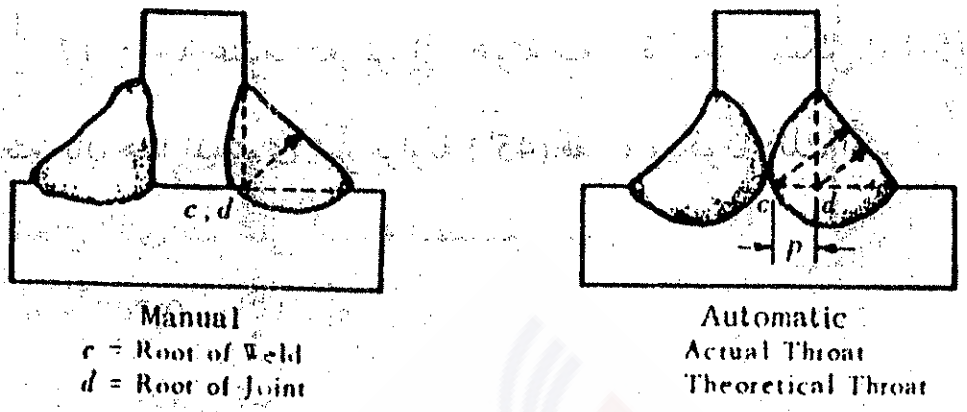


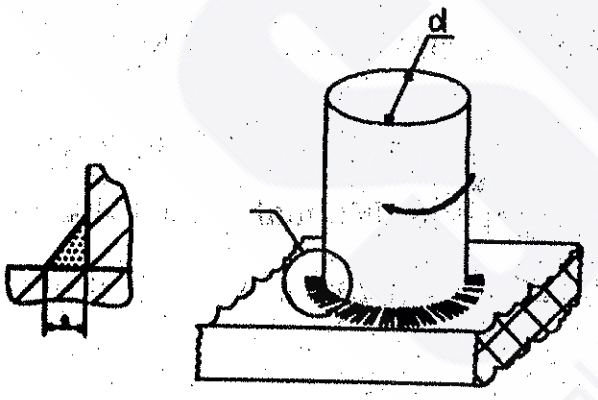
(a) (b)

الشكل (5-14)

وصلة لحام قضيب معرض لعزم دوراني:

يبين الشكل (5-15) قضيباً قطره (d) ملحوماً عند نهايته ومعرضاً لعزم دوراني مقداره (M_t).

إن عزم الدوران الذي يستطيع لحام طول الوحدة أن يحمله هو:



$$\Delta M_t = 1 \times 0.707.a.[\tau].\frac{d}{2} \qquad (9\text{-}5)$$

$$M_t = \pi.d.\Delta M_t = \frac{0.707}{2}.\pi.d^2.a.[\tau]$$

$$a = \frac{2M_t}{0.707.\pi.d^2.[\tau]} \qquad (10\text{-}5)$$

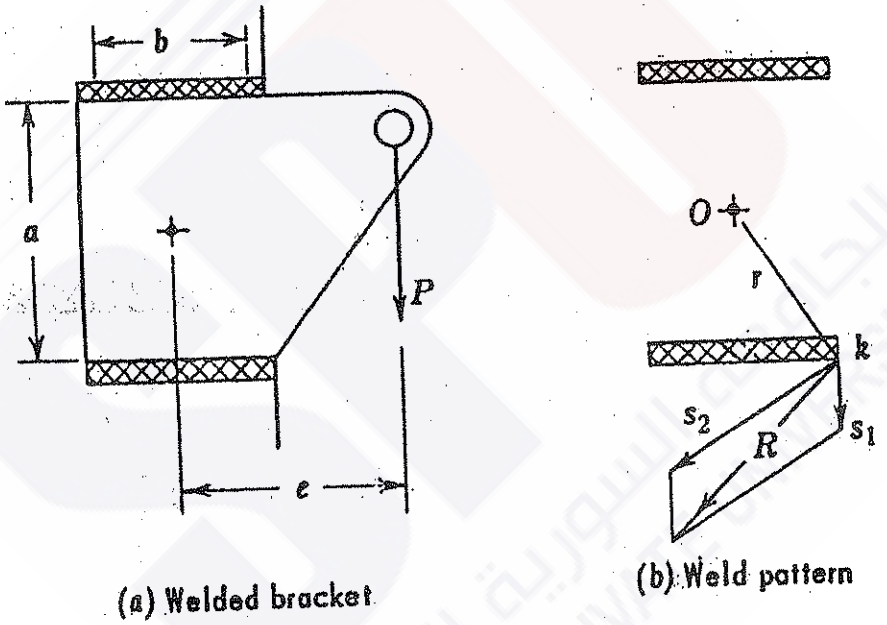
الشكل (5-15)

٤- وصلات اللحام ذات الحمولة اللامركزية: Eccentrically loaded

يبين الشكل (5-16) وصلة من هذا النوع. لتصميم مثل هذه الوصلة نحدد موقع مركز ثقل اللحام، ونطبق عند هذا المركز قوتين تساوي كل منهما الحمل الخارجي (P) ومتعاكستين.

تسبب إحدى هاتين القوتين إجهادات قص على اللحامات تدعى بإجهادات القص الابتدائية Primary shear stresses، أما القوة الأخرى(P) مع الحمولة الخارجية المطبقة التي تؤثر على مسافة لا مركزية مقدارها (e) فإنها تحدث عزم دوران يؤثر على اللحامات ويحدث إجهادات قص إضافية تدعى إجهادات القص الثانوية Secondary shear stresses.

إن تحليل الأحمال الواقعة على هذه الوصلة مماثل لتحليل الأحمال اللامركزية الذي رأيناه عند دراسة الوصلات المبرشمة.



(a) Welded bracket (b) Weld pattern

الشكل (16-5)

إذا فرضنا أن الألواح مثبتة نسبياً وأن التشوه يحدث عند اللحامات فقط، فإن إجهاد القص الثانوي عند أي جزء من أجزاء اللحامات يتناسب مع بعد ذلك الجزء عن مركز الدوران. هذا معناه أن أكبر مقدار لإجهاد القص الثانوي يحدث عند نهايات اللحام. يمكن تعيين إجهاد القص الأعظمي المؤثر وذلك بجمع كل من

إجهاد القص الابتدائي وإجهاد القص الثانوي شعاعياً كما بالشكل (5-16-b).

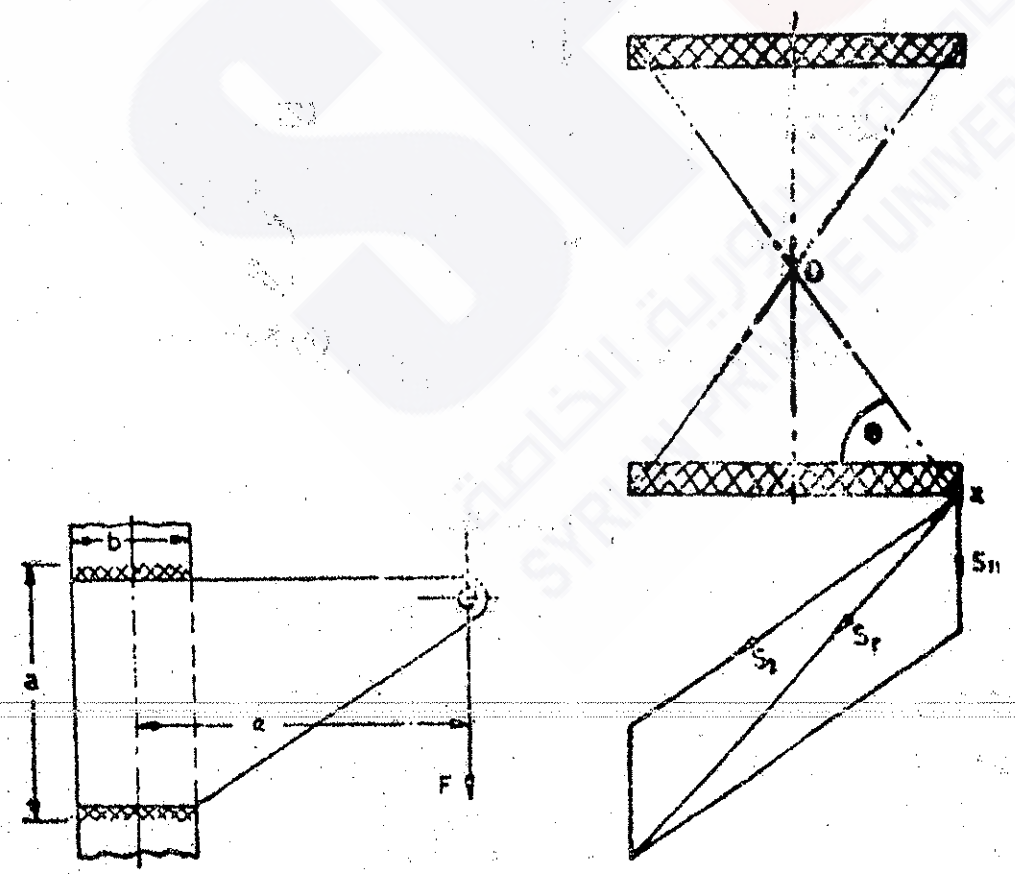
في الحقيقة يمكن تحديد جزء اللحام بالنظر وبسرعة الذي يتعرض لإجهاد القص الأعظمي ونلاحظ أن هذا الإجهاد يحدث عند النقطة (K) الجدول المبين بالشكل (5-17) يعطي عزوم العطالة القطبية لأنواع مختلفة من أشكال اللحام.

مثال محلول :

الشكل يبين وصلة ذات حمولة لا مركزية حيث إن الحمل المؤثر يساوي (P=750kg) وأن:

b = 5 cm, a = 7.5 cm, e=12.5 cm

إن الطول (b) أقل بمقدار (1.25cm) من طول اللحام وذلك لإعطاء المجال للبدء والانتهاء من عملية لحام الدرزة . والمطلوب إيجاد بعد اللحام اللازم إذا كان التحميل ساكناً؟



الحـــــل :

إن عزم العطالة القطبي يساوي إلى :

$$I_p = \frac{bt(3a^2 + b^2)}{6} = \frac{5t(3\times 7.5^2 + 5^2)}{6}$$

$$I_p = 161.5 \times t$$

$$r = \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2} = \frac{1}{2}\sqrt{7.5^2 + 5^2} = 4.5cm$$

إن إجهاد القص الابتدائي يساوي إلى :

$$\tau_1 = \frac{P}{2bt} = \frac{750}{2\times 5t} = \frac{750}{10t} = \frac{75}{t}$$

وكذلك :

$$\tau_2 = \frac{M_t.r}{I_p} = \frac{750\times 12.5\times 4.5}{161.5t} = \frac{261}{t}$$

وهـــو إجهـــاد القص الثانوي وهو إجهاد القص الابتدائي مواز دائماً لـــ (P)، في حـــين أن إجهاد القص الثانوي الأعظمي عند الأطراف يكون متعامداً على نصف القطـــر (r) المـــتجه نحو مركز الالتواء. ويمكن أن نحصل على محصلة الإجهاد (r) تحليلياً أو هندسياً فنجد أنها تساوي $(\frac{310}{t})$.

إن إجهاد القص الناتج يؤثر على طول ساق اللحام في هذه الحالة. ولكن بمـــا أن حلـــق اللحام أقصر من طول الساق فإننا ومن أجل عامل أمان أكبر نختار مســـاحة حلق اللحام حتى ولو لم يكن إجهاد القص واقعاً في مستوى الحلق. وإذا قمنا بذلك فإننا نستخدم (0.707t) بدلاً من (t) ويكون الإجهاد الأعظمي السابق يساوي إلى :

$$\frac{310}{0.707t} = \frac{440}{t}$$

وإذا كان الإجهاد المسموح به يساو إلى : $1190\ kg/cm^2$

فإن قياس أو بعد اللحام مساو إلى :

$$t = \frac{440}{1190} = 0.37cm$$

٥- الإجهادات المسموح بها في اللحام:

وجدنا سابقاً الإجهادات التي يتعرض لها اللحام بسبب الحمولات المطبقة، ولمعـــرفة الإجهادات المسموح بها في مادة اللحام فإننا ننسب هذه الإجهادات إلى الإجهادات المسموح بها في مادة الألواح التي ترتبط ببعضها باللحام.

نستخدم لذلك المعادلات التالية:

١- للحمولات الساكنة: Static load:

$$[\sigma_I] = V.V_2.[\sigma] \qquad (11\text{-}5)$$

٢-للحمولات الديناميكية: Dynamic load:

$$[\sigma_{II}] = V_1.V_2.[\sigma_a] = V.V_2.\frac{\sigma_A}{f.S} \qquad (12\text{-}5)$$

حيث:

$[\sigma_I]$: الإجهـــاد المســـموح به في مادة اللحام في الحمولة الساكنة (شد، ضغط، قص).

$[\sigma_{II}]$: الإجهـــاد المسموح به في مادة اللحام في الحمولة الديناميكية (شد، ضغط، قص).

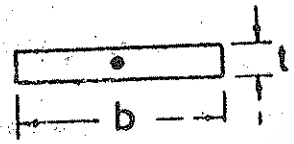
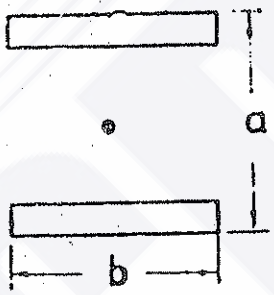
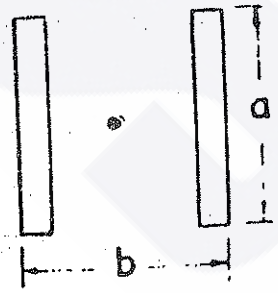
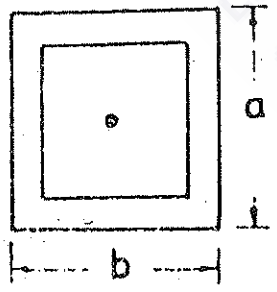
$[\sigma]$: إجهاد الشد المسموح به في مادة الألواح في الحمولة الساكنة.

$[\sigma_a]$: الإجهاد المسموح به في مادة الألواح في الحمولة الديناميكية.

σ_A: حد الاحتمال في الحمولات الديناميكية لمادة الألواح تساوي إلى:

للفولاذ رقم (St 37) . $\sigma_A = 1100\ kg/cm^2$

/الشكل/ الجدول رقم (17-5)

شكل اللحام	عزم العطالة القطبي(التقريبي)
	$\frac{tb^3}{12}$
	$\frac{ta^3}{12}$
	$\frac{bt(3a^2+b^2)}{6}$
	$\frac{at(a^2+3b^2)}{6}$
	$\frac{t(a+b)^3}{6}$

f.S: عامل الأمان ويتراوح بحدود (3-2).

V: عامل الحمولة الساكنة المسموح بها ويعطى بالجدول المبين بالشكل (18-5).

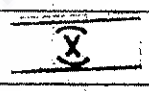
V_1 : عامل الحمولة الديناميكية المسموح بها ويعطى بالجداول المبينة بالأشكال (19-5) ، (20-5) ، (21-5) ، (22-5) ، (23-5).

V_2 : عامل يعتمد على جودة صنع اللحام ويؤخذ كالتالي:

- من أجل اللحام العادي: $V_2 = 0.5$
- من أجل اللحام الجيد: $V_2 = 1$

نوع اللحام	نوع التحميل	V
تناكبي Butt	شد	0.75
	ضغط	0.85
	انحناء	0.80
	قص	0.65
زاوي Fillet	جميع أنواع الإجهادات	0.65

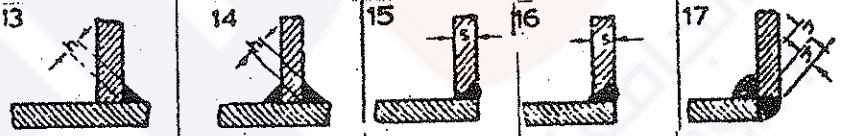
/الشكل/ الجدول (18-5) قيمة العامل (V)

الرقم		1	2	3	4	5
رمز اللحام						
صورة اللحام "مقطع"						
شد-ضغط	1	0.5	0.7	0.92	0.7	0.8
انعطاف	1.2	0.5	0.84	1.1	0.84	0.98
قص	0.8	0.42	0.56	0.73	0.56	0.65

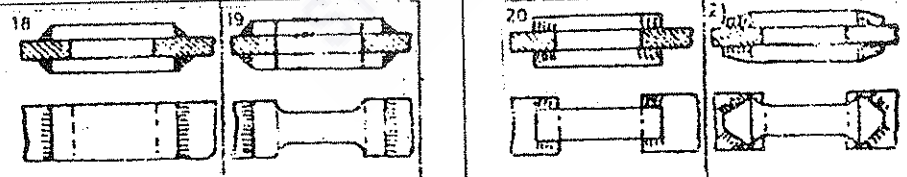
الشكل/ الجدول (19-5): قيمة (V_1) في اللحام التناكبي

الرقم	6	7	8	9	10	11	12
رمز اللحام							
سماكة اللحام	2h	2h	2h	h	S	S	S
صورة اللحام "مقطع"							
شد–ضغط	0.32	0.35	0.41	0.22	0.63	0.56	0.7
انعطاف	0.69	0.7	0.87	0.11	0.8	0.8	0.84
قص	0.32	0.35	0.41	0.22	0.5	0.45	0.56

الشكل/ الجدول (5-20): قيمة (V_1) في وصلات اللحام.

رمز اللحام					
سماكة اللحام	h	2h	e	S	2h
صورة اللحام "مقطع"					
شد–ضغط	0.22	0.3	0.45	0.6	0.35
انعطاف	0.11	0.6	0.55	0.75	0.7
قص	0.22	0.3	0.37	0.5	0.35

الشكل/ الجدول (5-21): :قيمة (V_1) في لحام الألواح التي تشكل زوايا.

سماكة اللحام	2h	2h	2h	2h
صورة اللحام				
شد–ضغط	0.22	0.25	0.25	0.48

الشكل/ الجدول (5-22): قيمة (V1) في الوصلات ذات الشريحة.

Iv	III	II	I	
4700	4400	4100	3600	$\leq \sigma_u$
1106	1035	965	847	$[\sigma]=\frac{\sigma_u}{4.25}$

الشكل/ الجدول (23-5)

حساب وصلات اللحام في المراجل :

تصـــنع وصلات لحام المراجل الطولانية والمحيطية على شكل وصلات لحام تناكبية Butt Welds، والمعادلة التالية تعطي سمك ألواح الفولاذ اللازمة للمرجل.

$$t=\frac{d.P}{2V[\sigma]}+0.1cm \qquad (13\text{-}5)$$

حيث: t: سمك ألواح الفولاذ (cm).

d: القطر الداخلي للمرجل (cm).

P: الضغط الداخلي (kg/cm^2).

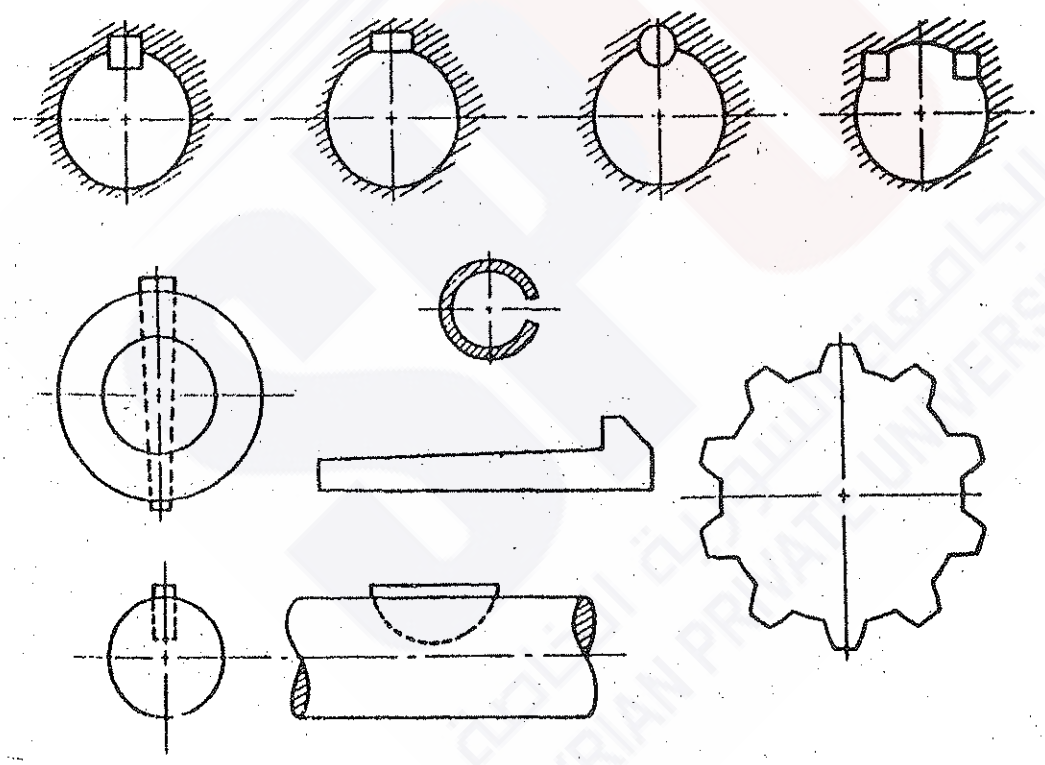
V=0.7: لعمليات اللحام العادية.

[σ]:الإجهاد المسموح به في ألواح الفولاذ وفق الجدول المبين بالشكل رقم (23-5)

الفصل السادس

الخوابير والوصلات

Keys and Joints



١- الخوابير Keys :

تستخدم الخوابير لنقل عزوم الدوران، فهي وسيلة الاتصال بين أعمدة الحركة والقطع المركبة عليها (الناقلة للحركة) كالمسننات والأقراص والبكرات. وهي عبارة عن مثبتات فولاذية تحشر بين جزئي الآلة لتمنع أي حركة نسبية أو دورانية بينهما حيث يعمل الجزآن سوية كوحدة واحدة. كما يمنع الخابور أي حركة محورية Axial motion كما في حالة تثبيت مسنن في عمود الإدارة.

ميزات الخوابير:

١-بساطة تركيبها.

٢-كفاءتها العالية.

٣- سهولة تركيبها وفكها.

٤- رخص أثمانها.

مساوئ الخوابير:

١-الحاجة إلى مجرى للخابور Keyway للتثبيت وهذا يقلل من مساحة المقطع الفعالة وبالتالي العزم المنقول.

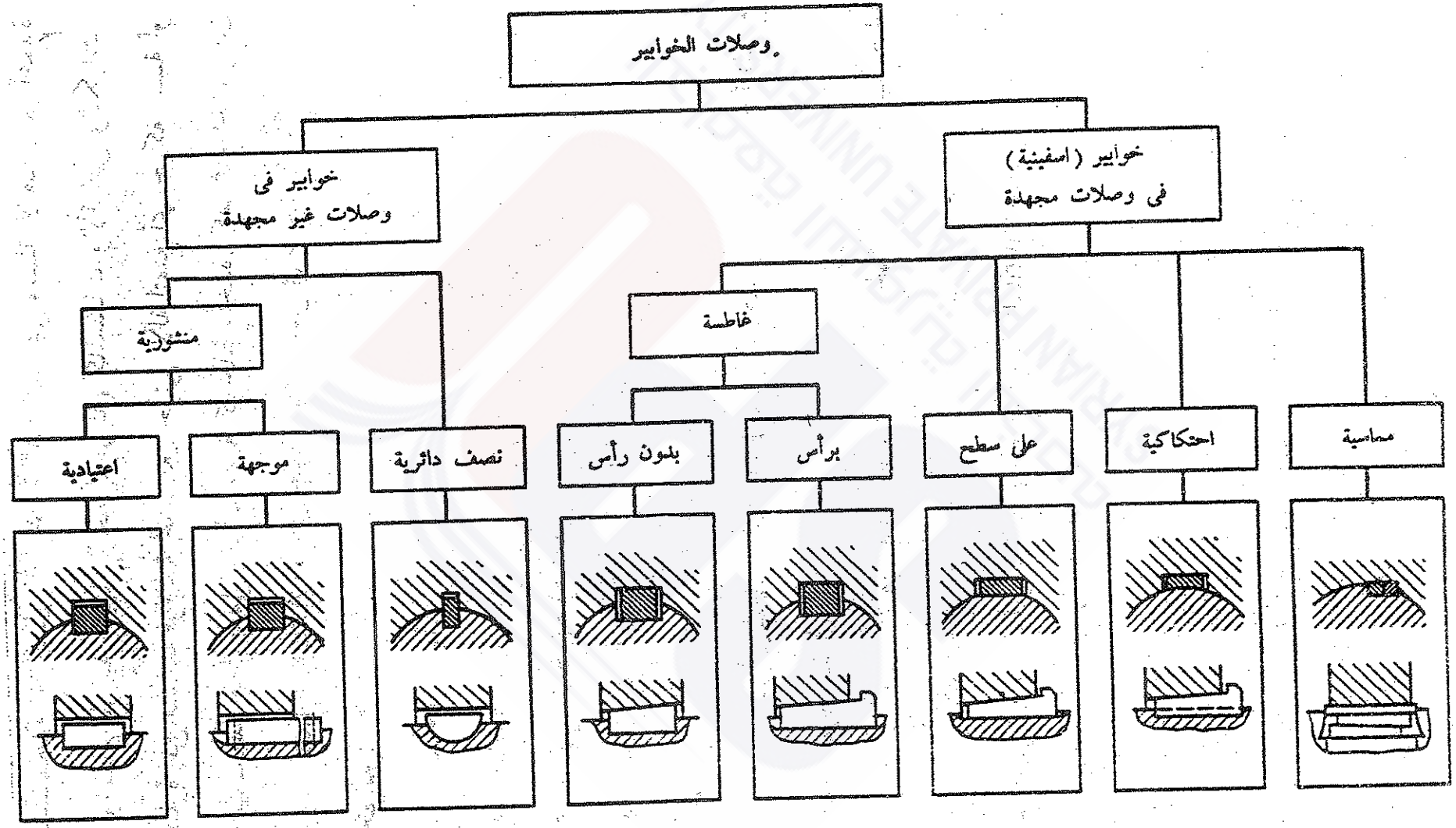
٢-وجود تركز شديد في الإجهادات العالية عند مجاري الخوابير وهذا يسبب أحياناً كثيرة انهيارات في الأعمدة.

٣-صعوبة تأمين التوافق الدقيق لمراكز القطع المربوطة Concentricity.

٤- عدم مقدرة الخابور الواحد نقل عزوم دوران كبيرة.

تصنيف الخوابير والمسامير :

يمكن أن تقسم الخوابير إلى قسمين رئيسيين (مجهدة وغير مجهدة) بالإضافة إلى بعض الأنواع الأخرى الهامة، والشكل رقم (1-6) يوضح بشكل عام هذه الأنواع الرئيسية.


وصلات الخوابير
خوابير (اسفينية)
في وصلات مجهدة
خوابير في
وصلات غير مجهدة
مماسية
احتكاكية
على سطح
برأس
بدون رأس
غاطسة
نصف دائرية
موجهة
اعتيادية
منشورية

الشكل (1-6)

أولاً – الخوابير غير المجهدة (غير المحصورة) Unstrained keys :

وتتضمن الأنواع التالية:

١-خابور القرص- وودروف Woodruff وتكون نصف دائرية.

٢- خوابير الريشة Feather keys ولها نوعان:

أ-الخابور المتوازي ذو الموضع الثابت (العادي Ordinary) .

ب-الخابور المتوازي المترلق (خوابير الانزلاق)- الموجهة Guide.

٣-أعمدة الحركة المخددة Splined shaft.

٤-الأعمدة ذات المجاري المسننة.

في جميع هذه الأنواع تكون سطوح الخوابير وكذلك سطوح مجاريها متوازية، لذا فهي غير ذات إجهاد مسبق.

ثانياً– الخوابير المجهدة (المحصورة) Strained keys :

وتتضمن الأنواع التالية:

١-الخوابير الغاطسة Sunk keys: وهي أكثر أنواع الخوابير المائلة شيوعاً حيث أنها عند زيادة التحميل تستند أيضاً على السطوح الجانبية الضيقة، وتشمل الأنواع التالية:

أ-خابور القرص-وود روف Woodruff.

ب-الخابور المربع ذو الموضع الثابت ودون رأس.

Square keys without gib-head.

جـ- الخابور المائل ذو الرأس With gib-head.

٢-خوابير السرج Saddle keys.

٣-الخوابير المماسية Tangential keys.

٤- الخابور المسطح (ذو المقعد المستوي) Key on flat.

تخضـــع الخوابـــير بصورة عامة لمواصفات نظامية تحدد قياساتها وقياسات مجاريها وينحصر التصميم في تدقيق حساب الإجهادات.

ثالثاً– أنواع أخرى من الخوابير أو وسائل الربط وتتضمن:

١–الخوابير المستديرة والمسامير Round keys and pins.

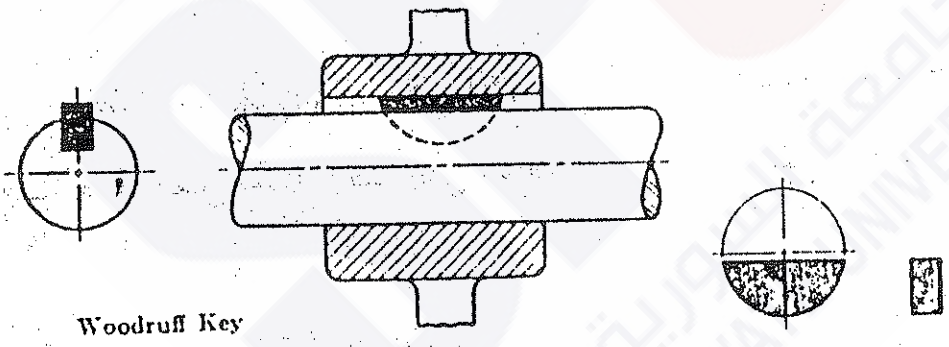
٢–الوصلات المفصلية Knuckle joints.

٣–الوصلات الوتدية Cotter joints.

أولاً– الخوابير غير المجهدة:

١–خوابير وود روف Woodruff keys :

يكون شكل هذا الخابور نصف دائري كما بالشكل (2-6) وذلك ليناسب مقعده المطابق في العمود، وليسمح له هذا الشكل بالدوران في مكانه قليلاً ليرتكز ذاتياً في مكانه المناسب في العمود والجزعة على السواء.



الشكل (2-6).

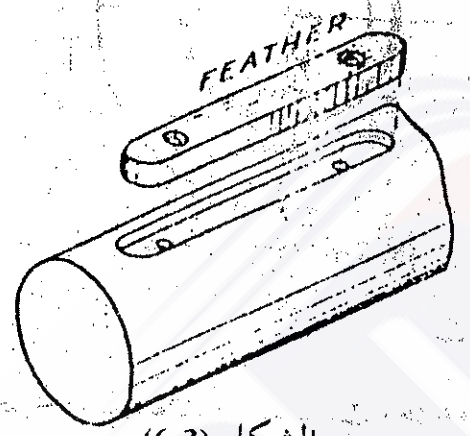
تعمـــل هذه الخوابير بواسطة أحرفها الجانبية ومن مساوئها أنها تركب في مجـــاري عميقة مما يقلل ويضعف متانة العمود وخاصة إذا استعملنا خابوراً واحداً لـــنقل اســـتطاعة كبيرة. يتوقف عدد الخوابير المستعملة بصورة عامة على مقدار الاستطاعة المنقولة.

والجدول رقم (10) يعطينا كافة القياسات النظامية للخابور ولمجراه.

٢ـ خوابير الريشة Feather keys:

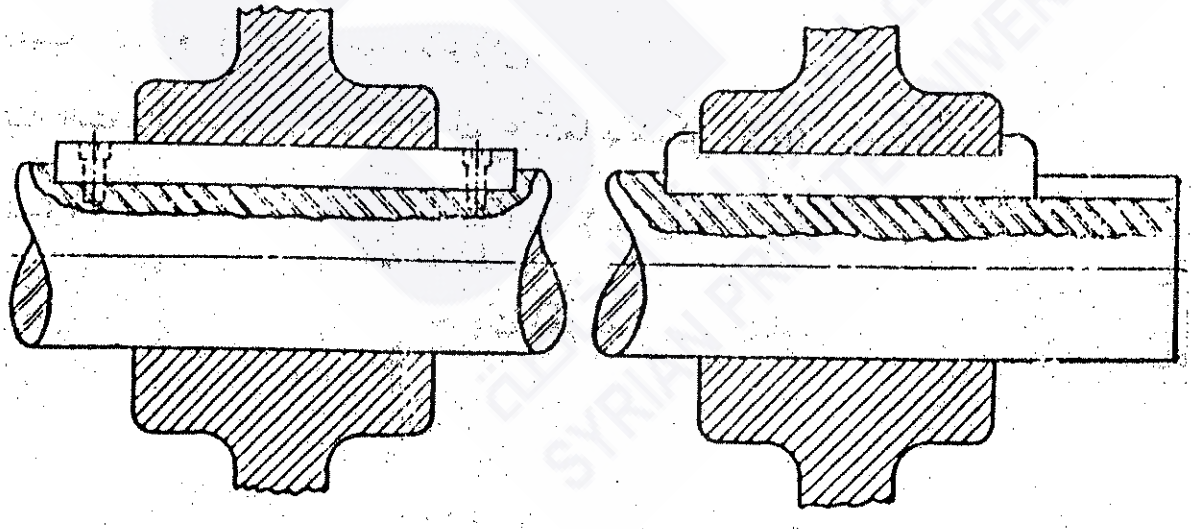
تستخدم هذه الخوابير لتثبيت الطارات أو المسننات التي من الضروري إنزلاقها محورياً أي على طول العمود كما بالشكل (3-6) ويكون الخابور محكماً في العمود بينما يترك الخلوص Clearance بين الخابور ومجرى الجزعة.

من المرغوب فيه أن تكون القوة المحورية أصغر ما يمكن عندما تتحرك الطارة أو المسنن محورياً عند نقلها للاستطاعة، وقد يكون الخابور مستطيلاً نسبياً ليعطي حركة محورية محدودة.



الشكل (3-6)

قد يثبت الخابور بمسمارين اسطوانيين أو أكثر كما بالشكل (3-6) أو يثبت بجزعة العجلة بحيث يتحرك طولياً مع الجزعة على طول مجرى الخابور الذي في العمود كما بالشكل (4-6).

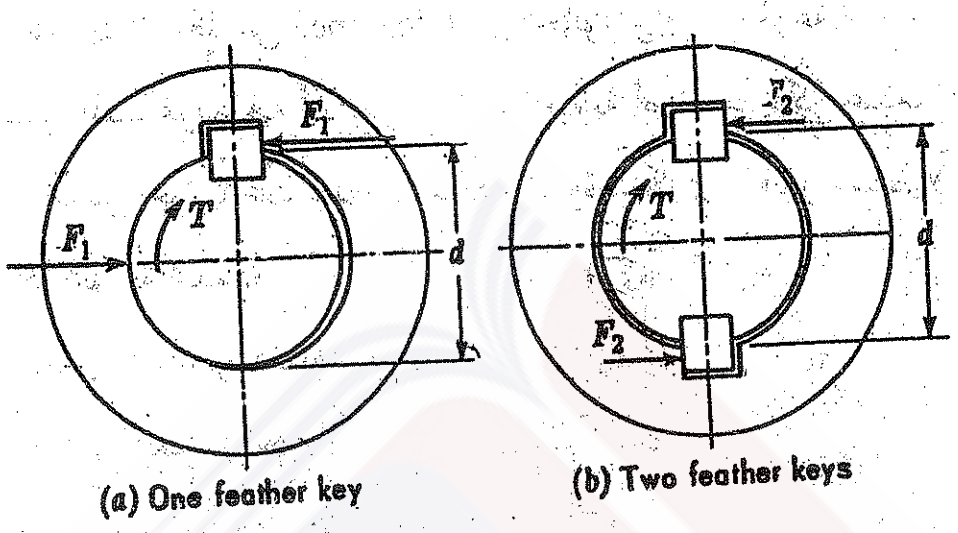


الشكل (4-6)

تكون القوة المحورية أصغر عند استخدام خابورين موزعين على مسافة متساوية. في الشكل (5-6) نرى أن هناك خلوصاً بين العمود والجزعة، وخلوصاً

بـــين الخابور والجزعة، ونلاحظ أن العزم المنقول (M_t) بواسطة العمود الذي قطره (d) يمكن إعطاؤه بالعلاقة التقريبية التالية:

$$M_t = F_1 \cdot \frac{d}{2} \quad , \quad F_1 = \frac{2.M_t}{d} \qquad (1\text{-}6)$$



الشكل (5-6).

فالقوة المحورية المطلوبة لتحريك الجزعة محورياً يساوي:

$$P_1 = 2f.F_1 = \frac{4f.M_t}{d} \qquad (2\text{-}6)$$

حيث : f: معامل الاحتكاك الانزلاقي.

عند استعمال خابورين من هذا النوع كما بالشكل (5-6) نلاحظ أنه:

$$M_t = F_2.d \rightarrow F_2 = \frac{M_t}{d} \qquad (3\text{-}6)$$

وتكون القوة المحورية اللازمة لتحريك الجزعة محورياً تساوي إلى :

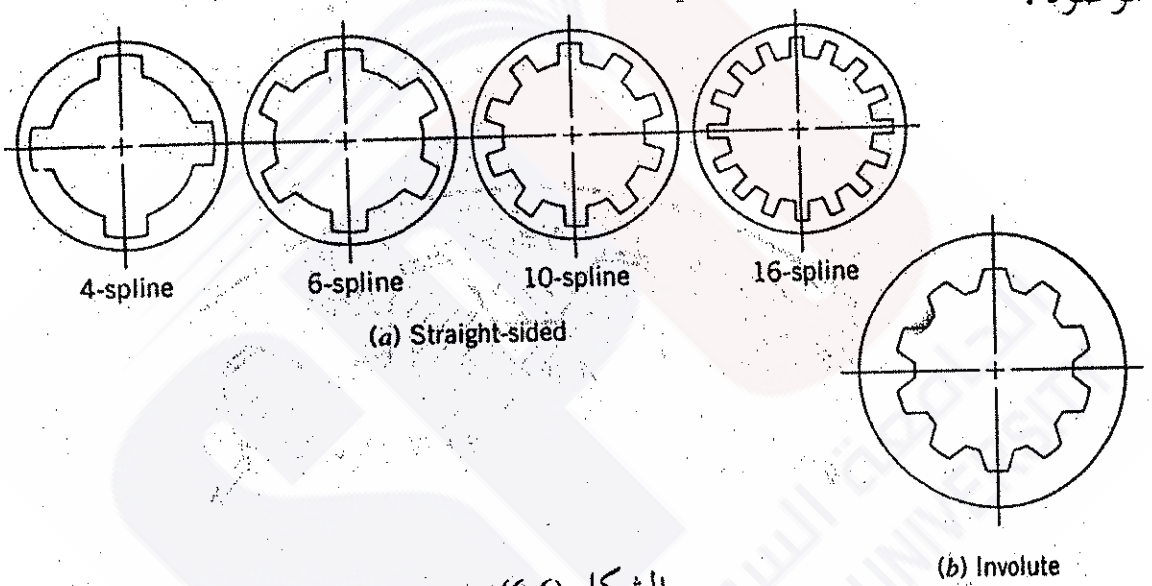
$$P_2 = 2f.F_2 = \frac{2f.M_t}{d} \qquad (4\text{-}6)$$

وبمقارنة العلاقتين (2-6) و (4-6) نرى أن $P_2 = \frac{P_1}{2}$ أي أن القوة المحورية اللازمـــة لتحريك الجزعة عند استعمال خابورين تساوي إلى نصف القوة اللازمة لتحريك الخابور الواحد محورياً.

٣- أعمدة الحركة المخددة Splined shafts :

لقـــد أدت الظروف المعقدة للحمولات وكذلك متطلبات الدقة في حركة القطع إلى ظهور الوصلات المخددة، كما بالشكل (6-6).

تمتاز أعمدة الحركة المخددة عن الأعمدة ذات مجاري الخوابير في أنها أكثر مقاومـــة ضـــد حمولات الصدم والحمولات المتغيرة، كما أن الخدد Splines ذات مســـاحة اتصـــال أكبر وتنقل حمولات كبيرة كما أنها تضمن تمركزاً أفضل للقطع الموصولة.



الشكل (6-6).

من مساوئ الأعمدة المخددة حاجتها إلى وسائل صنع خاصة لا تتوفر في كـــل مكـــان، كما أن هناك عدم انتظام في توزيع الحمولة بين الخدد. يضاف إلى ذلـــك ظهـــور إجهادات مركزة في زوايا المجاري (خاصة للأخاديد المربعة) ورغم ذلك فهي أقل من الإجهادات المركزة في حالة مجاري الخوابير.

إن العزم النظري الممكن نقله يساوي إلى:

$$M = p \cdot n \cdot r_m \cdot h \cdot L \qquad (5\text{-}6)$$

حيث :

p : ضغط الأخاديد يساوي عادة بحدود $70\ kg/cm^2$.

n : عدد الأخاديد.

$r_m = \frac{D+d}{4}$: نصف القطر الوسطي.

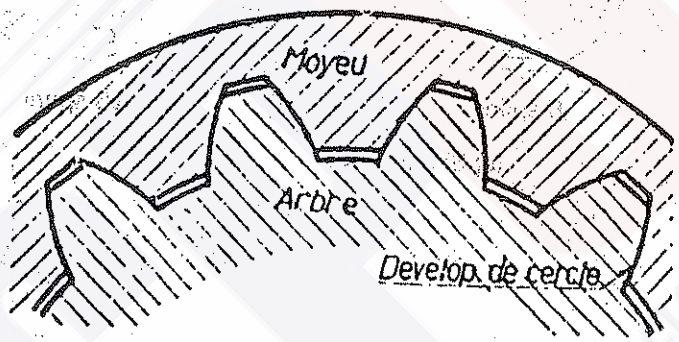
h : عمق الخدة.

L : طول التلامس للخدة.

والجدول رقم (11) يبين الأبعاد الرئيسية للعمود المخدد ذي الستة أخاديد وجزعته وهو الأكثر استعمالاً استناداً إلى المقياس الاسمي للقطر.

٤- الأعمدة ذات المجاري المسننة :

وتمتاز بالتمركز الجيد كما في الشكل (7-6) .



الشكل (7-6).

ثانياً : الخوابير المجهدة:

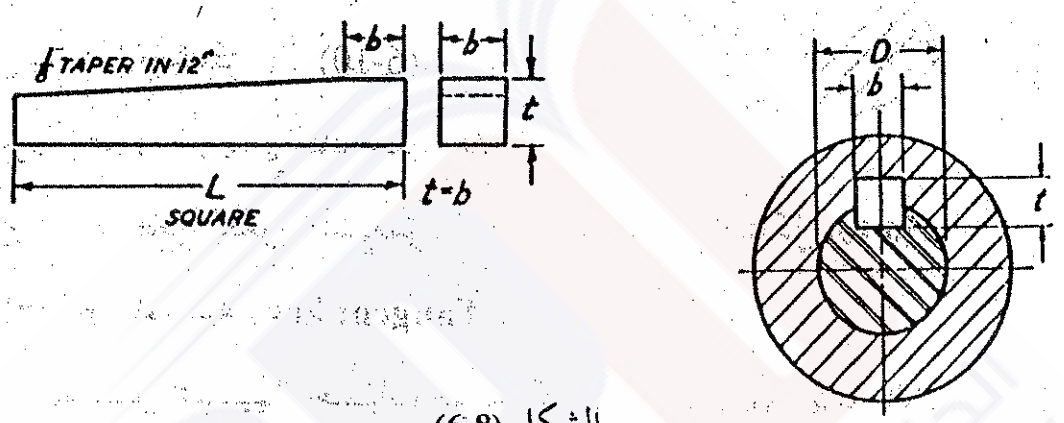
١- الخوابير الغاطسة:

أ- الخابور المربع (بدون رأس) Square keys:

وهـــي الخوابـــير الشائعة الاستعمال كثيراً كما بالشكل (8-6) وقد يكون سمك الخابور أقل من عرضه فيدعى بالخابور المسطح أو المستطيل.

يجـــب أن يكـــون عرض الخابور مساوياً لعرض المجرى في العمود لكي لا يخـــرج مـــن مكانه تدريجياً أثناء الاهتزاز. يكون غالباً الطرف العلوي من الخابور

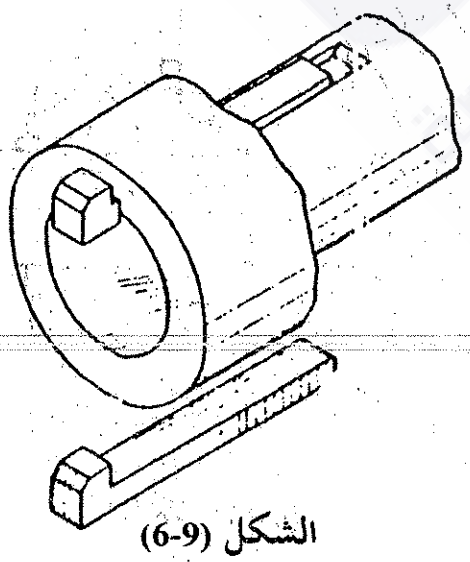
مسلوباً بمقدار (1/100) وذلك لسهولة إدخاله وإخراجه. ويجب أن يكون مجرى الخابور داخل الجزعة نفس الميل أيضاً، ولكن مجرى الخابور داخل العمود يكون مستوياً دون ميل. إن الفائدة التي نحصل عليها من الميلان كذلك هي أن الخابور يهيئ لنا ضغطاً عالياً بين العمود والجزعة التي تنتج قوة احتكاكية كبيرة مفيدة في نقل الاستطاعة.



الشكل (6-8)

والجدول رقم (12) يعطينا أبعاد الخابور ورأسه (إن وجد) بدلالة قطر العمود المستعمل كما يمكن الاستعانة بالجدول رقم (13) وفق DIN 6886، للخوابير المتوازية والمائلة.

ب- الخابور المائل ذو الرأس Key with gib-head :



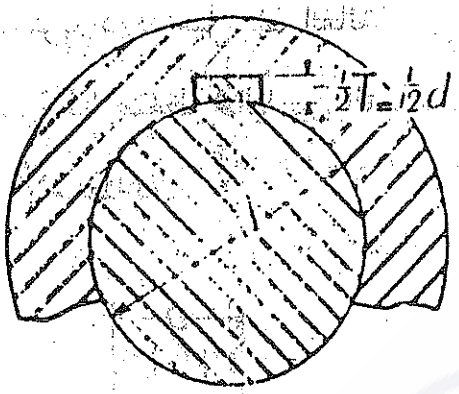
الشكل (6-9)

قد يكون للخابور المربع أو المستطيل رأس لسهولة إخراجه وذلك عندما يتعذر الوصول إلى كرسي أو مجرى الخابور Key-seat كما بالشكل (6-9). والجدول (14) يعطينا أبعاد الخابور والرأس بدلالة قطر العمود المستعمل .

٢- خوابير السرج Saddle keys:

يستعمل هذا الخابور لنقل الاستطاعة الصغيرة، حيث أن الاستطاعة المنقولة تتوقف على الاحتكاك بين سطحي كل من العامود والخابور . يكون السطح الداخلي للخابور أسطوانياً وبنفس قطر العمود ولا يحتاج إلى مجرى خاص به كما بالشكل (6-10).

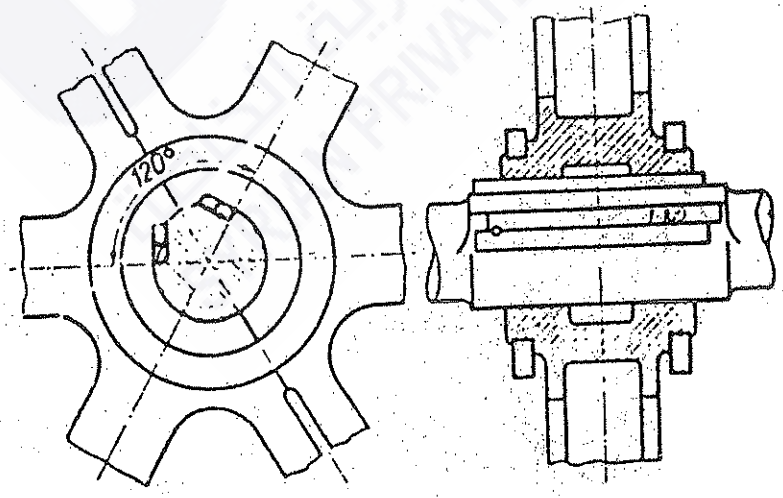
والجدول رقم (15) يبين كافة أبعاد هذا الخابور بدلالة قطر العمود المستعمل.



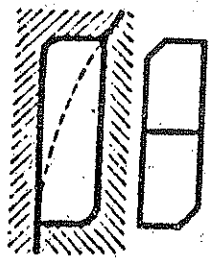
الشكل (6-10)

٣- الخوابير المماسية Tangent keys :

يطلق عليها أحياناً خوابير كنيدي Kennedy كما بالشكل (6-11) وتستخدم لنقل الاستطاعة الكبيرة. يوضع الخابور المماسي بحيث يكون جانبه العريض مماساً للعامود وبحيث يكون أحد جانبيه الضيقين متجهاً نحو نصف قطر العمود، ويتألف الخابور الواحد من أسفينين (خابورين) مائلين (1/100) كما بالشكل (6-12) مقطع كل منهما مستطيل.



الشكل (6-11).



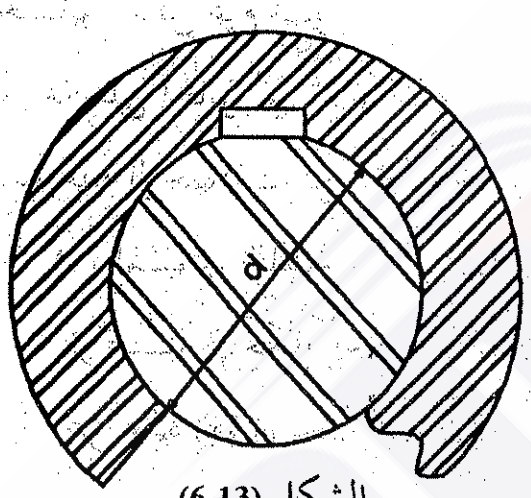
الشكل (6-12)

ويـؤدي الاخـتلاف النسبي في موقع كل منهما بالنسبة للآخر إلى توليد ضغوط عامودية عالية عند سطوح الاستناد بين الخابور والمجرى.

عـندما تكون الحمولة ذات إتجاه قابل للانعكاس واحتمال حدوث صدم فلابد من استخدام خابورين مماسيين بينهما زاوية تتراوح بين (^{o}135-120).

٤- الخابور المسطح Flat keys:

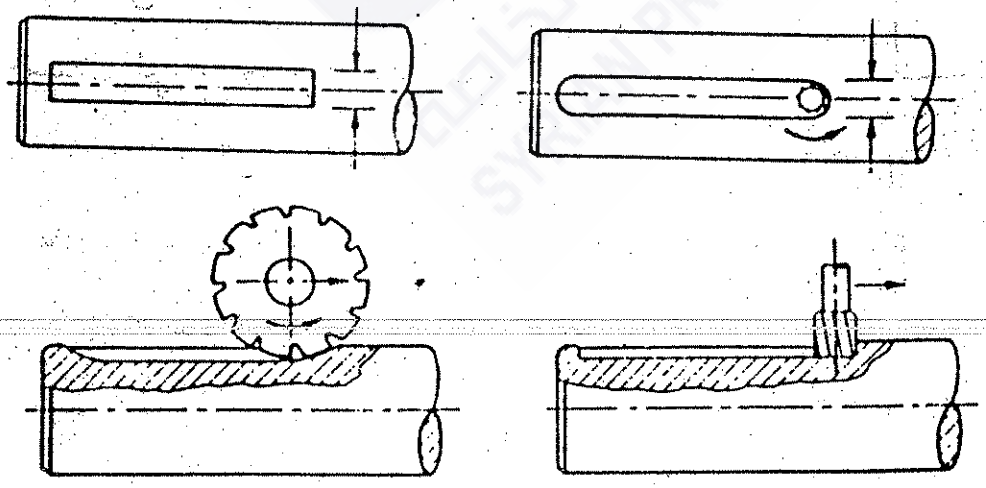
يرتكز هذا الخابور على جزء مسطح مشطوف من العامود كما بالشكل (6-13) وينقل استطاعة أكبر من خابور السرج الذي رأيناه. يمكن أن يدعى هذا الخـابور كذلك بخابور السرج المسطح Flat saddle- keys. والجـدول رقـم (15) يعطيـنا أبعاد هذا الخابور بدلالة قطر العامود المستعمل.



الشكل (6-13)

مجاري الخوابير : Keyways

يتم تشكيل مجاري الخوابير المستقيمة بواسطة التفريز الطرفي End-Milled كما بالشكل (6-14)، أو بواسطة مقطع تفريز جانبي Side-Milled كما بالشكل (6-15)، وفي هذه الحالة يجب ترك فراغ بين نهاية الخابور أو طرفه ونهاية المجرى.



الشكل (6-14)

الشكل (6-15)

لقـــد وُجد تجريبياً أن وجود مجرى الخابور ينقص جسوء العمود الالتوائية حوالي (5%)، أما وجود خابورين فإن الجسوء ينقص حوالي (18%)، أما إذا كان هناك أربعة خوابير فالجسوء الالتوائية للعامود ينقص بمقدار (24%).

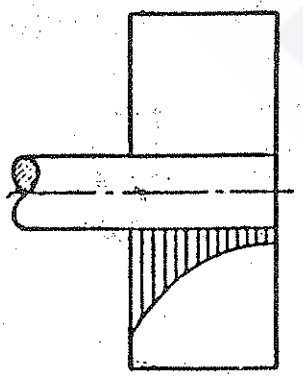
الإجهادات في الخوابير Stress in keys:

تصـــنع الخوابـــير عادة من الفولاذ المسحوب على البارد. عند استخدام الخـــابور لنقل عزم الدوران من عمود دائر إلى جزعه Hud فإن الإجهادات تكون موزعة على الخابور في ثلاثة اتجاهات وهو معقد في طبيعته.

تنشأ هذه الإجهادات عن القوى التالية:

١- القـــوى الناشئة عن تركيب Fit الخابور في مجراه Keyway كما في حالة تركيـــبه الإحكام Tight fitting لخابور مستقيم أو مسلوب (محصور). ينتج عن هذه القوى إجهادات ضغط في الخابور يتعذر تقديرها.

٢- إن القـــوى الناشئة عن نقل عزم الدوران تسبب إجهادات ضغط (هصر) وقـــص على الخابور. إن توزع القوى على طول الخابور غير منتظم ويتركز قرب النهاية التي يأتي منها العزم الدوراني كما بالشكل (16-6) ويسبب عدم الانتظام هذا التواء العمود ضمن الجزعة.



الشكل (16-6)

للحصول على علاقة بين الإجهادات والأحمـــال التي تستخدم في التصميم فمـــن المتبع إهمال القوى الناشئة عن تركيـــب الخابور، واعتبار أن توزع القوى على طول الخابور منتظم.

عـــند تحديـــد قيم $[\sigma_c]$ فيجب التمييز بين الخابور الثابت والخابور المنـــزلق كما يجـــب التمييز كذلك بين أنواع الحمولات. ويبين الجدول التالي بعض قيم $[\sigma_c]$ المستخدمة في الاتحاد السوفيتي:

نوع الوصلة	المادة	نوع الحمولة		
		ثابتة	متقطعة	صدم
		Kg/cm^2		
ثابتة	فولاذ	1500	1000	500
	حديد صب	800	530	270
منـــزلقة	فولاذ	500	400	300

أما إجهاد القص المسموح به لمادة الخابور $[\tau]$ فهو :

$[\tau] = 1200 \ Kg/cm^2$ للحمولات الثابتة.

$[\tau] = 870 \ Kg/cm^2$ للحمولات المتقطعة .

$[\tau] = 540 \ Kg/cm^2$ لحمولات الصدم .

تصميم الخوابير Design of keys:

يعتـــبر الخابور المربع أو المستطيل من أهم الأنواع الشائعة، لذا سنعمد إلى تصميمه وإيجاد أبعاده الصحيحة بحيث تكون الإجهادات الناشئة عن القوى المؤثرة عليه في حدود الأمان.

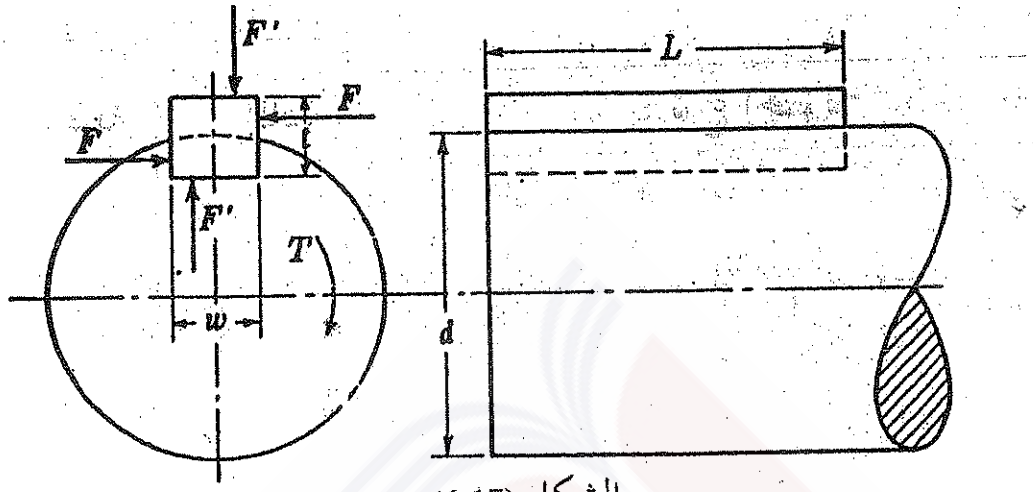
إن الأنواع الأخرى كذلك تتشابه في نظرياتها الأساسية من ناحية التصميم.

يـتعرض الخـــابور المبين بالشكل (17-6) والمثبت بالعمود والجزعة إلى إجهاد قص وإجهـــاد هضـــر ناشـــئين عن القوة المنقولة. أما القوة (F) التي بين طرف الخابور ومجرى الخابور في الجزعة فإنها ناتجة عن العزم المقاوم (M_t) وتحسب كما يلي:

$$F = \frac{M_t}{\frac{d}{2} + \frac{t}{4}} \qquad (Kg) \qquad (6\text{-}6)$$

من هذه العلاقة فإن العزم المنقول M_t يساوي إلى :

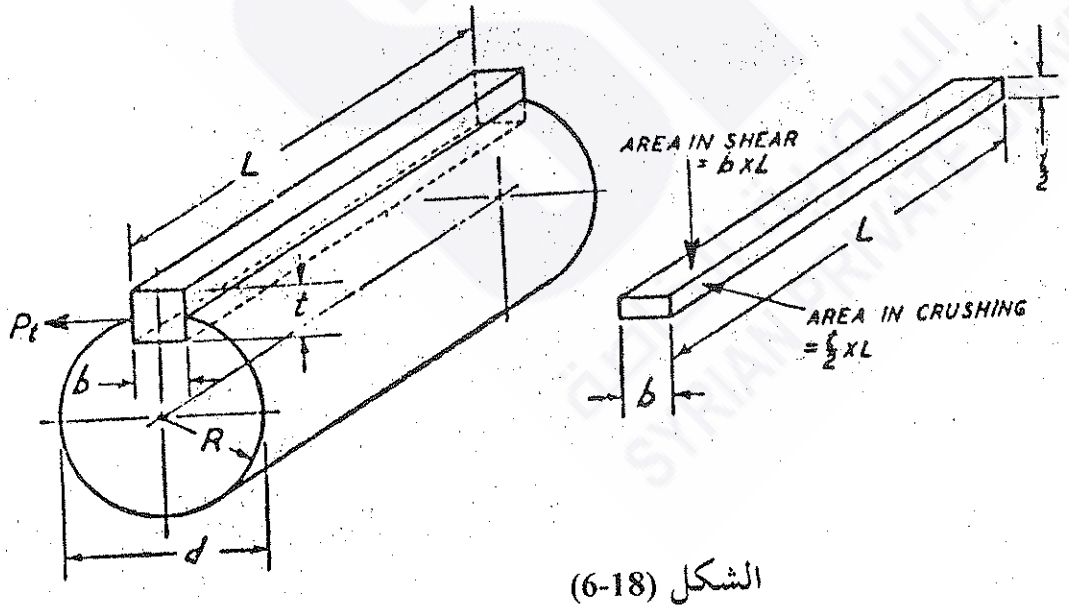
$$M_t = F(\frac{d}{2} + \frac{t}{4})$$



الشكل (6-17)

ونعتـــبر للسهولة أن $F=P_t$ تؤثر على بعد (R) حيث أن $R = \frac{d}{2}$ كما بالشكل (6-18) أي:

$$F = P_t = \frac{M_t}{R} \qquad (Kg)$$



الشكل (6-18)

أمـــا (F') فإنها القوة العمودية المؤثرة أعلى وأسفل الخابور التي تقاوم عملية انقلابه Tipping:

إن مقاومة الخابور للقص الناتج عن P_t يساوي إلى :

$$P_t = A.\tau = b.L.\tau$$

$$\tau = \frac{P_t}{b.L} \quad (Kg/cm^2) \qquad (7\text{-}6)$$

حيث أن (b) هو عرض الخابور، و (L) هو طول الخابور كما بالشكل (6-18).

إن مقاومة الخابور للحمل (P_t) فوق المساحة المعرضة للضغط أو الهصر هي:

$$P_t = A.\sigma_c = \frac{t}{2}.b.\sigma_c$$

$$\sigma_c = \frac{2P_t}{t.L} \qquad (8\text{-}6)$$

مـــن مقارنة العلاقتين (6-7) و (6-8) نجد أن مقاومة الخابور للقص والهصر واحدة وبالتالي يكون :

$$b.L.\tau = \frac{t}{2}.b.\sigma'_c$$

$$\frac{\tau}{\sigma_c} = \frac{t}{2.L} \qquad (9\text{-}6)$$

إذا كان الخابور مربعاً أي t=b، فيكون مقاومته للقص والضغط أو الهصر متساوية إذا استعملنا العلاقة التقريبية للخابور المصنوع من الفولاذ وهي:

$$\sigma_c = 2\tau$$

لقـــد وجـــد عمليـــاً أن عرض الخابور (b) (المربع أو المستطيل) يجب أن يساوي ربع قطر الدائرة إذا كان العمود والخابور من مادة واحدة، وهذه القيمة لا تنقص متانة العمود إلى حد كبير نظراً لوجود مقعد الخابور فيه Keyseat.

يمكـــن أن يكون الخابور أقوى أو أضعف من العمود، ويعتمد ذلك على طـــول هـــذا الخابور (L) الذي يحسب عادة من مساواة متانة الخابور على القص ومتانة العمود على الالتواء (بإهمال تركز الإجهادات).

$$(b.L)\tau.\frac{d}{2}=\frac{\pi.d^3}{16}.\tau \qquad (10\text{-}6)$$

وإذا عوضنا $b=\frac{d}{4}$ نجد أن : $L=1,57\approx 1,6$.

يمكـــن استعمال خابور طويل عندما تكون جزعة المسنن أو الدائر Rotor طويلة. وذلك من أجل استقرار Stability الوصلة من ناحية، وتحقق تناسب طول الخابور وطول الجزعة (التي يجب أن لا تقل عن طول الخابور) من ناحية أخرى.

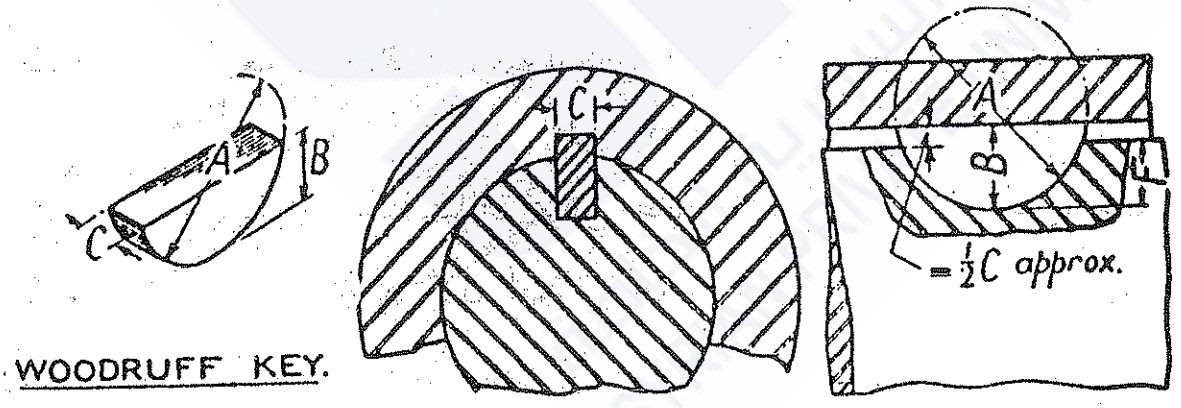
ويمكـــن الاعـــتماد عـــلى الجداول القياسية التي أوردناها في هذا الكتاب لتحديد أبعاد الخوابير النظامية.

ملاحظات:

١- بالنســـبة لخابور وودروف Woodruff غير المجهد كما بالشكل (6-19) يمكن استخدام العلاقات التالية:

$$M_t=0,5.d.C.A.[\tau] \qquad \text{-مقامة القص} \qquad (11\text{-}6)$$

$$M_t=0,5.d(B-F)[\sigma_{cr}] \qquad \text{-مقاومة الهصر} \qquad (12\text{-}6)$$



الشكل (6-19)

٢-بصورة عامة إن المعادلة التي تعطي عزم الدوران الذي تنقله الخوابير المجهدة هي:

$$M_t=0,04.b.L[\sigma_{cr}](2,28d+t) \qquad (13\text{-}6)$$

حيث :

b : عرض الخابور.

L : طول الخابور.

t : سماكة الخابور.

٣-إن المعادلة التي تعطي عزم الدوران المنقول باستخدام خابور السرج هي:

$$M_t = 0,55.b.t.d[\sigma_{cr}] \qquad (13\text{-}6)$$

مثال محلول 1:

أوجـــد قطر عمود فولاذي صلب ينقل عزماً قدره (1000 N.m)، علماً بأن إجهاد القـــص المسموح به لمعدن العمود [50 MN/m^2]. تستخدم مع هذا العمود خابوراً مربعاً عرضه ربع قطر العمود (d) وطوله [3/2d]، أوجد أبعاد الخابور واختبره على القص والضغط. ثم أوجد عامل الأمان للخابور في القص والهصر علماً بأن : أكبر إجهاد قص 350 MN/m^2 وأكبر إجهاد هصر هو 400 MN/m^2.

الحل :

$$d^3 = \frac{16M}{\pi[\tau]} = \frac{16\times1000}{\pi\times50\times106}$$

$$d = 10\sqrt[3]{102} = 46,7mm \approx 50 \ mm$$

عرض الخابور : $w = \frac{d}{4} = 12.5mm$

طول الخابور : $L = 1,5\ d = 75 \ mm$

القوة المماسية على العمود :

$$F = \frac{M}{d/2} = \frac{1000}{0,025} = 40000 \quad N$$

إجهاد القص على الخابور :

$$= \frac{F}{w.L} = \frac{40000}{0,0125\times0,075} \approx 44 \quad MN/m^2$$

إجهاد الهصر على الخابور :

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

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

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

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

القوة المماسية على العمود:

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

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.