جامعة الانبار

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

محاضرات

خواص مادة

البروفيسور الدكتور

وليد بديوي

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الفصل الخامس

الخواص الميكانيكية للمواد

The Mechanical Properties of Materials

المقدمة

يختص هذا الفصل بدراسة سلوك المواد الواقعة تحت تأثير قوىٰ خارجية . ان استجابة المواد للقوىٰ المؤثرة عليها يعتمد علىٰ عوامل عديدة منها ترتيب الذرات والجزيئات المكونة للمادة ونوع الترابط بين هذه الذرات والجزيئات كما تعتمد علىٰ انواع واعداد عيوب التركيب في المواد الصلبة ، وعليه فان الخواص الميكانيكية للمواد تكون ذات حساسية عالية لعمليات تصنيع هذه المواد .

يهتم المهندسون كثيراً بالخواص الميكانيكية للمواد المتوافرة لديهم عند اقدامهم لتنفيذ اي عمل هندسي من بناء الجسور والمركبات والحاسبات الالكترونية الى بناء المركبات الفضائية . وسيقدم هذا الفصل اساسيات الخواص الميكانيكية كالاجهاد والانفعال وانواعهما وعلاقاتهما للمواد المتجانسة والتي تمتلك الخواص نفسها في جميع الاتجاهات (Isotropic) ، وسوف تستثنى المواد التي تعتمد خواصها على الاتجاه داخل المادة (Anisotropic) .

وقبل الخوض في مواد هذا الفصل يجب التذكر دائماً ان جميع المواد الصلبة الحقيقية تستجيب الى حدٍ ما تحت تأثير القوىٰ المسلطة عليها ، حيث لايوجد جسم تام الصلادة . يعرف الجسم التام الصلادة (rigid) علىٰ انه ذلك الجسم الذي تبقىٰ فيه المسافة بين اية نقطتين منه ثابتة لاتتغير مهما كان مقدار القوىٰ المسلطة عليه .

5–1 الأجهاد Stress (S)

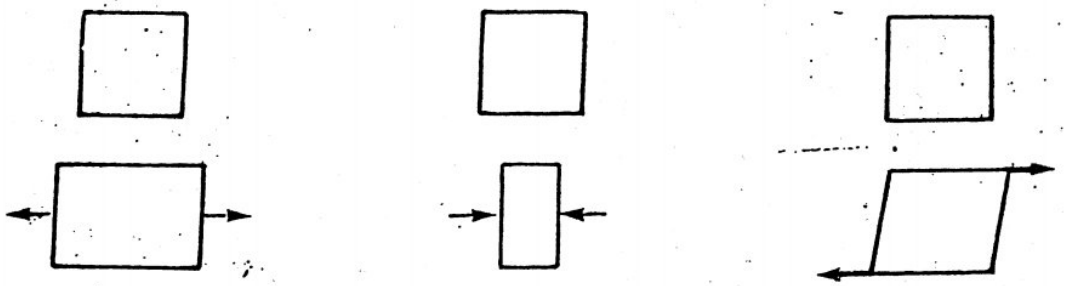
يُعرف بأنه القوة المسلطة على وحدة المساحات من السطح الذي تطبق عليه القوة . ووحدة الاجهاد هي النيوتن / م^2 أو الداين / سم^2 أو الباوند / انج^2 أو الباوند / قدم^2 . فإذا رمزنا للقوة بـ (F) والمساحة (A) فإن

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$\text{الأجهاد} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}}$$

$$S = \frac{F}{A} \qquad \ldots\ldots 5.1$$

يمكن ان نقسم الاجهاد الى ثلاثة انواع هي الشد والكبس والقص كما في الشكل (5.1).



شكل (5.1)

5-1-1 الاجهاد التوتري (اجهاد الشد) Tensile Stress (S_T)

وفيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار متعاكستان في الاتجاه على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير، وعليه فإن تأثير القوتين هو العمل على استطالة الجسم. كما في الشكل (5.2).

الشكل (5.2) : يوضح اجهاد

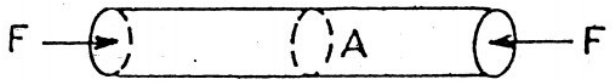
تتوزع القوة بالتساوي على جميع المساحة A (ماعدا نهايتي الجسم).

$$S_T = F/A \qquad \ldots\ldots 5.2$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

5-1-2 اجهاد الكبس Compressive Stress (S_c)

وفيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار متعاكستان في الاتجاه (متقابلتان) على نهايتي الجسم وعلى نفس خط التأثير، وعليه فإن تأثير القوتين هو العمل على ضغط الجسم وتقصير طوله كما في الشكل (5.3).

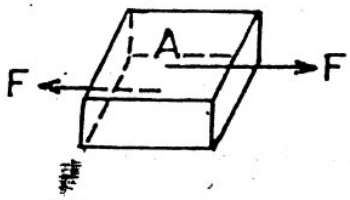


الشكل (5.3) : يوضح اجهاد الكبس.

$$S_C = F/A \quad \text{..... 5.3}$$

5-1-3 اجهاد القص Shear Stress (S_s)

وفيه تؤثر قوتان متساويتان في المقدار متعاكستان في الاتجاه (مبتعدتان) على نهايتي الجسم وعلى خطوط تأثير مختلفة كما في الشكل (5.4)، وعليه فإن تأثير القوتين هو العمل على تغيير شكل الجسم من دون تغيير حجمه.



الشكل (5.4) : يوضح اجهاد القص.

$$S_s = \frac{F}{A} \quad \text{..... 5.4}$$

5-2 الانفعال (المطاوعة) Strain (N)

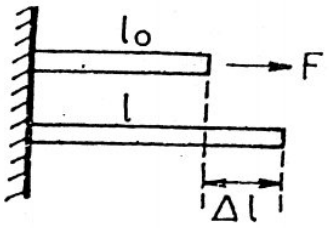
يُعرف انفعال أو مطاوعة مادة ما بأنه تشوه تلك المادة. كما ويعرف ايضاً على أنه التغير النسبي الذي يسببه الأجهاد لابعاد الجسم أو شكله أو حجمه. وبما أن هناك عدة انواع للأجهاد فسيكون هناك عدة انواع للمطاوعة (الانفعال) تبعاً لذلك وهي مطاوعة الشد (التوتر) ومطاوعة الكبس ومطاوعة القص. ان المطاوعة بجميع انواعها نسبة مجردة من الوحدات.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

5-2-1 مطاوعة التوتر Tensile Strain (N_t)

ويعبر عن مطاوعة التوتر بأنه نسبة الاستطالة الى الطول الأصلي ، وتساوي (الاستطالة / الطول الاصلي) ، اي ان :

$$N_t = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \ldots\ldots 5.5$$

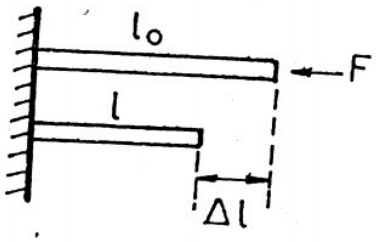


الشكل (5.5) : يوضح مطاوعة التوتر.

5-2-2 مطاوعة الكبس Compressive Strain(N_c)

ويعبر عن مطاوعة الكبس بأنه نسبة الانكماش (التقلص) الى الطول الأصلي ، وتساوي (الانكماش / الطول الاصلي) اي ان :

$$Nc = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \ldots\ldots 5.6$$



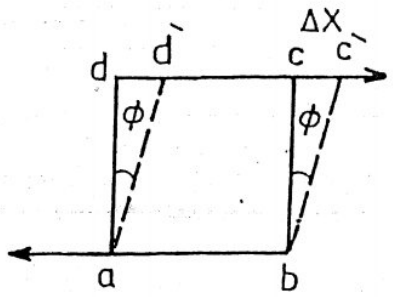
الشكل (5.6) : يوضح مطاوعة الكبس.

5-2-3 مطاوعة قصية Shear Strain (N_s)

ويعبر عن المطاوعة القصية بمقدار الازاحة الجانبية للطول مثلاً الى الطول الأصلي ، وتساوي

$$N_s = \frac{\Delta x}{L_o} = \tan\phi \equiv \phi \quad \ldots\ldots 5.7$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



الشكل (5.7) : يوضح مطاوعة القص.

كما ويعبر عن النسب المذكورة في اعلاه بدلالة النسبة المئوية نسبة الى الطول الأصلي.

اذا زال الانفعال بصورة تامة ومباشرة بعد ازالة الأجهاد الذي سببه ، سمي الجسم الصلب بأنه تام المرونة Perfectly elastic. اما اذا اكتسب الجسم شكلاً وحجماً جديدين بعد ازالة الاجهاد المسبب لها ، سمي الجسم بأنه تام اللدونة Perfectly Plastic. وفي الحقيقة لايوجد جسم تام المرونة ، كذلك لايوجد جسم تام اللدونة.

5–3 أنواع الانفعال Kinds of Strain

وكذلك تكون المطاوعة (الانفعال) على نوعين هما :

1) الانفعال المرن.

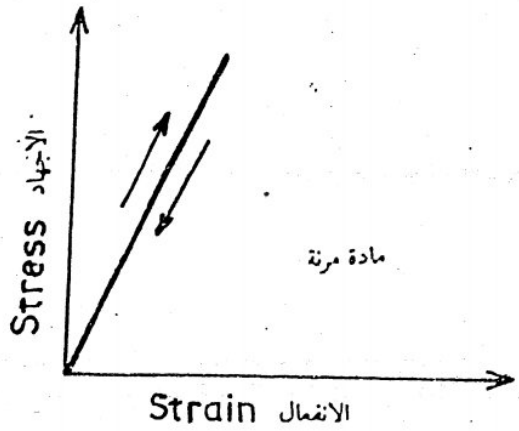
2) الانفعال اللدن.

5–3–1 الانفعال المرن Elastic Strain

وهو انفعال عكسي ، اذ يتلاشى الانفعال بعد ازالة الاجهاد المسلط ، ان قيمة الانفعال المرن تتناسب طردياً مع مقدار الاجهاد المسلط ، كما هو موضح في الشكل (5.8).

ومن أحسن المواد المرنة ،الياف الكوارتز quartz Fiber ، التي تقترب مرونتها من المرونة التامة.

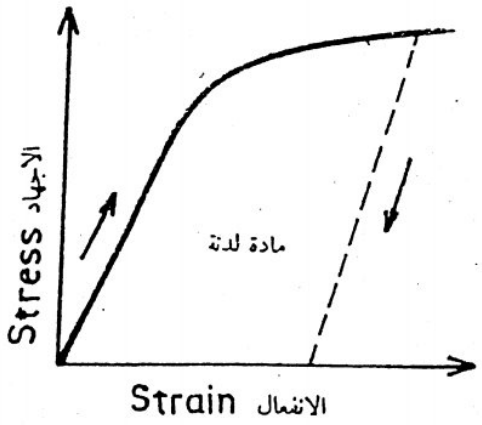
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



الشكل (5.8) : علاقة الانفعال – الاجهاد للجسم المرن.

5–3–2 الانفعال اللدن Plastic Strain

وهو انفعال غير عكسي ، اذ لايتلاشى الانفعال بعد ازالة الأجهاد المسلط ، ويحدث هذا للمادة نتيجة لتسليط الاجهاد بمقدار يتجاوز حدود المرونة ، ويحدث الانفعال اللدن نتيجة الازاحة الدائمية للذرات داخل المادة ، على عكس الانفعال المرن الذي لايحدث ازاحات دائمية للذرات ويبقىٰ لكل ذرة نفس الذرات المجاورة لها قبل وبعد تسليط الاجهاد. الشكل (5.9) يوضح الانفعال اللدن .



الشكل (5.9) : علاقة الانفعال – الاجهاد للجسم اللدن.

ومن أحسن الامثلة على المواد اللدنة المعاجين Putty التي تقترب لدونتها من اللدونة التامة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

4–5 منحنا الأجهاد– الانفعال Strees- Strain Curve

ان العلاقة بين الاجهاد المسلط على جسم ما والانفعال الناتج عنه ، علاقة معقدة تعتمد على عوامل كثيرة ، منها قوى الترابط بين ذرات وجزيئات المادة ، وكيفية ترتيب هذه الذرات والجزيئات والعيوب البلورية التي تحتويها المادة ، فضلاً عن طريقة تحضير هذه المادة وتاريخها الحراري . وسنقتصر على شرح منحني الاجهاد– الأنفعال لسلك من الفولاذ .

لو أخذنا سلكاً من الفولاذ وعرضناه الى جهد متزايد (ثقل) ورسمنا العلاقة بين الأجهاد والانفعال . ان منحني الأجهاد– الانفعال يوضحه الشكل (5.10) ، والذي يبين ان الجزء OA يمثل خطاً مستقيماً ويمثل المنطقة التي يطبق فيها قانون هوك (اي ان الانفعال يتناسب طردياً مع الاجهاد المسلط عليه) وفيها النقطة A التي تمثل نهاية المنطقة المستقيمة . وبعد النقطة A نجد ان الخط البياني ينحني ، وسيزداد الانفعال بصورة اكبر مما هو متوقع من قانون هوك . وتستمر هذه المنطقة الى النقطة B.ان الاستطالة في هذه المنطقة تكون خليطاً من الاستطالة المرنة والاستطالة اللدنة . اما المنطقة المحصورة بين B و C والتي تكون موازية تقريباً لأحداثي الانفعال فيكون تغير المنحني فيها غير منتظم وان الانفعال يزداد بكميات كبيرة من دون زيادة محسوسة في الاجهاد المسلط . ان نقطة بداية المنطقة BC ، تسمى بنقطة الخضوع (yield point) . وفي المنطقة الواقعة بعد النقطة C والتي يحدث فيها انزلاقات في مادة السلك باتجاه المستويات ذات الأجهاد الكبير ، وسوف تتغير الخواص المرنة للمعدن ، وان الاستطالة في هذه المنطقة تكون نتيجة للأجهاد القصي وليس نتيجة اجهاد الاستطالة . ومن الملاحظ ان النقطة C تقع تحت النقطة B . وسيزداد الأنفعال تبعاً لزيادة الأجهاد بصورة مطردة الى ان نصل الى نقطة تبدأ فيها حالة عدم الأستقرار ، وسيصبح السلك اكثر نحافة عند أحدى نهايتيه ، وسيُظهر ظاهرة التخصر "necking" وهذه المرحلة تمثلها النقطة D . والتي بعدها يبدأ الاجهاد بالانخفاض تلقائياً ونحصل على المنطقة DE . وسيحدث الانقطاع عند النقطة E . يطلق احياناً على قيمة الاجهاد عند النقطة D بـ اجهاد الكسر (أو القطع) أو المتانة القصوى أو متانة السحب .

من الملاحظات المهمة ما يأتي :

1– ان نقصان مساحة المقطع العرضي للسلك يتناسب طردياً مع الأنفعال بعد النقطة المرنة ، بحيث يبقى حجم السلك ثابتاً .

2– اذا أزداد الاجهاد الى حد لم يتجاوز فيه حد المرونة فإن المنحني سيكرر نفسه عند تناقص الأجهاد وان الانفعال سيصل الى قيمة الصفر عند ازالة الاجهاد .

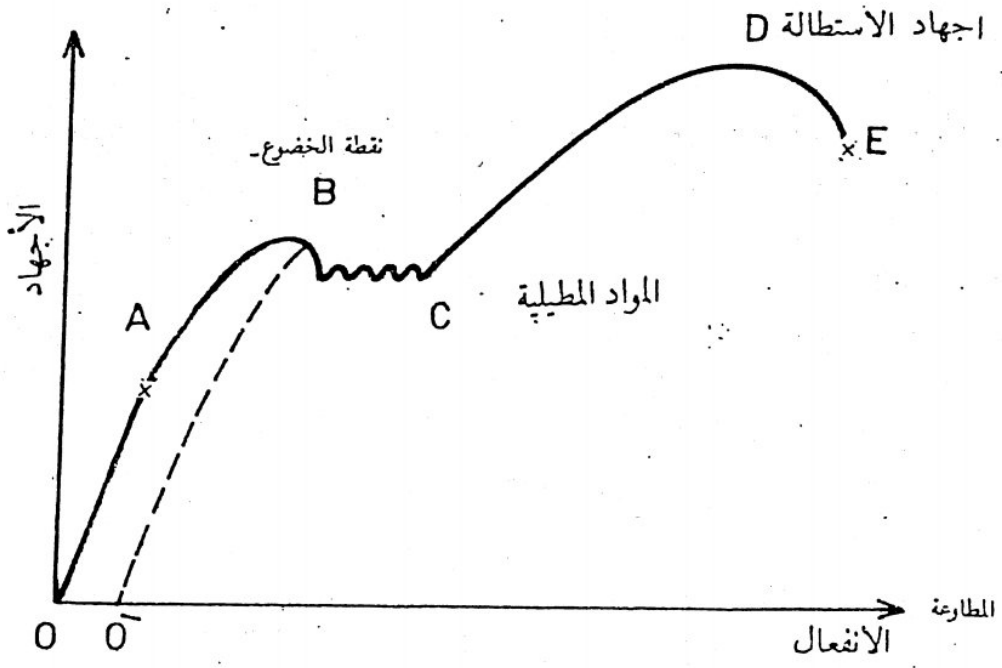
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

3 – اما اذا ازداد الاجهاد الى حد يتجاوز فيه حد المرونة ، فإن منحنياً جديداً سوف يظهر (المنحني المنقط $B\bar{O}$ في الشكل (5.10)) . وان الانفعال لايرجع الى قيمة الصفر عند ازالة الإجهاد .

4 – ان فشل تطابق منحني تناقص الأجهاد مع منحني زيادته يعرف بـ الهسترة المرنة ، المشابهة للهسترة المغناطيسية .

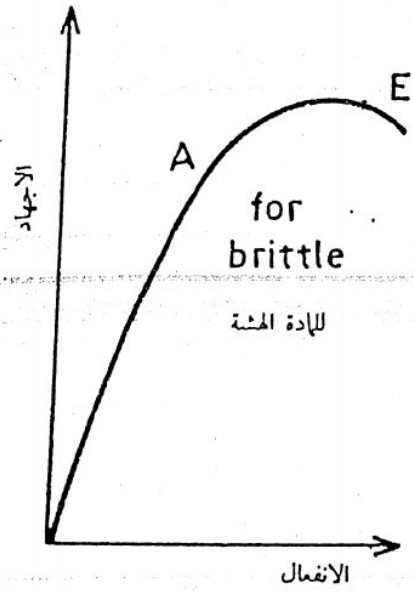
5 – ان المادة التي تكون فيها المنطقة CE طويلة نسبياً ، تكون قادرة على تحمل زيادة في الطول قبل القطع تسمى بالمادة المطيلية Ductile . اما المادة التي تكون فيها المنطقة CE قصيرة نسبياً وسوف تنقطع عند تعرضها الى زيادة ولو بسيطة في طولها تعرف بالمادة الهشة Brittle ، انظر شكل (5.11) .

يأخذ المهندسون بنظر الاعتبار عدم تجاوز الأجهاد الاعظم لجزء محدد من أجهاد الكسر ويعرف هذا الجزء أو الكسر بأجهاد العمل (Working Stress). وان نسبة أجهاد الكسر الىٰ أجهاد العمل تعرف بعامل السلامة (Factor of Safety) .



الشكل (5.10) : منحنا الانفعال – الاجهاد لسلك الفولاذ.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



الشكل (5 ،1 1) : منحنا الانفعال – الاجهاد للمادة الهشة

5 – 5 المطيلية Ductility

وتعرف على انها مقدار التشوه اللدن الذي تعانيه المادة عند نقطة الكسر أو القطع . ويمكن التعبير عن المطيلية باستطالة المادة ، وسوف تكون لها وحدة الانفعال . ويقدر مقدار المطيلية باستخدام معايير قياسية متعددة ، اذ يجب ذكر طول المعيار عند قياس قيمة المطيلية ، اذا ان هذه القيمة ستختلف باختلاف المعيار.

اما الطريقة الثانية فهي استخدام نسبة النقصان في مساحة مقطع المادة عند نقطة التمزق ، وحسب المعادلة الآتية:

$$\text{نسبة النقصان في مساحة المقطع العرضي} = \frac{\text{المساحة الأصلية} - \text{المساحة النهائية}}{\text{المساحة الاصلية}} \times 100$$

$$\Delta a = \frac{\Delta A}{A_o} \qquad \ldots\ldots 5.8$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner