SAWA UNIVERSITY

Mechanical properties

جامعة ساوة

كلية التقنية الهندسية

قسم التبريد والتكييف

المرحلة/الاولى ض

اسم المحاضر/م.م مريم علي سامي

MECHANICAL PROPERTIES

الخصائص الميكانيكية للمواد

هي الخصائص التي تتعلق بسلوك المادة عند تعرضها لحمل خارجي.

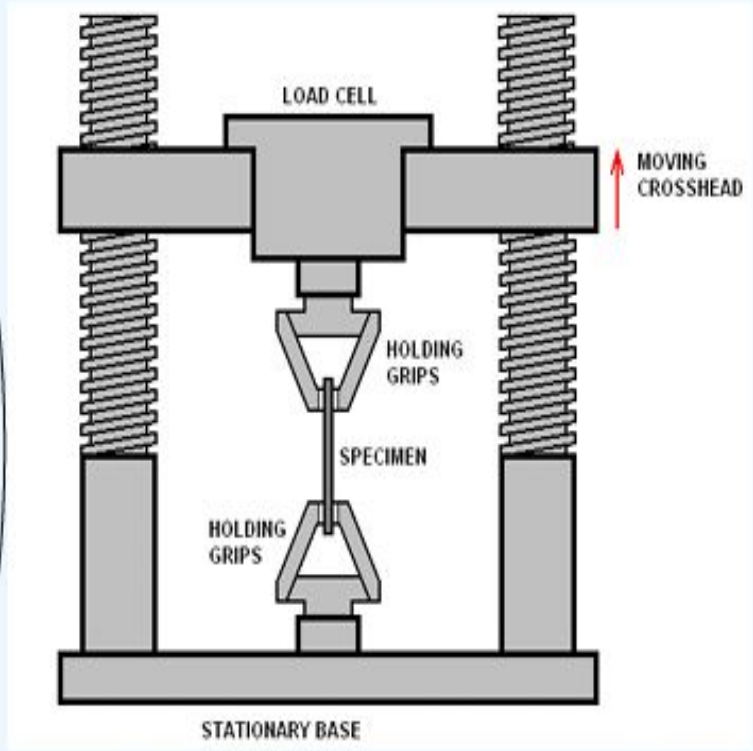
تدرس هذه الخصائص لمعرفة مقدار ونوعية الاستفادة من المادة، وعمرها الخدمي المتوقع، ولتصنيف المواد الى مجموعات يسهل الاستفادة منها.

الخصائص الميكانيكية للمادة ليست ثابتة بل تتغير تبعاً للظروف الخارجية مثل درجة الحرارة ومقدار الحمل الخارجي المسلط وغيرها.

يمكن تلخيص أهمية دراسة هذه الخصائص فيما يلي:

1) **الحاجة إلى تحديد المادة المطلوبة في التطبيق الهندسي.**
2) **الحاجة إلى تخمين ردة فعل المادة عند تعرضها للاجهاد الخارجي.**
3) تحسين المواد: من خلال دراسة الخواص الميكانيكية، يمكن للمهندسين تحسين المواد لتطبيقات محددة، وموازنة عوامل مثل القوة والوزن والتكلفة. يؤدي هذا التحسين إلى تصميمات فعالة واقتصادية.
4) تحليل الفشل: تعتبر الخواص الميكانيكية ضرورية لتحليل حالات الفشل أو التشوهات في المواد والهياكل. ويساعد ذلك في تحديد الأسباب الجذرية للفشل وتنفيذ التدابير الوقائية.
5) مراقبة الجودة: يعد الاختبار الميكانيكي عنصرًا حيويًا لمراقبة الجودة في عمليات التصنيع. فهو يضمن أن المواد تلبي المعايير المحددة وأن المكونات المنتجة ستعمل على النحو المنشود.
6) تقييم المتانة: تعتبر الخواص الميكانيكية ضرورية لتقييم متانة المواد ومقاومة الارهاق fatigue، خاصة في التطبيقات التي تتضمن التحميل الدوري أو القوى الديناميكية.
7) الابتكار والتقدم: يعد فهم السلوك الميكانيكي للمواد أمرًا أساسيًا للابتكار والتقدم في الهندسة. فهو يتيح تطوير مواد جديدة ذات خصائص محسنة لتطبيقات محددة.
8) ضمان السلامة: يحتاج المهندسون إلى التأكد من قدرة الهياكل والمكونات على تحمل مختلف الأحمال والظروف البيئية دون فشل. يعد هذا أمرًا بالغ الأهمية للسلامة في صناعات مثل الطيران والسيارات والبناء وغيرها.

TENSILE TEST إختبار الشد



قبل

بعد

الهدف الرئيسي لاختبار الشد هو قياس مقاومة المادة للشد المطبق محورياً على العينة.

هنالك أنواع متعددة من فحوصات الشد للمواد. الشكل المجاور يبين نوعاً منها حيث نلاحظ شكل العينات قبل وبعد الفحص.

يتم تسليط الحمل بالتدريج ومراقبة سلوك العينة ومقدار الاستطالة الحاصلة وصولاً إلى مرحلة الفشل حيث تنقطع العينة الى نصفين عند أضعف نقطة فيها.

المقاومة (Strength) هي قابلية المادة لتحمل الحمل المسلط دون أن تفشل.

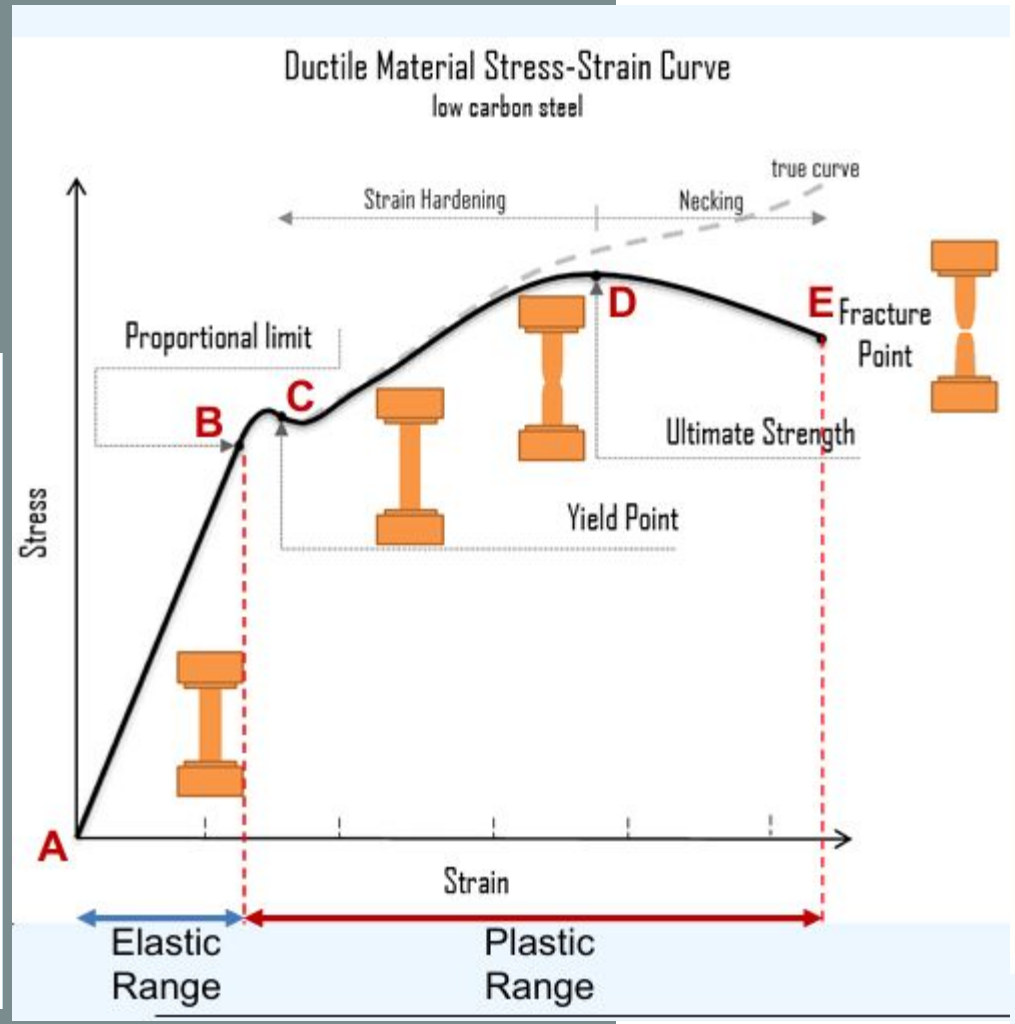
مقاومة الشد (Tensile Strength) هي الحمل الأقصى من الشد الذي تتحمله المادة في وحدة المساحة. وهي القيمة المستهدفة في فحص الشد.

الإجهاد (Stress) (σ)

هو المقاومة الداخلية التي تبديها وحدة المساحة من المادة للحمل الخارجي المسلط، ويقاس بوحدة N/m^2 أو الباسكال Pa.

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

حيث أن P تساوي الحمل المسلط (بوحدة النيوتن N) وA مساحة المقطع العرضي للمادة العمودي على اتجاه الحمل المسلط (m^2).



الانفعال Strain (ϵ)

هو نسبة مقدار التشوه الكلي (الاستطالة أو التغير في الطول) إلى الطول الأصلي للعينة قبل تسليط الحمل.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_{before}}, \qquad \Delta L = L_{after} - L_{before}$$

نتيجة فحص الشد Tensile Test Result

الشكل المجاور يوضح التقرير الذي نحصل عليه بعد إجراء تجربة فحص الشد لمادة الفولاذ قليل الكاربون. الحمل المسلط على العينة (يظهر هنا على المحور العمودي بدلالة الاجهاد) يتناسب طردياً مع مقدار الانفعال الذي يرسم على المحور الأفقي. ويوضح الشكل المراحل المختلفة لسلوك العينة تحت الشد وهي مؤشرة بالنقاط من A الى E، ويسمى **بمنحنى الاجهاد – الانفعال**.

من A إلى B

يتناسب الانفعال مع الحمل المسلط بعلاقة خطية. وإذا تمت إزالة الحمول، تعود العينة إلى طولها الأصلي. في ظل هذه الظروف المحملة بشكل خفيف نسبياً، تظهر المادة خصائص مرنة Elastic.

التشوه المرن (Elastic Deformation) هو التشوه الذي يتناسب فيه الإجهاد والانفعال خطياً. هذا النوع من التشوه قابل للعكس. وبمجرد توقف تسليط القوى، يعود الجسم إلى شكله الأصلي.

من B إلى C

يمكن أن نرى من الرسم البياني أن المعدن يتمدد فجأة دون زيادة في الحمل. إذا تمت إزالة الحمل عند هذه النقطة، فلن يعود المعدن إلى طوله الأصلي ويقال أنه قد تشوه بشكل دائم.

ولذلك فإن نقطة B تسمى **الحد المرن (Elastic Limit)** أو **حد المرونة**، وإذا استمرت القوة إلى ما بعد هذه النقطة يتم الوصول إلى مرحلة يحدث فيها تمدد مفاجئ دون زيادة في القوة وتسمى هذه **بنقطة الخضوع (Yield Point)** وهي نقطة C.

حد المرونة أو حد التناسب Proportional Limit (قانون هوك Hook's Law)

من نقطة الأصل (A) إلى النقطة التي تسمى حد التناسب، يكون شكل منحنى الإجهاد والانفعال خطاً مستقيماً ويتناسب الإجهاد طردياً مع الانفعال.

نقطة الخضوع Yield Point

هي النقطة التي عندها سيكون للمادة استطالة ملحوظة دون أي زيادة في الحمل. ومن المهم تحديد هذه النقطة بدقة لمعرفة معامل الأمان في التصميم الهندسي.

من C إلى D

لم يعد الانفعال متناسباً مع الحمل المسلط، وإذا تمت إزالة الحمل فلن يحدث أي رجوع خلفي للمادة إلى شكلها قبل التشوه. وفي ظل هذه الأحمال الكبيرة نسبياً، تظهر المادة خواصاً لدنة (بلاستيكية) Plastic.

التشوه اللدن (Plastic Deformation) بالنسبة لمعظم المواد المعدنية، يستمر التشوه المرن لانفعالات لا تتجاوز 0.005 فقط. وبما أن المادة تتشوه بعد هذه النقطة، فإن الاجهاد لم يعد متناسباً مع الانفعال ويحدث تشوه دائم أو غير قابل للاسترداد أو تشوه لدن (بلاستيكي).

النقطة D

يشار إلى النقطة D باسم **قوة الشد القصوى (Ultimate Tensile Strength)** يتم حساب إجهاد الشد الأقصى عن طريق قسمة الحمل عند النقطة D على مساحة المقطع العرضي الأصلية للعينة.

قوة الشد القصوى (Ultimate Tensile Strength)

هي أعلى نقطة في منحنى الاجهاد – الانفعال والتي يحدث عندها التناقص في الاجهاد مع زيادة الانفعال، فهي تمثل أقصى إجهاد تتحمله العينة هندسياً.

ملاحظة: يحدث التناقص في المنحنى لأن الإجهاد يحسب اعتماداً على مساحة المقطع العرضي الأصلي للعينة قبل تصاغره

من D إلى E

يبدو أن العينة تتمدد في ظل ظروف تحميل متناقصة. ويبدأ مقطع العينة العرضي بالتصاغر وهو ما يطلق عليه (necking) بحيث يتزايد الاجهاد (الحمل على وحدة مساحة). وأخيرًا، تفشل (تنكسر) العينة عند النقطة E.

مقاومة الفشل (Rupture Strength)

هي المقاومة التي تفشل المادة عندها، وقد تسمى بمقاومة الانكسار.

مدى المرونة ومدى اللدونة (Elastic and Plastic Ranges)

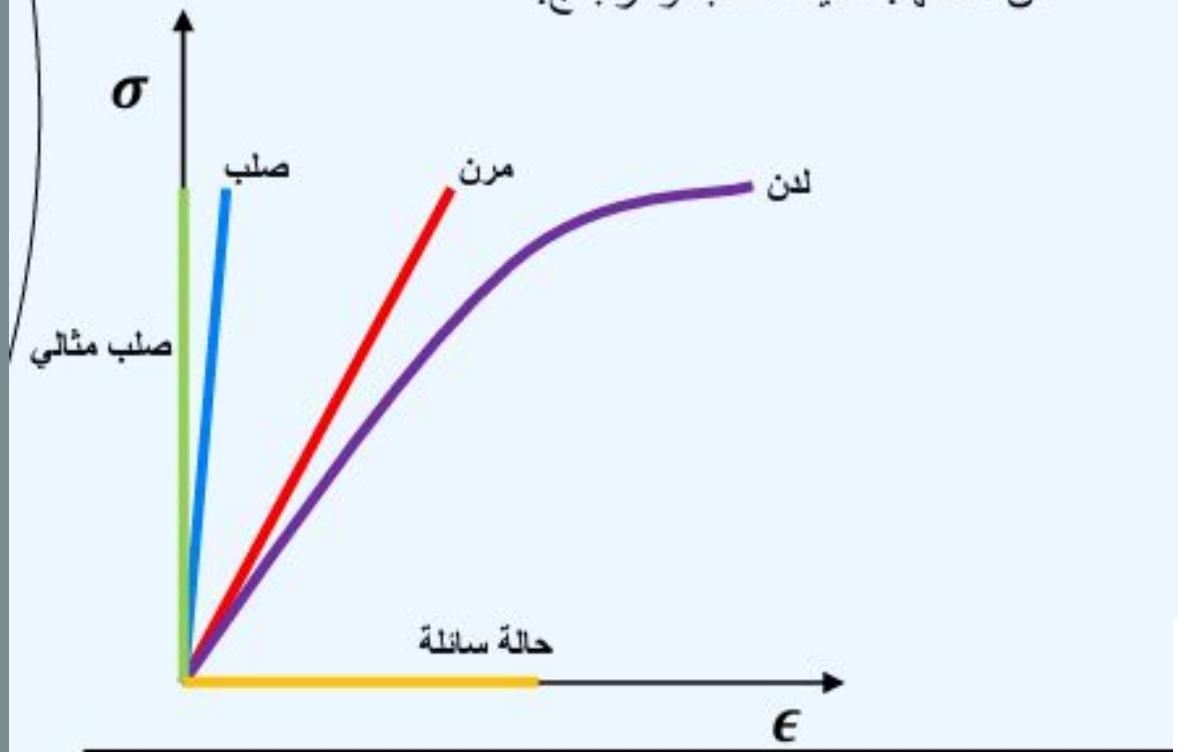
في مخطط الاجهاد-الانفعال، تسمى المنطقة الواقعة بين نقطتي A وB **بمدى المرونة** وهي المنطقة التي يحدث فيها التشوه المرن. أما المنطقة الواقعة بعد B التي يحدث فيها التشوه اللدن فتسمى **بمدى اللدونة** حيث لا يعود الجسم إلى شكله الأصلي قبل تسليط الحمل.

وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم المواد إلى ثلاثة أقسام:

1) **مواد مرنة (Elastic Materials):** هي المواد التي تتشوه تحت تأثير الحمل الخارجي، ثم يزول التشوه عند زوال الحمل.
من أمثلتها المطاط والفولاذ

2) **مواد لدنة (Plastic Materials):** هي المواد التي تتشوه تحت تأثير الحمل الخارجي ويكون تشوهها دائمياً فلا تعود إلى شكلها الأصلي قبل تسليط الحمل.
من أمثلتها: الألمنيوم.

3) **مواد صلبة (Rigid Materials):** هي المواد التي لا تعاني أي تشوه عند تعرضها إلى حمل خارجي.
من أمثلتها: حديد الصب والزجاج.



ثابت المرونة Elastic Constant
أو معامل المرونة Modulus of Elasticity

يعرف بأنه ميل منحنى الاجهاد – الانفعال ضمن مدى السلوك المرن للمادة. وهو مقياس لمدى جساءة المادة فكلما ازدادت الجساءة ازداد معامل المرونة.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

بما أن معامل المرونة (ويسمى أيضاً بمعامل يونغ) هو نسبة الإجهاد الذي يقاس بوحدة الضغط، إلى الانفعال وهو كمية لابعدية فإن معامل المرونة سيأخذ وحدة الضغط وهي الباسكال ($Pa = N/m^2$).

يحسب معامل المرونة لإجهاد الشد كما يلي:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F\,L}{A\,\Delta L}$$

حيث أن:

E = Young's Modulus معامل يونغ أو معامل المرونة

F = Tensile Force القوة المسلطة على الجسم باتجاه الشد

A = Original cross-sectional area normal to the applied force المساحة الأصلية المقطع العرضي العمودي على اتجاه القوة قبل التشوه

ΔL = Amount of change in length مقدار التشوه (الزيادة) الحاصل في طول الجسم بعد التحميل

L = Original Length الطول الأصلي للجسم قبل التحميل

اللدونة (Plasticity)

تعرف بأنها سلوك الأجسام عندما تتشوه تشوهاً دائمياً لا رجعة فيه نتيجة تعرضها لأحمال خارجية.

المطاوعة (Malleability)

هي قابلية المادة على التشكيل ضمن مدى اللدونة، وتعتبر من الخصائص المهمة في عملية اختيار المواد.

مثال: يعتبر الذهب معدناً مطاوعاً ويليه الألمنيوم.

المتانة (Toughness)

هي قابلية المادة على امتصاص الطاقة والتشوه اللدن بدون أن تعاني أي تشققات (أو هي كمية الطاقة التي تمتصها المادة في وحدة الحجم قبل أن تفشل).

والمتانة هي مقياس لمقاومة التشققات للمادة عند تعرضها للاجهاد.

المواد السيراميكية لها متانة منخفضة رغم أن مقاومتها عالية.

بالمقابل هنالك مواد قليلة المقاومة مثل المطاط، لكنها تمتلك متانة عالية.

الرجوعية (Resilience)

هي قابلية المادة على امتصاص الطاقة ضمن المدى المرن عند تعرضها للاجهاد، ثم تحرير تلك الطاقة عند زوال الاجهاد.

القصافة (الهشاشة) Brittleness

هي أن تفشل (تتكسر) المادة عند تعرضها لأدنى إنفعال (تشوه).

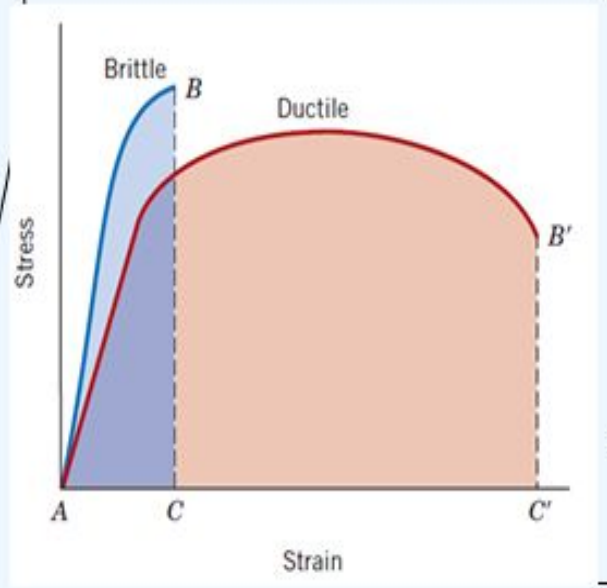
المواد السيراميكية والزجاجية تتميز بهذه الخاصية.

المطيلية (Ductility)

هي مقياس لكمية التشوه اللدن الذي تتحمله المادة قبل أن تتشقق. المادة التي لا تتحمل أي تشوه لدن (أو تتحمل القليل) تسمى مادة قصيفة.

مثال: تعتبر معادن الذهب والألمنيوم والنحاس معادن ذات مطيلية عالية حيث يمكن تشكيلها بهيئة أسلاك.

عموماً لصفة المطيلية علاقة بصفة المطاوعة، فالمواد ذات المطيلية العالية تعتبر مواداً مطاوِعةً.



يوضح الشكل الفرق بين سلوك المواد القصيفة والمواد المطيلية

اللدونة (Plasticity)

تعرف بأنها سلوك الأجسام عندما تتشوه تشوهاً دائمياً لا رجعة فيه نتيجة تعرضها لأحمال خارجية.

المطاوعة (Malleability)

هي قابلية المادة على التشكيل ضمن مدى اللدونة، وتعتبر من الخصائص المهمة في عملية اختيار المواد.

مثال: يعتبر الذهب معدناً مطاوعاً ويليه الألمنيوم.

المتانة (Toughness)

هي قابلية المادة على امتصاص الطاقة والتشوه اللدن بدون أن تعاني أي تشققات (أو هي كمية الطاقة التي تمتصها المادة في وحدة الحجم قبل أن تفشل).

والمتانة هي مقياس لمقاومة التشققات للمادة عند تعرضها للاجهاد.

المواد السيراميكية لها متانة منخفضة رغم أن مقاومتها عالية.

بالمقابل هنالك مواد قليلة المقاومة مثل المطاط، لكنها تمتلك متانة عالية.

الرجوعية (Resilience)

هي قابلية المادة على امتصاص الطاقة ضمن المدى المرن عند تعرضها للاجهاد، ثم تحرير تلك الطاقة عند زوال الاجهاد.

القصافة (الهشاشة) Brittleness

هي أن تفشل (تتكسر) المادة عند تعرضها لأدنى إنفعال (تشوه).

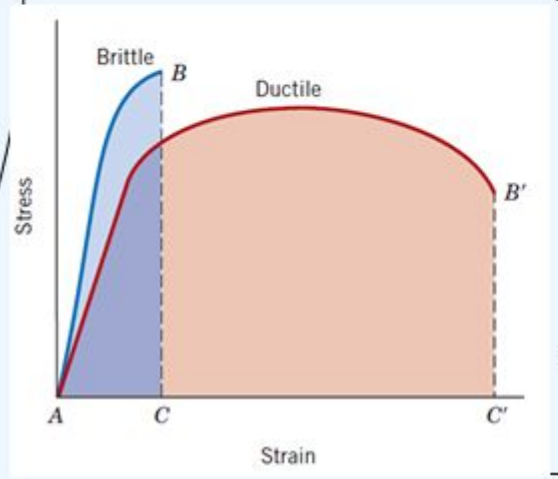
المواد السيراميكية والزجاجية تتميز بهذه الخاصية.

المطيلية (Ductility)

هي مقياس لكمية التشوه اللدن الذي تتحمله المادة قبل أن تتشقق. المادة التي لا تتحمل أي تشوه لدن (أو تتحمل القليل) تسمى مادة قصيفة.

مثال: تعتبر معادن الذهب والألمنيوم والنحاس معادن ذات مطيلية عالية حيث يمكن تشكيلها بهيئة أسلاك.

عموماً لصفة المطيلية علاقة بصفة المطاوعة، فالمواد ذات المطيلية العالية تعتبر مواداً مطاوِعةً.



يوضح الشكل الفرق بين سلوك المواد القصيفة والمواد المطيلية

Calculation the value of Elastic modulus (Young modulus)

Example (1):

Calculate **the value of Elastic modulus (Yuong modulus)** from the basic parameters, then, define each parameter.

Solution:

- **Stress** is determined by using the following equation:

  σ = Applied Load/Original Cross Section Area

  σ = F /A ..... This has a unit of **Pa** or **N/ m²**.

- **Strain** is calculated by using the following equation:

  ε = Changing in length / Original length

  ε = ΔL / L°

  Percentage Strain = ΔL / L° x 100%

- **Young's modulus** is the ratio of stress, which has units of pressure, to strain, which is dimensionless; therefore, Young's modulus has units of pressure.

E= Stress / Strain

= ζ / ε

= F / A° / ΔL / L°

= F L° / A° ΔL

Where:

E is the Young's modulus (modulus of elasticity)

F is the force exerted on an object under tension;

A° is the original cross-sectional area through which the force is applied;

ΔL is the amount by which the length of the object changes;

L° is the original length of the object.

The unit of modulus of elasticity E, is the pascal (Pa or N/m²)