$$= \frac{2F}{w.L} = 88 \quad 88\, mN/m^2$$

عامل الأمان للقص: $= \frac{350}{44} \approx 8$

عامل الأمان للهصر : $= \frac{400}{88} \approx 4{,}5$

مثال محلول 2:

مـــا هو أقل طول لخابور عرضه (20 mm) يجب استخدامه مع عمود إدارة قطره (80 mm) مصمم ليعمل عند إجهاد التواء ($75\ MN/m^2$).

الحل :

قطر العمود

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_t}{\pi[\tau]}} \qquad M_t = \frac{d^3 \times \pi \times [\tau]}{16}$$

$$M_t = \frac{(0{,}08)^3 \times \pi \times 75 \times 10^6}{16} = 7550 \quad N.m$$

القوة المماسية على العمود:

$$F_t = \frac{M_t}{d/2} = \frac{7550}{0{,}04} = 188{,}75 \quad N$$

طول الخابور :

$$L = \frac{F}{w.[\tau]}$$

$$= \frac{188{,}75}{0{,}02 \times 75 \times 10^6} m = \frac{188{,}75}{0{,}02 \times 75} mm$$

$$= 126 \quad mm$$

اختبار: يجب أن يكون L بحدود 1,5 d.

$$1{,}5 \times d = 1.5 \times 80 = 120 \quad mm$$

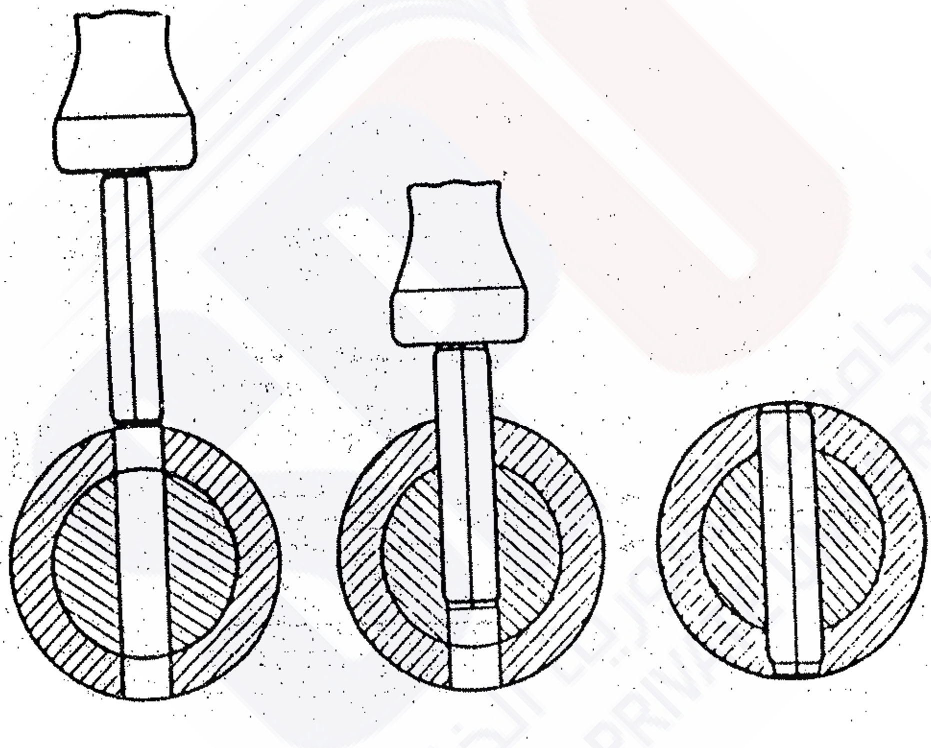
النتيجة مقبولة.

ثالثاً – أنواع أخرى من الخوابير (وسائل الربط):

١– الخوابير المستديرة والمسامير Rcund keys and pins

تستخدم لتثبيت الجزعة والعمود كما في الشكل (6-20) ولنقل الاستطاعة المنخفضة حيث أن قوة تحملها تتحدد بقطرها الذي يكون عادة صغيراً وبحدود (0,2-0,3)d أما طولها فيساوي إلى (L=d-1.5d).

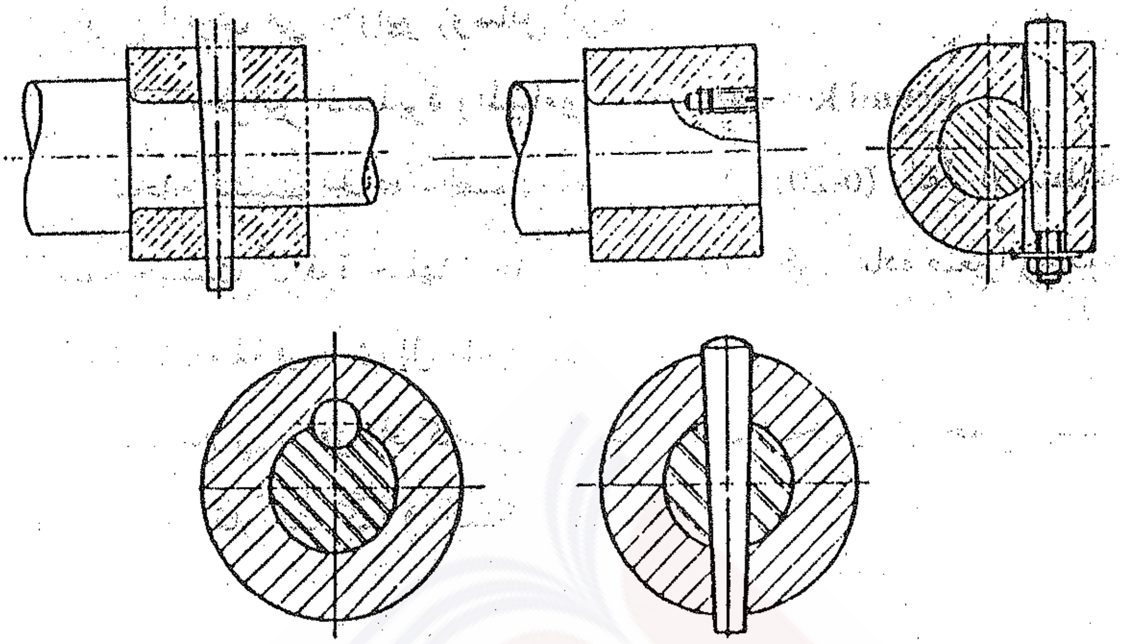
وتستخدم في مرافق المحركات وفي تثبيت الجلب النحاسية في المحمل البسيط وفي بعض أنواع القارنات كما في الشكل (6-21)



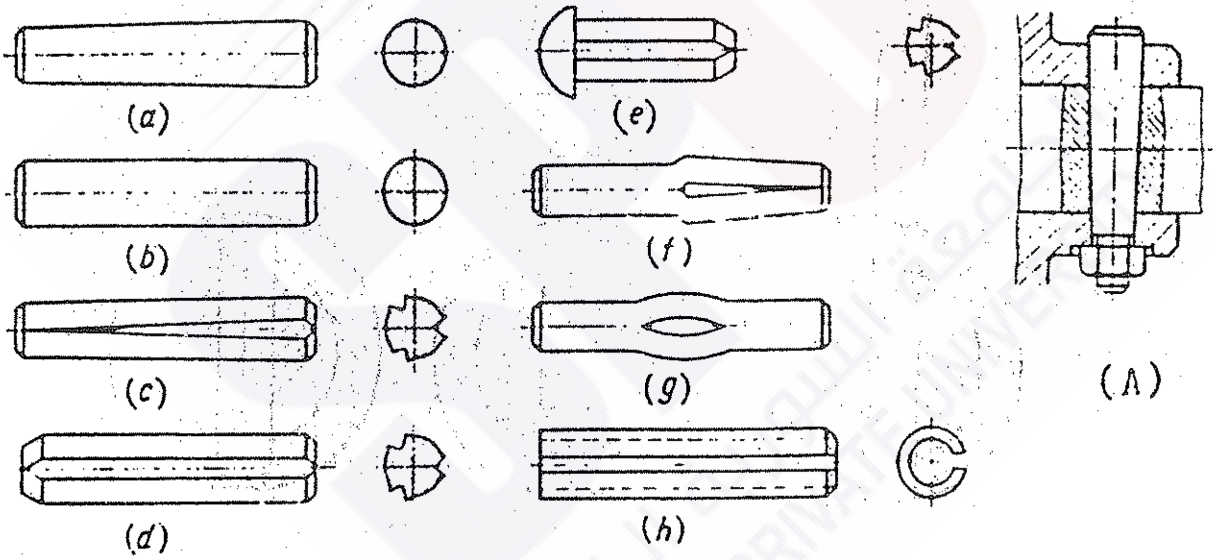
الشكل (6-20)

الشكل (6-22) يبين بعض تصاميم هذه المسامير وأهمها هي : المخروطية، المخروطية ذات الطرف الملولب (A)، الأسطوانية، المخروطية، المشقوقة.

المخروطية (a): ويكون ميلها 1/50، وتتميز بالمقارنة مع الخوابير الأسطوانية بإمكانية استخدامها لعدة مرات في ثقب واحد لا يتغير.



الشكل (6-21)



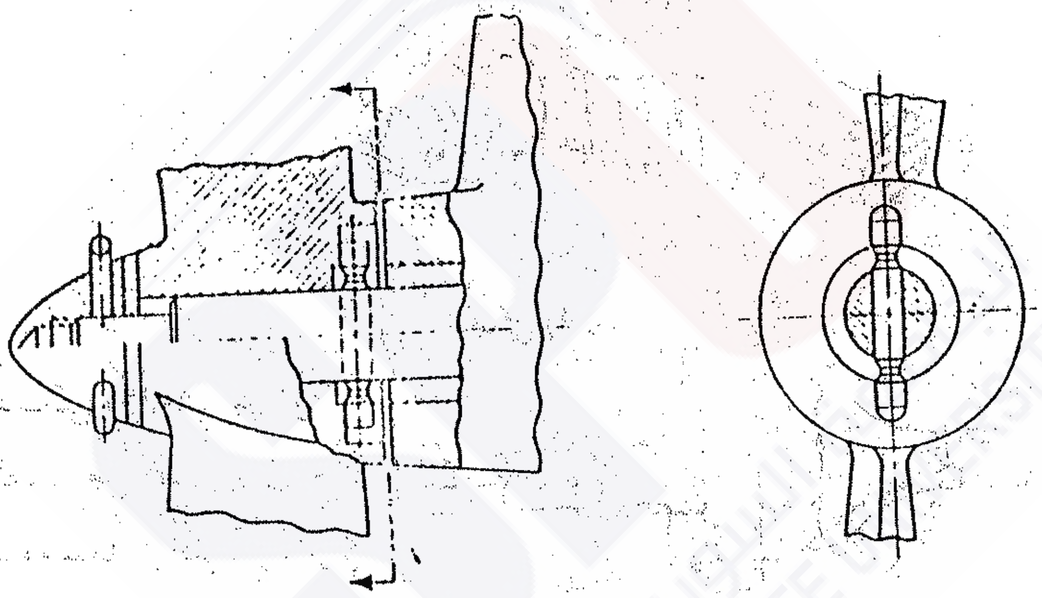
الشكل (6-22)

الخوابـــير الأســـطوانية (b): تثبت في ثقوبها بواسطة الاحتكاك الناتج عن تركيبها بالتداخل أو عن طريق برشمة أطرافها وغير ذلك من الطرق.

وهناك نوع آخر من المسامير الجوفاء المشقوقة المرنة (c,d,e,f,g,h) وتشكل بواسطة الضغط أو التفريض Notching على طول المسمار أو جزء منه فقط، وتكون عند

الفك أكبر قطراً. وعندما تكون في مكانها فإنها تركب في ثقب أصغر قليلاً ويؤدي فعل النابض على جدران الثقب إلى بقائها في مكانها.

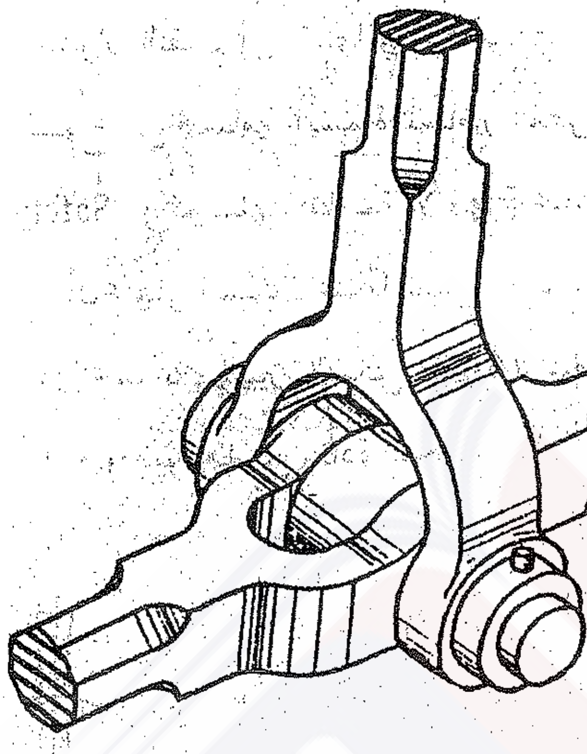
وهنا نوع من المسامير المسماة بمسامير القص Shear pine أو مسامير الأمان Safety pine، وعملها حماية الأجهزة عند حدوث زيادة في التحميل Overload وذلك بأن ينهار المسمار عندما تصل الحمولة إلى حد معين لأنه يشكل أضعف عنصر في المجموعة. ويبين الشكل (6-23) كيفية استخدام مسمار القص لحماية مروحة الطائرة وعمودها من زيادة التحميل.



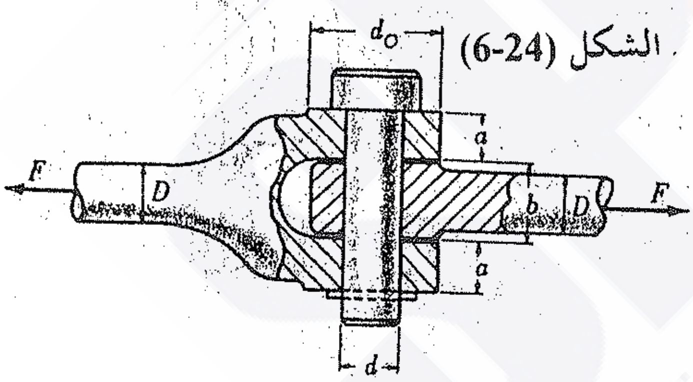
الشكل (6-23)

٢- الوصلات المفصلية Kunckle joints

تستخدم هذه الوصلات لوصل قضيبين أو أكثر كما بالشكل (16-24) وذلك عندما تكون الحركة النسبية بينهما ضرورية. ويكون القضيبان في حالة شد إلا إذا كانت الوصلة مسنودة (موجهة) فمن الممكن تطبيق حمولات انضغاط .



الشكل (6-24)



الشكل (6-25)

الشــكل (6-25) يبين وصلة مؤلفــة من قضيبين في حالة شد ومسمار وصل، ولندرس مراحل دراستها وتصميمها:

الخطوات التصميمية:

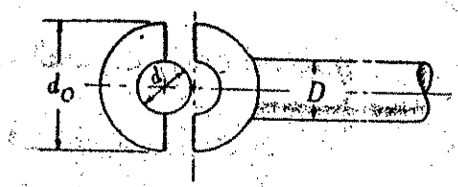
١-إجهاد الشد على القضيب: $\sigma_t = \dfrac{4.P}{\pi D^2}$

٢-إجهاد الشد على مساحة شبكية العين، الشكل (6-25-b) $\sigma_t = \dfrac{P}{(d_o - d).b}$

$$\tau = \frac{P}{b.2(d_o - d)/2} = \frac{P}{b.(d_o - d)}$$

٣-إجهاد القص على العين eye كما بالشكل (6-25-c) يساوي تقريباً إلى : *

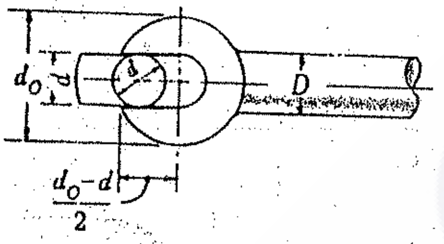
٤- إجهاد الشد على الشوكة Clevis:



$$\sigma_t = \frac{P}{(d_o - d).2a}$$

٥-إجهاد القص على الشوكة

يساوي تقريباً إلى :



$$\tau = \frac{P}{2a.2(d_o - d)/2} = \frac{P}{2a(d_o - d)}$$

الشكل (6-26)

٦- إجهاد الهصر على العين الناتج عن ضغط المسمار (Pin): $\sigma_{cr} = \frac{P}{d.b}$

٧-إجهاد الهصر على الشوكة الناتج عن المسمار $\sigma_{cr} = \frac{P}{2.d.a}$

٨-إجهاد القص على المسمار (قص مضاعف): $\tau = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi.d^2}$

٩-إجهاد الانحناء على المسمار، الشكل (6-26): $\sigma_b = \frac{M_b}{Z}$

حيث : $Z = \frac{\pi.d^3}{32}$ and $M_b = \frac{P.b}{8}$

ومنه : $\sigma_b = \frac{4P.b}{\pi d^3}$

١٠-إجهاد الهصر على المسمار بتأثير العين: $\sigma_{cr} = \frac{P}{d.b}$

١١-إجهاذ الهصر على المسمار بتأثير الشوكة $\sigma_{cr} = \frac{P}{2.a.d}$

٣- الوصلات الوتدية (خابور التوصيل) Cotter key

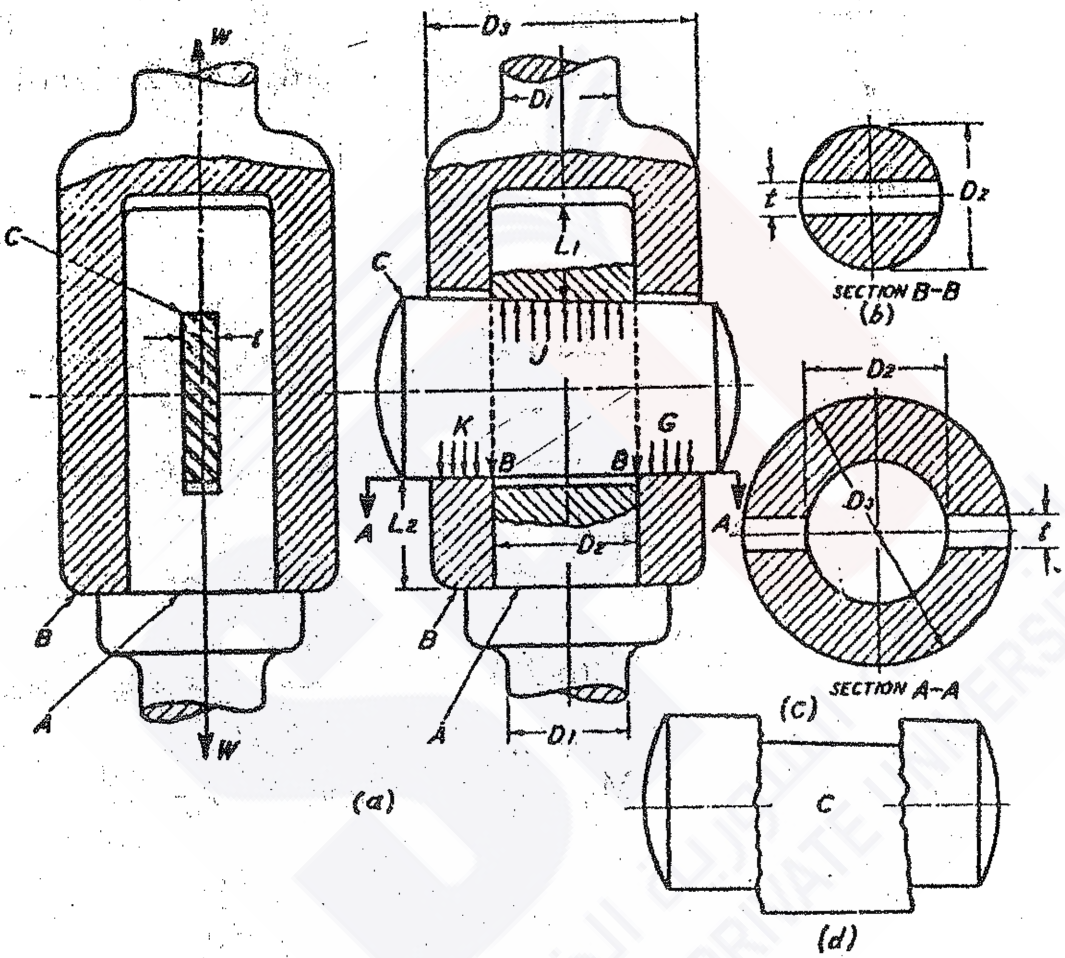
تستخدم الوصلات الوتدية للوصل بين جزئين من آلة وصلاً محكماً بحيث يمكن أن يتحمل القضيب الموصول حمولات الشد أو الانضغاط:

الشكل (6-27) يبين الوصلة التي تتألف من ثلاثة أجزاء:

١- نهاية القضيب (Rod end)، A التي تتأثر بالحمل (P)

٢-الطرف المجوف (Socket end) أو الجلبة (B).

٣-الوتد (Cotter) أو الخابور (C) الذي يربط الجزئين مع بعضهما.



الشكل (6-27)

الشـــكل (a) يظهر ترتيب الأجزاء المختلفة للوصلة و (b) يبين قطاعاً في القضيب مقطوعاً بالمستوى (B-B) مبيناً فيه الفتحة المعدة للخابور، أما الشكل (c)

فيـــبين قطاعاً للطرف المجوف (الجلبة) مقطوعاً بالمستوى (A-A). الشكل (d) يبين إمكانية انهيار الخابور بواسطة القص المضاعف Double shear.

لتحديد الأبعاد والإجهادات في الوصلة نفرض أن :

D_1 (cm) : قطر القضيب.

D_2 (cm): قطر القضيب عند موضعه في الجلبة.

D_3 (cm) : قطر الجلبة الخارجي.

t (cm) : سماكة الوتد أو الخابور .

h (cm) : متوسط عرض الخابور .

L_1 (cm) : المسافة من الخابور حتى نهاية القضيب (A).

L_2 (cm) : المسافة من الخابور حتى نهاية الجلبة (B).

وبفرض أن :

(kg/cm^2) $[\sigma_t]$: إجهاد الأمان للشد لكل من الجلبة والقضيب.

(kg/cm^2) $[\sigma_{cr}]$: إجهاد الأمان للهصر لكل من الخابور والقضيب والجلبة (يؤخذ الحد الأدنى).

(kg/cm^2) $[\tau]$: إجهاد الأمان للقص لكل من الخابور والقضيب والجلبة.

P (kg) : الحمل المؤثر على القضيب والجلبة.

الخطوات التصميمية:

١- إيجاد القطر (D1) : يمكن ذلك بتطبيق العلاقة التالية:

$$P = A.\sigma_t = \frac{\pi.D_1^2}{4}.\sigma_t$$

٢-إيجاد القطر (D2):

إن مساحة القضيب المعرضة للشد عند موضع الخابور يجب أن تساوي إلى $\pi.D_1^2 / 4$، وباعتبار مساحة الخابور $D_2.t$ يمكن إيجاد D_2 من العلاقة:

$$\frac{D_1^2}{4} = \frac{\pi.D_2^2}{4} - D_2.t$$

أو بمســـاواة مقاومة القضيب للشد عند أضعف منطقة فيه مع الحمل المطبق وذلك كالتالي:

$$P = A.\sigma_t = \left(\frac{\pi.D_2^2}{4} - D_2.t\right).\sigma_t$$

عملياً يمكن اعتبار أن : $t = 0.3 \times D_2$

٣-إيجاد قطر الجلبة الخارجي (D_3):

من الشكل (c) نلاحظ أنه يمكن إجهاد D_2 بأخذ الشد عند أضعف قطاع في الجلبة بعين الاعتبار أي :

$$P = A.\sigma_t = \left[\frac{\pi.D_3^2}{4} - \frac{\pi.D_2^2}{4} - t(D_3 - D_2)\right] \times \sigma_t$$

$$= \left[\frac{\pi}{4}(D_3^2 - D_2^2) - 0.3D_2(D_3 - D_2)\right] \times \sigma_t$$

يمكـــن إيجـــاد قيمة D_3 كذلك بالاعتماد على الهصر بين الخابور والجلبة وتكـــون غالـــباً قيمة D_3 في هذه الحالة أكبر من القيمة المحسوبة سابقاً بحالة الشد (تؤخذ القيمة الأكبر دائماً).

٤-إيجاد أبعاد الخابور :

يـــتعرض الخـــابور كما بالشكل (d) إلى قص مضاعف. المساحة المعرضة للقـــص تعـــتمد عـــلى العرض المتوسط للخابور (h) المسلوب قليلاً (مائل) وعلى سماكته (t) أي :

$$P = A.\tau = 2 \times h \times t \times \tau$$

الاختبارات :

١-اختبار المساحة $D_2 \times t$ على الهصر:

يمكن أن ينهار الخابور أو القضيب (A)نتيجة إجهاد الهصر فوق المساحة $D_2 \times t$ المبينة على الشكل (6-27-a) بالحرف (j). يكون التصميم صحيحاً (أي أن قيمة $t,\ D_2$ التي أوجدناها سابقاً) إذا كان إجهاد الهصر المؤثر أقل من الإجهاد السليم للهصر، أما إذا كان الإجهاد المؤثر أكبر فيجب زيادة (t) أو (D_2) (وغالباً تزود قيمة D_2) أي :

$$P = A.\sigma_{cr} = D_2.t.\sigma_{cr}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{P}{D_2 \times t}$$

٢-اختبار الجلبة والخابور على الهصر فوق المساحة $t.(D_3\text{-}D_2)$:

يوجد إجهاد الهصر المؤثر من العلاقة :

$$\sigma_{cr} = \frac{P}{t.(D_3 - D_2)}$$

فإن كان أكبر من إجهاد الأمان للهصر فيجب أن تزود قيمة (D_3).

٣-اختبار إمكانية قص الخابور للقضيب بتأثير الحمل (P) :

ويتم ذلك فوق مساحتين كل منهما تساوي إلى $D_2 \times L$ أي :

$$P = A.\tau = 2.D_2.L_1.\tau$$

من هذه العلاقة يمكن إيجاد (L_1) كذلك باعتبارها معادلة تصميمية.

٤- اختبار إمكانية قص الخابور للجلبة:

ويتم ذلك فوق مساحتين كل منهما تساوي إلى $L_2.\ (D_3 - D_2)$ أي:

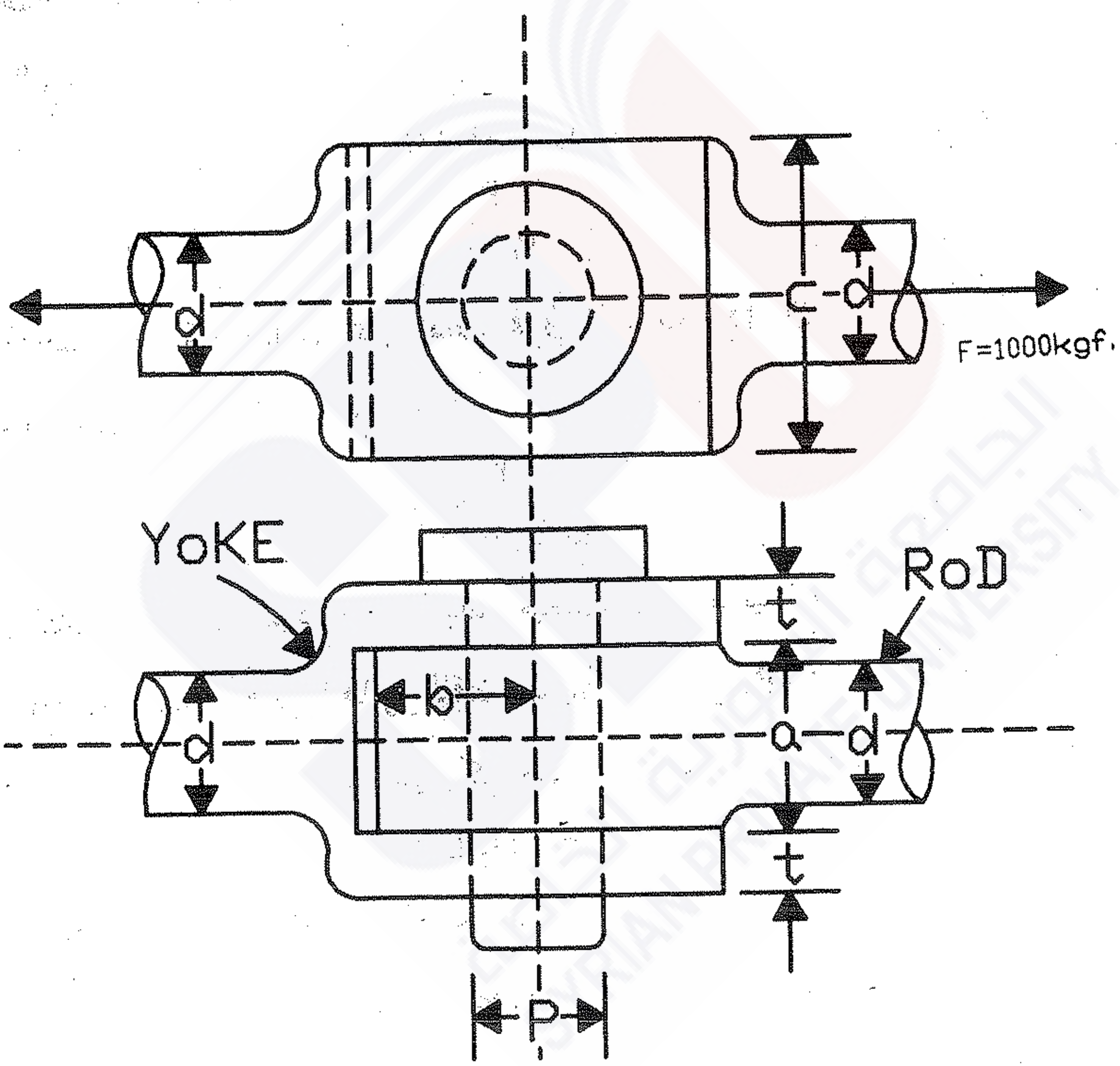
$$P = A.\tau = 2.L_2.(D_3 - D_2).\tau$$

من هذه العلاقة يمكن إيجاد (L_2) كذلك باعتبارها معادلة تصميمية .

مثال محلول:

صمم وصلة مفصلية بعامل أمان مقداره (6) لتقاوم حمل قدره ($1000kg_f$) في اتجاه واحد. الوصلة مصنوعة من مادة حيث $\sigma_{uc} = \sigma_{ut} = 4800 kg/cm^2$ ، $\tau_{us} = 3600 kg/cm^2$.

الحل:



الشكل (a)

$$\sigma_t = \sigma_c = \frac{4800}{6} = 800 \quad kg/cm^2$$

$$\tau = \frac{3600}{6} = 600 \quad kg/cm^2$$

نقوم بحساب قطر القضيب أولاً والذي يتعرض إلى حمل شد:

$$F = \sigma_t \times \frac{\pi}{4} d^2 \rightarrow 1000 = 800 \times \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$d=1.26\ cm$$

نأخذ قيمة نظامية Standard وهي d=1.4 cm

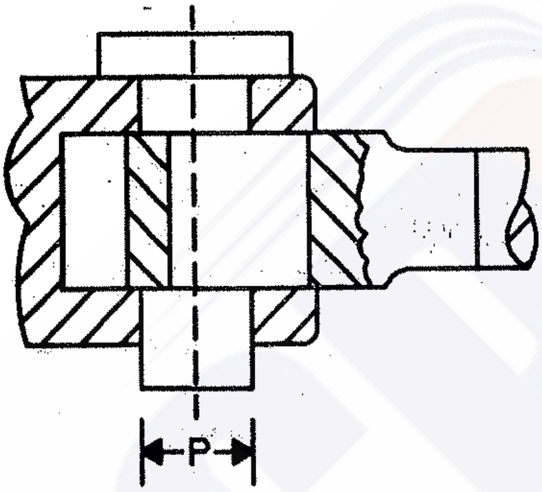
تصنع نهاية القضيب بشكل مستطيل ومثقوب ليدخل به المسمار. ومن الواضح أن الأبعاد ستكون أكبر من (d).

إن الأشـــكال المخـــتلفة لإنهيار المسمار وبالنهاية المستطيلة للقضيب هي:

١-قص المسمار المضاعف كما بالشكل (b)

وتكون مساحة القص $2 \times \frac{\pi}{4} P^2$

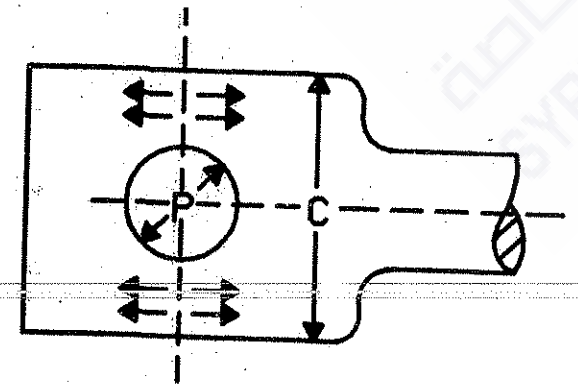
$$F = \tau \frac{2\pi}{4} \rho^2$$



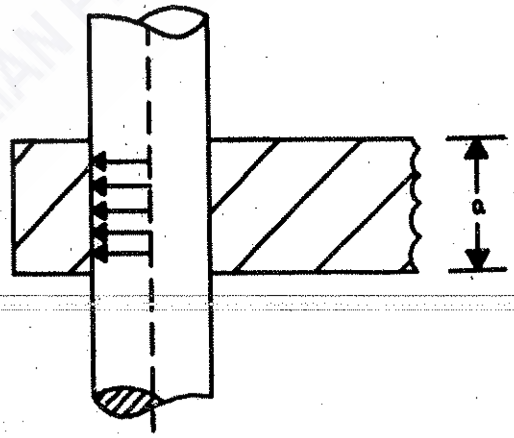
الشكل (b)

٢-انهـــيار المسمار ناتج عن الضغط بين المسمار والقضيب كما بالشكل (c)

$$F = \sigma_c \times \rho \times a$$



الشكل (d)



الشكل (c)

٣- انهيار القطعة المستطيلة بنهاية القضيب على الشد كما بالشكل (d)

حيث :

$$F = \sigma_b (c - \rho) a,$$

من الممكن أن إجهاد الانضغاط بين المسمار والشوكة يمكن أن يتزايد كثيراً.

$$F = \sigma_c (c - \rho) a.$$

من مقارنة هذه المعادلة مع $F = \sigma_c . \rho c$ نجد أن (t) يمكن أن نأخذها مساوية a/2

$$F = \tau \frac{2\pi}{4} \rho^2$$

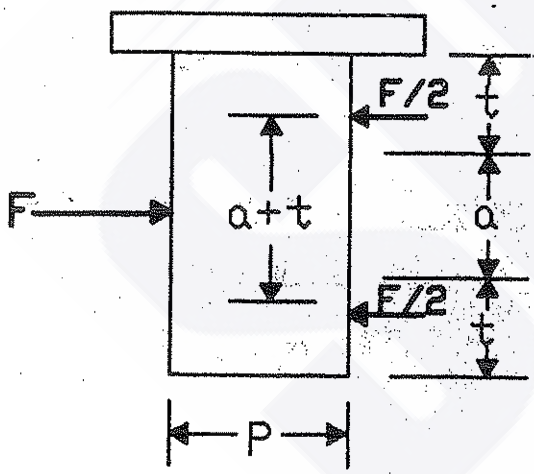
$$1000 = 600 \times \frac{2\pi}{4} \rho^2 \rightarrow \rho = \sqrt{\frac{10}{3\pi}} \quad cm$$

يجب ملاحظة أن إمكانية انهيار المسمار ليس بسبب القص المضاعف بل كذلك بسبب تعرضه للانحناء. نفرض أن القوى F/2، F، F/2 تعمل كما بالشكل (e)

يكون عزم الانحناء:

$$M_b = \frac{F(a+t)}{4} = \sigma_b \frac{\pi \rho^3}{32}$$

$$\rho = \sqrt[3]{\frac{8(a+t)F}{\pi \times \sigma_b}}$$



الشكل (e)

هناك شكل آخر لانهيار المسمار (الذي يجب أن يختبر) وهو انقطاع نهاية القضيب أو الشوكة. في حالة القضيب فسيكون هناك قص على طول b و a وذلك بعمق a على كلا جانبي المسمار

$$F = \tau (2.a.b)$$

وعند قص الشوكة بواسطة المسمار يكون:

$$F = \tau \times 2(2tb)$$

يجب أن يصمم المسمار ليكون مقاوماً للضغط والانحناء أو الاثنين معاً.

$$F = \sigma_c \rho a$$

$$F = \frac{\sigma_t \pi \rho^3}{8(a+t)}$$

$$\sigma_c \rho . a = \frac{\sigma_t \pi \rho^3}{8(a+t)}$$

وبما أن $(t = \frac{a}{2})$ و $(\sigma_c = \sigma_t)$ يكون:

$$\rho a = \frac{\pi \rho^3}{8 \times 1.5a} \rightarrow 12a^2 = \pi \rho^2$$

$$\rho = \sqrt{\frac{12}{\pi}} a = 1.96a$$

وبتعويض ρ بقيمتها يكون : $F = \sigma_c . \rho . a = \sigma_c \times 1.96a^2$

أو : $a = \sqrt{\frac{1000}{800 \times 1.96}} = 0.8cm$

يجب أن لا يزداد إجهاد الضغط المسموح به عن $800 kg/cm^2$ لتجنب اهتراء السطوح. عندما تكون الحركة قليلة، الحرارة المتولدة من الاحتكاك لا تولد مصاعب. فيمكن أخذ الإجهاد المسموح به حوالي $200\ kg/cm^2$.

إذن :

$$200 \times \rho \times a = \frac{800 \pi a^3}{12a}$$

$$\rho = 1.13a$$

إذن :

$$F = \sigma_c . \rho a$$

$$1000 = 200 \times 1.13a \times a$$

$$a = 2.1\ \ cm$$

وحيث أن $\rho = \sqrt[3]{\frac{8(a+t)F}{\sigma_t . \pi}}$ وبالتعويض يكون:

$$\rho = \sqrt[3]{\frac{8\times 1.5\times 2.1\times 1000}{800\times \pi}} = 2.15 \approx 2.2 \ \text{cm.}$$

يمكن إيجاد البعد C من العلاقة $F = \sigma_t (c-\rho)a$

$$C = \frac{F}{\sigma_t \times a} + \rho = \frac{1000}{800\times 2.1} + 2.2$$

$$C = 0.595 + 2.2 = 2.785 \approx 3 \ \text{cm}$$

أما البعد b فيمكن أخذه مساوياً إلى $\frac{C}{2}$ أي :

$$B = 1.5 \ \text{cm}$$

تنبيه :

ننصح الطالب بالعودة إلى الفصل الثالث عشر من هذا الكتاب حيث المسائل المحلولة وغير المحلولة لمواضيع هذا الفصل.