الباب الأول

أحمال الصدم Impact Loading

١-١ مقدمة

تؤثر أحمال الصدم على المنشآت بصور مختلفة وعديدة نذكر منها الأحمال المتحركة بسرعة مثل تلك المتولدة نتيجة مرور القطارات على الكبارى أو سقوط الأحمال من إرتفاعات مختلفة أو تأثير الأحمال فجائياً مثل الإنفجارات وهكذا. وعموماً فإن أحمال الصدم ينتج عنها إجهادات وإنفعالات كبيرة جداً إذا ما قورنت بنظيرتها الناتجة من تأثير نفس الأحمال ولكن بصورة إستاتيكية. فإذا وضعت مسماراً فى إتجاه رأسى مرتكزاً على لوح من الخشب ثم أمسكت مطرقة بحيث يرتكز ثقلها لفترة من الوقت على رأس المسمار فإن ذلك لايؤدى إلى إختراق المسمار للوح الخشبى حتى لو إستمر الثقل لعدة أيام مرتكزاً على المسمار. أما إذا طرقت بالمطرقة على رأس المسمار سوف تجد أنه ينغرس بسهولة داخل اللوح الخشبى. ويتوقف تأثير حمل الصدم على قيمة الطاقة التى تسبب حدوث التشكلات به ولذلك فإن البيانات المطلوبة فى مسائل التحميل بالصدم تستلزم ضرورة الإلمام بالكيفية التى يقاوم بها هذا التحميل.

١-٢ الرجوعية المرنة Elastic Resilience

الرجوعية المرنة هى أقصى طاقة يتحملها الجسم ثم يرجعها ثانية ويعود إلى أبعاده الأصلية عند إزالة التحميل أى أن هذه الطاقة تكون فى حدود المرونة فقط. وتؤخذ من منحنى الحمل والتشكل حيث تساوى مساحة المثلث الواقع تحت الخط المستقيم فى المنحنى بالشكل (١-١).

ويكون معاير الرجوعية المرنة Modulus of Elastic Resilience مساوياً لمقدار الرجوعية لوحدة الحجوم من العينة المختبرة. وتؤخذ من منحنى الإجهاد والأنفعال حيث تساوى مساحة المثلث الواقع تحت الخط المستقيم فى المنحنى.

$$U = \frac{1}{2} P_{PL} \Delta \quad \longleftarrow \quad \text{الرجوعية}$$

$$\frac{U}{AL} = \frac{1}{2} \sigma \varepsilon \quad \longleftarrow \quad \text{معاير الرجوعية}$$

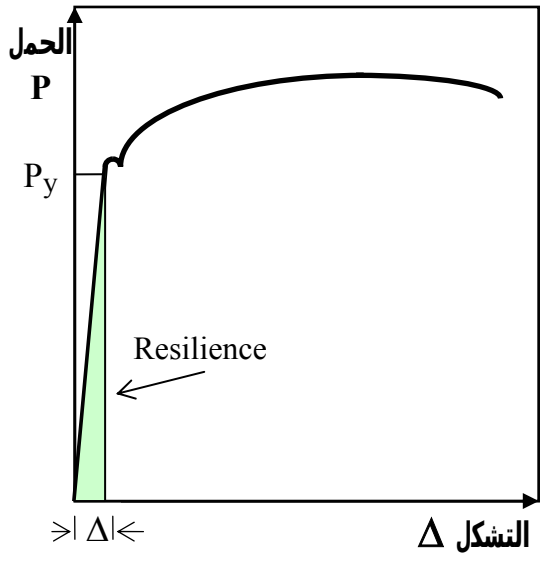
١-٣ المتـانة Toughness

المتانة هى أقصى طاقة يتحملها الجسم من بداية التحميل وحتى الكسر (حدود الإنهيار). وهى تساوى مجموع حاصل ضرب الحمل فى الإستطالة المقابلة له حتى الكسر أى تساوى المساحة تحت المنحنى البيانى للحمل والإستطالة كما فى شكل (١-٢).

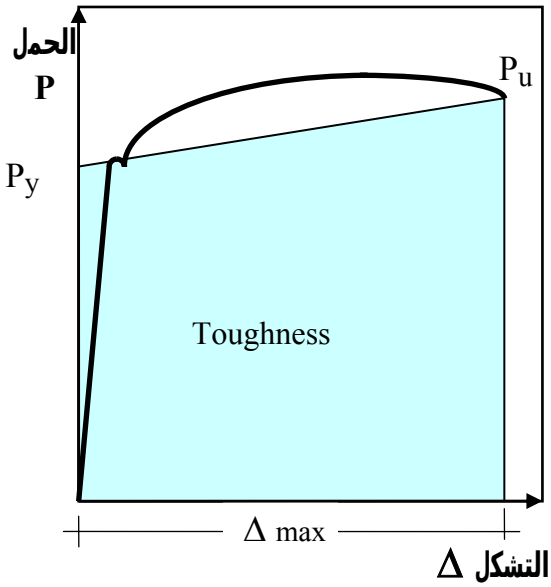
أما معاير المتانة Modulus of Toughness فهو المتانة التى تتحملها وحدة الحجوم من الجسم وتؤخذ من منحنى الإجهاد والإنفعال. وكلما إزدادت قيمة معاير المتانة دل ذلك على زيادة مقاومة المعدن للأحمال الديناميكية الصادمة.

$$U = \frac{p_y + p_u}{2}\Delta_{max} \longleftarrow \text{المتـانة}$$

$$\frac{U}{AL} = \frac{\sigma_y + \sigma_u}{2}\varepsilon_{max} \longleftarrow \text{معـايير المتانـة}$$



شكل (١-١) الرجوعية Resilience.



شكل (١-٢) المتـــانة Toughness.

١-٤ إجهادات الشد أو الضغط الصدمى فى حدود المرونة

إذا تعرض قطيب طولة "L" ومساحة مقطعة "A" كما فى شكل (١-٣) إلى حمل شد محورى ديناميكى له طاقة قيمتها "U" فإنة يحدث له استطالة قيمتها Δ. فإذا كانت P هى الحمل الاستاتيكى المكافئ (أى الحمل الذى يُحدث إستاتيكياً نفس الإستطالة التى يُحدثها حمل الصدم) فإن:

الطاقة الداخلية = الطاقة الخارجية

الطاقة الداخلية = الرجوعية = $\frac{1}{2}P\Delta$ و الطاقة الخارجية = U

إذن $U=\frac{1}{2}P\Delta$ حيث P, Δ وسائط إستاتيكية نعوض عنها.

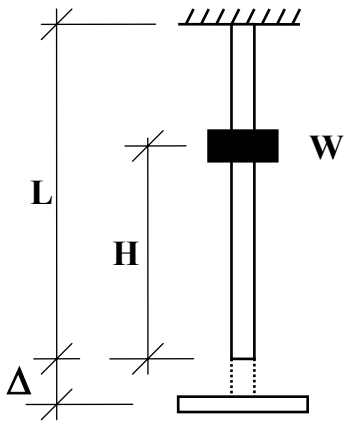
$$U = \frac{1}{2}\sigma A * \frac{L\sigma}{E} \qquad \therefore U = \frac{\sigma^2}{2E} * AL$$

$$\therefore \frac{U}{AL} = \frac{\sigma^2}{2E} \qquad \text{or} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{2EU}{AL}}$$

إذن من المعادلة الأخيرة يتضح أن إجهاد الصدم فى الشد المحورى يتوقف على قيمة كلٍ من: طاقة التحميل U ومعاير المرونة E وحجم العضو AL بينما فى حالة التحميل الإستاتيكى فإن الإجهاد يتوقف على الحمل ومساحة المقطع فقط

$$(\sigma = \frac{p}{A})$$

◻ تطبيقات (الأحمال الساقطة) :



شكل (١-٣) الأحمال الساقطة.

$$\frac{U}{AL}=\frac{\sigma^2}{2E}$$

$$U = w(H+\Delta) \quad , \quad \Delta = \frac{\sigma L}{E}$$

$$\therefore U = w\left(H + \frac{\sigma L}{E}\right)$$

$$\therefore \; w\left(H+\frac{\sigma L}{E}\right)=\frac{\sigma^2}{2E}AL$$

$$AL\,\sigma^2 - 2WL\,\sigma - 2EWH = 0.0$$

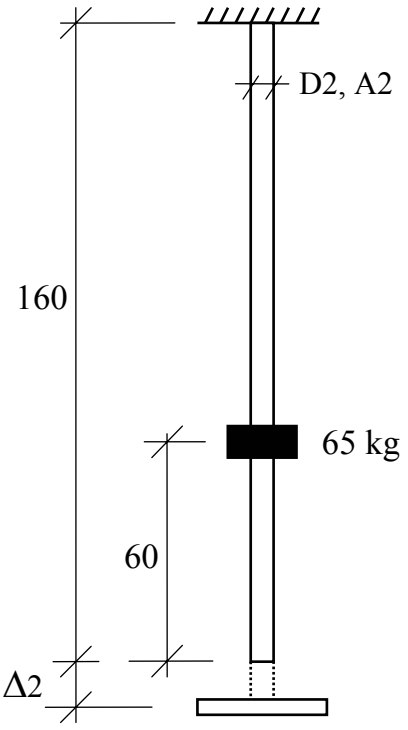
معادلة من الدرجة الثانية فى σ بحلها نحصل على قيمة σ:

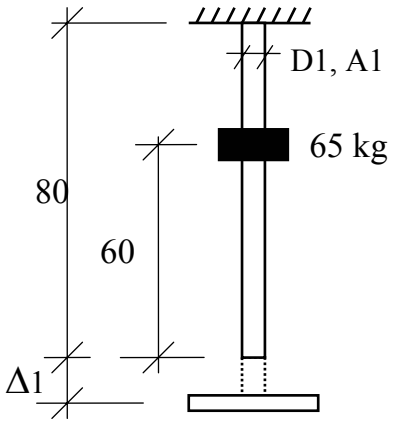
$$\sigma = \frac{W}{A}\left[1 + \sqrt{1+2H\left(\frac{AE}{WL}\right)}\right] \qquad \Delta = \frac{\sigma L}{E}:$$

إذن من الممكن معرفة Δ و σ بدلالة:

حجم العينة (AL)
ومعاير المرونة (E)
والطاقة الخارجية المؤثرة (W,H).

مثال : قضيبان من الصلب أحدهما طوله ٨٠ سم والآخر طوله ١٦٠ سم ، يتعرضان لحمل شد صدمى محورى بواسطة ثقل مقداره ٦٥ كج يسقط من إرتفاع ٦٠ سم فبفرض أن إجهاد الخضوع الصدمى = ٢٣,٨ كج/مم٢ ، معاير المرونة = ٢,٠٦ × ٤١٠ كج/مم٢. قارن بين القطرين اللازمين لمقاومة الخضوع.





الحـــــــــــل

$$U_1 = A_1 L_1 \frac{\sigma^2}{2E}$$

$$\therefore \; w(H+\Delta_1) = A_1 L_1 \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\pi D_1^2}{4} \frac{L_1 \sigma^2}{2E}$$

$$\therefore \; D_1^2 = \frac{8 E W (H+\Delta_1)}{\pi L_1 \sigma^2} \quad , \quad \Delta_1 = \frac{\sigma L_1}{E}$$

$$\therefore \; D_1 = \sqrt{\frac{8 E W \left(H + \frac{\sigma L_1}{E} \right)}{\pi L_1 \sigma^2}}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{8 * 2.06(10)^4 * 65 \left(600 + \frac{23.8 * 800}{2.06 (10)^4}\right)}{\pi * 800 * (23.8)^2}} = 67.2 \text{ mm}$$

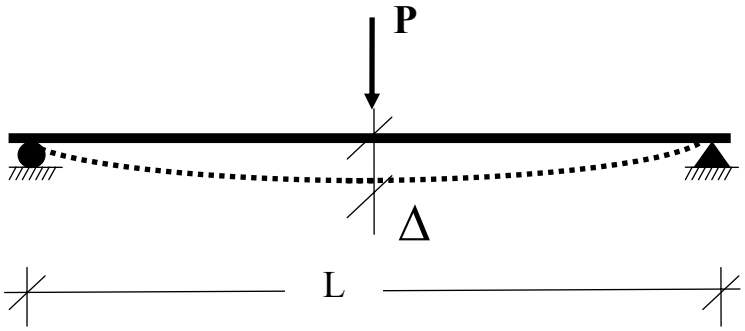
Similarly :

$$D_2 = \sqrt{\frac{8 * 2.06(10)^4 * 65 \left(600 + \frac{23.8 * 1600}{2.06 (10)^4}\right)}{\pi * 1600 * (23.8)^2}} = 47.6 \text{ mm}$$

$$D_2 \cong 70.8 \; \% \; D_1$$

ملحوظة : لاحظ أنه لو أن هذا الوزن (٦٥ كجم) يؤثر على القضيب إستاتيكيا فإن قطراً مقداره ١,٨٦ مم يكون كافي تماماً. أي أقل من ٣٪ من القطر D_1 !!!!

١-٥ إجهادات الإنحناء الصدمى فى حدود المرونة



شكل (١-٤) حالة كمرة مرتكزة إرتكازا بسيطا .

إذا تعرضت كمرة بسيطة Simple Beam مساحة مقطعها "A" وبحرها "L" كما فى شكل (١-٤) إلى حمل طاقة يؤثر فى منتصف البحر يتسبب عنه سهم إنحناء فى منتصف الكمرة مقداره "Δ".

فإذا كانت "P" هى الحمل الإستاتيكى المكافئ أى الحمل الذى يحدث سهم إنحناء يساوى Δ أيضاً فإن:

$$U = \frac{1}{2} P \Delta$$ **حيث P, Δ وسائط إستاتيكية نعوض عنهما كما يلى:**

To get P :

$$\because \sigma = \frac{M y}{I} = \frac{PL y}{4 I} \qquad \therefore \; P = \frac{4 \sigma I}{L y}$$

To get Δ :

$$Q \;\; \Delta = \frac{P L^3}{48 EI} = \frac{4 \sigma I}{L y} * \frac{L^3}{48 EI} = \frac{\sigma L^2}{12 E y}$$

بالتعويض عن P, Δ إذن:

$$U = \frac{1}{2} * \frac{4 \sigma I}{L y} * \frac{\sigma L^2}{12 E y} = \frac{1}{6} \left(\frac{\sigma^2}{E}\right) \left(\frac{I}{y^2}\right) L$$

$$\therefore \; U = \frac{1}{6} \left(\frac{\sigma^2}{E}\right) \left(\frac{i_x^2}{y^2}\right) AL$$

or

$$\boxed{\frac{U}{AL} = \frac{1}{6} \left(\frac{\sigma^2}{E}\right) \left(\frac{i_x^2}{y^2}\right)}$$ **&** $$\boxed{\Delta = \frac{\sigma L^2}{12 E y}}$$

وحيث أن ($\frac{i_x^2}{y^2}$) هى مقدار ثابت للقطاع إذن:

للمقاطع المستطيلة	$\frac{1}{3} = (\frac{i_x^2}{y^2})$	⟸	$\frac{U}{AL} = \frac{\sigma^2}{18\ E}$
للمقاطع الدائـرية	$\frac{1}{4} = (\frac{i_x^2}{y^2})$	⟸	$\frac{U}{AL} = \frac{\sigma^2}{24\ E}$

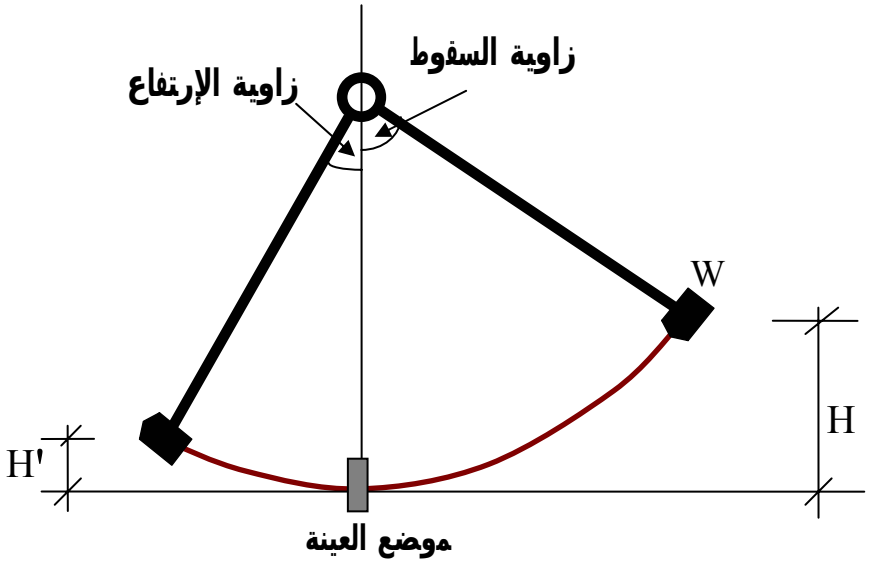
١–٦ إختبارات الصدم القياسية Standard Impact Tests

الغرض من الإختبار

دراسة مقاومة المعادن لقوى الصدم ومقارنة تلك المقاومة لعينات إختبار من مواد مختلفة. وتعتبر الطاقة التى تكسر العينات المختبرة هى أساس لمقارنة المواد بعضها البعض من وجهة تحملها لقوى الصدم.

فكرة الإختبار

يعتبر إختبارى أيزود " Izod " وتشاربى "Charpy" هما الإختباران الأساسيان فى الصدم وفيهما يؤثر حمل الصدم W على العينة من ثقل متأرجح من إرتفاع H فيكون مساره دائرة. وعند إصطدامه بالعينة المحزوزة يصعد إلى إرتفاع آخر H'. فتكون الطاقة المستعملة فى كسر العينة = W (H-'H) كج.متر أو باوند.قدم



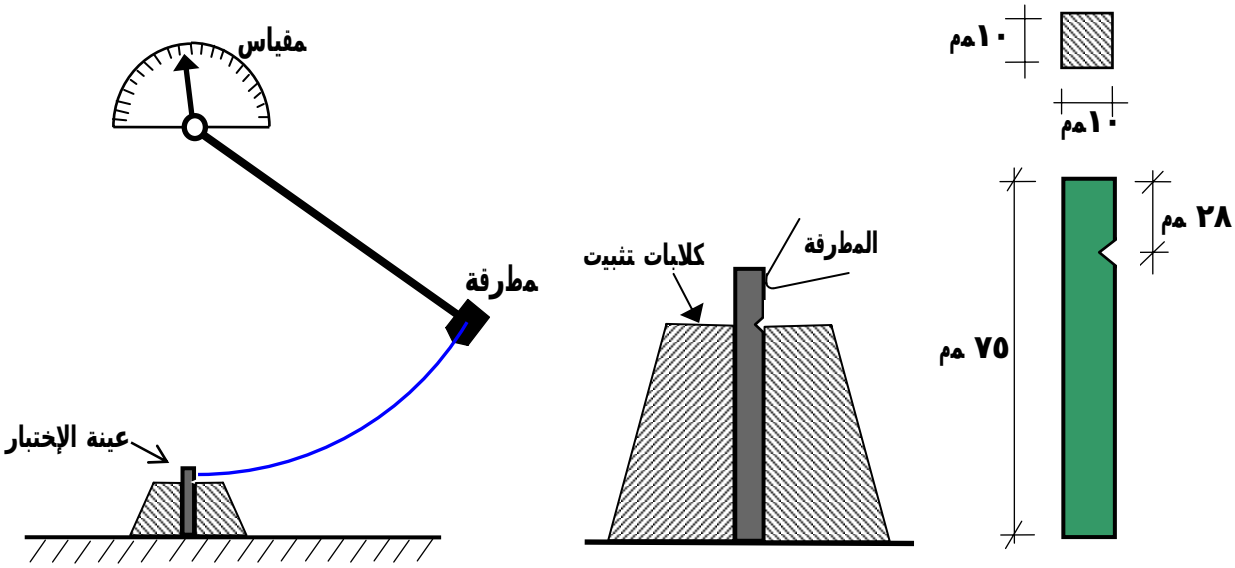
شكل (١–٥) الفكرة العامة لإختبار الصدم.

❐ إختبار أيزود Izod

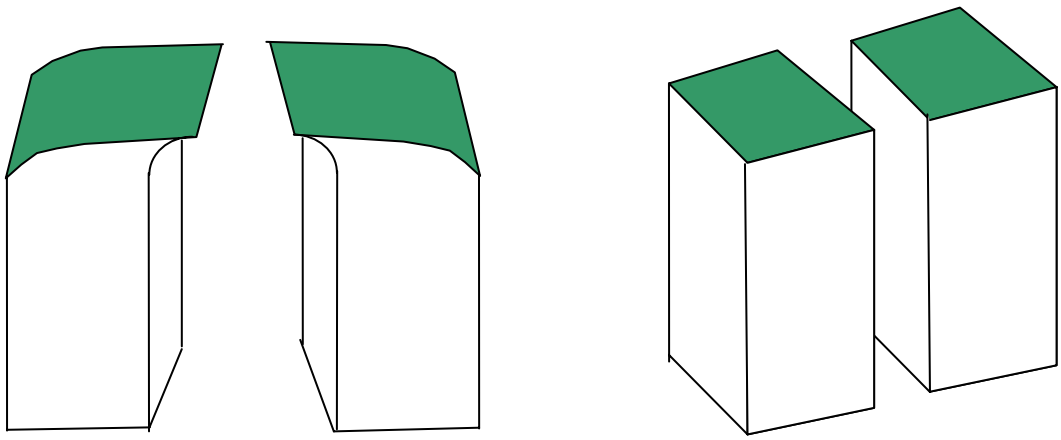
قطعة الإختبار: تكون ذات مقطع مربع الشكل ١٠ مم×١٠ مم أو مستديرة بقطر ١١,٤ مم (مساحة مقطعها ١٠٠ مم٢) .

تثبيت العينة: تثبت رأسيا ثم تعرض لصدمة واحدة تؤثر عند موضع محدد على العينة المحزوزة. وتثبت بحيث يكون قاع الحز فى مستوى السطح العلوى لكلابات التثبيت كما بشكل (١-٦).

طريقة إجراء الإختبار: تثبت قطعة الإختبار فى الوضع الصحيح فى ماكينة الإختبار مع مراعاة أن يكون المحور الطولى لقطعة الإختبار فى مستوى تأرجح مركز ثقل المطرقة وأن يكون مستوى تماثل الحز فى نفس مستوى الوجه العلوى للكلابات. وتعد الماكينة للإختبار بضبط مؤشرها على التدريج المقابل للموضع الإبتدائى للمطرقة. ثم يطلق البندول حرا ليتأرجح فتصدم مطرقة قطعة الإختبار وتكسرها أو تثنيها ويمر متأرجحا إلى الجهة الأخرى من قطعة الإختبار حتى تصل المطرقة إلى الوضع النهائى وحينئذ تدل القراءة التى يبينها المؤشر لهذا الوضع على مقدار الطاقة التى بذلت فى ثنى أو كسر قطعة الإختبار. ويلاحظ أن المعدن القصيف تنكسر عينته تماماً بدون حدوث إنثناء أو تشوهات عند الكسر أما المعدن المطيل فتنكسر عينته مع حدوث إنثناء مصاحب للكسر كما فى شكل (١-٧).



شكل (١-٦) إختبار الصدم بطريقة أيزود .



مادة قصفة　　مادة مطيلة

شكل (١–٧) شكل الكسر فى المعادن القصفة والمعادن المطيلة.

❐ إختبار تشاربى Charpy

قطعة الإختبار وطريقة التحميل كما بشكل (١-٨) و الهدف من الحز فى قطعة الإختبار هو:

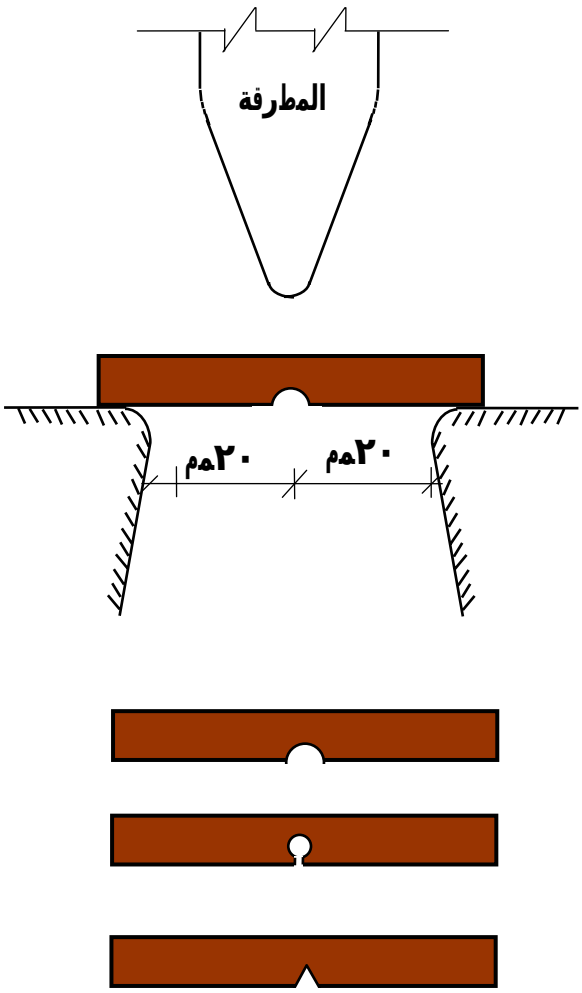
١- تقليل مساحة المقطع.
٢- ضمان تركز الإجهادات وحساب الإجهادات القصوى.
٣- تحتاج طاقة صغيرة للماكينة.

وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة بين رقمى تشاربى وأيزود للصدم توضحها العلاقة الآتية وكذلك شكل (١-٩):

$$\text{رقم تشاربى للصدم (كج.متر)} = \frac{\text{رقم أيزود (باوند.قدم)} + ١٠}{٤,٥}$$

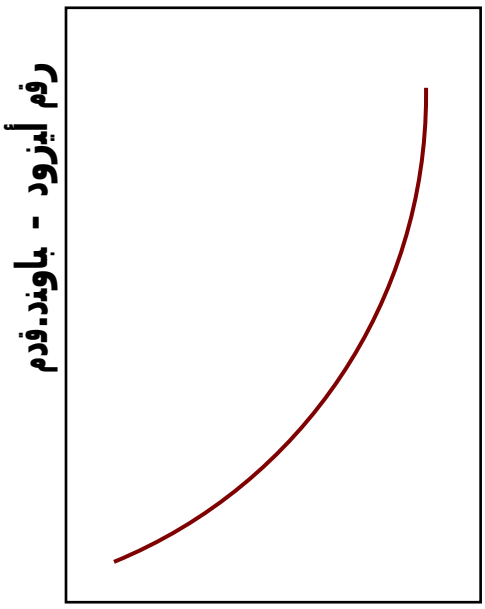
تدريب:

قارن بين إختبارى أيزود وتشاربى من حيث شكل العينة ووضع العينة بين كلابات التثبيت ووحدات القياس والعلاقة بين رقم أيزود ورقم تشاربى.



أشكال الحز المختلفة

شكل (١-٨) عينة الإختبار بطريقة تشاربى.



شكل (١-٩) العلاقة بين رقمى أيزود وتشاربى.