

الباب السابع

سلوك المواد الهندسية تحت تأثير القص الاستاتيكي

(STATIC SHEAR)

مقدمة :

أولاً - القص المباشر :

أ - القص المفرد

ب - القص المزدوج

ج - القص الثاقب

ثانياً قص الانحناء :

ثالثاً - اختبار القص المباشر

رابعاً - اختبار قص الانحناء

خامساً - التواء الأجسام ذات المقاطع المستعرضة الدائرية

سادساً - التواء الأجسام ذات المقاطع المستعرضة غير الدائرية

سابعاً - اختبار الالتواء

أ - عينة الاختبار

ب - مكانة الاختبار

ج - إجراء الاختبار

د - الخواص الميكانيكية في الالتواء

هـ - شكل كسر عينات الالتواء

مقدمة :

القص هو حالة إنزلاق جزء الجسم الذي يقع على جانب من مقطع مستعرض معين على باقى الجسم الواقع على الجانب الآخر من ذلك المقطع ويكون ذلك نتيجة تأثير قوى القص (Shearing forces) أو تأثير عزوم الالتواء (Twisting Moments) .

والقوى التى تسبب القص هى التى تؤثر فى إتجاه مواز للمقطع المستعرض للجسم وينتج عنها تشكل (Deformation) بانزلاق أجزاء الجسم موازية لاتجاه قوة القص كما يقين من الشكل رقم (٧ - ١) . وتحدث حالة القص من تأثير قوى الشد أو الضغط وتسمى بالقص المباشر (Direct Shear) أو من تأثير القوى المسببة للانحناء وتسمى قص الانحناء كما يقين من الشكل رقم (٧ - ٢) .

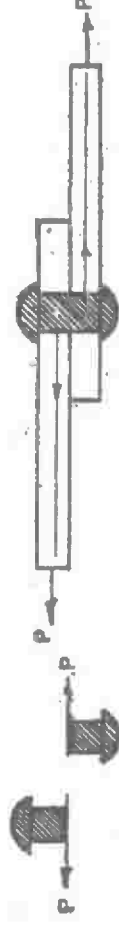
وتعتبر مقاومة المواد للقص مسألة ضرورية وهامة فى تصميم المنشآت واجزاها مثل الوصلات المبرشمة (Riveted Joints) والوصلات الملحومة (Welded Joints) والكمرات المعدنية والخرسانة . ويتبين أهمية القص من أن مقاومة المادة للقص هى التى تحكم فى مقاومة المواد المطيلة لقوى الشد كذلك فى مقاومة المواد القصفة لقوى الضغط (وقد تبين سابقاً أن كسر تلك المواد تحت قوى الشد أو الضغط يتسبب من تأثير القص) .

والإلتواء هو إنزلاق المقطع المستعرض للجسم على المقطع الذى يجاوره حول محور طولى عمودى على كل من المقطعين (وليس إنزلاق المقطعين عن بعضهما فى إتجاه رأسى أو إتجاه أفقى كما فى حالة القص المباشر ، ولكن إنزلاق بذوران أحد المقطعين حول محوره على المقطع الآخر) . ويحدث الإلتواء إذا تعرض المقطع المستعرض إلى عزم الإلتواء M_t (وهو عزم يقع فى نفس مستوى المقطع) أو إذا تعرض إلى قوتين موازيتين ومتعاكستين فى الاتجاه ومساويتين فى القيمة P وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة e بحيث تقع كل من القوتين فى نفس مستوى المقطع المستعرض وبذلك تسببان عزم إلتواء على المقطع فينته $M_t = P.e$ كما يقين من الشكل رقم (٧ - ٣) ،



شكل رقم (٧ - ١) القوى المسببة للانس تؤثر في اتجاه مواز للقطع المستعرض للجسم

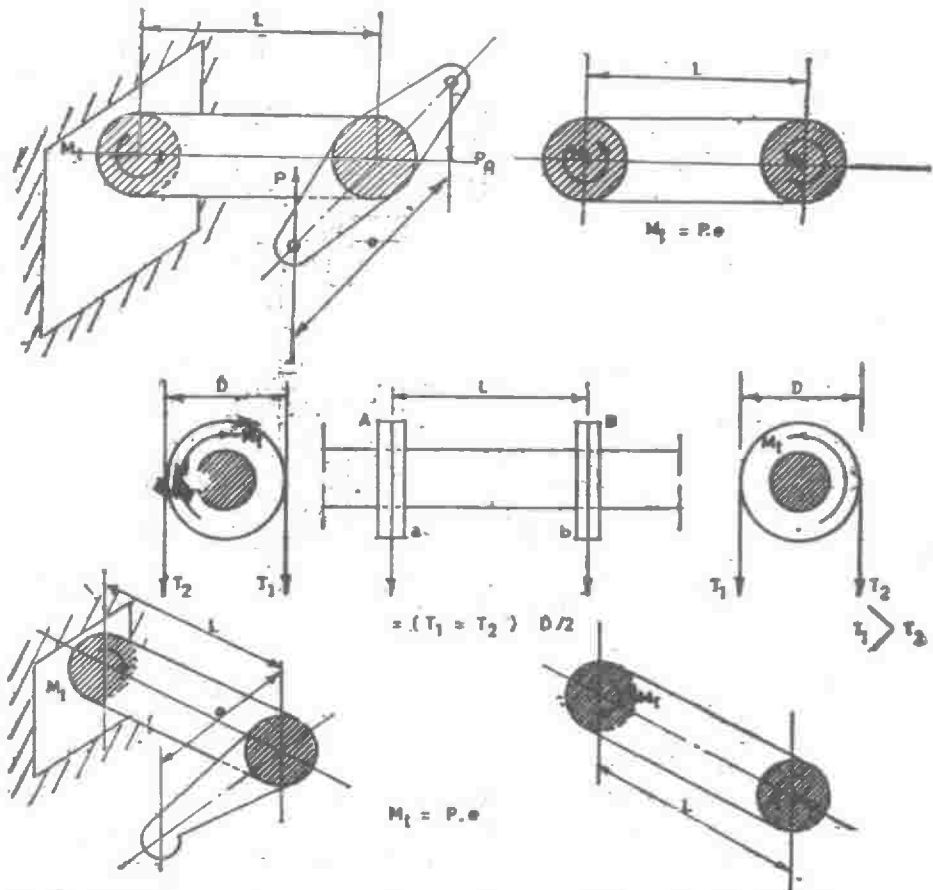
(ب)



(ب)



شكل رقم (٧ - ٢) (أ) الانس المباشر بالعدد (ب) الانس بالأضواء



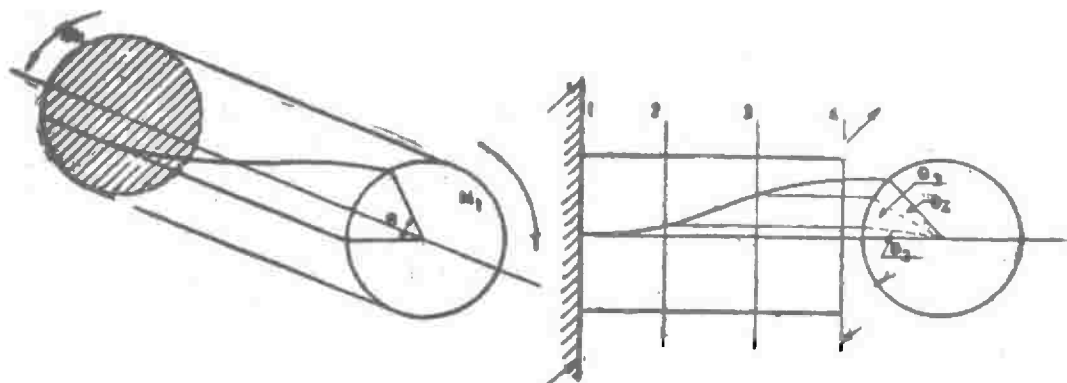
حدوث الالتواء نتيجة تعرض المقطع المستعرض الى عزم الالتواء M_t الى قوتين متوازيتين ومتعاكستين في الاتجاه ومتساويتين في القيمة

شكل رقم (٧ - ٢)

ويحدد الالتواء في أجزاء المفاصل والمكائن الخفيفة مثل أعمدة إدارة الموتور (Motor Drive Shaft) وعمود المروحة للطائرات (Airplane Propellers) إلخ

ولا تنص المواصفات القياسية على إجراء اختبار الالتواء كاختبار قبول للعائدن إلا في حالات محددة خاصة ولكنه اختبار هام يجرى معملياً لبيان الخواص الميكانيكية للواد في القص حيث أن الالتواء هو حالة قص خالص (Pure Shear) لأن إنزلاق المقاطع المستعرضة على بعضها البعض غير مصحوبة بعزم إنحناء كما في حالة القص المباشر.

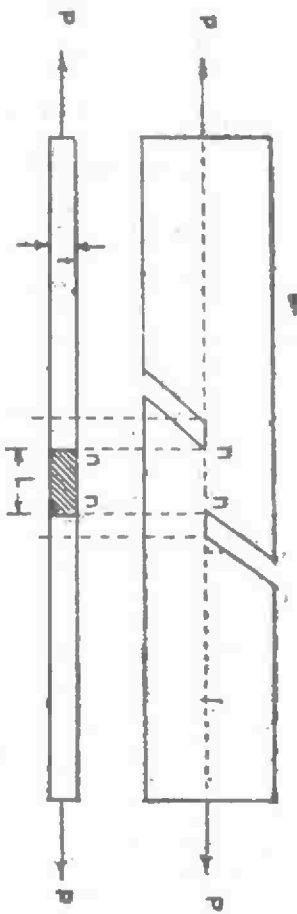
كما يجرى إختبار الإلتواء لمعرفة مدى مقاومة جزء المكنة أو المنشأ تحت تأثير الإلتواء ويكون ذلك غالباً إذا كانت المقاطع المستعرضة لهذا الجزء ليست مستديرة أو كانت مستديرة ولكن بها عدم إنتظام للسطح مثل حالة مجرى الخابور (Key way) .
ويستخدم إختبار الإلتواء لدراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية المختلفة وخصوصاً للأجزاء المعرضة للعمليات التي تؤثر كثيراً على المعدن قرب السطح . ويستعمل لهذه الدراسات جزء المعدن بالمقاس الكامل الطبيعي كما في حالة محاور عجلات السيارات .
ويحدث الحمل المسبب للإلتواء (عزم الإلتواء M_t) تشكل بالجسم عبارة عن زاوية الإلتواء بين المقطعين المستعرضين المتتاليين من الجسم نتيجة دوران أحدهما على الآخر بالعزم M_t . شكل رقم (٧ - ٤) .



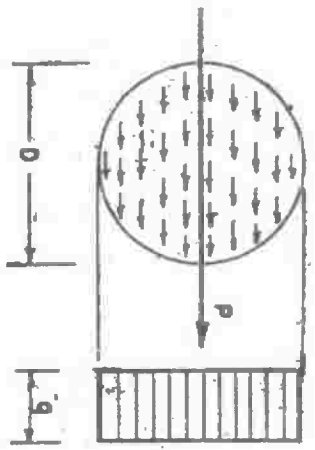
شكل رقم (٧ - ٤) تأثير الإلتواء على قضيب مستدير المقطع

أولاً - القص المباشر (Direct Shear)

يحدث القص الخالص (Pure Shear) من تأثير قوتين متوازيتين المسافة بينهما معدومة ، أى قوتين منطبقتين في خط التأثير (والذي يقع في نفس مستوى مقطع الجسم) ولكن متعاكستين في الإتجاه كما هو حادث للمقطع (٥ - ٥)
يا الشكل رقم (٧ - ٥) .



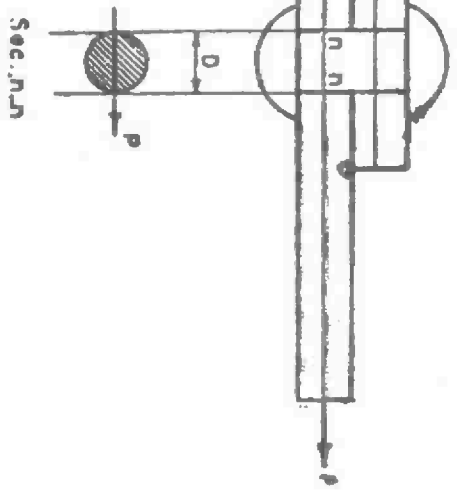
$$q = P/A = P/t \cdot h$$



$$q = P/A \text{ (as of c.s.)}$$

$$q = P/A$$

$$q = P / \frac{\pi D^2}{4}$$



محکمہ برقم (۷ - ۶) القیاس الخاصی و القیاس المثلثی

ويندر حدوث القص الخالص من قوى الشد والضغط لأنه — عملياً — لا بد وأن توجد مسافة — ولو بسيطة — بين قوتي الشد أو الضغط لتحدث قص بمقطع الجسم كما هو الحال في الوصلة المبرشمة المبينة بالشكل رقم (٧ - ٥) وبذلك تسمى حالة القص بالقص المباشر حيث يتعرض مقطع مسار البرشام (n - n) إلى قوة قص (p) وعزم إنحناء صغير (p.e) يمكن عملياً إهمال تأثيره وبذلك يكون المقطع معرض إلى قوة قص (p) يمكن اعتبارها موزعة توزيعاً متساوياً على المقطع فتحدث إجهاد قص قيمته : $q = p/A = P / \frac{\pi D^2}{4}$ كما هو مبين بالشكل رقم (٧ - ٥) .

وينقسم القص المباشر إلى ما يأتي :

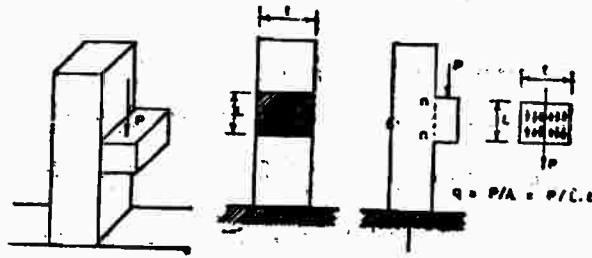
١ - القص المفرد : (Single Shear)

حيث يقاوم تأثير القص مقطع مستعرض واحد من الجسم كما هو الحال في الشكل رقم (٧ - ٥) والشكل رقم (٧ - ٦) والإجهاد في هذه الحالة يساوي قوة القص مقسومة على المساحة من الجسم المقاومة لها أي : $q = \frac{P}{A}$

ب - القص المزدوج : (Double Shear)

حيث يقاوم تأثير القص مقطعان مستعرضان من الجسم كما يتبين من الشكل رقم (٧ - ٧) وإجهاد القص في هذه الحالة يساوي كما افترض سابقاً قوة القص مقسومة على المساحة المقاومة لها أي : $q = \frac{P}{2A}$

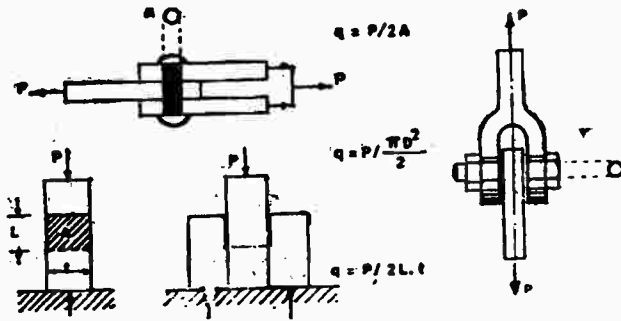
ويلاحظ أنه نظراً لأن مقاومة المادة الواحدة لقوة القص بالنسبة لوحدة المساحة ثابتة فإن إجهاد القص المفرد يساوي نظرياً إجهاد القص المزدوج . لذلك فإنه إذا تعرض مسار برشام لقص مفرد حتى الكسر شكل (٧ - ٥) وكانت قوة القص المسببة للكسر هي (p) ثم تعرض مسار برشام بمائل في المعدن والأبعاد للقص المزدوج حتى الكسر شكل رقم (٧ - ٧) وكانت قوة القص المسببة للكسر (p)، فإن (p) تساوي ضعف القوة (p) وذلك لأن : $q = p/A = P' / 2A$



Single shear

القص المفرد

شكل رقم (٧ - ٦)



DOUBLE SHEAR

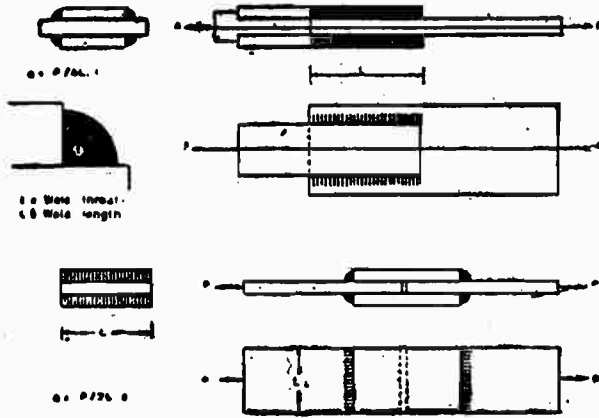
القص المزدوج

شكل رقم (٧ - ٧)

وتعرض الوصلات الملحومة لتأثير القص المباشر كما يتبين من الشكل رقم (٧ - ٨) ويكون إجهاد القص مساوياً لقوة القص مقسومة على المساحة المقاومة لهذه القوة .

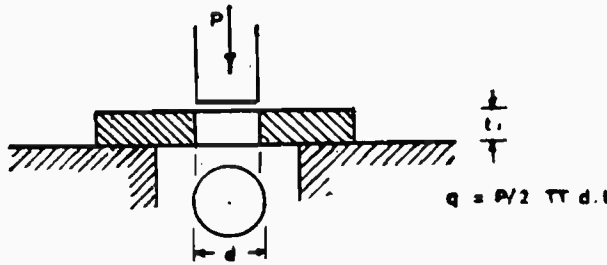
٢ - القص الثاقب (Punching shear)

يتعرض الجسم للقص عند إحداث ثقب به بالتأثير بقوى ضغط . كما يتبين من الشكل رقم (٧ - ٩) ويكون إجهاد القص مساوياً لقوة المؤثر بها لعمل الثقب مقسومة على مساحة المقطع المستعرض على طول محيط الثقب .



تأثير القص المباشر على الوصلات الملحومة

شكل رقم (٧ - ٨)

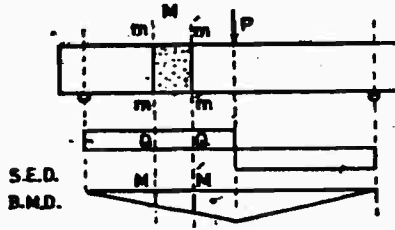


شكل رقم (٧ - ٩) القص الثاقب

لانيا : قص الانحناء :

إذا حلت كرة بأحمال تسبب فيها إنحناء فإن أى مقطع من مقاطع هذه الكرة يكون معرضاً لتأثير عزم إنحناء M وقوة قص Q كما يتبين من الشكل رقم (٧-١٠)، وتحسب قيمة إجهادات القص الناتجة من الانحناء على المقطع (m-m) من الكرة كالآتي :

نعتبر الجزء من الكرة المحصور بين المقطعين المستعرضين (m-m)، (m-m) حيث المسافة بينهما dx ، ثم القطعة الواقعة أعلى المستوى (stst) الموازي لمحور التعادل شكل رقم (٧-١١) :



شكل رقم (٧ - ١٠) توزيع قوة القس وعزم الانحناء على طول كرة عملة جانبياً

القوة العمودية المؤثرة على السطح $F = m - S$

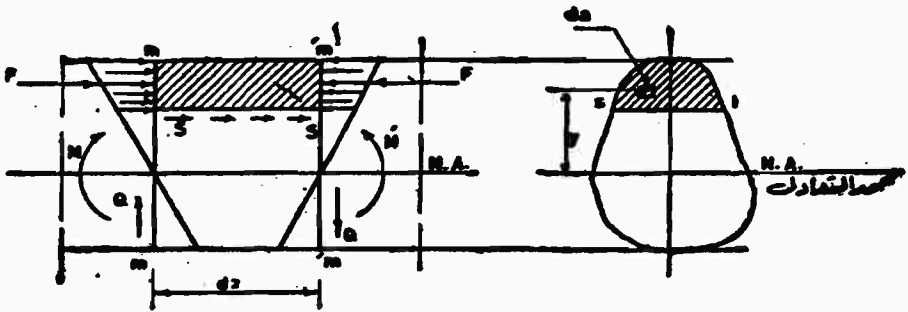
$$F = \int f \cdot da = \int (M \cdot y / I_x) \cdot da = M / I_x \int y \cdot da$$

القوة العمودية المؤثرة على السطح $F' = m' - S'$

$$F' = \int f' \cdot da = \int M' \cdot y / I_x = (M' / I_x) \int y \cdot da$$

وحيث أن M' أكبر من M ، لذلك فإن القوة F' تكون أكبر من F . وحيث

أن الجزء المباشر بالشكل رقم (٧ - ١١) والواقع أعلى المستوى $SS \alpha \alpha$ في حالة



شكل رقم (٧ - ١١) القوى المؤثرة على جزء الكرة بين القطعين mm' ، mm''

اتزان ، لذلك فإن فرق القوة F ، F' يساوى ويعاكس في الاتجاه قوى قص طولية

(Longitudinal) تؤثر على السطح $SS \alpha \alpha$ وتكون قيمة قوة القس الطولية لوحدة

الطول من المسافة dx هي :

$$\begin{aligned}
 (F' - F) / dx &= I / dx \cdot (M' / I \int y \cdot da - M / I_x \int y \cdot da) \\
 &= (1/I) \cdot dM / dx \cdot \int y \cdot da \\
 &= 1/I_x \cdot Q \cdot Y \\
 &= (Q \cdot \bar{Y}) / I_x
 \end{aligned}$$

حيث : Q = قوة القص على المقطع المستعرض $(m-m)$.
 $\bar{Y}$ = العزم الأول للمساحة حول التعادل $(x-x)$ لجزء المقطع المستعرض
 للكرة الذي يقع أعلى المستوى tt' .

I_x = عزم القصور الذاتي لمقطع الكرة المستعرض عند $(m-m)$.
 فإذا اعتبرت قوة القص الطولية سافة الذكر موزعة توزيعاً متساوياً على المستوى
 tt' وكانت b = عرض المقطع المستعرض $(m-m)$ عند المستوى tt' ؛ فإن
 قوة القص الطولية لوحدة الطول ولوحدة العرض (قوة القص الطولية بالنسبة لوحدة
 المساحة من المستوى tt' أي إجهاد القص المؤثر على هذا المستوى الأفقي) تكون:

$$p = (Q \cdot \bar{Y}) / I_x \cdot b$$

وحيث أن إجهاد القص الأفقي المؤثر على أي جزء من الجسم لا بد لحدوث الإيزان أن
 يكون مصحوباً بإجهاد قص رأسي، فيكون إجهاد القص الرأسي المؤثر على المقطع $(m-m)$
 عند العرض b (الواقع عند $e-e$) يساوي إجهاد القص الأفقي سالف الذكر أي يساوي

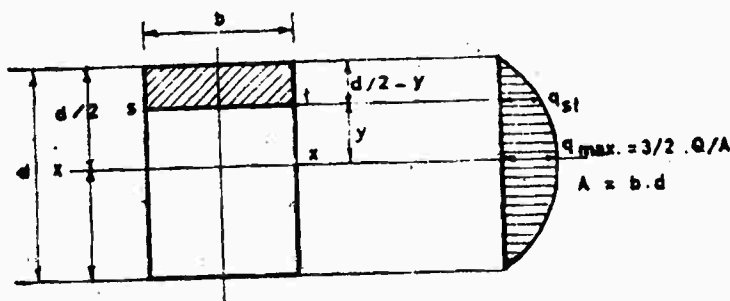
$$q = (Q \cdot \bar{Y}) / I_x \cdot b$$

وتحسب قيمة إجهاد القص الرأسي المؤثر على المقطع $m-m$ عند أي موضع فيه بالمعادلة

$$q = (Q \cdot \bar{Y}) / I_x \cdot b$$

حيث تختلف قيمة $\bar{Y}$ ، قيمة b باختلاف المكان على المقطع، أما قيمة كل من I_x ، Q فهي ثابتة لكل قطع المقطع .

ويمكن توزيع إجهاد قص الانحناء على بعض مقاطع الكرات المحددة الشكل كما
 هو موضح بالأمثلة الآتية :



شكل رقم (٧ - ١٢) توزيع إجهاد القص على مقطع كرة مستطيل

(١) مقطع مستطيل أو مربع : (شكل ٧ - ١٢)

قيمة إجهاد قص الانحناء عند أى جزء st للمقطع المستطيل تحت تأثير قوة القص Q :

$$q_{st} = (Q \cdot \bar{Y}) / I_x \cdot b$$

$$\bar{Y} = b (d/2 - y) \left[y + \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2} - y \right) \right]$$

$$= bd^2 / 8 (1 - 4y^2/d^2)$$

$$I_x = (b d^3) / 12$$

$$q = (Q \cdot \bar{Y}) / I_x \cdot b$$

$$= \frac{3}{2} Q / bd \cdot (1 - 4y^2/d^2)$$

$$\frac{3}{2} (Q/A) \cdot (1 - 4y^2/d^2)$$

حيث $A =$ مساحة المقطع المستعرض bd

وتعتبر هذه المعادلة عن قيمة إجهاد القص عند أى جزء من المقطع والتي تمثل قطع

مكافئ (Parabola) رأسه عند خط التعادل $x-x$ حيث تكون القيمة العظمى

لإجهاد القص ، ونهايتى هذا المقطع المكافئ عند نهايتى المقطع حيث يكون إجهاد

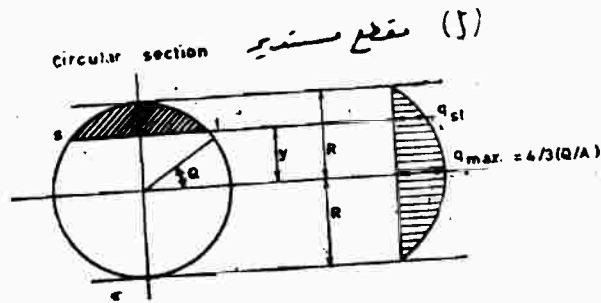
القص يساوى صفراً لإنعدام قيمة $\bar{Y}$ كما يتضح من الشكل رقم (٧ - ١٢) ، وتكون

$$q_{max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{A} : \text{قيمة إجهاد القص القصوى على المقطع}$$

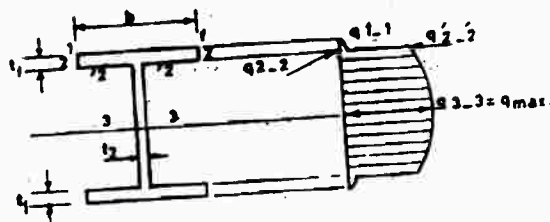
حيث $Q =$ قوة القص المؤثرة على المقطع ، $A =$ مساحة المقطع .

(ب) مقطع مستدير : شكل رقم (٧ - ١٢)

قيمة إجهاد قص الانحناء عند أى جزء st من المقطع المستدير تحت تأثير قوة القص Q :



(ب) مقطع على شكل I



توزيع إجهاد القص على بعض مقاطع الكمرات

شكل رقم (٧ - ١٣)

$$q = (4Q/3 \cdot \pi R^2) \cdot (1 - \sin \theta)$$

$$= (4/3 \cdot Q/\pi R^2) \cdot (1 - y^2/R^2)$$

وتمثل هذه المعادلة أيضاً قطع مكافئ رأسه عند خط التعادل x-x ونهايته عند نهايتي المقطع وتكون قيمة إجهاد قص الانحناء القصوى :

$$q_{max} = 4/3 \cdot Q/\pi R^2 = 4/3 \cdot Q/A$$

حيث: A = مساحة المقطع المستدير .

(ج) مقطع كمر I : (شكل ٧ - ١١)

يكون توزيع إجهاد قص الانحناء على المقطع بتطبيق القانون $\frac{Q \cdot y}{I_x \cdot b}$ لنقط المقطع

الرئيسية التي يحدث بها تغير وهي 1-1 ، 2-2 ، 2-2 ، 3-3 كما يأتي :

$$q_{1-1} = 0$$

$$q_{2-2} = Q \cdot b_{t1} \cdot (d_{t1})^2 / I_x b$$

$$q_{2-2} = Q \cdot b \cdot t_1 \cdot (d - t_1) / 2 / I_x \cdot t_1$$

$$= q_{2-2} \cdot h / t_2$$

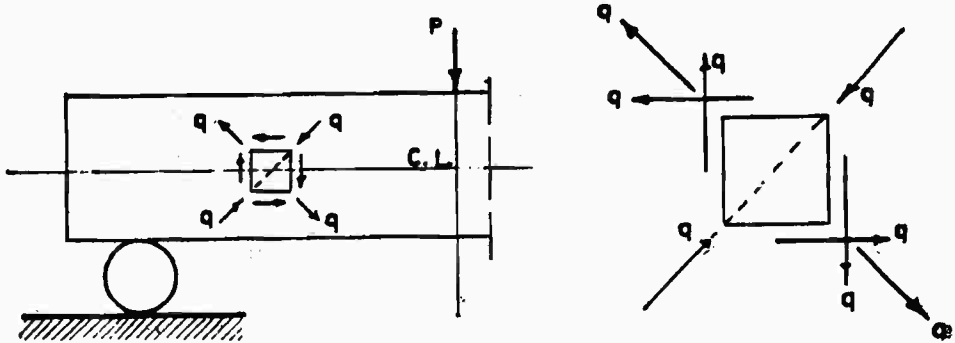
$$q_{3-3} = (Q / I_x \cdot t_2) \cdot [b t_1 (d - t_1) / 2 + (d / 2 - t_1) t_2 - (d_2 - t_1) / 2]$$

$$= q_{\max}$$

$$q_{\max} = (Q / I_x \cdot t_2) \cdot [b t_1 (d - t_1) / 2 + (d / 2 - t_1) t_2 - (d_2 - t_1) / 2]$$

ويكون توزيع إجهاد القص كما هو مبين بالشكل رقم (١٣ - ٧).

ويلاحظ أن قص الانحناء يولد إجهادات ضلعية قطرية بالكمرات وهي عبارة عن الإجهادات الرئيسية (Principal Stresses) وقد تكون إجهاد شد أو إجهاد ضغط كما يتبين من الشكل رقم (٧ - ١٤). وتكون تلك الإجهادات بقيمة عظمى تساوى قيمة قص الانحناء q ، لنقط التقاطع المستعرضة الواقعة عند خط التعادل. وتكبر قيمة الإجهادات الضلعية القطرية كلما كبرت قيمة q أى كلما قربنا من نقط الارتكاز للكمر.



شكل رقم (٧ - ١٤) قص الانحناء.

ثالثاً — اختبارات القص المباشر :

لانتص المواصفات القياسية لل مواد — وخصوصاً المعادن — على إجراء اختبار القص المباشر كاختبار قبول للمواد إلا في بعض حالات خاصة مثل المعادن التي تعمل في المنشأ كسامير برشام أو كأداة لوصل أجزاء المنشآت والمكائن ويقع عليها نص مباشر مفرد أو مزدوج وذلك لأنه يكتفى باختبار الشد الذي يعبر بكفاية عن خواص المعدن

وخصوصاً إذا لوحظ أن كسر المعدن في الشد يتسبب عن ضعف المعدن في تحمل القص. للمعادن المطيلة (أى أن مقاومة الشد تعبر ضمناً عن مقاومة القص عند مقارنة المعادن) كما يمكن تعيين مقاومة القص من حاصل ضرب مقاومة الشد في عامل معين قيمته حوالى ٠,٨. بالنسبة للمواد المطيلة.

كما يلاحظ أن المعادن القصيفة ضعيفة في مقاومة الشد عن مقاومة القص، فإذا تعرضت لقوى مختلفة مثل الشد والقص فسوف يتحكم في تصميمها وفى كسرها قوى الشد حيث أن مقاومة القص = ١ إلى ١,٣ × مقاومة الشد.

وليس هناك فى هذه الحالة ما يدعو إلى تعويض مثل هذه المواد للقص المباشر وبالتبعة لا يعمل إختبار قص مباشر على تلك المواد.

ويجرى إختبار القص المباشر للمعادن المطيلة كالصلب الطرى بتعرض العينة لقوى شد أو ضغط تسبب فيها قص مباشر مفرد أو مزدوج حسب الغرض من الاختبار وذلك كما يتبين من الشكل رقم (٧ - ١٥) والشكل رقم (٧ - ١٦).

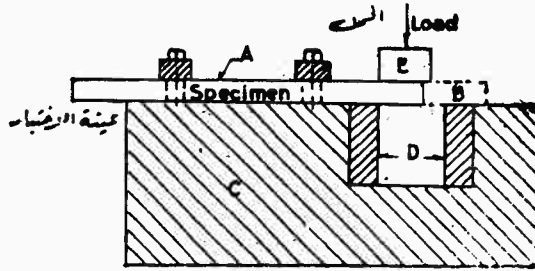
وتحسب مقاومة القص المباشر للمعدن المختبر وهى الاجهاد الاقصى للقص المفرد أو المزدوج بمعرفة حمل الكسر ومساحة المقطع المستعرض للجسم كما يلى :

$$q_{s.s.} = p_{max.} / A \quad \text{لقص المفرد :}$$

$$q = p_{max.} / 2A \quad \text{لقص المزدوج :}$$

ويلاحظ أن p تساوى تقريباً ضعف p وليس بالضبط نظراً لاختلاف حالة الارتكاز للعينة فى القص المفرد عنها فى المزدوج ولا تقاس قيمة الانفعال للقص المباشر لصعوبة تثبيت أجهزة القياس بالجسم المختبر وعدم دقة النتائج فى حالة إمكان قياس التشكل.

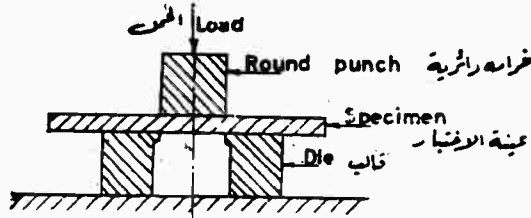
ويلاحظ أن مقاومة القص المباشر لا تعبر عن إجهاد القص الخالص للمعدن لأن القص المباشر يعرض مقطع معدن الجسم المختبر إلى قص مصحوباً بانحناء صغير وليس قص خالص كما أن إجهاد القص المباشر افترض فى تعيينه أن قوة القص موزعة بالتساوى على جميع نقط مقطع المعدن المختبر وذلك ليس صحيحاً تماماً ولكن به شيء من التقريب.



(a)

Johnson's shear tool for shear test of metals in round or rectangular stock.

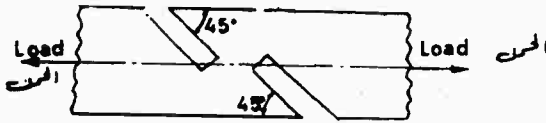
جهاز جونسون لاختبار القص للمعادن المستديرة أو المستطيلة



(b)

Shear test of plates.

اختبار القص لمواد مسطحة



(c)

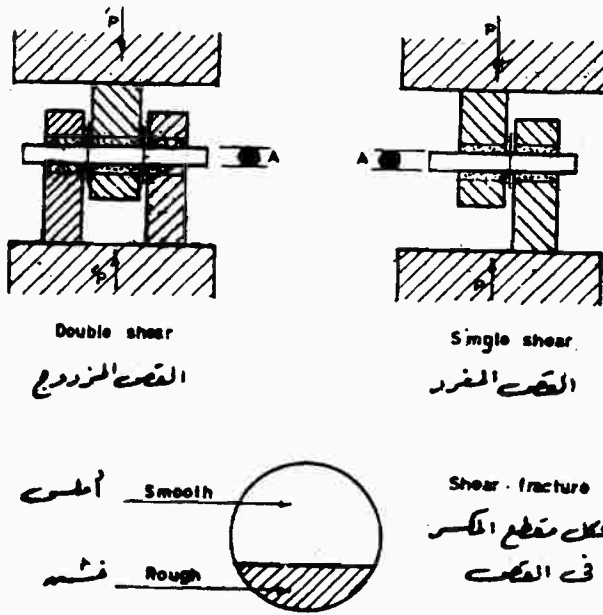
Slotted specimen for shear test of flat plates

عينة مشقوبة لاختبار القص للألواح المستوية

شكل رقم (٧ - ١٥)

لذلك فإن خواص المعادن الميكانيكية في القص لاتعين من اختبار القص المباشر وإنما تعين من اختبار الإلتواء (Torsion Test) لأن الإلتواء يسبب قص خالص كما سيتبين فيما بعد .

وإذا اختبرت عينة من الصلب الطرى ذات مقطع مستدير تحت تأثير القص المباشر حتى الكسر فإن مقطع الكسر يكون قاعاً في جزء منه وهو الجزء الذى حدث به



Direct shear test

اختبار القص المباشر

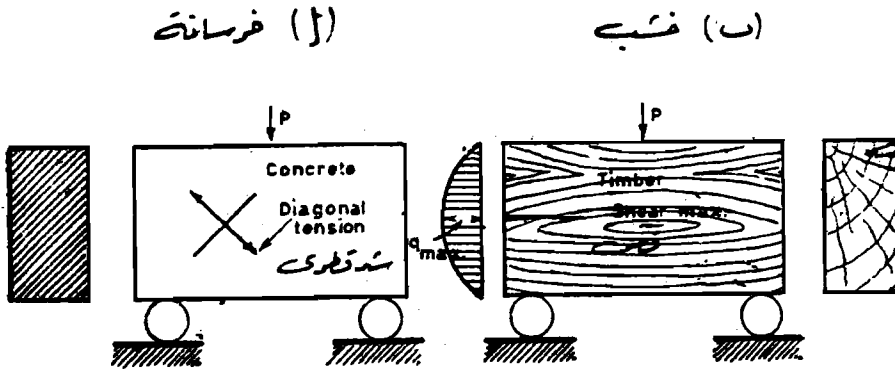
شكل رقم (٧ - ١٦)

تتميز وإنزلقت الجزيئات على بعضها مسببة نعومة الملمس ، أما جزء المقطع الآخر فيكون خشناً نتيجة عدم تحمل ذلك الجزء الحمل المؤثر وحدوث الكسر مباشرة تحت هذا الحمل مسبباً انفصال الجزيئات ويكون شكل مقطع المكسر كما في الشكل برقم (٧ - ١٦) .

وأيضا - اختبار قص الإنحناء :

لايجرى اختبار قص الإنحناء لمعرفة مقاومة المواد لقص الإنحناء ولكن يجرى اختبار الإنحناء كاختبار قبول تنص عليه المواصفات القياسية للمواد القصفة مثل الحديد الزهر والخرسانة والخشب كما سبق بيان ذلك ، وتعرض العينة المختبرة في الإنحناء ضمناً إلى قص الإنحناء ولكن القوى التي تسبب كسر العينة هي قوى الشد ومنها تحين مقاومة الإنحناء بحساب معايير الكسر . ولا تنكسر الكمثرات المختبرة من هذه المواد

بتأثير قص الإنحناء إلا إذا كان عمق الكمره كبيراً مع صغر المسافة بين نقطتي الارتكاز نسبياً وقد يكون الكسر بسبب إجهاد الشد الضلعى القطرى كما فى حالة الخرسانة أو بسبب إجهاد القص الأفقى للإجهاد كما فى حالة الخشب ويتبين ذلك من شكل رقم (١٧ - ٧)،



فتبار القص بالانحناء Shear due to bending

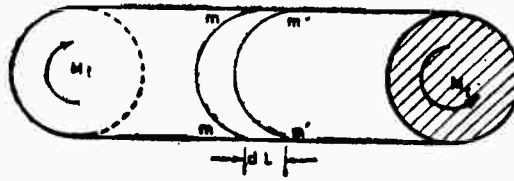
(أ) الكسر نتيجة إجهاد الشد القطرى (الخرسانة)
(ب) الكسر نتيجة إجهاد القص الأفقى (الخشب)

شكل رقم (١٧ - ٧)

خامس - التواء الاجسام ذات المقاطع المستعرضة الدائرية

(Torsion of Circular Cross Sections)

إذا أخذنا الجزء dl من محور إدارة (Shaft) معرض لعزم التواء M_t كما فى شكل رقم (١٨ - ٧)، وفرضنا أن المقطع المستعرض سيظل فى نفس مستواه بعد حدوث الالتواء، فإذا رسم الخطان ab ، cd موازياً لمحور هذا الجزء فإنها تصير بعد الالتواء ab' ، cd' باعتبار أن المقطع $(m - m)$ ثابت والمقطع $(m' - m')$ تعرض إلى التواء فحدث بذلك قص فى كل جزء من مقطع محور الإدارة، ويكون إنفعال القص (Shear Strain) كما يلى شكل رقم (١٩ - ٧).



شكل رقم (٧ - ١٨) عور لإداة مستدير المقطع معرض اعزم الالتواء

$$\frac{\text{إجهاد القص}}{\text{انفعال القص}} = \text{معايير المرونة في القص (أى معايير الجساءة)}$$

$$d\phi = qR/G$$

$$\text{But } d\phi = \frac{b'b}{a b} = \frac{R d\theta}{dL} = \frac{qR}{G}$$

$$\therefore d\theta = \frac{qR dL}{R \cdot G} = \text{Angle of twist in length } dL$$

$d\theta$ = زاوية الالتواء عن الطول dL

θ = زاوية الالتواء عن الطول L

$$\theta = \frac{qRL}{R \cdot G}$$

$$\text{i. e. } \frac{\theta}{L} \cdot G = \frac{qR}{R}$$

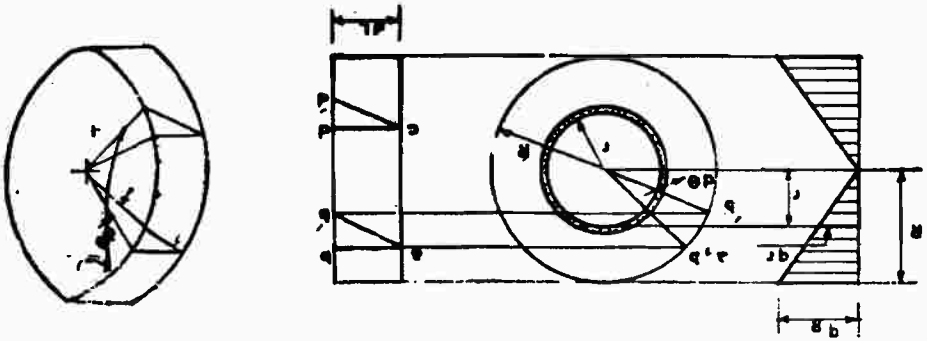
وهذه النتيجة باعتبار الإجهاد qR لاى جزء على محيط الدائرة التى نصف قطرها

R بالمقطع المستعرض .

$$\frac{\theta}{L} \cdot G = \frac{qR}{R} = \frac{qr}{r} \dots \dots \text{etc}$$

$$\text{i.e } \frac{qR}{R} = \frac{qr}{r} \quad \therefore \text{i.e } \frac{qR}{qr} = \frac{R}{r}$$

وينتج من ذلك أن إجهاد الالتواء q يتغير خطياً (Linearly) من خارج المقطع إلى داخله حيث يساوى قيمة عظمى عند جميع النقاط الخارجية للمقطع ويقل تدريجياً بتوزيع خطى حتى الصفر عند محور الجسم أى مركز المقطع أى أن إجهاد الالتواء فى حدود المرونة يكون متساوياً لجميع نقاط المقطع المستعرض الواقعة على



شكل رقم (٧ - ١٩) توزيع إجهادات الالتواء على المقطع المستدير

أى محيط حلقة بالمقطع ، شكل رقم (٧ - ١٩) فإذا كانت الحلقة نصف قطرها r وسمكها dr فإن قوة القص الواقعة على هذه الحلقة تحدث عزم إلتواء حول محور الجسم (مركز المقطع) يساوى :

$$\text{عزم إلتواء الحلقة} = q_r \cdot r \cdot (2 \pi r \cdot dr)$$

أى يساوى (نصف قطر الحلقة $\times$ إجهاد قص الالتواء $\times$ مساحة الحلقة) ، وبذلك يكون عزم الالتواء الكلى الناتج من جميع الحلقات المكونة للمقطع يساوى :

$$\text{عزم الالتواء الكلى للمقطع} = \int_0^R 2 \pi r \cdot dr \cdot q_r \cdot r$$

وهذا العزم لابد - نظراً للإتزان - أن يساوى عزم الالتواء الخارجى المؤثر به على الجسم M_t أى أن :

$$M_t = \int_0^R 2 \pi r \cdot dr \cdot q_r \cdot r = 2 \pi \int_0^R r^2 \cdot dr \cdot q_r$$

$$\text{وحيث أن } q_r = \left(\frac{q_R}{R} \right) \cdot r \text{ أى أن } \frac{q_R}{R} = \frac{q}{r}$$

$$M_t = 2 \pi \int_0^R r^3 \cdot dr \cdot \frac{q_R}{R} = \frac{q_R}{R} \cdot \frac{2 \pi r^4}{4} = J \cdot q_R / R$$

حيث J = عزم التصور الذاتى القطبى للمقطع (Polar Moment of Inertia)

$$i.e. = \frac{M_t}{J} = \frac{q_R}{R}$$

وحيث أنه يتبين من الدراسة السابقة أن : $\frac{\theta G}{L} = \frac{qR}{R}$

فإن العلاقة بين الاجهاد q والتشكل θ وعزم الالتواء M_t المؤثر على الطول L المقطع مستعرضاً بنصف قطر R تكون كالآتي :

$$\frac{\theta G}{L} = \frac{M_t}{J} = \frac{qR}{R} = \frac{qr}{r}$$

ومن هذه المعادلة يكون إجهاد الالتواء الأقصى لمحور إدارة ذى مقطع مستدير مصمت بقطر D كالآتي :

$$qR = (M_t \cdot R) / J = (M_t \cdot D/2) (\pi D^4 / 32)$$

$$q_{max} = (16M_t) / \pi D^3$$

ويؤثر هذا الاجهاد فى النقاط الطرفية المحيطة للمقطع (شكل ٧ - ٢٠)، أما فى حالة محور الإدارة ذى المقطع المستدير المجوف (Hollow circular section) فإن إجهاد الالتواء الأقصى يكون كالآتي (شكل رقم ٧ - ٢١) :

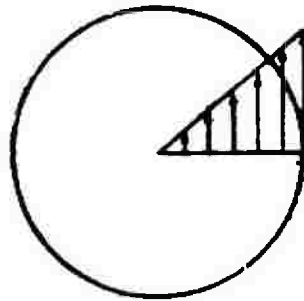
$$q = \frac{M_t}{\pi (D_1^4 - D_2^4) / 32} \cdot \frac{D_1}{2} = \frac{16 M_t \cdot D_1}{\pi (D_1^4 - D_2^4)}$$

وإذا كان محور الإدارة المجوف مستدير المقطع وسمكه (t) صغيراً بالنسبة لقطر D فإنه يمكن اعتبار أن فص الالتواء موزع بالتساوى على جميع نقط المقطع ويكون إجهاد الالتواء q ثابت لكل النقط وبالتبعية فإن عزم الالتواء يساوى :

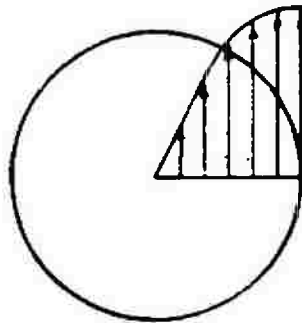
$$M_t = 2 \pi R q \cdot R$$

حيث $R =$ نصف القطر حتى منتصف السمك ويمكن إعتبارها $= \frac{D}{2}$ على أساس صغر قيمة t بالنسبة إلى قيمة D وعلى ذلك يكون إجهاد الالتواء q يساوى :

$$q = \frac{M_t}{2\pi R^2 \cdot t} = \frac{2M_t}{\pi D^2 t}$$



(a) All fibers in the elastic range
جميع الألياف في المدى المرن



(b) Outer fibers in the plastic range
الألياف الخارجية في المدى اللدن

شكل رقم (٧ - ٢٠)



$$\frac{\pi \cdot \frac{D_1^4}{4} \cdot \frac{D_2^4}{4}}{\pi \cdot \frac{D_1^4}{4} \cdot \frac{D_2^4}{4} + \frac{D_1^4}{4}} \cdot \frac{D_1^4}{4} = \frac{16 \cdot \frac{D_1^4}{4} \cdot \frac{D_2^4}{4}}{(\frac{D_1^4}{4} + \frac{D_2^4}{4})}$$

الاجهاد الأقصى للدواء في حالة محور الاذابة دي للقطع
المستدير المجوف

شكل رقم (٧ - ٢١)

سادسا - التواء الاجسام ذات المقاطع المستعرضة غير الدائرية

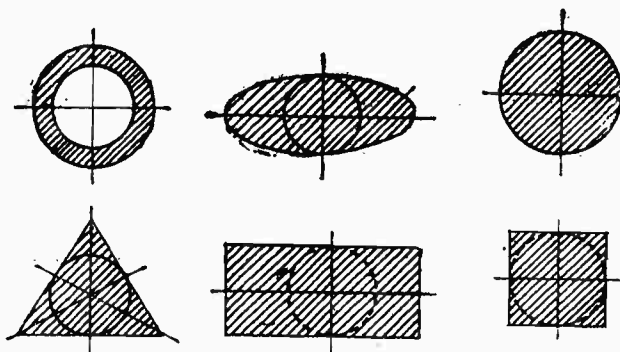
(Torsion of Non - Circular Cross Sections)

يبين الجدول رقم (٧ - ١) إجهاد الالتواء الأقصى وزاوية الالتواء المصاحبة له لبعض المقاطع المستعرضة :

جدول رقم (٧ - ١) - إجهاد الالتواء الأقصى وزاوية الالتواء

زاوية الالتواء θ	إجهاد الالتواء الأقصى τ_{max}	المقطع المستعرض
$32 / \pi d^4 \cdot M_t \cdot \ell / G$	$16 M_t / \pi d^3$	 مستدير Circular
$32 / \pi (d_1^4 - d_2^4) \cdot M_t \cdot \ell / G$	$16 M_t d_1 / \pi (d_1^4 - d_2^4)$	 مستدير مجوف Hollow circular
$\frac{16 (d_1^2 + d_2^2)}{\pi d_1^3 d_2^3} \cdot M_t \cdot \ell / G$	$16 M_t / \pi d_1 d_2^2$	 قطع ناقص
$7.11 / d^4 \cdot M_t \cdot \ell / G$	$4.8 M_t / d^3$	 مربع Square
$\frac{60 b}{1.5 b^3 d^3} \cdot M_t \cdot \ell / G$	$(3 + 1.8 \frac{d}{b}) \frac{M_t}{b d^2}$	 مستطيل Rectangle $b > d$ & $b < 6d$
$48 / d^4 \cdot M_t \cdot \frac{\ell}{6}$	$20 / d^3 \cdot M_t$	 مثلث متساوي الاضلاع Equilateral triangle

ملاحظة : يحدث إجهاد الالتواء الأقصى في أى مقطع عند القطر الطرفية الواقعة على أقل قطر للمقطع كما في شكل رقم (٧ - ٢٢) .



يحدث الاجهاد الأقصى للالتواء فى أى مقطع عند النقط الطرفية الواقعة على أقل قطر للمقطع المستعرض

شكل رقم (٧ - ٢٢)

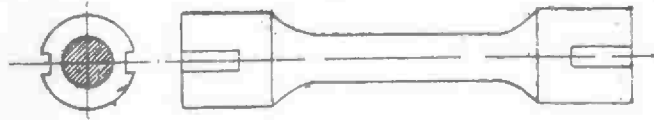
سابعاً - اختبار الالتواء

١ - عينة الاختبار :

لا توجد مواصفات قياسية لشكل وأبعاد عينة اختبار الالتواء ولكنها غالباً ماتكون دائرية للمقطع مع ملاحظة أن يكون قطر مقطع جسم عينة الاختبار أقل من قطر نهايتى العينة اللتين تركبان فى مكانة الاختبار تفادياً من حدوث الكسر عند إحدى النهايتين حيث يلزم لصحة نتائج الاختبار أن يكون الكسر بجسم العينة المختبرة . كما يلاحظ أيضاً أن يكون هناك تجاوىف بكل من النهايتين حتى يمكن تركيبها فى مكانة الاختبار لترتكز عليها العينة كما فى شكل رقم (٧ - ٢٢) .

ب - مكانة الاختبار :

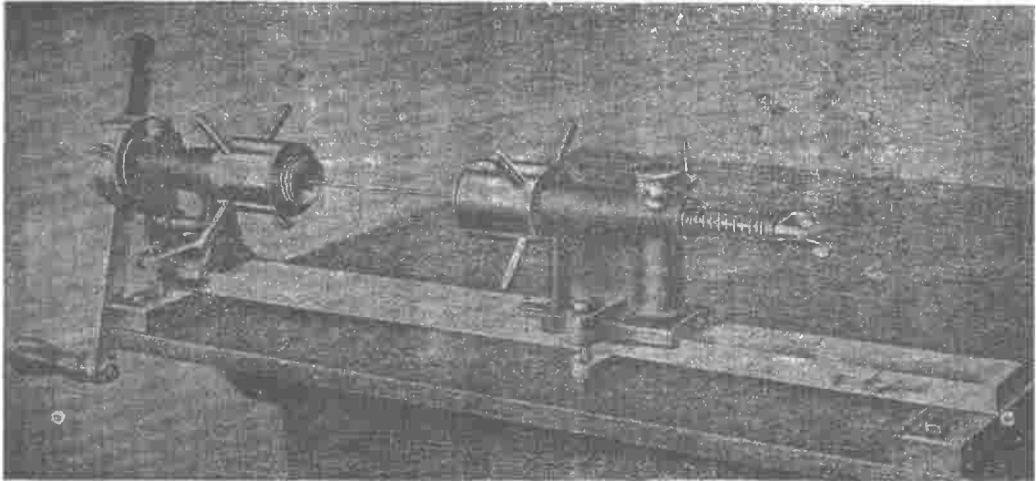
يجرى اختبار الالتواء على مكينات خاصة (أشكال ٧ - ٢٤ ، ٧ - ٢٥ ، ٧ - ٢٦) ذات فكين تركيب بينهما عينة الاختبار ، ويتحرك أحد هذين الفكين دائرياً محدثاً عزم إلتواء بالعينة ، أما الفك الآخر فيتمثل بثقل بندولى يعمل على موازنة عزم



Torsion test specimen

عينة اختبار الالتواء

شكل رقم (٧ - ٢٣)

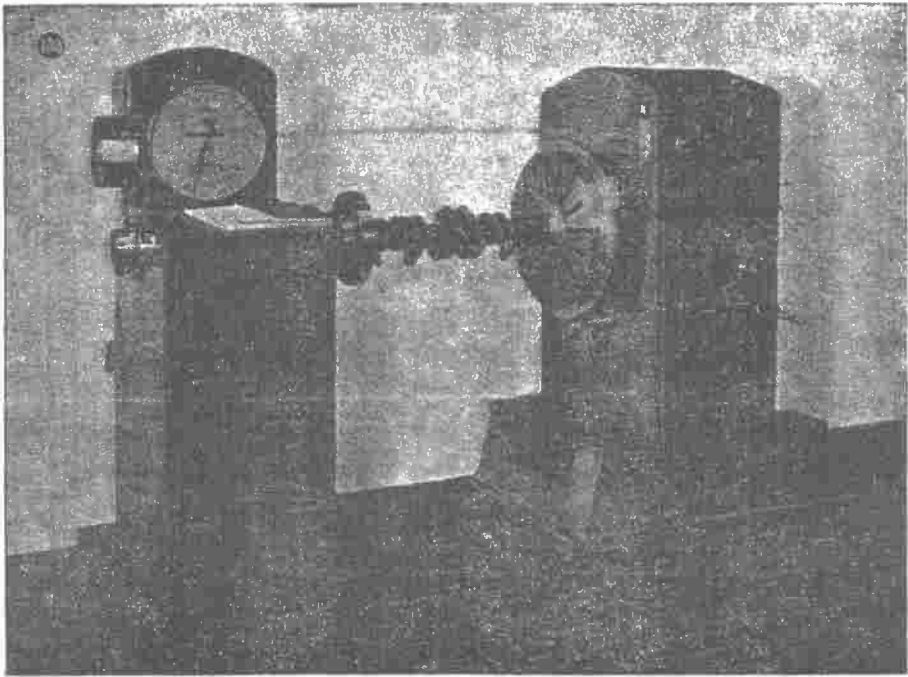


شكل رقم (٧ - ٢٤) مكنة اختبار الالتواء الاسلاك

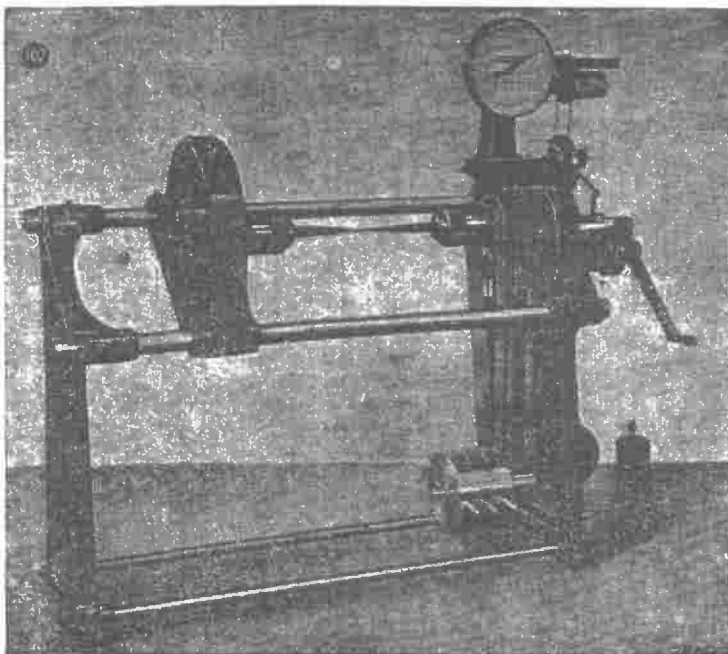
الالتواء المذكور ، وقد تستخدم أى طريقة أخرى لعمل تلك الموازنة عن طريق الفك الآخر ، ويوجد بالمكنة مقياس مدرج لبيان عزم الالتواء المؤثر به وأيضا مقياس لبيان زاوية الالتواء المصاحبة لهذا العزم .

ج - اجراء الاختبار .

يجرى هذا الاختبار على عينات من المعادن المختلفة وإن كان لا يستعمل غالباً لبيان مقاومة القص للمعادن القصيفة مثل الحديد الزهر لأن هذه المعادن إذا تعرضت لعزم الالتواء فإنها تكسر بالشد الضلعين القطري قبل أن يصل المعدن إلى مقاومته القصوى للقص . ويجرى اختبار الالتواء على المعادن القصيفة لبيان الخواص الميكانيكية الأخرى .

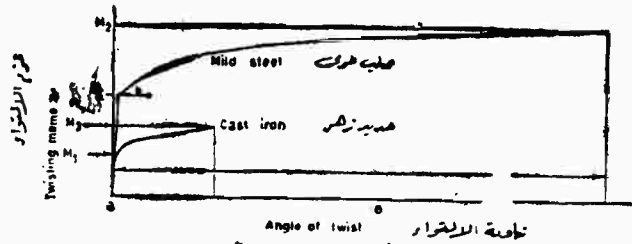


شكل رقم (٢٥ - ٧) مكينة اختبار الالتواء.



شكل رقم (٢٦ - ٧) مكينة اختبار الالتواء.

وتقاس أبعاد العينة وخصوصاً المقطع المستعرض ، أى قطر هذا المقطع للعينات المستديرة المقطع ، ثم يؤثر على العينة بعزم إنحناء (M_t) متدرج فى القيمة تبدأ من الصفر حتى تكسر العينة وتسجل زاوية الالتواء المصاحبة لكل عزم الالتواء (Θ) . وتستخدم هذه البيانات لعمل الرسم البياني للحمل والتشكل أى بين عزم الالتواء وزاوية الالتواء (Θ ، M_t) كما فى الشكل رقم (٧ - ٢٧) .



الرسم البياني لعزم الالتواء وزاوية الالتواء
(أى الحمل والتشكل)

شكل رقم (٧ - ٢٧)

٤ - الخواص الميكانيكية فى قص الالتواء :

تستخدم نتائج الاختبار لبيان وحساب الخواص الميكانيكية فى القص للمعدن المختبر وفيما يلى بيان تلك الخواص لعينات الاختبار ذات المقطع المستديرة :

١ - المقاومة المرنة للقص :

$$\frac{16 M_t}{\pi d^3} = \text{إجهاد القص المرن لجميع المعادن}$$

حيث d = قطر عينة الاختبار .

M_3 = عزم الالتواء عند حد المرونة .

M_1 = شكل رقم (٧ - ٢٧) .

٢ - المقاومة القصوى لقص الالتواء : (Ultimate Torsional Shear Strength)

نظراً لأن تعيين قيمة إجهاد قص الالتواء القصوى معقد حسابياً ولتسهيل الحصول على النتائج العملية بسرعة فقد عملت معادلات نتيجة إختبارات معملية لتكون بنفس

صورة معادلة إجهاد القص المرن . ولا تستند هذه المعادلات على أسس نظرية كإجهاد المرن وإنما على أسس نتائج عملية وهى كما يلي

$$q_{max} = 12Mt / \pi d^3 = 21 M_2 / \pi d^3$$

١ - المواد المطيلة :

حيث $M_1 =$ عزم الالتواء الذى يكسر العينة .

$M_2 =$ (شكل رقم ٧ - ٢٧) .

ب - للمواد القصية :

$$q_{max} = 14Mt / \pi d^3 = 14 M_3 / \pi d^3$$

حيث $Mt =$ عزم الالتواء الكاسر للعينة - M_3 (شكل رقم ٧ - ٢٧)

٣ - معايير الجساءة : (Modulus of Rigidity)

يعبر معايير الجساءة G عن صلابة المعدن ، أى مقاومته للتشكل بتأثير القص فكلما

زادت قيمة G كلما زادت صلابة المعدن ، وقيمة $G = \frac{\text{إجهاد القص}}{\text{انفعال القص}}$ فى حدود المرونة .

ويمكن تعيين قيمة G من المعادلات السابقة وهى .

$$\frac{\theta G}{L} = \frac{Mt}{J} = \frac{qR}{R}$$

$$G = \frac{Mt}{\theta} \cdot \frac{L}{J}$$

ملاحظة : L, J أعداد ثابتة تعبر عن طول العينة وأبعاد مقطعها كما يراعى أن

توضع قيمة (θ) فى المعادلة بالتقدير الدائرى لكي تكون الحسابات صحيحة* .

٤ - المبطولية :

تقارن بمطولية المعادن باستخدام اختبار الالتواء عن طريق زاوية الالتواء

القصوى θ_{max} وكلما كبرت هذه القيمة كلما كان المعدن أكثر بمطولية لأن المواد

المطيلة لها القدرة على التشكل الكبير (أى الالتواء الكبير) قبل الكسر بينما المواد

القصبة تنكسر بتأثير الإلتواء بزاوية إلتواء صغيرة نسبياً كما يقين من الشكل رقم (٧ - ٢٨) عند مقاومة الصلب الطرى بالحديد الزهر .

٥ - الرجوعية في الإلتواء :

تعين الرجوعية في الإلتواء من قيمة الطاقة التي قام بها الحمل المؤثر - حتى أقصى حمل مرن - عند مسار مسافة التشكل الحادث بالجسم ويساوى الحمل مضروباً في التشكل .
أى :

$$\text{الرجوعية} = \Theta \cdot \sum M_t \text{ (في حدود المرونة) .}$$

$$= \Theta \cdot M_t \cdot \frac{1}{2}$$

= مساحة المثلث تحت الخط المستقيم بالمنحنى البياني

للحمل والتشكل كما في الشكل (٧ - ٢٧) .

ويمكن حساب معايير الرجوعية بقسمة الرجوعية على حجم العينة المختبرة .

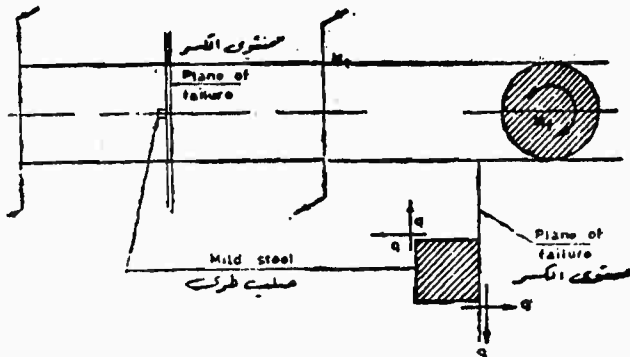
$$\text{معايير الرجوعية} = \Theta \cdot M_t \cdot \frac{1}{2} \div \text{الحجم}$$

٦ - المتانة في الإلتواء :

وهي قيمة طاقة الإلتواء المبذولة لكسر العينة المختبرة وتساوى المساحة الكلية تحت المنحنى البياني للحمل والتشكل شكل رقم (٧ - ٢٧) ، وتعين بطرق دقيقة أو تقريبية من الرسم البياني . ويعين معايير المتانة في الإلتواء بقسمة المتانة على حجم العينة المختبرة .

٥ - شكل كسر عينات الإلتواء :

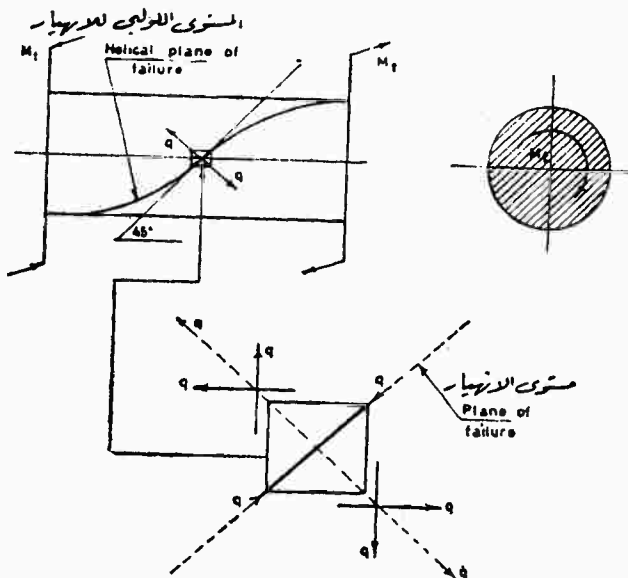
تنكسر عينات المعادن المطيئة في اختبار الإلتواء في مستوى عمودي على محور العينة أى على مستوى مواز للقطع المستعرض وذلك نتيجة تأثير قص الإلتواء كما يتضح من الأشكال رقم (٧ - ٢٨ ، ٧ - ٣٠ ، ٧ - ٣١) ، لأن هذه المعادن ضعيفة في إجماد القص عنها في إجهاد الشد أو إجهاد الضغط أى أن إجهاد القص هو الذى يتحكم في مدى مقاومة هذه المعادن للكسر .



انهيار المعادن المطيلة في اختبار الالتواء على مستوى عمودي على محور العينة نتيجة تأثير قص الالتواء

شكل رقم (٧ - ٢٨)

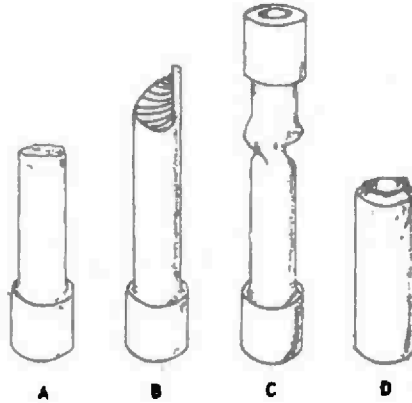
أما المعادن القصفة فتتكسر بالالتواء على شكل حلزوني (Helix) ناتج من كسرها على مستويات تماس سطحها وتعمل 45° مع محور العينة (أشكال رقم ٧ - ٢٩ ، ٧ - ٣٠ ، ٧ - ٣١) .



انهيار المعادن القصفة في اختبار الالتواء على شكل نتيجة كسرها على مستويات تماس سطحها

شكل رقم (٧ - ٢٩)

وذلك الكسر نتيجة تأثير إجهاد الشد الضلعى القطرى لأن هذه المعادن ضعيفة فى إجهاد الشد عنها فى إجهاد القص أو إجهاد الضغط أى أن إجهاد الشد هو الذى يتحكم فى مدى مقاومة هذه المعادن للكسر .



- A. Solid bar of ductile material. Fracture on plane right section.
 B. Solid bar of brittle material. Helicoidal fracture.
 C. Tubular specimen of ductile material. Failure by buckling.
 D. Tubular specimen of ductile material, short reduced section. Failure on plane right section.

١- قضيب صلب من مادة مطيلة . الكسر فى مستوى متعامد .
 ب- قضيب صلب من مادة قصفة . الكسر ملتوى .
 ج- عينة اختبار انضغابية من مادة مطيلة . الكسر نتيجة الانبعاج .
 د- عينة اختبار انضغابية من مادة مطيلة ولكن المقطع المنخفض قصير . الكسر فى سطح مستوى متعامد

شكل رقم (٧ - ٣٠) أشكال كسر عينات معدنية فى اختبار الانواء



(a) Ductile material in torsion.

مادة مطيلة بمذاختبار الالتواء



(b) Brittle material in torsion.

مادة قصفة بمذاختبار الالتواء



(c) Failure by buckling in torsion.

الكسرتبقية الانبعاج في اختبار الالتواء



(d) Ductile material in cold bend test.

مادة مطيلة بمذاختبار الشق على البارد



(e) Brittle material in bending.

مادة قصفة بمذاختبار الانحناء

TYPES OF FAILURE IN TORSION AND BENDING.

انواع الكسر في اختبارات الالتواء والانحناء

أمثلة محلولة

١ - احسب أقصى سمك للوح من الصلب يمكن عمل ثقب فيه قطره ٢ سم بواسطة سنبل أقصى إجهاد تشغيل له ٧٥٠٠ كجم / سم^٢ إذا كانت مقاومة القص لمادة اللوح ٣٧٠٠ كجم / سم^٢.

الحل :

بفرض أن سمك اللوح = س

$$\text{مساحة مقطع السنبل} = \frac{\text{ط} \cdot (٢)^2}{٤} = ٣,١٤ \text{ سم}^2$$

$$\text{أقصى حمل يؤثر به السنبل} = ٧٥٠٠ \times ٣,١٤ \text{ سم}^2 = ٢٣٥٠٠ \text{ كجم}$$

الحمل المؤثر به من السنبل على اللوح يقاوم بإجهادات قص من اللوح موزعة على مساحة = محيط السنبل × سمك اللوح .

∴ أقصى حمل بالسنبل = مقاومة القص لمادة اللوح × محيط السنبل × أقصى سمك اللوح .

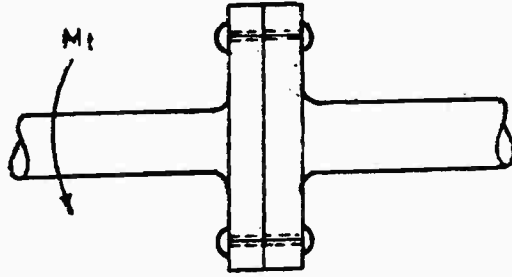
$$\therefore \text{أقصى سمك اللوح} = \frac{\text{أقصى حمل بالسنبل}}{\text{مقاومة القص لمادة اللوح} \times \text{محيط السنبل}}$$

$$= \frac{٢٣٥٠٠}{٢ \times \text{ط} \times ٣٧٠٠} = ٣,١٨ \text{ سم}$$

٢ - احسب عدد المسامير اللازمة لربط عمودين قطر كل منهما ٦,٥ سم وينقلان عزم التواء مقداره ٢٠٠٠٠ كجم . سم إذا كان إجهاد القص المسموح به من المسامير ٨٤٠ كجم / سم^٢ وقطر دائرة المسامير ١٨ سم وقطر المسامير المستعملة ١٩ مم - شكل رقم (٧ - ٢٢) .

الحل :

يتضح من شكل رقم (٧ - ٢٢) أن :



شكل رقم (٢ - ٢٢)

عزم الالتواء = قوة القص في كل مسبار $\times$ نصف قطر دائرة المسامير $\times$ عدد المسامير .
 قوة القص في المسبار = مساحة مقطع المسبار $\times$ إجهاد القص به .

$$ط(١,٩) = ٨٤٠ \times \frac{٢}{٤} = ٢٠٤٠ \text{ كجم}$$

$$\therefore \text{عدد المسامير} = \frac{\text{عزم الالتواء}}{\text{قوة القص في كل مسبار} \times \text{نصف قطر دائرة المسامير}}$$

$$٨ \text{ مسامير} = \frac{٢٠٠٠}{٩ \times ٢٠٤٠} =$$

٣ - أجرى اختبار الالتواء على قطعة اختبار من الصلب العرى مقطوعاً دائرياً أجوف - القطر الخارجى ٢ سم والقطر الداخلى ١ سم والطول المتوازي ٣٠ سم .
 وقد سجلت نتائج الاختبار حتى الكسر كما هو مبين في الجدول الآتى :

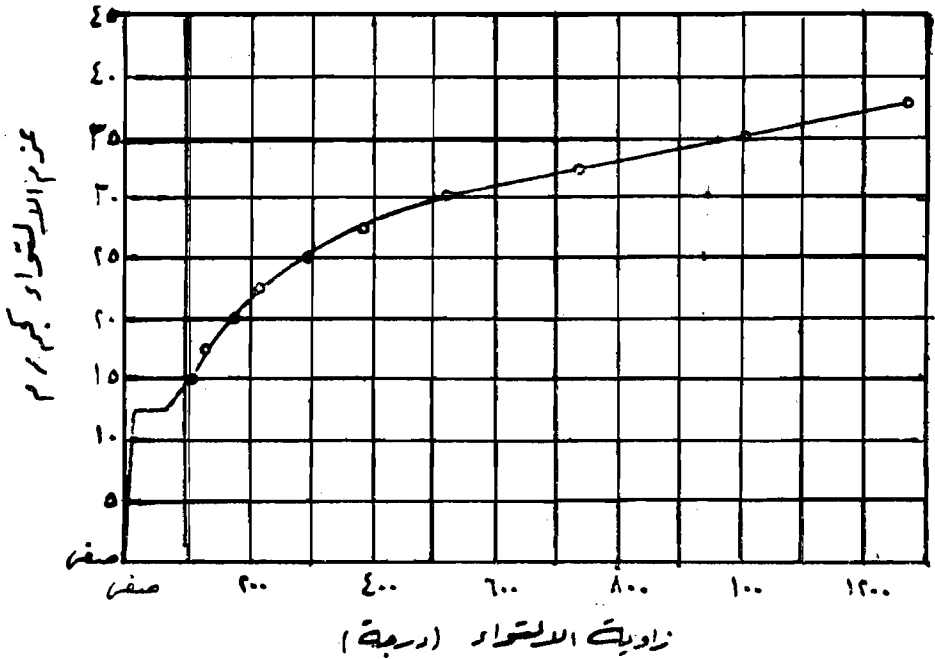
٥٣	٥٠	٤٥	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥,٨	٢٠	١٠	صفر	عزم الالتواء كجم متر
١٢٥٠	١١٢٠	٧٥٠	٣٥٠	١٠٠	٣٠	٣,٦	٢,٧٨	١,٢٩	صفر	زاوية الالتواء درجة

ارسم بياني عزم الالتواء وزاوية الالتواء . اعتبر كل ١ سم على محور عزم الالتواء يمثل ٥ كجم متر ، وكل ١ سم على محور زاوية الالتواء يمثل ١٠٠ درجة .
 ثم استخدم نتائج الاختبار في تعيين كل مما يأتى :

- ١ - إجهاد حد المرونة في القص .
- ب - إجهاد التشغيل في القص إذا كان عامل الأمان = ٣
- ج - معايير المرونة في القص .
- د - معايير الرجوعية في الالتواء .

الحل :

يبين شكل رقم (٧ - ٣٣) الرسم المطلوب للنحنى البياني لعزم وزاوية الالتواء ومنه يتبين أن :



شكل رقم (٧ - ٣٣) العلاقة بين عزم الالتواء وزاوية الالتواء

عزم الالتواء عند حد المرونة $(M_{te}) = ٢٥,٨$ كجم . متر

زاوية الالتواء عند حد المرونة $(\Theta_e) = ٣,٦$ درجة = $٠,٠٦٢٨$ رادي

كذلك فإن :

$$(J) \text{ عزم القصور القطبي للقطاع } = \frac{\text{ط (} \epsilon_1 - \epsilon_2 \text{)}}{٣٢} = ١٤,٧ \text{ سم}^٤$$

$$r_{سم}^{٢} ٧٠,٨ = ٣٠ \times \frac{(r_1 - r_2) ط}{\epsilon} = \text{حجم العينة}$$

$$\frac{16 M_{te} \cdot D}{\pi (D^4 - d^4)} = \text{١ - إجهاد حد المرونة في القص}$$

حيث D = القطر الخارجى للعينة

d = القطر الداخلى للعينة

$$\frac{٢ \times ١٠٠ \times ٢٥,٨ \times ١٦}{(r_1 - r_2) ط} = \text{٢. إجهاد حد المرونة في القص}$$

$$= ١٧٥٠ \text{ كجم / سم}^٢$$

$$\text{ب - إجهاد التشغيل في القص} = \frac{\text{إجهاد حد المرونة في القص}}{\text{عامل الأمان}}$$

$$= \frac{١٧٥٠}{٣} = ٥٨٣,٣ \text{ كجم / سم}^٢$$

$$G = \frac{M_{\tau\theta}}{\Theta_c} \cdot \frac{L}{I} = (G) \text{ معايير المرونة في القص}$$

$$٨٧٠٠٠٠ \text{ كجم / سم}^٢ = \frac{٣٠}{١٤,٧} \times \frac{١٠٠ \times ٢٥,٨}{٠,٠٦٢٨} = G \therefore$$

$$= ٨٧٠ \text{ طن / سم}^٢$$

$$\frac{\Theta_c \cdot M_{te} \cdot \frac{1}{r}}{\text{حجم العينة}} = \text{د - معايير الرجوعية في الالتواء}$$

$$= \frac{٠,٦٢٦ \times ١٠٠ \times ٢٥,٨ \times \frac{1}{r}}{٧٠,٨} = ٠,١١٥ \text{ كجم. سم / سم}^٢$$

٤ - أعمود أجوف دائرى طوله ١٥٠ سم وقطر مقطعه الداخلى يساوى نصف قطره الخارجى ومعرض لعزم التواء مقداره ٤,٨٣ طن. متر ومعيار الجساءة لمادته

يساوى $0,3 \times 10^4$ كجم / مم^٢ . والمطلوب حساب قطر مقطعه الخارجى على أساس المتطلبات الآتية :

- ١ - إجهاد القص المسموح به مقدار ٩ كجم / مم^٢ .
- ب - زاوية الالتواء المسموح بها مقدارها ١° فى طول يساوى عشرين مرة القطر الخارجى .

الحل :

إذا فرضنا أن القطر الخارجى للعمود D

∴ القدر الداخلى للعمود $D \frac{1}{4}$

- ١ - حساب القطر D على أساس إجهاد القص بالعمود لا يزيد على ٩ كجم / مم^٢ .

$$q = \frac{16 M_t D}{\pi (D^4 - d^4)} \quad \text{بحسب إجهاد القص } q \text{ من المعادلة :}$$

حيث $(d) = \text{القطر الداخلى} = D \frac{1}{4}$

$$\frac{D \times 10 \times 4,82 \times 16}{\left[\left(D \frac{1}{4} \right)^4 - \left(D \right)^4 \right]} = 9 \therefore$$

$$\therefore D = \frac{\sqrt[4]{10 \times 4,82 \times 16}}{0,9375 \times 9} = 143 \text{ مم}$$

- ب - حساب القطر الخارجى بحيث لا تزيد زاوية الالتواء فى طول مقداره $(D 20)$ على ١° :

$$\text{زاوية الالتواء المسموح بها} = \frac{\tau \times 1}{180} = \frac{\tau}{180} \text{ دائرى}$$

ولكن زاوية الالتواء = $\frac{\text{عزم الالتواء } (M_t) \times \text{طول العمود } (L)}{\text{عزم القصور القطبى } (J) \times \text{معاير الجساءة } (\theta)}$

$$\therefore \frac{D 20 \times 10 \times 4,82}{\left[\left(D \frac{1}{4} \right)^4 - \left(D \right)^4 \right]} = \frac{\tau}{180}$$

$$270 \text{ مم} = \frac{180 \times 32 \times 20 \times 710 \times 4,83}{(10 \times 0,3 \times 0,9375 \times 2)^2} \sqrt{\quad} = D.O.$$

٥ - عمود مركب مكون من جزء طوله ٦٠ سم من النحاس ملحوم في جزء طوله ٦٠ سم أيضاً من الألومنيوم وقطر كل من الجزئين ٦ سم فإذا كان إجهاد حد التناسب للنحاس = ١٠,٥ كجم / مم^٢ وإجهاد حد التناسب للألومنيوم = ١٥,٥ كجم / مم^٢ وعامل الأمان بالنسبة لهذين الإجهادين = ٢ ، وإذا كانت زاوية الالتواء المسموح بها في الطرف الحر لا تزيد على ١° . فالمطلوب حساب أكبر عزم التواء يمكن أن يتحملة العمود المركب إذا كان هذا العمود مثبتاً بإحكام عند الطرف الآخر للنحاس وكان معاير الجساءة للنحاس = ١٠ × ٠,٣٥ كجم / مم^٢ ومعاير الجساءة للألومنيوم = ١٠ × ٠,٢٨ كجم / مم^٢

الحل :

$$\text{إجهاد التصميم في حالة النحاس} = \frac{10,5}{2} = 5,25 \text{ كجم / مم}^2$$

$$\text{إجهاد التصميم في حالة الألومنيوم} = \frac{15,5}{2} = 7,75 \text{ كجم / مم}^2$$

حيث أن إجهاد القص في الالتواء يحسب من المعادلة :

$$q = \frac{16}{\pi} \frac{M_t}{d^3} \quad \therefore M_t = \frac{q \cdot \pi \cdot d^3}{16}$$

$$\therefore \text{عزم الالتواء المسموح به} = \frac{2(6) \times 2 \times 100 \times 5,25}{16}$$

$$= 22200 \text{ كجم.سم}$$

حساب عزم الالتواء المسموح به على أساس زاوية الالتواء المسموح بها = ١° عند الطرف الحر :

زاوية الالتواء عند الطرف الحر = زاوية الالتواء في الألومنيوم + زاوية الالتواء في النحاس .

تحتسب زاوية الالتواء في النحاس من المعادلة: $\Theta = \frac{M_t \cdot L}{J \cdot G}$

$$\therefore \text{زاوية الالتواء في النحاس} = \frac{60 \times M_t}{710 \times 0,35 \times \frac{1}{32} \pi}$$

$$\text{كذلك زاوية الالتواء في الالومنيوم} = \frac{60 \times M_t}{710 \times 0,28 \times \frac{1}{32} \pi}$$

$$\text{زاوية الالتواء الكلية} = \frac{\pi}{180} = \frac{\pi \times 1}{180}$$

$$\therefore \frac{60 \times M_t}{710 \times 0,28 \times \frac{1}{32} \pi} + \frac{60 \times M_t}{710 \times 0,35 \times \frac{1}{32} \pi} = \frac{\pi}{180}$$

$$\text{أقصى عزم التواء} = \frac{9,8 \times 10 \times \frac{1}{32} \pi \times \frac{1}{180}}{6,3 \times 60 \times 32 \times 180} = 0,760 \text{ كجم. سم}$$

$\therefore$ عزم الالتواء الذي يمكن للعمود أن يتحملة = 0,760 كجم. سم

٦ — أوجد القدرة بالحصان التي يحملها عمود مصمت قطره ١٥ سم يدور بسرعة ١٢٠ لفة في الدقيقة إذا كانت زاوية الالتواء مقاسة بين مقطعين البعد بينهما ٧,٥ متر هي $\frac{1}{32}$ بالتقدير النائري . وما هو أكبر إجهاد قص ناشئ عن عزم الالتواء ؟ إذا فرض أن معايير الجساءة = ٥٠٠ طن / سم^٢

الحل :

بحسب علم الالتواء على العمود M_t من المعادلة : $M_t = \frac{\Theta \cdot G}{L}$

$$\Theta = \frac{1}{32} \text{ دائرة} , \quad 1 = 7,50 \text{ متر} , \quad G = 7500 \text{ طن / سم}^2$$

$$J = \frac{\pi}{32} \cdot (15)^4 = 5000 \text{ سم}^4$$

$$\therefore \text{عزم الالتواء } M_t = \frac{5000 \times 1000 \times 750}{750} \times \frac{1}{10} =$$

$$= 22,2 \times 10^4 \text{ كجم. سم} = 2222 \text{ كجم. متر}$$

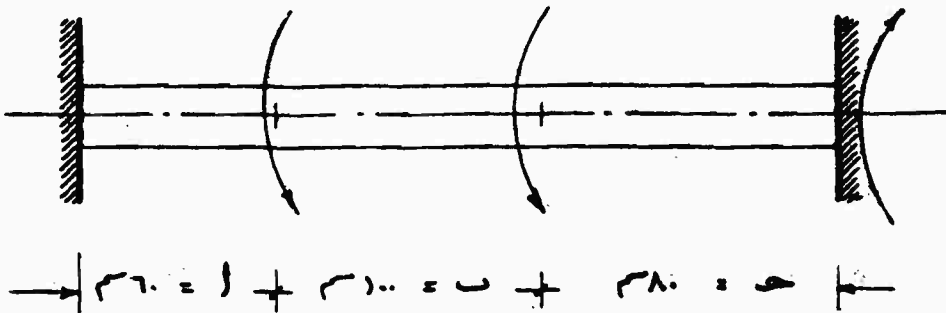
$$\frac{2 \times \text{ط} \times \text{عدد الدورات في الدقيقة}}{60} = \text{السرعة الزاوية (W)}$$

$$\epsilon = \frac{2 \times \text{ط} \times 120}{60} =$$

$$\frac{\text{عزم الالتواء} \times \text{السرعة الزاوية (W)}}{750} = \text{القدرة بالحصان}$$

$$\therefore \text{القدرة بالحصان} = \frac{2222 \times \epsilon}{750} = 56 \text{ حصان}$$

٧ - يبين شكل رقم (٧-٣٤) عمود مثبت عند نهايتيه ويتعرض لعزم الالتواء M_{t_1} ، M_{t_2} فإذا كان $M_{t_1} = 2000$ كجم . سم و $M_{t_2} = 4000$ كجم . سم والمسافة $a = 60$ سم ، $b = 100$ سم و $c = 80$ سم . احسب عزم الالتواء في كل جزء من أجزاء العمود .



شكل رقم (٧-٣٤)

الحل :

نفرض أن عزم الالتواء عند النهاية اليمنى من العمود (M_{tc}) ∴ عزم الالتواء في الجزء ج M_{tc}

$$(M_{tc} - 4000) = \text{ب د د د د د}$$

$$(N_{tc} - 6000) = \text{د د د د د د}$$

ثم تحسب زاوية الالتواء عند النهاية اليمنى كما يلي :

زاوية الالتواء عند النهاية اليمنى = مجموع زاويا الالتواء في الأجزاء ١ ، ب ، ح

$$\frac{100 \times (M_{tc} - 4000)}{G \times J} + \frac{60 \times (M_{tc} - 6000)}{G \times J} = \frac{80 \times M_{tc}}{G \times J}$$

ولكن زاوية الالتواء عند النهاية اليمنى يجب أن تساوى صفر لأنها نهاية ثابتة

(Fixed end)

$$\therefore 0 = 80 \times M_{tc} - 100 \times (M_{tc} - 4000) + 60 \times (M_{tc} - 6000)$$

$$76000 = 40000 + 26000 = M_{tc} \quad \therefore 240$$

$$\therefore M_{tc} = \frac{76000}{240} = 316.7 \text{ كجم.سم}$$

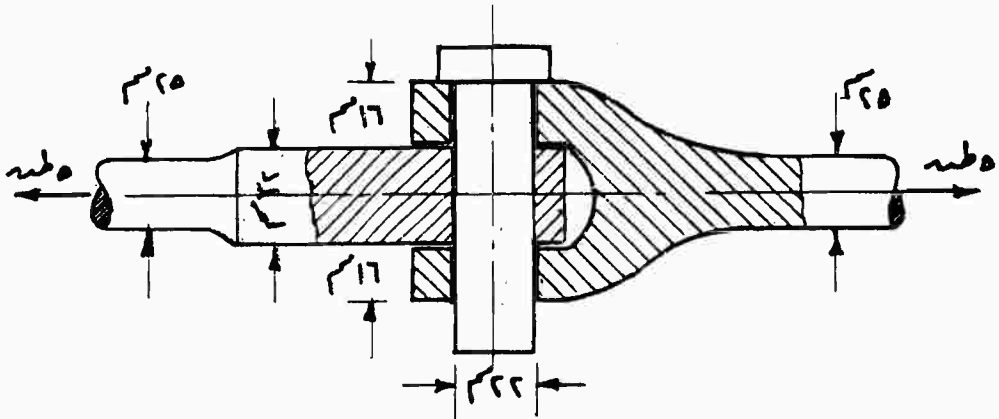
∴ عزم الالتواء في الجزء ح = ٣١٦٧ كجم . سم

$$6 \text{ د د د د د د } 822 = 3167 - 4000 = \text{ب كجم.سم}$$

$$6 \text{ د د د د د د } 1733 = 3167 - 6000 = \text{د كجم.سم}$$

مسائل

- ١ - وصلة تربط قضيبين قطر كل منهما ٢٥ سم كما في شكل رقم (٧ - ٣٥) .
تعرض للحمل شد محوري قدره ٥ طن . احسب اجهاد الشد في القضيبين واجهاد القص
البئر واجهاد التحميل بين البئر وجسم الوصلة .



شكل رقم (٧ - ٣٥)

- ٢ - وصلة مبرشمة في شداد بها ٧ مسامير برشام قطر كل منها ٢,٥ سم معرضة
لقص مزدوج . احسب مقاومة الوصلة للقص إذا كان اجهاد القص المفرد المسموح به في
مادة المسامير لا يزيد على ١ طن/سم^٢ . اعتبر قوة تحمل مسامير البرشام في القص المزدوج
١,٧٥ قوة تحمله في القص المفرد . واحسب مساحة مقطع الشداد عند أول مسامير ، إذا
كان اجهاد الشد المسموح به في مادة الشداد ١,٤ طن / سم^٢ .

- ٣ - أجرى اختبار الالتواء على قضيب من الصلب الطرى قطره ١٥ مم وطوله ١٥ سم
وكانت العلاقة بين عزم الالتواء M_t بالكيلو جرام . سم وزاوية الالتواء θ المصاحبة
له بالدرجات من بداية التحميل حتى الكسر كما يلي :

عزم الالتواء	صفر	٨٠٠	١٦٠٠	٢٠٠٠	٢٤٠٠	٢٨٠٠	٣٢٠٠	٣٥٠٠	٣٨٠٠	٤٠٠٠
زاوية الالتواء	صفر	٨	١٦	٤٠	١٠٠	٢٠٠	٣٠٠	٥٠٠	١٠٠٠	١٦٠٠

ارسم منحني الحمل والتشكل ثم عين ما يأتي :

- ١ - اجهاد القص المرن في الاتواء . ب - اجهاد القص الأقصى في الاتواء .
- ح - معايير المتانة في قص الاتواء .

ارسم شكل الكسر المتوقع في عينة الاختبار و اشرح سبب الكسر .

٤ - أجرى اختبار التواء على عينة معدنية مستديرة المقطع بقطر ٢٤ سم وكانت قيم عزوم الاتواء بالكيلو جرام . سم وزوايا الاتواء المقابلة لها بالدرجات كما يلي :

عزم الاتواء	صفر	١٠٠٠	٢٠٠٠	٢٥٠٠	٣٠٠٠	٣٥٠٠	٤٠٠٠	٤٢٥٠	٤٥٠٠
زاوية الاتواء	صفر	١٠	٢٠	٣٠	١٠٠	٢٠٠	٣٠٠	٦٠٠	٩٠٠

ارسم منحني الحمل والتشكل ثم عين ما يأتي :

لإجهاد حد التناسب في الاتواء - الاجهاد الأقصى في الاتواء - معايير للجساءة (G) للمعدن المختبر .

٥ - أوجد عزم الاتواء الذي يتحمله عمود مصمت قطره ٧,٥ سم إذا كان أكبر لإجهاد قص لمعدنه $= ٥٦٠$ كجم / سم^٢ . وما هي زاوية الاتواء في المتر إذا كان معايير المرونة في القص (G) $= ٨٤٠$ طن / سم^٢ .

٦ - أوجد طول عمود صلب قطره ٥ سم إذا كان أكبر لإجهاد قص يتحمله $= ٩٥٠$ كجم / سم^٢ وزاوية الاتواء المصاحبة لهذا الإجهاد $= ٦$ درجات .

٧ - عمود عبارة عن ماسورة قطرها الخارجى ١٥ سم وقطرها الداخلى ١٠ سم معرض إلى عزم التواء . ماهو أكبر عزم التواء يؤثر به على هذا العمود إذا كان لإجهاد القص الأقصى المسموح به في حدود المرونة ٨ كجم / سم^٢ . وما هي زاوية الالتواء بين مقطعين من هذا العمود البعد بينهما ٤ مترا .

وما قطر العمود المصمت المقطع إذا تعرض لعزم وكان لإجهاد القص الأقصى المسموح به في حدود المرونة ٨ كجم / سم^٢ أيضا .

ما هي النسبة بين وزن المتر الطولى للعمودين ؟

٨ - عمود مصمت من الصلب طوله ٦٠ سم . قطر العمود ٧,٥ سم في ٥٠ سم من

طوله ، والقطر في باقى طول العمود ١٠ سم ، عين عزم الالتواء الذى يمكن أن يحمل به
العمود بحيث لا تزيد زاوية الالتواء بين طرفى العمود عن درجة واحدة ولا يزيد
اجهاد القص فى العمود عن ٧٧٥ كجم / سم^٢ .

٩ — عين قطر عمود مصمت من الصلب ينقل ٢٠٠ حصان ويدور ٢٥٠ دورة
فى الدقيقة إذا كان اجهاد التشغيل فى القص ٨٤٥ كجم / سم^٢ . ثم عين القطر الخارجى
والقطر الداخلى لعمود آخر من الصلب يعمل تحت نفس الظروف بحيث تكون النسبة
بين قطره الداخلى إلى الخارجى ٣ : ٤ .

١٠ — تنتقل قدره ١٠٠ حصان إلى عمود طوله ٥ متر عن طريق طارة تبعد ٢
متر عن طرفه الأيسر وتبعد ٣ متر عن الطرف الأيمن . وتؤخذ قدرة ال ٧٠ حصان
من طارة عند الطرف الأيسر وقدره ٣٠ حصان من طارة عند الطرف الأيمن .
والعمود يدور بسرعة ١٠٠ لفة فى الدقيقة .

أوجد — ١ — قطر العمود بحيث لا يزيد اجهاد القص على ٦٦٠ كجم / سم^٢ .
ب — إذا استعمل عمود قطره ٨ سم . فأوجد زاوية الالتواء بين نهايتيه .
اعتبر (G) = ٨٤٠ طن / سم^٢ .

تمارين رقم (١٢)

اختبار القص المباشر على عينة من الصلب الطرى

١ - الغال :

يهدف هذا الاختبار إلى دراسة سلوك الصلب الطرى تحت تأثير كل من إجهاد القص المباشر المفرد وإجهاد القص المباشر المزدوج وملاحظة شكل الانهيار في كل حالة للعينات المختبرة .

٢ - عينة الاختبار .

يجرى الاختبار على قطعة بطول مناسب من أسياخ الصلب الطرى .

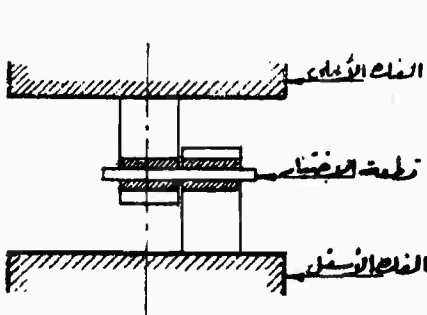
٣ - أدوات الاختبار .

مكنة اختبار عامة مجهزة بجزء خاص لإجراء اختبار القص المباشر .

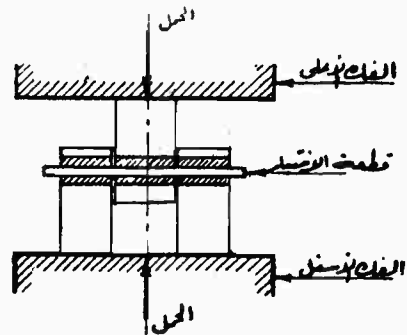
٤ - طريقة إجراء الاختبار .

أولاً : في حالة اختبار القص المفرد :

١ - يقاس قطر قطعة الاختبار ثم تثبت في مكنة الاختبار كما هو مبين في شكل رقم (٨ - ٣٦) بحيث عند ما تحمل العينة يتعرض قطاع واحد منها للقص .



اختبار القص المفرد



اختبار القص المزدوج

شكل رقم (٢ - ٣٦)

٢ — تحمل قطعة الاختبار تدريجياً حتى يحدث الكسر ويسجل حل الكسر .
 ثانياً : في حالة اختبار القص المزدوج :
 تكرر نفس الخطوات السابقة مع مراعاة تثبيت قطعة الاختبار في المسكنة بحيث
 عند ماتحمل يتعرض قطاعان منها للقص كما في شكل رقم (٧ - ٣٦) .
 • النتائج :

(١) تحسب مساحة قطعة الاختبار .

(ب) تحسب مقاومة القص لعينة الصلب المختبرة كما يلي :

$$١ - \text{من اختبار القص المفرد: مقاومة القص} = \frac{\text{مساحة المقطع المستعرض}}{\text{حل الكسر}}$$

$$٢ - \text{من اختبار القص المزدوج: مقاومة القص} = \frac{\text{ضعف مساحة المقطع المستعرض}}{\text{حل الكسر}}$$

٦ — مثال تطبيقية .

في اختبار القص المباشر على قطعة مستديرة المقطع من الصلب الطرى قطرهما ٨ مم
 كان حل الكسر المسجل من مكنة الاختبار كما يلي :

(أ) في حالة القص المفرد : حل الكسر = ١٤٥٠ كجم

(ب) في حالة القص المزدوج : حل الكسر = ٣٠٥٠ كجم

عين مقاومة القص للصلب الطرى المختبر .

الحل :

$$\text{مساحة مقطع قطعة الاختبار} = \frac{\pi \cdot (٨)^2}{4} = ٥٠ \text{ مم}^2$$

$$\text{مقاومة القص (القص المفرد)} = \frac{١٤٥٠}{٥٠} = ٢٩ \text{ كجم / مم}^2$$

$$\text{مقاومة القص (القص المزدوج)} = \frac{٣٠٥٠}{٥٠ \times ٢} = ٣٠,٥٠ \text{ كجم / مم}^2$$

النتيجة .

١ — هل يمكن اعتبار القص المباشر اختبار قبول للصلب الطرى ؟ لماذا ؟

٢ — اشرح لماذا يلزم إجراء اختبار القص المباشر للبعادن في بعض الحالات ؟

- ٣ — لماذا لا يصلح اختبار القص المباشر لاختبار المعادن القصفة .
- ٤ — اشرح كيف يمكن اجراء اختبار القص المباشر بالمعمل في حالة القص المفرد والقص المزدوج ؟ وضح اجابتك بالرسومات .
- ٥ — عين قيمة اجهاد القص المباشر المفرد واجهاد القص المباشر المزدوج لعينات الصلب الطرى المختبرة وبين هل تختلف كل قيمة منها عن الاخرى ؟ اشرح لماذا ؟
- ٦ — ارسم تخطيطا يبين العينات المختبرة بعد انهيارها تحت تأثير كل من القص المفرد والقص المزدوج .
- ٧ — هل يمكن تعيين قوة مقاومة الوصلات المبرشمة والوصلات الملحومة باختبار القص المباشر ؟ اشرح ذلك ووضح اجابتك بالرسومات .
- ٨ — هل يمكن تعيين الخواص الميكانيكية للمعادن فى القص باستخدام اختبار القص المباشر ؟ لماذا ؟

تمرين رقم (١٣)

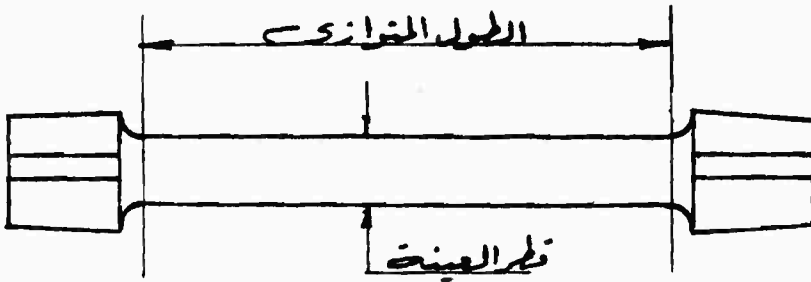
اختبار الالتواء على عينات من الصلب الطرى والحديد الزهر

١ - المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى دراسة سلوك الصلب الطرى والحديد الزهر تحت تأثير حمل الالتواء بتعيين الخواص الميكانيكية لكل منهما هذا التحميل كذلك بملاحظة مدى تغيير شكل العينات المختبرة بازدياد التحميل حتى الانهار بالكسر ثم ملاحظة شكل الكسر في كل حالة .

— عينة الاختبار :

يجرى الاختبار على قطعة مشككة من المعدن المراد اختباره ، وعادة تكون قطعة الاختبار دائرية المقطع ذات نهايات بقطر أكبر من وسطها وقد تكون هذه النهاية مربعة أو مستديرة المقطع بها تجويفين وذلك تبعاً لشكل فكي مكينة الاختبار المستعملة . شكل رقم (٧ - ٣٧) .



قطعة اختبار - الالتواء

شكل رقم (٧ - ٣٧)

٣ - أدوات الاختبار :

مكينة اختبار الالتواء .

طريقة إجراء الاختبار :

(أ) يقاس كل من قطر وطول الجزء الأوسط من قطعة الاختبار ثم تثبت نهايتها في فكي مكينة اختبار الالتواء .

(ب) تحمل قطعة الاختبار بتحريك أحد فكي مكينة الاختبار دائرياً إما يدوياً أو آلياً

بينما يكون الفك الآخر ثابتاً فيحدث إلتواء في قطعة الاختبار ثم يقاس كل من عزم الإلتواء (M_t) وزاوية الإلتواء (θ) المناظرة له .

(٣) يستمر في تحميل قطعة الاختبار تدريجياً على دفعات يقاس في كل منها عزم الإلتواء وزاوية الإلتواء وذلك حتى يحدث الكسر . وتسجل أثناء الاختبار كل من عزم الإلتواء وزاوية الإلتواء المقابلة له في جدول كالتالي :

								عزم الإلتواء (كجم . م)
								زاوية الإلتواء (درجة)

٥ - النتائج :

ترسم العلاقة البيانية لعزم الإلتواء وزاوية الإلتواء من النتائج المسجلة في الجدول السابق ، ومن هذه العلاقة يمكن حساب الخواص الميكانيكية للبعدن المختبر في قص الإلتواء كما يلي :

$$q_0 = \frac{16 M_{te}}{\pi d^3} \quad (١) \text{ المقاومة المرنة للقص } (q_0) :$$

حيث d = قطر قطعة الاختبار ، M_{te} = عزم الإلتواء عند حد المرونة .
(ب) المقاومة القصوى لقص الإلتواء (q_{max}) :

$$q_{max} = \frac{12 M_{max}}{\pi d^3} \quad ١ - \text{ للبعادن المطيئة}$$

$$q_{max} = \frac{14 M_{max}}{\pi d^3} \quad ٢ - \text{ للبعادن القصيفة}$$

حيث M_{max} = عزم الإلتواء عند الكسر

$$G = \frac{M_t}{\theta} \cdot \frac{L}{J} \quad (ج) \text{ معايير الجساءة } (G) :$$

حيث M_t = عزم الإلتواء في أى لحظة داخل حدود المرونة .

θ = زاوية الإلتواء المناظرة له بالتقدير الدائري .

$L =$ طول قطعة الاختبار المعرض للالتواء

$J =$ عزم القصور القطبي لمقطع العينة

(و) المطلوبة :

يمكن مقارنة مطولية المعادن من نتائج اختبار الالتواء بواسطة أقصى زاوية إلتواء تحدث بعينة المعدن (Θ_{max}) ، فكلما كبرت قيمة (Θ_{max}) كلما كان المعدن أكثر مطولية .

(هـ) الرجوعية في الالتواء :

الرجوعية $= \Theta_0 \cdot M_{te} \cdot \frac{1}{2}$

حيث $M_{te} =$ عزم الالتواء عند حد المرونة

$\Theta =$ زاوية الالتواء المناظرة له بالتقدير الدائري

ومعايير الرجوعية $= \frac{\text{الرجوعية}}{\text{حجم العينة}}$

(و) المائة في الالتواء :

المائة $=$ المساحة تحت منحنى عزم الالتواء وزاوية الالتواء محسوبة بأى طريقة تقريبية أو صحيحة .

معايير المائة $= \frac{\text{المائة}}{\text{حجم العينة}}$

٦ - مثال تطبيقي :

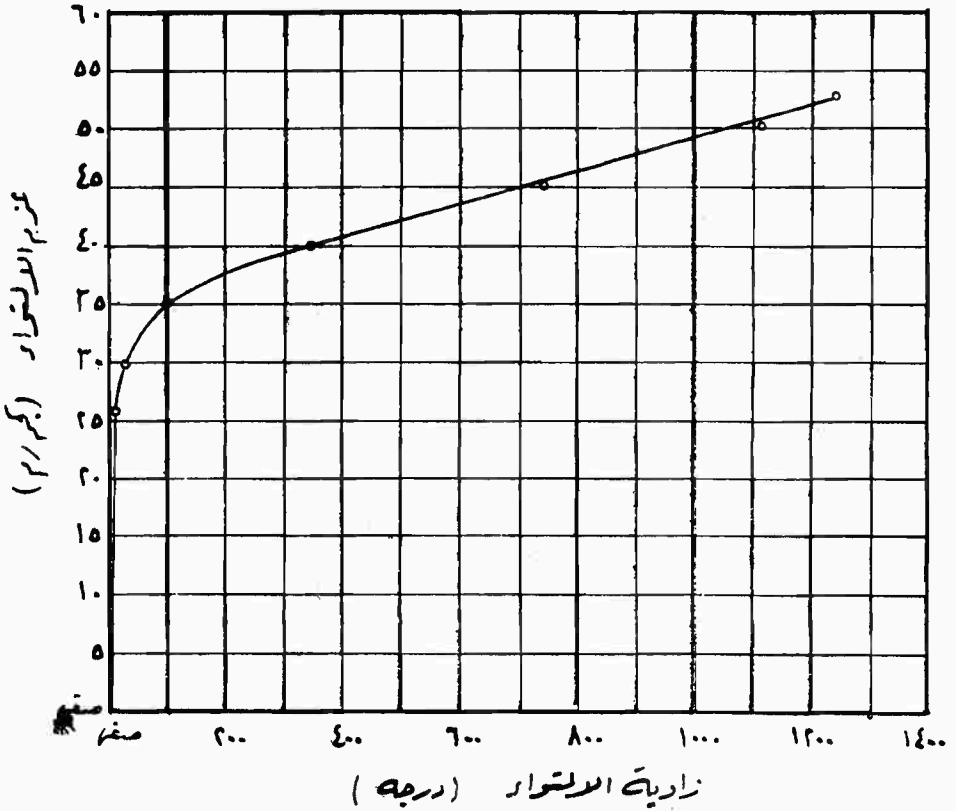
النتائج المبينة في الجدول التالى تبين قراءات عزم الالتواء وزاوية الالتواء المقابلة له المسجلة عند اختبار عينة من الصلب الطرى في الالتواء :

١٧,٥	١٥	١٢,٥	١٠	٧,٥	٥	٢,٥	صفر	عزم الالتواء (كجم . م)
١٢٤	١٠٤	٢,٧٥	٢	١,٥	١	٠,٥	صفر	زاوية الالتواء (درجة)
٢٧,٥	٢٥	٢٢,٥	٢٠	٢٧,٥	٢,٥	٢٢,٥	٢٠	عزم الالتواء (كجم . م)
١٢٧٦	١٠١٢	٧٤٠	٥٢٤	٣٨٨	٢٩٦	٢١٦	١٧٦	زاوية الالتواء (درجة)

فإذا كان قطر قطعة الاختبار = ١٨ مم وطولها ١٨٠ مم ، المطلوب رسم منحنى عزم الإلتواء وزاوية الإلتواء وتعيين الخواص الميكانيكية للصلب الطرى فى قص الإلتواء .

الحل :

يبين شكل رقم (٧ - ٣٨) المنحنى البياني المطلوب ويتضح منه ما يلى :



شكل رقم (٧ - ٣٨) العلاقة بين عزم الإلتواء وزاوية الإلتواء

عزم الإلتواء عند حد المرونة (M_{re}) = ١٢,٥ كجم . م

زاوية الإلتواء عند حد المرونة (θ_r) = ٢,٥° = ٠,٠٤٣٥ دائرى

عزم الإلتواء عند الكسر (M_{max}) = ٣٧,٥ كجم . م

زاوية الإلتواء عند الكسر (θ_{max}) = ١٢٧,٦° = ٢,٢٣ دائرى

$$\therefore \text{المقاومة المرنّة للقص} = \frac{1000 \times 12,5 \times 16}{(18)^2 \cdot \text{ط}} = 10,9 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{المقاومة القصوى للقص الالتواء} = \frac{1000 \times 37,5 \times 12}{(18)^2 \cdot \text{ط}} = 24,5 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{عزم القصور القطبي لقطع العينة} = \frac{(18)^4 \cdot \text{ط}}{32} = 10250 \text{ مم}^4$$

$$\therefore \text{معايير الجساءة (G)} = \frac{180}{10250} \times \frac{1000 \times 12,5}{0,0435} = 5000 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{أى أن معايير الجساءة (G)} = 500 \text{ طن/سم}^2$$

$$\text{معايير الرجوعية} = \frac{0,0435 \times 1000 \times 12,5 \times \frac{1}{4}}{180 \times \frac{(18)^2}{4}} = 0,00547 \text{ كجم/سم}^2$$

$$\text{معايير المتانة} = \frac{22,2 \times 1000 \times \left(\frac{37,5 + 12,5}{2} \right)}{180 \times \frac{(18)^2}{4}} = 12,25 \text{ كجم/سم}^2$$

٧ - النتيجة

- (١) هل يحدث حمل الالتواء حالة قص خالص بعينة الاختبار؟ لماذا؟
- (٢) ما هو الفرض من إجراء اختبار الالتواء للبعادن؟
- (٣) ما هي الخواص الميكانيكية في القص التي يمكن تعيينها من اختبار الالتواء؟ اشرح كيف يمكن تعيين كل خاصية من واقع القراءات العملية لاختبار الالتواء
- (٤) ارسم تخطيطياً عينات الاختبار للصلب الطرى والحديد الزهر المستخدمة في اختبار الالتواء.

- (٥) ارسم المنحنى البياني للحمل والتشكل لكل من عينة الصلب الطرى والحديد الزهر تحت تأثير الالتواء (المنحنى البياني لعزم الالتواء وزاوية الالتواء)

ثم بين الفرق بين كل منهما وخصائصهما وأسباب تواجد تلك الفروق .
٦ — عين لكل من عينة الصلب الطرى والحديد الزهر المختبرة تحت حمل الالتواء
ما يأتي :

(١) المقاومة المرنة لقصر الالتواء (ب) المقاومة القصوى لقصر الالتواء

(ح) زاوية الالتواء القصوى (د) معيار الجساءة G

(هـ) معيار الرجوعية في الالتواء (و) معيار المتانة في الالتواء

٧ — ارسم تخطيطيا شكل انهيار عينة الصلب الطرى وعينة الحديد الزهر في الالتواء
و بين سبب الانهيار بالكسر بذلك الشكل .

٨ — ما هي الخواص التي تستنتج من هذا الاختبار وتكون ذات دلالة هامة بالنسبة
لاختيار الصلب اللازم للبايات الحلزونية (Coil helical springs) كذلك
بالنسبة لاختيار الصلب اللازم لتضبان الإدارة (Shafts) .