ا

اسم المادة: خواص المواد الهندسية

عدد الساعات الاسبوعية: ٢ نظري - ٢ عملي

عدد الوحدات : ٤

المصدر المعتمد : خواص المواد الهندسية واختباراتها (ا.د. محمود امام- ا.م.د. محمد مهدي- د. محمد امين)
وصف المادة: تختص هذه المادة بدراسة سلوك وخواص المواد والفحوصات التي تجري عليها تحت تـأثير الأحمال والظروف المختلفة. حيث ان المواد الهندسية هى التى تكون الكيان الرئيسي للأعمال الهندسية المختلفـة. علـى ذلك يجب دراسة الخواص العامة للمواد الهندسية وخاصة تلك التي تتعلق بعمل المهندس المدني لتساعده في اختيار أفضل هذه المواد وانسبها لتتماشى مع ظروف استخدامها فى جميع الأعمال الهندسية المطلوبة وايجاد الحلول للمشاكل التي قد تحدث اثناء العمل.

مخرجات المادة: تمكن الطالب من أن يكون على دراية ومعرفة تامة بتصنيف المواد وخواصها المختلفة ومدى مقاومتها للأنواع المختلفة من الاحمال وكذلك مدى مقاومتها للعوامل المعرضة لهـا مع الزمن لذلك يتطلب دراسة القواعد والقوانين والنظريات التى تتحكم فى اختلاف عمـل المواد الهندسية وخواصها تحت تأثير العوامل المختلفة ودراسة تلك المـواد الهندسـية تطبيقيـا وعمليا.

١- المواد الهندسية وخواصها واختباراتها

مقدمة

ان المواد الهندسية هى التى تكون الكيان الرئيسي للأعمال الهندسية المختلفة, على ذلك يجب المعرفة الدقيقة لانواع المواد المختلفة وبحث دراسة خواصها وإمكانية اختيار أفضل هذه المواد وانسبها لتتماشى مع ظروف استخدامها فى جميع الأعمال الهندسية المطلوبة وكذلك امكانية تطويرها. ومن هنا نرى أن المهندسين والباحثين مع اختلاف تخصصاتهم لابد لهم من التعامل مع المواد الهندسية بقدرة وكفاءة عالية فى جميع خطوات أي عمل هندسى مطلوب تنفيذه للوصول به لأعلى المستويات التقنية والفنية.

تقسيم المواد الهندسية

المقصود بالمواد الهندسية أنها المواد التى تستخدم فى الأعمال والحالات المختلفة سواء للمنشآت مثل الأحجار والطابوق والمواد الأسمنتية والركام الناعم والخشن والأخشاب والبلاستك والمعادن والزجاج والمواد العازلة.....وغيرها كذلك تلك المواد المستخدمة فى الصناعة والماكينات مثل الحديد والنحاس والألومنيوم... الخ، أو المواد المستخدمة فى أعمال الصيانة مثل مواد الطلاء، وكذلك المواد التى تستخدم لتوليد الطاقة مثل الماء والمواد البترولية ومواد الطاقة الذرية. ومايهمنا هنا في الهندسة المدنية هو النوع الاول من المواد.

❖ **تقسم المواد الهندسية حسب تصنيفات متعددة كما يلي:**

ا. تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها.
ب - تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها.
ج- تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية.

ا. تقسيم المواد حسب طبيعة تركيبها

1. **المواد المعدنية:-**
   - معادن حديدية: مثل الحديد الصلب والحديد الزهر والحديد المطاوع
   - معادن غير حديدية: هى معادن ثقيلة مثل النحاس والنيكل ومنها معادن خفيفة مثل الألومنيوم والماغنسيوم ومعادن طرية مثل الصفيح والرصاص.
2. **المواد غير المعدنية:-**
   - مواد البناء: مثل الأحجار والطابوق و الركام والخرسانة والأسمنت والجبس والأ خشاب... وغيرها.
   - مواد متنوعة: مثل المطاط والبلاستيك والفوم والاصباغ... الخ.
3. **المواد المولدة للطاقة:-**

مثل الماء والفحم والمواد البترولية واليورانيوم... وغيرها.

ب. تقسيم المواد حسب مصادر الحصول عليها

1. **مواد من مصادر طبيعية:-** يمكن تقسم المواد الطبيعية إلى مواد طبيعية ليس لأى يد بشرية دخل فى تكوينها أو تغير خواصها , ومواد مستخلصة.
   - **المواد الطبيعية :-** هى المواد التى تستخدم بنفس بنيانها وخواصها كما هى بالطبيعية مثل الأحجار والركام بأنواعه والمواد البترولية والأخشاب.
   - **المواد المستخلصة :-** هى المواد التى تستخلص ويتم استخدامها من الخامات الطبيعية مثل الحديد والنحاس وبعض المنتجات البترولية والذهب والألومنيوم.
2. **مواد من مصادر صناعية:-** هى المواد ونظائرها التى يتم تصنيفها من خامات طبيعية أو خامات مصنعة ومجهزة فى المعامل أو المصانع بغرض الحصول على مواد هندسية مصنعة ذات خواص معينة تلائم

العمل المصممة من أجله، مثل مواد الطلاء ومواد العزل والطابوق وسبائك المعادان و الأسمنت..... وغيرها.

3. **مواد من مخلفات الاعمال الهندسية و الصناعية :-** هى المواد التى تنتج وتتخلف بشكل ثانوى من مراحل تصنيع الأعمال الهندسية والصناعية مثل خبث الأفران ونواتج الاحتراق والمخلفات البترولية ومخلفات أعمال المبانى من الطابوق وبلاط وسيراميك، وتلك المخلفات كلها يمكن استخدمها فى أعمال هندسية اخرى مثل صناعة الأسمنت الحديدى وأعمال العزل وبعض أنواع من الطابوق والخرسانات... الخ.

ج- تقسيم المواد حسب خواصها الميكانيكية

الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التى تدرس سلوك المواد وخواصها لذلك يمكن تقسيم المواد الهندسية من حيث خواصها الميكانيكية إلى مواد مطيلية ومواد نصف مطيلة ومواد قصيفة.

1. **المواد المطيلية Ductile:-**

هى المواد التى يتغير شكلها أو يمكن أن يحدث لها استطالة بتأثير الأحمال المختلفة التى تؤثر عليها وتكون خاصية المرونة والممطولية لها عالية وكذلك مقاومتها للشد عالية مثل الحديد المطاوع والألومنيوم...وغيرها من المواد المعدنية.

2. **المواد القصيفة Brittle:-** هى المواد التى تكون مقاومتها للشد ضعيفة ولا تقاوم أحمال الصدم ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل مناسب مثل الطابوق والأحجار والخرسانة والزجاج والحديد الزهر... وغيرها من المواد المعدنية والغير معدنية.
3. **المواد النصف مطيلية Semi-Ductile:-** هى المواد التى خواصها تجمع بين خواص المواد المطيلة من حيث قدرتها على المطيلية بدرجة أقل وخواص المواد القصيفة بتحسين ظاهر فى خواص المرونة. وهذه المواد هى الصلب الكربونى والنحاس الأصفر.

اختبار المواد الهندسية :- اختبار المواد الهندسية هو قياس مدى صلاحية استخدام المواد لاستعمالها فى الأغراض المتنوعة المعينة. وعليه نجد أنه من أهم أغراض اختبار المواد هو المساعدة على إظهار مدى مقاومة واحتمال المواد تحت ظروف العمل المختلفة لأى عمل هندسى مطلوبة لأجله.

المتطلبات المختلفة التى تتحكم فى اختيار المواد

الخواص العامة للمواد الهندسية

خواص المواد هي المقاييس والمعايير المحددة التى تصف جودة المواد، وتفيد الخواص فى اعتبارها أنها الأساس الذي يضع به المهندس المصمم احتياجاته للمادة واختيار انسبها فى الأعمال الهندسية المختلفة. ولكى نكون على دراية ومعرفة دقيقة بمادة من المواد يجب علينا تعيين خواص تلك المواد تحت أى ظروف وذلك لضمان الحصول على كافة البيانات والمعلومات عن هذه الخواص والتى تؤثر بشكل مباشر على قيمة الأعمال المستخدم فيها هذه المواد فنيا واقتصاديا. ومن هنا يجب أن نتعرف على الخواص المميزة للمواد الهندسية:

- **الخواص الطبيعية**:- تتميز الخواص الطبيعية للمواد بمعرفة خواصها عن الأبعاد واللون والشكل والوزن النوعى والوزن الحجمى والمسامية والتركيب الجزيئى والبلورى ... الخ
- **الخواص الكيمياوية**:- تتعلق الخواص الكيميائية بالتركيب الكيميائى للمادة وتعيين الأس الهيدروجيني لمعرفة القاعدية والحامضية، ومعرفة أيضا مقاومة التآكل بالصدأ، تحديد نسب المواد الغريبة والشوائب الموجودة فى المواد للحكم على ضبط جودة استخدامها
- **الخواص الحرارية**:- هى الخواص التى توضح تأثير الحرارة على المواد منها تحديد الحرارة النوعية والتوصيل الحرارى ومعاملات التمدد والانكماش من التأثير الحرارى على المواد والعينات.
- **الخواص الكهربائية**:- الخواص الكهربية ترتبط بتعيين المقاومة الكهربية للمواد وكذلك معرفة التوصيل والعزل الكهربائى.
- **الخواص المغناطيسية**:- من أهم الخواص المغناطيسية هى معرفة النفاذ المغناطيسى للمواد، وقياس العزل المغناطيسى ودرجة التأثير بالمجالات المغناطيسية المحيطة.
- **الخواص الضوئية**:- تعتمد هذه الخواص على تأثير الضوء على المواد ومن هذه الخواص تعيين درجة انكسار الضوء وامتصاص وانعكاس الضوء ودرجة اللون، ويمكن تحديد تلك الخواص والتى تؤثر بشكل مباشر على اختيار المواد اللازمة للعمل الهندسي المطلوب وخاصة في أعمال الهندسة المعمارية.
- **الخواص الصوتية**:- الخواص الصوتية للمواد مثل التوصيل الصوتى والانعكاس الصوتى ودرجة عزل الصوت ودرجة نفاذية الصوت والتردد ولهذه الخواص أهمية فى مجالات تطبيقية مختلفة.
- **الخواص الميكانيكية**:- الخواص الميكانيكية هى الخواص التى تتعلق بسلوك المواد الهندسية عند تعرضها للأحمال المؤثرة المختلفة سواء كانت هذه الأحمال إستاتيكية أو ديناميكية أو متكررة. كما أن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة. لتعيين الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية يجب أن تكون على معرفة تامة بأنواع وطبيعية الأحمال المؤثرة على المواد الهندسية قبل الخوض فى التعرف على الخواص الميكانيكية الرئيسية التى تميز صفات وخواص المواد.

انواع التحميل

يجب دراسة تأثير الأحمال على العناصر الإنشائية وكذلك الطريقة التى ينتقل بها الحمل لما لها من تأثير كبير على تعيين خواص المواد المستخدمة ومقاومتها لهذه الأحمال وبالتالي اهميتها فى أعمال التصميم وحساب القطاعات المناسبة للعناصر الإنشائية المحملة وكذلك تعيين خواص المواد الميكانيكية المطلوبة من الاختبارات التى يتم اختيارها لذلك.

1. **التحميل الستاتيكي:-** الحمل الاستاتيكى قد يكون فيه تأثير الحمل بطيئًا متزايدًا أو متناقصًا تدريجيًا حتى يصل إلى قيمته القصوى أو الدنيا بدون حدوث أى أحمال صدم أو اهتزاز مثل أحمال اختبارات الشد أو الضغط أو الانحناء أو القص , وقد يكون الحمل الإستاتيكى ثابت المقدار والاتجاه وطبيعة

وموضع التأثير مثل أوزان العناصر الإنشائية المختلفة كما أن التحميل المستمر او التحميل الدائم مدة طويلة مع الزمن بدون تغيير فى طبيعية الحمل المؤثر يعد تحميلا إستاتيكيا.

2. **التحميل الديناميكي:-** التحميل الديناميكى تكون الأحمل المؤثرة على المواد ما هى إلا أحمال اهتزاز أو أحمال صدم وتكون مدة تأثير هذه الأحمال قصيرة نسبيا. ويختلف التحميل الديناميكى عن التحميل الإستاتيكى فى أن الإجهادات الناشئة عن التحميل الديناميكى أعلى بكثير من الإجهادات الناتجة عن حمل إستاتيكى بنفس قيمة الحمل. ويعرف الحمل الاستاتيكى الذى يعطى نفس الإجهادات الناشئة من الحمل الديناميكى بالحمل الاستاتيكى المكافئ. ومن أمثلة التحميل الديناميكى هى أحمال الأجسام المتحركة عند صدمها بأجسام أخرى (مثل هبوط الطائرة على أرض المطار)، والأحمال الناشئة عن دوران الماكينات وحركة القطارات، وأحمال الزلازل والانفجارات... وغيرها.
3. **التحميل المتكرر:-** التحميل المتكرر هو الحالة التى تتعرض فيها العناصر الإنشائية إلى حمل يتكرر مرات عديدة وللتحميل المتكرر أهمية خاصه يجب الإهتمام بها لأن العناصر قد تتحمل إجهادات معينة بتأثير الأحمال لمرة واحدة، بينما قد تنهار هذه العناصر تحت تأثير نفس الأحمال أو أحمال أقل منها لو كان الحمل المؤثر متكررًا لمرات عديدة.

الخواص الميكانيكية الرئيسية

- **المرونة Elasticity**

المرونة هى قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر وعدم بقاء أى تشكل دائم بها. أما بالنسبة لإجهاد حد المرونة فأنه أكبر إجهاد تتحملة المادة بشرط عدم بقاء أى تغير أو تشكل دائم فى الأبعاد والشكل بعد زوال هذا الإجهاد.

- **اللدونة Plasticity**

اللدونة هى قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم ولا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر. ولخاصية اللدونة أهمية كبرى فى عمليات التشكيل للمعادن.

- **المطيلية Ductility**

هى قدرة المادة على السحب والاستطالة الكبيرة عند تعرضها لأحمال الشد أى هى الخاصيه التى تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير أحمال الشد. وتقاس قيمة المطيلية للمواد كما يلي

١- النسبة المئوية للاستطالة = $\frac{\text{طول القياس بعد الكسر} - \text{طول القياس الأصلى}}{\text{طول القياس الأصلى}} \times ١٠٠$

$$\text{Elongation \%} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \times 100$$

٢- النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع =

$$\frac{\text{المساحة الأصلية للمقطع} - \text{المساحة أصغر مقطع بعد الكسر}}{\text{المساحة الأصلية للمقطع}} \times ١٠٠$$

$$\text{Reduction of area \%} = \frac{A_0 - A_i}{A_0} \times 100$$

حيث:

الطول الأصلى للعينة	L_0 =
مساحة المقطع الأصلية	A_0 =
الطول القياسى بعد الكسر	L_i =
مساحة المقطع بعد الكسر	A_i =

- **الطروقية Malleability**

الطروقية هى قدرة المادة على حدوث تغيرات لدنه كبيرة تحت تأثير أحمال الضغط، وكذلك قدرتها على التفلطح بالطرق بدون حدوث أى تشرخ أو كسر.

- **التقصف Brittleness**

التقصف هى الخاصية التى تجعل المادة تنكسر قبل حدوث أى تغير ملحوظ فى الشكل او أنها عدم قابلية المادة على الاستطالة أو السحب أو الطرق، وبذلك فإن التقصف يعتبر عكس المطيلية. ومن المواد التى لها خاصية القصافة هى الحديد الزهر والخرسانة والزجاج وغيرها.

- **المقاومة Strength**

هى مقاومة المادة لأى حمل مؤثر عليها سواء كان حمل شد أو ضغط أو انحناء او قص، وتعرف بالمقاومة للضغط إذا كان الحمل المؤثر حمل ضغط، والمقاومة للشد إذا كان الحمل المؤثر حمل شد وهكذ ا. وأقصى مقاومة تعرف بأنها أكبر إجهاد تتحمله المادة تحت تأثير الحمل المؤثر ببطء حتى الكسر. ووحدات قياس المقاومة هى نفسها حدات قياس الإجهاد (وحدات قوة على مساحة).

- **الصلابة Stiffness**

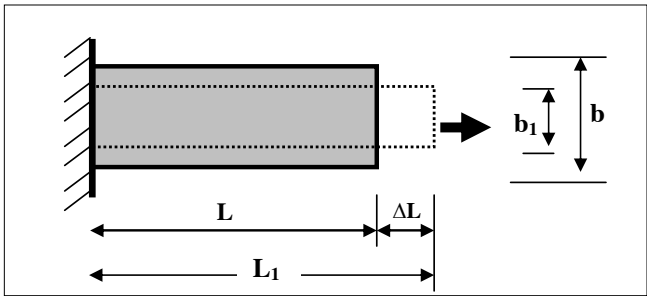
الصلابة هى مقاومة المادة لأى نوع من التغير فى الشكل والأبعاد، وتعرف المادة الصلبة بأنها المادة التى تتحمل إجهادات عالية مع حدوث تغيرات صغيرة نسبيا فى الشكل. وتقاس قيمة الصلابة للمواد بمقدار معاير المرونة أو معاير يونج للمرونة فى اختبار الشد والضغط المحورى وهو مقياس الصلابة فى حدود المرونة.

- **معاير المرونة Modulus of Elasticity:-** هو قيمة التغير فى الإجهاد مقسومة على التغير فى الانفعال المقابل له فى حدود المرونة للمادة.

$$\text{معاير المرونة (Modulus of Elasticity)} = \frac{\text{الإجهاد } (\sigma)}{\text{الانفعال } (\varepsilon)}$$

- **نسبة بواسون Poisson's Ratio**

عندما تتعرض عينة معدنية لقوة محورية فإنه تحدث تغير في الطول فى إتجاه قوة التحميل ويقابلها تغير فى العرض فى كل من الاتجاهين المتعامدين على اتجاه القوة. فإذا تم تعيين قيمة الانفعال فى الاتجاه الطولي المحوري وكذلك قيمة الانفعال فى الاتجاه العرضي فـإن نسبة بواسون تكون:



$$\text{نسبة بواسون } (\mu) = \frac{\text{الانفعال العرضى } \varepsilon_b}{\text{الانفعال الطولى } \varepsilon_L}$$

$$\varepsilon_b = \frac{b_1 - b}{b} \qquad \varepsilon_L = \frac{L_1 - L}{L}$$

- **الصلادة hardness**

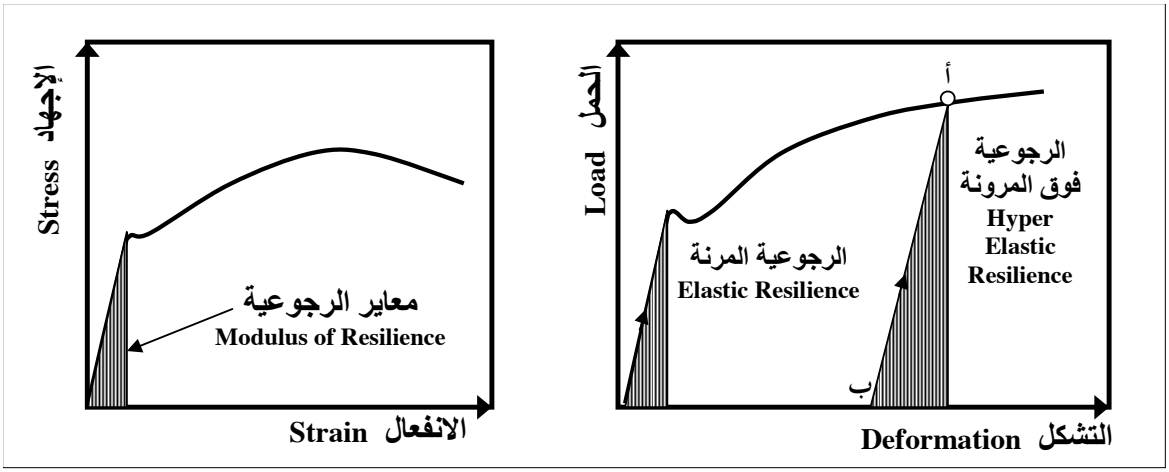
الصلادة هى قدرة المادة على الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال المختلفة. وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة على مقاومة البرى نتيجة الاحتكاك أو المقاومة للخدش أو القطع أو حدوث أى علامة بها. وهذا التعريف لا يمكن أن يكون تعريفًا عامًا لأن بعض المعادن لها مقاومة ضعيفة لنوع من أنواع الصلادة بينما لها قدرة عالية فى نوع أخر.

- **الاحتمال Endurance**

الاحتمال هى قدرة المادة على مقاومة الأحمال المؤثرة المتكررة مرات عديدة. ويعرف حد الاحتما ل بأنه أكبر إجهاد متكرر يمكن تعريض المادة له عددًا لانهائيا من المرات دون أن يسبب انهيار للمادة.

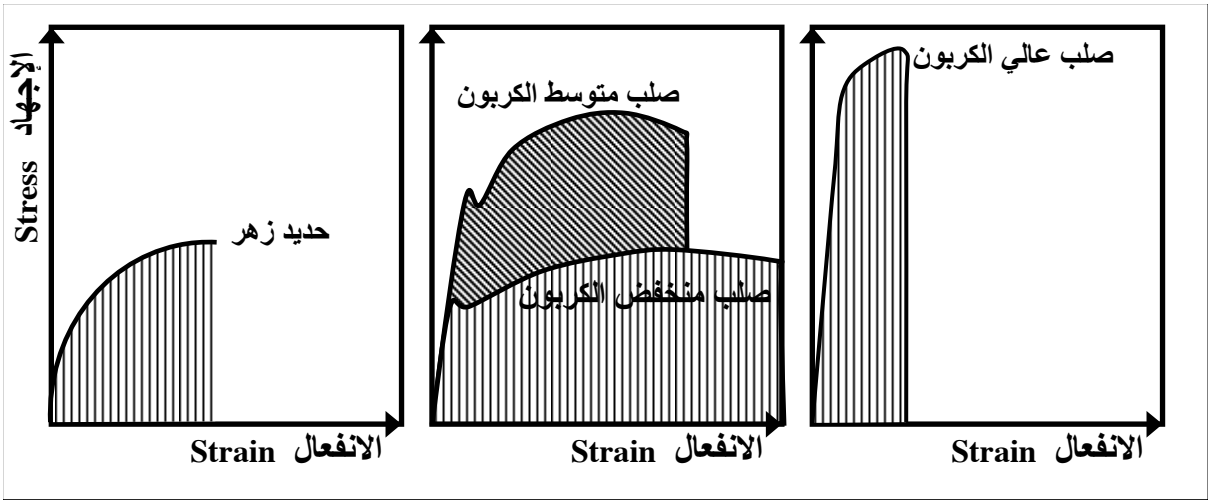
- **الرجوعية Resilience**

الرجوعية هى قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التى تختفى بعد زوال الحمل المؤثر. وتقاس الرجوعية بمقدار المساحة تحت الجزء المستقيم لمنحنى الحمل والاستطالة. ومعاير الرجوعية يعرف بأنه أكبر كمية من الطاقة الميكانيكة المرنة التى تختزنها وحدة الحجوم من المادة وتسترجع ثانية بمجرد إزالة الحمل المؤثر. ويعيين مقدار معاير الرجوعية للمادة بحساب المساحة التى تحت منحنى الإجهاد والإنفعال المحصورة بين الصفر وإجهاد حد المرونة.



- **المتانة Toughness**

المتانة هى قدرة المادة على مقاومتها للأحمال الديناميكية أي أنها تعبرعن قدرتها على مقاومة أحمال الصدم وإمتصاص الطاقة الميكانيكية. مع تغير كبير فى الشكل بدون حدوث كسر. وتقاس المتانة بمقدار بقيمة المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والاستطالة ويعرف معاير المتانة بمقدار الطاقة المؤثرة على منحنى الإجهاد والإنفعال للمواد (المساحة الكلية تحت منحنى الإجهاد والانفعال).



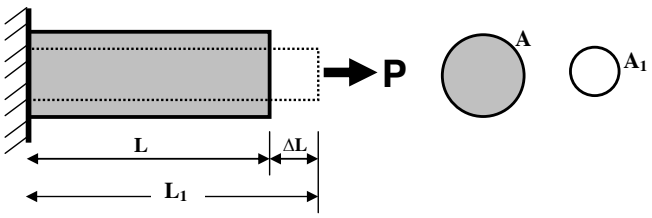
٢- سلوك المواد في الشد الاستاتيكي

مقدمة

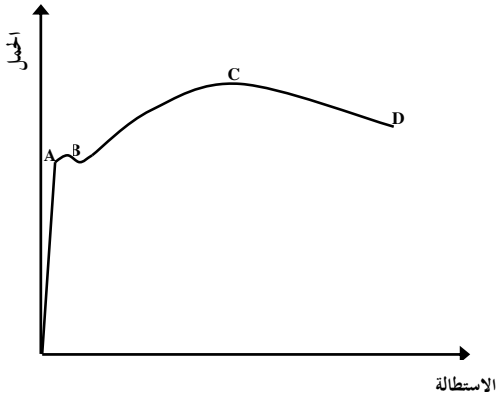
يعتبر فحص الشد الاستاتيكي فى المعادن من أهم وأكثر الفحوصات شيوعا واستخداما و تستند معظم المواصفات القياسية إلى فحص الشد كأساس لبيان خواص المواد المعدنية لما لنتائجه من قيمة ودلالة هامة فى تحديد هذه الخواص لا سيما وأن للمواد المعدنية قدرة عالية على تحمل أحمال الشد مما يستلزم فحصها فى الشد لبيان مدى تحملها أثناء التشغيل. ان اختبار الشد يجرى للمواد الحديدية وغير الحديدية وتجدر الإشارة أن فحص الشد نادرا ما يجرى على المواد غير المعدنية (مثل الخرسانة) نظرا لضعفها فى تحمل الشد ولأن عملها فى المنشآت هى لتحمل أحمال الضغط. وفحص الشد الاستاتيكي يجرى تحت تأثير حمل شد محورى فى إتجاه واحد حيث ينطبق إتجاه الحمل على المحور الطولى لعينة الاختبار، بحيث يكون التحميل تدريجيا من الصفر حتى الانهيار لعينة الفحص.

دراسة سلوك المواد المعدنية المطيلة Ductile materials

عندما تتعرض عينة إسطوانية من الصلب الطري أي من المعادن المطيلة إلى حمل شد (P) يتزايد تدريجيا كما هو موضح بالشكل (١-٢) ، فإن العينة المحملة يحدث لها استطالة تتزايد بزيادة الحمل.



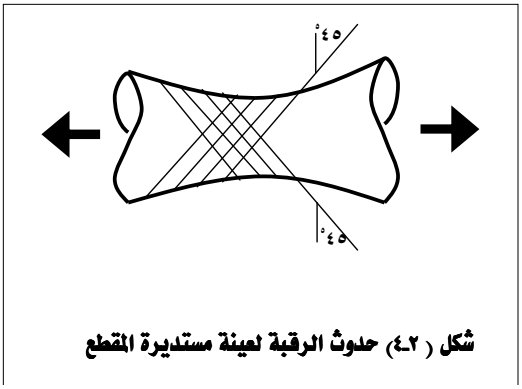
شكل (٢-١) التحميل بالشد



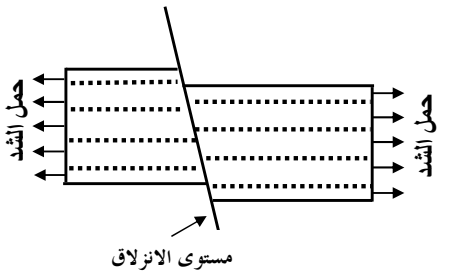
شكل (٢-٢) منحنى الحمل والاستطالة لمعدن مطيل

فإذا تم قياس قيمة الحمل المؤثر (P) وقيمة الاستطالة (ΔL) المقابلة لكل حمل وتم تدوين النتائج ورسم علاقة بين الحمل والاستطالة كالمبينة بشكل (٢-٢)، فإننا نجد أن الحمل المؤثر والاستطالة متناسبان حتى نقطة (A) على منحى الحمل والاستطالة، وإذا استمر فى التحميل بعد النقطة (A) فإن الاستطالة تزداد وبسرعة حتى تجد أنه عند الحمل المقابل للنقطة (B) تحدث استطالة كبيرة ذات قيمة ملحوظة وتستمر الاستطالة فى الزيادة مع ثبوت الحمل وتسمى هذه الحالة خضوع المعدن كما تسمى النقطة (B) بنقطة الخضوع. وإذا استمر فى التحميل بزيادة الحمل تحدث استطالة مصاحبة لكل حمل ولكنها تكون سريعة وبمعدل أكبر مما كان يحدث فى المنطقة(0–A) كما أن الاستطالة تصبح غير متناسبة مع الحمل ويكون الحمل والاستطالة على هيئة منحنى وليس خط مستقيم كما بالشكل (٢-٢) والمبين بالجزء (B-C) وذلك حتى نقطة (C) حيث تصل إلى أقصى حمل للعينة المفحوصة. وخلال التحميل فى المنطقة (B-C). فإن المقطع المستعرض للعينة يتناقص تقريبا بنفس النسبة التى يتزايد بها طوليا ولكن بعد التحميل بالحمل الأقصى مباشرة أي بعد نقطة (C) مباشرة يحدث تركز فى التغير فى مقطع العينة على طول قصير منها ويتكون نتيجة لذلك رقبة للعينة تكون عادة فى منطقة عدم التجانس والانتظام للمعدن أى يحدث فى منطقة ضعف المعدن وهذا النقص الكبير فى مساحة المقطع المستعرض للعينة لا يمكنها من تحمل أحمال أكبر من القيمة المعرضة لها العينة عند النقطة (C) لذلك لكى تحتفظ العينة بالتوازن بين الحمل ومقاومتها لهذا الحمل فإن الحمل يقل عند النقطة (D) ويكون مصحوبا بزيادة كبيرة فى الاستطالة ويستمر التحميل فى التناقص والعينة فى الاستطالة حتى يحدث الكسر للعينة عند النقطة (D). ويمكن تفسير بعض الظواهر التى تحدث لأى معدن مطيل من لحظة بداية التحميل حتى الانهيار فيما يلى:

١- ظاهرة الخضوع:
يحدث الخضوع بالمعدن عند اتساع المسافة بين ذرات جزيئاته لدرجة تكسر ارتباط الذرات مما يسبب تغيرا فى خطوط تشابكها (اعادة ترتيب الذرات) بسبب انزلاق الجزيئات نحو المستويات الضعيفة. ينتج من انزلاق الجزيئات على بعضها استطالة كبيرة كما هو يبين بشكل (٢-٣). ويعتبر خضوع المعدن هو حالة عدم توازن داخلى تسبب الانزلاق لفترة زمنية قصيرة حتى يصل المعدن لحالة الاتزان نتيجة ظاهرة التصلد الانفعالى، ثم بعد ذلك يحدث الخضوع فى منطقة ما من العينة حتى تصل مرة أخرى إلى حالة التصلد الانفعالى فيتوقف الخضوع فى هذه المنطقة ويبدأ فى منطقة أخرى من المعدن وهكذا حتى يحدث للمعدن كله تصلد إنفعالى يوقف الخضوع بالمعدن كله.



شكل (٢-٤) حدوث الرقبة لعينة مستديرة المقطع



شكل (٢-٣) إنزلاق جزء من بلورة معرضة لشد محورى

٢- ظاهرة التصلد الانفعالي:
يمكن تفسير ظاهرة التصلد الانفعالى فى أنه أثناء حركة الانزلاق للجزيئات فإنها تنكسر إلى أجزاء خصوصا قرب الحدود الأصلية للجزيئات حيث تتداخل خطوط هذه الأجزاء بعضها مع الآخر مسببة مقاومة متزايدة للانزلاق. وبالإضافة إلى ذلك فإن مستويات الانزلاق ذات اتجاهات مختلفة حيث يتداخل انزلاق جزئ مع انزلاق الجزئ الآخر، وينتج عن ذلك ازدياد مناطق الاحتكاك داخل المعدن كما يسبب تصلده وبالتالى توقف الانزلاق.

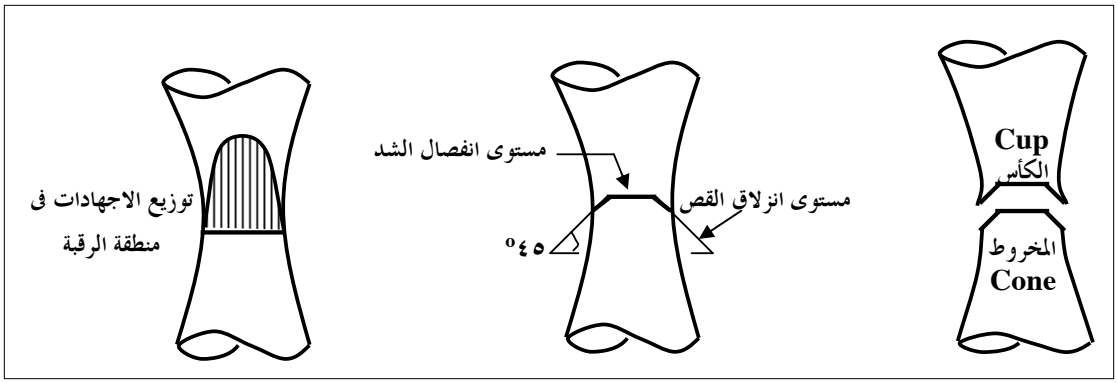
٣- ظاهرة حدوث الرقبة:
يمكن تفسير ظاهرة حدوث الرقبة بأنها إنزلاق جزيئات المعدن على المستويات المعرضة إلى أكبر قوة للقص أى على المستويات التى تميل ٤٥درجة مع اتجاه حمل الشد كما فى شكل (٢-٤). وهذا الانزلاق يسبب نقص مساحة المقطع المستعرض للعينة المفحوصة أي حدوث رقبة بها وكذلك زيادة كبيرة مفاجئة فى الاستطالة للعينة.

٤- ظاهرة الانهيار في المعدن المطيل:

يحدث انهيار عينة المعدن المطيل تحت تأثير حمل الشد بالكسر وذلك بالخطوتين التاليتين:

ا- الانفصال separation :هذه الخطوة الأولى والتى يحدث فيها الانفصال فى منطقة منتصف المقطع المستعرض وهى منطقة حدوث الرقبة ويكون ذلك الانفصال على مستوى عمودى على اتجاه حمل الشد ويحدث عندما تتعدى قيمة إجهاد الشد الناتجة من التحميل فى تلك المنطقة قيمة أقصى مقاومة تماسك للمعدن المختبر.
ب- الانزلاق sliding : يحدث فيها استمرار إنزلاق جزيئات المعدن فى منطقة حدود المقطع المستعرض عند الرقبة بعد حدوث الانفصال فى منطقة الوسط بإجهادات الشد والذى بدوره يؤدى هذا الانزلاق إلى الانهيار بالكسر ويكون ذلك على مستوى يعمل ٤٥ درجة مع المستوى الأفقى أى على المستوى الذى يؤثر عليه إجهاد القص الأقصى ويكون الانفصال على هذا المستوى على حروف المقطع نتيجة لإجهاد القص ويسمى إنفصال القص، ويسمى هذا النوع من الانهيار بالكسر

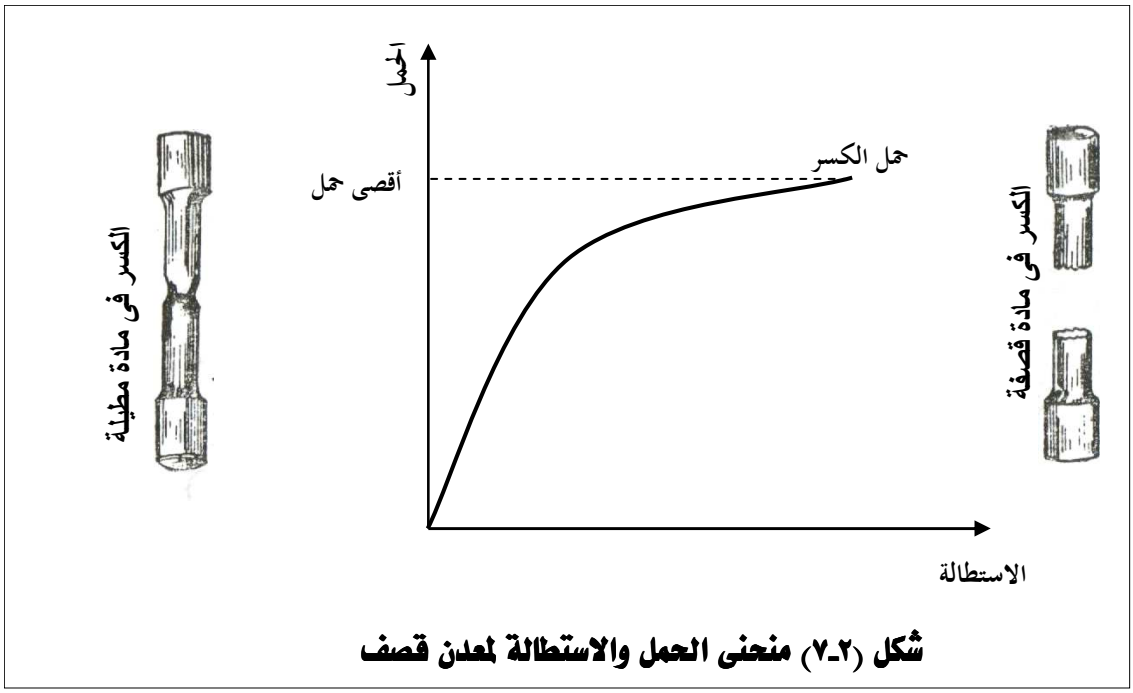
للمعادن المطيلة بكسر الكأس والمخروط (Cup and Cone failure) كما هو موضح بالشكل التالي، ويعتبر شكل هذا الكسر فى اختبار الشد من مميزات المعادن المطيلة.



انهيار المعادن المطيلة فى الشد

دراسة سلوك المواد المعدنية القصيفة Brittle materials

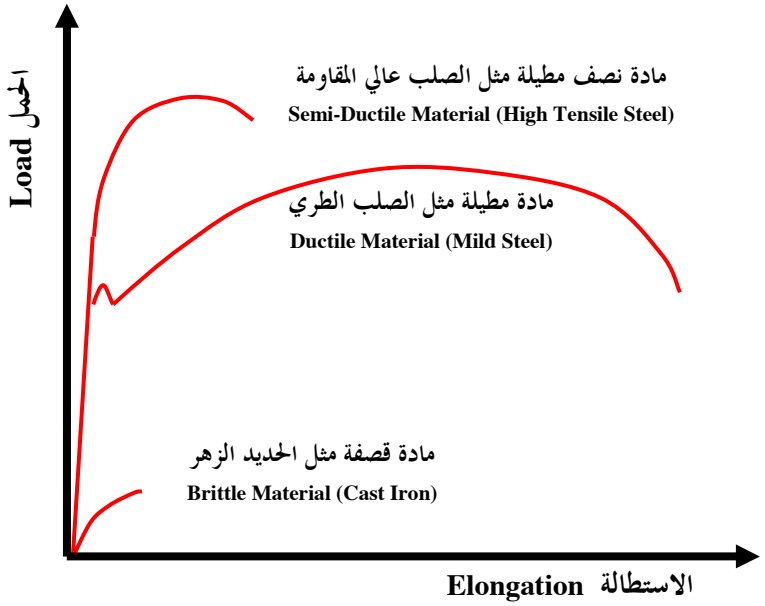
عند تحميل عينة من المعادن القصفة بحمل شد يزداد تدريجيا فإن منحنى الحمل والاستطالة الحادثة من هذا الحمل كما هو موضح بالشكل التالي، حيث تلاحظ بهذا المنحنى عدم تواجد أي فترات تناسب بين الحمل والاستطالة كما لا توجد أي منطقة للخضوع كما أن الاستطالة الحادثة من الحمل صغيرة جدا إذا ما قورنت باستطالة المعادن المطيلية .كما نلاحظ أيضا عدم حدوث رقبة بالعينة المفحوصة وأن الكسر يحدث على هيئة مستوى عمودى على اتجاه التحميل وهذا يعنى أن الكسر يحدث بسبب إنفصال الشد فقط، أى أن المواد القصفة تكسر فى الشد تحت تأثير إجهاد الشد فقط، ولذلك تعتبر هذه المواد ضعيفة فى تحمل إجهادات الشد عنها فى تحمل إجهادات القص٠



شكل (٢-٧) منحنى الحمل والاستطالة لمعدن قصف

دراسة سلوك المواد المعدنية النص مطيلية Semi Ductile materials

إذا تعرض قضيب من معدن نصف مطيل مثل الصلب عالى المقاومة إلى حمل شد يزداد تدريجى ثم تقاس قيمة الاستطالة المقابلة لكل حمل ويرسم منحنى الحمل والاستطالة كما هو مبين بشكل)٢-٨(وهذا المنحنى له نفس الشكل العام لمنحنى الحمل والاستطالة للمعدن المطيل تحت تأثير أحمال ولكن يلاحظ عدم وجود منطقة خضوع كما أن الحمل أكثر والاستطالة أقل من مثيلاتها من المعادن المطيلة. ويكون شكل الكسر على هيئة قدح ومخروط أيضا ولكن برقبة أقل وضوحًا منهافى المعدن المطيل.



شكل (٢-١٠) منحنى الحمل والاستطالة للمعادن المطيلة ونصف المطيلة والقصفة

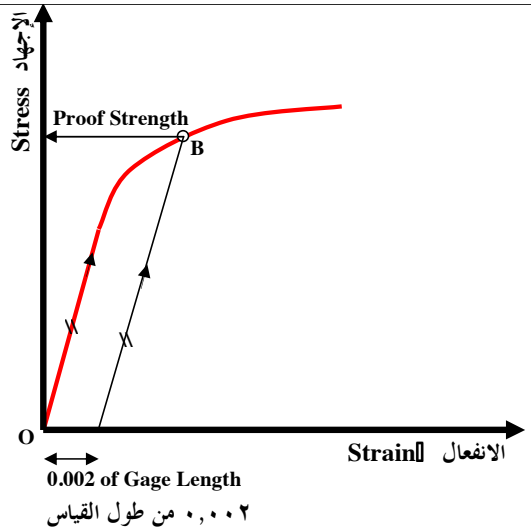
انواع الاجهادات في الشد Types of stress

1- إجهاد حد التناسب Proportional Limit : هو قيمة أكبر إجهاد يكون عنده الإجهاد والانفعال متناسبين أو هو الإجهاد الذى يتوقف عنده التناسب بين الإجهاد والانفعال، ويعين حد التناسب عمليا برسم منحنى الحمل والاستطالة وتحديد الإجهاد الذى يتوقف عنده الخط المستقيم من المنحنى. حساب الاجهاد باستخدام هذه الطريقة غير دقيق لذلك لايستخدم في الحسابات التصميمية.

٢- اجهاد حد المرونة Elastic limit: هو أكبر إجهاد تتحمله المادة بشرط عدم بقاء أي استطالة دائمة بعد زوال هذا الإجهاد. وقد افترض أنه يمكن الوصول إلى حد المرونة إذا كانت الاستطالة الدائمة بعد زوال الحمل المؤثر صغيرة جدا تساوى ٠,٠١% من طول القياس لتكون الحد بين رجوع المادة إلى أبعادها الأصلية بعد زوال الحمل المؤثر وبين عدم رجوعها تماما. وعلى ذلك فأحيانا يعتبر حد التناسب هو حد المرونة مع إهمال الفرق الصغير بينهما وذلك من الوجهة العملية. ويمكن تعيين حد التناسب المعتبر حدا للمرونة بطريقة "جونسون" حيث يعتبر حد التناسب هو الإجهاد الذى يقابل نقطة على المنحنى للحمل والاستطالة يكون عندها معدل الاستطالة ٥٠% اكبر من معدل الاستطالة عند بداية التحميل وهذه النقطة تعين الحمل عند حد التناسب ومنها تعيين إجهاد حد التناسب بقسمة الحمل على مساحة المقطع الأصيلة للعينة المختبرة.

٣- إجهاد الخضوع yield stress : هو الإجهاد الذى يحدث عنده زيادة ملحوظة فى الاستطالة بدون زيادة فى الحمل أي أن الانفعال يزداد بدون زيادة الإجهاد. يستخدم إجهاد الخضوع ليعبر عن مقاومة المعدن فى حدود المرونة ويرجع ذلك إلى أن اجهاد الخضوع يقترب كثيرا في قيمته من حد المرونة بالإضافة إلى ثبات قيمته للمعدن الواحد وإمكانية تعيين قيمته معمليا بدقة.

٤- اجهاد الضمان Proof stress : إجهاد الضمان هو المقاومة فى حدود المرونة للمعادن التى لها خاصية المرونة وليس لها منطقة خضوع. حيث توجد بعض المعادن المطيلة والنصف مطيلة والتى لها خاصية المرونة ولكن لا يوجد لها أي منطقة يظهر فيها الخضوع ، وفي منحني الإجهاد والانفعال يتحول المنحني من منطقة المرونة إلى منطقة ما فوق المرونة تحولا تدريجيا كما يتضح من الشكل ادناه، أي أنه لا يوجد لهذه المعادن إجهاد خضوع ونظرا لوجود خاصية المرونة لهذه المعادن فإنه يلزم معرفة إجهاد يعبر عن المقاومة في حدود المرونة ويسمى هذا الإجهاد بإجهاد الضمان.



شكل (٢-١٣) منحنى الاجهاد والانفعال لتحديد إجهاد الضمان

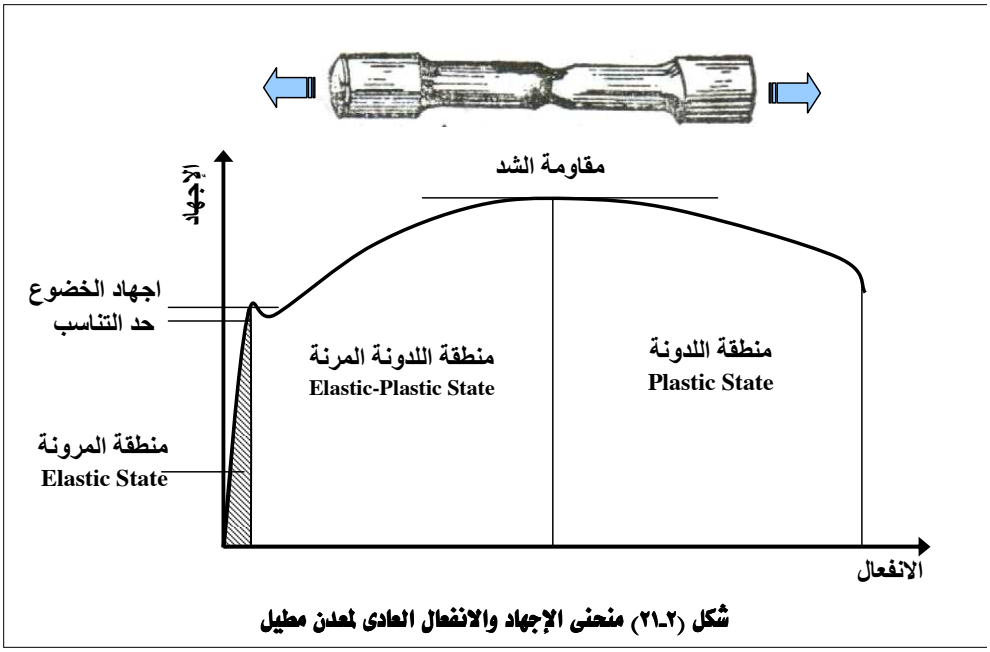
الاجهاد و الانفعال العادي *Normal stress and stress*

يمكن تعيين القيم العادية للإجهاد والانفعال بمعلومية نتائج اختبار الشد الاستاتيكى للحمل المؤثر والاستطالة المقابلة له حتى الكسر كما يلي:

$$\text{الإجهاد العادى } \sigma = \frac{\text{حمل الشد المحورى } (P)}{\text{مساحة المقطع الأصلية } (A_o)}$$

$$\text{الانفعال العادى } \varepsilon = \frac{\text{الاستطالة } (\Delta L)}{\text{طول القياس الأصلى } (L_o)}$$

ونظرا لأن مساحة المقطع الأصلية Ao وطول القياس الأصلىLo قيم ثابتة فإن منحنى الإجهاد والانفعال العادى يكون له شكلا يماثل منحنى الحمل والاستطالة

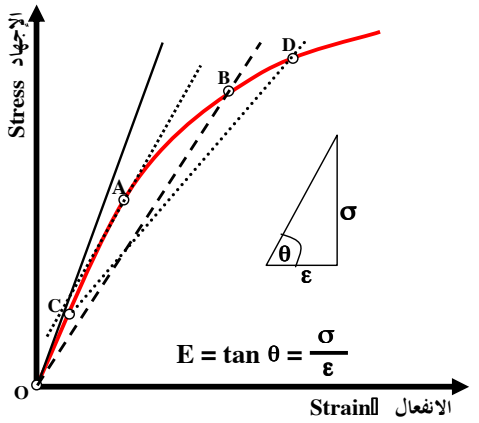


شكل (٢-٢١) منحنى الإجهاد والانفعال العادى لمعدن مطيل

معامل المرونة *Modulus of Elasticity*

ويسمى ايضا معامل يونك Youngs Modulus وكما ذكرنا سابقا هو يساوي التغير في الاجهاد على التغير في الانفعال وهو يمثل ميل الجزء المستقيم من منحني الاجهاد - الانفعال اي في مرحلة المرونة ويحسب بقانون هوك.

قانون هوك: ينص قانون هوك على أن : الاستطالة الحادثة في سلك تتناسب تناسبا طرديا مع قوة الشد المؤثرة علية. وهو قابل للتطبيق في مرحلة المرونة فقط. اما المعادن التى لا يوجد لها خط مستقيم بمنحنى الاجهاد والانفعال فيمكن تمثيلة بواسطة معامل التماس الاولي Initial Tangent Modulus وهو عبارة عن ميل المماس لمنحنى الإجهاد والآنفعال عند نقطة الاصل أي بداية المنحنى او بواسطة معامل التماس Tangent Modulus وهو ميل المماس لمنحني الإجهاد والانفعال عند النقطة على المنحنى التى تقابل الإجهاد المعين المذكور وليكن عند النقطة A. او بواسطة معامل القاطع Secant Modulus وهو ميل الخط (OB) الواصل بين نقطة الأصل والنقطة الموجودة على منحنى الإجهاد والانفعال التى تقابل الإجهاد المعين المعروف. كذلك يمكن التعبير عن معاير المرونة بواسطة معامل الوتر Chord Modulus وهو ميل الخط الواصل بين نقطتين محددتين على المنحنى مثل النقطتينِ C، D .



شكل (٢-١٤) تعيين معاير المرونة للمعادن التي لا يوجد لها خط مستقيم بالمنحنى

٣- سلوك المواد الهندسية تحت تاثير الضغط

مقدمة

إن إتجاه الحمل المؤثر لاختبار الضغط ما هو إلا حالة عكسية لاتجاه الحمل فى اختبار الشد. ويستخدم اختبار الضغط عادة كأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة والحجارة والأخشاب. الغرض الأساسى من إجراء اختبارات الضغط للمواد المعدنية وغير المعدنية هو بيان الخواص الميكانيكية لهذه المواد فى الضغط فمثلا فى المواد المطيلة تتمكن من تعيين بعض الخواص مثل إجهاد الخضوع والرجوعية المرنة وكذلك معاير المرونة، وأما بالنسبة للمواد القصفة فيتم تعيين مقاومة الضغط القصوى. توجد بعض الصعوبات والعوامل التى تجعل نتائج اختبار الضغط غير دقيقة وتؤثر على استخدام اختبار الضغط كاختبار قبول للمواد ومن هذه العوامل والصعوبات ما يلي:

١- التأثير بحمل الضغط يجب أن يكون محوريا ولكن يصعب تحقيق التأثير المحورى على العينة أثناء الاختبار.

٢- عدم الاتزان المؤكد للعينة المختبرة فى التحميل بالضغط إذا ما قورن بالتحميل فى الشد.

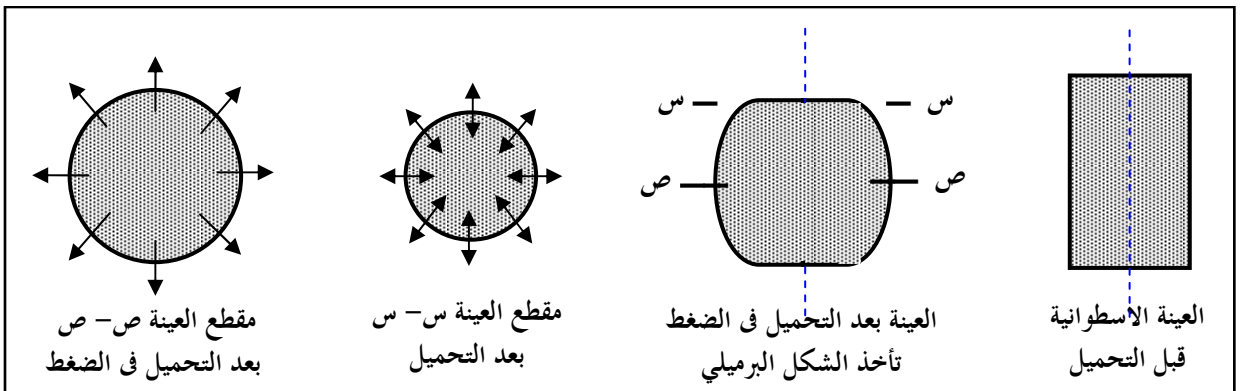
٣- تواجد الاحتكاك بين سطحى رأس ماكينة الاختبار وبين سطحى نهايتى العينة المختبرة وهذا الاحتكاك يغير نتائج الاختبار عن نظيراتها من العينات المختبرة فى الضغط بدون احتكاك.

٤- الكبر النسبي لمساحة مقطع العينات المختبرة فى الضغط ليحدث إتزان للعينة أثناء التحميل، ويتسبب ذلك فى ضرورة تواجد ماكينات ذات سعات عالية أو استخدام عينات صغيرة تؤثر على نتائج الاختبار.

٥- العينات النحيفة التى يكون ارتفاعها كبير تسبب حدوث انبعاج أثناء الاختبار مما ينتج عنها عدم دقة نتائج الاختبار.

دراسة سلوك المواد المعدنية تحت تاثير الضغط

عندما تتعرض عينة إسطونية الشكل من المواد المعدنية إلى حمل ضغط فإنها تنضغط ويتسبب ذلك أن تأخذ العينة الشكل البرميلى (Barrel) نتيجة للزيادة فى العرض المصاحبة للنقص فى الارتفاع، وتواجد قوى الاحتكاك بين العينة (عند تقاطع نهايتيها المحملتين ورأس ماكينة الاختبار) يسبب قلة الزيادة فى العرض عند مقاطع نهايتى العينة المفحوصة عنها فى مقطع منتصف العينة بشكل تدريجيى تبعا لمدى تأثير قوى الاحتكاك كما هو موضح بالشكل (٣-١).



شكل (٣-١) حدوث الشكل البرميلي للمعادن المطيلة فى اختبار الضغط

سلوك المواد المعدنية المطيلية Ductile Materials

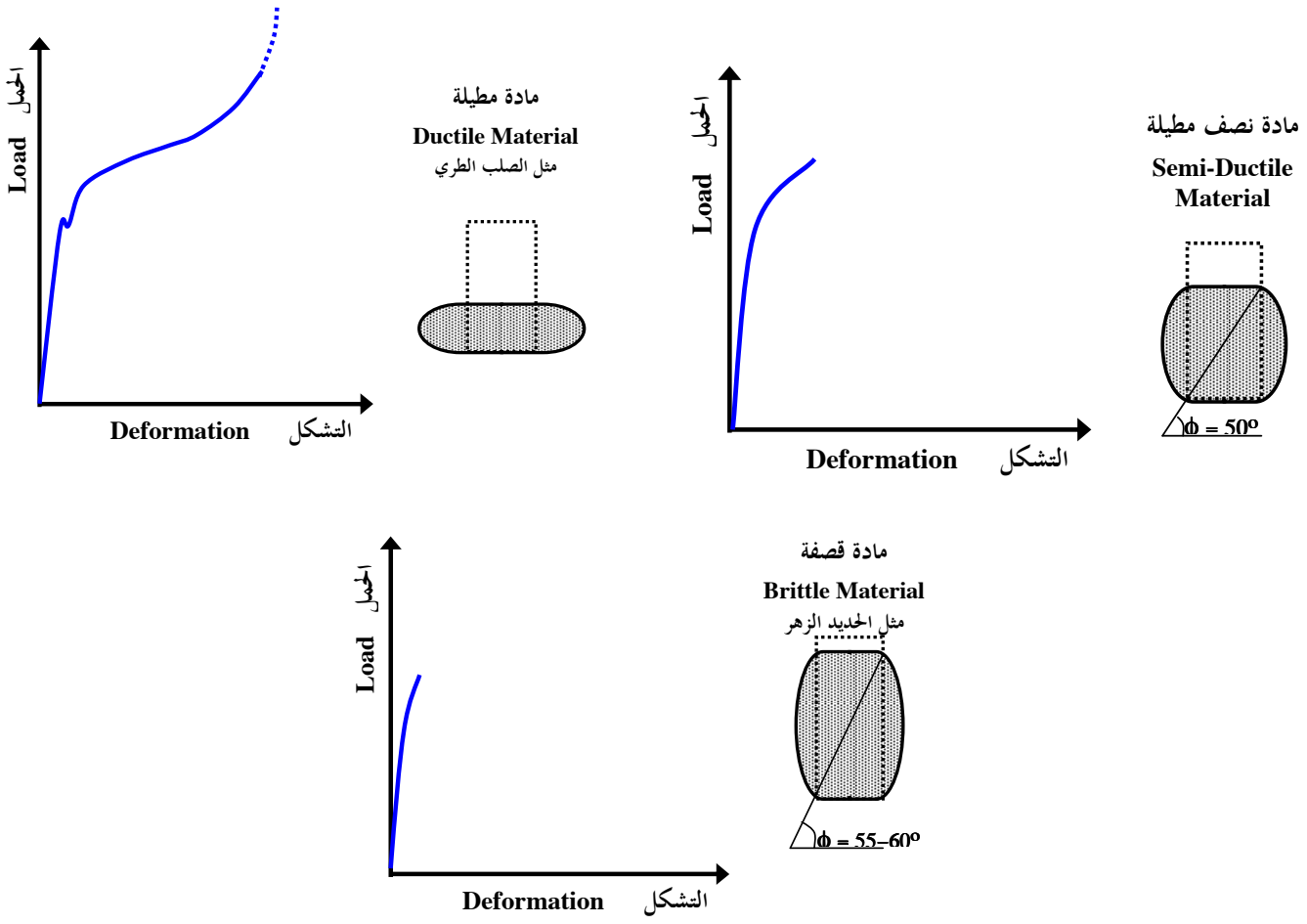
إذا اختبرت عينة من معدن مطيل مثل الصلب الطرى فى الضغط حتى حد المرونة فإننا نلاحظ تواجد جزء مستقيم بمنحنى الحمل والتشكيل حتى حد التناسب كذلك يوجد منطقة للخضوع، واستمرار التحميل فوق حد المرونة فإن العينة يزيد انضغاطها ثم تتفلطح بدون حدوث كسر للعينة مهما زاد التحميل كما يتضح فى شكل (٣-٢).

سلوك المواد المعدنية النصف المطيلية Semi-Ductile

إذا كانت العينة المفحوصة من معدن نصف مطيل مثل النحاس الأصفر فإن العينة تنضغط مع زيادة التحميل ثم تنكسر على مستوى يعمل زاوية حوالى ٥٠ درجة مع الاتجاه الأفقى. ويمكن ملاحظة وجود جزء مستقيم بمنحنى الحمل والانضغاط حتى نهاية حد التناسب وقد يلاحظ أيضا إما تواجد أو عدم تواجد منطقة للخضوع تبعا لظروف معدن العينة من الوجهة التشغيلية أو المعاملة الحرارية، ثم بعد ذلك يأخذ المنحنى شكلا حتى الوصول للحمل الأقصى كما هو موضح بالشكل (٣-٢).

سلوك المواد المعدنية القصيفة Brittle Materials

عندما تختبر عينة من معدن قصف مثل الحديد الزهر فيحدث لها انضغاط قليل جدا ثم تنكسر على مستوى يميل على الأفقى بزاوية ٥٥-٦٠ درجة ويكون منحنى الحمل والتشكل كما يتبين من الشكل (٣-٢) ويلاحظ عدم تواجد منطقة خضوع وتواجد مقاومة قصوى للضغط.



شكل (٣-٢) سلوك المعادن المطيلة والقصفة ونصف المطيلة فى اختبار الضغط.

منحنى الاجهاد والانفعال في الضغط

منحنى الإجهاد والانفعال العادي فى الضغط يمكن رسمه وتوقيعه باستخدام منحنى الحمل والتشكيل واعتبار أن:

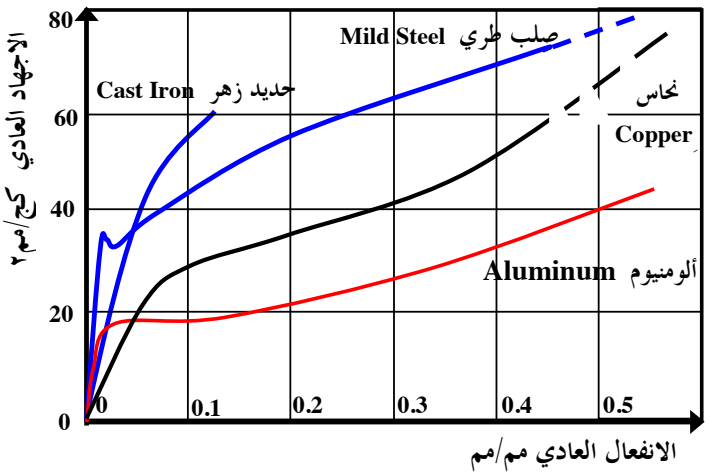
- الإجهاد العادي فى الضغط = الحمل عند أى نقطة (p) / المساحة الأصلية (A_o)

$$\sigma_C = \frac{P}{A_o}$$

- الانفعال العادي فى الضغط = الانضغاط الحادث عن أى نقطة (ΔL) / الطول الأصلى (L_o)

$$\varepsilon_C = \frac{\Delta L}{L_o}$$

ويبين الشكل (٣-٣) المنحنيات البيانية للإجهاد والانفعال العادى لبعض المعادن المختلفة تحت تأثير أحمال الضغط.



شكل (٣-٣) منحنيات الإجهاد والانفعال العادى للمعادن المختلفة فى الضغط.

الخواص الميكانيكية في الضغط

١- المواد المطيلية

فى اختبار المواد المطيلة فى الضغط، وجد أن الانفعال الحادث يتناسب مع الإجهاد كما فى اختبار الشد، ويلاحظ أيضا أن قيمتي حد التناسب وإجهاد الخضوع فى الضغط والشد متطابقين فى المعادن المطيلة وبالأخص الصلب الطري. وكلما زاد الحمل على العينة يلاحظ زيادة مساحة المقطع ولا يحدث انهيار للمواد المطيلة. ويمكن الحصول على بعض الخواص الهامة للمواد المطيلة من اختبار الضغط مثل حد التناسب وإجهاد الخضوع، ومعاير المرونة باستخدام منحنى الإجهاد والانفعال. ويفضل أن تكون العينات المفحوصة عينات اسطوانية الشكل والنسبة المحددة بين القطر والارتفاع طبقا للموصفات.

٢- المواد القصيفة

نظرا لأ ن ممطولية الحديد الزهر فى اختبار الشد صغيرة جدا لذلك فإن مقاومته للضغط ذات أهمية كبرى فى التصميم . ويلاحظ أنه لا يوجد أى تناسب بين الإجهاد والانفعال للمواد القصفة فى الضغط. وتعبر العلاقة الآتية بين الإجهاد والانفعال عن قيمة معاير المرونة للمواد القصفة:

$$E = \frac{\sigma^n}{\varepsilon}$$

- معاير المرونة = E
- الاجهاد = σ
- الانفعال = ε
- ثابت = n

وتصلح هذه العلاقة للمواد القصفة المعدنية مثل الحديد الزهر وغير المعدنية مثل الخرسانة والأحجار، ويحدث الانهيار للمعادن القصفة فى الضغط للكسر على مستوى مائل بزاوية على محور الاجهاد بسبب قوى القص على المستوى المائل، أما المواد القصفة غير المعدنية مثل الأحجار والمواد الأسمنتية والخرسانية فإنها تنهار بتأثير قص مزدوج ويكون شكل عينات الإختبار فى الضغط إما على شكل مكعبات أو إسطوانات قياسية حسب المواصفات ويحدث الكسر طبقا للقص المزودج إما على شكل هرم للعينات المكعبة والمنشورية أو شكل مخروط للعينات الاسطوانية.

فحص الضغط للعينات

١- عينة الفحص

أهم المواد غير المعدنية التى تهمنا هي الخرسانة والعينة القياسية للخرسانة عموما تكون إسطوانة طولها ضعف قطرها، و لركام الخرسانة الذى مقاسة لايتجاوز ٥٠ مم تكون أبعاد الإسطوانة القياسية١٥×٣٠سم وعمومًا فإن قطرالإسطوانة يجب أن لايقل عن ثلاثة أمثال مقاس الركام المستخدم٠ وتنص الموصفات القياسية الانجليزية على استخدام مكعبات ١٥× ١٥ × ١٥ سم ، أما المواصفات الأمريكية فإنها تنص غلى استخدام عينات اسطوانية الشكل قطرها ١٥سم وارتفاعها ٣٠ سم وذلك حتى مقاس اعتبارى أكبر للركام الخشن حتى ٥٠ مم.

٢- قواعد ارتكاز فحص الضغط

سطحي التحميل لفكي ماكينة الاختبار فى الضغط يجب أن يكونا مستويين وعمودين على محور العينة حتى لا يحدث أى تركيز غير منتظم للإجهادات على سطح العينة المختبرة أو حدوث أى انحناء للعينة. وعليه فإنه يجب تثبيت العينة أفقية تماما وعمودية على محور التحميل الرأسي وذلك للمعادن التى أسطحها ملساء تماما.

٣- طريقة الفحص

يجب العناية بوضع العينة فى ماكينة الاختبار بحيث تكون محورية تماما بعد تنظيف سطحي العينة المختبرة وفكي ماكينة الاختبار لازالة أى مواد غريبة أو شحومات التى تؤثر على الاحتكاك الموجود بين سطحي العينة وفكي الماكينة. ويفضل أن يعدل الجزء العلوى من لوح الارتكاز باليد عندما تبدأ ماكينة الاختبار فى الهبوط لتنطبق مع سطح العينة وذلك لتسهيل ارتكاز جزء الماكينة. ثم يتم التأثير بحمل ضغط استاتيكى بطئ وبمعدل ثابت على العينة المختبرة حتى الكسر، ويتم تسجيل حمل الكسر.

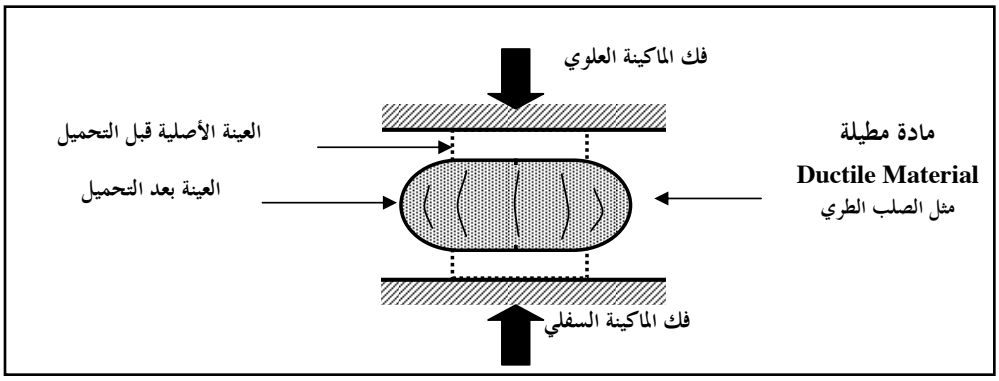
٤- طرق تجنب تاثير الاحتكاك

لا يوجد توزيع منتظم تماما للاجهادات على عينة الاختبار فى اختبار الضغط، ويرجع ذلك إلى وجود الاجهادات القطرية والمماسية لقوى الاحتكاك بين سطحى العينة المختبرة وبين فكى ماكينة الاختبار، ويمكن تجنب وتقليل الاحتكاك بتشحيم الاسطح المعرضة للاحتكاك باستعمال مادة مناسبة للتشحيم أى التشحيم بين فكى الماكينة وسطحى العينة لتجنب القوى الغير مرغوب فيها ومسببة للإحتكاك.

٥- انهيار العينات تحت تاثير الضغط

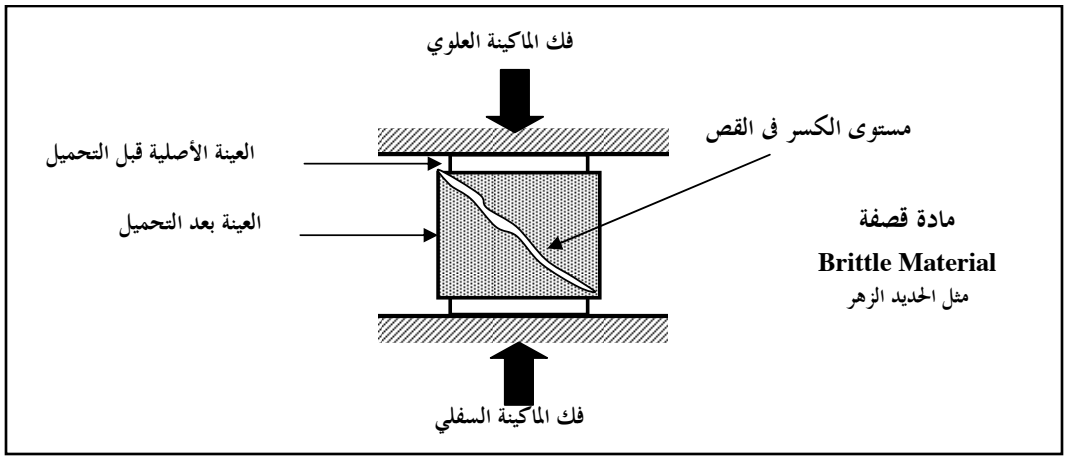
ا- الانهيار في المعادن المطيلية

نلاحظ أن العينات المختبرة من المعادن المطيلة تحت تأثير أحمال الضغط لا يحدث لها كسر لأنها تتفلطح بالضغط وتحافظ العينة على زيادة تفلطحها الاسطوانى مع زيادة أحمال الضغط ولكن يحدث الانهيار بالتشقق حيث تظهر شروخ سطحية رأسية متوازية مع محور التحميل للعينة كما هو موضح بالشكل ادناه ويتوقف ظهور هذه الشروخ الرأسية على مدى مرونة المعدن وممطوليته أيضا على مدى قابلية المعدن للسحب والطرق وتحمله للإجهادات العالية فوق حد المرونة فى اختبار الضغط ويعتبر ظهور التشققات وقيمة الحمل المؤثر هو دليل على قبول أو رفض العينات المطيلة المختبرة.



ب - الانهيار في المعادن نصف المطيلية القصيفة

بالنسبة للمعادن نصف المطيلة يحدث انضغاط لهذه المعادن تحت تأثير أحمال الضغط حسب قيمة الممطولية ومرونة المعدن ثم يحدث الانهيار على مستويات مائلة بزاوية تميل على الأفقى وقد تظهر بعض التشققات السطحية قبل الانهيار كما يحدث فى المعادن المطيلة .أما بالنسبة للمعادن القصفة فيحدث انضغاط بسيط جدا ثم يحدث الكسر على مستوى يمل بزاوية (θ) مع المستوى الأفقى كما هو موضح بالشكل ادناه وتزداد هذه الزاوية عن مثيلتها فى المواد نصف المطيلة لكبر جزيئات المعدن ولا تظهر أى تشققات بسطح العينة المختبرة قبل الكسر.



تمارين

س١// سلك من المعدن طوله (2m) وقطره (2.5mm) تعرض الى قوة شد مقدارها (12 N) مسببة استطالة في السلك مقدارها (0.3mm). اذا فرضنا ان السلك في حالة المرونة , احسب مايلي: (15 درجة)

١- الاجهاد في السلك 2- الانفعال في السلك 3- معامل المرونة

ج//

A= 3.14*2.52 /4=4.9 mm2
Stress=F/A=12/4.9=2.44 N/mm2
Strain=0.3/2000=0.00015
E=STRESS/STRAIN= 16.27 GPa

س٢//اذا كانت قيمة اعلى حمل نحصل عليه من فحص الشد لنموذج من الحديد المطاوع هو (100) كيلو نيوتن احسب الاجهاد الاقصى لهذا النموذج علما ان قطر النموذج (16ملم).

ج//

Area of steel bar=(π (16)2)/4=201 mm2
σ = P/A = 100000/201= 497 MPa

س٣//في فحص الاجهاد – الانفعال سجلت وحدة انفعال تساوي (6-10×160 م/م) عند اجهاد يساوي (35 ميكا نيوتن/م2) وانفعال يساوي (660×10-6م/م) عند اجهاد يساوي (140 ميكا نيوتن/م2) اذا كان حد المرونة عند اجهاد يساوي (200ميكا نيوتن/م2) أ- احسب معامل المرونة , ب- اذا كان الاجهاد يساوي (150 ميكا نيوتن/م2) ماهو الانفعال الذي يقابله؟ ج- هل الحسابات في الفرع (ب) صحيحة اذا كان حد المرونة عند اجهاد يساوي (120ميكا نيوتن/م2)؟.

ا- E=Δσ/Δϵ= (140-35)/((660-160)*10-6)=210GPa
ب- Ε=σ/E= 150/210=0.71 mm
ج- لا تكون هذه الحسابات صحيحة في الفرع ب لان قانون هوك لاينطبق في هذه الحالة عند اجهاد يساوي 150 Mpa

س٤// اذا كانت قيمة معامل المرونة للحديد المطاوع هو (200 كيكا باسكال) احسب الانفعال الحاصل عند اجهاد يساوي (150ميكا باسكال)

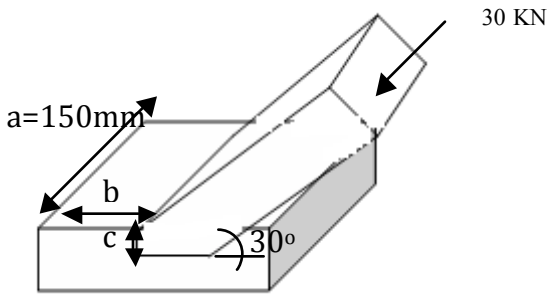
ج//

E= σ/ϵ = a50/200000= 0.00075 m/m

س٥//سلطت قوة مائلة بمقدار (30 كيلو نيوتن) على جملون خشبي كما في الشكل رقم (1) :-

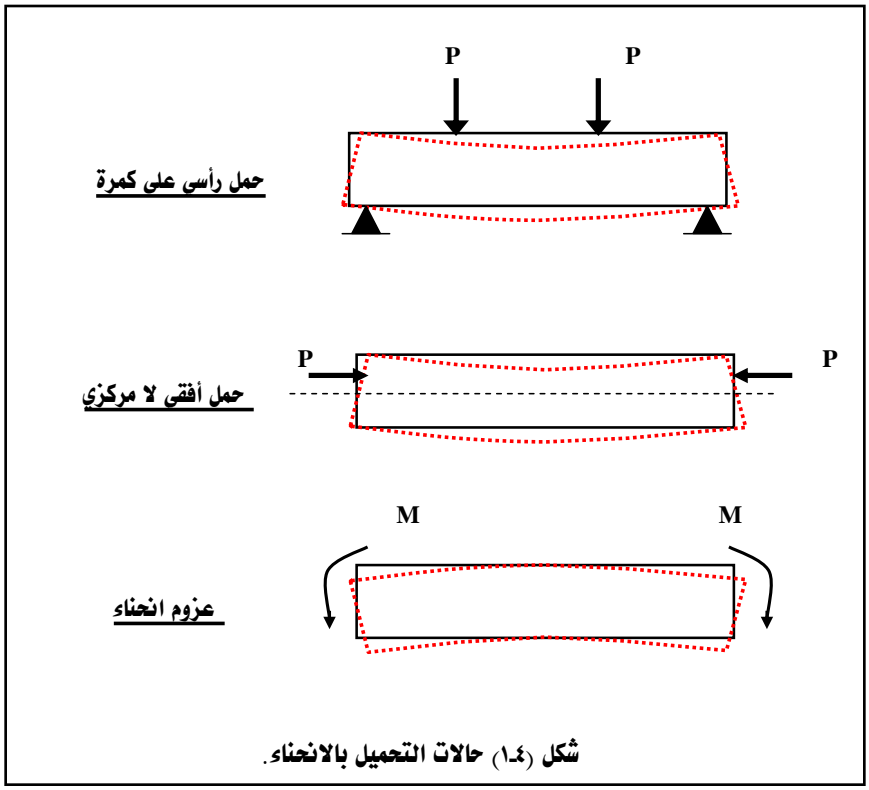
1- اذا كان اعلى اجهاد ضغط (10 ميكاباسكال) احسب قيمة (c) .

2-اذا كان مقدار اعلى اجهاد قص (9 ميكاباسكال) احسب قيمة (b) .



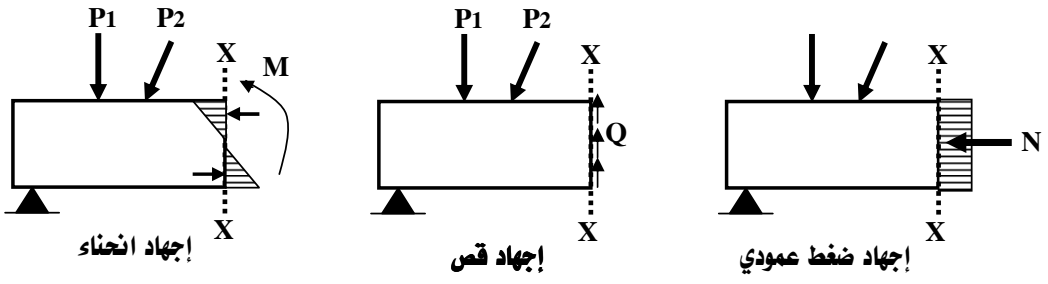
٤- سلوك المواد الهندسية تحت تاثير الانحناء الاستاتيكي

إذا تعرض أى عنصر إنشائي إلى قوة أو أحمال أو عزوم بحيث يتولد عنها إجهادات شد (tension) على أحد أوجه العنصر وإجهادات ضغط (compression) على الوجه المقابل له فإن العنصر يكون فى حالة انحناء (Flextural)، وقد تمر قيمة هذه الإجهادات بالقيمة صفر عند أحد مستويات العنصر الإنشائي المحمل ويسمى محور التعادل للعنصر، وتكون الإجهادات الناشئة عن العزوم مصحوبة بإجهادات قص تؤثر على قطاع العنصر المستخدم. وتحدث حالة الانحناء إذا تعرضت كمرة إلى أحمال رأسية تعمل فى مستوى رأسي مع محور الكمرة أو إلى أحمال لا محورية تعمل فى المستوى المار بمحور الكمرة أو إلى عزوم أنحناء تعمل فى مستوى محور الكمرة كما يتضح ذلك فى شكل (٤-١).

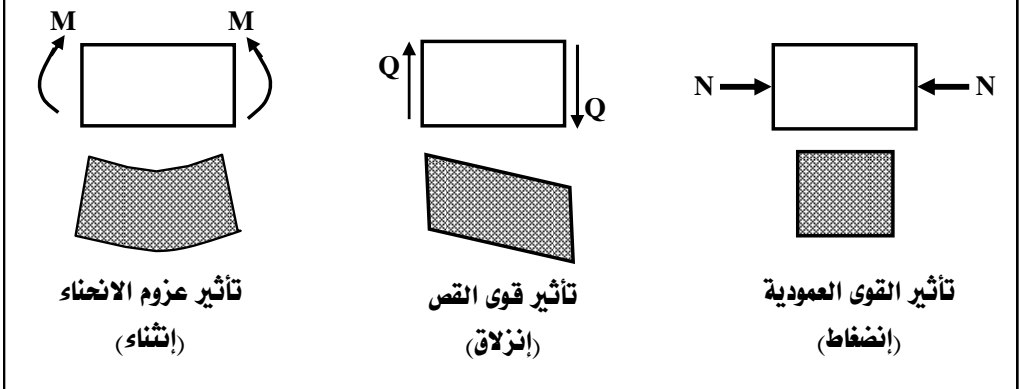


شكل (٤-١) حالات التحميل بالانحناء.

وقد تتعرض المنشآت الهندسية المختلفة والماكينات أثناء تشغيلها إلى إجهادات الانحناء التى قد تكون مصحوبة بإجهاد شد مباشر أو ضغط مباشر أو إجهادات قص أو إجهادات إلتواء كما هو موضح بالشكل (٤-٢). وينتج عن الإجهادات المذكورة السابقة والمؤثرة على المقطع المستعرض للكمرة المحملة انفعالات إنضغاط وإنزلاق وإنثناء لهذا المقطع كما هو مبين بالشكل (٤-٣) وذلك نتيجة لإجهاد الضغط المباشر والقص والانحناء على التوالى.



شكل (٤-٢) الإجهادات الموجودة على مقطع من كمرة.



شكل (٤-٣) الانفعالات الموجودة على مقطع الكمرة.

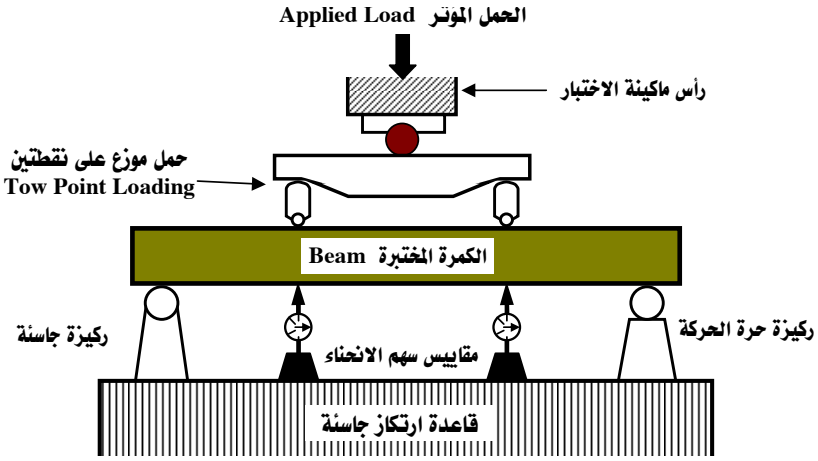
فحص الانحناء

- عينات الفحص:

يجب أن يكون كسر عينة الاختبار ناتج من تأثير الانحناء وليس من قوى القص الأفقية أو الرأسية كذلك ليس نتيجة لإجهادات الشد القطري (Diagonal Stress) الحادثة من تأثير القص. ويمكن أن نعتبر أن العينة مناسبة لإختبار الانحناء وتوفى الاشتراطات السالفة الذكر إذا كان فضاء (بحر) العينة (L) تساوى من ٦ إلى ١٢ مرة من ارتفاع العينة (d) أى أن:

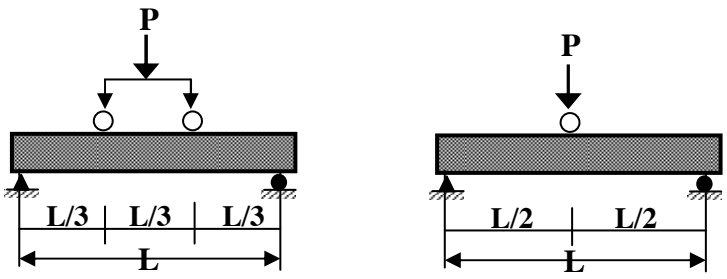
$$\underline{L = 6d \quad to \quad 12d}$$

- اجراء الفحص : تستخدم ماكينة الفحص المبينة في الشكل التالي



- نقاط التحميل

تستخدم نقاط التحميل لنقل الأحمال من ماكينة الاختبار إلى الكمرة المختبرة بحيث تكون موزعة توزيعا منتظما تماما. ويكون التحميل اما في نقطة واحد او نقطتين كما موضح في الشكل ادناه. وللتحميل فى نقطتين أهمية خاصة وهى أنه يمكن الحصول على منطقة بالكمرة تكون تحت تأثير عزم الانحناء الخالص بدون قوى قص ويفضل هذا النوع من التحميل فى بعض المواد القصفة وبالأخص الخرسانة. أما بالنسبة للمواد المعدنية القصفة كالحديد الزهر يفضل أن يكون التحميل فى نقطة فى منتصف الكمرة لسهولته رغم تعرض الكمرة إلى عزم إنحناء وقوة قص حيث أن هذه المواد لها مقاومة أكبر فى القص عنها فى تحميل الشد ويسبب تحميل الكمرة كسرها بقوة الشد الناتجة من عزم الانحناء وليس بقوة القص الأمر الذى يجعل الاختبار هو مقاومة الكمرة لعزم الانحناء.



تحميل فى نقطتين فى ثلث البحر

تحميل فى نقطة واحدة

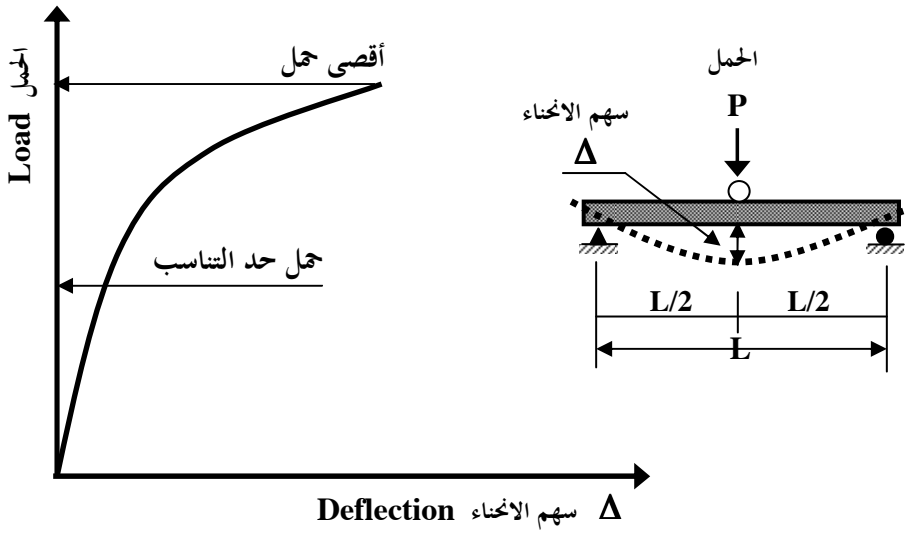
الخواص الميكانيكية في الانحناء

من أهم الخواص الميكانيكية فى الانحناء ما يلي:

• مقاومة الانحناء

يتم تعيين مقاومة الانحناء فى حدود المرونة بحساب إجهاد الانحناء عند حد التناسب وذلك برسم المنحنى البيانى للحمل وسهم الانحناء من واقع القراءات المختبرية وتحديد الحمل عند حد التناسب ثم حساب الإجهاد من المعادلة الآتية:

$$\sigma = \frac{M.Y}{I}$$



أما المقاومة القصوى للانحناء والتى تسمى معاير الكسر (Modulus of Rupture) فتعين للمواد القصفة وهى التى يجرى عليها إختبار الانحناء غالبا باستخدام نفس المعادلة السابقة، ومع أن هذه المعادلة مستنتجة على أساس حد المرونة فقط إلا أنه يمكن استخدامها مع التقريب البسيط للمعادن القصفة نظرا لعدم تغير مقطع الكمرة تغيرا ملحوظا عند الكسر عن المقطع أثناء التحميل الأولي المرن ، وتحسب المقاومة القصوى من حمل الكسر أو الحمل الأقصى فى الإختبار.

• الصلابة تقاس صلابة المادة بقيمة معاير المرونة لهذه المادة حيث أن الصلابة تتناسب طرديا مع معاير المرونة، ويعين معاير المرونة من المعادلات الآتية:

- فى حالة التحميل بحمل مركز فى منتصف الكمرة:

$$\Delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \qquad E = \frac{PL^3}{48\Delta I}$$

- فى حالة التحميل بحملين مركزين عند الثلث الأوسط للكمرة:

$$\Delta_{max} = \frac{23PL^3}{1296EI} \qquad E = \frac{23PL^3}{1296\Delta I}$$

- فى حالة التحميل بحمل موزع على طول الكمرة:

$$\Delta_{max} = \frac{5\,WL^4}{384EI} \qquad E = \frac{5\,WL^4}{384\Delta I}$$

كذلك يمكن التعبير عن صلابة المادة (علاوة على معاير المرونة) بقيمة سهم الانحناء الأقصى عند الكسر (Δmax) وتقارن هذه القيمة بالحدود المبينة بالمواصفات القياسية عند إجراء اختبار الانحناء لقبول أو رفض المواد.

- الرجوعية

الرجوعية فى الانحناء هى قيمة أكبر طاقة يمكن للكمرة أن تختزنها وهى تحت تأثير الحمل فى حدود المرونة ثم إعادة هذه الطاقة كاملة بعد إزالة التحميل. حيث تكون الرجوعية تساوى مساحة المثلث الواقع تحت خط التناسب بين الحمل وسهم الانحناء. ويمكن التعبير عن رجوعية المواد ومقارنتها فى المواد المختلفة بمعاير الرجوعية ويساوى الرجوعية مقسومة على حجم الكمرة المحملة.

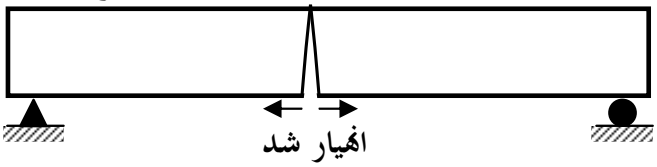
- المتانة

تحدد قيمة المتانة فى الانحناء بالطاقة القصوى التى يمكن للكمرة المختبرة تحملها حتى الكسر وتمثلها المساحة الكلية تحت منحنى الحمل وسهم الانحناء، ويمكن التعبير عن مقاومة المادة للصدم فى تحميل الانحناء بحساب معاير المتانة والذى يساوى المتانة مقسومة على حجم الكمرة المحملة فقط.

انهيار المواد في الانحناء

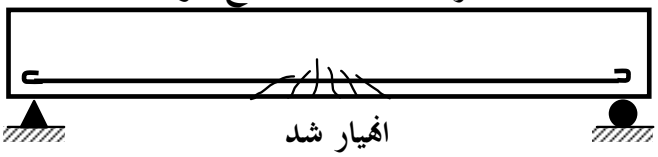
شكل الانهيار فى الكمرات المختبرة يختلف طبقا للعوامل الآتية: - نوع المادة.
- نوع الإجهادات المسببة للإنهيار. - أبعاد العينة المختبرة. - شكل وأبعاد المقطع المستعرض. - العلاقة بين ارتفاع الكمرة وطول فضائها. يكون الانهيار غالبا فى المواد القصفة بالكسر فى المقطع الأكثر إجهاداً عند جزيئاته الطرفية المجهدة بالشد حيث أن نحمل المواد القصفة للشد ضعيف بالنسبة لتحملها فى الضغط.
ويكون شكل الكسر فى الحديد الزهر والخرسانة العادية عمودي على المحور الطولى للكمرة بكامل مقطع الكمرة المختبرة كما هو موضح بالشكل التالي. أما شكل الكسر فى الكمرات من الخرسانة المسلحة والخشب فيكون الانهيار بالشد أو الشد القطري الناتج من القص أو من إجهاد الضغط أحيانا كما هو موضح بالشكل.

حديد زهر أو خرسانة بدون حديد تسليح



انهيار شد

خرسانة بها حديد تسليح غير كاف

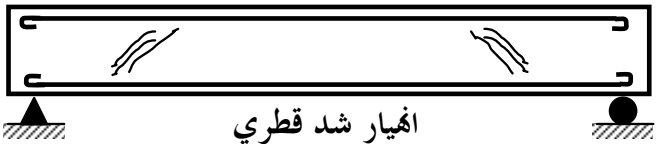


انهيار شد

خرسانة بها حديد تسليح زائد فى منطقة الشد

انهيار ضغط

خرسانة بها حديد تسليح كاف علوي وسفلي



انهيار شد قطري

كمرة من الخشب

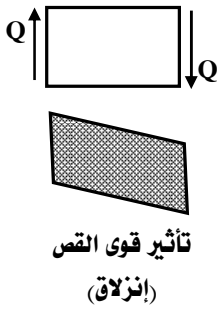
انهيار قص الأخشاب

٤- سلوك المواد الهندسية تحت تاثير القص الاستاتيكي

مقدمة:

تعتبر مقاومة المواد للقص (Shear) مسألة ضرورية وهامة فى تصميم المنشآت وعناصرها مثل الكمرات المعدنية والخرسانية. وتظهر أهمية القص فى أن مقاومة المادة للقص هى التى تتحكم فى مقاومة المواد المطيلة لقوى الشد كذلك فى مقاومة المواد القصفة لقوى الضغط، حيث أنه قد تبين فى الأبواب السابقة أن كسر تلك المواد تحت قوى الشد أو الضغط يكون فى أغلب الأحيان من تأثير قوى القص. والقص هو حالة إنزلاق جزء من المادة على جانب من مقطع مستعرض معين على باقى المادة الواقع على الجانب الآخر من المقطع ويكون ذلك نتيجة تأثير قوى القص أو تأثير عزوم الإلتواء. والقوى التى تسبب القص هي التى تؤثر فى اتجاه موازي للمقطع المستعرض للجسم وينتج عن هذه القوى انفعال بانزلاق أجزاء الجسم موازية لاتجاه قوة القص. وغالبا تحدث حالة القص من تأثير قوى الضغط أو الشد وتسمى **بالقص المباشر** أو من تأثير القوى المسببة للانحناء وتسمى **قص الانحناء**، وأيضا تحدث حالة القص الخالص تحت تأثير عزوم الالتواء والمسببة لانزلاق المقاطع المستعرضة للعينة المختبرة على بعضها البعض غير مصحوبة بعزم انحناء كما فى حالة القص المباشر ويسمى **قص الالتواء**.

١- القص المباشر



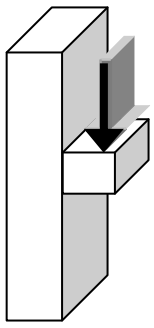
تأثير قوى القص
(إنزلاق)

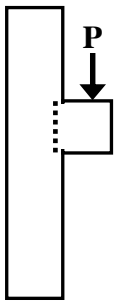
يحدث القص المباشر عندما نؤثر على المقطع المستعرض للعينة المختبرة بقوى موازية أو مماسة لهذا المقطع فى اتجاه رأسى أو أفقى أو مائل بشرط عدم وجود لا مركزية فى حمل القص للوصول إلى القص الخالص والذى يحدث من تأثير قوتين متوازيتين المسافة بينهما معدومة، ولكن تلك القوتين متعاكستين فى الاتجاه. غالبًا فإن القص الخالص تحت تأثير قوى الشد أوالضغط نادرالحدوث من الناحية العملية، لأنه لابد من وجود مسافة بين قوتين الشد أو الضغط ولو بسيطة.

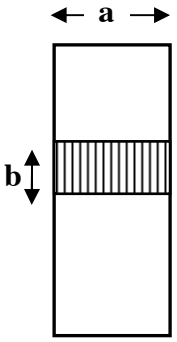
وللقص المباشر أنواع مختلفة منها:

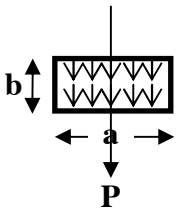
- القص المفرد:- يسمى القص المفرد بذلك لأن قوى القص تؤثر على مقطع مستعرض واحد فقط من العينة المختبرة كما هو موضح بالشكل. وإجهاد القص المفرد هذا يساوى قوة القص مقسومة على مساحة المقطع المقاوم لقوى القص.

$$q = \frac{P}{A} = \frac{Q}{A}$$





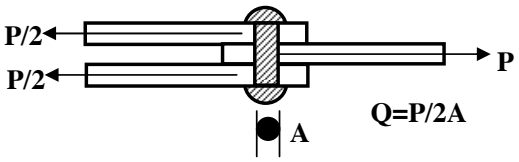


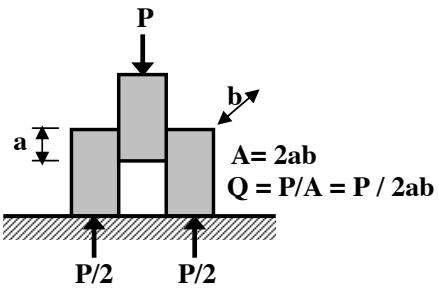


$$Q = P/A = P / ab$$

- القص المزدوج:- هذا النوع من القص المباشر يسمى القص المزدوج لأنه يقاوم تأثير قوى القص بمقطعان مستعرضان من العينة أو الجسم المختبر كما هو مبين بالشكل، وإجهاد القص المزدوج يساوى قوة القص على المساحة المقاومة لهذه القوة أى أن:

$$q = \frac{P}{2A} = \frac{Q}{2A}$$





القص الثاقب :- عندما تتعرض عينة لقوة ضغط لكى تحدث بتلك العينة ثقب كما هو موضح بالشكل)٥-٤(فإن هذه العينة تنكسر تحت تأثير إجهادين هما:

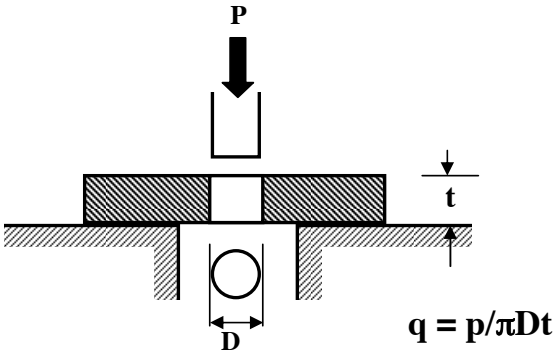
١- اجهاد ضغط :- يؤثر على مساحة المقطع المحملة ويساوى:

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

٢- اجهاد قص :-

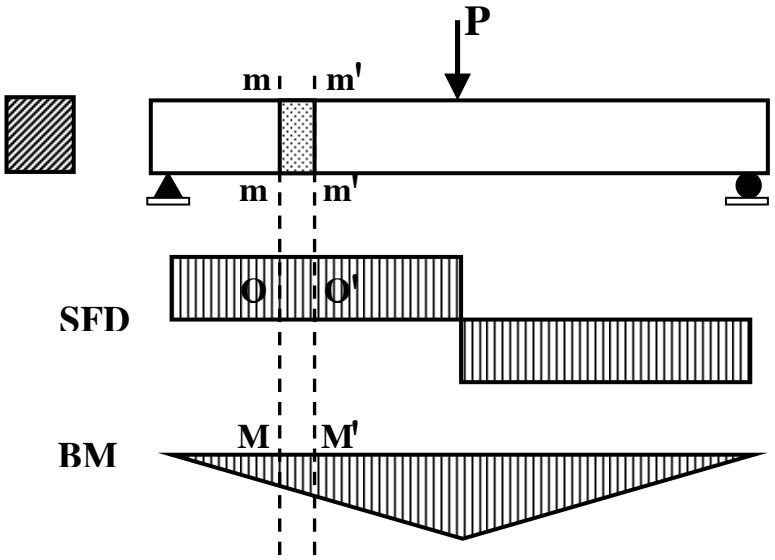
يؤثر على المساحة الجانبية لمحيط مقطع التأثير (المساحة الجانبية للقرص المثقوب) ويسمى إجهاد القص الثاقب (Punching shear)ويساوي:

$$q = \frac{P}{\text{Side Area}} = \frac{P}{\pi.D.t}$$



٢- قص الانحناء

يحدث قص الانحناء بالكمرات أو العناصر الإنشائية التى يؤثر عليها قوى قص تكون مصحوبة بعزوم انحناء، لذلك فإنه إذا حملت كمرة بأحمال تسبب فيها انحناء فإن أى مقطع من مقاطع هذه الكمرة يكون معرضا لتأثير عزم انحناء (M) وقوى قص (Q) كما يتبين من الشكل



٣- قص الالتواء

الالتواء هو إنزلاق احد المقطعين حول محوره على المقطع الاخر . ويحدث الالتـواء إذا تعرض المقطع المستعرض إلى عزم التواء(Torsion) ويكون دوران هذا العزم حول المحور الطولى للعنصر الانشائى.

شكل (٥-١٨) إنهيار المعادن المطيلة فى اختبار الإلتواء

شكل (٥-١٩) إنهيار المعادن القصفة فى اختبار الإلتواء