$$S = \frac{M}{(0.828)(Z_w)(w)} = \frac{f}{(0.828)w}$$

يسمح الإجراء عاليه بإيجاد مقاس اللحام مباشرة.

معاير المقطع المناظر في الانحناء، Z_w وعزم القصور الذاتي القطبي في الالتواء J_w لعدد 13 وصلة لحامية نموذجية بلحمة يتم معاملتها كخط يتم توضيحه في الشكل (7) أدناه. تكون معايرات المقطع لهذه الصيغ لقوة قصوي عند الأعلى بالإضافة للأجزاء السفلية للتوصيلات اللحامية. للتوصيلات غير المتماثلة الموضَّحة (unsymmetrical connections)، تكون قوة الانحناء القصوى عند الأسفل.

إذا كانت هنالك أكثر من قوة مسلَّطة على اللحمة فيتم إيجادها وتوحيدها. جميع القوى التي تكون متحدة يجب أن تقع عند نفس النقطة في الوصلة اللحامية. معاير المقطع وعزم القصور الذاتي القطبي يتم استخدامها في صيَّغ التصميم المعيارية كما موضَّح في الأشكال 7(a) و 7(b) أدناه.

للحامات الثانوية (secondary welds)، فإنَّ اللُحمة لا يتم معاملتها كخط لكن يتم استخدام صيغ تصميم معيارية لإيجاد قيمة f للحمة. الرموز المستخدمة هي:

b = عرض الوصلة, m (width of connection).

d = عمق الوصلة, m.

A = مساحة الفلنشة التي تحملها اللحامات في القص, m^2 (area of flange by welds in shear).

I = عزم القصور الذاتي لجميع المقطع, m^4 (moment of inertia of entire section).

C= البعد إلي النسيج الخارجي, m (distance to outer fiber, m).

t = سمك اللوح, m.

J= عزم القصور الذاتي القطبي للمقطع, m^4.

P= حمل الشد أو الانضغاط, N.

N_x= بعد المحور x إلي الوجه, m (distance of x axis to face).

N_y= بعد المحور y إلي الوجه, m (distance of y axis to face).

V= حمل القص الرأسي, N (vertical shear load).

M= عزم الانحناء, N.m (bending moment).

T= عزم الالتواء, N.m (twisting moment).

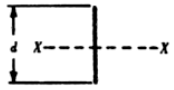
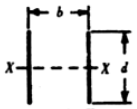
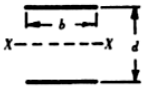
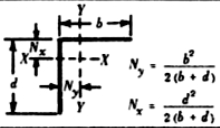
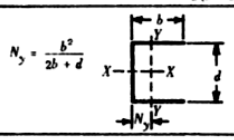
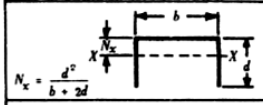
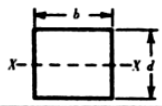
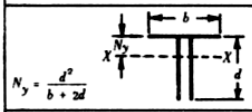
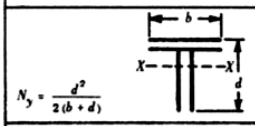
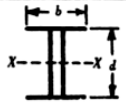
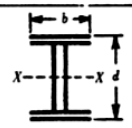
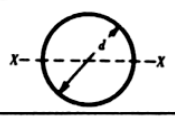
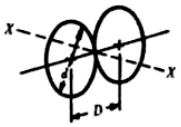
L_w= طول اللحام, m.

Z_w= معاير المقطع للحام, m^2(section modulus of weld).

J_w= عزم القصور الذاتي القطبي للحام, m^3(polar moment of inertia of the weld).

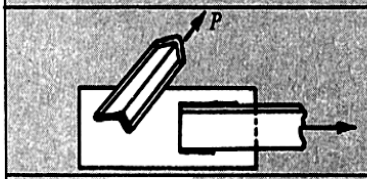
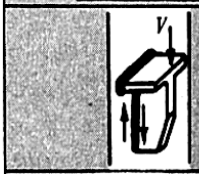
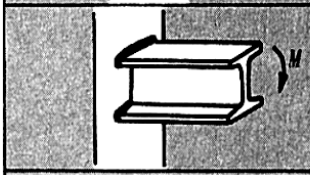
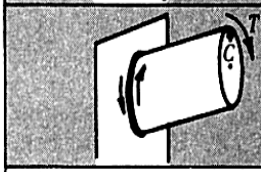
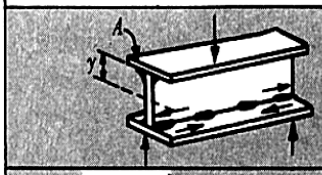
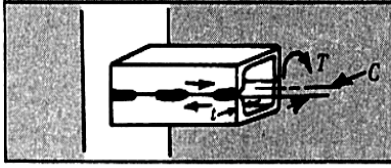
S= الاجهاد في صيغة التصميم المعيارية, N/m^2 (stress in standard design formula).

n = عدد اللحمات (number of welds).

Properties of Weld Treated as a Line		
Outline of Welded Joint b = width d = depth	**Bending** (about horizontal axis X-X)	**Twisting**
	$Z_w = \frac{d^2}{6}$	$J_w = \frac{d^3}{12}$
	$Z_w = \frac{d^2}{3}$	$J_w = \frac{d(3b^2+d^2)}{6}$
	$Z_w = bd$	$J_w = \frac{b^3+3bd^2}{6}$
	$Z_w = \frac{4bd+d^2}{6} = \frac{d^2(4bd+d)}{6(2b+d)}$ top bottom	$J_w = \frac{(b+d)^4-6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$Z_w = bd + \frac{d^2}{6}$	$J_w = \frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{(2b+d)}$
	$Z_w = \frac{2bd+d^2}{3} = \frac{d^2(2b+d)}{3(b+d)}$ top bottom	$J_w = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$
	$Z_w = bd + \frac{d^2}{3}$	$J_w = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$Z_w = \frac{2bd+d^2}{3} = \frac{d^2(2b+d)}{3(b+d)}$ top bottom	$J_w = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$
	$Z_w = \frac{4bd+d^2}{3} = \frac{4bd^2+d^3}{6b+3d}$ top bottom	$J_w = \frac{d^3(4b+d)}{6(b+d)} + \frac{b^3}{6}$
	$Z_w = bd + \frac{d^2}{3}$	$J_w = \frac{b^3+3bd^2+d^3}{6}$
	$Z_w = 2bd + \frac{d^2}{3}$	$J_w = \frac{2b^3+6bd^2+d^3}{6}$
	$Z_w = \frac{\pi d^2}{4}$	$J_w = \frac{\pi d^3}{4}$
	$Z_w = \frac{\pi d^2}{2} + \pi D^2$	

Courtesy The Lincoln Electric Co.

شكل 7(a)

Type of Loading		Standard Design Formula Stress lb/in^2	Treating the Weld as a Line Force lb/in
	Primary Welds transmit entire load		
	**tension or compression**	$s = \frac{P}{A}$	$f = \frac{P}{L_w}$
	**vertical shear**	$s = \frac{V}{A}$	$f = \frac{V}{L_w}$
	**bending**	$s = \frac{M}{Z}$	$f = \frac{M}{Z_w}$
	**twisting**	$s = \frac{TC}{J}$	$f = \frac{TC}{J_w}$
	Secondary Welds hold section together — low stress		
	**horizontal shear**	$s = \frac{VAy}{It}$	$f = \frac{VAy}{In}$
	**torsional horizontal shear**	$s = \frac{TC}{J}$	$f = \frac{TCt}{J}$

Courtesy The Lincoln Electric Co.

شكل 7 (b)

إذا تم استخدام لحامات متقطعة (intermittent welds) فسيتم تحديد النسبة R لمقاس الساق الذي يتم حسابه للحام متصل ومقاس الساق الفعلي الذي يتم استخدامه باللحام المتقطع:

$$R = \frac{\text{مقاس الساق المحسوب للحام متصل}}{\text{مقاس الساق الفعلي المستخدم في اللحام المتقطع}}$$

$$R = \frac{\text{calculated leg size, continuous weld}}{\text{actual leg size be used, int ermitted weld}}$$

طول اللحامات المتقطعة والبعد بين المراكز يتم إعطاؤه كدالة لـ R. مصطلح مثل 30-40 يعني لحمة بطول 30mm والبعد بين المراكز للحمتين متتاليتين مقداره 40mm. يستخدم المعيار البريطاني BS5499 الترميز 30(10) ليعني لحمة بطول 30mm بفجوة مقدارها 10mm بين لحمتين متتابعتين والذي يعطي نفس نتيجة الترميز السابق.

R (percent of continuous weld)	Length of intermittent welds and distance between centers		
75%		75–100	
66			100–150
60		75–125	
57			100–175
50	50–100	75–150	100–200
44			100–225
43		75–125	
40	50–125		100–250
37		75–200	
33	50–150	75–225	100–300
30		75–250	
25	50–200	75–300	
20	50–250		
16	50–300		

القيم التالية لمتانة الكلال (fatigue strength) (MN/m^2) للحامات الزاوية) هي دليل أو موجَّه لتصميم لحامات زاوية (fillet welds) تحت أحمال متباينة. تستخدم القيَّم المؤسسة على قيمة متانة محدودة ومحافظة أكثر في تصميم الكباري كما تنصح به جمعية اللحام الأمريكية (AWS). هذه القيَّم يتم التعبير عنها بوحدات SI كما يلي:

(1) متانة كلال مسموح بها للحمة زاوية لـ 2,000,000 دورة = $\frac{50}{1-\frac{1}{2}K} MN/m^2$ أو $84MN/m^2$ أيهما أقل.

(2) متانة كلال مسموح بها للحمة زاوية لـ 600,000 دورة = cycle $\frac{70}{1-\frac{1}{2}K} MN/m^2$ أو $84MN/m^2$ أيهما أقل.

(3) متانة كلال مسموح بها للحمة زاوية لـ 100,000 دورة = $\frac{80}{1-\frac{1}{2}K} MN/m^2$ أو $84MN/m^2$ أيهما أقل.

في عاليه،

$$K = \frac{\text{الحمل الأدني}}{\text{الحمل الأقصى}} = \frac{\text{الإجهاد الأدنى}}{\text{الإجهاد الأقصى}} .K = +1 \text{ مستقر الإجهاد ؛}$$

و K=0 إذا تمَّ إعتاق الحمل (بتفاوت في إتجاه واحد)؛ K=-1 إذا تمَّ عكس الحمل تماماً.

أي تغيير مفاجئ في المقطع على طول ممر سريان أو تدفق الإجهاد سيخفِّض متانة الكلال. هذا لا يعني أنَّ اللحام يخفِّض متانة الكلال إنما هو تأثير الشكل الهندسي. يمكن التعبير عن متانة الكلال المرتبطة بعدد دورات بالصيغة العملية التالية (empirical formula)،

$$S_{fA} = S_{fB}\left(\frac{N_B}{N_A}\right)^C$$

حيث،

S_{fA} = متانة الكلال لعدد N_A دورة

S_{fB} = متانة الكلال لعدد N_B دورة

C= الثابت الذي يتفاوت بصورة خفيفة مع العينة

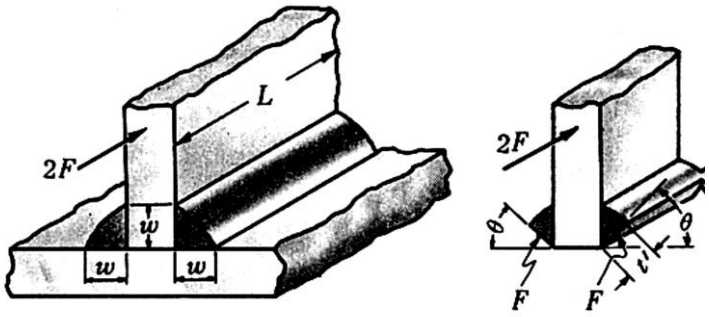
C=0.13 يتم استخدامه للحامات التناكب و C = 0.18 لألواح في حالة تحميل محوري، شد أو انضغاط.

قانون أو حكم الإبهام للحامات الذي يتم حسابة: (rule of thumb)

للحمة كاملة المتانة لكلٍ من التحميل المتوازي والمستعرض، يجب أن يكون مقاس الساق للحمة ¾ سمك اللوح، الطول الكامل للوح، ويجب أن يُلحم اللوح على كلا الجانبين. للتصميم عندما يكون الحكم هو الجساءة يتم استخدام مقاس ساق للحمة مكافئ لـ 3/8 سمك اللوح.

مسائل محلولة:

1/ وضِّح أنَّ مستوي القص الأقصى يقع بزاوية مقدارها 45° لحمل متوازي للحمة زاوية بساقين متوازيين، كما موضَّح في الشكل (8)؛ تجاهل الإنحناء، حدَّد القوة المسموح بها F_{all} لكل متر من اللحمة إذا كان إجهاد القص المسموح به هو $94MN/m^2$، ساق اللحام هو 10mm.



شكل (8)

الحل:

(a) إعتبر الجسم الحر باللحمتين مقطوعتان تماثلياً مع الرأسي.

(b) يتم ترميز بُعد العنق للمقطع الاعتباطي كـ 't. مساحة اللحمة للجزء المعزول هي A=t'L، حيث $t'=w/(\sin\theta+\cos\theta)$.

(c) إجهاد القص هو، $S_S=\frac{F}{A}=\frac{F}{t'L}=\frac{F(\sin\theta+\cos\theta)}{wL}$

(d) فاضل S_s بالنسبة لـ θ و إجعل المشتقة التفاضلية مساوية لصفر للحصول على القيَّم القصوى.

$$\frac{dS_s}{d\theta}=\frac{F}{wL}(\cos\theta-\sin\theta)=0$$

التي تتحقق عندما $\cos\theta=\sin\theta$، أو θ=45° .

(e) عوِّض عن θ=45° في (c)،

$$S_s(\max)=\frac{\sqrt{2}F}{wL}=\frac{F}{tL}$$

حيث t هو العنق عند 45°.

(f) الحمل المسموح به لكل متر طول من اللحمة هو،

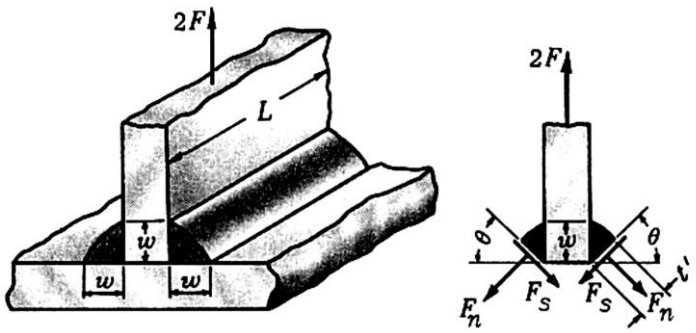
$$F_{all} / L = S_{all}\, w/\sqrt{2} = \left(94\times10^{6}\right)(0.01)/\sqrt{2} = \underline{665}kN/m$$

2/ وضِّح أن مستوي قوة القص الأقصى يحدث عند $67\frac{1}{2}°$ لحمل مستعرض للحمة زاوية بساقين متساويين. تجاهل الإنحناء. حدِّد القوة المسموح بها لكل متر من اللحمة إذا كان إجهاد القص المسموح به هو $94MN/m^2$ وساق اللحمة هو 10mm.

الحل:

(a) يتم توضيح الجسم الحر في الشكل (9). إفترض أن اللحمتان تتشاركان الحمل مناصفة (بالتساوي). قوة القص هي F_s والقوة المتعامدة F_n. بتجميع المكونات الرأسية.

$$+2F - 2F_s \sin\theta - 2F_n \sin\theta = 0$$



شكل (9)

(b) بافتراض محصلة F_s وF_n تكون رأسية، بالتالي فإن المكوِّنات الأفقية تكون متساوية ومتعاكسة:

$$F_s \cos\theta = F_n \sin\theta$$

بتعويض $F_n = (F_s \cos\theta)/(\sin\theta)$ في (a)

$$+2F - 2F_s \sin\theta - \frac{2F_s \cos\theta}{\sin\theta}(\cos\theta) = 0$$

أو $F_s = F \sin\theta$

(c) بُعد العنق (throat dimension) للمقطع المأخوذ هو $t' = w/(\cos\theta + \sin\theta)$.

(d) إجهاد القص هو، $S_S = \frac{F_s}{A} = \frac{F_s}{t'L} = \frac{(F\sin\theta)(\cos\theta + \sin\theta)}{wL}$.

(e) لقيمة S_s القصوى أوجد الزاوية θ التي تُعرِّف القص الأقصى بوضع $\frac{dS_s}{d\theta} = 0$.

$$\frac{dS_s}{d\theta} = \frac{F}{wL}[(\sin\theta)(-\sin\theta + \cos\theta) + (\cos\theta + \sin\theta)(\cos\theta)] = 0$$

مستخدماً التعويضات $\cos^2\theta - \sin^2\theta = \cos 2\theta$ و $\sin\theta\cos\theta = \frac{1}{2}\sin 2\theta$، هذا يعطي

$\theta = 67\frac{1}{2}°$ و $2\theta = 135°,\ \tan 2\theta = -1,\ \sin 2\theta = -\cos 2\theta$.

(f) يتم إيجاد الإجهاد الأقصى بتعويض $\theta = 67\frac{1}{2}°$ في (d):-

$$S_{s(\max)} = \frac{(F\sin 67\frac{1}{2}°)(\cos 67\frac{1}{2}° + \sin 67\frac{1}{2}°)}{wL} = \frac{1.21F}{wL} = \frac{0.924F}{tL}$$

حيث t هو العنق عند $67\frac{1}{2}°$.

(g) القوة المسموح بها لكل متر طول من اللحام هي،

$$F/L = 0.828 S_{s(all)} w = 0.828 \times 94 \times 10^6 \times 0.01 = \underline{778} kN/m$$

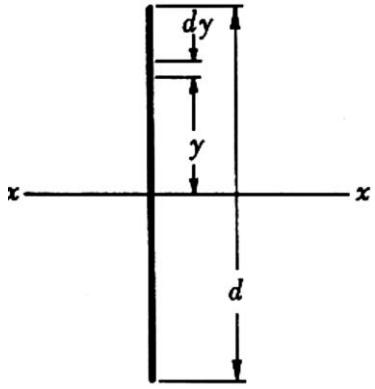
3/ كيف يتم توزيع التحميل في اللحامات ذات التحميل المتوازي إذا كانت اللحامات طويلة نسبياً؟

الحل:

إذا كانت اللحامات طويلة، فإنَّ التحميل لا يتم توزيعه بإنتظام. يعتمد التحميل الأقصى لكل متر من اللحام على طول اللحمة. يجب تخفيض قيم الحمل المسموح به لكل متر من اللحام إلي مقدار يكون حوالي 90% من ذلك للحامات القصيرة.

4/ معاملاً اللحمة كخط، حدِّد معاير المقطع Z_w في الانحناء للحمة بارتفاع d بوصة. أرجع للشكل (10) أدناه.

الحل:



شكل (10)

$$\text{عزم القصور الذاتي } I = \int_{-\frac{1}{2}d}^{+\frac{1}{2}d} y^2 dy = \frac{d^3}{12}$$

$$Z_w = \frac{I}{d/2} = \frac{d2}{6}$$ و

5/ معاملاً اللحمة كخط، حدِّد عزم القصور الذاتي J_w حول المحور.

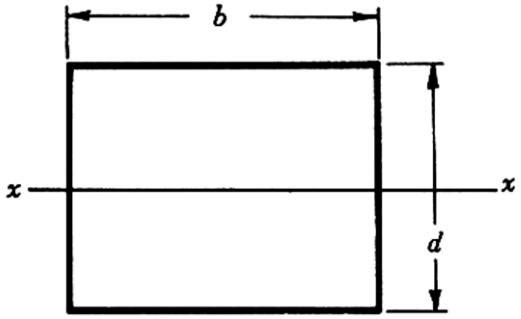
الحل:

بالرجوع للشكل (10)،

$$J_w = \int_{-\frac{1}{2}d}^{+\frac{1}{2}d} y^2 dy = \frac{d^3}{12}$$

6/ معاملاً اللحمة كخط، حدِّد المقطع Z_w حول المحور x – x. أرجع للشكل (11).

الحل:



شكل (11)

من المسألة (4)، عزم القصور الذاتي للخطوط الرأسية حول المحور x – x هو

$$I_1 = 2\left(d^3/12\right) = d^3/6$$

عزم القصور الذاتي للخطوط الأفقية هو

$$I_2 = 2\left[b(d/2)^2\right] = bd^2/2$$

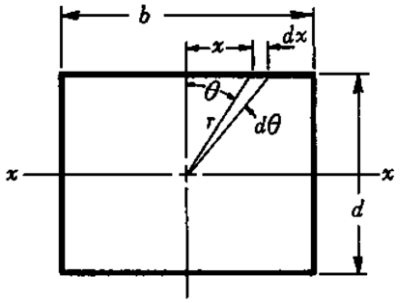
عزم القصور الذاتي الكلي حول المحور x – x هو

$$I = I_1 + I_2 = \left(d^3/6\right) + \left(bd^2/2\right)$$

$$\text{معايير المقطع } Z_w = \frac{I}{C} = \frac{\left(d^3/6\right) + \left(bd^2/2\right)}{d/2} = \frac{d^3}{3} + bd$$

7/ معاملاً اللحمة كخط، حدِّد عزم القصور الذاتي J_w حول مركز الثقل. أرجع للشكل (12).

الحل:



شكل (12)

اعتبر كل خط لوحدة، حدِّد تأثير كُلٍ وأضف الأجزاء. اعتبر الخط العلوى، بعنصر تفاضلي dx.

تكامل حاصل ضرب طول العنصر ومربع البعد المتغير إلي مركز الثقل هو،

$$J_{w_1} = r^2 dx = 2\int_0^{\frac{1}{2}b} \left[(d/2)^2 + x\right] dx$$

$$= 2\left(\frac{d}{2}\right)^2\left(\frac{b}{2}\right) + \frac{2}{3}\left(\frac{b}{2}\right)^3 = \frac{d^2 b}{4} + \frac{b^3}{12}$$

الاسهام بالخط السفلي هو نفسه

$$J_{w_2} = \frac{d^2 b}{4} + \frac{b^3}{12}$$

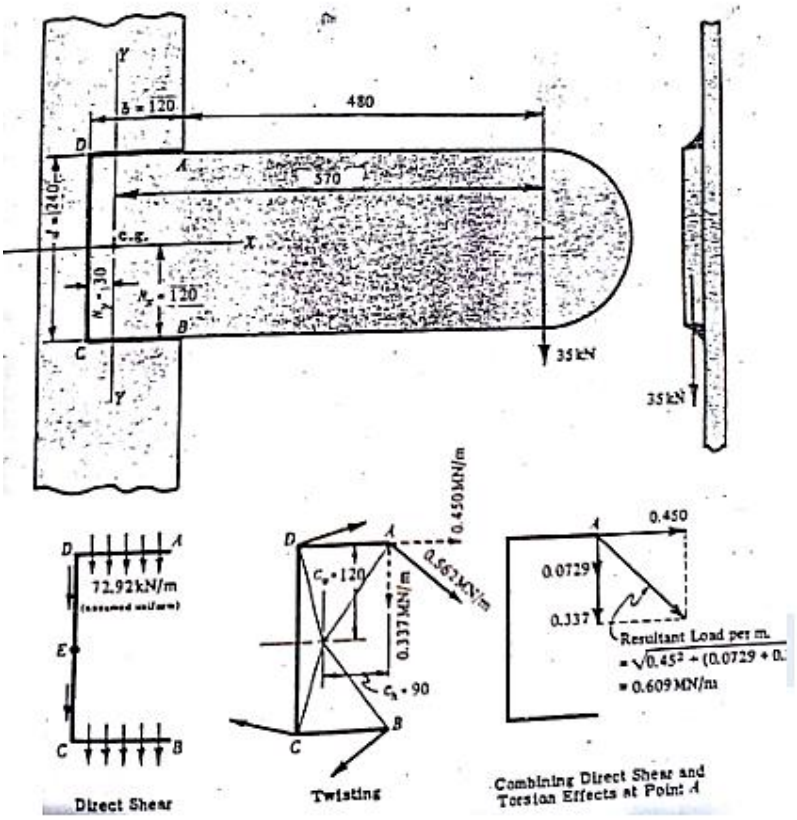
بالتناظر، عزم القصور الذاتي القطبي لكل خط رأسي هو،

$$J_{w_3} = J_{w_4} = \frac{db^2}{4} + \frac{d^3}{12}$$

عزم القصور الذاتي القطبي الكلي،

$$J_w = J_{w_1} + J_{w_2} + J_{w_3} + J_{w_4} = \frac{b^3 + 3b^2 d + 3bd^2 + d^3}{6} = \frac{(b+d)^3}{6}$$

8/ حدِّد مقاس اللحمة الزاوية المطلوبة للشيالة (Bracket) الموَّضحة في الشكل (13) أدناه.



شكل (13)

الحل :

(a) حدِّد مركز الثقل للحمة، بمعاملة اللحمة كخط بدون سمك. أنظر الشكل ((7(a)).

$$N_x = 120mm,\ N_y = \frac{b^2}{2b+d} = \frac{120^2}{120\times 2+240} = \underline{30}mm$$ ، بالتماثل

(b) استبدل القوة الأصلية 35kN بقوة مقدارها 35kN عند مركز الثقل C.G وازدواج يساوي

$\underline{19.95}kN.m = 35\times 10^3(0.570)$ (مسبباً للالتواء).

(c) يتم افتراض أنَّ القوة الرأسية 35kN تكون موزَّعة بانتظام على اللحمة وتعطي،

$$f = \frac{V}{Lw} = \left(35\times 10^3\right)/(0.12+0.24+0.12) = \underline{72.92}kN/m$$

(d) الآن حدَّد تأثير إزدواج الالتواء. عزم القصور الذاتي القطبي للحمة، بمعاملتها كخط هو

$$J_w = \frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{2b+d} = \frac{(0.24+0.24)^3}{12} - \frac{0.12^2(0.12+0.24)^2}{0.24+0.24} = \underline{5.328\times 10^{-3}}m^3$$

(e) عند النقاط A و B، القيمة القصوى لـ f من الالتواء هي

$$f = \frac{TC}{J_w} = \frac{19.95\times 10^3\sqrt{0.12^2+0.09^2}}{5.328\times 10^{-3}} = \underline{0.562}MN/m$$

حيث C = البعد من مركز الثقل إلي النقطة التي يتم تحليلها

$f_V = \frac{0.09}{\sqrt{0.12^2+0.09^2}}\times 0.562 = \underline{0.337}MN/m$ ، المركّبة أو المكوِّنة الرأسية

$f_h = \frac{0.12}{\sqrt{(0.12)^2+(0.09)^2}}\times 0.562 = \underline{0.450}MN/m$ ، المركّبة أو المكوِّنة الأفقية

لاحظ أنَّ f_v وf_h يمكن الحصول عليهما باستخدام المسافات الأفقية والرأسية C_h=90mm وC_v=120mm في $f = TC / J_w$.

(f) بتوحيد المركبات الأفقية والرأسية عند النقطة A، نحصل على،

$$f_{total} = \sqrt{(0.45)^2 + (0.073 + 0.337)^2} = \underline{0.609} MN/m$$

(g) يكون مقاس اللحمة،

$$w = f_{total} / 0.707 S_{all} = 0.609 / 0.707 \times 94 = \underline{9.2} mm \; say \; \underline{\underline{10}} mm$$

لاحظ أنَّ الإجهاد المسموح به $94MN/m^2$، يتم استخدام القيمة المسموح بها للتحميل المتوازي حينما يكون هنالك إتحاد للتحميل المستعرض والمتوازي.

(h) هنالك تحميل بديل يتم تبريره على أساس توزيع قوة القص المستعرضة كما في تحليل العارضة هو باعتبار اللحمات العلوية و السفلية كأنما لا تحمل قوة قص مستعرضة. إجهاد القص المستعرض الأقصى في مقطع مستطيلي هو 3V/2A عند المحور المحايد.

هكذا يكون القص المباشر عند النقطة A هو صفر وعند النقطة E هو

$$f_s = \frac{3}{2}\frac{V}{L_w} = \frac{3}{2} \cdot \frac{35{,}000}{0.24} = \underline{0.219} MN/m$$

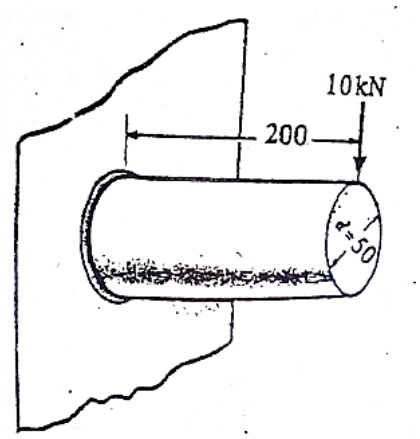
عند النقطة A تكون قيمة f نتيجة الالتواء فقط هي 0.562MN/m كما يتم تحديدها في الفقرة (e) عاليه.

يكون مقاس اللحمة حرجاً عند النقطة A (وعند النقطة B) وهو،

$$w = \frac{0.562}{(0.707)(94)} = \underline{8.5}\,mm$$

9/ قضيب مستدير، كما موضَّح في الشكل (14)، يتم لحامه إلي لوح من الفولاذ. قطر القضيب d=50mm. حدَّد مقاس اللحمة المطلوبة.

الحل:



شكل (14)

عزم الانحناء = 10(0.2) = 2kN.m ؛

قوة القص = 10kN

يتم معاملة معاير المقطع للحام كخط (أنظر الشكل 7(a)

$$Z_w = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4}\pi(0.05)^2 = \underline{1.964\times10^{-3}}m^2$$

يحدث التحميل الأقصى عند الأعلى والأسفل، حيث

$$f_B = M / Z_w = 2000/0.01964 = \underline{1.020}MN/m$$

القص الرأسي، بافتراض توزيع منتظم لقوة القص يُعطي بـ،

$$f_s = 10{,}000/(0.05\times\pi) = \underline{0.0637} MN/m$$

$$\text{المحصلة } f = \sqrt{(1.02)^2 + (0.0637)^2} = \underline{1.022} MN/m$$

$$\text{مقاس اللحمة } w = \frac{1.022}{(0.707)(94)} = \underline{15.4}\, mm$$

لحمة بمقدار 15mm يجب أن تكون كافية.

10/ عارضة في شكل لوح (Plate Girder) يتم تصنيعها باللحام. ما هو مقاس اللحمات الزاوية لوصلة الفلنشات إلي الوترة المطلوب لحمل مستعرض (قوة قص) بمقدار 700kN يتم تسليطها عند المقطع تحت الدراسة. أرجع للشكل (15) أدناه.

الحل:

اللحمة المطلوبة عند التقاء الوترة والفلنشة (web and flange) يتم اعتبارها كلحمة ثانوية بما أنَّها مطلوبة لمسك الأجزاء مع بعضها. لا يتأثر إنحراف العارضة كثيراً حتي إذا تم حذف اللحام.

باعتبار اللحمة عند التقاء الوترة والفلنشة،

$$f = \frac{VAY}{I\ n} = \frac{(700{,}000)(0.0125)(0.525)}{(0.00789)(2)} = \underline{0.291} MN/m$$

حيث،

V = قوة القص = 700,000 N

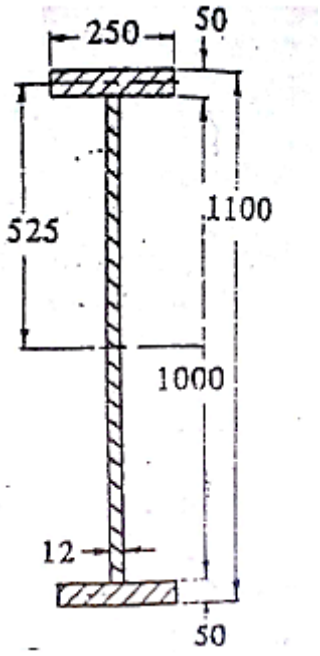
A = مساحة المقطع فوق اللحمة = (0.25) (0.05) =<u>0.0125</u> m^2

Y = البعد إلي مركز الثقل للمساحة فوق اللحمة = (0.525m).

I = I في شكل C.g. حول عزم القصور الذاتي لجميع المقطع (=0.00789 m^3)

n = عدد اللحمات (= 2)

w = مقاس ساق اللحمة = 0.294/(0.707)(94) = 4.4 mm (مقاس ساق بلحمة متصلة)



شكل (15)

بالرغم من وجود أو عدم وجود إجهاد على بعض اللحمات من الأفضل لدواعي عملية عدم وضع لحمات صغيرة على لوح سميك. يمكن استخدام الجدول أدناه كدليل أو مُوجِّه.

هكذا يكون مقاس اللحمة كما تمَّ حسابه هو 4.4mm للحمة متصلة. على أي حال، في الجدول المجاور تكون اللحمة الدنيا 10mm للوح بسمك 50mm. لاحظ أنَّ مقاس الساق للحمة الزاوية لا يحتاج لزيادة سمك اللوح الأرفع.

بسبب المتانة الأكبر للحمة 10mm، يمكن استخدام لحمات متقطعة. تنصح شركة لينكولن الكهربائية بأن مقاس اللحمة الزاوية لحسابات التصميم أو تحديد الطول يجب أن لا تزيد عن ⅔ من سمك الوترة أو $\frac{2}{3}(10) = 6.67\text{mm}$. هذه النصيحة مؤسسة على تحجيم إجهاد القص في اللوح الأرفع إلي 94MN/m^2 (كما معطي سابقاً). هكذا، وبالرغم من استخدام لحمة 10mm سيتم تأسيس الحسابات على لحمة مقدارها 6.67mm.

$$\text{R} = \frac{\text{مقاس اللحمة المتصلة المطلوبة}}{\text{مقاس اللحمة المتقطعة المستخدمة}} = \frac{3}{6.67} = \underline{45\%}$$

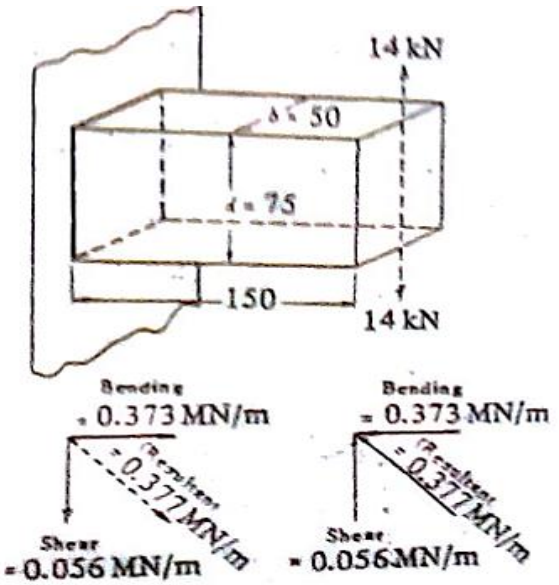
من جدول النسبة المئوية للحمة متصلة مستخدماً القيمة 44% فإن طول اللحمة المتقطعة والفراغ هما 100و 225mm.

بالتالي النصيحة الأخيرة للحمة هي 10mm (مقاس ساق)، 100mm طول، على 225mm مراكز.

Thickness of thicker plate	Maximum weld size
up to 10mm	4mm
over 10 up to 20mm	6mm
over 20 up to 30mm	8mm

over 30 up to 50mm	10mm
over 50 up to 300mm	12mm
over 300mm	16mm

11/ عارضة مستطيلة يتم لحامها إلي لوحة. يتم تسليط حمل أقصى مقداره 14kN تكرارياً. حدَّد مقاس اللحمة المطلوبة لعدد 10,000,000 دورة. افترض أنَّ حمل القص يتم توزيعه بانتظام على جميع اللحمة. أرجع للشكل (16) أدناه.



شكل (16)

الحل:

اعتبر اللحامات الأفقية التي يكون فيها إجهاد القص هو الأقصى (اللحمات العلوية والسفلية تُجهد بنفس المقدار).

يتفاوت عزم الانحناء من قيمة قصوى مقدراها 14,000(0.15)=2100N.m في أحد الإتجاهات إلي قيمة قصوى مقدارها 2100N.m في الاتجاه المعاكس.

تتفاوت قوة القص من 14kN في الأعلى إلي 14kN في الأسفل.

يكون معاير المقطع للحمة هو،

$$Z_w = bd + d^2/3 = (0.05)(0.075) + \left(\frac{0.075}{3}\right)^2 = \underline{0.00563} m^2$$

نتيجة للانحناء،

$$f_B = \frac{M}{Z_w} = \frac{2100}{0.00563} = \underline{0.373} MN/m$$

نتيجة للقص،

$$f_S = \frac{V}{L_w} = \frac{14{,}000}{2(0.05) + 2(0.075)} = \underline{0.056} MN/m$$

بالتالي،

$$f_{total} = \sqrt{(0.373)^2 + (0.056)^2} = \underline{0.377} MN/m$$

قيمة f القصوى تتراوح من 0.377MN/m في أحد الاتجاهات إلي 0.377MN/m في الاتجاه الآخر. هذا يكون صحيحاً لكل من اللحمات العلوية والسفلية.

متانة الكلال لعدد 2,000,000 دورة هي $\frac{50}{1-\frac{1}{2}K}$ أو $80 MN/m^2$ أيهما أقل، حيث

$K = \frac{\text{الإجهاد الأدني}}{\text{الإجهاد الأقصى}} = -1$ بما أن الحمل يتم عكسه تماماً، وهكذا فإنَّ ،

$$S_f = \frac{50}{1-\frac{1}{2}(-1)} = \underline{33.3} MN/m^2$$

متانة الكلال لعدد 10,000,000 دورة هي،

$$S_f(10)^7 = (33.3)\left(\frac{2\times10^6}{10\times10^6}\right)^{0.13} = \underline{27.2} MN/m^2$$

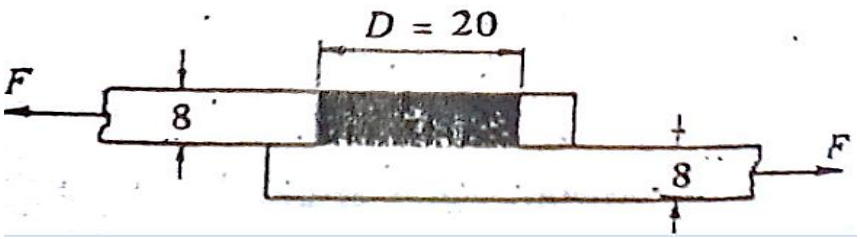
مقاس اللحمة $w = 0.377/(0.707)(27.2) = \underline{19.6}\, mm \;\; say \;\; \underline{\underline{20}}\, mm$

12/ حدَّد سعة الحمل للحمة السدادة (القابس) (plug) المفردة الموضَّحة في الشكل (17). استخدم سعة قص مسموح بها مقدارها $94MN/m^2$. يكون الحمل مستقراً.

الحل:

مساحة القص $= \frac{1}{4}\pi D^2 = \frac{1}{4}\pi(0.02)^2 = \underline{314\times10^{-6}}\, m^2$

القوة المسموح بها $F = (94\times10^6)(314\times10^{-6}) = \underline{29.5} kN$



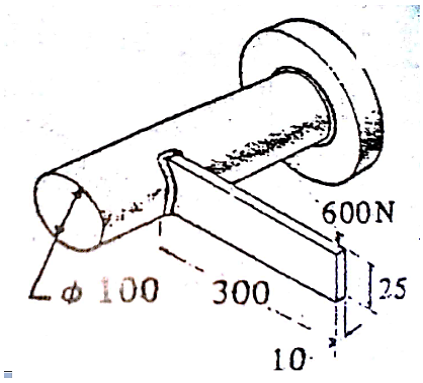
شكل (17)

مسائل إضافية (Supplementary Problems):

1. A 10× 25mm bar is welded to a 100mm diameter cylinder as shown in Fig. (18). Determine the size of a 45° fillet weld. Assume

transverse shear is uniformly distributed in the weld. Use an allowable load of 94MN/m^2.

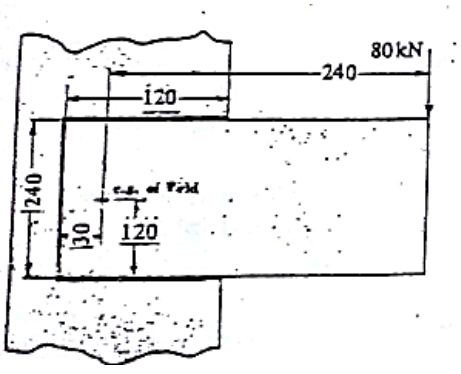
Ans. {For a bending moment of 180N.m, a section modulus of weld Z_w= bd +d^2/3= (0.01) (0.025) +(0.025)^2/3=0.458×10^{-6}m^2, and a resultant f value of $\sqrt{0.393^2+0.0086^2}=0.393MN/m^2$, the size of weld = 0.393/(0.707×94)= 5.91mm. Since the load is essentially transverse to the weld, a smaller weld could be used. However, a final size of w = 6mm is satisfactory}



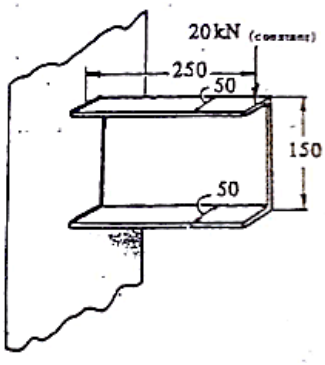
شكل (18)

2. Determine the size of fillet weld required for the flat plate loaded as shown In Fig. (19) below.

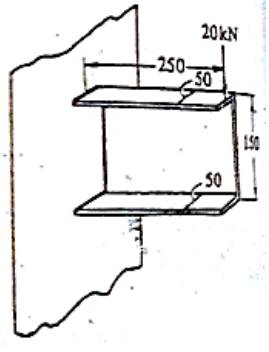
Ans. {w = 10mm, for an allowable load of 94MN/m^2}



شكل (19)



شكل (20)



شكل (21)

3. A channel is welded to a support. For a steady load of 20kN,

determine the size of weld required. Assume that the vertical load is uniformly distributed on the weld. Refer to Fig. (20) above.

Ans. {$Z_w=11.25\times10^{-3}m^2$,$f_B=0.444MN/m$,$f_v=0.08MN/m$, $f_{total}=$ 0.451MN/m, and w=6.79mm for allowable load of $94MN/m^2$; use w 7mm}

4. A channel is welded to a support as shown in Fig. (21) above. The load is applied in a varying fashion from zero to a maximum of 20kN. Assume the vertical load is uniformly distributed on the weld. Determine (a) the maximum resultant f value, (b) the minimum f value, (c) the allowable stress in the weld for 2,000,000 cycles, and (d) the size of weld.

Ans. {(a) 0.451MN/m (same as Prop. 3), (b) Zero, (c) for K=0, allowable stress =$50MN/m^2$, (d) w=12.6mm, use w = 13mm}

5. A calculated necessary weld size is 5mm. A 10mm fillet weld is to be used intermittently. Determine the spacing.

Ans. {Use a 10mm weld with 75mm runs at 150mm centers}

6. A plug weld used in a plate 25mm thick has a diameter of 40mm. What is the design load for an allowable shear stress of $94MN/m^2$?

Ans. {118kN}

نبذة عن المؤلف:

أسامة محمد المرضي سليمان وُلِدَ بمدينة عطبرة بالسودان في العام 1966م. حاز على دبلوم هندسة ميكانيكية من كلية الهندسة الميكانيكية – عطبرة في العام 1990م. تحصَّل أيضاً على درجة البكالوريوس في الهندسة الميكانيكية من جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا – الخرطوم في العام 1998م ، كما حاز على درجة الماجستير في تخصص ميكانيكا المواد من جامعة وادي النيل – عطبرة في العام 2003م ودرجة الدكتوراه من جامعة وادي النيل في العام 2017م. قام بالتدريس في العديد من الجامعات داخل السودان، بالإضافة لتأليفه لأكثر من ثلاثين كتاباً باللغة العربية ولعشرة كتب باللغة الإنجليزية بالإضافة لخمسين ورقة علمية منشورة في دور نشر ومجلات عالمية إلى جانب إشرافه على أكثر من ثلاثمائة بحث تخرج لكل من طلاب الماجستير، الدبلوم العالي، البكالوريوس، والدبلوم العام. يشغِل الآن وظيفة أستاذ مساعد بقسم الميكانيكا بكلية الهندسة والتقنية – جامعة وادي النيل. بالإضافة لعمله كاستشاري لبعض الورش الهندسية بالمنطقة الصناعية عطبرة. هذا بجانب عمله كمدير فني لمجموعة ورش الكمالي الهندسية لخراطة أعمدة المرافق واسطوانات السيارات والخراطة العامة وكبس خراطيش الهيدروليك.