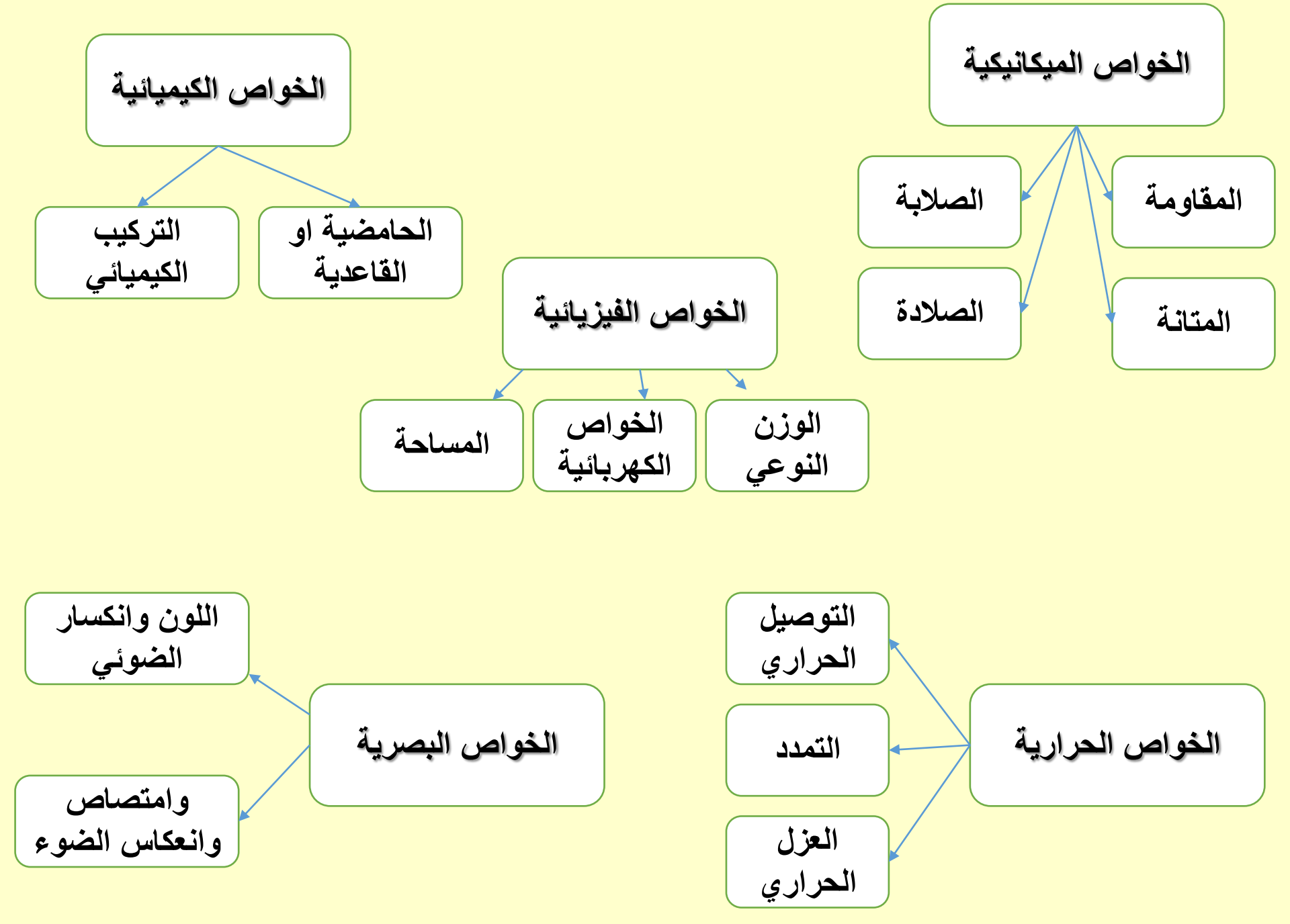
خواص المادة
خواص ميكانيكية
خواص فيزيائية
خواص كيميائية


الخواص الكيميائية
التركيب الكيميائي
الحامضية او القاعدية
الخواص الميكانيكية
الصلابة
المقاومة
الصلادة
المتانة
الخواص الفيزيائية
المساحة
الخواص الكهربائية
الوزن النوعي
اللون وانكسار الضوئي
الخواص البصرية
وامتصاص وانعكاس الضوء
التوصيل الحراري
التمدد
العزل الحراري
الخواص الحرارية

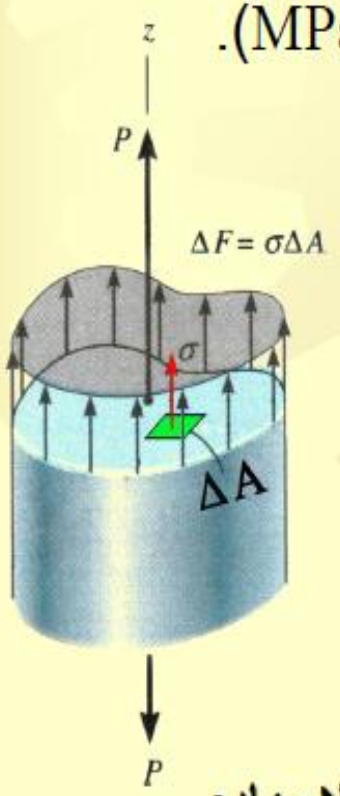
I

الخواص الميكانيكية

Mechanical Properties

1) الإجهاد Stress

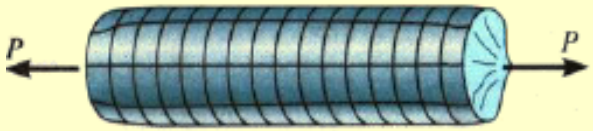
- ✓ هو الحمل Load (أو القوة) الواقع على وحدة المساحة،
- ✓ ويقاس بـ (N/m^2) أو (Pa) أو (MN/m^2) أو (MPa).
- ✓ يمكن التعبير عن الإجهاد بالصيغة الرياضية التالية:



$$\sigma = \frac{F}{A}$$

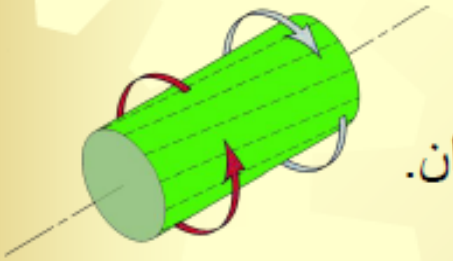
- ✓ **ينتج عن أنواع القوى الواقعة أنواعاً مختلفة من الإجهاد:**

a) **إجهاد الشد**: عندما تتعرض القطعة إلى قوى شد



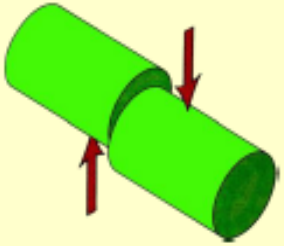
b) **إجهاد الضغط**: عندما تكون القوى ضاغطة.

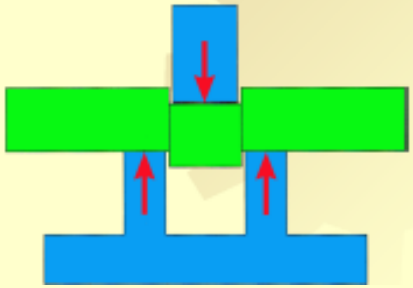
c) **إجهاد اللي**: عندما تتعرض القطعة إلى عزم دوران.



e) **إجهاد الثني** عندما تتعرض القطعة إلى عزم إنحناء.

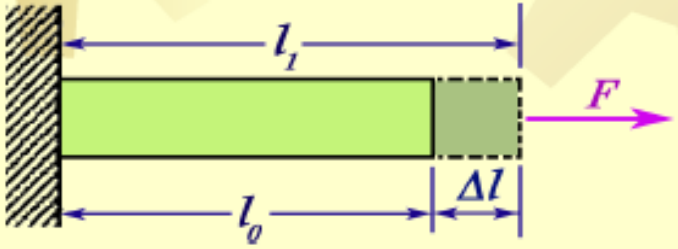
d) **إجهاد القص**: عندما تعمل القوى في خطوط عمل مختلفة.





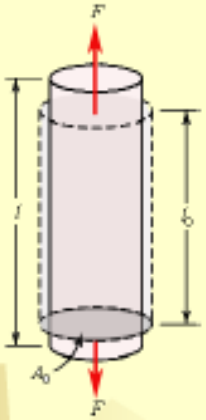
2) الإنفعال Strain

- ✓ وهو ما تعانيه المواد من جراء تطبيق جهد عليها، ويعبر عنها بنسبة التغير في الطول (Δl) الناتج عن تطبيق الحمل إلى الطول الإصلي (l_0).
- ✓ وحدة الإنفعال هي (m/m) أو يمكن أن نقول بأن الإنفعال لا وحدة له Dimensionless.
- ✓ يمكن التعبير عن الإنفعال من خلال المعادلة التالية:

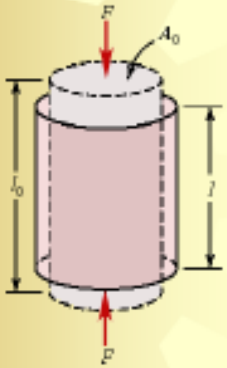


$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

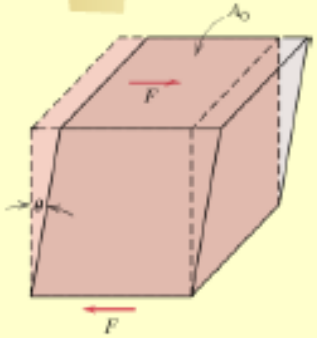
- ✓ **ينتج عن أنواع القوى المطبقة أنواعاً مختلفة من الإنفعال:**



a) **إنفعال شد**: وهو ناتج من قوة شد تعمل على إطالة المادة.



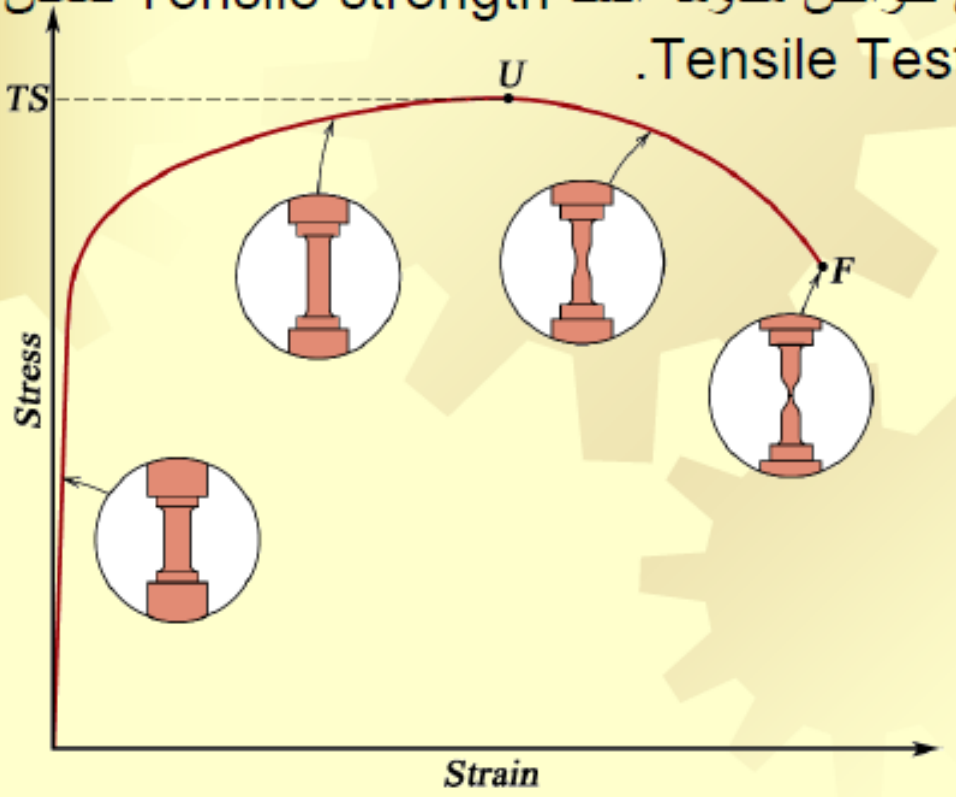
b) **إنفعال ضغط**: وهو ناتج من قوة ضاغطة تعمل على تقصير أو انضغاط المادة.



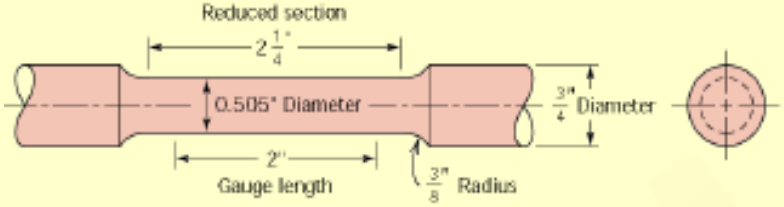
c **إنفعال قص**: وهو ينتج من تطبيق قوى القص على المادة، حيث تؤثر قوتين متعاكستين على خطي عمل مختلفين.

3) المقاومة Strength

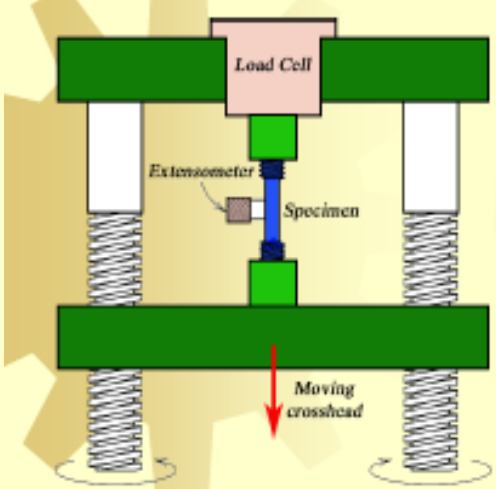
- ✓ **المقاومة هي مقدار تحمل المعدن للقوى المطبقة عليه سواء قوى الشد أو الضغط أو القص .....**
- ✓ يمكن الحصول على خواص مقاومة الشد Tensile strength لمعدن عن طريق إختبار الشد Tensile Test.



إختبار الشد Tensile Test



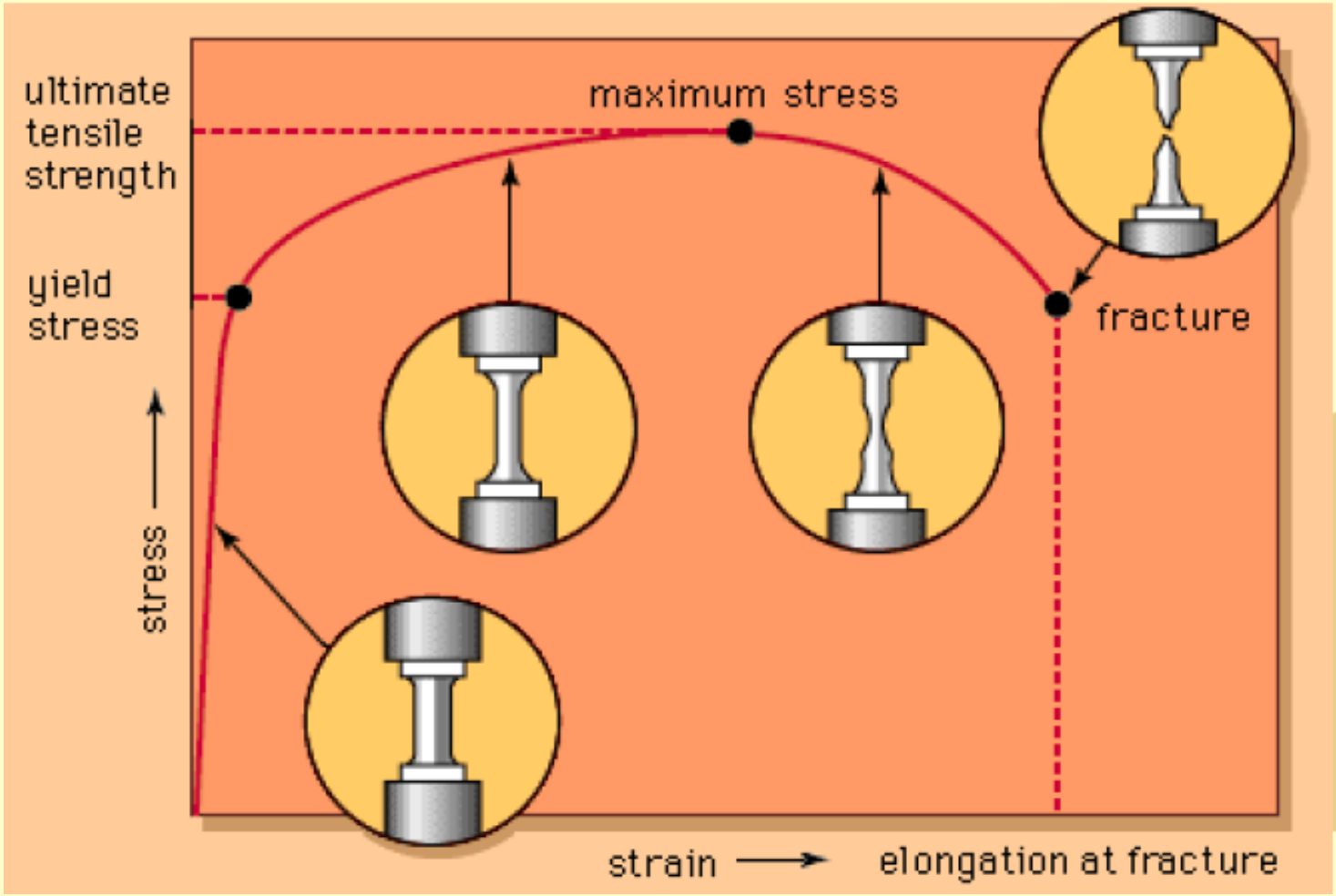
1) تؤخذ قطعة الإختبار المبينة بالشكل وقد عرف منها القطر البدائي (d_0) والطول البدائي (l_0).



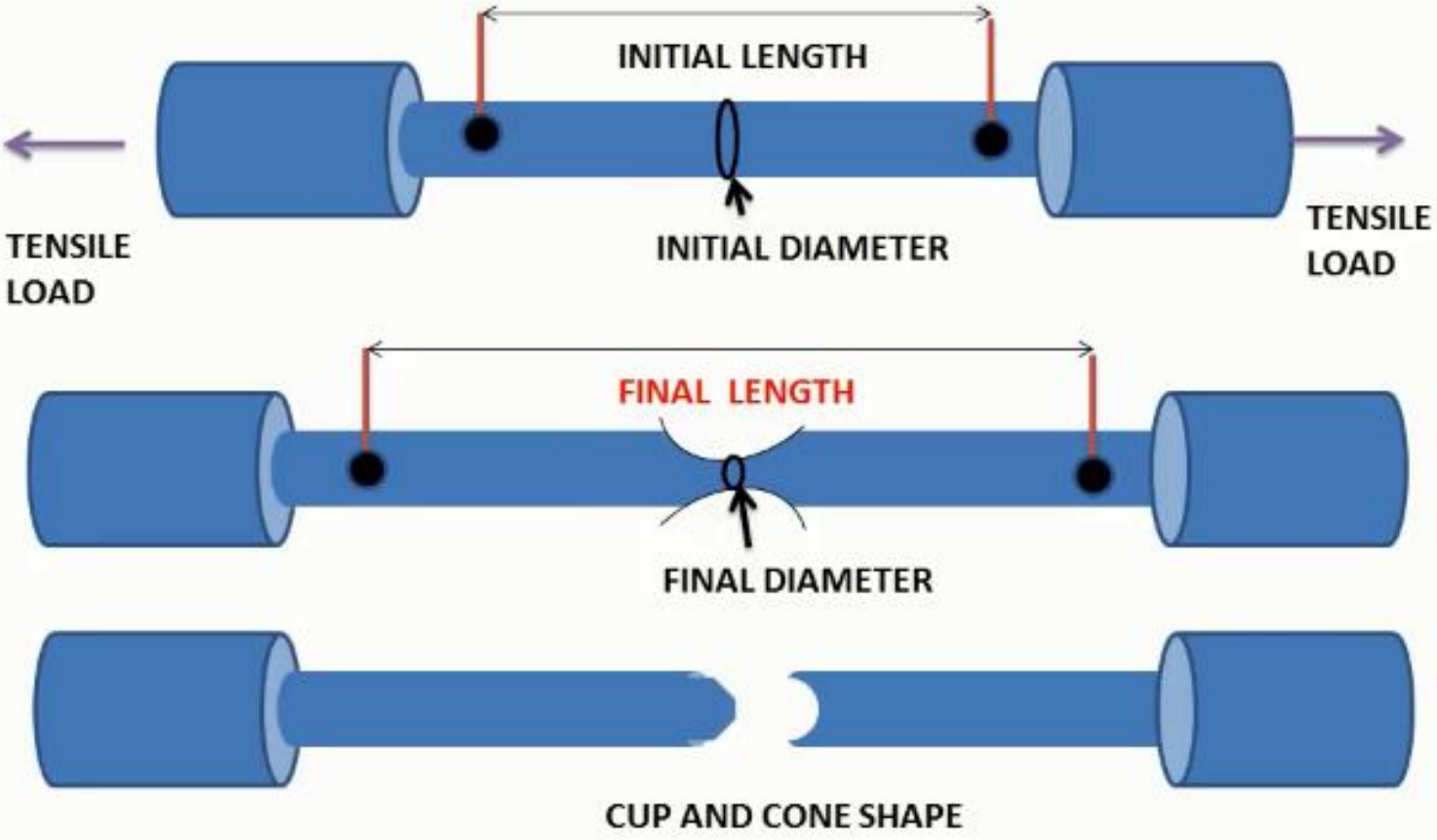
2) توضع القطعة بين الممسكين على آلة الشد، ويقوم جهاز ميكانيكي بعملية الشد يدوياً أو كهربائياً حتى تنهار القطعة.

3) خلال عملية الشد يقوم جهازٌ أخر برسم مخطط الإجهاد – الإنفعال (Stress–strain Diagram) على ورقٍ خاص يركب على الآلة مسبقاً.

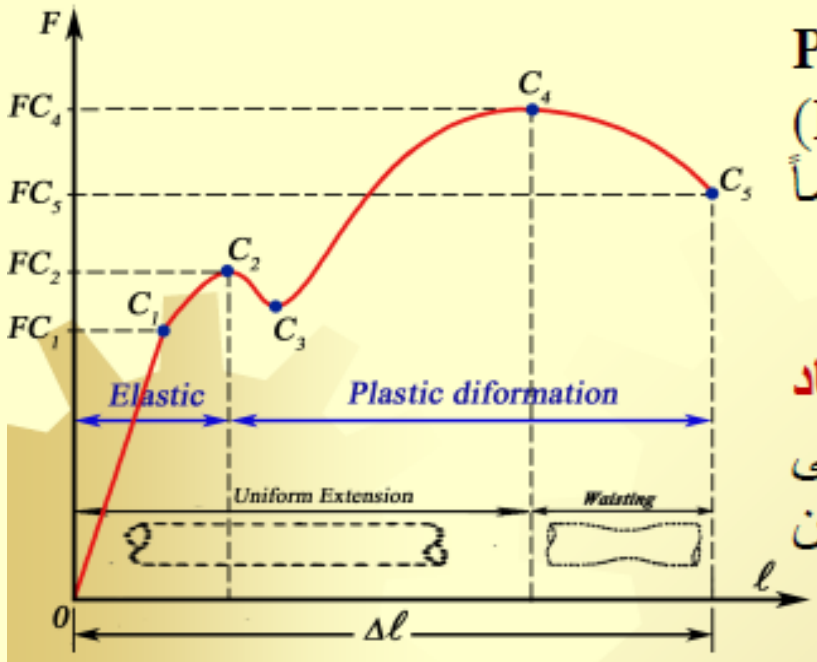
إن شكل منحنى **الإجهاد – الإنفعال** يعتمد أساساً على نوع المعدن المختبر لأنه يعكس الخواص الميكانيكية للمادة.


ultimate
tensile
strength
maximum stress
yield
stress
fracture
stress
strain
elongation at fracture

STRESS - STRAIN CURVE



LOADING



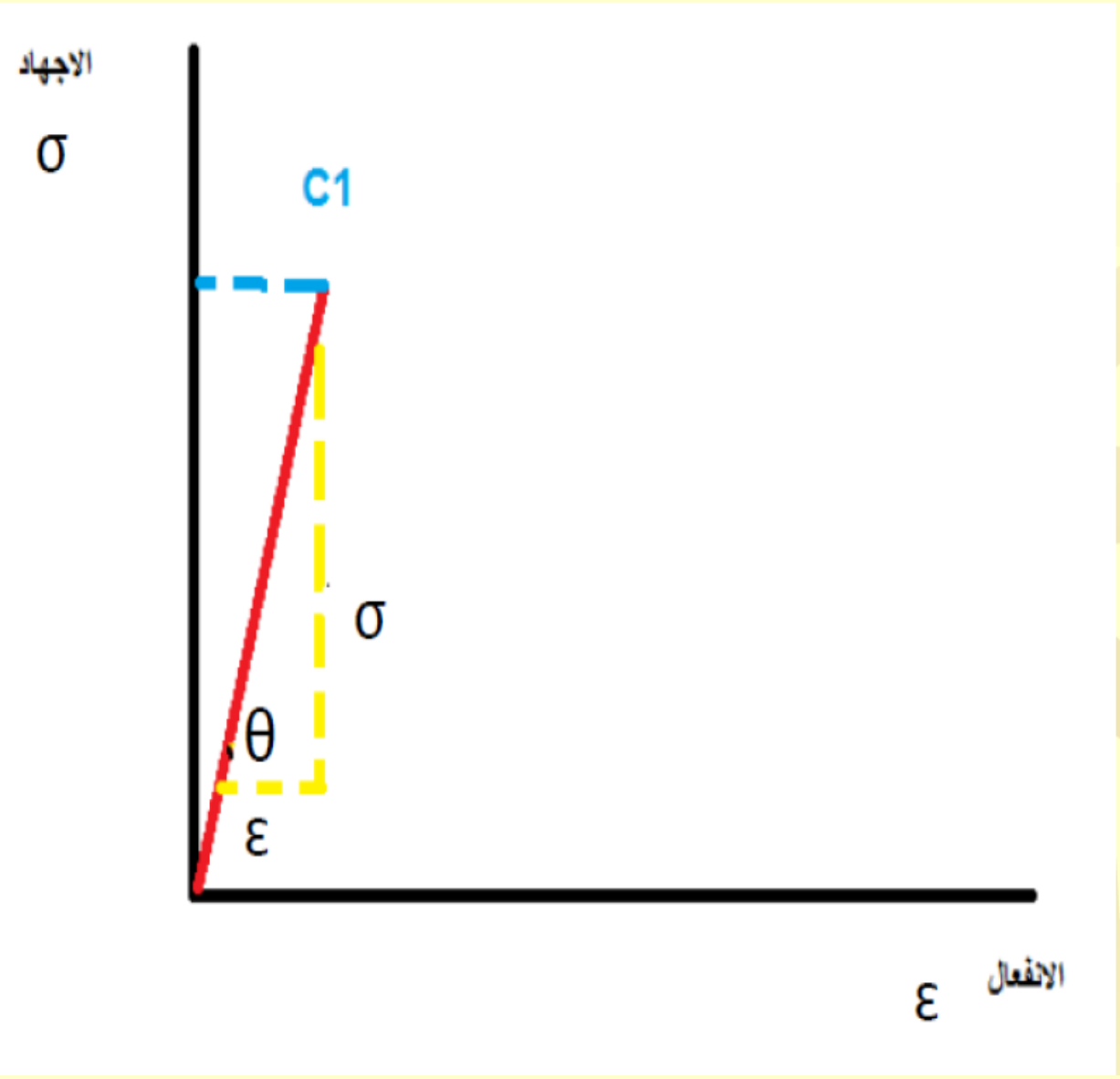
تسمى النقطة C_1 **حد التناسب Proportional limit**، وتحدد هذه النقطة التناسب بين القوة (F) والإستطالة ($\Delta\ l$)، ويكون الخط (OC_1) مستقيماً نظراً لأنه يمثل علاقة خطية.

إن الإجهاد المتكون في جسم القضيب يسمى **إجهاد التناسب**. إلى غاية هذ الإجهاد تخضع المادة إلى قانون هوك Hoke's law الذي ينص على أن الإنفعال يتناسب تناسباً طردياً مع الإجهاد.

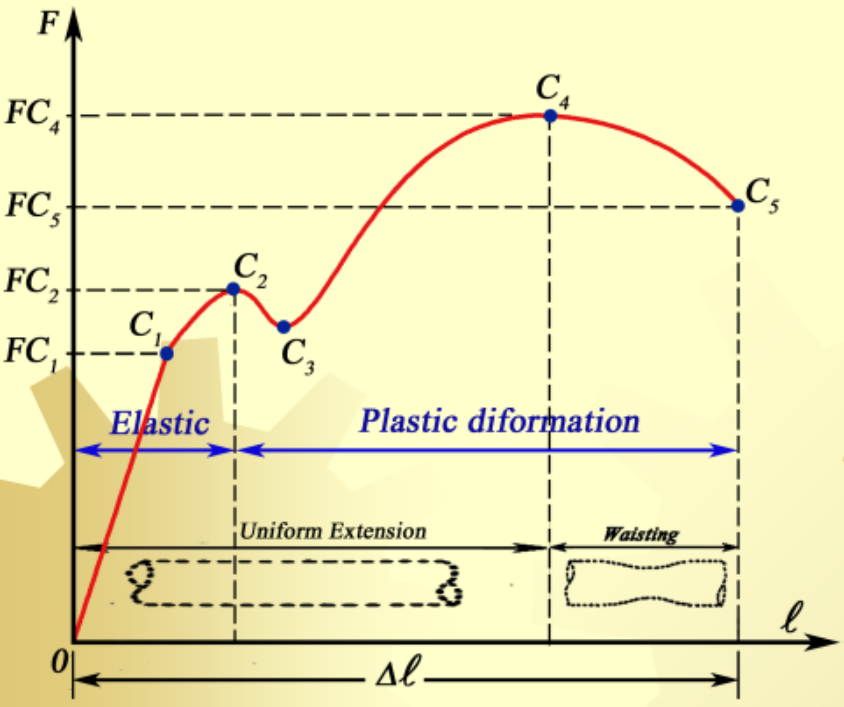
$$\sigma = E\varepsilon$$

يسمى ثابت التناسب (E) بمعامل يونج Young's modulus أو معامل المرونة Modulus of elasticity. **ويعد معامل يونغ مقياس لصلابة المادة وهي مقاومتها للتشكل تحت تأثير الأحمال. فكلما زادت قيمة معامل يونغ كلما قلت قيمة الإنفعال المرن لأي قيمة إجهاد مرن.**

نلاحظ حتى هذه النقطة (C1) إنه عند إزالة القوة المطبقة فإن المادة (عينة الإختبار) ترجع إلى طولها الأصلي. ويكون **الإنفعال مرناً Elastic strain**.



$$E = \tan\theta = \sigma / \varepsilon$$



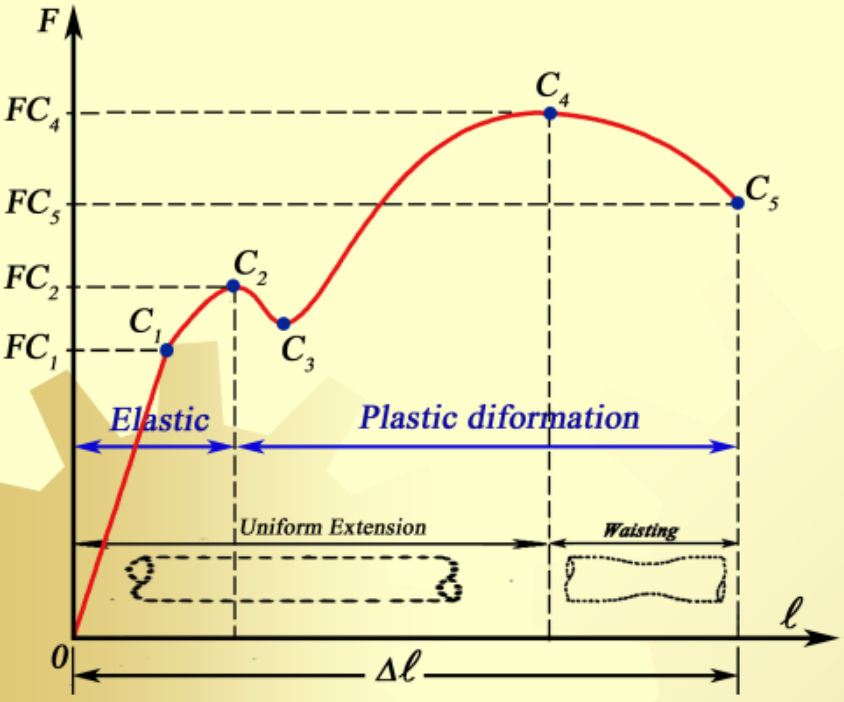
C_2: تسمى **حد المرونة Elastic limit**. هو أقصى قوة مطبقة على المادة بحيث لا يحصل تشوه دائم عند زوال الحمل.

إن الإستطالة الناشئة في القضيب تعتبر **إستطالة مرنة** (أي تزول بعد زوال القوة) إلا إنها ليست متناسبة مع القوة بشكل خطي، أي أن الخط (OC_1C_2) ليس مستقيماً.

إن الإجهاد المتكون في جسم القضيب يسمى **إجهاد المرونة**.

نقطة الخضوع Yield point، هي النقطة التي يتم عندها التحول من الإنفعال المرن إلى الإنفعال اللدن. حيث يلاحظ زيادة ملحوظة في الاستطالة دون زيادة في الحمل. وهذا يدل على الخضوع yield. وهو إجهادان إجهاد الخضوع الأعلى Upper yield point , وهو لا يعد خاصية من خصائص المعدن إذ أنه يعتمد على ظروف الإختبار كسرعة التحميل،

C_3:إجهاد الخضوع الأدنى Lower yield point وهو الذي يعتبر خاصية من الخصائص الميكانيكية للمعدن إذ أن قيمته ثابتة لا تتغير لكل معدن. إن الإجهاد المتكون في جسم القضيب يسمى **إجهاد الخضوع Yield stress**.



C_4: تحدد هذه النقطة المقاومة القصوة Ultimate Strength، وهو القيمة المقاسة لأقصى حمل تستطيع المادة تحمله محورياً؛ وبعد ذلك يبدأ مقطع القضيب بالتخصر (أي أن مساحة مقطعه تنقص)، ويستطيل القضيب مع إنخفاض القوة إلى أن ينكسر.

يمكن حساب الإجهاد الأعظمي بأخذ قيمة أقصى حمل خلال إختبار الشد وقسمته على مساحة المقطع الأصلية:

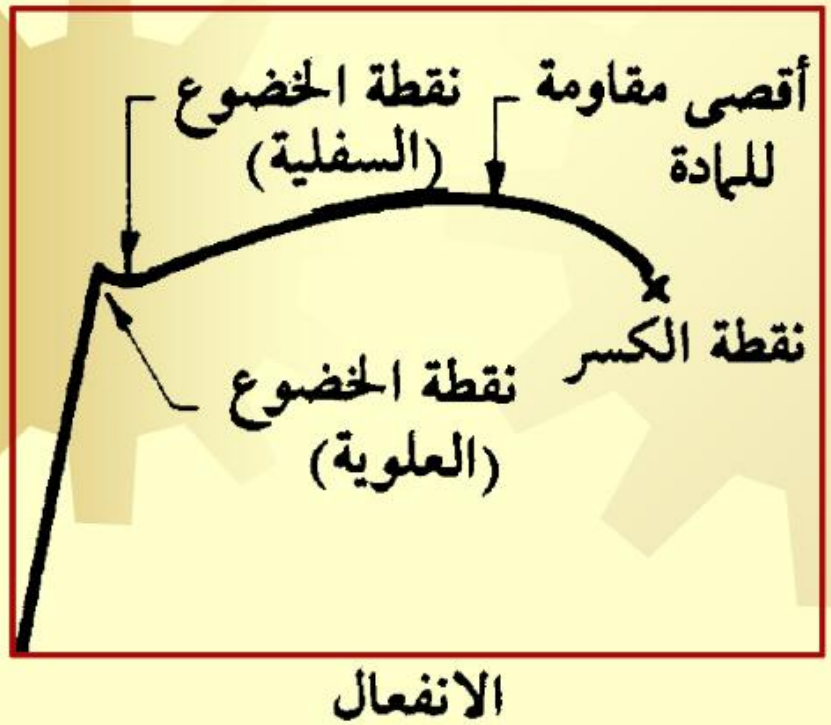
$$\sigma_{ULT} = \frac{F_{Max}}{A_o}$$

مع ملاحظة أن هذا الإجهاد لا يستخدم عادة في حسابات التصميم وذلك لأن العينة قبل هذه النقطة قد حصل لها تشوه دائم. إضافة إلى ذلك فبعد الوصول إلى هذه النقطة فإن العينة سوف تتشوه دائماً بإستخدام إجهاد أقل من الإجهاد الأقصى.

C_5: هي نقطة الكسر، ويسمى الإجهاد عندئذ **بمقاومة الكسر Breaking strength**.

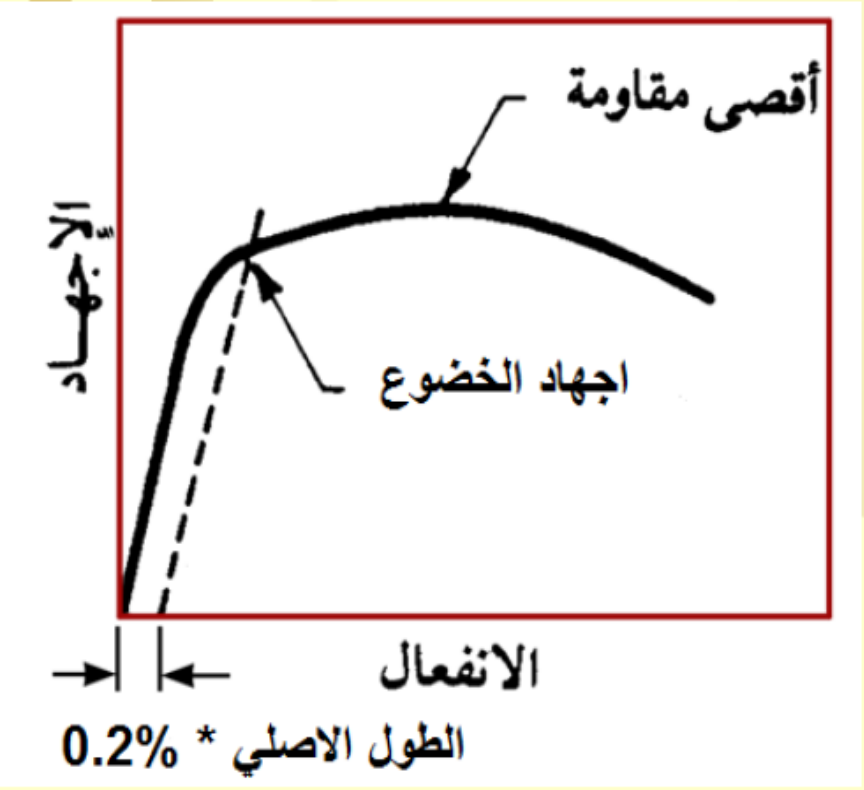
سلوك المعادن تحت تأثير حمل الشد

1) **معادن مطيلة Ductile Metals**:



- ✓ وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد والإنفعال لها بوجود **منطقة مرنة** Elastic Zone **ومنطقة لدنة** Plastic Zone وأخرى بين هاتين المنطقتين تسمى **بمنطقة الخضوع** Yield Zone،
- ✓ كما تمتاز بحصول تشوه كبير لها قبل حدوث الكسر وكذلك تمتاز بتكون العنق Neck.

سلوك المعادن تحت تأثير حمل الشد



2) **معادن نصف مطيلة Semi Ductile Metals:**

- ✓ وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد والإنفعال لها بوجود **منطقة مرنة ومنطقة لدنة** ولكن دون وجود **منطقة خضوع** مميزة بين المنطقتين،
- ✓ كما يحدث لها تشوه متوسط قبل حدوث الكسر وكذلك تمتاز بتكون العنق.

سلوك المعادن تحت تأثير حمل الشد

3) **معادن قصيفة Brittle Metals**:

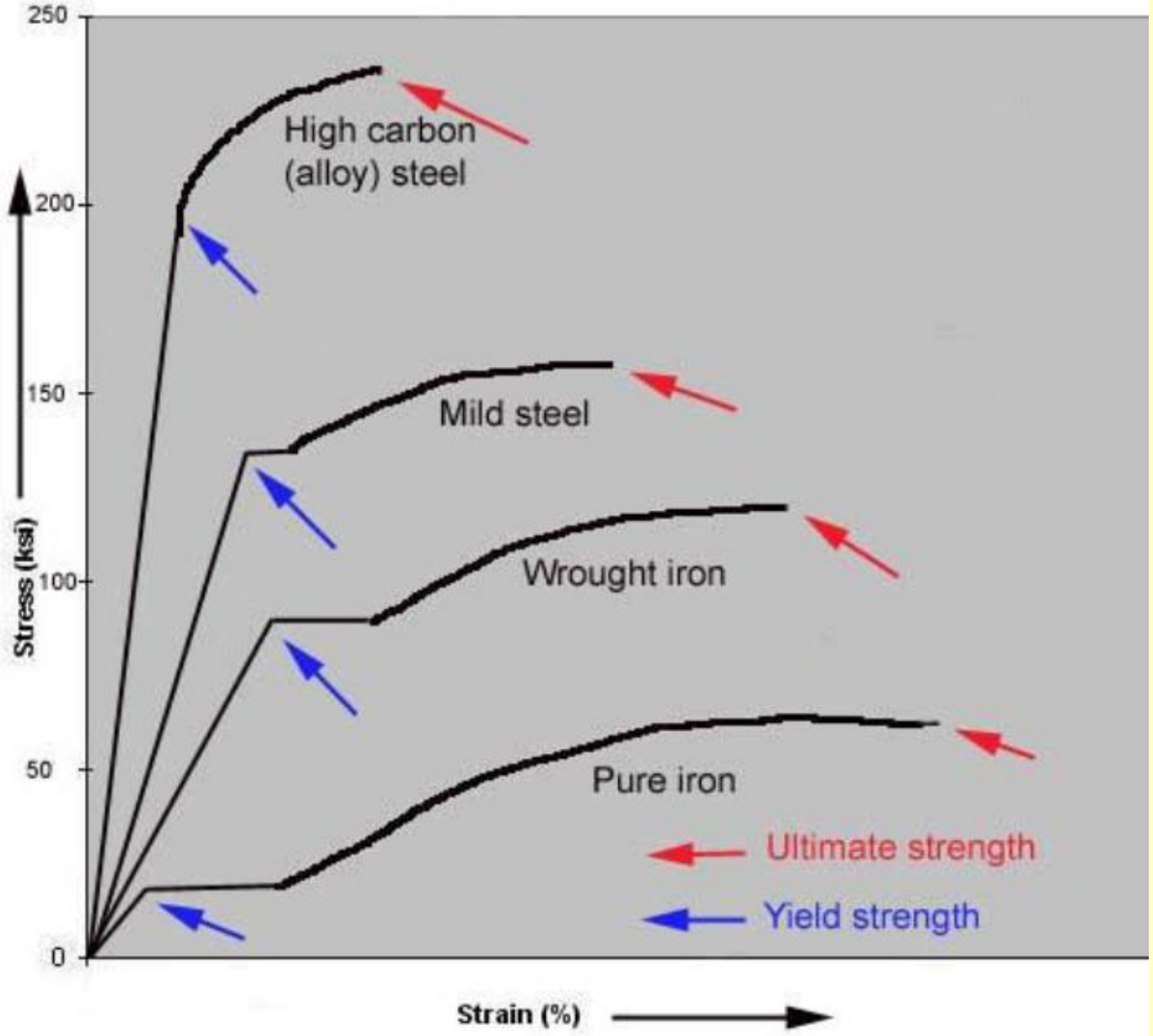
- ✓ وهي المعادن التي لا يوجد لها منطقة خضوع.
- ✓ ولا يوجد لها علاقة تناسب بين الإجهاد والإنفعال فالمنحنى منذ بدايته عبارة عن خط مائل وليس خطاً مستقيماً.
- ✓ ويحدث بها تشوه صغير جداً مقارنة بالمواد الأخرى،
- ✓ كما لا يتكون فيها رقبة، إذ أن المعادن القصيفة لا تتحمل قو الشد لكنها في المقابل تتحمل قوى الضغط بشكل أكبر.

سلوك المعادن تحت تأثير حمل الشد

4) مواد عالية المرونة Super Plastic:

- ✓ وهي المواد التي يزيد فيها الإنفعال المرن عن نسبة 100% مثل المطاط وبعض المواد البلاستيكية.

Comparative Stress/Strain Diagram



للتذكير

- ✓ **المرونة Elasticity**: هي خاصية عودة الجسم لشكله عقب رفع الجهد المطبق عليه، وهي تقاس بمعامل يونج ($E= \sigma/\varepsilon$).
- ✓ **حد المرونة Elastic limit**: وهو أكبر جهد تتحمله المادة دون تشكيل ثابت يبقى بعد إزالة الجهد (القوة).
- ✓ **اللدونة Plasticity**: وهي التشوه الذي يحدث للمادة عقب شدها بحيث لا ترجع إلى وضعها الأصلي بعد زوال القوة.
- ✓ **المقاومة القصوى Ultimate strength**: وتمثل أكبر تحمل أو مقاومة يبديها المعدن للإجهاد قبل أن ينكسر.
- ✓ **الإستطالة Elongation**: وهي مقدار التمدد الثابت الذي يصيب معدناً من جراء شده دون أن ينكسر. ويعبر عادة عن الإستطالة بنسبة مئوية من طول قياس أساسي.

الاجهاد

$$\sigma = \frac{F}{A_0} = \frac{F}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad N/m^2$$

F = القوة المطبقة بالنيوتن

A_0 = مساحة مقطع العينة بالمتر المربع

D = القطر الاصلي لمقطع العينة بالمتر

يختلف قانون مساحة المقطع حسب شكل المقطع ، القانون السابق خاص بالمقاطع الدائرية الغير مجوفة .

الانفعال في حالة الشد

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

الانفعال في حالة الضغط

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L_0 - L}{L_0}$$

الانفعال (هو معدل اي بدون وحدة) $= \epsilon$

معدل التغير في الطول بالمليمتر $= \Delta L$

الطول الاصلي للعينة بالمليمتر $= L_0$

الطول الحقيقي بعد تسليط القوى بالمليمتر $= L$

معامل يونج

$$E = \frac{\sigma_y}{\epsilon_y} \quad N/m^2$$

E = معامل المرونة أو معامل يونج N/m^2

σ_y = قيمة أجهاد الخضوع N/m^2

ϵ_y = قيمة الانفعال عند نقطة الخضوع

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}$$

A_0 = مساحة مقطع العينة بالمتر المربع

F_y = القوة المطبقة عند نقطة الخضوع بالنيوتن

$$\epsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0}$$

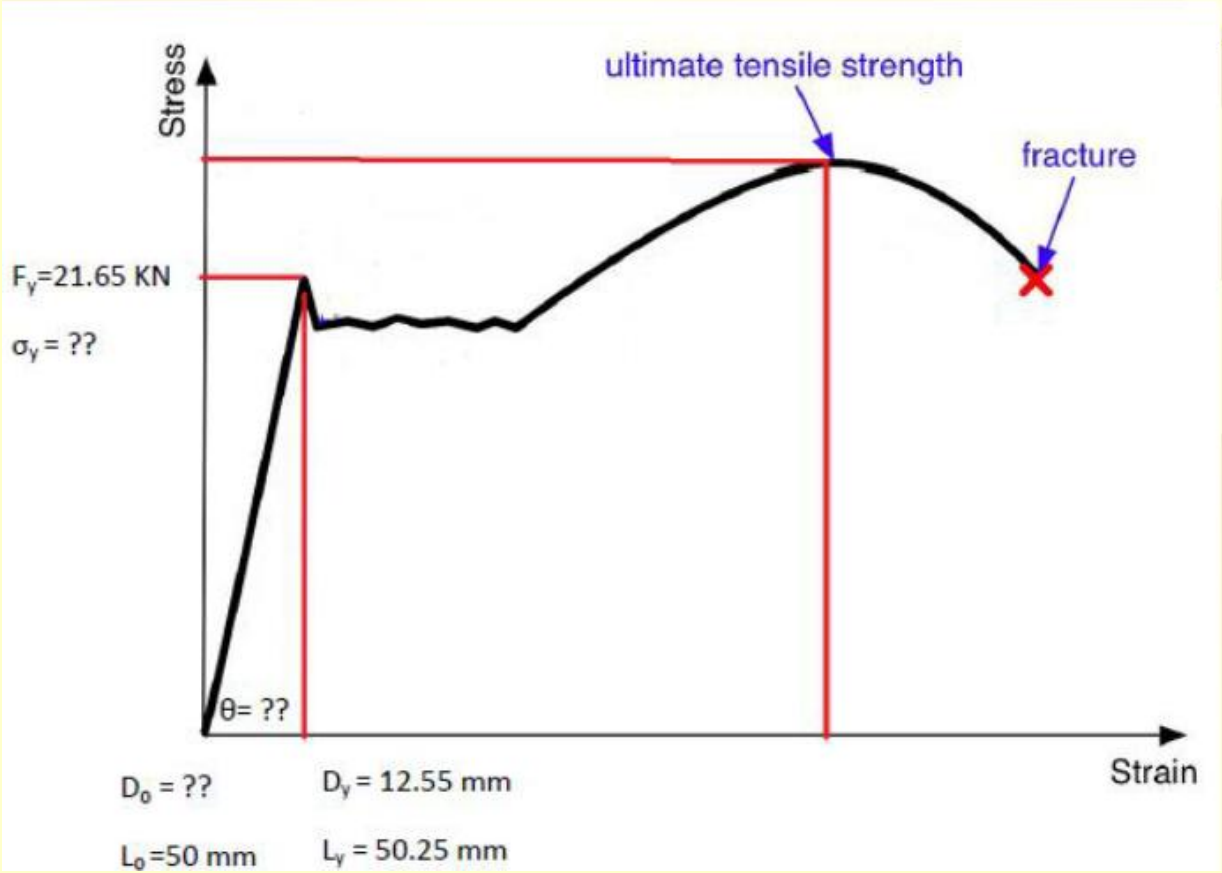
L_0 = الطول الاصلي للعينة بالمليمتر

L_y = الطول الحقيقي عند اجهاد الخضوع بالمليمتر

مثال 1:

أظهرت نتائج إختبار الشد في مادة معينة أن إجهاد الخضوع وقع عندما كانت قيمة القوة المطبقة 21.65 kN وعندما كان قطر القضيب 12.55 mm. إذا كان طول القضيب قبل إجراء الإختبار 50 mm وكان طوله عند الخضوع 50.25 mm، أوجد الأتي:

1) مقدار إجهاد الخضوع.
2) معامل المرونة
3) القطر الاصلي .



الحـــــــل

1) إيجاد مقدار إجهاد الخضوع Yield stress:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} = \frac{F}{\frac{\Pi}{4}D^2} = \frac{21.650\ kN}{\frac{\Pi}{4}\left(12.55\times10^{-3}\ m\right)^2}$$

$$\sigma = 175\times10^6\ N/m^2 = 175\ MN/m^2$$

2) إيجاد مقدار معامل المرونة Young's modulus:

$$\sigma = E\,\varepsilon \qquad E = \frac{\sigma_y}{\epsilon_y} \qquad \epsilon_y = \frac{L_y - L_0}{L_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\left(\frac{\Delta l}{l_o}\right)} = \frac{\sigma}{\left(\frac{l - l_o}{l_o}\right)} = \frac{175\times10^6\ \ N/m^2}{\left(\frac{50.25\ mm - 50\ mm}{50\ mm}\right)}$$

$$E = 35\times10^9\ \ N/m^2 = 35\ \ GN/m^2$$

3) ايجاد القطر الاصلي :

يمكن استخدام التناسب بين الحجم الاصلي والحجم عند نقطة الخضوع للوصول الى القطر الاصلي ولكن هذه الطريقة لا يمكن استخدامها خارج منطقة وحد المرونة .

$$V_0 = V_y$$

$$\frac{\pi {D_0}^2 * L_0}{4} = \frac{\pi {D_y}^2 * L_y}{4}$$

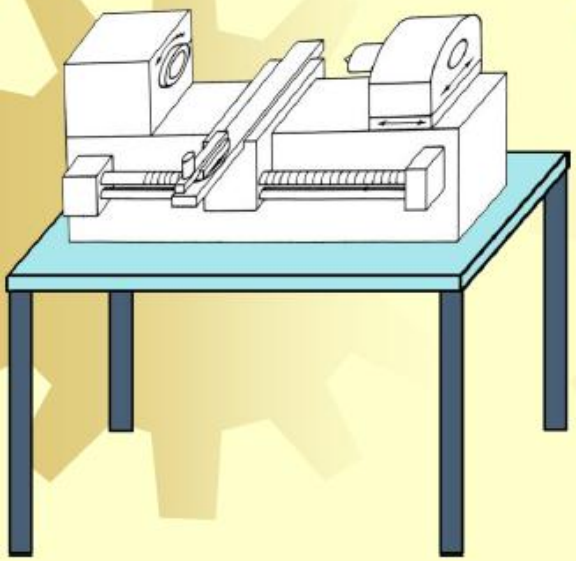
$${D_0}^2 * L_0 = {D_y}^2 * L_y$$

$$D_0 = \sqrt[2]{\frac{{D_y}^2 * L_y}{L_0}}$$

$$D_0 = \sqrt[2]{\frac{(12.55)^2 * 50.25}{50}} = 12.581 \text{ mm}$$

$$\Delta D = D_0 - D_y = 12.581 - 12.550 = 0.031\, mm$$

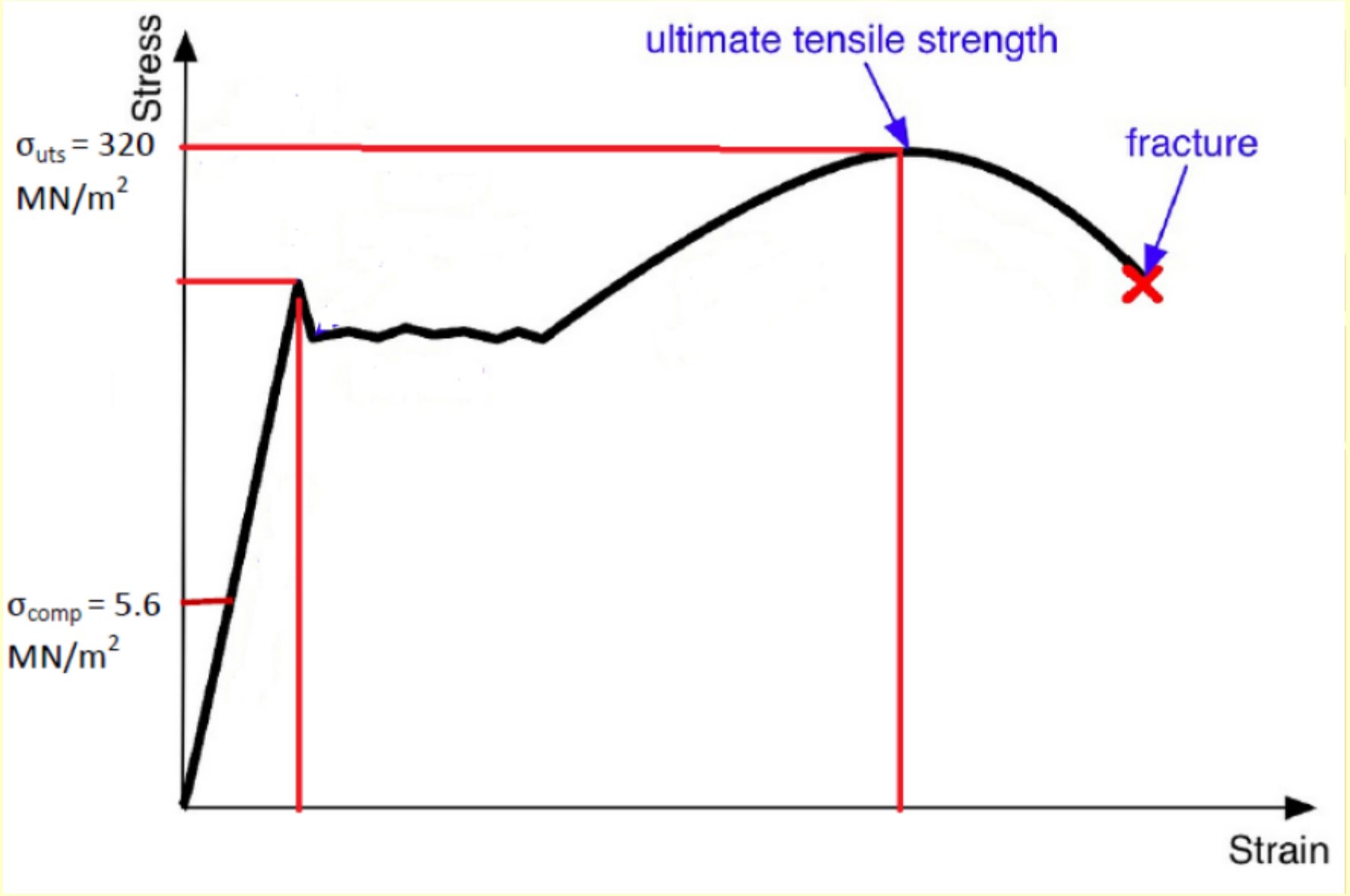
مثال 2:



وضعت آلة خراطة كتلتها 450 kg على منضدة معدنية لها أربع أرجل من المعدن تبلغ مقاومته القصوى للإنضغاط 320 MN/m^2. إذا كان مقطع الأرجل على شكل مربع طول ضلعه 50 mm وكانت الأرجل مجوفة وسمكها يبلغ 1 mm، أجب عن الأتي:

1) هل تتحمل أرجل الطاولة ثقل الآلة (أهمل وزن الطاولة)؟

2) ما هو اكبر وزن يمكن أن تتحمله الطاولة دون أن تنهار؟


Stress
ultimate tensile strength
fracture
σ_{uts} = 320
MN/m^2
σ_{comp} = 5.6
MN/m^2
Strain

الحـــــــل

1) لكي نعرف ما إذا كانت أرجل الطاولة قادرة على تحمل ثقل الآلة أم لا، نجري مقارنة بين إجهاد الإنضغاط الواقع بفعل وزن الآلة وأقصى إجهاد ضغط تتحمله الأرجل.

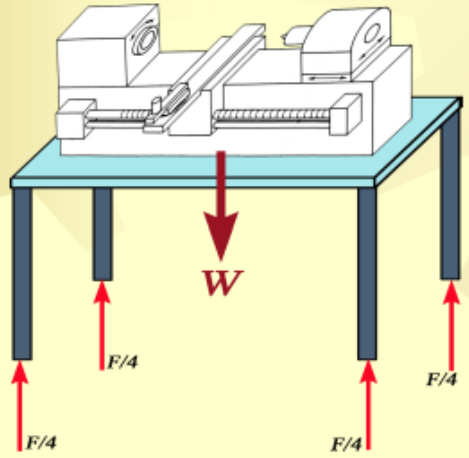
إجهاد الضغط:

$$\sigma_{Compression} = \frac{F}{A} = \frac{\text{وزن الآلة المؤثرة على الأرجل الأربعة}}{\text{مساحة مقطع أرجل الطاولة}}$$

وزن الآلة المؤثر على أرجل الطاولة الأربعة:

$$F = W = m \times g$$

$$= 450\,kg \times 9.81\,m/s^2 = 4415\,N$$



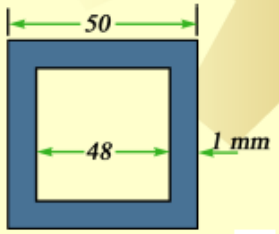
لو فرضنا أن القوة الناتجة بفعل وزن الآلة موزعة بالتساوي على الأرجل الأربعة، فإن مقدار القوة على الرجل الواحدة (F_L) يساوي:

$$F_L = \frac{F}{4} = \frac{4415\,N}{4} = 1104\,N$$

مساحة مقطع الرجل الطاولة (A_L) :

$$A_L = A_o - A_i = \left(50 \times 10^{-3}\ m\right)^2 - \left(48 \times 10^{-3}\ m\right)^2$$

$$= 1.96 \times 10^{-4}\ m^2$$



✓ **إجهاد الضغط الواقع على الرجل الواحدة** $\sigma_{Compression}$:

$$\sigma_{Compression} = \frac{F}{A} = \frac{1104\ N}{1.96\times10^{-4}\ m^2} = 5.63\times10^{6}\ N/m^2$$

$$= 5.63\ MN/m^2 \ll \ Ultimate\ strength$$

✓ بهذا يتضح أن إجهاد الضغط الواقع على رجل الطاولة أقل بكثير من مقاومة الإنضغاط القصوى للمعدن المصنوعة منه.

✓ إذاً فإنه نعم تستطيع أرجل الطاولة تحمل ثقل الآلة.

2) أكبر وزن تتحمله أرجل الطاولة:

من قانون الإجهاد الأعظمي للمادة:

$$\sigma_{Ultimate} = \frac{F_{Ultimate}}{A}$$

$$320\times10^{6}\ N/m^{2} = \frac{F_{Ultimate}}{4\times\left(1.96\times10^{-4}\ m^{2}\right)}$$

$$F_{Ultimate} = 4\times\left(1.96\times10^{-4}\ m^{2}\right)\times\left(320\times10^{6}\ N/m^{2}\right)$$

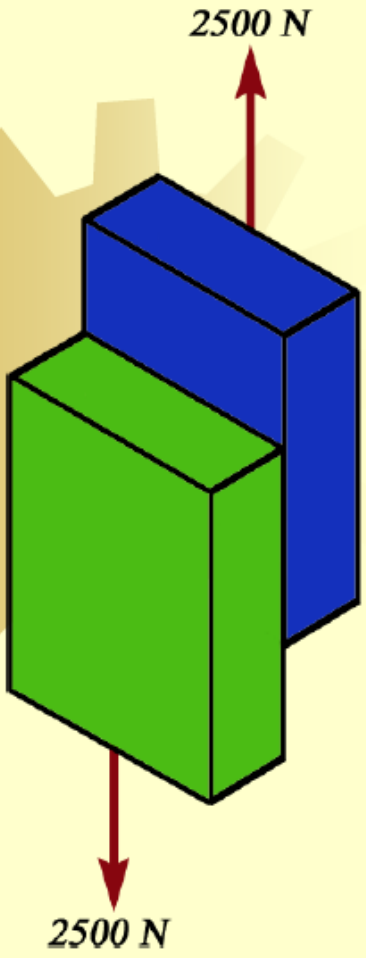
$$F_{Ultimate} = 250.88\times10^{3}\ N = 250.88\ kN$$

$$F = mg$$

$$m = \frac{F}{g} = \frac{250.88*10^{3}}{9.81} = 25574Kg$$

أي ان أرجل الطاولة الاربعة قادرة على تحمل وزن قدره **25574** كيلوجرام. قيمة أقصى حمل عالية جداً نتيجةً لافتراض قيمة عالية لمقاومة اقصى إنضغاط **320 MN/m2**.

مثال (3)



- قطعتان معدنيتان يراد ربطهما معاً بمسامير برشامية قطر كل منها 3 mm إلا أن هاتين القطعتين سوف تتعرضان لقوتي شد متساويتين.
- إذا كان مقدار كل من القوتين 2500 N وكان أقصى إجهاد قص تتحمله مادة البراشم هو $140\ MN/m^2$.
- أوجد عدد البراشيم اللازمة لتثبيت القطعتين.

الحـــــــــل

1) نجد أولاً المساحة الكلية لجميع المسامير البرشامية التي ستحمل القوى المطبقة على القطعتين المعدنيتان:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$140\times10^{6}\ N/m^{2} = \frac{2500\ N}{A}$$

$$A = \frac{2500\ N}{140\times10^{6}\ N/m^{2}} = 1.786\times10^{-5}\ m^{2}$$

2) نوجد المساحة المقطعية للمسمار الواحد (A_b):

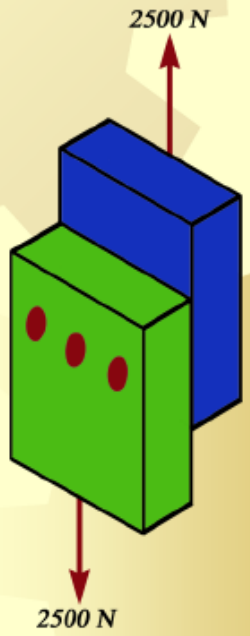
$$A = \frac{\pi}{4}D^{2} = \frac{\pi}{4}\left(3\times10^{-3}\ m\right)^{2} = 7.069\times10^{-6}\ m^{2}$$

1) نحسب عدد المسامير البرشامية اللازمة لتحمل 2500 N بقسمة المساحة الكلية على مساحة مقطع المسمار الواحد:

$$n = \frac{A}{A_b}$$

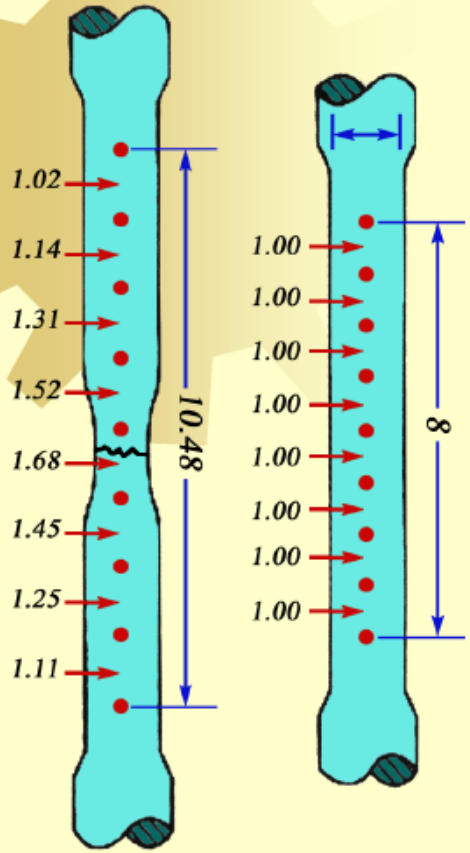
$$n = \frac{1.786 \times 10^{-5}\ m^2}{7.069 \times 10^{-6}\ m^2} = 2.53$$

إذاً عدد المسامير البرشامية اللازمة لتثبيت القطعتين ولتحمل قوة شد مقدارها 2500 N يساوي 3 مسامير.



4) المطولية (Ductility)

- ✓ وهي تقيس قابلية المعدن للاستطالة باتجاه الشد أو التشكيل الثابت عند الطرق إذا ما زادت القوة المطبقة عن حد المرونة Elasticity limit ودخلت مجال اللدونة Plasticity دون أن تتكسر.
- ✓ تعرف قدرة المعدن على التغير في شكله دون أن ينكسر بالمطولية .
- ✓ تقدر المطولية بتحديد النسبة المئوية لإستطالة عينة بإختبار الشد.
- ✓ يلاحظ إن نسبة التمدد المقاسة على طول العينة تختلف من موضع لآخر، فمثلاً تكون كبيرة في منطقة التخصر بينما تكاد أن تتساوى في مواضع أخرى.
- ✓ يمكن قياس المطولية أيضاً بإجاد النسبة المئوية للنقص في المساحة التي تحصل في منطقة التخصر:



$$Ductility = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

مثال 5:

أظهرت نتائج إختبار الشد لقضيب معدني قطره 12.55 mm أن إجهاد الخضوع وقع عندما كانت قيمة القوة المطبقة 21.65 kN. إذا كان طول القضيب قبل إجراء الإختبار 50 mm وكان طوله عند الخضوع 50.25 mm، وطوله الكلي بعد الكسر 54.5 mm، وقطره في منطقة التخصر 11.85 mm، أوجد الأتي:

1) النسبة المئوية للزيادة في الطول.
2) النسبة المئوية للنقص في المساحة.

الحـــــــل

1) **النسبة المئوية للزيادة في الطول:**

$$\varepsilon_L = \frac{l - l_o}{l_o} \times 100 = \frac{54.5 - 50}{50} \times 100 = 9\,\%$$

2) **النسبة المئوية للنقص في المساحة :**

$$\varepsilon_A = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

$$A_f = \frac{\pi}{4} D_f^2 = \frac{\pi}{4} \left(11.85 \times 10^{-3}\ m\right)^2 = 110 \times 10^{-6}\ m^2 = 110\ \mu m^2$$

$$A_o = \frac{\pi}{4} D_o^2 = \frac{\pi}{4} \left(12.55 \times 10^{-3}\ m\right)^2 = 124 \times 10^{-6}\ m^2 = 124\ \mu m^2$$

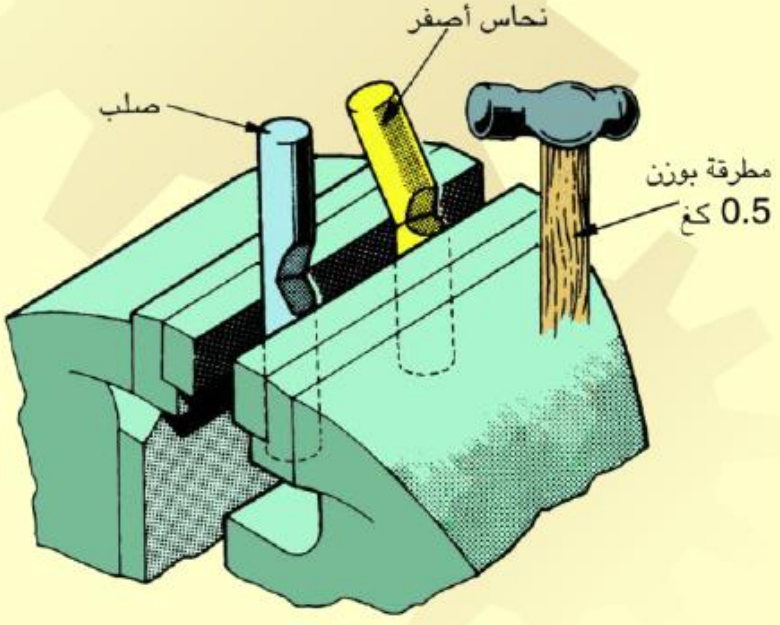
$$\varepsilon_A = \frac{124 - 110}{124} \times 100 = 11.3\,\%$$

5) القصافة (Brittleness)

- ✓ عندما تنهار المادة بمطولية قليلة او بدون مطولية تسمى مادة قصيفة .
- ✓ المادة القصيفة تكون النسبة المئوية للنقص في المساحة (0%) او اكثر بقليل .
- ✓ غالباً ما تكون مقاومة المادة القصيفة لقوى الضغط أعلى من مقاومتها لقوى الشد.
- ✓ دائما ما يصعب تشكيل المواد القصيفة وخاصة عند التشكيل على البارد .

6) المتانة Toughness

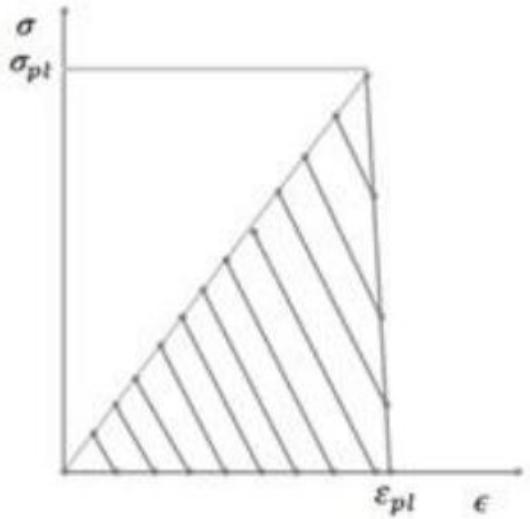
- ✓ هي قابلية المادة لامتصاص القدرة (energy) أثناء التشوه اللدن قبل حدوث الكسر.
- ✓ يعبر عنها بالشغل على وحدة الحجم اللازم لكسر المادة .
- ✓ ترتبط المتانة بقوى الصدم حيث تجرى اختبارات تسمى باختبار الصدم (Impact test) لتحديد متانة المادة أو مقاومة الكسر.



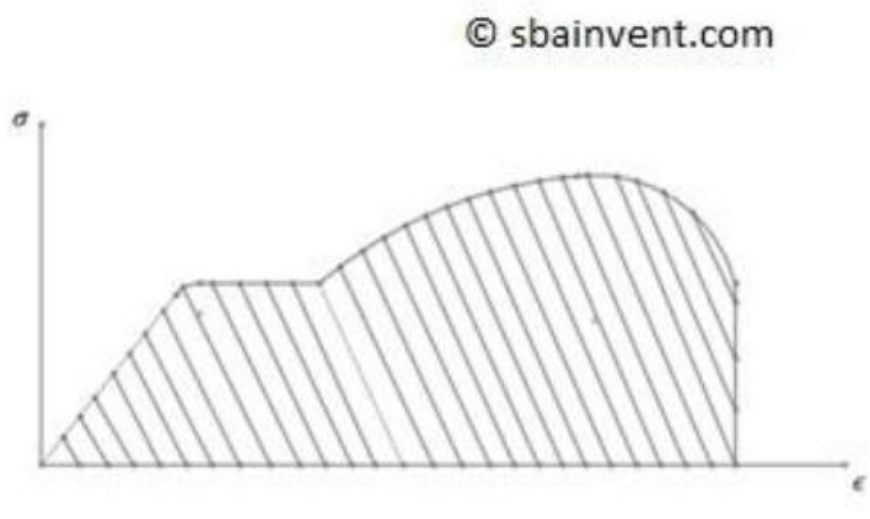
اختبار المتانة والهشاشة (القصافة)

- ✓ تمثل المساحة الكلية الموجودة تحت من منحنى الإجهاد والإنفعال القيمة المطلوبة لتحديد المتانة لمعدنٍ ما.

- ✓ تمثل المساحة الكلية الموجودة تحت من منحنى الإجهاد والإنفعال في منطقة المرونة كمية الطاقة الممتصة من المعدن دون حدوث كسر .



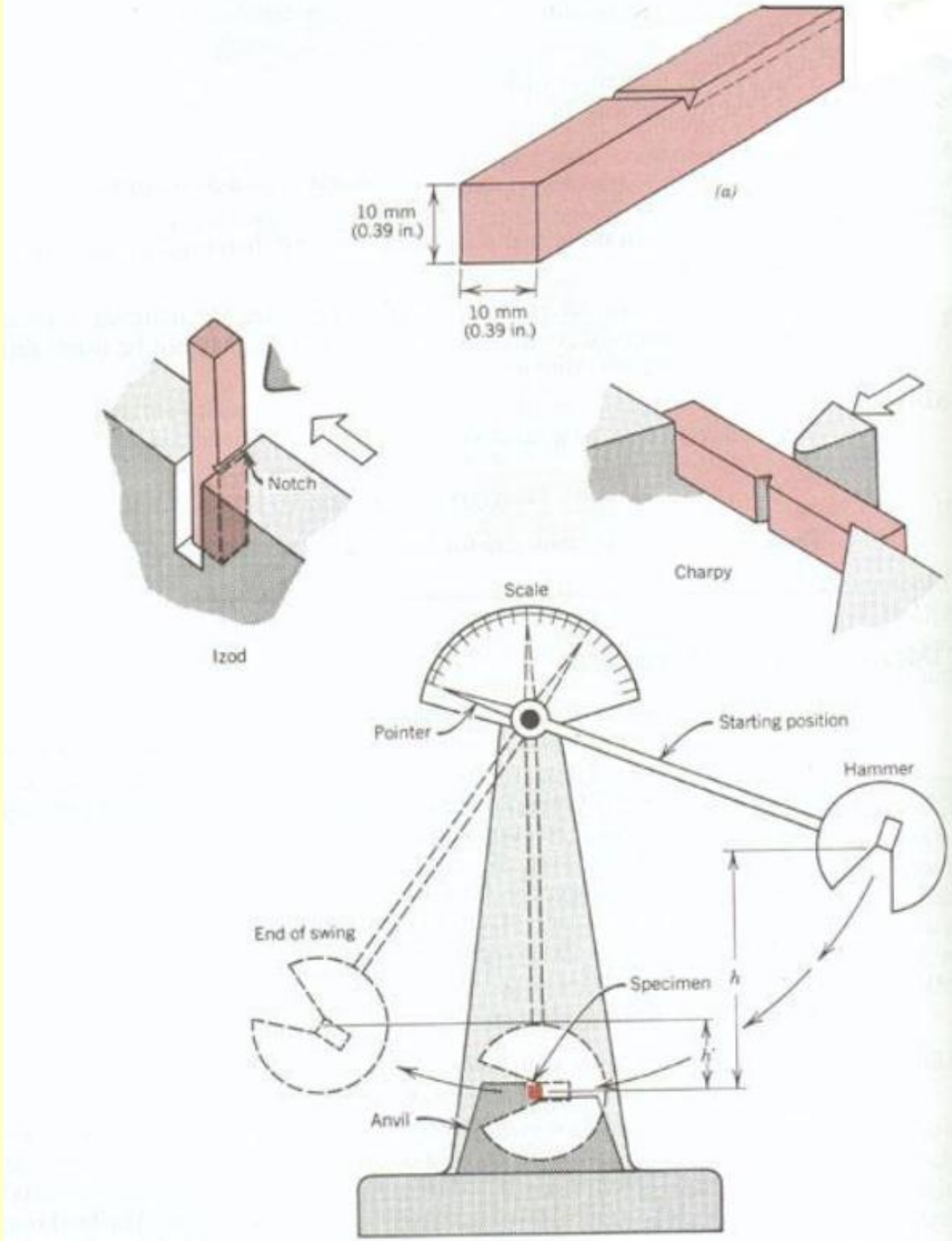
Modulus of Resilience



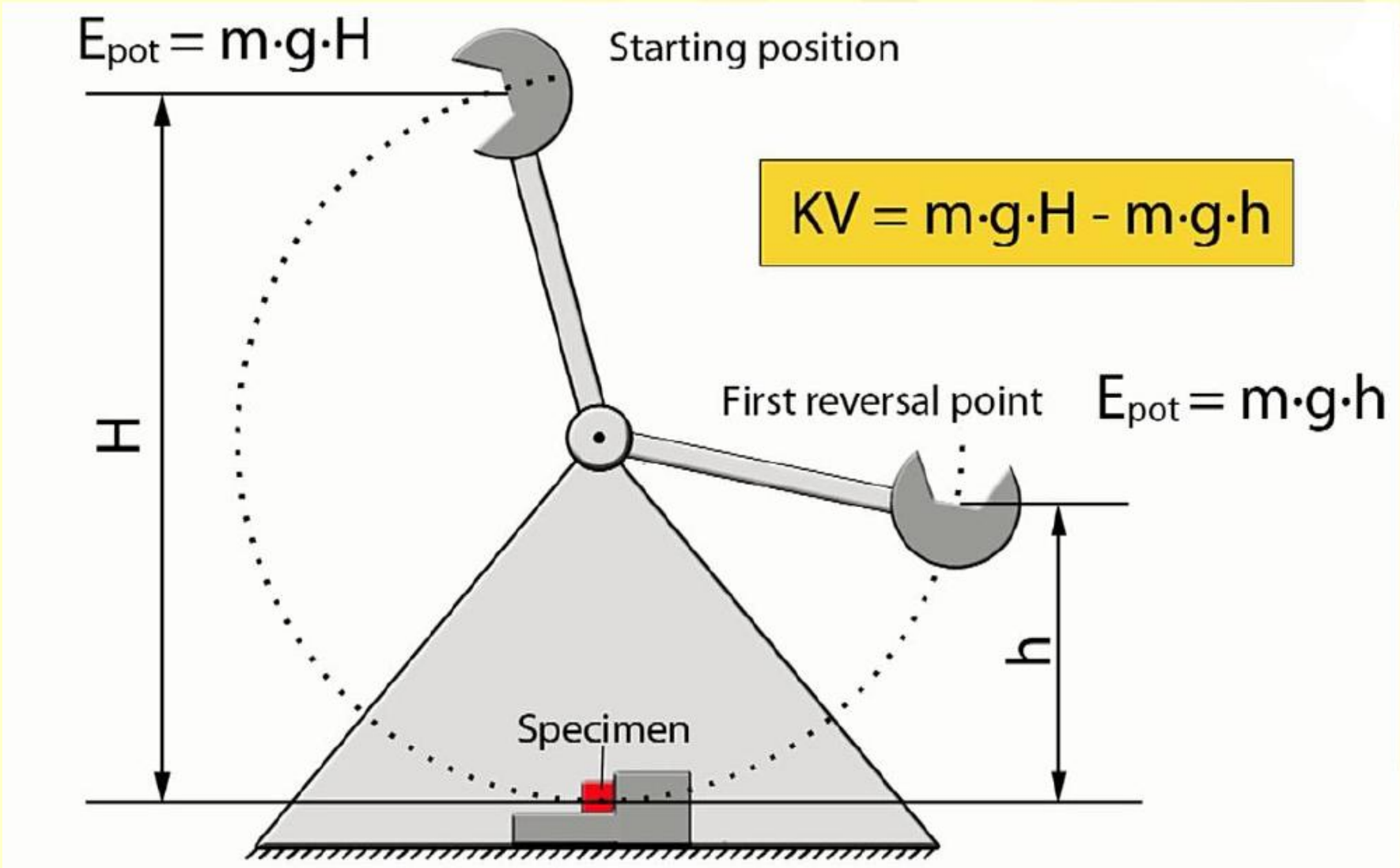
Modulus of Toughness

جهاز اختبار الصدم

Charpy & Izod Impact test specimen



الشكل التالي يوضح قيمة الطاقة الساقطة بالجول ، كما يوضح الطاقة الممتدة بعد الصدم ، الفرق بينهما هي الطاقة الممتصة

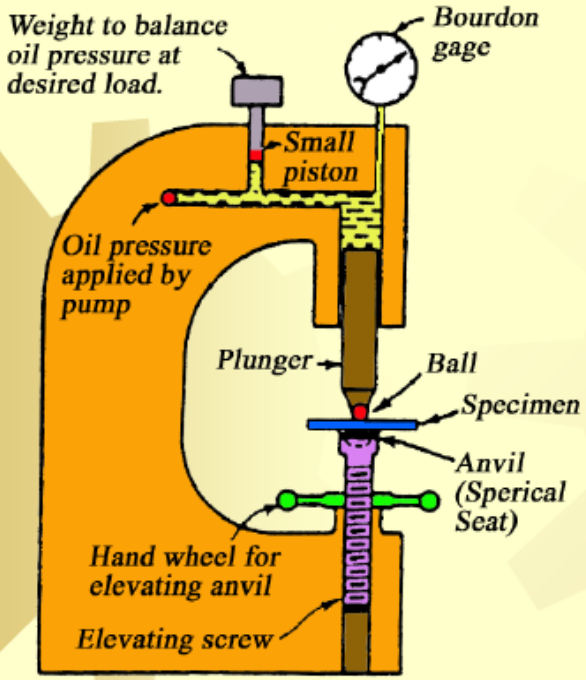


7) الصلادة Hardness

- ✓ هي مقدرة المادة على مقاومة الخدش أو تغلغل مادة أخرى.
- ✓ الصلب يمكن أن يخدش الألومنيوم لذلك فالصلب أكثر صلادة من الألومنيوم.
- ✓ المسمار أكثر صلادة من الخشب فهو قادر على التغلغل بداخله
- ✓ هناك إختبارات عديدة لقياس صلادة المعدن من ضمنها اختبار برنل للصلادة Brinell hardness test.

إختبار برنل للصلادة

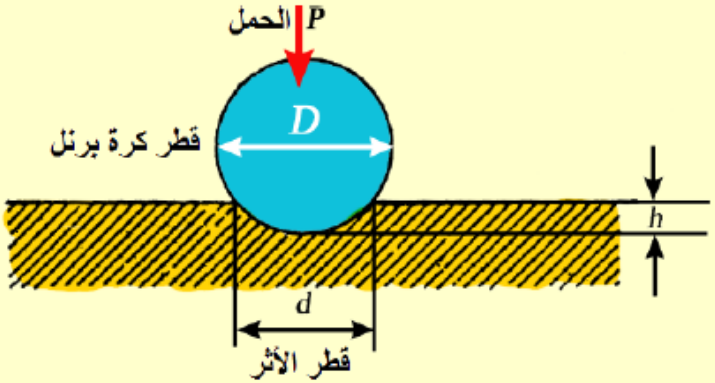
Brinell Hardness Test



آجزاء ماكنة برنل الهيدروليكية

- تستخدم كرة من **الصلب المصلد** قطرها (D=10 mm)، وقد تكون أحياناً من **كربيد التنجستن**.
- تضغط الكرة على سطح المادة المراد قياس صلادتها بقوة تتراوح من 500 kg أو 1500 kgأو 3000 kg.
- يبقى الحمل لفترة ما بين 5 sec إلى 10 sec للسماح بإحداث ثلم بالمادة.
- يرفع الحمل ويقاس قطر الأثر المتروك (d) وتعين القساوة من العلاقة التالية:

$$BHN = \frac{F}{\frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$



F= الحمل المؤثرة بالكجم.
D= قطر الكرة بالمليمتر.
d= قطر الثلم بالمليمتر.

$$BHN = \frac{2F}{\pi * D(D - \sqrt[2]{D^2 - d^2})}$$

$$\frac{2F}{BHN * \pi * D} - D = \sqrt[2]{D^2 - d^2}$$

$$\left(\frac{2F}{BHN * \pi * D} - D\right)^2 = D^2 - d^2$$

$$d = \sqrt[2]{D^2 - \left(\frac{2F}{BHN * \pi * D} - D\right)^2}$$

عيوب إختبار برنل لقياس الصلادة

1) لا يمكن إستعماله للمواد العالية الصلادة أو الشديدة الليونة.

2) لا يجوز إستخدامه في المواد القليلة السمك. يمكن الحصول على أفضل النتائج إذا كان السمك أكبر بـ 10 مرات من عمق الثلم.

3) لا يصلح الإختبار للأسطح المصلدة.

4) يجب إجراء الإختبار بعيداً عن حواف العينة.

مثـــــال 5:

- ✓ في اختبار برنل للصلادة كان قطر الكرة 10 mm وكانت الحمل المؤثر 3000 kg. ما هو رقم برنل للصلادة BHN إذا كان قطر الثلم في المادة هو 4 mm.

الحـــــل:

$$BHN = \frac{F}{\frac{\pi D}{2}\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

$$BHN = \frac{3000\ kg}{\frac{\pi\ 10\ mm}{2}\left(10\ mm - \sqrt{(10\ mm)^2 - (4\ mm)^2}\right)}$$

$$BHN = 228$$

Material		Hardness
Softwood	خشب طري	1.6 HB
Hardwood	خشب صلب	2.6–7.0 HB
Lead	رصاص	5.0 HB
Pure Aluminium	الومنيوم نقي	15 HB
Copper	نحاس أحمر	35 HB
Hardened Aluminium	الومنيوم سبائكي مصلد	75 HB
Mild steel	صلب طري	120 HB
stainless steel annealed	صلب مقاوم للصدء	200 HB
Glass	زجاج	1550 HB
Hardened tool steel	صلب لبعدة	600–900 HB

8) كلل (تعب) المعادن Fatigue

- ✓ هو إنهيار المعدن جراء تعرضه لإجهادات (قوى) متكررة ومتعاقبة حتى ولو كانت هذة الإجهادات أقل من إجهاد الخضوع للمادة.

مقاومة الكلل:

- ✓ وهي قابلية المادة لمقاومة الاجهادات المتغيرة.
- ✓ ينكسر حديد الزهر بعد (10 – 20) مليون دورة من حمولة متغيرة.
- ✓ تقاوم بعض المعادن، غير الحديدية، حتى 200 مليون دورة.

9) الزحف Creep

- ✓ هي إستطالة مستمرة تحدث للمعدن إذا ما تعرض إلى قوة شد ثابتة (وزن المعدن وهو معلق يعتبر قوة شد) في درجة حرارة العادية والعالية.
- ✓ بالرغم من أن معدل الإستطالة صغير، إلا أنه ذو أهمية كبيرة في تصميم المعدات مثل التربينات البخارية والغازية.

II

الخواص الفيزيائية

Physical Properties

- **الحرارة النوعية** :هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجه حرارة 1 كيلوجرام من المادة بمقدار درجه واحدة. وحدة قياسها هي : جول / (كجم . ْم) أو جول / (كجم . كلفن)

- .يستفاد منها في المعالجات الحرارية حيث يتم تسخين وتبريد كميات من المادة. كذلك يكون معرفتها مفيداً في عمليات السباكة حيث يلزم إستخلاص الحرارة بسرعة لتحفيز التحول إلى الحالة الصلبة.

- **السعة الحرارية :** هي مقدار الطاقة الحرارية الازمة لرفع درجة حرارة الجسم كله درجة واحدة كلفينية لذلك هي ليست صفة مميزة للمادة لانها تتغير بتغير كتلته, ووحدتها **جول /كلفن**

- **الحرارة الكامنة :** هي كمية من الحرارة الازمة لتحويل المادة من حالة إلى أخرى لكل واحد كيلو جرام من المادة، (أي من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة أو إلى الحالة الغازية)، وحدة قياسها هي الجول.

2) الموصلية الحرارية والكهربائية

Thermal & Electrical Conductivity

- ✓ وهي قابلية المعدن بالسماح للحرارة أو الكهرباء بالانتقال داخل المادة.
- ✓ تتناسب الموصلية الحرارية طردياً مع الموصلية الكهربائية، فالمواد الجيدة التوصيل للكهرباء مثل النحاس والذهب الألومنيوم هي أيضاً جيدة التوصيل للحرارة.

3) التمدد الحراري
Thermal Expansion

- ✓ تتمدد معظم المعادن عند تسخينها وتنكمش عند تبريدها، ولكن درجة التمدد أو الانكماش تختلف باختلاف المادة.
- ✓ عندما تصنع المواد في درجة حرارة الغرفة ويتم تشغيلها في درجات حرارة مرتفعة، أو عندما تسبك المواد في درجات حرارة عالية ثم تبرد، ففي كلتا الحالتين يلزم أخذ معامل التمدد والإنكماش في الإعتبار ويصحح ذلك أثناء التصنيع للتعويض عن التغير الذي سيحصل في الأبعاد بتغير درجات الحرارة.

4) الإستجابة المغناطيسية

Magnetic Response

- ✓ يمكن تصنيف المواد طبقاً لدرجة استجابتها للمغنطة إذا ما عرضت لمجال مغناطيسي.
- ✓ تتمتع بعض المعادن كالحديد والفولاذ والنيكل والكروم والمنجنيز وبعض السبائك الأخرى بالخاصية المغناطيسية.
- ✓ تختلف قوة جذب هذه المعادن، فالحديد أقواها والنيكل الصافي أضعفها. أما معادن الألومنيوم والرصاص والفضة والنحاس فهي غير مغناطيسية Diamagnetic.
- ✓ تعتبر المغناطيسية في الحديد المطاوع مؤقتة بينما هي في حديد الزهر والفولاذ دائمة.