Manara University
Faculty of Engineering
Department of civil engineering

جامعة المنارة
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

مقرر مواد بناء

لطلاب الهندسة المدنية– السنة الثانية

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

مراحل اكتساب المقاومة مع تصلب الخرسانة

يكتسب البيتون 16% من مقاومته بعد مرور يومٍ واحدٍ، و40% من مقاومته في غضون 3 أيام، 65% من مقاومته في 7 أيام، 90% خلال 14 يومًا و99% بعد مرور 28 يومًا.

العمر بعد الصب	% المقاومة
يوم واحد	16%
3 أيام	40%
7أيام	65%
14يوم	90%
28 يوم	99%

لاحظ أنّ الإسمنت يكتسب مقاومةً بسرعةٍ في فترة أسبوعين بعد الصب، (90% من مقاومته في 14 يومًا)، وبعد 28 يومًا تزداد مقاومته أكثر من 99% وتستمر في الزيادة لكن بسرعةٍ أقل بكثيرٍ مقارنةً مع الفترة الممتدّة قبل 28 يومًا. حيث مقاومة الإسمنت البالغة 99% قريبةٌ بشكلٍ كبيرٍ من مقاومته النهائية المتمثّلة بعد سنةٍ أو سنتين من الصبّ.

لذلك يعتمد المهندسون على قيمة المقاومة الناتجة عن الاختبار على الضغط والتي تجري بعد 28 يومًا من الصب. ويستخدمون هذه النتيجة في الحسابات. فالانتظار لإجراء الاختبار سنةً كاملةً غير مجدٍ عمليًا.

ماكينة الضغط وعينات الاختبار

تجرى تجارب تحديد المقاومة للخرسانة على عينات بأشكال وأبعاد قياسية حسب الكود المُعتمد في كل دولة: مكعبية بأبعاد cm(15*15*15) وأسطوانية بقطر 15 cm وارتفاع 30cm.

لكن في بعض الأحيان تُجرى تجارب تحديد المقاومة قبل مضي 28 يومًا على الصب، أو على عينات بأبعاد أو أشكال مغايرة للعينات القياسية، ولذلك فالكودات التي تحدد مواصفات الخرسانة تعتمد طرقًا مختلفة لتعديل النتائج المخبرية لتتوافق مع النتائج فيما لو أجريت التجربة بعد 28 يومًا على عيناتٍ قياسيةٍ.

خطوات اختبار مقاومة الخرسانة على الضغط مخبريًا:

- تجميع أجزاء القالب (مكعب أو أسطوانة أو موشور) وربطها بإحكام وتنظيف أسطحها الداخلية من الشوائب ثم دهنها بطبقة رقيقة من الزيت.
- تجهيز عينةٍ من الخرسانة تكفي لصنع ثلاث عيناتٍ على الأقل أو حسب العدد المطلوب.
- صب الخرسانة في القالب على ثلاث طبقات بحيث تُدمَك كلٌّ منها جيدًا (بالهزاز) دون حصول انفصالٍ حبيبيّ أو يدويًا بمعدل 35 وخزةٍ بقضيب الدمك.

- حفظ العينات في جوٍّ رطبٍ خالٍ من الاهتزازات مع تغطيتها إن أمكن لتقليل تبخر الماء من العينة لمدة 24 ساعة.
- فك القوالب بعد مضي 24 ساعةً واستخراج العينات ووضعها في حوض المعالجة لحين إجراء الاختبار عليها.
- إخراج العينات من الحوض وتنشيفها من قطرات الماء العالقة ووضعها في آلة الاختبار.

- إجراء الاختبار على العينات مع مراعاة أن يكون محور العينة منطبقًا على المحور الرأسي للآلة وأن يكون سطحا العينة المعرضان للضغط أملسَين وناعمَين.

- تحميل العينة تدريجيًا حسب نوع العينة وأبعادها بحملٍ تدريجيٍّ يبدأ من الصفر حتى الانكسار.

- تسجيل النتائج في جدولٍ خاصٍّ يحدد أبعاد العينة ومواصفاتها وتاريخ الاختبار وعمر العينة وغير ذلك، وبعد الانتهاء من الاختبار تُحدَّد مقاومة كسر كلِّ عينةٍ كما يلي: تساوي مقاومة كسر العينة الخرسانية مقدرة بالـ kg/cm^2 حمولة الكسر مقدرة بالـ kg مقسومة على مساحة مقطع العينة بالـ cm^2 ، ثم تُجرى العمليات الإحصائية المطلوبة لتحديد المقاومة المميزة على الضغط للخرسانة المدروسة.

عوامل التصحيح:

يُفترض إجراء التصحيح اللازم لنتائج كسر العينات عندما تختلف أبعادها وأشكالها عن العينات القياسية، أو عندما يختلف عمر العينات عن 28 يومًا، إذ إن طبيعة انكسار العينات في الضغط تختلف وفقًا للشكل والأبعاد، إضافةً لنعومة سطح التلامس بين مستويات الاستناد وسطح العينة.

عوامل التصحيح لاختلاف الشكل والأبعاد (وفقًا للكود السوري):

الجدول (٤-١٣): قيم معامل التصحيح للأشكال المختلفة لعينات الاختبار

شكل العينة	أبعاد عينة الاختبار بالميليمتر بفرض أنها ذات أسطح مستوية ومتوازية	معامل التصحيح
الاسطوانة	ارتفاع 300 × 150 قطر	1.00
	ارتفاع 200 × 100 قطر	0.97
	ارتفاع 500 × 250 قطر	1.05
الموشور	150 × 150 × 300	1.00
	150× 150 × 450	1.05
	200× 200 ×600	1.05
المكعب	100 × 100 ×100	0.78
	150× 150 ×150	0.80
	200 × 200 ×200	0.83
	300× 300 × 300	0.90

وبالنسبة للتصحيح **المتعلق بالعمر** لاتوجد علاقة متفقٌ عليها بين المقاومة المعجّلة والمقاومة عند عمر 28 يوم. ولكن النمط العام من الشكل:

$$R_{c28} = R_{cj} \times \frac{R_d \times (j - 28) + 28}{j}$$

حيث: *Rc28* المقاومة على الضغط بعمر 28 يوم للبيتون

Rcj المقاومة على الضغط بعمر j يوم للبيتون

Rd معامل يتعلق بسرعة تصلب الاسمنت ويأخذ القيم التالية:

سرعة التصلب	قيم المعامل Rd
سريع	0.9
عادي	0.83
بطيء	0.8

الكود السوري يقدم جدول يبين عوامل تصحيح اختبارات الضغط لاختلاف العمر:

الجدول (٤-١٤): قيم معامل التصحيح لنتائج اختبارات الضغط لخرسانة ذات أعمار تختلف عن 28 يوماً

عمر الخرسانة باليوم	3	7	28	60	90	360 أو أكثر
اسمنت بورتلاندي عادي	2.50	1.50	1.00	0.95	0.90	0.80
اسمنت بورتلاندي سريع التصلب	1.80	1.30	1.00	0.97	0.95	0.90

بعد حساب المقاومة R_{c28} المصححة والمعدلة بحسب الشكل والأبعاد وعمر العينة نقوم بحساب المتوسط الحسابي لها:

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_{c28}}{n}$$

حيث n عدد العينات المختبرة.

وتكون المقاومة المميزة المعتمدة للبيتون بعد 28 يوم تعطى بالعلاقة:

$$f_c' = f_{cm} - k \times s$$

حيث k ثابت احصائي يتوقف على عدد الاختبارات المنفذة وفق الكود العربي السوري ويعطى كالآتي:

K=1.31 if n>30 samples

K=1.34 if n>15 samples

K=1.37 if n<15 samples

أما S فيعبر عن الانحراف المعياري ويعطى بالعلاقة:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (R_{c28} - f_{cm})^2}{n-1}}$$

عند زيادة قيم الانحراف المعياري عن 8 MPa يجب إيقاف عملية الصب و إنتاج الخلطة للتحقق من المكونات والنسب وطريقة الصب.

- كلما ابتعدت قيم المقاومة المميزة f'_c عن المقاومة الوسطية كلما كان ذلك مؤشر على ضعف ضبط الجودة في المجبل أو الورشة، وكلما زادت أهمية المنشأ كلما كان الفارق بين المقاومة المميزة والمقاومة الوسطية أصغرياً.
- من قيمة الانحراف المعياري المحسوبة للعينات المختبرة (S) وبمقارنتها مع الجدول التالي بالإمكان تقييم جودة الخلطة.

Table 4.3—Standards of concrete control for $f'_c \leq$ 5000 psi (35 MPa) $f'_{cube} = 43.7$ MPa

Class of operation	Overall variation: Standard deviation for different control standards, psi (MPa)				
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor
General construction testing	(below 2.8)	(2.8 to 3.4)	(3.4 to 4.1)	(4.1 to 4.8)	(above 4.8)
Laboratory trial batches	Below 200 (below 1.4)	200 to 250 (1.4 to 1.7)	250 to 300 (1.7 to 2.1)	300 to 350 (2.1 to 2.4)	Above 350 (above 2.4)

عموماً يجب الا تزيد قيم الانحراف المعياري (S) عن 4.1 MPa لضمان جودة الخرسانة

يجب ألا تقل مقاومة أي عينة مختبرة عن المقاومة المميزة بأكثر من 3 MPa.

الحديد

تتحمل الخرسانة أحمال الضغط المطبق عليها بشكل جيد، ولكنها لا تتحمل الحمولات الأخرى مثل أحمال الشد التي تؤثر على كفاءة الخرسانة.

إن مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة لذا وجب علينا إيجاد مادة مساندة تساعد على مقاومة هذه الاحمال.

بعد اختبار مجموعة كبيرة من المواد وجد أن الحديد هو المادة المناسبة لتحمل هذه الأحمال والعمل بانسجام تام مع مادة الخرسانة من حيث التمدد والانكماش مما يكون مادة جديدة هي الخرسانة المسلحة

والحديد المستخدم في المنشآت التقليدية على نوعين:

النوع الأول: حديد طري أملس

النوع الثاني: حديد عالي المقاومة محلزن

حديد طري عادي

يسمى حديد 35 وهذا يعنى أن مقاومته للشد 35كغ /مم²ويكون إجهاد الخضوع لا يقل عن 33كغ /ملم²والاستطالة عند الكسر 20% و يستخدم في المنشآت المعدنية الخفيفة. يتميز بأنه:

- حديد أملس السطح بدون نتوءات
- أكبر قطر مستخدم فيه هو8 مم
- يمكن تشكيله عدة مرات.
- يستخدم في عمل الكانات الحديدية.
- مقاومته في الانسلاخ من الخرسانة ضعيفة.
- سهولة نقله.

حديد محلزن عالي الشد high tensile steel

يسمى حديد 52 وهذا يعنى ان مقاومته للشد 52 كغ / مم² ويكون إجهاد الخضوع لا يقل عن 36 كغ / مم²

والاستطالة عند الانقطاع 18%، يستخدم في المنشآت الثقيلة كما أنه يتميز بالآتي:

- الحديد المحلزن (صلب عالي المقاومة) يستخدم في جميع الاعمال الانشائية
- يوجد بأقطار من 10 مم حتى 40 مم وهو حديد ذو نتوءات وهذه النتوءات تزيد من مقاومته للانسلاخ ويزيد من قوى التماسك مع الخرسانة.

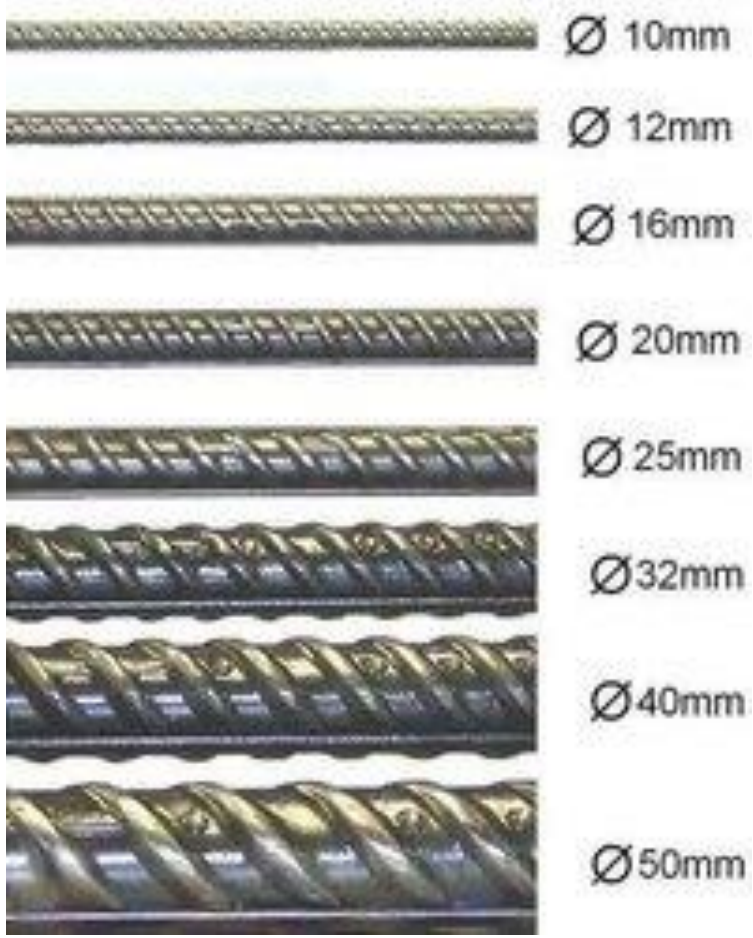
توجد منه أنواع عالية المقاومة للشد، ويسمى GRADE 60 وتصل قوة تحمله إلى 60 كغم / مم².والحد الأدنى للإستطالة = 12%.

كما توجد أنواع خاصة من الحديد كقضبان التسليح المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ .

أقطاروأوزان أسياخ الحديد المستخدمة

Bar Diameter (mm)	Unit Weight (kg/m)	Sectional Area (mm2)
6	0.222	28.3
8	0.395	50.3
10	0.617	78.5
12	0.888	113.1
16	1.578	201.1
20	2.466	314.2
25	3.853	490.9
32	6.313	804.2
40	9.864	1256.6

طول الأسياخ المحلية النظامية 12m



لتحديد جودة الحديد يجرى عليه عدة اختبارات :

1. اختبار الشد
2. اختبار الثني
3. اختبار التحليل الكيميائي

اختبار الشد للحديد

حساس يدوي

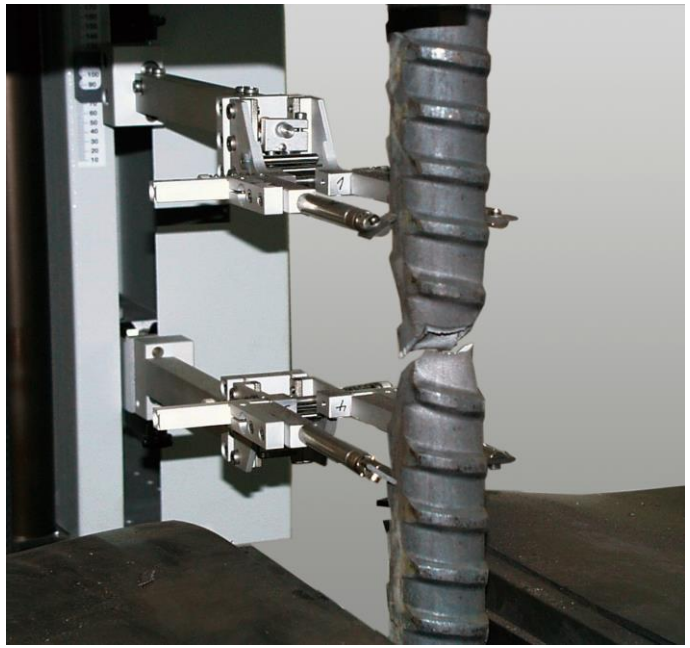
الغرض من الاختبار:

تعيين مقاومة حديد التسليح للشد ، ودراسة سلوك حديد التسليح تحت تأثير حمل الشد وتعيين الانفعال ومدى التغير الناتج من الشد .

وتستخدم هذه البيانات لتصميم القطاعات الخراسانية وكذلك لتحديد كمية الحديد بالقطاع .

الأجهزة والأدوات :

1. آلة الشد الخاصة .
2. جهاز حساس الاستطالة .



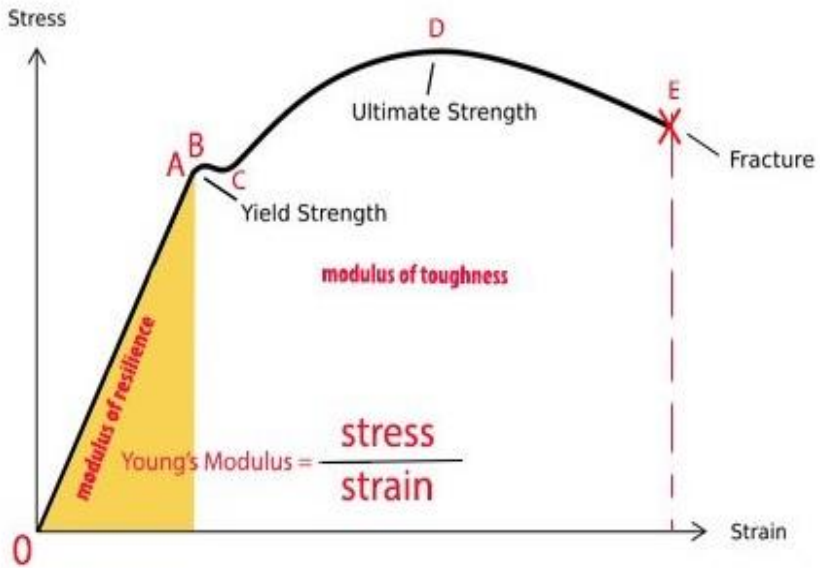
يعد من أهم الاختبارات المطبّقة على حديد التسليح الذي يخضع للمواصفات القياسية الدولية ISO 15630-1، ويجري الاختبار من خلال تسليط أحمال شد بشكل متزايد على قضيب التسليح وذلك بعد تثبيت القضيب ضمن الجهاز الخاص بالتجربة وتسليط الأحمال بشكل محوريّ عليها، وذلك باتجاهين متعاكسين، مما ينتج عنه شد سيخ التسليح واستطالته.

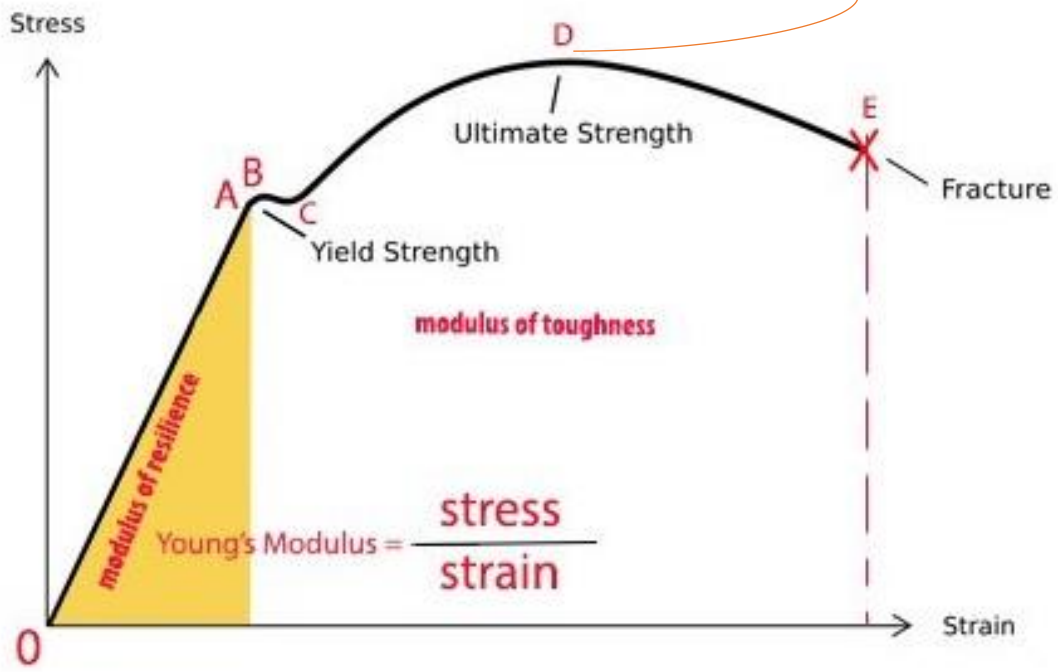
الهدف من هذا الاختبار:

- الحصول على منحنى إجهاد-تشوّه.
- معرفة حد الليونة وحد الخضوع إضافة لإيجاد حد الانقطاع.
- تحديد الإجهادات الأعظميّة.
- معرفة معايير المرونة.
- حساب الاستطالة.

عند التحميل على عينة الحديد يجب ملاحظة أن السيخ يمر بالمراحل التالية:

- **مرحلة المرونة** : تكون عند بداية التحميل على العينة ويصاحبها تغير طفيف في الطول وتعود العينة إلى وضعها الطبيعي بعد زوال الحمل المؤثر .
- **مرحلة الخضوع**: وتبدأ بعد مرحلة المرونة بحيث تقل مقاومة السيخ للشد مع زيادة واضحة في طول العينة ويبقى التغير في الطول بعد زوال الحمل المؤثر ولكن بدون نقص يذكر في مقطع العينة .
- **مرحلة اللدونة** : وتبدأ بعد مرحلة الخضوع وتتميز بزيادة ملحوظة في مقاومة العينة للشد مع زيادة في الطول يصاحبها نقص واضح في مقطع العينة (تشكل الرقبة) وتنتهي هذه المرحلة بقطع العينة إلى جزأين .



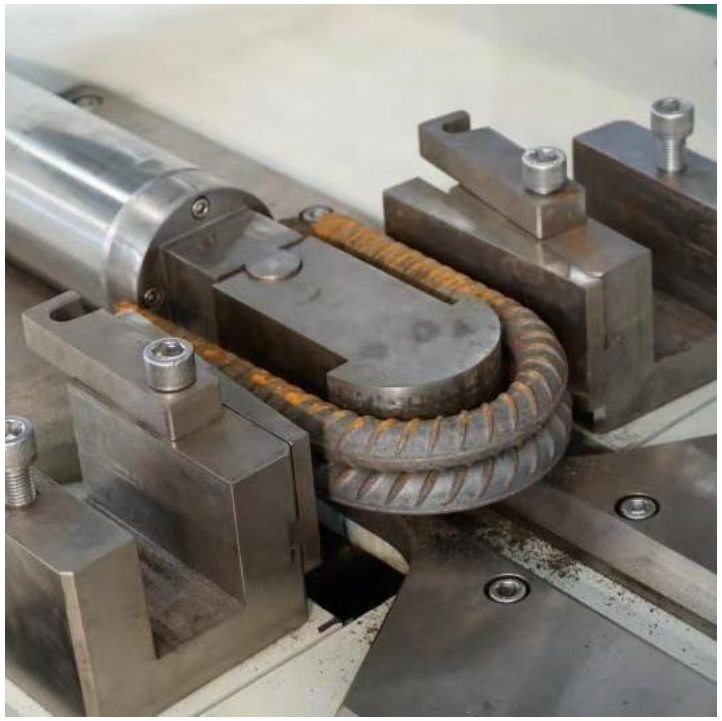


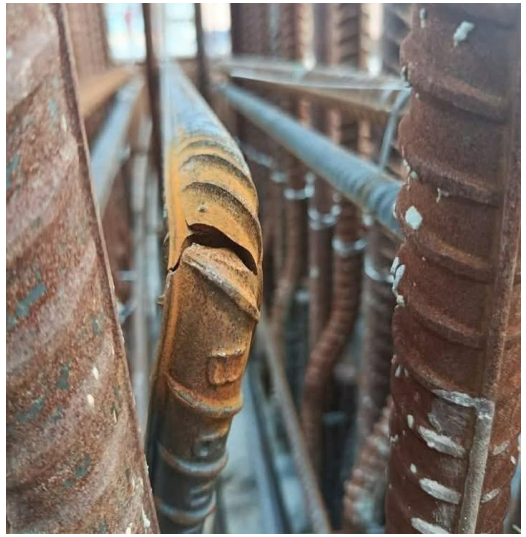
مقاومة الحديد للشد = أقصى حمل × 1000 / مساحة مقطع العينة

اجهاد الخضوع = حمل الخضوع / مساحة مقطع العينة

(التشوه) = الاستطالة الكلية / الطول الأصلي للعينة

اختبار ثني الحديد





يجري هذا الاختبار على البارد، أي يُمنع تسخين الحديد لثنيه وتبعًا للمواصفات القياسيّة الدوليّة ISO 15630-1، يُثنى الحديد بزاوية 180 درجة حول أسطوانة يكون قطرها مساوٍ **لثلاثة أضعاف** قطر القضيب، والغاية من هذا الاختبار التأكد من مطاوعة الفولاذ والمقدرة على ثنيه بدون حدوث انكسارات أو تشوهات وتحديد مقاومة حديد التسليح، بعد الانتهاء من التجربة يُفحص القضيب المثني بالعين المجردة.

عند الانتهاء من التجربة، يُجرى عادة اختبار آخر يُطلق عليه اسم اختبار **إعادة ثني الحديد** حول أسطوانة قطرها يعادل **4 أضعاف قطر** القضيب وذلك للتأكد من سلامة الحديد ومدى تأثره بالثني على المدى الطويل. تُرفض جميع العينات التي تنهار أو تنكسر أو تلتوي أو يحدث بها أي تشوّه بعد إجراء الاختبارين

مثال:

احسب مقاومة عينة من الحديد بقطر 8 ملم للشد ، ثم عين مقدار الانفعال بها إذا كان طول العينة الابتدائي 22سم . وكانت نتائج اختبار الشد كالتالي:

الحمل طن	0	0.1	0.5	0.9	1.12	1.5	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8
الاستطالة ملم	0	0.04	0.2	1	1.5	2	4	8	10	14	17

مقاومة الحديد للشد = $\frac{\text{أقصى حمل} \times 1000}{\text{مساحة مقطع العينة}}$

$= \frac{1000 \times 2.8}{(0.4)^2 \times 3.14}$

$= \frac{2800}{.5024} = 5573.25 \text{ kg/cm}^2$

اجهاد الخضوع = $\frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة مقطع العينة}}$

$\frac{1.3 \text{x} 1000}{.5024}$

$\frac{1300}{.5024} = 2587 \text{ kg/cm}^2$

الانفعال = $\frac{\text{الاستطالة الكلية} \text{x} 100}{\text{الطول الأصلي للعينة}}$

$\frac{100 \times 1.7}{22} = 7.7\ \%$

أسئلة عامة عن المحاضرة