

# تصميم الآت ومعدات زراعية اختبار الشد

## Tensile Test 3

قسم المكائن والآلات الزراعية  
كلية الزراعة – جامعة البصرة

المرحلة الثالثة - الفصل الدراسي الثاني

أستاذ المادة  
د. صادق جبار محسن

المصادر  
اختبار المواد – الإدارة العامة للتصميم - السعودية

## 1.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة المرونة:

المرونة هي قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية أي عدم بقاء تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر.

1. حد التناسب Proportional Limit وقانون هوك Hook's law: من النقطة ( O ) إلى النقطة ( A ) يكون الإجهاد متناسباً مع الانفعال أي يوجد علاقة خطية ( خط مستقيم ) بين الإجهاد و الانفعال. في هذه المنطقة نطبق قانون هوك ( نسبة للعالم روبرت هوك ) و التي نجد فيها العلاقة بين الإجهاد و الانفعال:

$$\sigma = E \times e \quad (16.2) \quad \text{و بالتالي} \quad E = \frac{\sigma}{e} \quad (15.2)$$

$\sigma$ : الإجهاد ، [ Pa ] أو [ N/m<sup>2</sup> ]

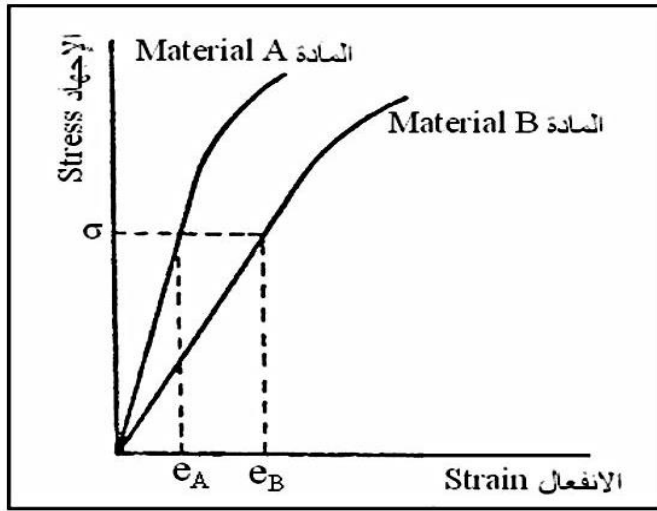
$e$ : الانفعال ، [ بدون وحدة ]

$E$ : معامل المرونة أو معامل يونغ Young's Modulus ، [ Pa ] أو [ N/m<sup>2</sup> ]

حد التناسب هو في النقطة ( A ) بحيث يكون هو أقصى قيمة للإجهاد و التي عندها تكون علاقة الإجهاد بالانفعال علاقة خطية و يرمز إليه بـ  $\sigma_p$  و نحسب معامل المرونة أو معامل يونغ باستخدام إحداثيات أي نقطة من الخط المستقيم و خاصة نقطة حد التناسب:

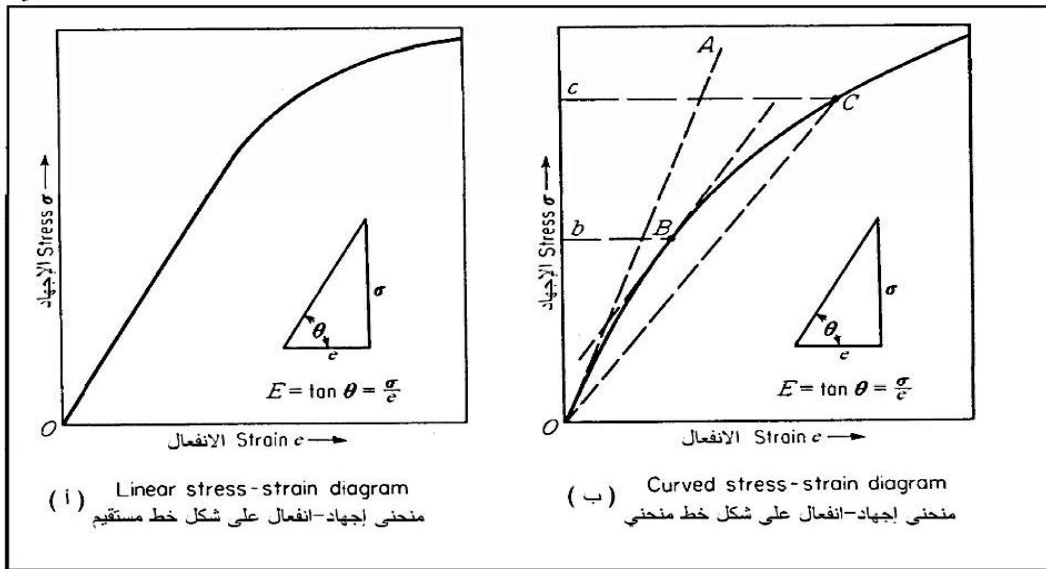
$$E = \frac{\sigma_p}{e_p} \quad (17.2)$$

ويعد معامل يونغ مقياساً لصلابة المادة في حدود المرونة والصلابة ( Stiffness ) وهي مقاومة المادة للتشكل تحت تأثير الأحمال ( أي مقاومة المادة للاستطالة تحت تأثير حمل الشد ). فكلما زادت قيمة معامل يونغ كلما قلت قيمة الانفعال المرن لأي قيمة إجهاد مرن ( وبالتالي كلما زادت صلابة المادة ) كما في شكل 7.2. وهناك عدة تطبيقات إنشائية ( مثل أجنحة الطائرات ) حيث إن ما يحكم عملية التصميم فيها هو ليس قوة المادة فقط بل كذلك الصلابة.



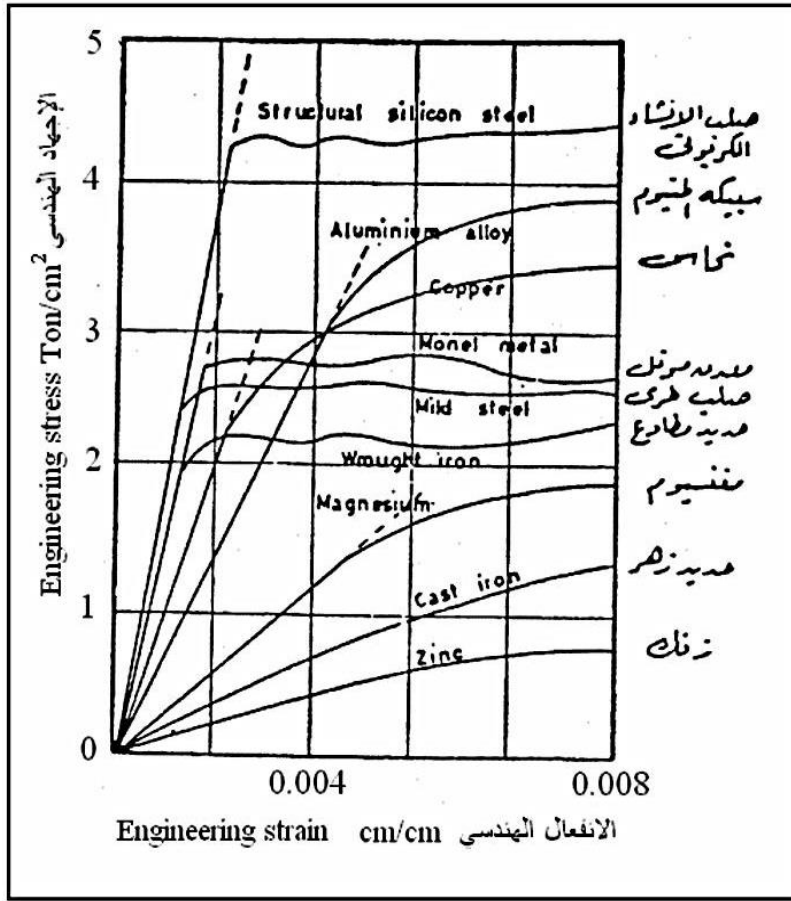
شكل 7.2: كيفية قياس الصلابة بمعامل المرونة.

و يقاس معامل المرونة أو معامل يونغ و بالتالي صلابة المعدن بحساب الميل للخط المستقيم في منحنى الإجهاد والانفعال حتى إلى حد التناسب كما هو موضح في شكل 8.2 - (أ). أما بالنسبة للمواد التي لا تتبع الخط المستقيم بالمنحنى البياني للإجهاد و الانفعال فيقاس معامل المرونة بالتالي الصلابة بواسطة معيار التماس الأول (Initial tangent modulus) وهو عبارة عن ميل المماس لمنحنى الإجهاد والانفعال عند نقطة الأصل أي بداية المنحنى كما يتبين من شكل 8.2 - (ب).



شكل 8.2: تحديد معامل يونغ للمواد التي يكون لها منحنى الإجهاد والانفعال على شكل خط مستقيم (أ) و المواد ذات منحنى ليس له شكل خط مستقيم (ب).

في حين أن معامل يونغ يختلف باختلاف المواد حيث إنه يوجد لكل مادة معامل يونغ الخاص بها كما يتضح من شكل 9.2.



شكل 9.2: منحنيات الإجهاد والانفعال لمواد مختلفة ويتضح فيها اختلاف معامل يونغ باختلاف تلك المواد.

2. حد المرونة Elastic Limit: هو أقصى إجهاد يتحمله المعدن مع عدم بقاء انفعال لدن بعد إزالة هذا الحمل أي لا يحصل تشكل دائم بعد إزالة الحمل وهو ممثل بالنقطة (B) ويرمز إليه بـ  $\sigma_E$ .

3. إجهاد الخضوع Yield Stress: هو الإجهاد الذي يحدث عنده زيادة ملحوظة في الاستطالة بدون زيادة في الحمل أي أن الانفعال يزداد بدون زيادة في الإجهاد. وفي هذه النقطة يتم عندها التحول من الانفعال المرن إلى الانفعال اللدن أي نستطيع أن نلخصها بأنها حالة نهاية المرونة وبداية اللدونة.

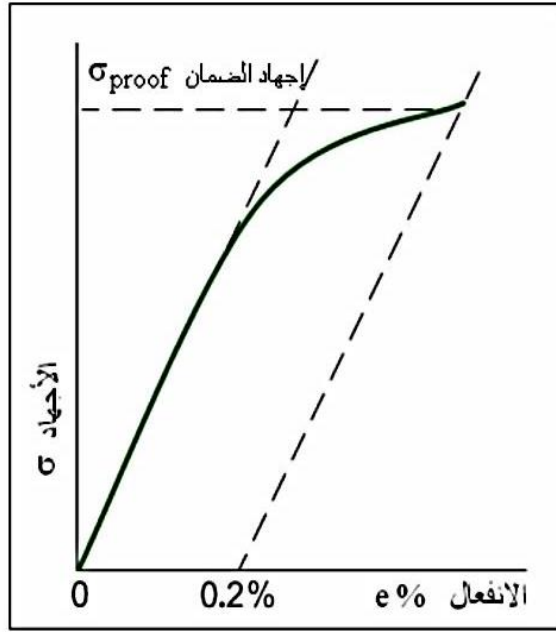
4. للمعدن. في الواقع إجهاد الخضوع ليس بنقطة بل هي منطقة و هو ممثل في الشكل بالنقطة ( C )  
و يرمز إليه ب  $\sigma_Y$ .

5. إجهاد الضمان Proof Stress: تمتاز بعض المعادن بخاصية المرونة إلا أن نتائج اختبار المعدن توضح أن ليس لها منطقة خضوع. و نظراً لأن لها خاصية المرونة لذلك يجب الحصول على إجهاد ليعبر عن مقاومة المعدن في حد المرونة و يسمى هذا الإجهاد بإجهاد الضمان. و يعرف إجهاد الضمان بأنه الإجهاد الذي يحدث في قطعة الاختبار أثناء تحميلها استطالة لا تناسبية مساوية لنسبة مئوية محددة من طول القياس. و غالباً قيمة الاستطالة اللاتناسبية التي تستخدم لتعين إجهاد الضمان بين 0.1 % و 0.5 % من الطول القياس، و في الحسابات غالباً تأخذ 0.2 % و قيمة إجهاد الضمان هي:

إجهاد الضمان = حمل الضمان / مساحة المقطع الأصلي

$$\sigma_{\text{proof}} = \frac{F_{\text{proof}}}{A_0} \quad (18.2)$$

و لتحديد إجهاد الضمان على الرسم يتم تحديد الاستطالة اللاتناسبية المعطاة على محور الانفعال ثم رسم خط مستقيم مواز لخط التناسب يتقاطع هذا الخط المستقيم مع منحنى الإجهاد و الانفعال في نقطة معينة فيكون الإجهاد المقابل لتلك النقطة هو إجهاد الضمان المطلوب كما هو موضح في شكل 10.2 و يرمز إليه ب  $\sigma_{\text{proof}}$ .



شكل 10.2: منحنى بياني يوضح طريقة تحديد إجهاد الضمان.

### 2.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة اللدونة:

اللدونة هي قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر.

1. أقصى إجهاد للشد (مقاومة الشد القصوى) Ultimate Tensile Strength: هي القيمة المقاسة لأقصى حمل تستطيع المادة تحمله و تساوي الحمل الأقصى الذي تعرضت له عينة الشد مقسوما على مساحة المقطع الأصلية للعينة و هي ممثلة في الشكل بالنقطة ( D ) و يرمز إليه بـ  $\sigma_{UTS}$ .

$$\sigma_{UTS} = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (19.2)$$

قيمة أقصى إجهاد للشد  $\sigma_{UTS}$  تعطي قياساً لمقاومة المعدن القصوى للشد التي تسمح بمقارنة المعادن و اختيار المعادن في الأعمال الهندسية. وابتداءً من النقطة ( D ) تبدأ الرقبة في التشكل حتى تصل العينة إلى حالة الكسر و تسمى هذه التغيرات بظاهرة الرقبة.

2. إجهاد الكسر Fracture Strength: هو الإجهاد الذي يحصل عنده كسر للعينة أي تفصل العينة إلى قطعتين و هو ممثل في الشكل بالنقطة ( E ) و يرمز إليه بـ  $\sigma_F$ .

3. الممتولية: هي قدرة المعدن على التشكل و تقاس ممتولية المعدن تحت تأثير حمل الشد بحساب النسبة المئوية للاستطالة ( % El ) كالآتي:

$$\% El = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 = \text{Maximum strain} \times 100 \quad (20.2)$$

حيث  $L_0$  : طول القياس الأصلي للعينة

$L_f$  : طول القياس بعد كسر العينة

تقاس الممتولية أيضاً بالنسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع المستعرض ( % RA ) كالآتي:

$$\% RA = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100 = \frac{A_f - A_0}{A_0} \times 100 \quad (21.2)$$

حيث  $A_0$  : المساحة الأصلية لمقطع العينة

$A_f$  : مساحة مقطع العينة بعد الكسر

إلا أن قيمة الممتولية بالنسبة للاستطالة تختلف عن قيمة الممتولية بالنسبة لنقص في المساحة.

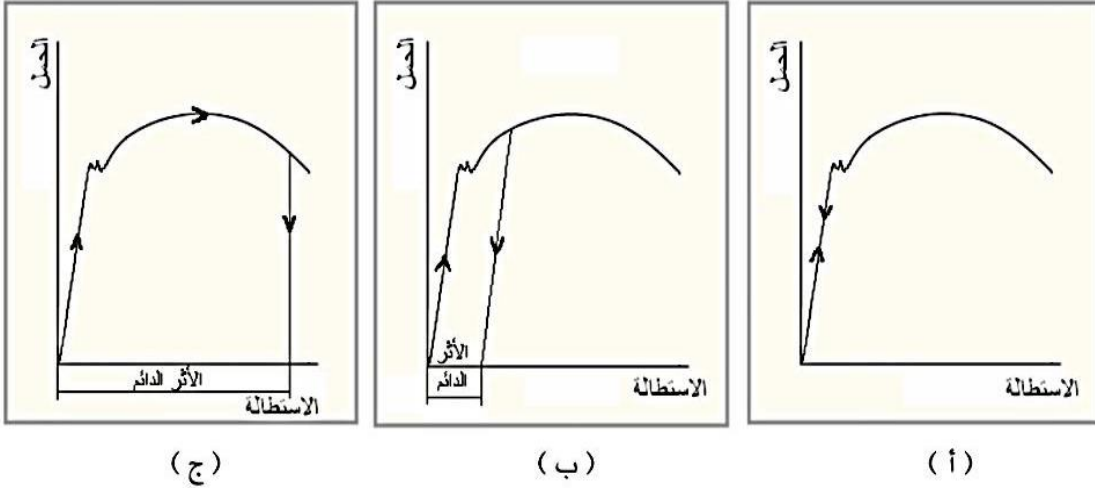
### 3.8.2: قياس الأثر الدائم:

أما فيما يخص معرفة مقدار الأثر الدائم أو الاستطالة النهائية بعد إزالة الحمل المؤثر من منحنى الإجهاد و الانفعال فإنه يوجد ثلاث حالات حسب قيمة الحمل المؤثر ( انظر أيضاً إلى شكل 6.2 ):

الحالة الأولى: الحمل في منطقة المرونة شكل 11.2 - ( أ ): لا يوجد أثر دائم و العينة تسترجع أبعادها الأصلية.

الحالة الثانية: الحمل في منطقة المرون - اللدونة شكل 11.2 - ( ب ): الأثر الدائم هو تقاطع الخط الموازي لخط التناسب إلى حد التناسب في المنحنى و محور الاستطالة.

الحالة الثالثة: الحمل في منطقة اللدونة شكل 11.2 - (ج): الأثر دائم و هو تقاطع الخط المستقيم الموازي لمحور الحمل و محور الاستطالة.



شكل 11.2 : قياس الأثر الدائم في حالة وجود الحمل المؤثر في: (أ) منطقة المرونة، (ب): منطقة المرون- اللدونة، (ج): اللدونة.

## 9.2: الطاقة المختزنة:

### 1.9.2: الرجوعية Resilience:

هي الطاقة التي يمكن للمعدن أن يختزنها عند التحميل ثم يرجعها ثانية بعد إزالة التحميل في حدود المرونة فقط و تسمى أيضاً بالطاقة المرنة. وهي تساوي إذن الشغل المبذول بالتحميل لإحداث الاستطالة حتى حد المرونة الذي يأخذ بقيمة حد التناسب في الحساب (أي أكبر طاقة في حدود المرونة). قيمة الرجوعية  $E_r$ :

الرجوعية =  $1/2$  ( الحمل المقابل لحد التناسب  $\times$  الاستطالة عند حد التناسب )

$$E_r = \frac{1}{2} \times F_p \times \Delta L_p \quad (22.2)$$

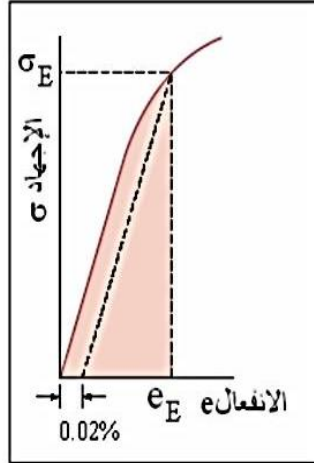


الرجوعية هي مساحة المثلث تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل والاستطالة. أما معامل الرجوعية  $U_r$  فهو يساوي الرجوعية مقسومة على حجم العينة المختبرة أي الرجوعية لوحدة الحجم و تساوي:

$$U_r = \frac{1}{2} \times F_P \times \frac{\Delta L_P}{A_0 \times L_0} = \frac{1}{2} \times \frac{F_P}{A_0} \times \frac{\Delta L_P}{L_0} = \frac{1}{2} \times \sigma_P \times e_P$$

$$U_r = \frac{1}{2} \times \sigma_P \times e_P \quad (23.2)$$

أي معامل الرجوعية يساوي 1/2 ( الإجهاد × الانفعال ) و حسب شكل 12.2 هو مساحة المثلث تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للإجهاد و الانفعال عند حد التناسب.



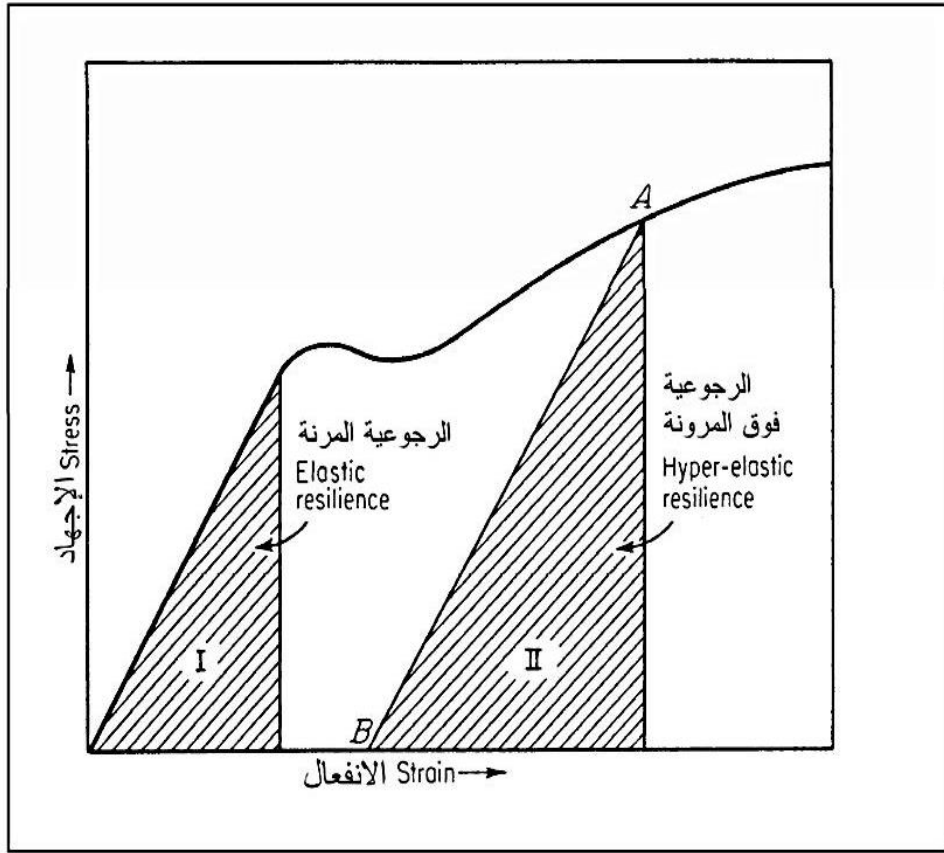
شكل 12.2: منحنى بياني يوضح طريقة تحديد معامل الرجوعية.

$$E = \frac{\sigma_P}{e_P} \Rightarrow e_P = \frac{\sigma_P}{E} \quad \text{كما رأينا في العلاقة ( 17.2 ) :}$$

و بالتعويض في ( 23.2 ) نحصل على قيمة معامل الرجوعية بدلالة معامل المرونة  $E$  و حد التناسب  $\sigma_P$

$$U_r = \frac{1}{2} \times \sigma_P \times \frac{\sigma_P}{E} = \frac{1}{2} \times \frac{\sigma_P^2}{E} \quad (24.2)$$

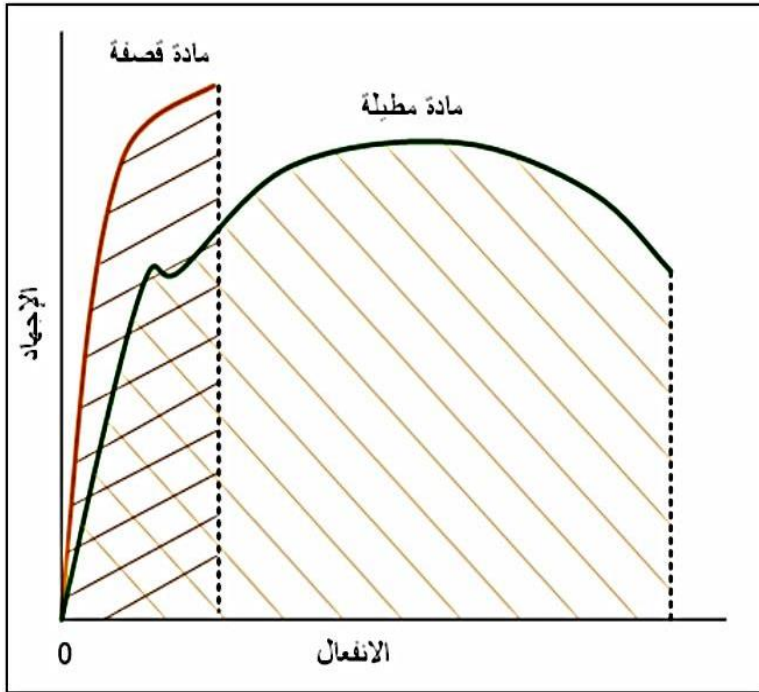
أما الرجوعية فوق حد المرونة ( Hyper-elastic resilience ) فهي عبارة عن الطاقة التي يفقدها المعدن بعد إزالة الحمل المؤثر وهي جزء من الشغل المبذول بالتحميل فوق حد المرونة وهي عبارة عن الطاقة المرتجعة عن أي حمل ( Recoverable energy ) وتقاس بالمساحة تحت المنحنى البياني للحمل والاستطالة وهي المساحة المحدودة بخط يوازي خط المنحنى لمنطقة المرونة وأيضاً بالخط الموازي للمحور الرأسى المبين للحمل كما يتبين من شكل 13.2 ويكون معامل تلك الرجوعية هو المساحة تحت المنحنى البياني للإجهاد والانفعال المقابلة للمساحة المذكورة تحت منحنى الحمل والاستطالة.



شكل 13.2: الرجوعية بدلالة منحنى الإجهاد والانفعال في حالة تحميل إلى حد المرونة أو في حالة تحميل فوق حد المرونة.

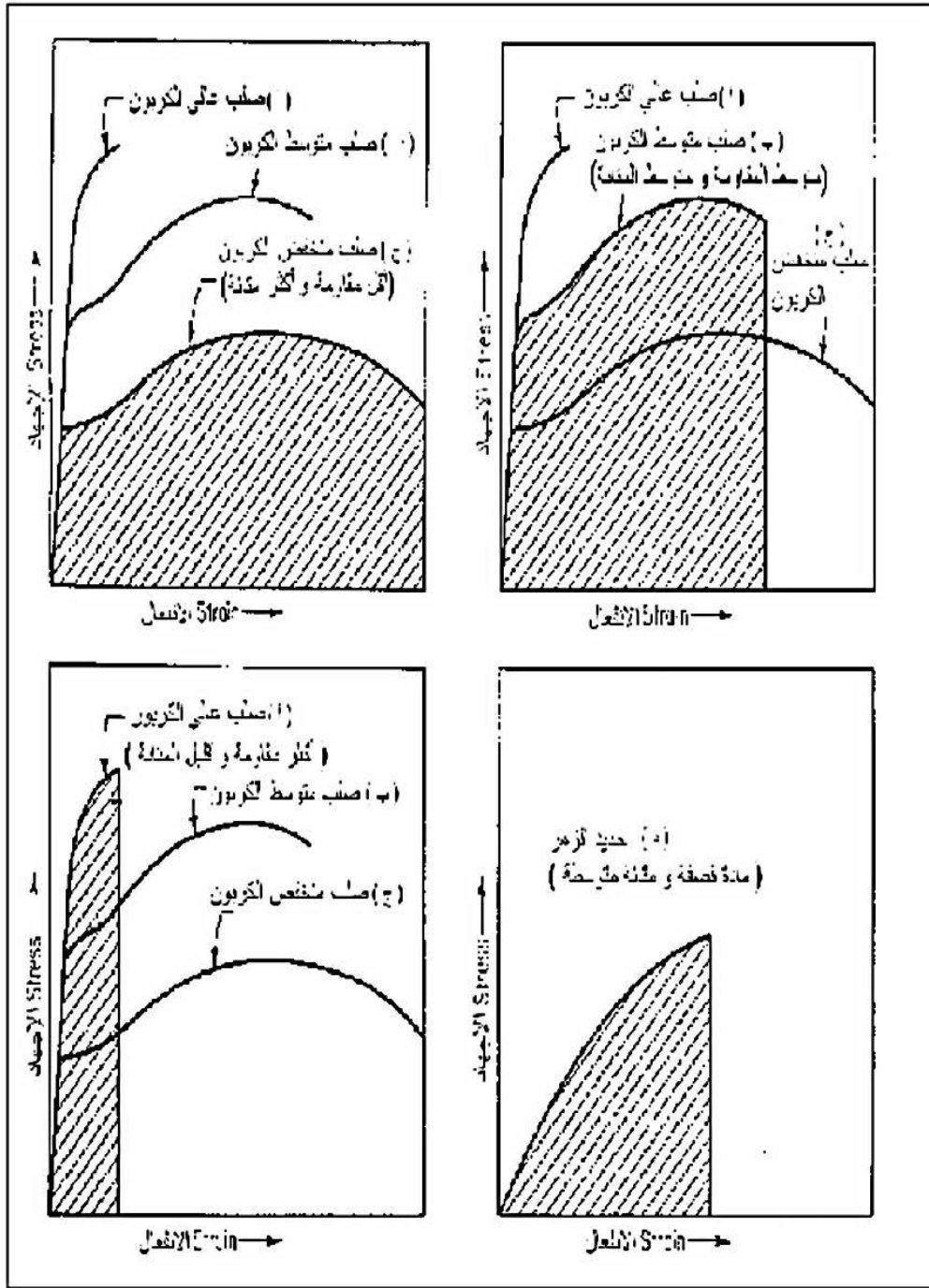
## 2.9.2: المتانة Toughness:

هي خاصية المادة التي تعبر عن قدرتها على امتصاص الطاقة خلال تحميلها حتى الكسر. هذه الخاصية تعتمد على مقاومة المواد و ممتوليتها. و هي أيضاً التي تقاوم التشكل الكبير تحت تأثير الإجهادات العالية و الأحمال الديناميكية أي الأحمال الناتجة عن الصدمات. و تساوي المتانة المساحة تحت منحنى الحمل و الاستطالة منذ بداية التحميل حتى الكسر. أما معامل المتانة  $T$  فهو عبارة عن المقاومة للصدم مقسومة على حجم عينة الاختبار و التي تساوي المساحة تحت المنحنى البياني للإجهاد و الانفعال كما هو مبين في شكل 14.2. فكلما ازدادت هذه المساحة كلما كبرت مقاومة المعدن للأحمال الديناميكية أي مقاومة الصدم.



شكل 14.2: منحنى بياني يوضح طريقة تحديد معامل المتانة.

ملاحظة: معدن له مقاومة عالية لا يعني بأن له متانة عالية. مثال عن ذلك في شكل 14.2 للصلب عالي الكربون مقاومة عالية لكن متانة صغيرة ( المساحة تحت المنحنى ) مقارنة بالصلب منخفض الكربون الذي له مقاومة صغيرة نسبياً و لكن له متانة عالية ( المساحة تحت المنحنى ). و بالتالي المواد المطيلة لها متانة أعلى من المواد القصفة. و يوضح ذلك بدقة في شكل 15.2 على أمثلة من الصلب المختلفة.



شكل 15.2: تحديد معامل المتانة لمعادن ذات خواص مختلفة: (أ): صلب عالي الكربون (أكثر مقاومة و قليل المتانة)، (ب): صلب متوسط الكربون (متوسط المقاومة و متوسط المتانة)، (ج): صلب منخفض الكربون (أقل مقاومة و أكثر متانة)، (د): حديد الزهر (مادة قصفة و متانة متوسطة).

المتانة = المساحة تحت منحنى الحمل و الاستطالة

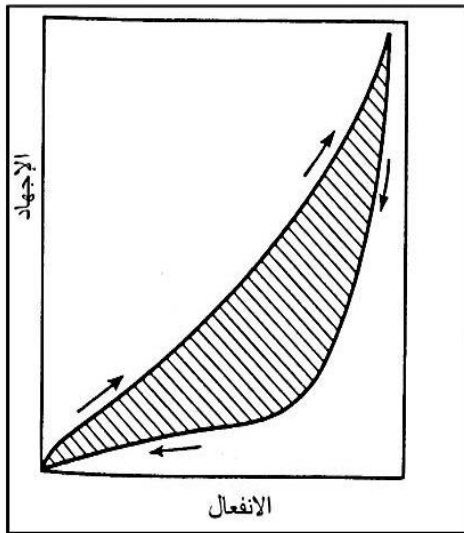
$$(25.2) \quad \text{المتانة} = 1/2 (\text{حمل الخضوع} + \text{الحمل الأقصى}) \times \text{الاستطالة الكلية}$$

معامل المتانة T = المساحة تحت منحنى الحمل و الاستطالة / حجم العينة

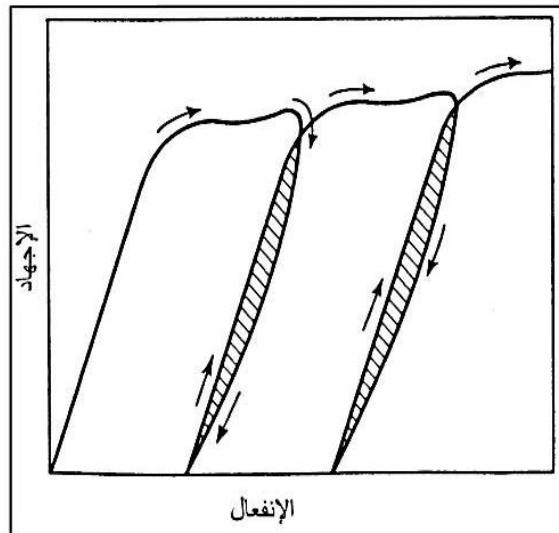
$$(26.2) \quad \text{معامل المتانة T} = [1/2 (\text{حمل الخضوع} + \text{الحمل الأقصى}) \times \text{الاستطالة الكلية}] / \text{حجم العينة}$$

### 3.9.2: التخلفية Hysteresis:

إذا تعرضت مادة في حدود المرونة إلى تحميل متكرر أي تحميل لفترة معينة و إزالة الحمل بعدها و إعادة نفس العملية مرات أخرى فإن بعضاً من الطاقة تفقد من المادة أو تمتص من قبلها. و إذا أجهد معدن فوق حد المرونة بتحميل معين ثم أزيل هذا الحمل ثم حمل مرة ثانية فإن المنحنى البياني للإجهاد و الانفعال قد يحتوي في بعض الأحيان على دورة مكونة من خطين بدلاً من واحد كالمعتاد إذا أزيل التحميل ثم أعيد ثانية كما يتبين في شكل 16.2 - (أ) و تسمى تلك الدورة بالدورة التخلفية. و تكون المساحة المحصورة داخل هذه الدورة من منحنى الإجهاد و الانفعال عبارة عن الطاقة - لوحة الحجم - المفقودة نتيجة دورة واحدة من إزالة الحمل ثم إعادة التحميل. و هذه الطاقة المفقودة تكون على هيئة حرارة كما توجد هذه الظاهرة أيضاً في بعض المواد غير المعدنية مثل المطاط في شكل 16.2 - (ب).



(ب)



(i)