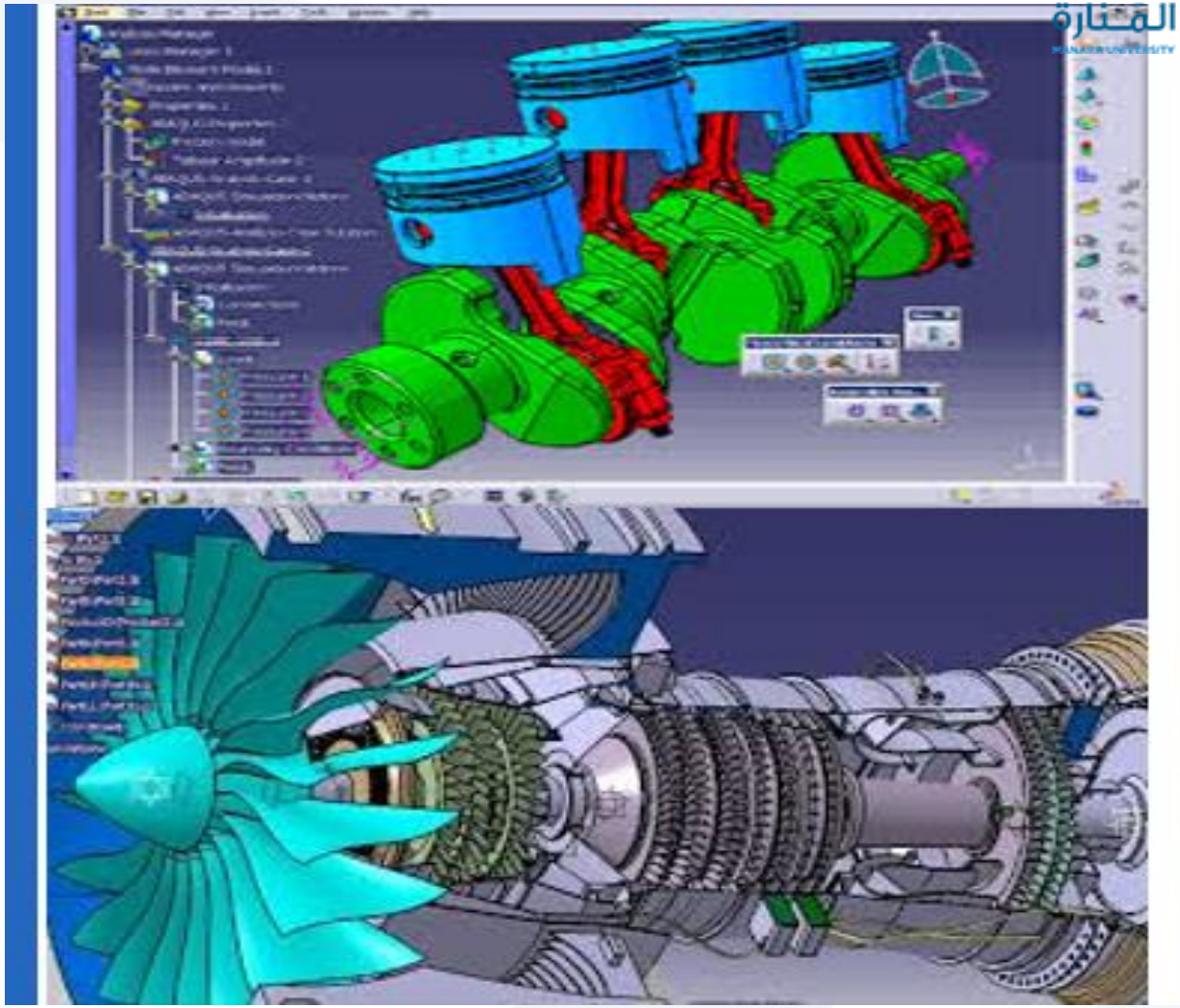
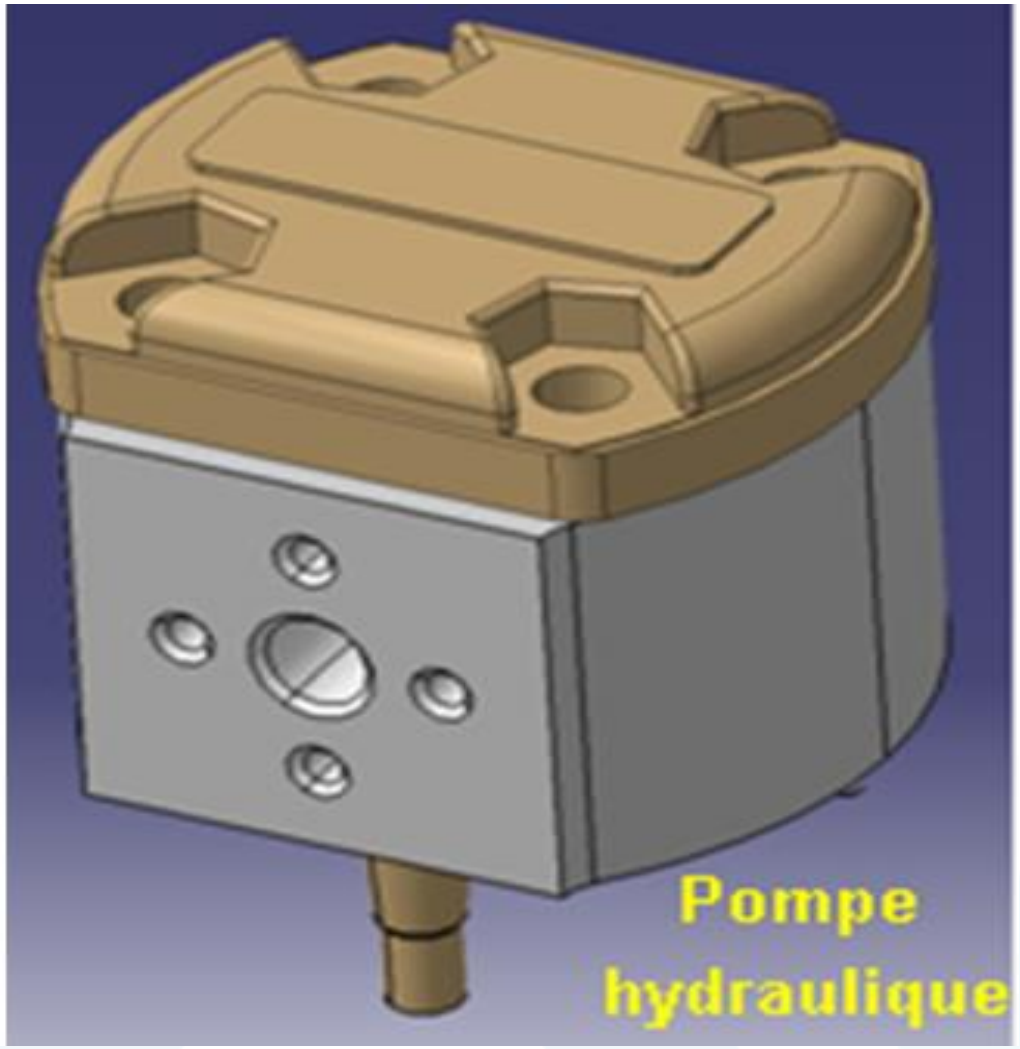
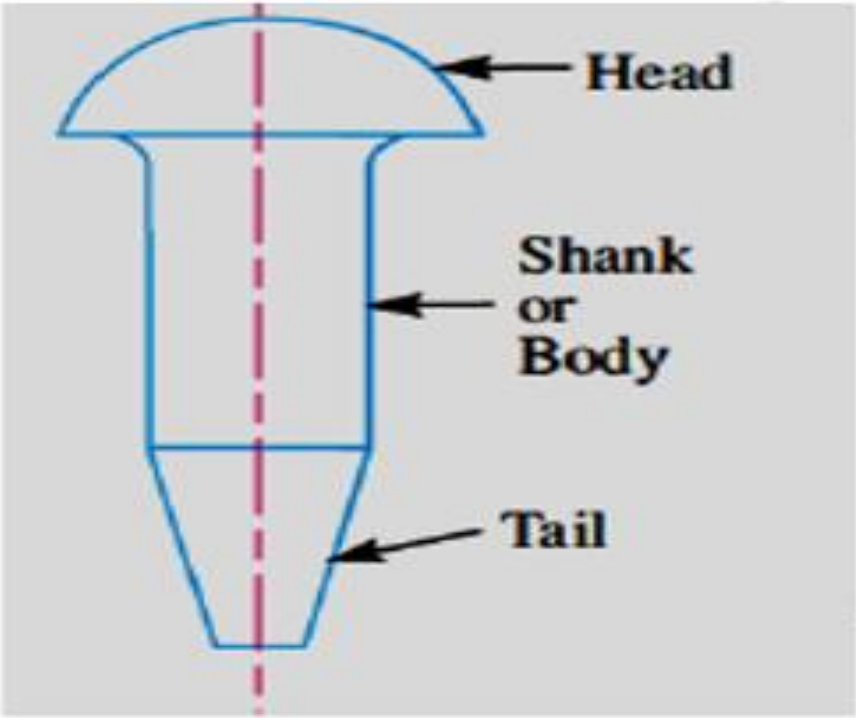



Pompe
hydraulique

تصميم وصلات البراشيم

تعد الوصلات البرشمية طريقة دائمة للربط، وتستخدم بكثرة في صناعة الخزانات والمراجل البخارية والجسور والروافع .وقد حلت عملية اللحام مكان عملية البرشمة، إلا أن البراشيم لا تزال تلعب دورا مهماً في الانشآءات الفولاذية وفي بناء الجسور والسفن



(a) Initial position. (b) Final position.

تُستخدم الوصلات المبرشمة في إنشاء مراجل البخار والسفن والطائرات وفي الأبراج والجسور والآلات المعرّضة لحمولات اهتزاز عنيفة لا يمكن معها استعمال اللحام وتتميّز الوصلات المبرشمة بالكلفة المنخفضة وسرعة التنفيذ والقدرة على ربط أجزاء من مواد مختلفة بعكس اللحام.

تتم البرشمة بإجراء ثقب مشترك للأجزاء المراد ربطها ثم إمرار ساق البرشام في الثقب بحيث يتجاوز جميع الأجزاء المربوطة بعد ذلك يتم تشكيل الرأس بالمطرقة أو بآلات البرشمة الخاصّة التي تعطي نتائج أفضل من البرشمة اليدويّة ولتسهيل عملية دخول البرشام يُصنع الثقب أوسع قليلاً من قطر ساق البرشام.

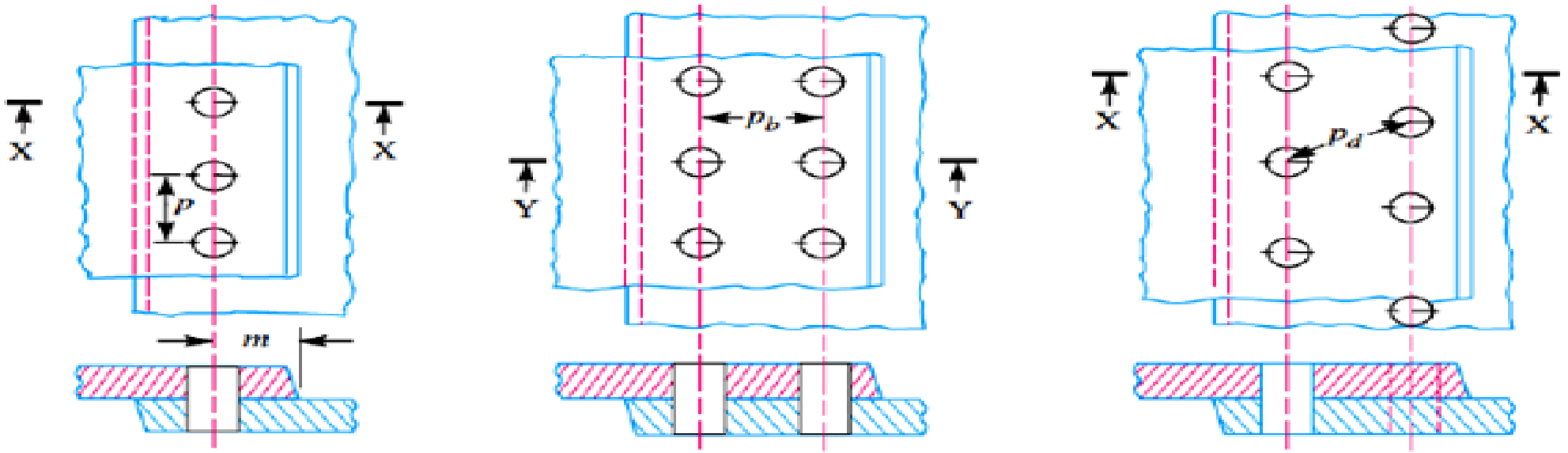
(a) Initial position. (b) Final position.

المواد التي تصنع منها البراشيم

نوع الفولاذ	متانة الشد Mpa	متانة القص Mpa	استطالة الكسر δ%	ملائم لوصل الأجزاء
Mu 8	40–32	34–22	31	الباردة
Mu 11	42–34	36–25	30	الباردة والساخنة
Mu 15	47–38	40–28	28	الباردة والساخنة
Mu St 44	52–44	48–36	27	الساخنة

تصنيف الوصلات البرشمية

تصنف الوصلات البرشمية حسب الغرض المعدة له، فتكون أحادية الصفوف ، ذات صف واحد الشكل(a13-3) أو ثنائية الصفوف ، ذات صفين الشكل(b13-3) أو متعددة الصفوف متناظرة أو غير متناظرة كأن يكون التوزيع شطرنجي، الشكل(13-3)



(*a*) Single riveted lap joint.

(*b*) Double riveted lap joint (Chain riveting).

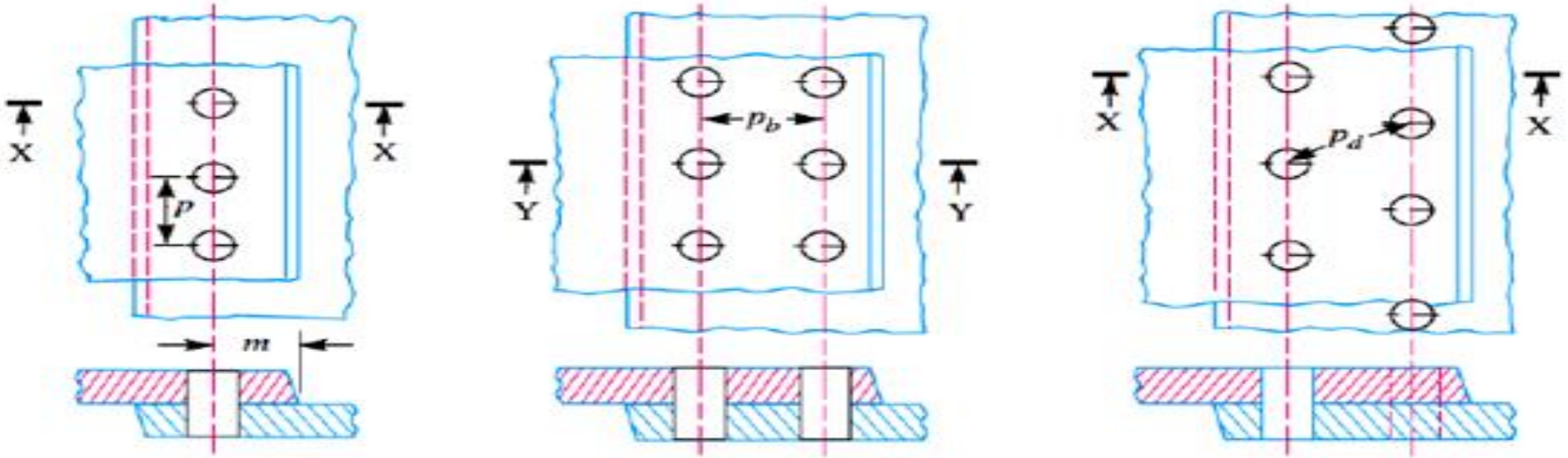
(*c*) Double riveted lap joint (Zig-zag riveting).

نميز في تلك الأصناف المسافات التالية:

P:خطوة البراشيم ، وهي المسافة بين مركزي برشامين متتاليين ،

P_b: خطوة الصف ،وهي المسافة بين صفين متتاليين.

P_d :الخطوة القطرية، وهي المسافة بين برشامين في صفين بالتوزيع الشطرنجي.

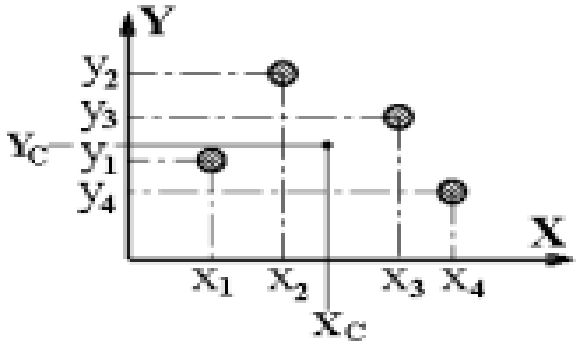


تصميم وصلات البراشيم

في هذه الوصلات سيتم إهمال الاحتكاك بين الصفائح وأيضاً اعتبار القطع المربوطة مطلقة الصلابة.

عندما تخضع الصفائح لتأثير حمولات خارجيّة تحاول الصفائح الحركة فإذا كانت الحركة خطيّة ينشأ منها قوى متساوية على البراشيم أمّا إذا كانت الحركة دورانيّة فإنّ القوى على البراشيم تتناسب مع البعد عن محور الدوران الذي قد يُعامد مستوي البراشيم ويمر من مركز ثقلها أو يتوضّع على طرف الصفيحة المربوطة.

يقع مركز ثقل البراشيم في مستوي البراشيم الذي هو مستوي التماس بين الصفيحتين ويتم تحديده باعتبار براشيم الوصلة الواحدة ذات قطر واحد وبالتالي فلها كتل متساوية يُحدد مركز ثقلها بالنسبة لجملة الإحداثيات المبيّنة في الشكل وفق العلاقات.

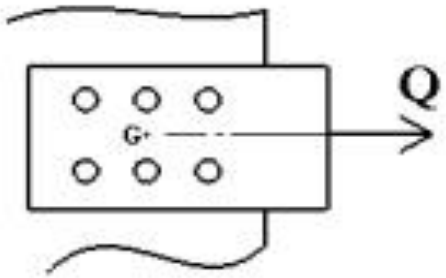


$$X_C = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots} = \frac{m(x_1 + x_2 + \ldots)}{m(1+1+\ldots)} = \frac{x_1 + x_2 + \ldots\ldots\ldots}{Number\ of\ Rivets}$$

$$Y_C = \frac{y_1 m_1 + y_2 m_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots} = \frac{m(y_1 + y_2 + \ldots)}{m(1+1+\ldots)} = \frac{y_1 + y_2 + \ldots\ldots\ldots}{Number\ of\ Rivets}$$

حالات التحميل الرئيسية والقوى الناتجة عنها على البراشيم

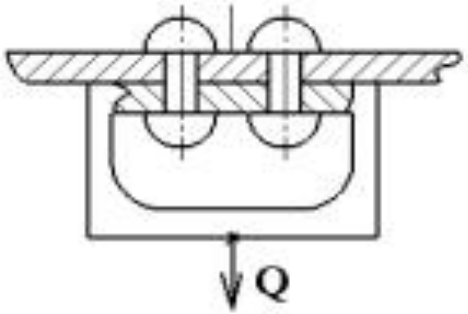
قوى واقعة في مستوي البراشيم مارة من مركز الثقل



هذه الحالة مبيّنة في الشكل وباعتماد فرضية الصلابة المطلقة للقطع المربوطة تكون القوى متساوية على البراشيم ومن أجل هذه الحالة تخضع البراشيم لقوى قص متساوية والقوّة على البرشام الواحد تُحسب وفق:

$$F_S = \frac{Q}{Number\ of\ Rivets}$$

قوة عمودية على مستوي البراشيم مارة من مركز الثقل



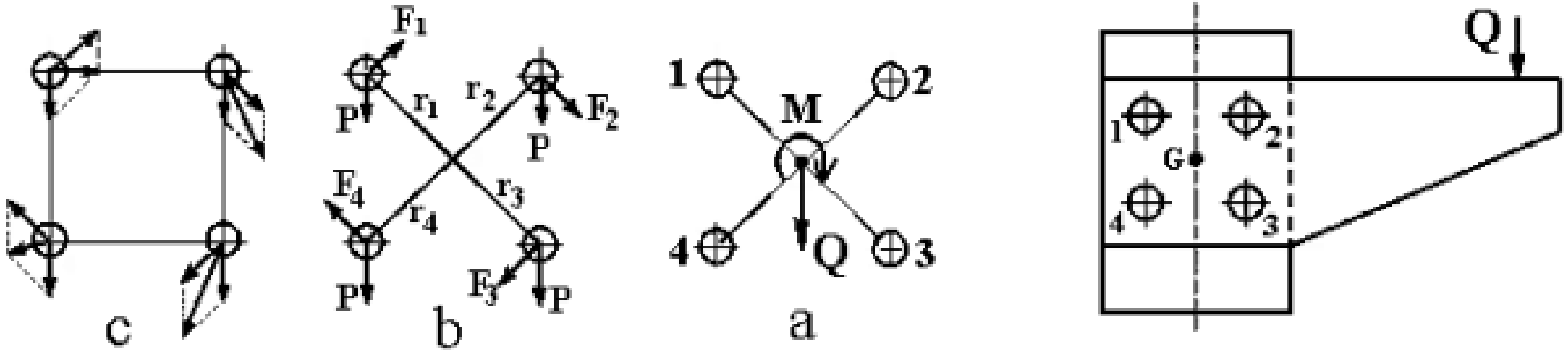
هذه الحالة مبيّنة في الشكل وباعتماد فرضية الصلابة المطلقة للقطع المربوطة تكون القوى متساوية على البراشيم ولهذه الحالة تخضع البراشيم لقوى شد متساوية والقوّة على البرشام الواحد تُحسب وفق:

$$F_T = \frac{Q}{Number\ of\ Rivets}$$

قوة واقعة في مستوي البراشيم غير مارة من مركز الثقل

هذه الحالة مبيّنة في الشكل وفي هذه الحالة تُنقل القوّة إلى مركز الثقل فتصبح قوّة قاصّة ينشأ منها على البراشيم قوى قص متساوية وبسبب النقل يُضاف عزم يحاول تدوير الصفيحة في مستويها حول نقطة مركز ثقل البراشيم مما يولّد قوى قص على البراشيم (اصطلاحاً يُطلق على هذا العزم بعزم فتل على الوصلة).

تتوضّع قوى القص الناتجة عن عزم الفتل في مستوي البراشيم وعمودية على نصف القطر الواصل من مركز الثقل حتى البرشام وتدور مع دوران العزم حول مركز الثقل وتكون أكبر على البرشام الأبعد عن مركز الثقل كما يبيّن الشكل.



تُحسب القوى الناتجة عن القوّة القاصة Q ثم عن العزم وفق:

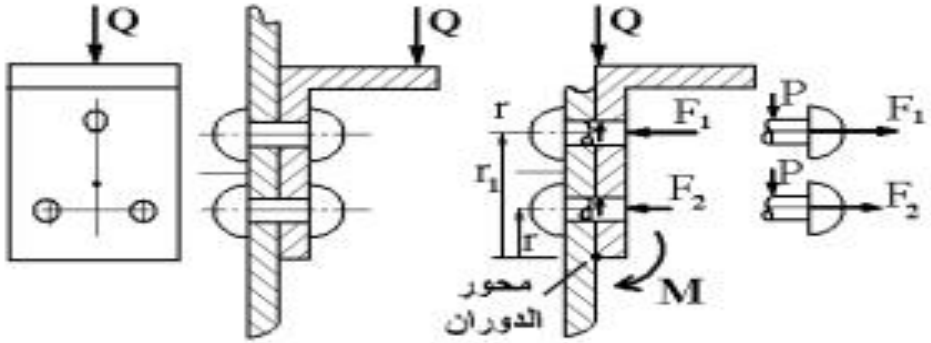
$$P = \frac{Q}{Number\ of\ Rivets}$$

$$\left.\begin{aligned} M_t &= F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2 + F_3 \times r_3 + \ldots \\ \frac{F_1}{r_1} &= \frac{F_2}{r_2} = \frac{F_3}{r_3} = \ldots \end{aligned}\right\} \Rightarrow M_t = \frac{F_i}{r_i}\left(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + \ldots\right)$$

حيث: M_t هو عزم تدوير الصفيحة في مستويها (قد يكون مصدره أكثر من قوّة)، F قوّة القص على البرشام، r بُعد البرشام عن مركز الثقل.

قوة توازي مستوي البراشيم تقابل مركز الثقل

هذه الحالة ممثلة بالشكل وفيها تنقل القوّة إلى مستوي البراشيم فتمر من مركز الثقل وتتوضّع على شكل قوّة قاصّة ينتج عنها قوى قص متساوية على البراشيم وبسبب النقل يُضاف عزم يحاول تدوير الصفيحة حول محور الدوران (اصطلاحا نسميه عزم انحناء) مما يُسبب تولّد قوى شد على البراشيم،



تُحسب قوى القص P من القوّة القاصة Q وفق:

$$P = \frac{Q}{Number\ of\ Rivets}$$

تتناسب قوى الشد مع البُعد عن محور الدوران وتكون أكبر على البرشام الأبعد عن محور الدوران وتُحسب قوة الشد على البرشام i باستخدام:

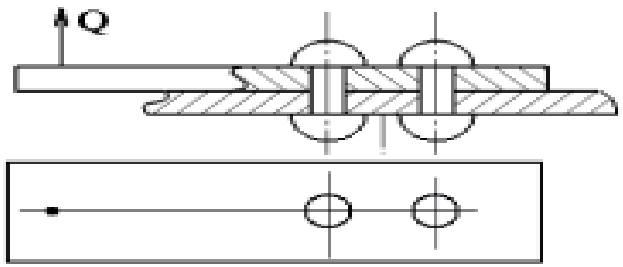
$$\left.\begin{array}{l} M_b = F_1 \times r_1 + F_2 \times r_2 + F_3 \times r_3 + .. \\ \dfrac{F_1}{r_1} = \dfrac{F_2}{r_2} = \dfrac{F_3}{r_3} = \ldots \end{array}\right\} \Rightarrow M_b = \frac{F_i}{r_i}\left(r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + ..\right)$$

حيث: M_b هو عزم القوى الخارجية حول محور الدوران F قوّة الشد على البرشام، r بُعد البرشام عن محور الدوران.

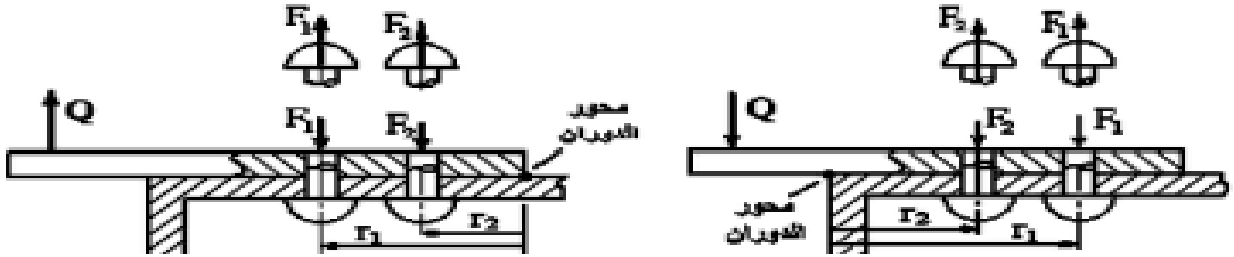
قوة توازي مستوي البراشيم لا تقابل مركز الثقل

تنقل القوّة أولاً إلى مستوي البراشيم ويُضاف عزم يُحاول تدوير القطعة المربوطة حول محور دوران (عزم انحناء) وهذا يعني تولّد قوى شد على البراشيم ثم تنقل القوّة في مستوي البراشيم إلى مركز ثقل البراشيم فتتوضع بشكل (قوّة قاصّة) ويُضاف عزم يُحاول تدوير القطعة في مستوي البراشيم حول مركز الثقل (عزم فتل) مما يُسبب تولّد قوى قاصّة على البراشيم، تُحسب القوى الناتجة عن قوّة القص والعزوم كما في الفقرات السابقة.

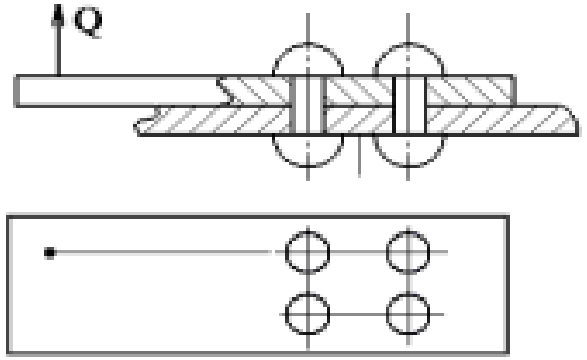
قوة عمودية على مستوي البراشيم غير مارة من مركز الثقل تقطع خط تناظر



هذه الحالة ممثّلة بالشكل، والحمولة هي فقط عزم حول محور الدوران المقابل لمكان القوة (اصطلاحا نسميه عزم انحناء) والقوى المتولدة على البراشيم في هذه الحالة هي قوى شد تُحسب من توازن العزوم حول محور الدوران كما سبق.



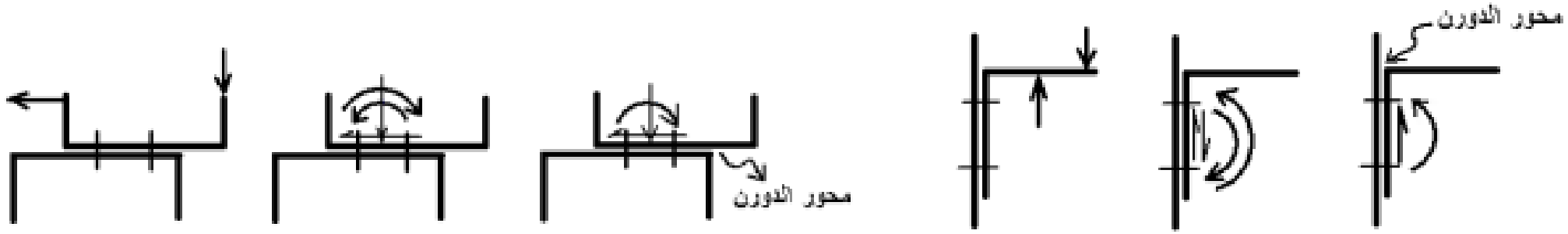
قوة عمودية على مستوي البراشيم غير مارة من مركز الثقل لا تقطع خط تناظر



هذه الحالة ممثّلة بالشكل، والحمولة هي عزمين انحناء حول المحورين المقابلين لمكان القوة والقوى المتولدة على البراشيم في هذه الحالة هي قوى شد تُحسب من توازن كل من العزمين حول محور دورانه كما سبق.

ملاحظة هامة

عندما يصعب تحديد محور الدوران يتم نقل القوى إلى مركز ثقل البراشيم وتضاف العزوم الناتجة عن النقل ثم تحصل العزوم جمعاً أو طرحاً إلى عزم محصل واعتماداً على جهة العزم المحصل يتم تحديد محور الدوران وبالنتيجة يحسب العزم الذي تحسب منه قوى الشد بأنه محصلة العزم المحصل وعزوم القوى الموجودة في مركز الثقل حول محور الدوران أو محصلة عزوم القوى قبل نقلها حول محور الدوران بعد معرفته.



خطوات حل مسائل البراشيم

١. تحديد مركز الثقل.

٢. تحديد الحمولة المؤثرة بالنوع وبالقيمة.

٣. توزيع القوى على البراشيم حسب الحمولة المؤثرة.

٤. تحديد البرشيم الخطر عليه أكبر محصلة قص وأكبر محصلة شد.

٥. حساب القوى على البرشيم الخطر.

٦. تصميم البرشام الخطر: يتم تحصيل قوى الشد بمحصّلة شد وتحصيل قوى القص بمحصّلة قص وبعدها يتم التصميم وفق إحدى الحالات التالية:

- عندما البرشام خاضع لقوّة قاصّة فقط يتم التصميم وفق: $\tau = \frac{4F_S}{\pi d^2} = \tau_{all}$
- عندما البرشام خاضع لقوّة شد فقط يتم التصميم وفق: $\sigma = \frac{4F_T}{\pi d^2} = \sigma_{all}$
- عندما البرشام خاضع لقوّة شد وقوّة قص يتم التصميم وفق نظريّة القص الأعظمي:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{4}{\pi d^2}\sqrt{0.25F_T^2 + F_S^2} = \tau_{all}$$

بعد حساب القطر للبرشام الخطر يتم اختيار نفس القطر لجميع براشيم الوصلة، تُحسب سماكة الصفائح على اعتبار أنّ القوّة التي تُسبب الهصر هي محصّلة القوى القاصّة.

الحسابات التصميمية للوصلات البرشمية

الوصلة البرشمية

الصفائح

اختبار الصفائح على الشد

اختبار الصفائح على القص

البراشيم

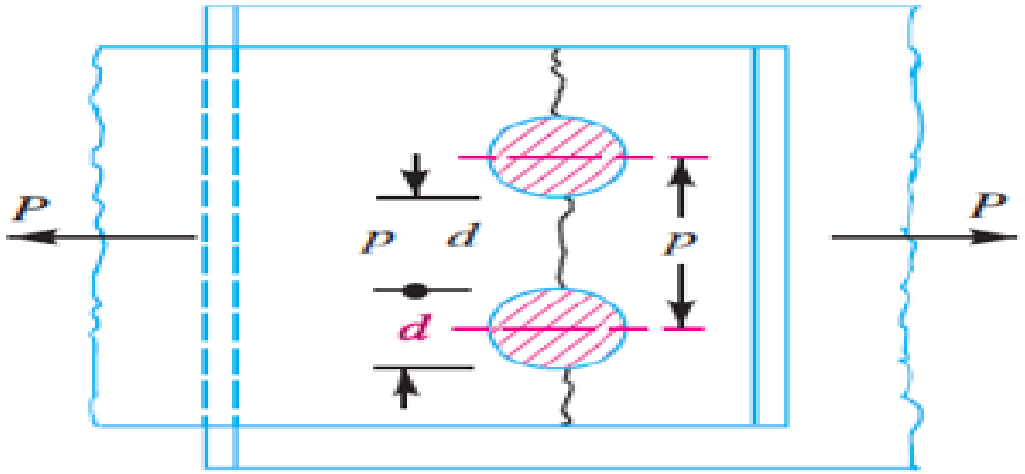
اختبار البراشيم على القص

اختبار البراشيم على الهصر

الحسابات التصميمية للوصلات البرشمية

اختبار الصفائح على الشد

لتكن وصلة برشمية مؤلفة من برشامين قطر كل منهما (d) ،معرضة لقوة شد (P). الصفيحة تتعرض الى اجهاد شد : فإذا كان:



الشكل(3-23):اختبار الصفائح على الشد

تكون المساحة المعرضة للشد في الخطوة الواحد:

$$A = (p - d)t$$

وتكون قوة الشد التي تستطيع الوصلة تحملها في الخطوة الواحدة:

$$P = [\sigma](p - d)t$$

p :خطوة البراشيم.

P:قوة الشد .

d: قطر البرشام.

t:سماكة الصفائح

$[\sigma]$:اجهاد الشد المسموح به.

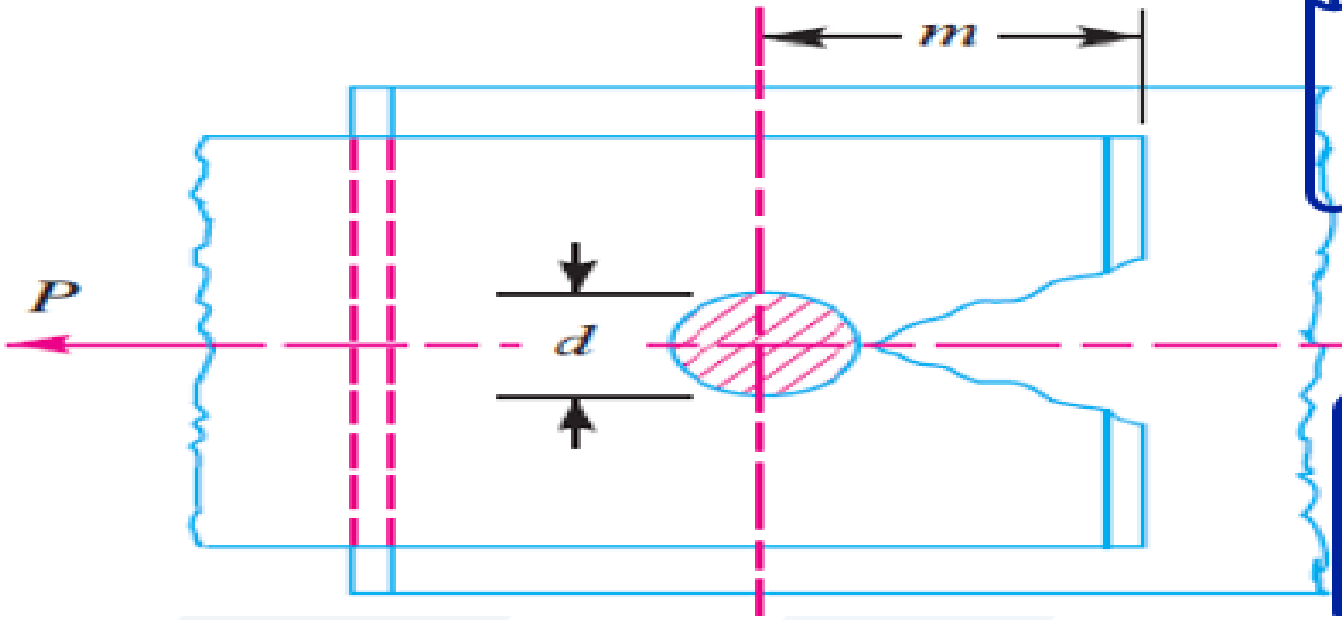
اختبار الصفائح على القص (التمزق)

من الشكل (3–24) نجد ان سطح القص أو التمزق الذي تتعرض له الصفائح يتعلق بالمسافة (m-d/2)،حيث ان m هي البعد بين طرف الصفيحة ومركز البرشام. فإذا كانت سماكة الصفيحة (t) ، يكون اجهاد القص المتكون في الصفيحة:

$$\tau = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{2(m - \frac{d}{2}).t}$$

ان شرط تحمل الوصلة هو ان يكون اجهاد القص المتكون في الوصلة اصغر من اجهاد القص المسموح به،وهذا يكتب بالعلاقة التالية:

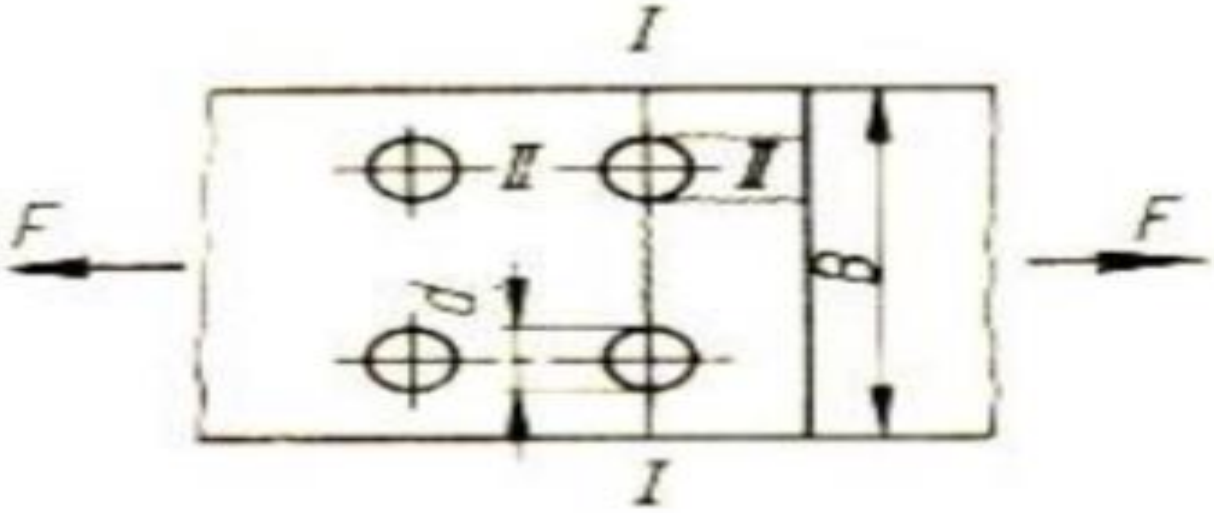
$$\tau = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{2(m - \frac{d}{2}).t} \leq [\tau]$$



الخلاصة عن الصفائح

الاجهادات في الصفائح

عند تطبيق قوة ما على وصلة برشمية فإن الصفائح تتعرض إلى إجهادات أيضا ، ويبين الشكل(35.3) وصلة برشمية مؤلفة من(4) براشيم .



الشكل(35.3) الإجهادات في الصفائح المثقوبة

اختبار الصفائح على الشد

ففي المستوي (I-I) تكون في الصفائح إجهادات الشد تمثل بالعلاقة التالية:

$$\sigma = \frac{F}{s(B - z.d)} \qquad (22.3)$$

حيث أن:

σ: إجهاد الشد

B: عرض الصفائح.

d: قطر مسمار البرشام.

s: سماكة الصفائح.

z: عدد البراشيم.

اختبار الصفائح على القص (التمزق)

وبهذا يجب المحافظة على مسافات الثقوب بحيث تلائم أبعاد الأجزاء . إن الصفيحة تضعف بوجود الثقوب وتجهد على القص أو التمزق، حيث يبلغ إجهاد القص فيها:

$$\tau = \frac{F}{2(e - \frac{d}{2} z).s} \qquad (23.3)$$

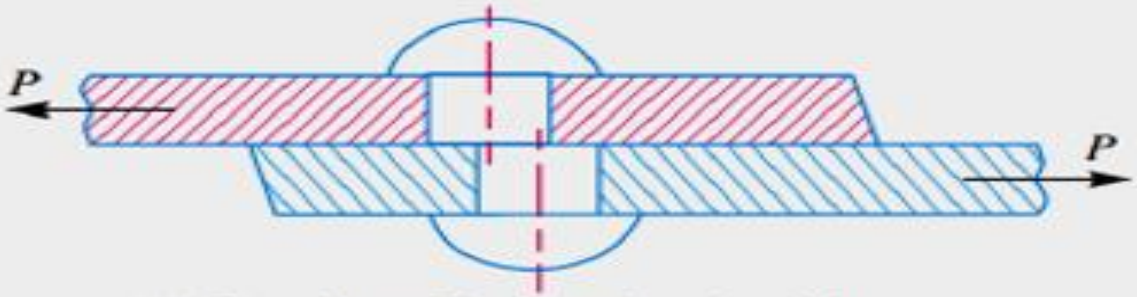
والرمز (e) يعبر عن المسافة بين طرف الصفيحة ومركز الثقب.

اختبار البراشيم على القص

سطح قص واحد:

يبين الشكل (3–25) وصلة فيها برشام واحد ، تتعرض الوصلة الى قوة P ، فاذا كان قطر البرشام (d) وكانت سماكة الصفيحة الأصغر (t) يكون اجهاد القص المتكون في البرشام(τ) يحب كمل يلي:

$$\tau = \frac{P}{A_s}$$



(*a*) Shearing off a rivet in a lap joint.

الشكل(3–25): سطح قص واحد

حيث ان مساحة القص هي مساحة مسمار البرشام:

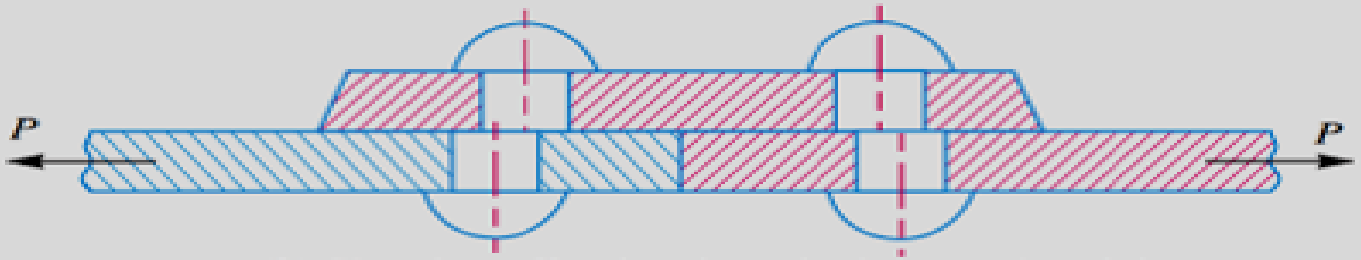
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

ويكون شرط تحمل الوصلة للقوة هو :

$$\tau = \frac{P}{A_s} = \frac{4P}{\pi d^4} \leq [\tau]$$

وصلة برشمية ذات غطاء واحد:

يبين الشكل وصلة برشمية ذات غطاء واحد مؤلفة من برشامين الشكل (3–26). القوة(P) تتوزع على



(*b*) Shearing off a rivet in a single cover butt joint.

الشكل(3–26):وصلة ذات غطاء

البرشامين وتسبب في كل منهما اجهاد قص.وهكذا يتم اختبار الوصلة اللحامية حسب العلاقة التالية :

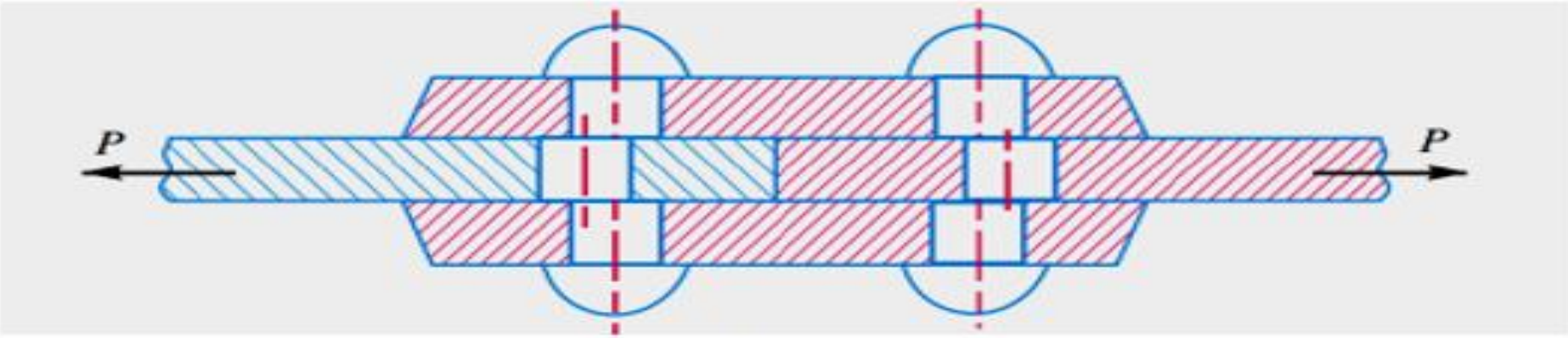
$$\tau = \frac{P}{2A_s} = \frac{2P}{\pi.d^4} \leq [\tau]$$

تؤخذ سماكة الغطاء عادة اكبر من سماكة الصفائح:

$$t_1 = 1{,}25t$$

وصلة ذات غطائين

في هذه الحالة يوجد اربع سطوح قص كما يتضح من الشكل (3–27)، ويكون شرط متانة الوصلة بالنسبة للبراشيم:

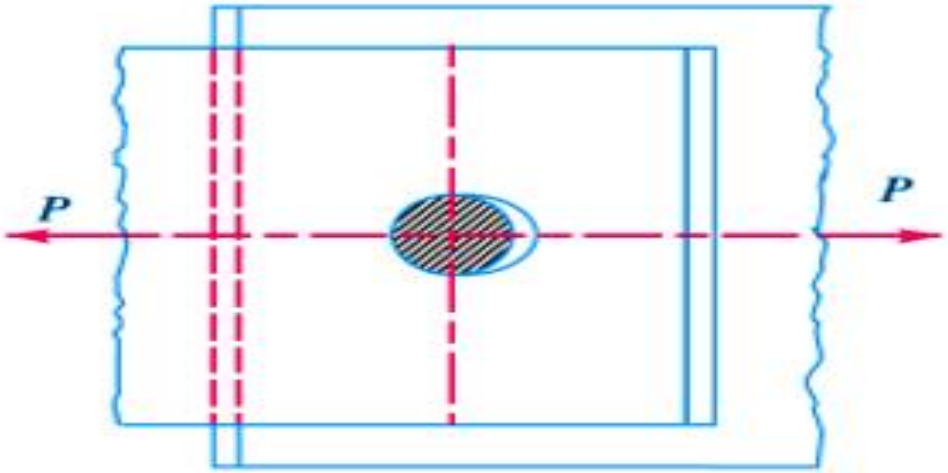


الشكل(3–27):وصلة ذات غطائين

$$\tau = \frac{P}{4A_s} = \frac{P}{\pi . d^4} \leq [\tau]$$

اختبار البراشيم على الهصر

يبين الشكل(3-28) وصلة برشمية مؤلفة من برشام واحد وتتعرض الى قوة (P).تسبب القوة اجهاد هصر في المسمار مقداره:



الشكل(3-28): اجهاد الهصر

$$\sigma_{cm} = \frac{P}{A_c}$$

مساحة الهصر هي :

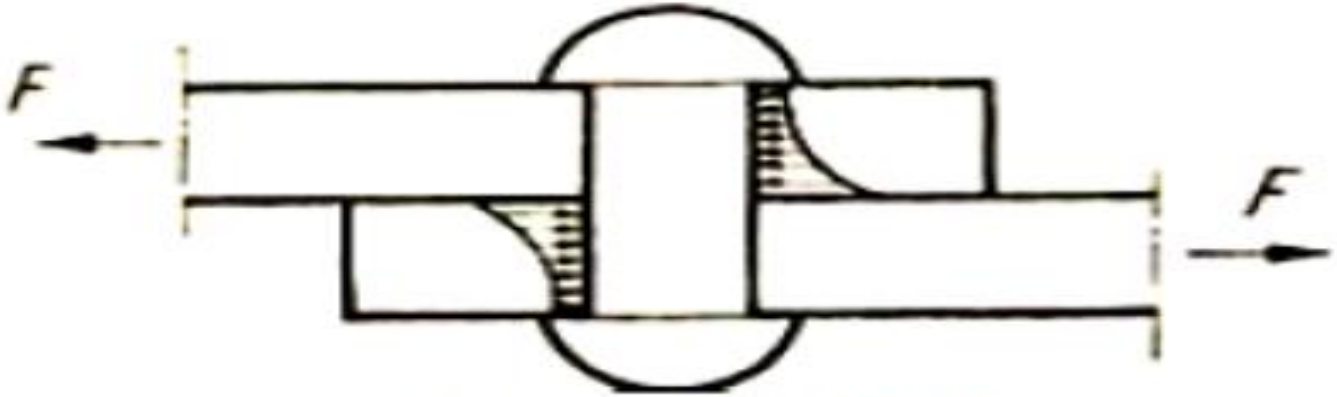
$$A_c = d.t$$

حيث ان:

d: قطر البرشام

t: سماكة الصفيحة.

وفي الوصلات البرشمية تنشأ خطوط إجهاد الهصر أيضا كما هو مبين بالشكل(29.3)



الشكل(29.3): اجهاد الهصر

المراجع

AARON.D(Machine Design theory and practice) Macmillan publishing CO New- York

M.F SPOTTS (Design of Machine Elements) prentice Hall India Pvt Limeted

Winkler,J.:Festkoerperbeanspruchung.Fachbuchverlag Leipzig1985

Scheuermann,G.: Verbindungselemente Fachbuchverlag Leipzig1966

Rothbart.H.A.:Mechanical Design and Systems.Mc GRAW-HILL BOOK COMPANY New York 1964

Moisseif,L.S.,E.F. Hartmannand R.L. Moor: Riveted and Pin-connected Joints of Steel and Aluminum Alloys>ASCE vol.109 1944.

Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.

المراجع

- Laughner,V.H.,and A.D.Hargan:Handbook of Fastening and Joining Metal Parts>McGraw-Hill Book Company,Inc.,new York 1956.
- Belyaev, N. M: Strength of Materials,., Moscow1979.
- Shigley, J. E., Theory of Machines McGraw-Hill Book Company, 1990.
- G James H. Earle Graphics for Engineers, , 5 th ed., Prentice-Hall, UK, 1998
- ديناميك الالات الدكتور محمد نجيب عبد الواحد منشورات جامعة حلب ١٩٩٠٩
- تصميم الالات (1) الدكتورعلاء سيد باكير والمشرف على الأعمال محمد البكار جامعة حلب ٢٠١١
- د.زهير طحان تصميم الالات منشورات جامعة حلب
- دوبروفسكي و اخرون تصميم أجزاء الماكينات دار مير للنشر و الطباعة ١٩٧٩
- ستوبين مقاومة المواد دار مير للنشر والطباعة ١٩٨٧
- تصميم الالات الدكتور نوفل الأحمد منشورات جامعة تشرين ١٩٩٩
- تصميم الالات (١) الدكتور مفيد موقع منشورات جامعة حلب ١٩٩٧