الباب الرابع

سلوك المواد الهندسية تحت تأثير
الشد الاستاتيكى

(STATIC TENSION)

مقدمة

أولا — سلوك المواد المعدنية تحت تأثير حمل الشد الاستاتيكى

أ — المعادن المطيلة
ب — المعادن القصفة
حـ — المعادن نصف المطيلة
د — حالات كسر المعادن
هـ — المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى

ثانيا — الخواص الميكانيكية للمعادن فى الشد

أ — حد التناسب
ب — حد المرونة
حـ — إجهاد الخضوع
د — إجهاد الضمان
هـ — المرونة
و — الصلابة
ز — الرجوعية
ح — المتانة
ط — التخلفية
ى — المقاومة
ك — المطولية
ل — الاستطالة
م — معادلة الاستطالة
ن — نسبة بواسون

ثالثا — الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى

رابعا — العوامل المؤثرة على خواص الشد للمعادن

ا — الانفعال الزائد
ب — التشغيل على البارد
ج — محتوى الكربون
د — الحرارة
هـ — سرعة التحميل
و — مدة التحميل
ز — المعاملة الحرارية
ح — طرق الإنتاج
ط — نسبة الإضافات للمعدن الأصلى فى السبائك
ى — شكل عينة الاختبار
ك — شكل مقطع عينة الاختبار
ل — المقاومة النوعية للشد

خامسا — اجهاد الشد والتشكل فى حدود المرونة

ا — الاجهاد والانفعال فى الشد
ب — الاستطالة فى الشد
ج — تعيين الإجهاد والانفعال على أساس معرفة التشكل

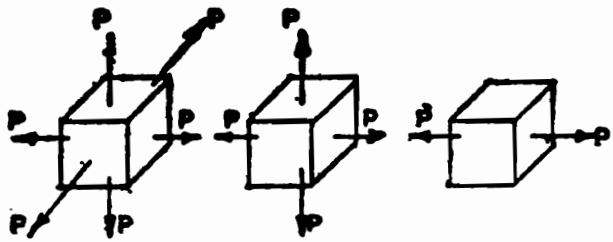
سادسا — المواصفات القياسية لاختبار الشد للمعادن ·

مقدمة :

اختبار الشد هو عملية تجرى على قطعة اختبار (Test piece) لتعين خواصها تحت تأثير حمل الشد المحورى فى اتجاه واحد ((Uniaxial) حيث ينطبق اتجاه الحمل على المحور الطولى للعينة المختبرة (شكل رقم ٤ — ١) . ويكون التحميل تدريجيا يبدأ من الصفر ويزداد حتى حدوث الكسر بالعينة .

ويعتبر اختبار الشد من أكثر الاختبارات شيوعا فى الاستخدام خاصة وأنه من أسهل الاختبارات الميكانيكية فى إجرائه ومن أبسطها فى تحديد النتائج . كما تستند معظم المواصفات القياسية إلى اختبار الشد كأساس لبيان خواص المواد المعدنية لما لنتائجه من قيمة ودلالة هامة فى تحديد هذه الخواص لاسيما وأن المواد المعدنية لها قدرة عالية على تحمل الشد مما يستلزم اختبارها فى الشد لبيان مدى تحملها فى نوع الحمل الذى ستقاومه — غالبا — أثناء التشغيل . لذلك فان اختبار الشد يجرى للمواد الحديدية وغير الحديدية المصبوبة (Cast) والمدلفنة (Rolled) والمشكلة بالحدادة (Forged) كما يجرى أيضاً لسبائك (Alloys) هذه المواد .

ويعتبر اختبار الشد من أهم الاختبارات التى يستخدمها المهندس للتحكم فى جودة المواد نظرا لوجود علاقة بين خواص الشد وبين الخواص الميكانيكيه الأخرى للمواد. لذلك فان نتائج اختبار الشد تعطى صورة واضحة عن مستوى الإنتاج المعدنى ومدى صلاحيته وخصوصا أن اختبار الشد يجرى على قطعة اختبار مشكلة من الإنتاج كما



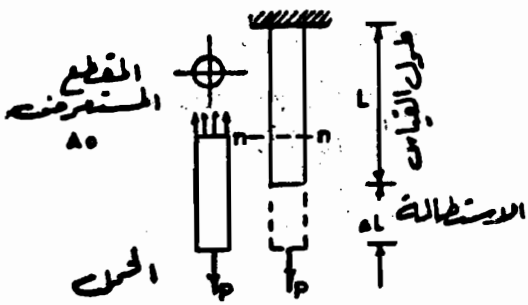
شكل رقم (٤ — ١) التحميل بالشد

يجرى أيضا على المنتج كما هو بأبعاده الأصلية أو على الأجزاء المصنعة (Fabricated) المكونة للمنتج أو على الأعضاء الإنشائية (Structural members) المختلفة ويلاحظ أنه نادراً ما يجرى اختبار الشد على المواد غير المعدنية نظراً لضعفها فى تحمل الشد ولأن عملها فى المنشآت هو لتحمل أحمال الضغط غالبا .

أولا ـ سلوك المواد المعدنية تحت تأثير حمل الشد الاستاتيكى :

١ — المعادن المطيلة : (Ductile metals)

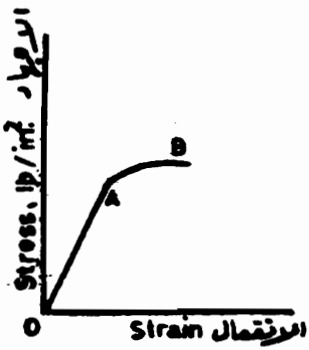
إذا تعرض قضيب من الصلب الطرى (معدن مطيل) إلى حمل شد يتزايد تدريجيا شكل رقم (٤ — ٢) فانه يحدث بالقضيب استطالة تتزايد مع التحميل . فاذا قيست بدقة قيمة الحمل المؤثر والاستطالة المقابلة له فاننا نجد أن الحمل والاستطالة متناسبان (proportional) وذلك من بداية التحميل حتى حمل معين عند النقطة (A) على منحنى الحمل والاستطالة المبين بالشكل رقم (٤ — ٣) وكان أول من سجل هذه الظاهرة هو روبرت هوك (Robert Hooke) سنة ١٦٧٨ .



التحميل بالشد
Tensile loading
شكل رقم ٤ — ٢

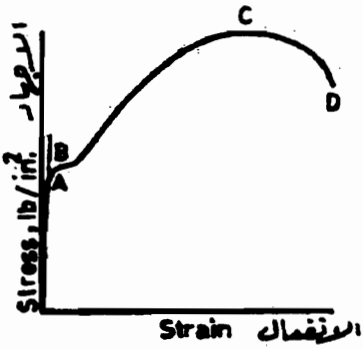
وإذا استمر فى التحميل بعد النقطة (A) فان الاستطالة تزداد بسرعة حتى نجد أنه عند الحمل المقابل للنقطة (B) تحدث استطالة كبيرة ذات قيمة ملحوظة وتستمر الاستطالة فى الزيادة مع ثبوت الحمل وتسمى هذه الحالة خضوع المعدن (Yielding of metal) كما تسمى النقطة (B) بنقطة الخضوع (Yield point) .

ويحدث الخضوع بالمعدن إذا اتسعت المسافة بين ذرات (Atoms) جزيئاته لدرجة تكسر ارتباط الذرات مما يسبب تغيرا فى الوضع بين الذرات بعضها البعض أى تغير



INITIAL STAGE OF TENSILE TEST OF MEDIUM-CARBON STEEL.

المرحلة الاولى لاختبار الشد للصلب متوسط الكربون

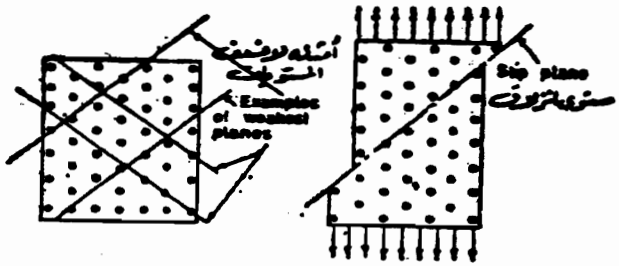


COMPLETE TENSILE-TEST DIAGRAM OF MEDIUM-CARBON STEEL.

بيانى كامل الاختبار الشد للصلب متوسط الكربون

شكل رقم (٤ — ٣)

فى خطوط تشابكها (Atomic lattice) وذلك يكون مصحوباً بانزلاق (Sliding) على مستويات (Planes) داخل الجزيئات وهى المستويات الضعيفة فى التماسك خلال الجزيئات . وتتوقف هذه المستويات على كيفية ترتيب الذرات بالشبكة الحيزية (Space Lattice) للجزيئات وهذا الترتيب يختلف من معدن إلى آخر . وينتج من انزلاق جزيئات المعدن على بعضها البعض استطالة كبيرة (شكل ٤ — ٤) . وتعتبر



EXAMPLE OF SLIP IN A PORTION OF A CRYSTAL SUBJECTED TO UNIAXIAL TENSION

مثال الأنزلاق جزء من بلورة معرضة لشد احادى المحور

شكل رقم (٤ — ٤)

حالة خضوع المعدن حالة عدم توازن فى داخله (State of instability) تسبب الانزلاق الذى يتوقف بعد فترة قصيرة من الزمن عندما نصل إلى حالة الاتزان (Equilibrium) نتيجة التصلد الانفعالى (Strain-hardening) . ويحدث الخضوع فى منطقة ما من العينة المحملة حتى نصل إلى حالة التصلد الانفعالى فيتوقف الخضوع فى هذه المنطقة ويبدأ فى منطقة أخرى من العينة وهكذا حتى يحدث للعينة كلها تصلد انفعالى بدرجة توقف الخضوع (أى الاستطالة المستمرة مع ثبوت الحمل) تماماً .

ويمكن تفسير ظاهرة التصلد الانفعالى بنظرية جفرى وارشر للانزلاق والتداخل (Slip Interferance theory of Geffries & Archer) . وتتلخص هذه النظرية فى أنه أثناء حركة الانزلاق للجزيئات فانها تتكسر إلى أجزاء خصوصاً قرب الحدود الأصلية للجزيئات حيث تتداخل خطوط هـــذه الأجزاء بعضها مع الآخر مسببة مقاومة متزايدة للانزلاق . وبالإضافة إلى ذلك فان مستويات الانزلاق ذات اتجاهات مختلفة لجزيئات المعدن المختلفة حيث يتداخل انزلاق جزىء مع انزلاق الجزىء الآخر ، وينتج عن ذلك ازدياد نقط الاحتكاك داخل المعدن كما يسبب تصلده وبالتالى توقف الانزلاق .

وإذا استمر فى التحميل بزيادة الحمل تحدث استطالة مصاحبة لكل حمل ولكنها تكون سريعة وبمعدل أكبر مما كان يحدث فى المنطقة (O-A) كما أن الاستطالة تصبح غير متناسبة مع الحمل ويكون شكل منحنى الحمل والإستطالة على هيئة منحنى كما هو مبين بالجزء (B-C شكل رقم (٤ — ٣) وذلك حتى نقطة (C) حيث نصل إلى أقصى حمل للعينة . وخلال التحميل فى المنطقة (B-C) فان المقطع المستعرض للعينة يتناقص تقريباً بنفس النسبة التى يتزايد بها طولياً ولكن بعد التحميل بالحمل الأقصى مباشرة أى بعد نقطة (C) مباشرة يحدث تركز فى التغير فى مقطع العينة على طول قصير منها ويتكون نتيجة لذلك رقبة (Neck of waiste) للعينة تكون عادة فى منطقة عدم التجانس والانتظام للمعدن أى منطقة ضعف المعدن وهذا النقص الكبير

فى مساحة المقطع المستعرض للعينة لا يمكنها من تحمل أحمال أكبر من القيمة المعرضة لها العينة عند (C) لذلك لكى تحتفظ العينة بالتوازن بين الحمل ومقاومتها لهذا الحمل فان الحمل يقل بعد النقطة (D) ويكون مصحوبا بزيادة كبيرة فى الاستطالة ويستمر التحميل فى التناقص والعينة فى الاستطالة حتى تنكسر العينة عند النقطة (D) .

ويكون الشكل العام لمنحنى الحمل والاستطالة للصلب الطرى كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٣) ومن هذا المنحنى يمكن تلخيص ما يحدث لعينة الصلب الطرى تحت تأثير الشد حتى الكسر فيما يلى :

من النقطة (O) إلى النقطة (A) : يكون الحمل متناسبا مع الاستطالة .

من النقطة (A) إلى النقطة (B) . تزداد الاستطالة بسرعة .

النقطة (B) : نقطة الاستطالة الكبيرة المفاجئة (نقطة الخضوع) مع ثبوت الحمل.

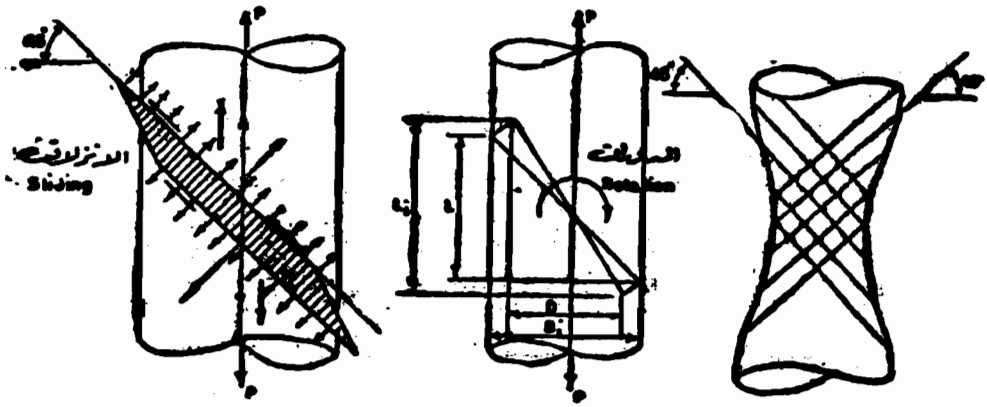
من النقطة (B) إلى النقطة (C) : الاستمرار فى زيادة الاستطالة مع زيادة الحمل.

النقطة (C) : الحمل الأقصى (حيث يحدث بعدها مباشرة الرقبة للعينة) .

من النقطة (C) إلى النقطة (D) : يقل الحمل تدريجياً مع زيادة فى نقص مقطع الرقبة وزيادة أيضاً فى الاستطالة .

النقطة (D) : حمل الكسر .

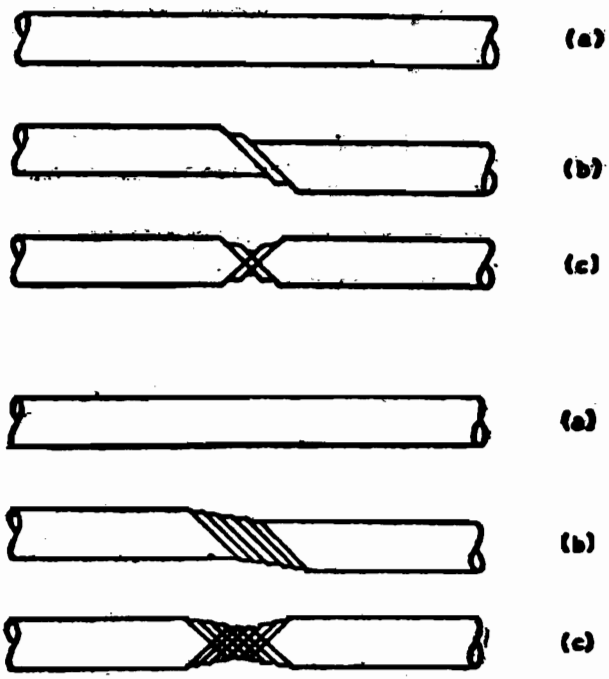
ويمكن تفسير ظاهرة حدوث الرقبة بانزلاق جزيئات المعدن على المستويات المعرضة إلى أكبر قوة للقص (Shear) أى على المستويات التى تعمل ٤٥ درجة مع اتجاه حمل الشد. ومثل هذا الانزلاق لأى شريحة ذات مستويات ٤٥ درجة مع الرأسى تسبب وجود تحميل شد غير محورى (Eccentric) كما فى شكل رقم (٤ — ٥) ولكى يحدث الاتزان للعينة بعد ذلك لابد أن يصاحب هذا الحمل غير المحورى دوران لمستويات ٤٥ درجة حتى يحتفظ التحميل بمحوريته كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٥) ويتسبب من هذا الدوران (Rotation) نقص فى مساحة المقطع المستعرض للعينة المختبرة (أى رقبة) وكذلك زيادة كبيرة مفاجئة فى الاستطالة للعينة أشكال رقم (٤ - ٥، ٤ - ٦، ٤ - ٧)



حدوث الرقبة لعينة مستديرة المقطع

Necking of round test piece

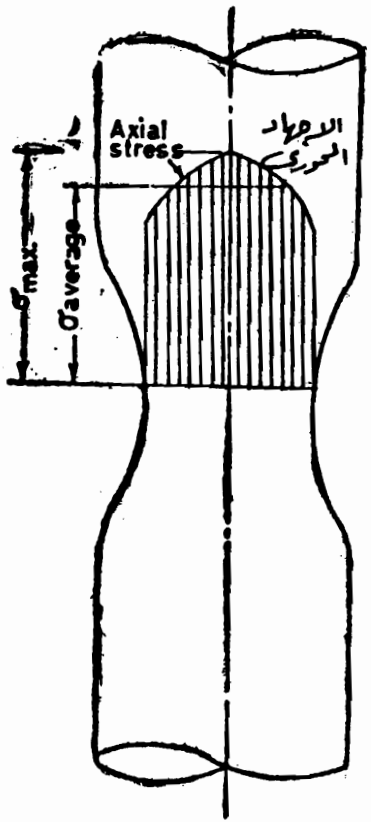
تابع شكل رقم (٤ — ٥)



Path of fracture in a mild steel test bar in tension

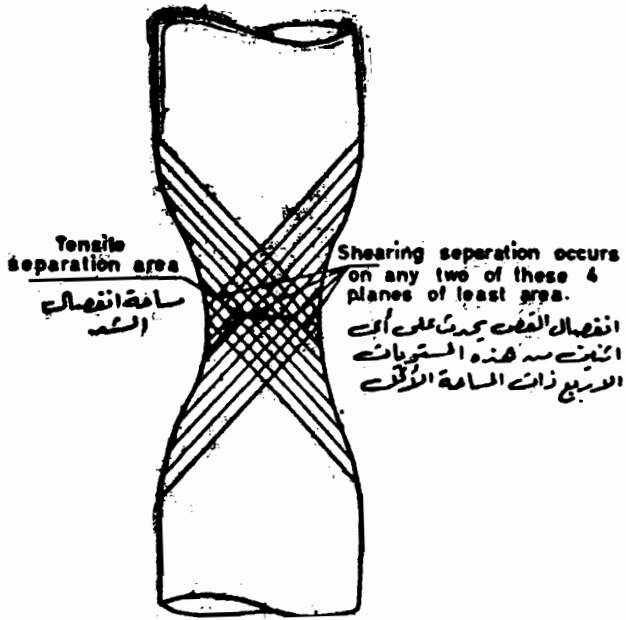
مسار الكسر في قضيب اختبار من الصلب الطري في اختبار الشد

شكل رقم (٤ — ٦)



AXIAL STRESS DISTRIBUTION IN NECK OF A TENSILE BAR

شكل رقم (٤ — ٨) توزيع الإجهاد المحورى فى رقبة قضيب شد



PATH OF FRACTURE IN A MILD STEEL TEST-BAR

مسار الكسر فى قضيب اختبار من الصلب الطرى

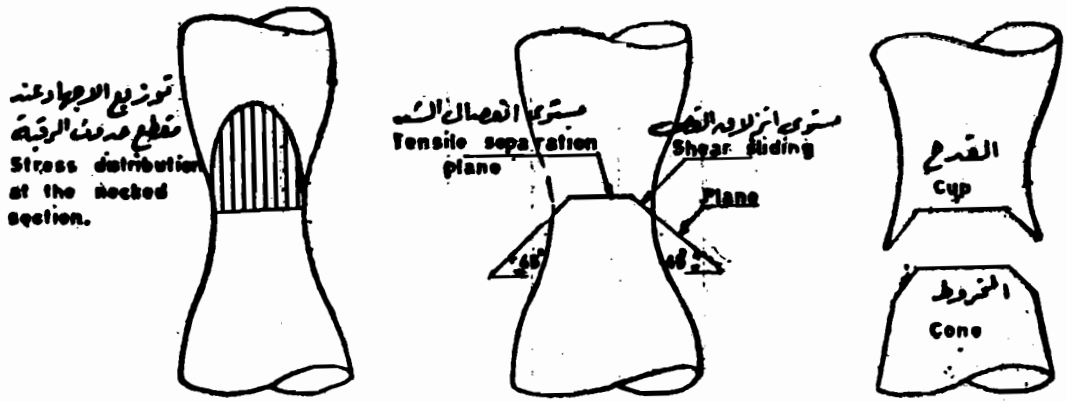
شكل رقم (٤ — ٧)

ويحدث انهيار (Failure) عينة الصلب الطرى تحت تأثير حمل الشد بالكسر (Fracture) وذلك بالخطوتين التاليتين :

١ ــ يحدث انفصال (Separation) فى منطقة منتصف المقطع المستعرض الذى حدثت به الرقبة ويكون ذلك الانفصال على مستوى عمودى على اتجاه حمل الشد ويحدث عندما تتعدى قيمة إجهاد الشد الناتجة من التحميل ــ فى تلك المنطقة ــ قيمة مقاومة تماسك المعدن المختبر . ويلاحظ أن حدوث الرقبة بالعينة يتسبب فى جعل توزيع الإجهاد غير منتظم على المقطع المستعرض عند الرقبة وذلك بإجهاد كبير فى منطقة وسط المقطع وتقل قيمة الاجهاد تدريجيا فى اتجاه حرف المقطع وتكون قيمته عند الحروف أقل منها كثيراً عن وسط المقطع كما يتبين من شكل رقم (٤ ــ ٨) لذلك يكون إجهاد الشد فى منطقة الوسط أكبر من مقاومة تماسك المعدن الأمر الذى يسبب الانهيار بالكسر بالانفصال الناتج من الشد .

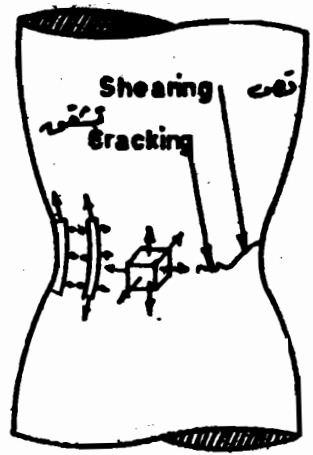
كما يلاحظ أن حدوث الرقبة بالعينة يتسبب فى جعل حالة الاجهادات بالمقطع المستعرض عند الرقبة عبارة عن إجهادات فى الاتجاهات الثلاثة (Triaxial) شكل رقم (٤ ــ ٩) وليست كما كانت قبل حدوث الرقبة فى اتجاه محورى فقط . وفى هذه الحالة يكون الاجهاد العمودى على المقطع المستعرض ــ أى الاجهاد فى اتجاه التحميل المحورى ــ عند منطقة المنتصف أكبر بكثير من قيمة إجهاد القص الأقصى فى هذه المنطقة لذلك يكون سبب الانفصال بالكسر فى منطقة وسط المقطع المستعرض هو إجهاد الشد العمودى على المقطع وليس إجهاد القص . ويصاحب ذلك الانفصال فى الوسط استمرار إنزلاق جزيئات معدن العينة عند منطقة حروف المقطع .

٢ ــ يحدث فى الخطوة الثانية أن استمرار إنزلاق جزيئات المعدن فى منطقة الحروف للمقطع المستعرض عند الرقبة (بعد حدوث الانفصال فى منطقة الوسط) يؤدى إلى الانهيار بالكسر ويكون ذلك على مستوى يعمل ٤٥ درجة مع المستوى الأفقى أى على المستوى الذى يؤثر عليه إجهاد القص الأقصى ويكون الانفصال على هذا المستوى عند حروف المقطع نتيجة لإجهاد القص ويسمى انفصال القص ويسمى هذا النوع



انهيار المواد المطيلة في الشد (القدح والمخروط)

Failure of ductile materials (cup & cone failure)



FRACTURE OF A DUCTILE MATERIAL.

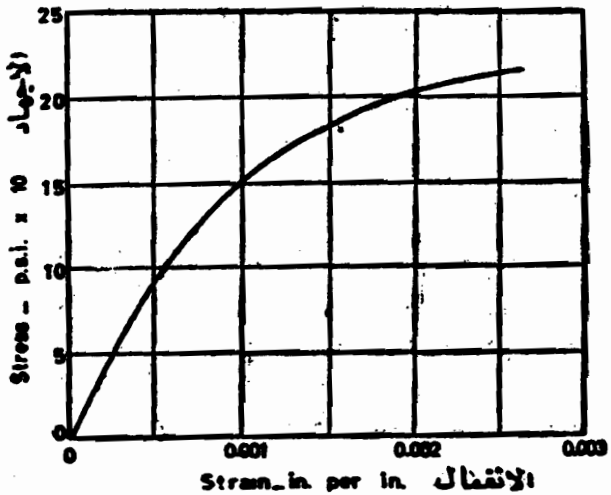
كسر المادة المطيله

شكل رقم (٤ — ٩)

من الانهيار بالكسر للمعادن المطيلة (الحادث على هيئة مستوى أفقى فى الوسط ومستويات مائلة ٤٥° عند الحروف) بكسر القدح والمخروط (Cup and cone failure) كما فى الشكل رقم (٤ — ٩) ويعتبر شكل هذا الكسر فى اختبار الشد من مميزات المعادن المطيلة . ويلاحظ أنه نظراً لأن الانفصال النهائى للقطع المستعرض عند الرقبة يتسبب فيه الانزلاق على مستويات ٤٥° أى مستويات قوى القص فيمكن اعتبار أن سبب كسر المواد المطيلة تحت تأثير قوة الشد هو تأثير القص ، أى أن المعادن المطيلة تعتبر ضعيفة فى تحمل القص عنها فى تحمل الشد .

ب — المعادن القصفة : (Brittle Metals)

إذا تعرض قضيب من الحديد الزهر إلى حمل شد يزداد تدريجياً فإن منحنى الحمل والاستطالة يكون كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ١٠) حيث يلاحظ به عدم تواجد تناسب (Proportionality) بين الحمل والاستطالة كما لا توجد أيضاً منطقة خضوع كما أن الاستطالة صغيرة جداً إذا ما قورنت باستطالة الصلب الطرى . كما يلاحظ عدم

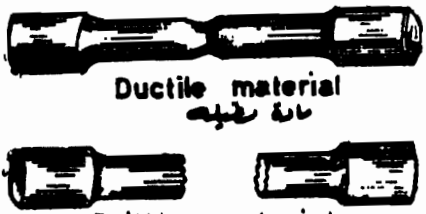


AVERAGE TENSILE STRESS_STRAIN CURVE FOR GRAY CAST IRON

منحنى متوسط لجهاد وانفعال الشد لحديد الزهر الرمادى

شكل رقم (٤ — ١٠)

حدوث رقبة بالعينة المختبرة وأن الكسر يحدث عند وصول التحميل إلى الحمل الأقصى ويكون شكل الكسر على هيئة مستوى عمودى على اتجاه قوة الشد وذلك يعنى أن السبب فى الكسر هو انفصال الشد (شكل رقم ٤ - ١١) أى أن المواد القصفة تكسر فى الشد نتيجة لإجهادات الشد وبذلك تعتبر هذه المواد ضعيفة فى تحمل إجهادات الشد عنها فى تحمل إجهادات القص .



FAILURE OF MATERIALS IN TENSION
الكسر للمواد فى الشد

شكل رقم (٤ - ١١)

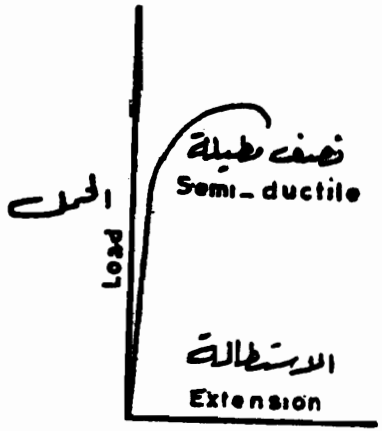
جـ — المعادن نصف المطيلة (Semi Ductile Metals)

إذا تعرض قضيب من الصلب عالى المقاومة (High tensile steel)- وهو معدن نصف مطيل — إلى حمل شد يزداد تدريجيا فان منحنى الحمل والاستطالة يكون كما هو مبين بشكل (٤ — ١٢) وهذا المنحنى له نفس الشكل العام لمنحنى الحمل والاستطالة للصلب الطرى تحت تأثير الشد ولكن يلاحظ عدم وجود منطقة خضوع كما أن الحمل أكثر والاستطالة أقل من مثيلاتها من الصلب الطرى . ويكون الكسر على هيئة قدح ومخروط ولكن برقبه أقل وضوحا منها فى الصلب الطرى .

وللمقارنة بين المعادن المطيلة ونصف المطيلة والقصفة تحت تأثير حمل الشد حتى الكسر فان منحنى الحمل والاستطالة المرسوم بمقياس رسم واحد لها جميعا يوضح تلك المقارنة كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ١٣) .

— حالات كسر المعادن (Modes of Failure) .

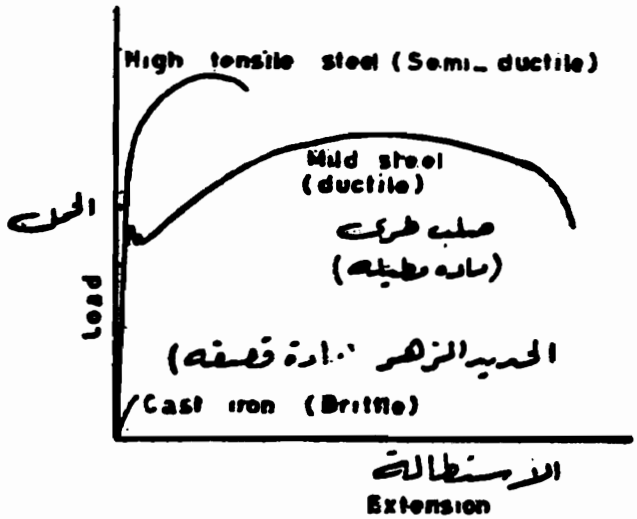
يكون كسر عينة الشد نتيجة الانفصال أو الانزلاق أو كليهما وذلك عند المقطع المستعرض الذى يحتوى على الرقبة أى أن الكسر بقوة الشد ينتج من إجهادات الشد التى تحدث الانفصال ومن إجهادات القص التى تحدث الانزلاق كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ١٤) .



Load_extension dragram
for semi_ductile metal

المنحنى البيانى للحمل والاستطالة للمعادن نصف المطيلة

شكل رقم (٤ — ١٢)



المنحنى البيانى للحمل والاستطالة للمعادن المطيله ونصف المطيله والقصفه

شكل رقم (٤ — ١٣)

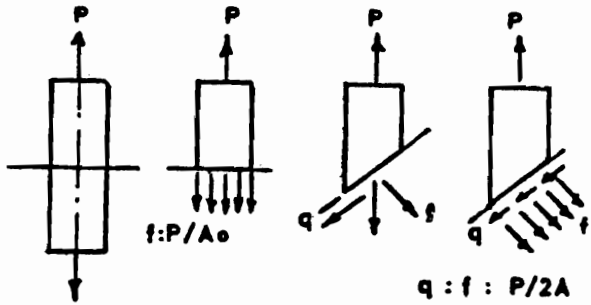
فاذا كانت مقاومة المعدن للانزلاق كبيرة فانه ينكسر بواسطة الانفصال عندما يزيد إجهاد الشد عن مقاومة تماسك جزئيات المعدن ويكون ذلك غالبا مصحوبا باستطالة صغيرة جداً. ويعتبر المعدن فى هذه الحالة قصيفاً . ويكون مستوى الكسر عموديا على اتجاه حمل الشد المحورى المؤثر على العينة المختبرة كما يتضح من الشكلين رقم (٤ — ١٤) ورقم (٤ — ١٥) .

وإذا كانت مقاومة المعدن تتوقف على تحمله للانزلاق أى مقاومة المعدن للانفصال كبيرة فانه ينكسر بالانزلاق بفعل إجهادات القص ويكون مصحوبا باستطالة كبيرة ونقص ظاهر فى عرض المقطع المستعرض (أى رقبة) قبل حدوث الكسر. ويعتبر المعدن فى هذه الحالة مطيلا ويكون مستوى الكسر على زاوية ٤٥° مع المحور الطولى للعينة كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ١٥) ويكون ذلك مصحوباً فى معظم الحالات بانفصال على باقى المقطع ويكون شكل الكسر على هيئة قدح ومخروط . ويراعى أن معرفة سبب الكسر إن كان بالانفصال أو بالانزلاق تمكن من تفهم طبيعة وأسباب الانهيار الكسر الذى يحدث للمعادن أثناء التشغيل .

ويمكن تقسيم أنواع الكسور الناتجة للمعادن فى اختبار الشد وذلك بالنسبة للشكل (Form) وحالة السطح (Texture) واللون ، فأنواع الكسور بالنسبة للشكل قد تكون متماثلة (Symmetrical) مثل كسر القدح والمخروط أو الكسر المسطح (Flat) أو غير المنتظم (Irregular) أو المتقطع (Jagged) . وقد تكون الكسور غير متماثلة مثل كسر القدح والمخروط الجزئى أو الكسر المسطح أو غير المنتظم أو المتقطع وأما الصفات المختلفة التى تصف حالة السطح فهى الملمس الناعم (Silky) والجزيئات الصغيرة (Fine grain) والجزيئات الكبيرة (Coarse grain) والليفى (Fibrous) والمتبلور (Crystalline) والزجاجى (Glassy) أما صفات لون الكسر فهى اللون اللامع (Bright) أو الداكن (Dark) .

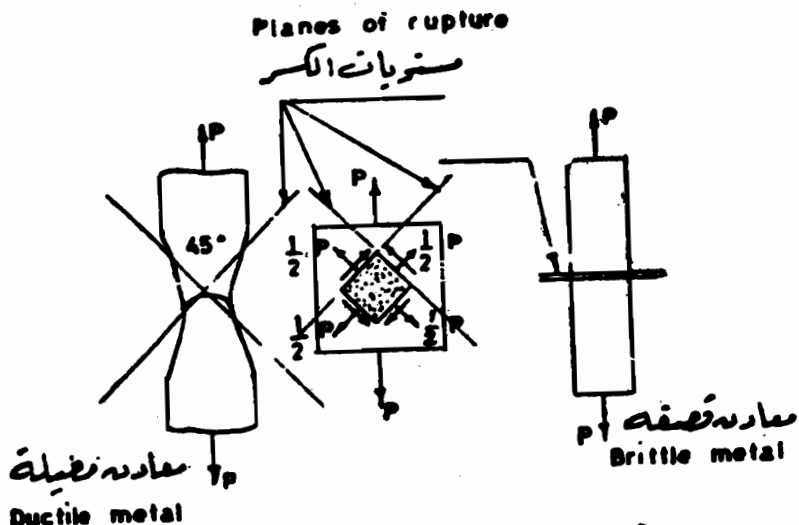
ويمكن التعرف بدقة على نوع معظم المعادن فى حالة كسرها فى اختبار الشد فمثلا الصلب الطرى فى اختبار الشد يكسر على هيئة قدح ومخروط حيث يكون السطح خشنا

فى منتصف المقطع المستعرض . ويكون له ملمس ناعم عند الحروف. أما الحديد المطاوع فله مكسر ليفى متقطع بينما كسر الحديد الزهر يكون مسطحاً وحبيباً . ويلاحظ أنه يمكن من فحص الكسر التوصل إلى معرفة ضعف العينات المختبرة من وجهة مقاومة الشد والمطولية كما أن التحميل غير المحورى (Non-axial) يسبب كسراً غير متماثل يحدث من عدم تجانس المادة (Non-homogenuity) أو تواجد بعض العيوب بها



شكل كسر عينات الشد

شكل رقم (٤ — ١٤)

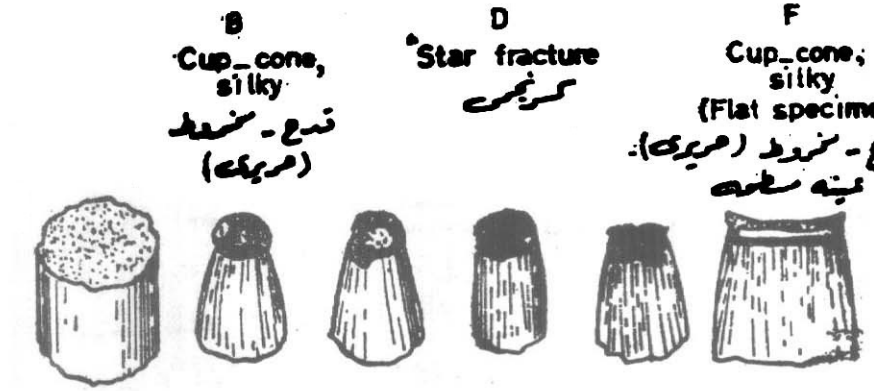


كسر عينات الشد

شكل رقم (٤ — ١٥)

مثل الانفصال أو الفجوات أو الشوائب من مواد غريبة مثل الخبث .

وفى المعادن التى تعرضت إلى التشغيل على البارد (Cold worked) أو التى بها إجهادات داخلية متخلفة (Internal residual stresses) يلاحظ أن الكسر فيها يظهر غالباً بسطحه علامات خطية أو حروف تتلاقى فى نقطة عند منتصف المقطع المستعرض وتتجه قطريا إلى حروف المقطع ويسمى مثل هذا الكسر بالكسر النجمى (Star) ويبين الشكل رقم (٤ — ١٦) أنواعا مختلفة من الكسور الناتجة فى اختبار الشد للمعادن المختلفة .



TYPICAL TENSILE FRACTURES OF METALS

أشكال الكسر فى اختبار الشد للمعادن

شكل رقم (٤ — ١٦)

٥ — المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى :

(Ordinary Stress-Strain Diagram)

يعين هذا المنحنى على أساس أن المحور الرأسى يمثل الإجهاد العادى والمحور الأفقى يمثل الانفعال العادى وتوقيع نقط المنحنى من بداية تحميل العينة حتى الكسر وذلك باعتبار أن الاجهاد العادى يساوى حمل الشد المحورى المؤثر على العينة المختبرة مقسوما

على مساحة المقطع المستعرض الأصلى أى : $f = P/A_o$

حيث f = الاجهاد العادى

P = حمل الشد المحورى المؤثر على العينة فى أية خطوة من التحميل .

A_o = مساحة المقطع المستعرض الأصلى للعينة المختبرة .

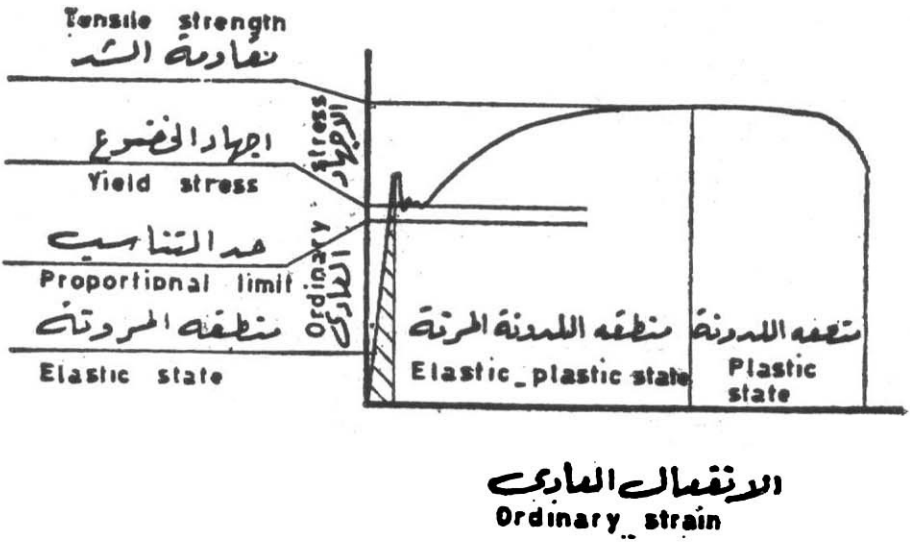
أما الانفعال العادى فيساوى الاستطالة مقسومة على طول القياس (Gage length) الذى هو الطول الابتدائى الذى يتخذ أساساً لقياس الاستطالة أى $e = \Delta L / L_o$

حيث e = الانفعال العادى .

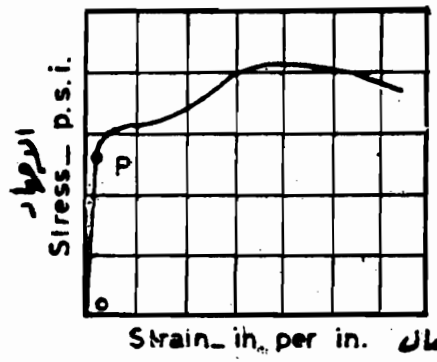
ΔL = استطالة طول القياس عند أى خطوة من التحميل .

L_o = طول القياس .

ونظراً لأن مساحة المقطع المستعرض الأصلى (A_o) عدد ثابت وكذلك طول القياس (L_o) فان المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى يكون له شكل يماثل منحنى الحمل والاستطالة — السابق الإشارة إليه — كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ١٧) ، ويستخدم المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفصال العادى فى تعيين الخواص الميكانيكية للمعادن تحت تأثير حمل الشد ، ويبين الشكلان رقم (٤ — ١٨) ، رقم (٤ — ١٩) المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى لبعض المعادن .

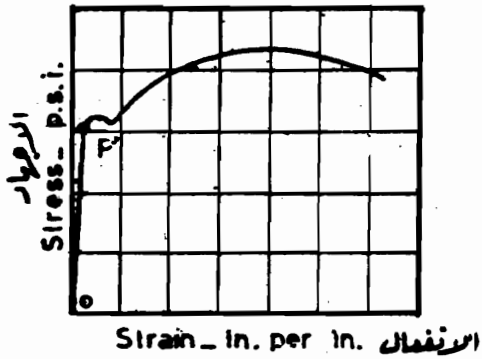


شكل رقم (٤ — ١٧) المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى



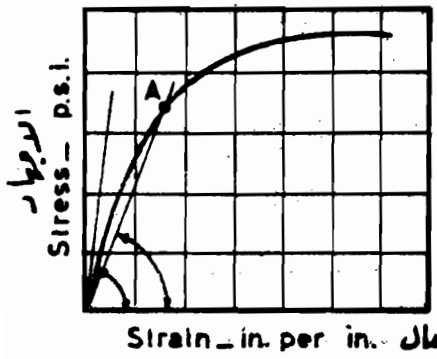
(a) Ductile materials_ type A.

مواد مطيلة - نوع أ



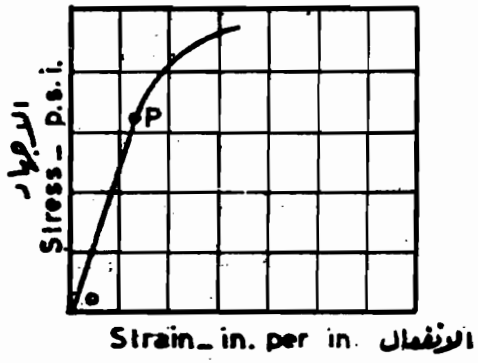
(b) Ductile materials_ type B.

مواد مطيلة - نوع ب



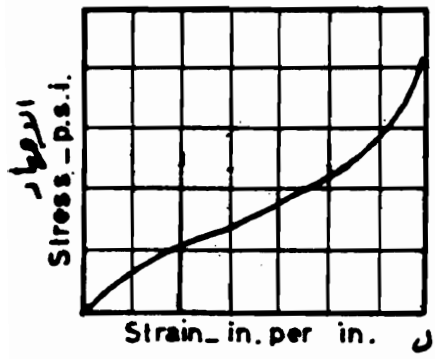
(c) Brittle materials_ type A

مواد قصفة - نوع أ



(d) Brittle materials_ type B.

مواد قصفة - نوع ب



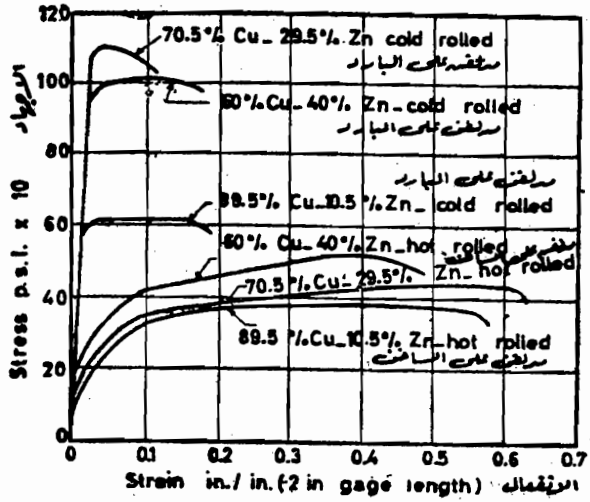
(e) Nonmetallic ductile material soft rubber

مادة مطيلة غير معدنية - مطاط طرى

STRESS_ STRAIN DIAGRAMS IN TENSION

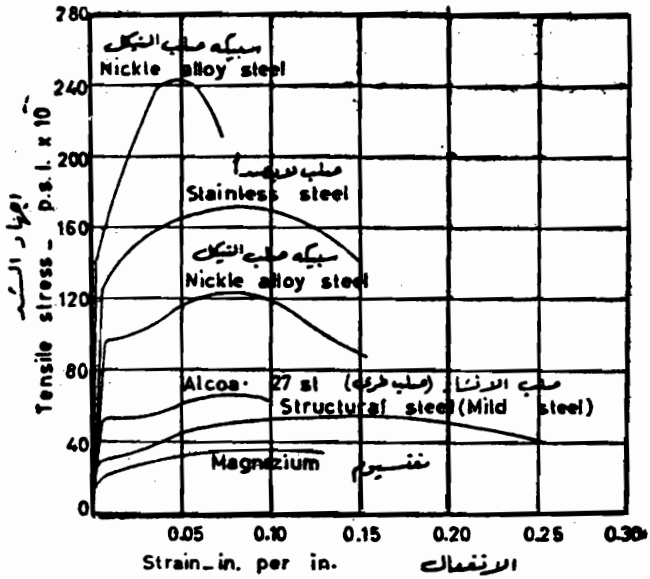
بيانيات الاجهاد والانفعال فى الشد

شكل رقم (٤ — ١٨)



TYPICAL STRESS - STRAIN DIAGRAMS IN TENSION FOR COPPER - ZINC ALLOYS.

بيانى الاجهاد والانفعال لسبائك النحاس والزنك تحت الشد



STRESS - STRAIN CURVES IN TENSION

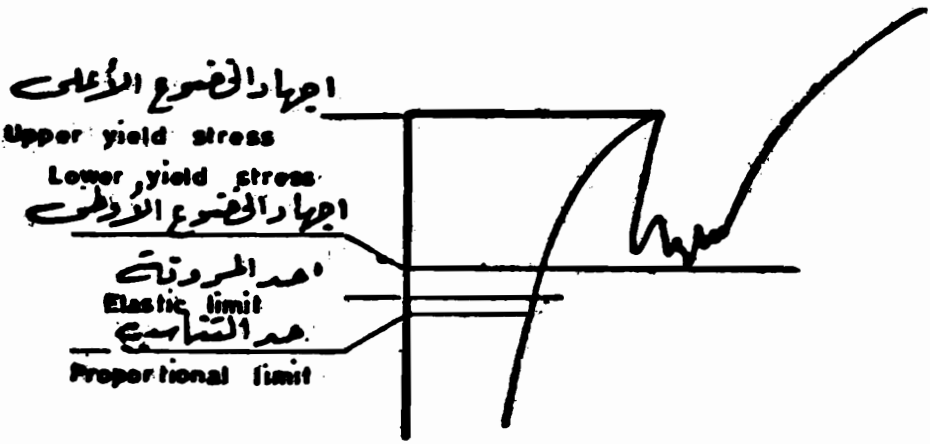
منحنيات الاجهاد والانفعال فى الشد

شكل رقم (٤ — ١٩)

ثانيا ـ الخواص الميكانيكية للمعادن فى الشد

١ — حد التناسب (The Proportional Limit)

هو أكبر إجهاد يكون عنده الاجهاد والانفعال متناسبين أو الاجهاد الذى يتوقف عنده التناسب بين الاجهاد والانفعال شكل رقم (٤ - ٢٠) وتتوقف دقة تحديده



منطقة الخضوع على المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى للصلب الطرى

شكل رقم (٤ — ٢٠)

على مدى حساسية (Sensitivity) أجهزة القياس فاذا كانت تلك الأجهزة على درجة عالية من الحساسية فقد تبين أن الحديد الزهر له حد تناسب بسيط . ويعين حد التناسب عمليا برسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة لوحظ لتحديد الاجهاد الذى يتوقف عنده الخط المستقيم من هذا المنحنى . ونظراً لأن تعيين حد التناسب بتلك الطريقة قد لا يكون على درجة دقيقة من الصحة وربما تختلف باختلاف كيفية وطريقة توقيع الرسم البيانى للحمل والاستطالة لذلك فان حد التناسب لا يمكن اعتباره حداً لمرونة المواد ولا يتخذ أساساً للتصميم فى منطقة المرونة (Elastic state) . وتعتبر المواد خاضعة لقانون

هوك (Hooke's law) إذا تناسب الاجهاد والانفعال عند التحميل بأحمال حدها الأقصى هو حد التناسب .

ب — حد المرونة (The Elastic Limit)

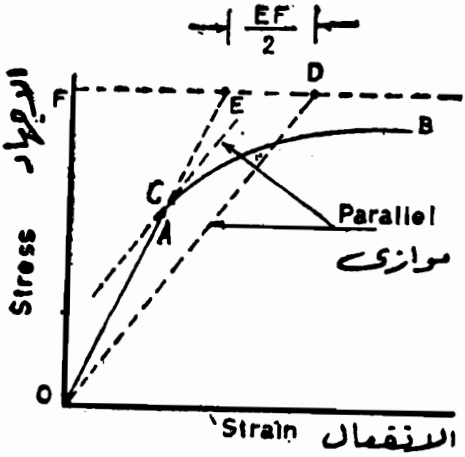
هو أكبر إجهاد تتحمله المادة بشرط عدم بقاء أى استطالة دائمة بها بعد زوال هذا الإجهاد وطبقا لهذا التعريف فان المادة قد يكون لها حد المرونة ولا يشترط ضروريا أنها تخضع إلى قانون هوك . وقد افترض أنه يمكن الوصول إلى حد المرونة إذا كانت الاستطالة الدائمة بعد إزالة التحميل صغيرة جدا وتساوى ٠,٠١ ٪ من طول القياس لتكون الحد بين رجوع المادة إلى أبعادها الأولى بعد زوال تأثير الحمل وبين عدم رجوعها تماما . وهناك رأى آخر أن يكون حد المرونة عند الحصول على استطالة دائمة قيمتها ٠,٠٠٣ ٪ من طول القياس .

ويلاحظ أن تعيين حد المرونة يكون بتحميل العينة ثم إزالة الحمل وقياس التغير فى الطول الناتج بعد ذلك وتكرار هذه العملية حتى نصل إلى الحمل الذى يحدث بعد إزالته مباشرة استطالة دائمة بقيمة بسيطة — يمكن إهمالها — كالمبينة سابقاً فيكون هذا الحمل هو الحمل الذى يقسم على مساحة المقطع المستعرض الأصلى للعينة للحصول على حد المرونة . وحيث أن هذه الطريقة لتعيين حد المرونة تعتمد على المحاولات كما أنها تستغرق وقتا لذلك فان حد المرونة نادرا ما يستخدم عمليا ، وفى أعمال التصميمات لا يصلح لعدم دقة قيمته أيضاً كحد يبين الاجهاد الأقصى لتحمل المعدن فى منطقة المرونة .

ويلاحظ فى بعض المعادن مثل الصلب منخفض ومتوسط الكربون أن حد المرونة ينطبق تماما على حد التناسب وهذه ليست قاعدة عامة حيث أن حد المرونة له قيمة أعلى قليلا من حد التناسب كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٠) . وعلى ذلك يعتبر حد التناسب أحيانا هو حد المرونة مع إهمال الفرق الصغير بينهما وذلك من الوجهة العملية .

ويعين حد التناسب المعتبر حداً للمرونة بطريقة « جونسون » كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢١) حيث يعتبر حد التناسب هو الإجهاد الذى يقابل نقطة على المنحنى البيانى للحمل والاستطالة يكون عندها معدل الاستطالة ٥٠٪ أكبر من معدل

الاستطالة عنـــد البداية فى التحميل . يمثل المنحنى (O A B) منحنى بيانى للاجهاد والانفعال فى اختبار الشد عند المرحلة الأولية من التحميل ويمثل الخط (O A) جزء المنحنى عند بداية التحميل ولتعيين حد التناسب يرسم الخط (O D) لميل ٥٠٪ أكبر من ميل الخط (O E) أى أن FD = 1.5 FE فاذا رسم تماس للمنحنى البيانى للاجهاد والانفعال يوازى الخط (O D) فان نقطة التماس تكون هى النقطة (C) ، فيكون الاجهاد عند النقطة (C) هو حد التناسب بطريقة جونسون .



حد التناسب الظاهرى بطريقة جونسون"

شكل رقم (٤ — ٢١)

ج — اجهاد الخضوع (The Yield Stress)

هو الاجهاد الذى يحدث عنده زيادة ملحوظة فى الاستطالة بدون زيادة فى الحمل أى أن الانفعال يزداد بدون زيادة الاجهاد . فاذا رسم المنحنى البيـــانى التلقائى (Autographic) للحمل والاستطالة فاننا نحصل على النقطة التى تمثل بداية الخضوع والاجهاد عندها يسمى إجهاد الخضوع الأعلى وهو أعلى إجهاد فى منطقة الخضوع كما يتبين من الشكل (٤ — ٢٠) كذلك نحصل على النقطة التى يكون الإجهاد عندها هو أقل إجهاد فى منطقة الخضوع ويسمى إجهاد الخضوع الأوطى ويحدث عندها تغير ملحوظ (Visible cnange) فى الاستطالة، ويلاحظ أن إجهاد الخضوع الأعلى غير ثابت القيمة للمعدن الواحد وإنما يتغير بتغير ظروف الاختبار مثل سرعة التحميل أما إجهاد الخضوع الأوطى فهو قيمة ثابتة للمعدن الواحـــد لذلك يعتبر خاصية

حقيقية من خصائص المعدن تصف حالته ، ويطلق إجهاد الخضوع (Yield stress) على قيمة إجهاد الخضوع الأوطى لأنه يعبر ويصف مدى خاصية الخضوع للمعدن .

ويعين إجهاد الخضوع (إجهاد الخضوع الأوطى) معملياً بسهولة ودقة بالطرق الآتية:

١ — إذا كانت مكنة الاختبار من نوع الترس واللولب ذات الذراع والثقل لقياس الحمل فان حمل الخضوع هو المصاحب لسقوط ذراع المكنة (Drop of lever) وعدم إمكان إجراء الاتزان مع حمل الشد المؤثر به على العينة المختبرة وذلك ناتج من الاستطالة المستمرة ذات القيمة التي تتغير إلى قيمة ملحوظة عند الخضوع مع ثبوت الحمل .

٢ — إذا كانت مكنة الاختبار من نوع الترس واللولب أو من النوع الهيدروليكي ذات القرص المدرج والمؤشر مع البندول لقياس الحمل فان حمل الخضوع هو المصاحب لثبوت المؤشر مع اهتزازه قليلا وذلك ناتج من ثبوت الحمل عند الخضوع وتغيره قليلا بالزيادة والنقص نظراً لحالة عدم الاتزان الحادثة عند الخضوع حيث أن المؤشر يعبر تماماً عن قيمة الحمل المؤثرة على العينة ويكون إجهاد الخضوع هو أقل قراءة يسجلها المؤشر حالة اهتزازه قليلا عند ثبوته .

٣ — إذا تابعنا المسافة بين نهايتي طول القياس على العينة باستخدام برجل تقسيم (Divider) فيلاحظ ثبات ذلك الطول عند التحميل الأولى وفجأة يلاحظ تغير ملحوظ واضح فى طول القياس فيكون ذلك دلالة على حدوث الخضوع وأن الحمل المؤثر على العينة هو حمل الخضوع الأوطى .

٤ — يلاحظ عند حدوث الخضوع — وخصوصاً للمعادن الحديدية — أن القشرة السطحية للمعدن التى كانت ملاصقة له تبدأ فى التقشر غالباً على خطوط تعمل حوالى ٤٥° مع اتجاه حمل الشد .

٥ — يلاحظ أيضاً عند حدوث الخضوع أنه إذا كانت العينة المختبرة مشكلة بالمكنات وسطحها مصقول لامع فانه تظهر خطوط متوازية على سطحها تعمل ٤٥° مع اتجاه حمل الشد وتسمى خطوط ليودرز (Luders lines) ويمكن بيانها وملاحظتها بسهولة ويستخدم وجودها لبيان إجهاد الخضوع فى حالة عدم وجود أجهزة حساسة لهذا الغرض

ويلاحظ فى بعض المعادن ــ وخاصة الصلب الكربونى منخفض أو متوسط الكربون أن قيمة إجهاد الخضوع الأوطى تختلف وتقل عن قيمة إجهاد الخضوع الأعلى بحد أقصى ١٢ ٪ (طبقاً لتجارب دالبى Dalby) أو ٣٧ ٪ (طبقاً لتجارب روبرتسون Robertson) أو ٣٠ ٪ (طبقاً لتجارب باخ Bach) وذلك تبعاً لمعدل الانفعال الحادث من التحميل وتبعاً لدرجة الشوائب الموجودة بالمعدن أو الصلب المختبر. ويراعى أن إجهاد الخضوع (إجهاد الخضوع الأوطى) يستخدم ليعبر عن مقاومة المعدن للشد فى حد المرونة ويستخدم بهذه الصفة لتحديد إجهاد التشغيل (الإجهاد التصميمى) للمعادن المطيلة تحت تأثير أحمال الشد الاستاتيكية وذلك بقسمة قيمة إجهاد الخضوع على عامل الأمان (Factor of Safety) الذى غالباً يساوى ٢ فى حالة الصلب الكربونى الإنشائى وأن استخدام إجهاد الخضوع ليعبر عن مقاومة المعدن فى حد المرونة (وبالتالى استخدامه فى التصميم للمواد المطيلة) يرجع إلى أن إجهاد الخضوع يقرب كثيراً فى قيمته من حد المرونة بالإضافة إلى ثبات قيمته للمعدن الواحد وإمكان تحديد قيمته معمليا بدقة وسهولة .

ويلاحظ فى تصميم المنشآت فى حد المرونة للمواد المطيلة كالصلب الإنشائى أن إجهاد التشغيل يمكن زيادة قيمته ــ وبالتبعية نقص فى القطاعات المصممة أى الحصول على قطاعات خفيفة تؤدى إلى وفــر فى التكاليف ــ إذا كان إجهاد الخضوع له قيمة عالية وأحياناً تقرب قيمتها إلى ٧٠ ٪ من المقاومة القصوى لمقاومة المعدن للشد .

(د) اجهاد الضمان : (Proof Stress)

توجد بعض المعادن المطيلة والتى لها خاصية المرونة ولكن ليس لها منطقة خضوع ويكون تحول المنحنى البيانى للحمل والاستطالة من منطقة المرونة إلى منطقة ما فوق المرونة (Inelastic) تحولا تدريجياً كما يتبين من الشكل رقم (٤ ــ ٢٢) أى أنه لا يوجد لمثل هذه المعادن إجهاد خضوع ونظراً لأن بها خاصية المرونة لذلك يلزم الحصول على إجهاد ليعبر من مقاومة المعدن فى حد المرونة ويسمى هذا الإجهاد باجهاد الضمان . (أى أن إجهاد الضمان هو المقاومة فى حد المرونة للمعادن التى لها

خاصية المرونة وليس لها منطقة خضوع .

ويعرف إجهاد الضمان بأنه الإجهاد الذى يحدث فى قطعة الاختبار أثناء تحميلها استطالة لا تناسبية (Non - Proportional Extension) مساوية لنسبة مئوية محددة من طول القياس .

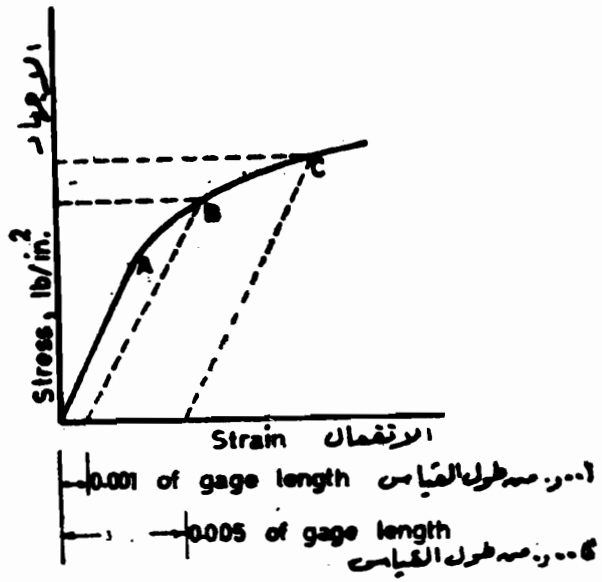


DIAGRAM SHOWING PROOF-STRESS DETERMINATION

بيانى يوضح تحديد اجهاد الضمان

شكل رقم (٤ — ٢٢)

ويراعى لذلك عند ذكر إجهاد الضمان ضرورة تحديد قيمته ببيان تلك النسبة المئوية من طول القياس الممثلة للاستطالة اللاتناسبية فيقال ٠,١٠ ٪ إجهاد ضمان أى إجهاد الضمان حيث قيمة الاستطالة اللاتناسبية (التى تستخدم لتحديد قيمته كما سيتبين فيما يلى) هى ٠,١٠ ٪ من طول القياس أى :

الاستطالة اللاتناسبية = $\frac{٠,١٠}{١٠٠}$ × طول القياس .

ويعين إجهاد الضمان برسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة للعدن حتى بعد منطقة المرونة بمسافة كافية مناسبة ثم توقيع طول على المحور الممثل للاستطالة يساوى الاستطالة

اللاتناسبية المبينة المصاحبة لإجهاد الضمان المطلوب (وذلك ابتداء من نقطة الأصل) شكل رقم (٤ — ٢٢) .

ثم يرسم من نهاية هذا الطول خط يوازى الخط المستقيم للمنحنى البيانى للحمل والاستطالة ليقابل منحنى الحمل والاستطالة فى نقطة فيكون حمل الضمان (Proof Load) هو الحمل المقابل لهذه النقطة كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٢) .

$$\text{ويكون إجهاد الضمان} = \frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع المستعرض الأصلية}}$$

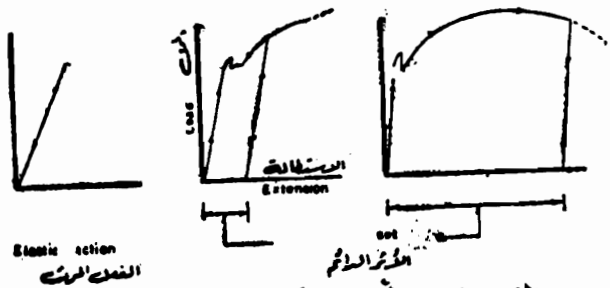
وغالباً تتراوح قيمة الاستطالة اللاتناسبية التى تستخدم لتعيين إجهاد الضمان بين ٠,١٠٪ و٠,٥٠٪ من طول القياس تبعاً لمواصفات المعدن .

هـ — المرونة (Elasticity)

تعتبر المادة فى حالة المرونة إذا زال التغير فى تشكيلها تماما بعد إزالة الحمل المؤثر أى أنها تسترجع أبعادها الأصلية قبل التحميل .

ومعظم المعادن الحديدية لها حالة المرونة فى حدود تحميل معين وإذا كبرت قيمة التحميل عن ذلك الحد تصير غير مرنة أى يحدث بها تغير فى الشكل (استطالة) دائمة عند إزالة الحمل المؤثر ولا ترجع لأبعادها الأصلية ، كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٣) .

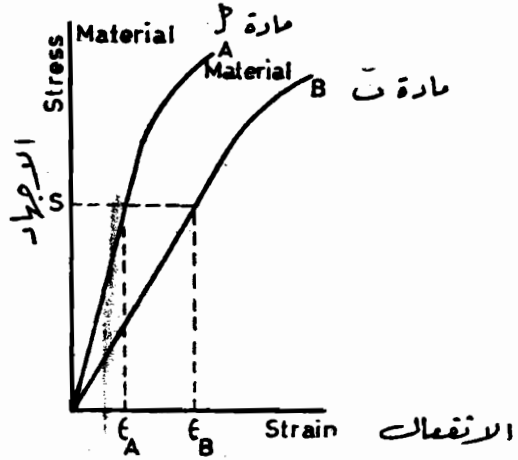
وحالة المرونة بالمعدن تحدث فقط فى المنطقة الأولى من التحميل إذا كان المنحنى



الفعل المرن والأثر الدائم فى تحميل المعدن

شكل رقم (٤ — ٢٣)

البيانى للحمل والاستطالة (أو المنحنى البيانى للإجهاد والانفعال) عبارة عن خط مستقيم . وعندما يبدأ التغير التدريجى أو المفاجىء فى المنحنى البيانى من خط مستقيم إلى منحنى يصير المعدن غير مرن أى أن منطقة المرونة للمعدن هى المنطقة الواقعة تحت الجزء المكون من الخط المستقيم بمنحنى الحمل والاستطالة له كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٤) .



HOW MODULUS OF ELASTICITY MEASURES STIFFNESS

كيفية قياس الصلابة بمعاير المرونة

شكل رقم (٤ — ٢٤)

(و) الصلابة (Stiffness)

الصلابة فى اختبار الشد هى مقاومة المعدن للتغير فى الشكل بتحميل الشد أى مقاومة المعدن للاستطالة ويقاس العامل المعبر عن مدى الاستطالة فى حدود المرونة بمعاير المرونة (Modulus of Elasticity) والمسمى بمعاير ينج .

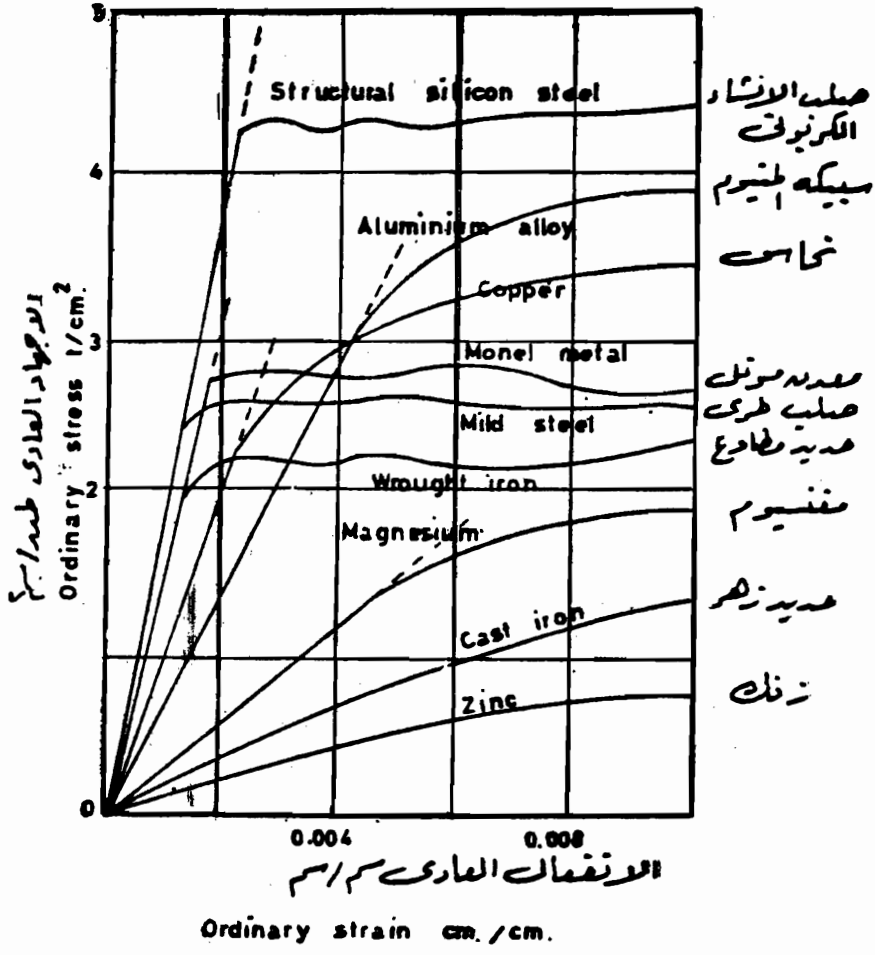
(Young's modulus)

ويساوى الزيادة فى الإجهاد مقسومة على الزيادة فى الانفعال أى الاجهاد على الانفعال فى حدود المرونة حيث الرسم البيانى للاجهاد والانفعال هو خط مستقيم . أى أن معاير المرونة — الذى هو مقياس للصلابة فى حدود المرونة — يساوى : الاجهاد / الانفعال (فى حد المرونة) .

أى : $E = \frac{f}{e} = \frac{P}{A_o} \cdot \frac{\Delta L}{L_o}$ حيث E = معاير المرونة

P = حمل الشد فى حد المرونة — ΔL = الاستطالة للحمل فى حد المرونة

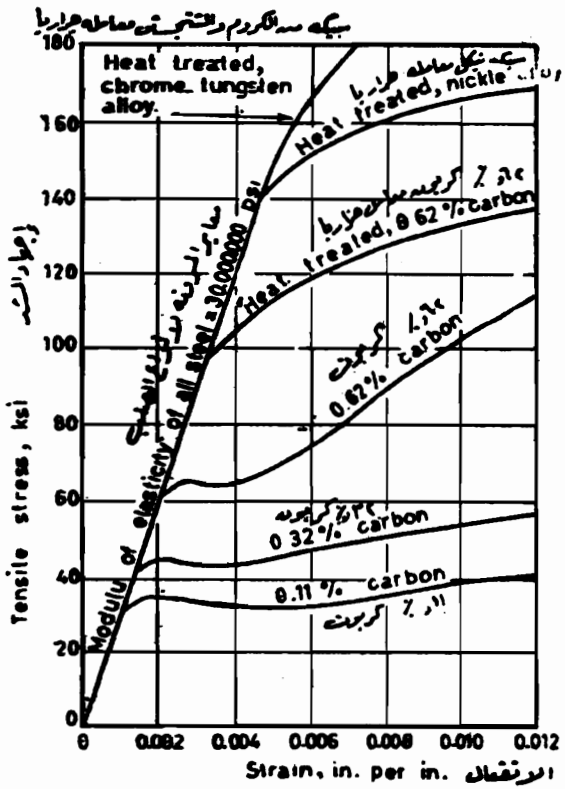
L_o = طول القياس — A_o = مساحة المقطع المستعرض الأصلية



الرسم البياني للاجهاد العادي والانفعال العادي لبعض المعادن في الشد

شكل رقم (٤ — ٢٤)

ويلاحظ أنه نظراً لأن الانفعال (e) لا بعدي (Non-Dimensional) أي مم/مم أو سم / سم ، لذلك فان مقياس (E) يكون هو مقياس (f) أي يعبر عنه بوحدات الحمل لوحدة المساحة ، أي كج / مم² أو طن / سم² . ويعتبر (E) قيمة تبين نوع المعدن حيث أن لكل معدن صلابة خاصة به ، أي (E) مختلفة من معدن لآخر كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٤) .



STRESS-STRAIN DIAGRAMS FOR VARIOUS STEELS

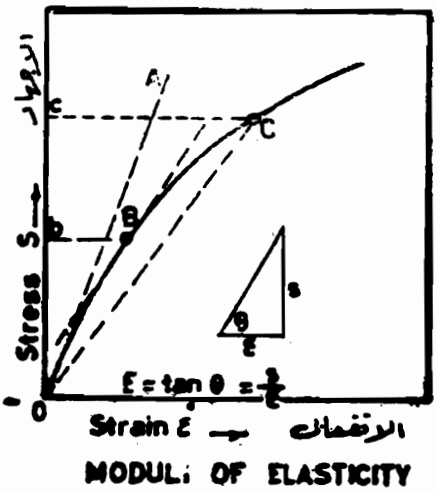
بيانيات الاجهاد والانفعال لانواع مختلفه من الصلب

شكل رقم (٤ ـ ٢٥)

ويبين الشكل رقم (٤ــ٢٥) أن ميل منحنى الاجهاد والانفعال فى منطقة المرونة ـ أى معاير المرونة ـ قيمة واحدة لأنواع الصلب المختلفة فى نسبة الكربون وفى المعاملة الحرارية أى أن صلابة أنواع الصلب يمكن اعتبارها واحدة بقيمة تساوى تقريباً ٢١٠٠ طن/سم٢.

وتقاس صلابة المعادن التى لا توجد بالمنحنى البيانى للاجهاد والانفعال لها خط مستقيم بواسطة معاير التماس الأولى (Initial tangent modulus) وهو عبارة عن ميل المماس لمنحنى الاجهاد والانفعال عند نقطة الأصل أى بداية المنحنى كما يتبين من الشكل رقم (٤ــ٢٦) كما يمكن مقارنة صلابة مثل هذه المعادن عند أى إجهاد معين بواسطة

معاير التماس (Tangent modulus) وهو ميل المماس لمنحنى الإجهاد والانفعال عند النقطة على المنحنى التى تقابل الاجهاد المعين المذكور كما فى شكل رقم (٤ - ٢٦) وتلك المقارنة للصلابة عند إجهاد معين قد تكون أيضاً بواسطة معاير القاطع (Secant modulus) وهو ميل الخط CO الواصل بين نقطة الأصل والنقطة الموجودة على منحنى الاجهاد والانفعال التى تقابل الاجهاد المعين المذكور .



معايرات المرونة

شكل رقم (٤ — ٢٦)

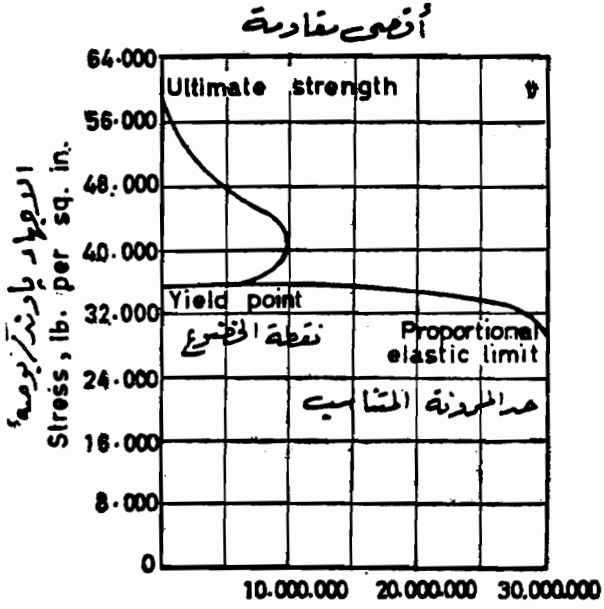
وتقارن الصلابة فى المعادن المطيلة على أساس معاير التماس ويمكن رسم العلاقة بين معاير التماس والاجهاد لتكون معبرة عن صلابة المعدن فى أى مرحلة من مراحل التحميل شكل رقم (٤ — ٢٧) وهذه العلاقات البيانية ذات فائدة كبيرة فى التطبيق العملى فى مشاكل تشغيل المعادن حيث تكون لصلابة المعدن أهمية كبيرة تساعد على التشغيل والتشكيل بتأثير الأحمال المختلفة .

ز — الرجوعية (Resilience)

تقاس رجوعية المعدن تحت تأثير حمل الشد بالطاقة (Energy) التى يمكن للمعدن أن يختزنها عند التحميل ثم يرجعها ثانية بعد إزالة الحمل أى يرجع المعدن كما كان قبل التحميل لذلك فإن الرجوعية هى خاصية فى حدود المرونة فقط ، وتساوى الرجوعية - أى قيمة الطاقة - الشغل المبـــذول بالتحميل لإحداث الاستطالة حتى حد التناسب (أى أكبر طاقة فى حدود المرونة) .

الرجوعية = ½ الحمل × الاستطالة = ½ P.Δ L .

وذلك لأن الحمل المسبب للاستطالة لم يكن ثابتاً بقيمة حد التناسب وإنما حدثت



CHARACTERISTIC STRESS-TANGENT MODULUS CURVE FOR MILD STEEL.

خصائص منحنى الاجهاد - معاير المماس للصلب الطرى

شكل رقم (٤ — ٢٧)

الاستطالة بتأثير حمل يزداد تدريجياً من الصفر حتى حد التناسب .

الرجوعية = ½ الحمل المقابل لحد التناسب × الاستطالة عند حد التناسب أى أن الرجوعية تساوى مساحة المثلث تحت الخط المستقيم من المنحنى البيانى للحمل والاستطالة (أى منطقة المرونة) كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٢٧) .

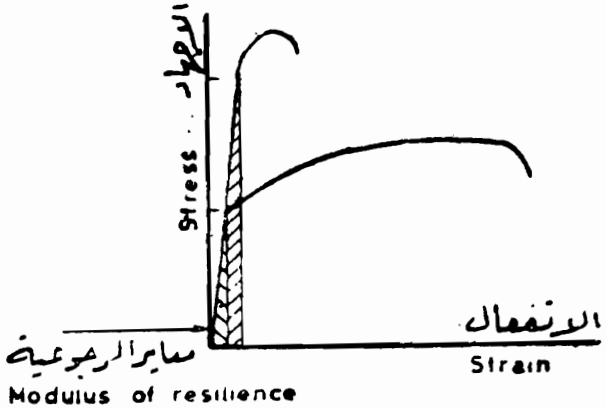
ويعتبر معاير الرجوعية (Modulus of resilience) يساوى الرجوعية مقسومة على حجم العينة المختبرة أى الرجوعية لوحدة الحجم وتساوى :

$$\text{Modulus of resilience} = \tfrac{1}{2}\, P.\, \Delta\, L/A_o\, L_o$$

$$= \tfrac{1}{2}\, P/A_o \cdot \Delta\, L/L_o$$

$$= \tfrac{1}{2} \cdot f \cdot e$$

أى تساوى ½ الاجهاد × الانفعال عند حد التناسب أى المساحة تحت الخط المستقيم من المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى (أى منطقة المرونة) كما يتبين من التشكل (٤ — ٢٨) .



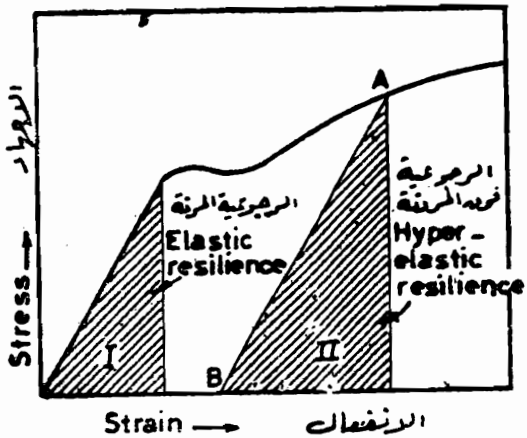
معـــايرالرجوعيـــة

شكل رقم (٤ — ٢٨)

أما الرجوعية فوق حد المرونة (Hyper - elastic resilience) فهى عبارة عن الطاقة التى يرجعها المعدن بعد إزالة الحمل المؤثر وهى جزء من الشغل المبذول بالتحميل فوق حد المرونة. وهى عبارة عن الطاقة المرتجعة عن أى حمل (Recoverable energy) وتقاس بالمساحة تحت المنحنى البيانى للحمل والاستطالة وهى المساحة المحدودة بخط يوازى خط المنحنى لمنطقة المرونة وأيضاً بالخط الموازى للمحور الرأسى المبين للحمل كما يتبين من شكل (٤ — ٢٩) . ويكون معاير تلك الرجوعية هى المساحة تحت المنحنى البيانى للإجهاد والانفعال المقابلة للمساحة المذكورة تحت منحنى الحمل والاستطالة شكل رقم (٤ — ٢٩) .

ح — المتانة (Toughness)

إن الطاقة المبذولة بتحميل المعدن بالشد حتى الكسر تعبر عن المقاومة القصوى للمعدن لتحمل الحمل الديناميكى أى المقاومة للصدم الناتج من أحمال الشد . وهذه



RESILIENCE IN TERMS OF STRESS-STRAIN DIAGRAM.

الرجوعيه بدلالة بيانى الاجهاد والانفعال

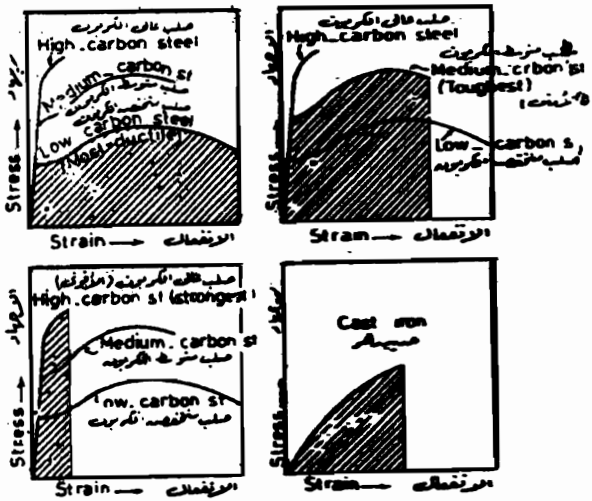
شكل رقم (٤ — ٢٩)

الطاقة عبارة عن مجموعة الشغل المبذول من الأحمال المؤثرة حتى الكسر أى تساوى مجموع الحمل فى الاستطالة المقابلة لهذا الحمل حتى الكسر أى تساوى المساحة تحت المنحنى البيانى للحمل والاستطالة . أما معاير المتانة (Modulus of toughness) فهو عبارة عن المقاومة للصدم مقسومة على حجم عينة الاختبار والتى تساوى المساحة تحت المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٣٠) فكلما ازدادت هذه المساحة كلما كبرت مقاومة المعدن للأحمال الديناميكية أى المقاومة للصدم.

(ط) التخلفية (Hysteresis)

إذ أجهد معدن فوق حد المرونة بحمل معين ثم أزيل هذا الحمل ثم حمل ثانية (Reloaded) فان المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال قد يحتوى فى بعض الأحيان على أنشوطة (Loop) مكونة من خطين منحنين (بدلا من خط مستقيم واحد كالمعتاد إذا أزيل التحميل ثم أعيد ثانية) كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٣١) وتسمى تلك الأنشوطة بالأنشوطة التخلفية. وتكون المساحة المحصورة داخل هذه الأنشوطة

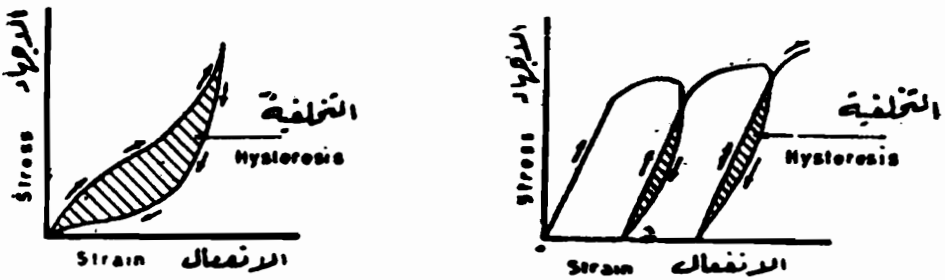
من منحنى الاجهاد والانفعال عبارة عن الطاقة ـ لوحدة الحجم ـ المفقودة نتيجة دورة واحدة من إزالة الحمل ثم إعادة التحميل. وهذه الطاقة المفقودة تكون على هيئة حرارة. كما توجد هذه الظاهرة أيضاً في بعض المواد غير المعدنية مثل المطاط شكل رقم (٤ ـ ٢١)



TOUGHNESS IN TERMS OF AREA UNDER STRESS - STRAIN DIAGRAM

المتانة ويعبر عنها بالمساحة تحت بياني الاجهاد والانفعال

شكل رقم (٤ ـ ٢٠)



المطاط اللين
Soft rubber

الصلب الطري
Mild steel

التخلفية للصلب الطري والمطاط

شكل رقم (٤ ـ ٢١)

وظاهرة التخلفية مهمة جداً ويلزم معرفة مدى تواجدها للمادة المستخدمة فى الإنشاءات والمكنات من عدمه حيث أن وجودها يسبب ارتفاعا فى درجة حرارة المادة نتيجة الحرارة المتراكمة من الطاقة المفقودة باستمرار من التحميل وإزالة التحميل وهكذا الأمر الذى يؤثر على خواص المادة الميكانيكية مما قد يضعف مقاومتها ويغير فى خواصها عن المطلوب لو لم توجد ظاهرة التخلفية .

ى — المقاومة : (Strength)

تنقسم مقاومة المعدن للشد إلى حالتين :

١ — مقاومة الشد فى حد المرونة : (Elastic Strength)

وهى تساوى إجهاد الخضوع = $\frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{المساحة الأصلية للقطع المستعرض}}$

وذلك للمعادن التى لها خاصية المرونة مع وجود منطقة خضوع بها وتساوى إجهاد الضمان للمعادن التى لها خاصية المرونة ولا يوجد بها منطقة خضوع .

$$\text{Elastic Strength} = \frac{P \text{ yield}}{Ao} \text{ or } = \frac{P \text{ proot}}{Ao}$$

وتستخدم تلك المقاومة أى أقصى إجهاد مرن فى أعمال التصميم لتعيين الإجهاد التصميمى (أى إجهاد التشغيل) وذلك بقسمة إجهاد الخضوع أو إجهاد الضمان على عامل الأمان (Factor of safety) الذى يحدده المصمم .

$$\text{Working stress} = \text{Design stress} = \text{Allowable stress} = \frac{\text{Yield stress}}{n}$$

$$\text{or} = \text{Proof stress} / n.$$

حيث n = عامل الأمان بقيمة أكبر من الواحد الصحيح وتكون حوالى ٢ فى المعادن الحديدية .

٢ — المقاومة القصوى للشد (مقاومة الشد) : (Tensile Strength)

وهى تساوى الحمل الأقصى الذى تعرضت له عينة الشد مقسوماً على المساحة الأصلية للقطع المستعرض (Tensile Strength = Pmax. / Ao) وتفيد قيمة تلك المقاومة فى مقارنة المعادن واختيار المعادن نتيجة لذلك فى الأعمال الهندسية . ويلاحظ أنها

لا تمثل المقاومة القصوى الحقيقية للمعادن المطيلة حيث أن المقطع المستعرض يقل كثيراً عن المقطع الأصلى ويحدث به رقبة مما يجعل إجهاد الشد المحسوب سابقاً والمبين للمقاومة القصوى للشد غير ممثل تماماً لهذه الحالة . أما فى حالة المعادن القصيفة فتكون مقاومة الشد القصوى المحسوبة على الأساس المذكور تمثل تماماً المقاومة القصوى للمعدن لأن المقطع المستعرض لا يتغير عند الكسر — إلا بقيمة يمكن إهمالها — عن المقطع المستعرض الأصلى كما أن الحمل الأقصى هو نفسه حمل الكسر بخلاف المعادن المطيلة .

(ك) المطولية : (Ductility)

تقاس مطولية المعادن تحت تأثير أحمال الشد بحساب النسبة المئوية للاستطالة (Elongation%) والنسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض (Reduction of area%) ويكون ذلك باستخدام نتائج إختبار الشد كالآتى :

١ — النسبة المئوية للاستطالة : وهى النسبة المئوية للاستطالة بعد الكسر منسوبة إلى طول القياس أى :

$$\frac{\text{طول القياس بعد الكسر}}{\text{طول القياس}} \times 100$$

$$\text{Elongation\%} = \frac{li - lo}{lo} \times 100$$

$$= \frac{\Delta li}{lo} \times 100 = \text{max strain} \times 100$$

حيث : lo = طول القياس

li = المسافة بين نهايتى طول القياس عند كسر العينة .

Δli = استطالة العينة عند الكسر .

ويمكن مقارنة مطولية المعادن مباشرة من المنحنى البيانى للحمل والاستطالة عن طريق قيمة الاستطالة عند الكسر (أى أكبر استطالة بالمنحنى) أو من المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى عن طريق قيمة أكبر انفعال كما يتضح من الشكل رقم (٤-١٧).

٢ — النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض .

هى النسبة المئوية لأكبر نقص فى مساحة مقطع قطعة الاختبار بعد الكسر منسوبة إلى المساحة الأصلية لمقطع قطعة الاختبار أى :

النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض =

$$\frac{\text{المساحة الأصلية للمقطع} - \text{مساحة أصغر مقطع بعد الكسر}}{\text{المساحة الأصلية لنفس قطعة الاختبار}} \times ١٠٠$$

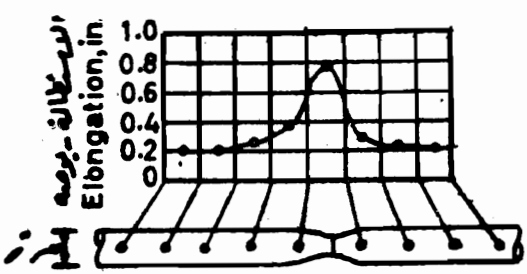
$$\% \text{ Reduction of area} = \frac{Ao - Ai}{Ao} \times 100$$

حيث : Ao = المساحة الأصلية للمقطع المستعرض .

Ai = مساحة أصغر مقطع مستعرض (أى عند مقطع الرقبة بعد كسر العينة)

ل - الاستطالة : (Elongation)

إن توزيع الاستطالة على جميع نقط طول القياس يكون متساوياً تقريباً إذا كان حمل الشد المؤثر على العينة بقيمة فى حدود مرونة العينة وعندما تتعدى العينة منطقة المرونة فيبدأ فى التغير ويكون للاستطالة فى المنطقة التى تحدث بها الرقبة قيمة أكبر ثم تكبر قيمتها أكثر من العينة حتى كسر العينة كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ١٢) .



A. Elongation in each inch
الاستطالة فى كل بوصة

B. Percent elongation vs. gage length
الاستطالة ٪ مع طول القياس

EFFECT OF GAGE LENGTH ON PERCENTAGE OF ELONGATION

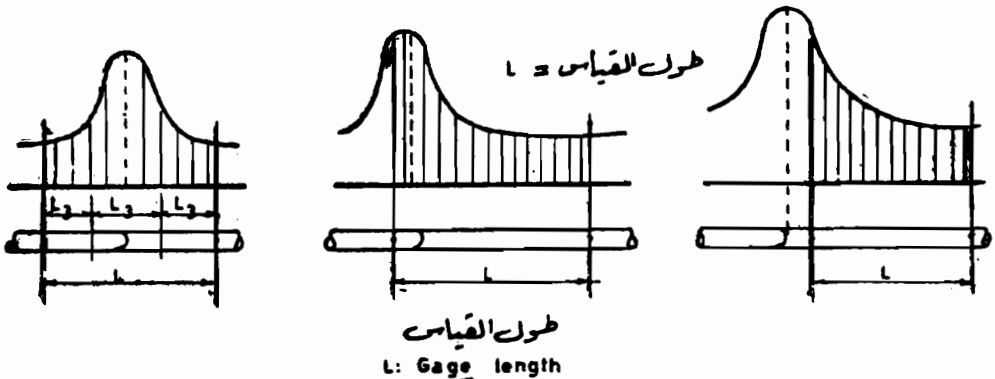
تأثير طول القياس على الاستطالة ٪

شكل رقم (٤ — ٢٢)

ومن ذلك يتضح أن الاستطالة تختلف باختلاف طول القياس ويتبين من شكل (٤ — ٢٢) أن النسبة المئوية للاستطالة تتناسب تناسباً عكسياً مع طول القياس أى أنه للعدن

الواحد فإن العينة ذات طول القياس القصير لها نسبة استطالة مئوية كبيرة بينما العينة من نفس المعدن ذات طول القياس الطويل لها نسبة استطالة مئوية صغيرة وذلك يعني أن اختلاف طول القياس يؤدى إلى اختـــلاف مطولية المعدن الواحد وذلك لا يتفق مع الحقيقة لهذا يلزم تحديد طول القياس وبيان قيمته مع أبعاد العينة المختبرة عند إجراء اختبارات الشد القياسية لقبول أو رفض المعادن فى الأعمال الهندسية حتى يمكن مقارنة المعادن على أساس توحيد قيمة طول القياس المستخدم فى الاختبار الذى يجرى على عينة موحدة قياسية .

ويلاحظ أنه نظراً لاختلاف توزيع الاستطالة على نقط طول القياس وكبر قيمة الاستطالة فى منطقة الكسر (أى منطقة الرقبة) عن باقى نقط طول القياس لذلك يلزم لكى يكون حساب النسبة المئوية للاستطالة (المعبرة عن مطولية المعدن) صحيحاً يجب أن تكون الاستطالة المقاسة بعد كسر العينة تشمل منطقة الرقبة بكاملها حتى تشمل تلك الاستطالة على معظم قيمة الاستطالة الناتجة عند الرقبة أى أنه يجب أن يكون كسر العينة تقريباً فى حوالى منتصف طول القياس ما أمكن كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٣٣) .



توزيع الاستطالة تبعا لمكان الكسر على طول القياس

شكل رقم (٤ — ٣٣)

لذلك نصت المواصفات القياسية على أن تكون نتائج اختبار الشد صحيحة — أى يكون حساب النسبة المئوية الاستطالة صحيحاً — إذا وقع كسر العينة فى الثلث الأوسط

لطول القياس ويلزم إهمال تلك العينة وإعادة الاختبار ثانية على عينة أخرى لو حدث الكسر خارج منطقة طول القياس أو قرب إحدى نهايتي طول القياس لأن النسبة المئوية للاستطالة تكون صغيرة (لأن معظم الاستطالة حادثة خارج طول القياس) ولا تعبر تعبيراً صحيحاً عن مدى مطولية المعدن المختبر .

(م) معادلة الاستطالة (Elongaton equation)

إن الاستطالة الكلية للعينة المكسورة تحت تأثير الشد عبارة عن مجموع نوعين من الاستطالة وهى الاستطالة العامة والاستطالة الموضعية .

وتتوقف الاستطالة العامة على قيمة طول القياس وتتناسب طرديا معها وتساوى (b_1L) حيث b_1 عدد ثابت ، L هو طول القياس ، أما الاستطالة الموضعية فتتوقف على مدى حدوث الرقبة التى تتسبب فى هذه الاستطالة التى تزداد قيمتها بكبر مساحة المقطع المستعرض الأصلية وقد وجد أن هذه الاستطالة تتناسب تناسبا طرديا مع الجذر التربيعى للمساحة الأصلية للمقطع المستعرض أى أنها تساوى $C\sqrt{A_o}$ حيث C عدد ثابت و A_o هى المساحة الأصلية للمقطع المستعرض . وبذلك تكون الاستطالة الكلية ΔL تساوى :

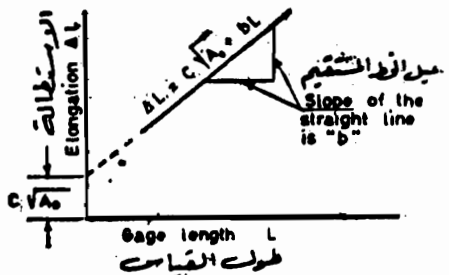
$$\Delta L = b_1 L + C\sqrt{A_o}$$

وعلى ذلك تكون النسبة المئوية للاستطالة تساوى :

$$\frac{\Delta L}{L} \times 100 = \left(b + \frac{C\sqrt{A_o}}{L} \right) \times 100$$

$$\text{Elongation } \% = \frac{C\sqrt{A_o}}{L} + b$$

حيث C ، b ثوابت تسمى ثوابت أنوين (Unwin's Constants) ويمكن تعيين قيمة كل من b ، C عمليا برسم المنحنى البيانى بين طول القياس والاستطالة المقابلة لكل طول قياس لعينات مختلفة طول القياس مع ثبوت المقطع المستعرض الأصلى لكل منها ومن هذا الرسم البيانى المبين بالشكل رقم (٤ — ٣٤) الذى يصف المعادلة بين الاستطالة وطول القياس وهى $\Delta L = bL + C\sqrt{A_o}$ (حيث A_o ، b ، C



طريقة تعيين ثوابت أنوين c،b

التمثيل البيانى لطول القياس والاستطالة المناظرة

شكل رقم (٤ — ٣٤)

أعداد ثابتة) ، يتضح أن المعادلة هى خط مستقيم فبذلك يمكن تعيين قيمة كل من c ، b من هذا الرسم البيانى حيث b هى ميل هذا الخط ، $c\sqrt{A_0}$ هـــو القيمـة للاستطالة عند تقاطع الخط المستقيم مع محور الاستطالة وحيث أن A_0 ثابتة ومعلومة فبذلك يمكن معرفة c وفى الجدول رقم (٤ — ١) بعض القيم المعروفة للثابتين c،b

جـــدول رقم (٤ — ١) ثوابت أنوين لبعض المعادن

المعـــدن	الثابت b	الثابت c
الصلب الطرى (ألواح ليست سميكة)	١٨	٧٠
النحاس الأصفر المدلفن	٥,٧	١٠١,٦
النحاس الأحمر المدلفن	٠,٨	٨٤
النحاس المخمر	٣٥	١٢٥

ويلاحظ من معادلة النسبة المئوية للاستطالة أن النسبة المئوية للاستطالة تكون ذات قيمة ثابتة إذا كانت $\frac{\sqrt{A_c}}{L}$ ذات قيمة ثابتة أى أن الجذر التربيعى للمساحة يتناسب مع طول القياس . وحيث أنه فى اختبارات الشد القياسية يلزم أن تكون النسبة المئوية

للاستطالة المعبرة عن مطولية المعدن ثابتة مهما تغير المقطع المستعرض للعينة لذلك يلزم فى هذه الحالة أن تكون عينة الاختبار ذات طول قياس يتناسب مع مساحة المقطع المستعرض . وتسمى مثل هـــذه العينات بعينات الاختبار المتناسبة (Proportional test Pieces) وقد حددت المواصفات القياسية الثابت اللازم لهذا التناسب فمثلا فى المواصفات القياسية المصرية م . ق . م ١٧٦ / ١٩٦٢ الخاصة باختبار الشد للمعادن اعتبرت العلاقة بين L ، A كما يأتى :

$$L/Ao = \text{constant}$$

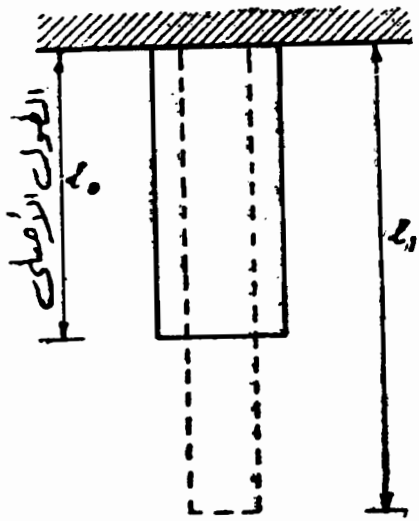
العينات القصيرة : $L = 5.65\sqrt{A_o}$

العينات الطويلة : $L = 11.30\sqrt{A_o}$

وذلك يؤدى فى حالة العينات ذات القطاعات المستديرة إلى :

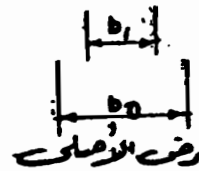
العينات القصيرة : $L = 5\,do$

العينات الطويلة : $L = 10\,do$



(ن) نسبة بواسون (Poisson's Ratio)

إذا أثرت قوة الشد محورية على عينة كقضيب معدنى مثلا (شكل رقم ٤ — ٣٥) فانه تحدث إستطالة فى إتجاه قوة التحميل ونقص فى العرض فى كل إتجاه من الاتجاهين المتعامدين مع اتجاه قوة الشد . فاذا عينت قيمة الانفعال فى الاتجاه المحورى وقيمة الانفعال فى الاتجاه المتعامد مع محور العينة المختبرة فان نسبة بواسون تكون : —



$$\mu = \frac{b_o - b_1}{b_o} \Big/ \frac{L_1 - L_o}{L_o}$$

نسبة بواسون

شكل رقم (٤ — ٣٥)

$$(\mu)\ \text{نسبة بواسون} = \frac{\text{الإنفعال الجانبى المتعامد مع المحور}}{\text{الانفعال المحورى}}$$

ونسبة بواسون قيمة ثابتة تعتبر إحدى الثوابت بجانب معاير المرونة ومعاير الجساءة التى تصف خاصية الصلابة للمادة . وقد ثبت أنه فى حدود المرونة تعين قيمة نسبة بواسون من العلاقة الآتية .

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

حيث : E = معاير المرونة

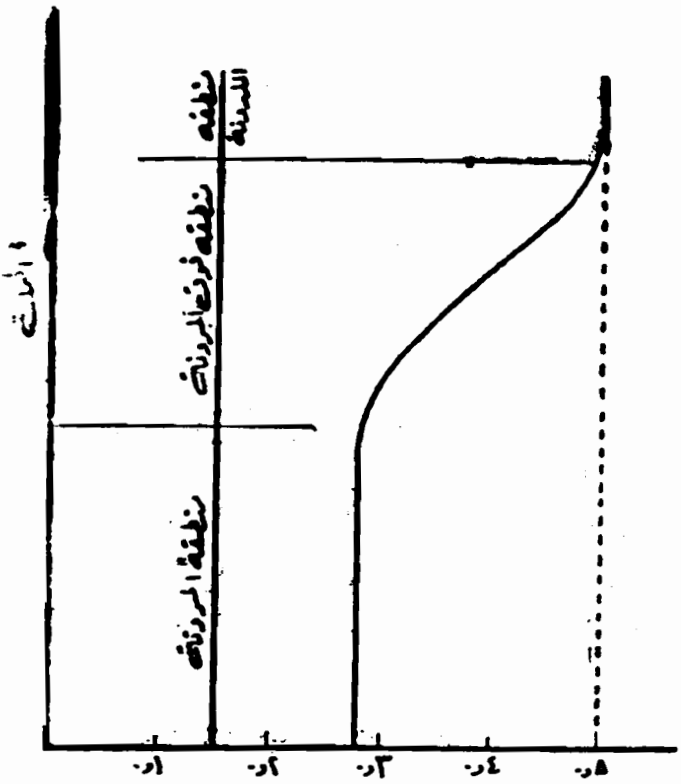
G = معاير الجساءة

μ = نسبة بواسون

وقيمة نسبة بواسون تتراوح لأغلب المواد بين ٠,٢٥ ، ٠,٣٦ وتكون حوالى ٠,٢٩ الصلب . وإذا كان تحميل العينة المحورى فى الشد يحطها فى منطقة اللدونة، فان قيمة نسبة بواسون ثابتة أيضاً وتساوى لجميع المواد ٠,٥ ويتضح ذلك من الشكل رقم (٤ — ٣٦) .

ثانيا — الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى
(True Stress & True Strain)

بحث ماك جريجور (Mc. Gregor) بأمريكا سنة ١٩٤٤ العلاقة الحقيقية بين الإجهاد والانفعال للمعادن تحت تأثير الشد وذلك فى المنطقة من أول الخضوع (أى نهاية منطقة المرونة) حتى الكسر حيث أن المنحنى البيانى للاجهاد العادى والانفعال العادى على جانب من الخطأ فى المنطقة فوق حد المرونة (Hyper - elastic) أى من الخضوع إلى الكسر نتيجة افتراض أن الاجهاد هو الحمل المؤثر مقسوماً على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض بينما الإجهاد الحقيقى التى تقاومه العينة المختبرة هو الحمل مقسوماً على مساحة أقل مقطع مستعرض بالعينة عند ذلك الحمل . ومساحة هذا المقطع فوق حد المرونة أقل منها للمقطع الأصلى وتزداد قلة بوضوح عند حدوث الرقبة وتستمر تلك الزيادة فى النقص فى المساحة للمقطع المستعرض عند مقطع الرقبة حتى كسر العينة لذلك فان الاجهاد الحقيقى أكبر من الاجهاد العادى مما يفيد فى معرفة المقاومة الحقيقية للمعادن المختبرة .



نسبة بواسون

قيمة نسبة بواسون فى المرونة واللدونة

شكل رقم (٤ — ٣٦)

$$\text{فيكون الاجهاد الحقيقى} = \frac{\text{الحمل فى أى لحظة من التحميل}}{\text{مساحة أقل مقطع مستعرض للعينة عند ذلك الحمل}}$$

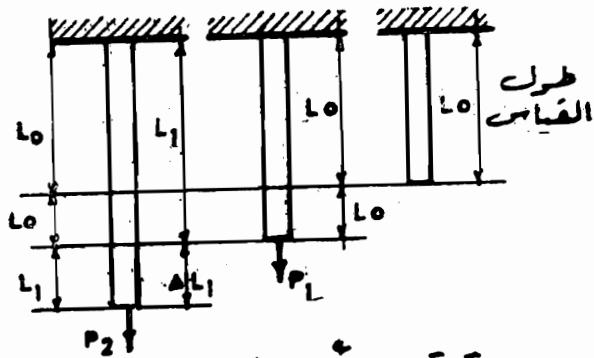
ويكون الاجهاد الحقيقى للقطع المستدير كالتالى :

$$\text{True stress} = f_{tr.} = P_i / A_i = P_i \Big/ \frac{\pi d_i^2}{4}$$

كذلك بالنسبة للانفعال العادى فهو أيضاً على جانب من الخطأ فوق حد المرونة حيث يكون الانفعال العادى عبارة عن الاستطالة منسوبة إلى طول القياس بينما عند التحميل فان كل زيادة فى الحمل تسبب إستطالة فيكون الانفعال عند أى حمل

هو الاستطالة عنده منسوبة إلى المسافة بين نهايتى طول القياس عند الحمل السابق مباشرة أى أن الانفعال عند أى حمل هو الاستطالة منسوبة إلى طول يختلف فى قيمته عن مثيله عند حساب الانفعال فى الأحمال الأخرى سواء السابقة له أو التى تليه وذلك فى المنطقة من الخضوع حتى الكسر أو فوق حد المرونة حيث تكون الاستطالة (بالتبعية الانفعال) ذات قيمة ملحوظة ويظهر ذلك جلياً عند منطقة حدوث الرقبة وما بعدها .

أى أن الانفعال الحقيقى = مجموع الانفعالات الحادثة أثناء فترات التحميل حتى الحمل المطلوب عنده حساب الانفعال . كما فى شكل (٤ — ٣٧) .



شكل رقم (٤ — ٣٧)

$$\text{True strain} = e_{tr.} = \sum_{lo}^{li} \frac{\Delta li}{lo} = \frac{\Delta lo}{lo} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l2}{l_2} + \cdots\cdots + \frac{\Delta li}{li}$$

$$= \sum_{lo}^{li} \frac{\Delta li}{li}$$

$$= \int_{lo}^{li} \frac{dl}{l} = \log_e \frac{li}{lo}$$

وحيث أنه فى منطقة فوق حد المرونة يحدث التشكيل (Deformation) بدون

تغير فى الحجم أى أن الحجم ثابت فبذلك يمكن اعتبار أن : $Ao \cdot lo = Ai \cdot li$

من ذلك ينتج أن : $\frac{li}{lo} = \frac{Ao}{Ai}$

فيكون الانفعال الحقيقى $= \text{True strain} = \text{str.} = \log_e \frac{Ao}{Ai}$

ويكون للقطع المستدير $= 2 \log_e \frac{do}{di}$

حيث A_o = المساحة الأصلية للقطع المستعرض .

d_o = قطر القطع المستعرض المستدير الأصلى .

Ai = مساحة أقل مقطع مستعرض بالعينة عند الحمل المطلوب .

di = قطر أقل مقطع مستعرض مستدير بالعينة عند الحمل المطلوب حساب الانفعال عنده .

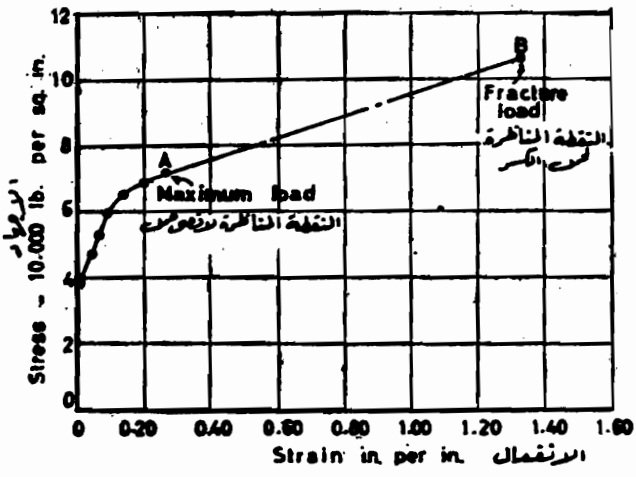
إذا رسم المنحنى البيانى للإجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى لعينة من المعدن مثل الصلب الطرى على الأساس السابق بيانه فانه يكون عبارة عن منحنى أسى (Exponential Curve) فى المنطقة من الخضوع حتى حدوث الرقبة وذلك بانفعال حقيقى عند الخضوع يساوى صفراً لأن $do = di$ تقريباً تماماً عند الخضوع فيكون $\log_e \frac{do}{di} = \log_e 1 = \text{Zero}$ وباجهاد حقيقى عند الخضوع يساوى إجهاد الخضوع العادى لأن التغيير فى الشكل للقطع عند نهاية حد المرونة صغير جداً وتعتبر قيمته معدومة يمكن إهمالها . أما باقى المنحنى البيانى للإجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى من بدء حدوث الرقبة حتى الكسر فانه يكون عبارة عن خط مستقيم يمس تقريبا المنحنى السابق عند نقطة حدوث الرقبة . وذلك كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٣٨) .

ومما سبق فان العلاقة الصحيحة بين الاجهاد والانفعال تكون كما يلى :

١ — من بدء التحميل حتى حد المرونة (أى الخضوع) :

From Zero loading to yielding : $f = E \cdot e$

حيث f = الاجهاد ، e = الانفعال



TRUE STRESS- STRAIN CURVE FOR TENSION

منحنى الاجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي في الشد للصلب الطري

شكل رقم (٤ — ٣٨)

E = عدد ثابت عبارة عن معاير المرونة .

وهذه العلاقة مأخوذة من المنحنى البيانى للاجهاد العادى والانفعال العادى حيث أنه فى هذه المنطقة (منطقة المرونة) يعتبر صحيحاً لبيان العلاقة بين الاجهاد والانفعال لصغر التشكل .

٢ — من الخضوع حتى حدوث الرقبة :

From Yielding to Necking $= b e^{c}$

حيث b ، c أعداد ثابتة تعين من المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى فى الجزء المنحنى الأعلى من الخضوع حتى حدوث الرقبة .

٣ — من حدوث الرقبة حتى الكسر :

From Necking to Fracture ; $f = k e + m$

حيث k ، m أعداد ثابتة تعين من المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى

فى الجزء المستقيم من المنحنى المذكور من حدوث الرقبة حتى الكسر .

ويؤخذ فى الاعتبار المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى وذلك فى أعمال التصميم فوق حد المرونة لأنه يعطى علاقة صحيحة حقيقية بين الاجهاد والانفعال كما يفيد فى تعيين الخواص الميكانيكية للمعادن بقيم صحيحة حقيقية فوق حد المرونة خصوصاً وأن هذا المنحنى حساس جداً لأى تغير فى ظروف المادة فلزيا وميكانيكا . لذلك يؤثر أى تغير مباشرة بتغيير واضح فى المنحنى البيانى المذكور كما أن هذا المنحنى البيانى يفيد كثيراً فى صناعة تشكيل المعادن مثل الدلفنة (Rolling) والسحب (Drawing) والبثق (Extrusion) .

أما المنحنى البيانى للاجهاد العادى والانفعال العادى فانه يفيد فى أعمال التصميم فى حدود المرونة حيث أنه يعطى علاقة صحيحة بين الاجهاد والانفعال فى هذه المنطقة . كما يفيد فى تعيين القيم الصحيحة للخواص الميكانيكية للمعادن فى حدود المرونة مثل معاير المرونة والرجوعية وما لتلك الخواص من فوائد متنوعة . كما يفيد أيضاً فى مقارنة خواص المعادن الميكانيكية فوق حد المرونة واختيار أصلح المعادن للإستعمال بناء على هذه المقارنة . لذلك تستند المواصفات القياسية لقبول المعادن على حدود الخواص الميكانيكية الناتجة من المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى وذلك لكونها قيم مقارنة ولكون تعيينها من هذا المنحنى أسهل عملياً حيث يمكن رسم المنحنى العادى تلقائياً (Autographic) بمكنة الاختبار (مع ملاحظة وضع مقياس الرسم المناسب تبعاً لمقطع العينة المختبرة وطوله المقياس المستخدم وخصائص جهاز الرسم التلقائى لمكنة الاختبار) كما يكون ذلك بسرعة أيضاً ، أما المنحنى الحقيقى فيحتاج إلى جهد ووقت أكثر من العادى لتوقيعه .

قيمة الاجهاد الحقيقى عند أقصى حمل شدة للعينة (أى عند حدوث الرقبة) :

إذا كان الإجهاد الحقيقى عند حدوث الرقبة يساوى f

$$f = \frac{A}{P} \quad \text{i. e.} \quad P = f.\ A.$$

حيث : أقصى حمل شد = P

أقل مساحة مقطع للعينة عند أقصى حمل = A

ويكون :

$$dp = d(fA) = Adf + fdA$$

وإذا إعتبر أن التغير فى الحمل عند أقصى حمل يساوى صفراً فان :

$$dp = Adf + fdA = o$$

أى أن :

$$f = df/ - \frac{dA}{A}$$

ونظراً لأن حدوث الرقبة يكون فى منطقة الدونة حيث الحجم ثابت للعينة المختبرة. أى أن التغير فى الحجم يساوى صفر فيكون :

$$d(A.l) = Adl + ldA = o$$

$$- \frac{dA}{A} = \frac{dl}{l} = de$$

حيث طول العينة يساوى (l) ، التغير فى الإنفعال يساوى (de) وينتج مما تقدم أنه عند حدوث الرقبة يكون :

$$f = \frac{df}{de} \text{ (at necking)}$$

حيث : ميل المنحنى البيانى للإجهاد الحقيقى والإنفعال الحقيقى عند حدوث الرقبة $= \frac{df}{de}$

أى أن الإجهاد الحقيقى عند أقصى حمل يساوى ميل المنحنى البيانى للإجهاد الحقيقى والإنفعال الحقيقى عند ذلك الحمل .

ولكن نظراً لأن الإعتبار سالف الذكر وهو أن التغير فى الحمل : $dp = o$ عند أقصى حمل . ليس صحيحاً تماماً حيث أنه عند أقصى حمل يكون التغير بالسالب لأن الحمل يقل بعد ذلك حتى كسر العينة . لذلك فان تعيين قيمة الإجهاد الحقيقى عند أقصى حمل كما يلى :

$$p = f.A.$$

$$dp = Adf + fdA$$

$$f = \left(df/ - \frac{dA}{A} \right) + \frac{dp}{dA}$$

ولكن : التغير فى الانفعال هو : $de = -\frac{dA}{A}$

فيكون :

$$f = \frac{df}{de} + \frac{dp}{dA}$$

أى أن الإجهاد الحقيقى عند الرقبة يساوى ميل المنحنى الحقيقى للإجهاد والإنفعال عند أقصى حمل زائد قيمة التغير فى الحمل على التغير فى المساحة عند الحمل الأقصى الذى يعين من العلاقة بين الحمل ومساحة المقطع المستعرض المبينة بالشكل رقم (٤ — ٣٩) . وقد ثبت عملياً أن قيمة الإجهاد الحقيقى الأخيرة تمثل الحالة الصحيحة عن الحالة الأولى المذكورة .

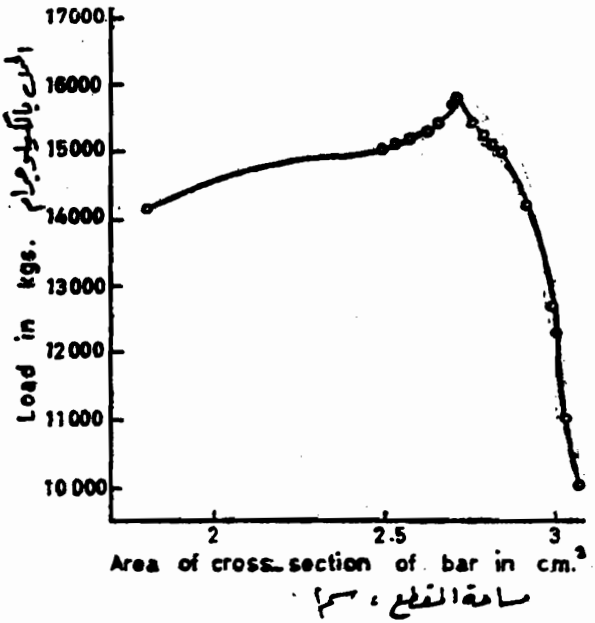


DIAGRAM OF DECREASE OF AREA WITH INCREASE OF LOAD ON A 2 cms. DIAMETER BAR OF MILD STEEL.

شكل بيانى لنقص المساحة مع زيادة الحمل على قضيب من الصلب الطرى بقطر ٢ سم

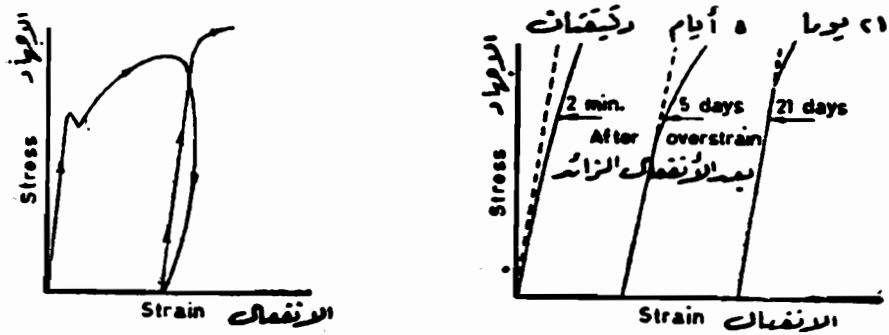
شكل رقم (٤ — ٣٩)

رابعا – العوامل المؤثرة على خواص الشد للمعادن :

توجد عوامل مختلفة تؤثر وتغير من خواص المعادن الميكانيكية عند تحمل الشد منها ما يلى :

١ – الانفعال الزائد :(Overstrain)

إذا حملت عينة فى الشد فوق حد المرونة ثم أزيل الحمل ثم أعيد التحميل ثانية بعد فترة يلاحظ أن حد التناسب تزيد قيمته كما تزيد أيضاً قيمة اجهاد الخضوع عن حالة التحميل الأولى أى أنه قد نتجت زيادة فى تحمل المعدن فى منطقة المرونة وتسمى هذه الحالة بالإنفعال الزائد (شكل رقم ٤ – ٤٠) وإذا كانت هناك مدة كافية لراحة المعدن بين إزمة الحمل (بعد تحميل المعدن فوق حد المرونة أى اجراء الانفعال الزائد له) وبين إعادة التحميل فإن المعدن تزيد صلابته وتزداد قيمة حد التناسب له أى تحدث له زيادة فى منطقة المرونة أى تتحسن خاصية المرونة (شكل رقم ٤ – ٤٠) .



زيادة قيمة إجهاد الخضوع وحد التناسب
نتيجة للانفعال الزائد

شكل رقم (٤ – ٤٠)

ويمكن الحصول على التحسن فى خاصية المرونة بعد إجراء الانفعال الزائد (بدلا من الانتظار مدة ثم إعادة التحميل) أيضاً ولكن بسرعة وذلك بإجراء

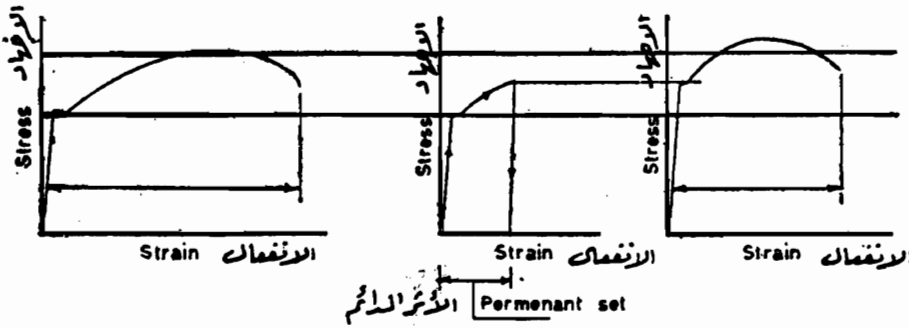
عملية التخمير (Annealing) للمعدن فى درجة حوالى ٢١٢° فهرنهيت بعد إزالة التحميل مباشرة فاذا أعيد التحميل فان المعدن يكون قد اكتسب زيادة فى حد المرونة .

وتفيد ظاهرة الانفعال الزائدة فى الشد فى تحسين ظروف الإجهادات فى الأجزاء الإنشائية المختلفة كما أن السلاسل (Chains) والكابلات (Cables) والخطافات (Hooks) ومواسير البنادق (Gun Barrels) تعرض عادة إلى أحمال الضمان (Proof loads) ثم يزال التحميل وذلك عند نهاية صناعتها وقبل استخدامها لتحسين حد المرونة له .

(ب) التشغيل على البارد : Cold working

إن التشغيل على البارد وهو تحميل المعدن فوق حد المرونة ثم إعادة تحميله مرة أو مرات يعتبر صورة من صور الانفعال الزائدة وينتج عنه تحسن بالزيادة فى إجهاد الخضوع وحد التناسب ومقاومة الشد ولكن مع نقص فى قيمة المطولية . ويسبب ذلك أيضاً تصلد المعدن أى زيادة خاصية الصلادة ويحسن بالزيادة فى خاصية الرجوعية للمعدن مصحوبة بنقص فى خاصية المتانة . أما معاير المرونة فغالباً لا تتغير قيمته إلا قليلا جداً كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٤١) .

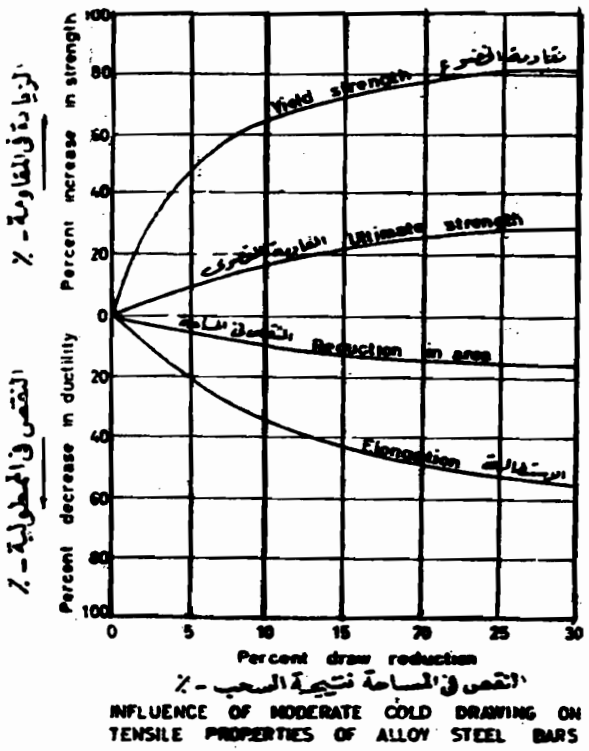
وتستخدم عادة ظاهرة التشغيل على البارد فى الصناعة على هيئة تقليل المقطع



زيادة حد التناسب واجهاد الخضوع ومقاومة الشد ونقص المطولية بسبب التشغيل على البارد للمعدن

شكل رقم (٤ — ٤١)

المستعرض للمعادن أثناء عملية السحب (Drawing) خلال قالب (Die) وهو مايسمى بالسحب على البارد (Cold drawing) وفى هذه العملية يلاحظ أنه كلما إزداد السحب على البارد (أى ازداد النقص فى مساحة المقطع المستعرض) كلما زادت مقاومة المعدن للشد ونقصت مطوليته كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٤٢) .



INFLUENCE OF MODERATE COLD DRAWING ON TENSILE PROPERTIES OF ALLOY STEEL BARS

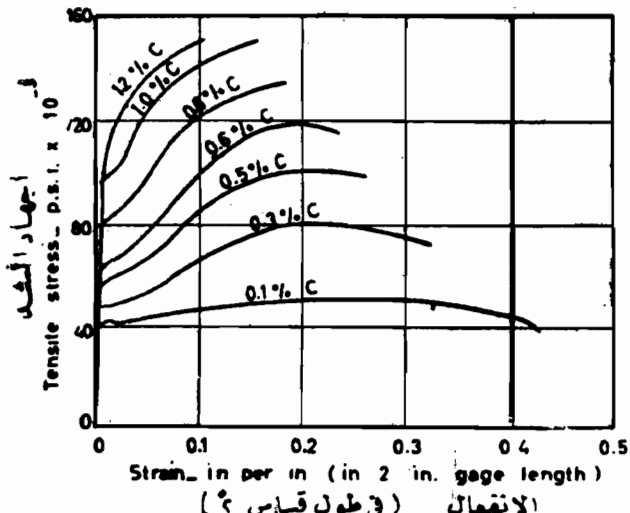
تأثير السحب المتوسط على البارد على خواص الشد لقضبان سبائك الصلب

شكل رقم (٤ — ٤٢)

ويفيد التشغيل على البارد فى الصناعة فى تحسين خواص الشد للمعادن مثل حالة كابلات الكبارى المعلقة (Suspension - bridge) وبعض أنواع اليايات المتفة (Coil springs) .

(ج) محتوى الكربون بالصلب (Carbon content in steel)

إن زيادة نسبة الكربون بالصلب يؤدى إلى تغيير خواصه فى الشد وذلك بزيادة



AVERAGE STRESS_STRAIN DIAGRAMS FOR HOT_ROLLED CARBON STEELS

متوسط بيانيات الاجهاد والانفعال للصلب الكربونى المدلفن على الساخن

شكل رقم (٤ — ٤٣)

حد التناسب وإجهاد الخضوع وأيضاً ازدياد مقاومة الشد ويكون ذلك مصحوباً بنقص فى الممطولية كما يتضح من الشكلين رقم (٤ — ٤٣) ، (٤ — ٤٤) .

ويمكن تحديد العلاقة بين مقاومة الشد ونسبة الكربون المئوية فى الصلب كما يلى :

١ — علاقة بوشنجر للصلب الكربونى :

مقاومة الشد بالطن على البوصة المربعة = ح

ح = ٢٧,٠٦ (١ + ك ٢)

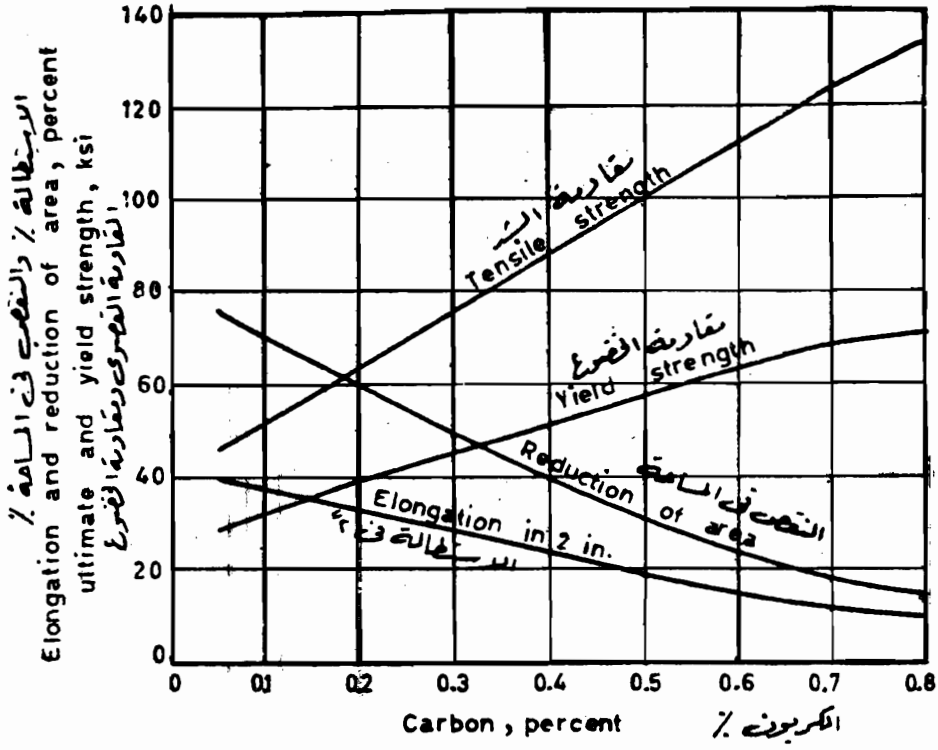
حيث ك تساوى النسبه المئوية للكربون فى الصلب الكربونى .

٣ — علاقة تجريبية عملية :

ح = (٥١ ك + ١٩) طن / بوصة ٢

(د) الحرارة : (Temperature)

إذا ارتفعت درجة حرارة المعادن أكثر من ٢٥٠ درجة مئوية فان مقاومة الشد

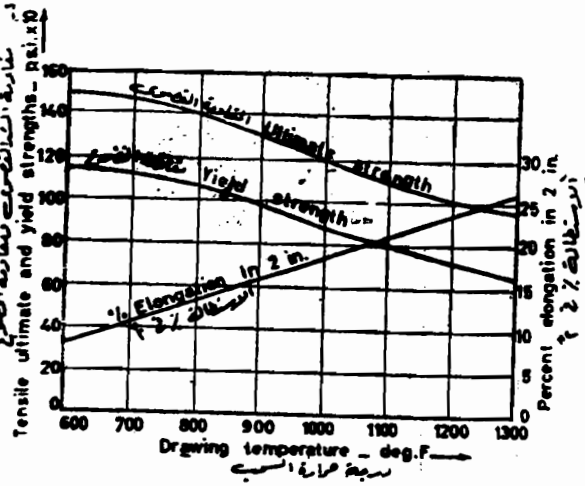


EFFECT OF CARBON ON TENSILE PROPERTIES OF HOT-WORKED CARBON STEELS.

تأثير الكربون على خواص الشد لأنواع الصلب الكربونى المشغلة على

شكل رقم (٤ — ٤٤)

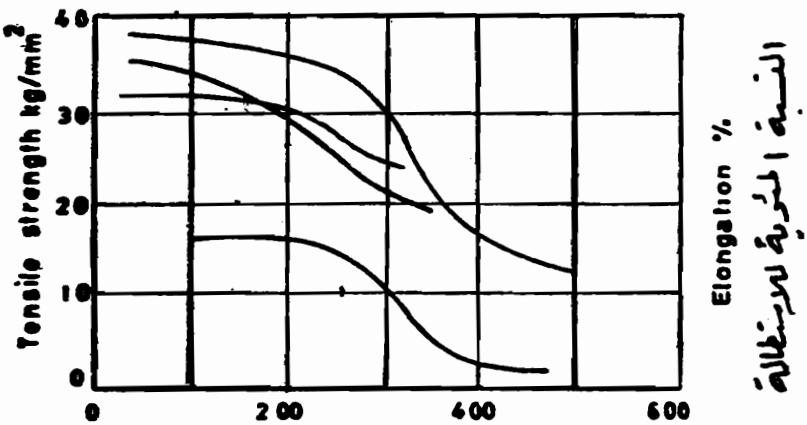
تقل بينما تزداد الممطولية حيث تتناسب مقاومة الشد عكسيا مع الحرارة بينما تتناسب الممطولية إطراديا معها. وتكون قيمة التغيير فى مقاومة الشد والممطولية بتأثير الحرارة مختلفة باختلاف نوع المعدن وكيفية تكوين جزيئاته ودرجة الحرارة كذلك فان معاير المرونة أى صلابة المعادن تقل بارتفاع الحرارة ويبين الشكل رقم (٤ — ٤٥) تأثير ارتفاع الحرارة على خواص الصلب فى الشد . وتؤثر الحرارة تأثيراً واضحاً وكبيراً على خواص المعادن غير الحديدية (Non-Ferrous Metals) بالنقص فى مقاومة الشد والزيادة المستمرة فى المطولية كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٤٦) .



INFLUENCE OF DRAWING TEMPERATURE ON 0.45% CARBON WATER QUENCHED STEEL.

أثير درجة حرارة السحب على صلب ٠,٤٥٪ كربون ومبرد بالماء

شكل رقم (٤ — ٤٥)



درجة الحرارة (مئوية)

تأثير الحرارة على مقاومة الشد لبعض المعادن غير الحديدية

شكل رقم (٤ - ٤٦)

(هـ) سرعة التحميل أثناء الاختبار : (Speed of testing)

تؤثر سرعة التحميل تأثيراً مباشراً ظاهراً على المعادن المطيلة حيث أن ازدياد السرعة يكون مصحوباً بزيادة فى مقاومة الشد ونقص فى الممطولية أما المعادن القصفة فقد لا يؤثر كثيراً تغير سرعة التحميل على نتائج اختبار الشد .

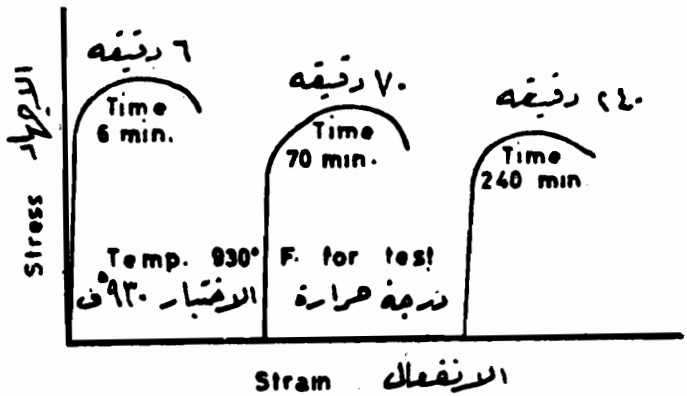
(و) مدة التحميل فى درجات الحرارة العالية (Time and temperature)

تؤثر مدة التحميل بالشد للمعادن فى درجات الحرارة العالية تأثيراً بيناً يتضح أثره فى النقص الواضح فى مقاومة الشد كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٤٧) .

(ز) المعاملة الحرارية : (Heat Treatment)

١ — التخمير والمراجعة : (Annealing & Normalizing) .

يحسن كل من التخمير والمراجعة مقاومة الشد للمعادن وإجهاد الخضوع قليلا وكذلك الممطولية حيث أنها تزيل الإجهادات المتخلفة (Residual Stresses) من داخل المعدن .



تأثير زمن التحميل والحرارة على المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال للمعادن

شكل رقم (٤ — ٤٧)

٣ ــ التسقية : (Quenching)

تزيد من مقاومة الشد كثيراً ولكنها تقلل المطولية .

٣ ــ التطبيع : (Tempering)

تحسن مقاومة الشد كثيراً كما تحسن مطولية المعدن وذلك بزيادة قيمة كل منهما ـ ويبين الجدول رقم(٤ ــ ٢)تأثير المعاملة الحرارية على خواص المعادن فى الشد ـ

جدول رقم (٤ ــ ٢) الخواص الميكانيكية فى الشد لبعض المعادن

المعدن	الحالة	الجهاد الخضوع أو٢ر.٪ إجهاد ضمان كجم/مم٢	مقاومة الشد كجم/مم٢	الاستطالة ٪	رقم برنل للصلادة
صلب طرى	مخمر	٢٩	٤٠	٣٣	١١٣
صلب متوسط الكربون	مخمر	٣٦	٥٨	٢٤	١٦٠
صلب عالى المقاومة	مخمر	٩٠	١٠٥	١٢	٢٧٥
صلب لايصدأ	مدلفن على البارد	٩٧	٧٨	١٠	٢٢٥
» »	» » الساخن	٣٢	٦٣	٣٠	١٧٠
حديد مطاوع	» » »	٢١	٣٤	٣٠	١٠٠
حديد زهر	مصبوب	—	١٨	٠,٥٠	١٨٠
سبيكة صلب نيكل ـ كروم	مسقى	١١٠	١٣٠	١١	٣٨٠
ألومنيوم نقى	مدلفن على البارد	١٣	١٥	١٦	٤٠
سبيكة ألومنيوم	معاملة حرارياً	٢٨	٤٤	٢٢	١٠٥
نحاس أحمر مطاوع	مسحوب على البارد	٣٨	٥٠	١٥	١٢٠
نحاس أحمر مصبوب	مصبوب	١١	٢٣	٢٥	٥٥
نحاس أصفر	مدلفن على البارة	٤٢	٥٢	٥	١٨٠
نحاس أصفر	مخمر	١٣	٣٤	٦٠	٥٥

تابع جدول رقم (٤ — ٢) — الخواص الميكانيكية فى الشد لبعض المعادن

المعـــدن	الحـــالة	إجهاد الخضوع أو ٢ ر.٪ إجهاد ضمان كجم / مم٢	مقاومة الشد كجم/مم٢	الاستطالة ٪	رقم برنل للصلادة
سبيكة برونز فوسفورى	مخمر	١٤	٣٥	٥٠	٦٠
سبيكة برونز فوسفورى	مدلفن على البارد	٥٣	٧٠	٣	٢٠٠
نيكل نقى	مخمر	٦	٣٣	٢٨	٨٥
نيكل مطاوع	مدلفن على البارد ومعامل حراريا	٦٧	٧٤	٥	٢١٠
الصفيح	مصبوب	١,٢	٢,٢	٧٠	٥
قصدير طرى	مصبوب	—	٤,٧	٥٠	١٤
سبيكة لحام	مدلفن على الساخن	—	١٤	٦٠	٣٥
سبيكة الزنك	» » البارد	—	٣٣	١٥	٨٠
» »	» » الساخن	—	٢١	٣٠	٦٥
الفضة النقية	مخمر	٨,٥	١٦	٤٥	٣٠
» »	مدلفن على البارد	٢٧	٣٠	٦	٩٠
الذهب النقى	مخمر	—	١٢	٤٥	٢٥
» »	مدلفن على البارد	٢٠	٢٢	٢٤	٦٠
البلاتين التجارى	مخمر	٤,٥	١٦	٢٩	٥٧
» »	مدلفن على البارد	١٩	٢٦	٣,٥	١١٣

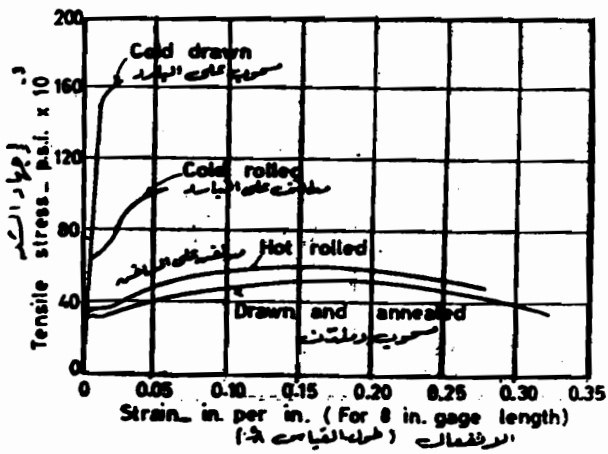
ح — **طرق الانتاج :**

تؤثر طريقة الإنتاج تأثيراً جوهرياً على خواص المعدن فى الشد فمثلا تشكيل المعدن بالدلفنة أو السحب على الساخن يجعل خواصه مختلفة تماماً عن حالة تشكيله بالدلفنة أو السحب على البارد حيث تزداد مقاومة الشد والرجوعية والصلادة وتقل المطولية

عند التشكيل على البارد عنها عند التشكيل على الساخن للمعدن الواحد كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٤٨) . كما أن مدى التشكيل بالسحب — الذى تعبر عنه النقص فى مساحة مقطع المعدن المسحوب — يؤثر على خواص الشد حيث تزداد المقاومة المرنة ومقاومة الشد وتقل المطولية بازدياد مدى السحب (أى بازدياد النقص فى مساحة القطع) كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٤٢) .

ط — نسبة الاضافات للمعدن الاصلى فى السبائك :

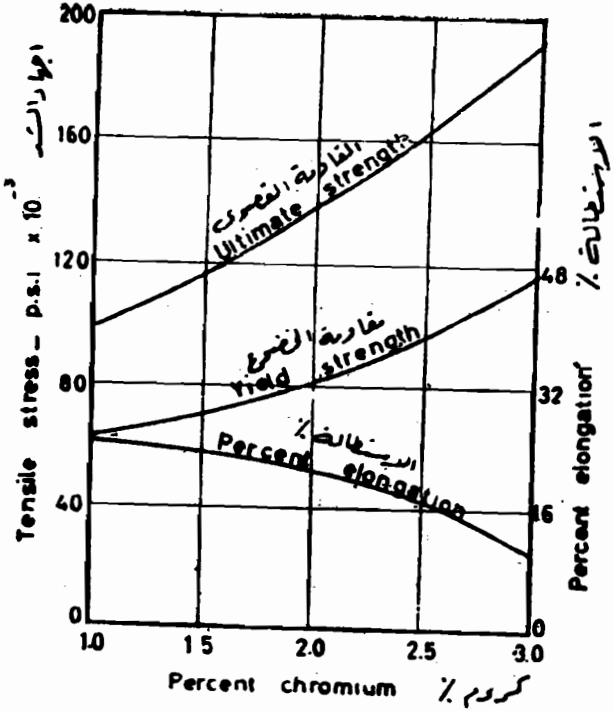
إذا أضيف معدن أو معادن إلى المعدن الأصلى لتكوين سبيكة فإن خواصها فى الشد تختلف تماماً عن المعدن الأصلى . وقد يكون الغرض من عمل السبيكة الحصول على مقاومة عالية فى الشد أكبر من مقاومة المعدن الأصلى وفى هذه الحالة غالباً ما يصاحب زيادة مقاومة الشد نقص فى المطولية كما أن زيادة نسبة المعدن المضاف بالسبيكة غالباً ما يزيد فى مقاومة الشد ، ويتضح ذلك من الأشكال رقم (٤ — ٤٩ ، ٤ — ٥٠ ، ٤ — ٥١ — ٤ — ٥٢) والتى تبين تأثير إضافة الكروم والتيتانيوم والموليبدنوم والمنجنيز على خواص الشد للصلب .



INFLUENCE OF FABRICATION UPON THE STRESS_ STRAIN RELATIONS FOR MEDIUM CARBON STEEL.

تأثير طرق الانتاج على بيانى الاجهاد والانفعال لصلب متوسط الكربون

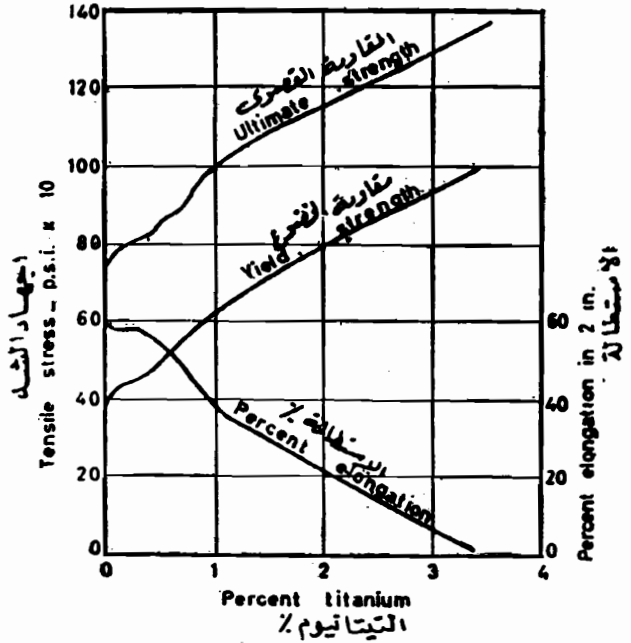
شكل رقم (٤ — ٤٨)



VARIATION OF PROPERTIES OF 0.3% NORMALIZED CARBON STEEL WITH PER CENT CHROMIUM

تغير خواص ٠,٣٪ صلب كربوني مراجع مع تغير النسبة المئوية للكروم

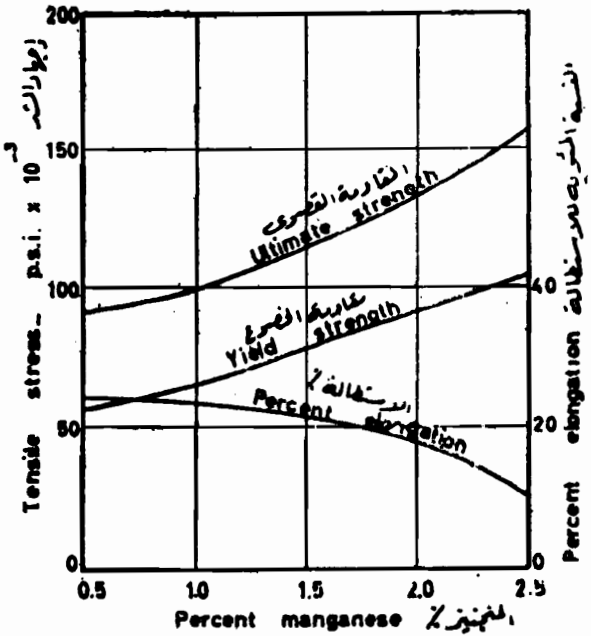
شكل رقم (٤ — ٤٩)



EFFECT OF TITANIUM ON PROPERTIES OF CAST CHROMIUM-NICKEL STEELS

تأثير التيتانيوم على خواص صلب النيكل كروم المصبوب

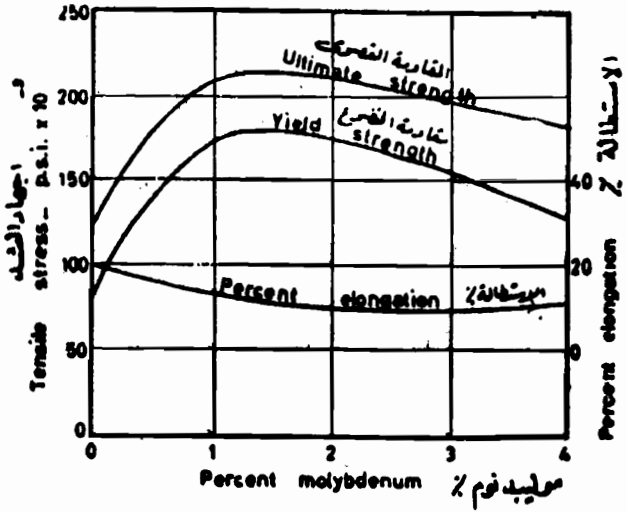
شكل رقم (٤ — ٥٠)



INFLUENCE OF MANGANESE ON PROPERTIES OF STEEL (NORMALIZED STEEL WITH 0.4%C)

تأثير المنجنيز على خواص الصلب (صلب معامل بـ ٤٠٠ كربون)

شكل رقم (٤ — ٥٢)



INFLUENCE OF MOLYBDENUM ON PROPERTIES OF STEEL (OIL-QUENCHED AND TEMPERED - CARBON 0.44 TO 0.55%)

تأثير الموليبدنوم على خواص الصلب (مسخن في الزيت ومطبوع بالحرارة ٤٤٠ إلى ٥٥٠ ٪)

شكل رقم (٤ — ٥١)

ى - شكل عينة الاختبار :

يؤثر شكل عينة الاختبار على خواص الشد تأثيراً بيناً فمثلا إذا أخذت عينات بأشكال مختلفة كما فى الشكل رقم (٤ — ٥٣) (حيث العينات ذات أقل مقطع مستعرض واحد ولكن مختلفة الأشكال) واختبرت تلك العينات فى الشد حتى الكسر فان المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال لكل عينة يختلف عن الأخرى وبالتالى جميع خواص الشد .

ك — شكل مقطع عينة الاختبار :

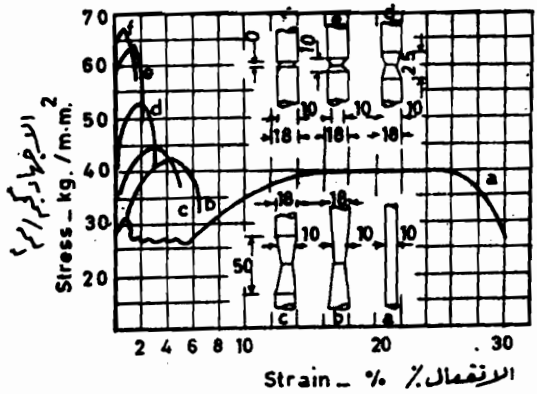
إذا اختلف شكل مقطع عينة الاختبار مع تساوى مساحته فى كل حالة فان خواص الشد تتأثر وتختلف من عينة لأخرى للمعدن الواحد حيث يعطى المقطع المستدير مقاومة أكبر من المقطع المستطيل كما يتضح من الشكل رقم (٤ — ٥٤) .

ل — المقاومة النوعية للشد : (Specific Tenacity)

عند تصميم بعض المنشآت والمكنات يلزم أن تتوافر فى المعادن المستخدمة أن تكون لها مقاومة شد مناسبة مصحوبة بخفة الوزن ، ومن أمثلة ذلك أعمال الطيران (Aircraft) ولذلك يفضل فى هذه الحالة المعدن الذى له أكبر مقاومة شد لوحدة الوزن — وتسمى هذه الخاصية وهى مقاومة الشد لوحدة الوزن بالمقاومة النوعية للشد — ويفوق معدن وسبائك الألومنيوم المعادن الأخرى فى هذه الخاصية كما يتبين ذلك من الجدول رقم (٤ — ٣) .

جدول رقم (٤ — ٣)
المقاومة النوعية للشد لبعض المعادن

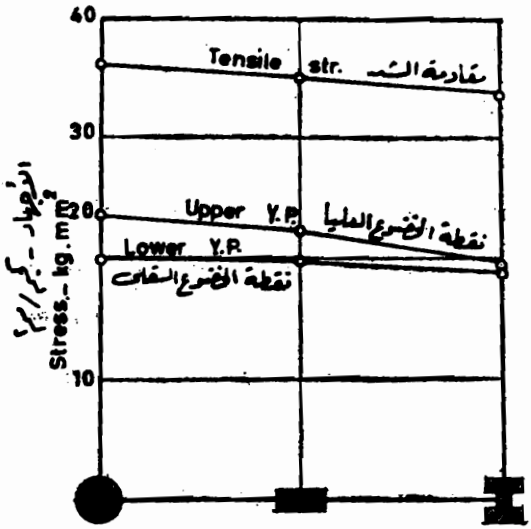
المعدن	مقاومة الشد (كجم / مم^2)	الوزن النوعى جم / سم^3	المقاومة النوعية للشد (كجم / مم^2 / جم)
الصلب الطرى	٤٠	٧,٨	٥,١٢
سبيكة ألومنيوم	٢٨	٢,٧	١٠,٤٠



EFFECT OF FORM OF SPECIMEN ON STRESS - STRAIN DIAGRAMS IN TENSION.

تأثير شكل عينة الاختبار على منحنى الاجهاد والأنفعال فى اختبار الشد

شكل رقم (٤ — ٥٣)



EFFECT OF SHAPE OF CROSS SECTION OF TENSILE SPECIMEN ON TENSILE PROPERTIES

تأثير شكل مقطع عينة الاختبار على خواص الشد

شكل رقم (٤ — ٥٤)

خامسا — اجهاد الشد والتشكيل فى حدود المرونة :

(Tensile Stress & Deformation in Elastic State)

١ — الاجهادو الانفعال فى الشد :

الإجهاد $= P / Ao = f$

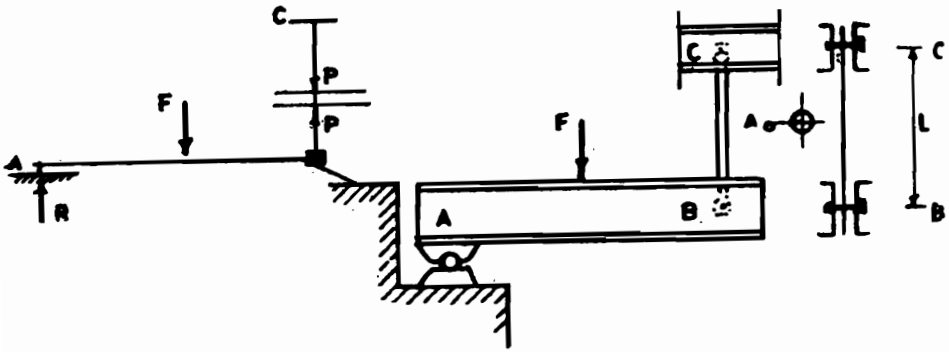
الانفعال $= \Delta L / Lo = e$

معاير المرونة $= (P / Ao) / (\Delta L / Lo) = E$

حيث P = حمل الشد ، Ao = مساحة المقطع المستعرض .

L = طول الجزء المحمل ، ΔL = الاستطالة الناتجة من التحميل .

وتطبق هذه المعادلات على أجزاء المنشآت المعرضة إلى قوى شد خالصة مثل أضلاع الجالونات (Truss members) أو أجزاء الربط أى الشدادات (Ties)، فمثلا يمكن تعيين الاجهاد والانفعال بالشداد BC المعلوم مساحة مقطعة A وطوله L لتذيجة تحميل الكمرة AB وذلك بعد تعيين القوة P الموجودة به على أساس أنها رد فعل لتحميل الكمرة ، كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٥٥) .



كمرة بسيطة محملة مرتكزة على الشداد B C

شكل رقم (٤ — ٥٥)

(ب) الاستطالة فى التشد :

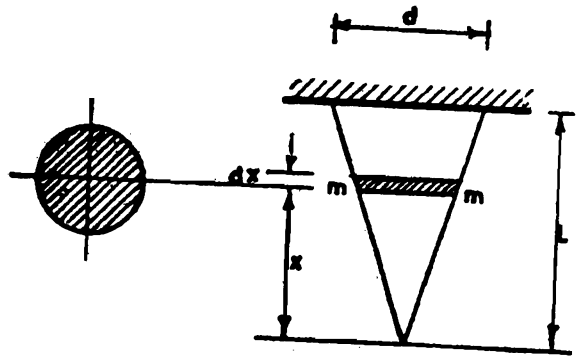
حيث أن معاير المرونة $E = \frac{P L}{A . \Delta L}$

فتكون قيمة الإستطالة $\Delta L = PL/AE$

وتعين إستطالة الأجزاء المعرضة لشد خالص على هذا الأساس فمثلا إستطالة قضيب مخروطى معلق رأسياً كما فى الشكل (٤ — ٥٦) وذلك نتيجة وزنه فقط إذا كان الوزن النوعى لمعدن القضيب هو W تكون كما يلى :

قوة الشد عند أى مقطع مستعرض m-m يبعد مسافة X عن النهاية الحرة للقضيب تساوى :

$$P = (\pi d^2 / 4 . L / 3 w) . x^3 / L^3$$



شكل رقم (٤ — ٥٦) قضيب مخروطى معلق رأسياً

حيث d = قطر قاعدة القضيب المخروطى المثبت .

L = طول القضيب .

W الوزن النوعى لمعدن القضيب .

أى أن : $P = \pi d^2 / 4 . W x^3 / L^2 . 3$

مساحة المقطع المستعرض (A) على مسافة x من النهاية الحرة للقضيب أى عند m — m تساوى

$$A = \pi d^2 / 4 . x^2 / L^2$$

وإذا اعتبرنا جزء (Element) من القضيب بطول d x فتكون استطالته d (ΔL) كالآتى :

$$d(\Delta L) = P.dx / A \cdot E$$

$$= (\pi d^2 / 4 \cdot wx^3 / 3L^2) \cdot dx \cdot (4/\pi d^2 \cdot L^2 / x^2) \cdot \frac{1}{E}$$

$$d(\Delta L) = wx / 3E \cdot dx$$

وتكون الاستطالة الكلية للقضيب Δ L تساوى :

$$\Delta L = {}_0\int^L w \cdot x / 3E \cdot dx = W / 3E \cdot {}_0\int^L x \cdot dx$$

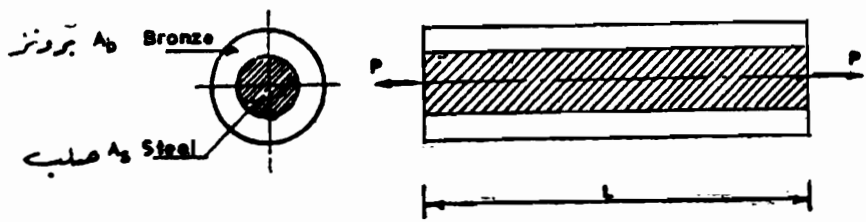
$$= w \cdot L^2 / 6E$$

(ج) تعيين الاجهاد والانفعال على أساس معرفة التشكل :

لا يمكن تطبيق معادلات الإجهاد والإنفعال مباشرة لتعيين قيمة كل من الاجهاد والانفعال فى حالة المسائل غير المحددة استاتيكيا (Statically indererminate) لذلك فانه إذا أخذ فى الاعتبار مدى تغير شكل الجسم وأجزائه فيمكن باستخدام ذلك مع المعادلات السابقة تعيين قيمة الاجهاد والانفعال .

مثال ١ :

القضيب المبين بالشكل رقم (٤ — ٥٧) يتكون مقطعة المستعرض من جزء داخلى من الصلب محاطا من الخارج بحلقة من البرونز فاذا كان طول القضيب L ، وحمل الشد المعرض له P ومساحة الجزء الصلب من المقطع A_s ومعاير المرونة له E_s ومساحة الجزء البرونز من المقطع A_b ومعاير المرونة له E_b وإذا أفترض أن القضيب له إستطالة موحدة أى أن إستطالة الجزء الصلب من القضيب تساوى إستطالة الجزء



شكل رقم (٤ — ٥٧) قضيب من الصلب محاط بحلقة من البرونز

البرونز . والمطلوب تعيين قوة الشد التى يتحملها كل جزء من الصلب والجزء البرونز وتعيين إستطالة القضيب .

حيث أن إستطالة الجزء الصلب = إستطالة الجزء البرونز .

= إستطالة القضيب .

$$\Delta L = P_s \cdot L / A_s \cdot E_s = P_b \cdot L / A_b \cdot E_b \quad \ldots\ldots (١)$$

حيث P_s = القوة التى يتحملها الجزء الصلب .

P_b = » » » » البرونز .

$$P = P_s + P_b \quad \ldots\ldots (٢)$$

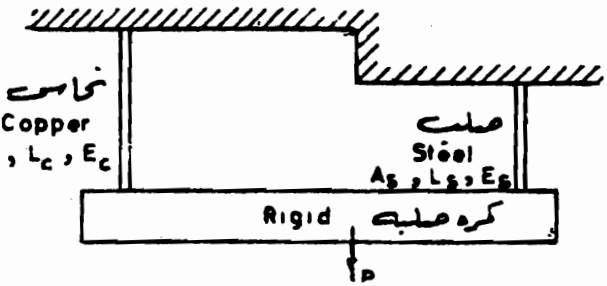
وبحل المعادلتين ١ ، ٢ ينتج أن :

القوة التى يتحملها الجزء الصلب $P_s = P . (A_s . E_s / A_s E_s + A_b E_b)$

القوة التى يتحملها الجزء الصلب $P_b = P . (A_b . E_b / A_s E_s + A_b E_b)$

مثال ٢ :

الكمرة a b من معدن جاسىء (Rigid) شكل رقم (٤ — ٥٨) بواسطة القضيبين



شكل رقم (٤ — ٥٨) كمرة صلبة معلقة بواسطة قضيبين من النحاس والصلب

S ، C من الصلب والنحاس على التوالى فاذا علم أن حركة الكمرة إلى أسفل نتيجة الحمل P لها قيمة واحدة عند كل من طرفى الكمرة أى أن إستطالة القيضب الصلب S تساوى إستطالة القضيب النحاس C وإذا علم أن :

طول القضيب الصلب L_s ، طول القضيب النحاس L_c

مساحة مقطع القضيب الصلب A_s ، مساحة مقطع القضيب النحاس A_c

معاير المرونة للصلب E_s ، معاير المرونة للنحاس E_c .

فالمطلوب تعيين قوة الشد بكل من القضيب الصلب والنحاس واستطالة كل منهما .

حيث أن إستطالة القضيب الصلب = إستطالة القضيب النحاس .

$$Ps \cdot Ls / As \cdot Es = Pc \cdot Lc / Ac \cdot Ec \quad \cdots\cdots\cdots (١)$$

وكذلك :

$$P = Ps + pc \quad \cdots\cdots\cdots (٢)$$

وبحل المعادلتين ١ ، ٢ يمكن معرفة Pc ، ps وتحديد استطالة كل من القضيبين .

(د) اجهادات التشغيل للاجزاء المعرضة لشد خالص :

(Working Stresses — Allowable Stresses)

$$\text{إجهاد التشغيل} = \frac{\text{إجهاد الخضوع}}{\text{عامل الأمان}} \text{ (للمعادن المطيلة)}$$

$$\text{إجهاد التشغيل} = \frac{\text{مقاومة الشد}}{\text{عامل الأمان}} \text{ (للمعادن عالية ومتوسطة المطولية أو المعادن القصفة)}$$

وتحدد قيمة عامل الأمان طبقاً لظروف تشغيل وتحميل ومدى سلامة الجزء موضوع التصميم

$$f_w = \frac{f_y}{n} \quad \text{or} \quad = \frac{f_u}{n}$$

حيث n = عامل الأمان بقيمة أكبر من الواحد الصحيح يحددها المصمم .

وإذا علم إجهاد التشغيل يمكن تعيين المساحة اللازمة لمقطع الجزء المعرض لحمل الشد المعلوم P أى أن :

$$f_w = \frac{P}{A} \cdot \quad A = P / f_w$$

سادسا : المواصفات القياسية

اختبار الشد للمعادن

Tensile Test of Metals

المجال :

الغرض من هـذه المواصفات القياسية هو تحديد الطرق التى تتبع لتعريض قطعة اختبار لإجهاد شد بقصد معرفة خواصها كما أنها تحدد أبعاد قطع الاختبار ، والطرق القياسية لإختبارها ، وتشمل تعريف الخواص التى قد يحاج إلى تعينها ، والاصطلاحات التى تستعمل لوصف الاختبار ، وقطع الاختبار .

تعاريف :

اختبار الشد :

هو تحميل قطعة الاختبار القياسية بحمل شد فى اتجاه محورى ، بشرط أن يكون الحمل موزعا توزيعا متساويا على المقطع المستعرض لقطعة الاختبار ، ويبدأ هذا الحمل من الصفر ، ويزداد تدريجيا حتى تنكسر قطعة الاختبار .

طول القياس :

هو الطول المحدد بالملليمتر من قطعة الاختبار غير المجهدة ، والذى تنسب إليه الاستطالة الناتجة من التحميل .

الاستطالة :

هى مقدار الزيادة بالملليمتر فى طول القياس عند أية مرحلة من مراحل اختبار الشد.

الرسم البيانى للحمل والاستطالة :

هو المنحنى الناتج من توقيع النقط المبينة للحمل مع الاستطالة المقابلة له أثناء اختبار الشد .

الإجهـــاد :

هو ناتج قسمة الحمل عند أية لحظة أثناء اختبار الشد على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار ويقدر بالكيلو جرام على الملليمتر المربع (كجم / مم^2)

الإنفعـال :

هو مقدار استطالة وحدة الطول فى طول القياس لقطعة الاختبار ، أى يساوى ناتج قسمة الاستطالة عند أية لحظة أثناء الاختبار على طول القياس ويقدر بالملليمتر على الملليمتر (مم / مم) .

الرسم البيانى للإجهاد والإنفعال :

هو المنحنى الناتج من توقيع النقط المبينة للإجهاد مع الإنفعال المقابل له أثنـاء اختبار الشد (شكل رقم ٤ — ٥٩) .

معاير المرونة :

هو قيمة الزيادة فى الإجهاد مقسومة على الزيادة فى الإنفعال المقابل له ، وذلك فى منطقة المرونة الممثلة بالجزء المستقيم من الرسم البيانى للإجهاد والإنفعال ، ويقدر بالكيلو جرام على الملليمتر المربع (كجم / مم ٢) .

إجهاد حد المرونة :

وهو أكبر إجهاد تتحمله قطعة الاختبار بشرط عدم بقاء أية استطالة دائمة بعد زوال هذا الإجهاد .

الخضـــوع :

هو زيادة الاستطالة بدون زيادة فى الحمل ، أى زيادة الانفعال بدون زيادة فى الإجهاد .

الإجهاد الأعلى للخضوع :

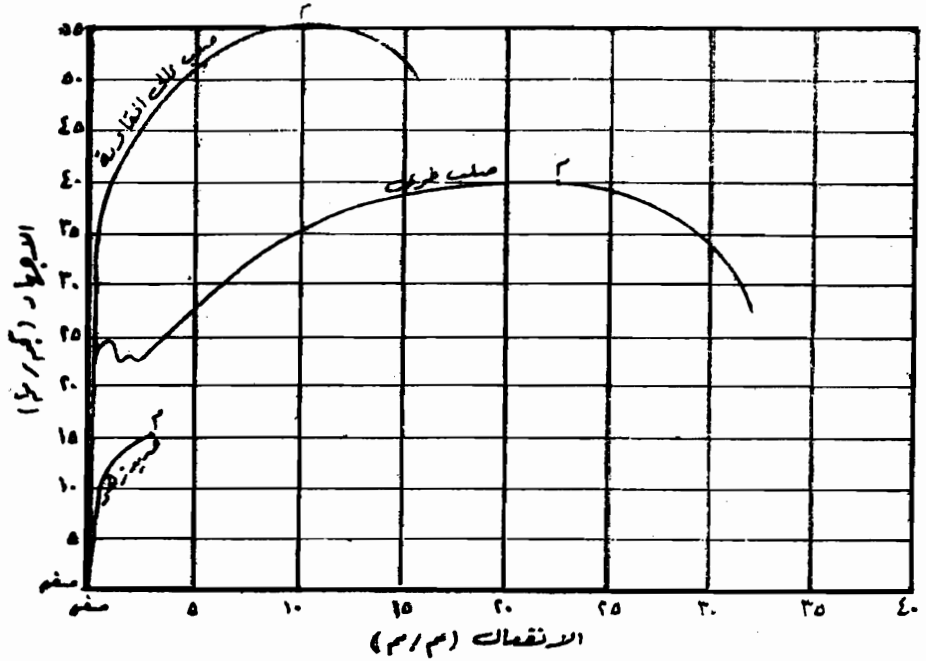
هو أعلى إجهاد فى منطقة الخضوع (شكل رقم ٤ — ٦٠) .

الإجهاد الأوطى للخضوع :

هو أقل إجهاد فى منطقة الخضوع (شكل رقم ٤ — ٦٠) .

إجهـاد الضمان :

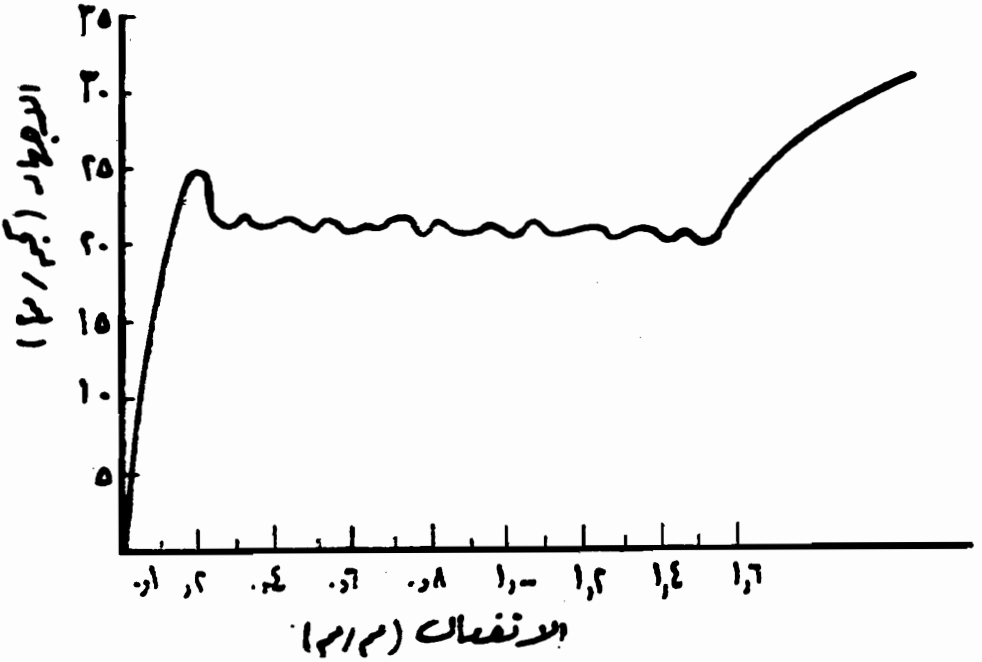
هو الإجهـاد الذى يحدث فى قطعة الاختبار أثنـاء تحميلها استطالة لاتناسبية مساوية لنسبة مئوية محددة من طول القياس (شكل رقم ٤ — ٦١) .



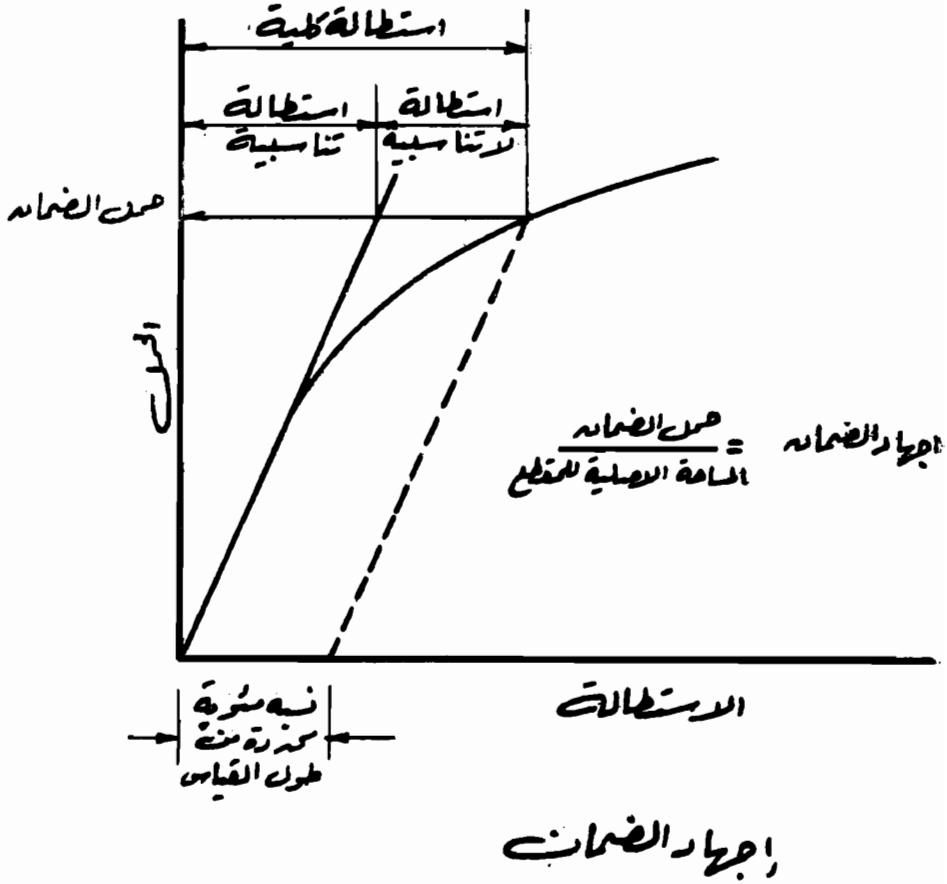
الرسم البياني للإجهاد والانفعال لبعض المعادن

ملحوظة : مقاومة الشد :- هي الإجهاد الناظر لنقطة (م)

شكل رقم (٤ — ٥٩)



شكل رقم (٤ — ٦٠) الإجهاد الأقصى والإجهاد الأدنى للخضوع



شكل رقم (٤ — ٦١)

الحمل الأقصى للشد :

هو أكبر حمل تتعرض له قطعة الاختبار أثناء اختبار الشد ويقدر بالكيلوجرام.

مقاومة الشد :

هو الاجهاد الأقصى لمقاومة المعدن للشد ، أى هو ناتج قسمة الحمل الأقصى للشد على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار (شكل رقم ٤ — ٥٩).

حمل الكسر :

هو الحمل المؤثر على قطعة الاختبار عند الكسر ويقدر بالكيلو جرام .

إجهاد الكسر :

هو ناتج قسمة حمل الكسر على المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار.

النسبة المئوية للاستطالة :

هى النسبة المئوية للاستطالة منسوبة إلى طول القياس .

$$\text{أى} = \frac{\text{طول القياس بعد الكسر} - \text{طول القياس}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠$$

النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع :

هى النسبة المئوية لأكبر نقص فى مساحة مقطع قطعة الاختبار بعد الكسر منسوبة إلى المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار .

$$\text{أى} = \frac{\text{المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار} - \text{مساحة أصغر مقطع مستعرض لقطعة الاختبار بعد الكسر}}{\text{المساحة الأصلية للمقطع المستعرض لقطعة الاختبار}} \times ١٠٠$$

قطع الاختبار القياسية :

تجهز قطعة الاختبار بأحد الأشكال المبينة فيما بعد ، ويحدد اختيار قطعة الاختبار المتناسبة شكل ومقاسات العينة التى ستجهز منها هذه القطعة وفيما يلى الأشكال المختلفة لقطع الاختبار القياسية .

أولا — قطع الاختبار المتناسبة :

هى قطع الاختبار التى تجهز من أى عينة بحيث تكون فيها النسبة بين طول القياس والجذر التربيعى لمساحة المقطع المستعرض مساويا لقيمة ثابتة ، وذلك لإمكان مقارنة قيم النسبة المئوية للإستطالة لقطع الاختبار ذات المقاسات المختلفة ويمكن أن يكون المقطع المستعرض لقطعة الاختبار المتناسبة مستديراً (*) أو مستطيلا (**) أو ذا شكل هندسى منتظم بحيث تكون العلاقة بين طول القياس (ل) ومساحة المقطع (م) كما يلى :

(ا) قطعة الاختبار القصير : $ل = ٥,٦٥ \sqrt{م}$

وفى حالة القطع المستديرة المقطع يكون : $ل = ٥ ق$

(ب) قطعة الاختبار الطويلة : $ل = ١١,٣ \sqrt{م}$

(*) يجب ألا يقل قطر قطعة الاختبار عن ٥ مم كلما أمكن ذلك .

(**) يجب ألا تزيد النسبة بين بعدى مقطع قطعة الاختبار على ٤ : ١ .

وفى حالة القطع المستديرة المقطع يكون ل = ١٠ ق

حيث : ق = قطر قطعة الاختبار .

وفى حالة إجراء اختبار الشد لتعيين خواص المرونة للمعدن حيث يلزم تثبيت أجهزة القياس على قطعة الاختبار ، يحسن استخدام قطعة الاختبار الطويلة .

وتنقسم قطع الاختبار المتناسبة إلى النوعين الآتيين :

(١) قطع اختبار غير مشكلة :

هى التى تقطع من العينة المقدمة وتكون مستوفية لشرط التناسب السابق ذكره بدون تعريضها لأية عملية من عمليات التشكيل .

ويجب ألا تقل المسافة بين كلابتى مكنة الاختبار عن ٧٦,٨٨ م م فى حالة قطع الاختبار القصيرة أو ١٣,٧٦ م م فى حالة قطعة الاختبار الطويلة أى ٦ أمثال القطر أو ١٢ مثلا للقطر على التوالى فى حالة القطع مستديرة القطع . أما الطول الكلى لقطعة الإختبار فيحدد تبعاً لطول كلابتى مكنة الاختبار .

(٢) قطع اختبار مشكلة :

قطعة الاختبار المشكلة هى التى تشكل من العينة المقدمة طبقاً للرسم المبين بالأشكال رقم (٤ — ٦٢) ، (٤ — ٦٣) ، (٤ — ٦٤) .

وتنقسم هذه القطع إلى ما يأتى :

ا — قطع الاختبار المتناسبة المستديرة :

تستخدم قطعة الإختبار المتناسبة المستديرة بصفة عامة عند إجراء إختبار الشد أما فى الحالات الخاصة فتستخدم قطعة الاختبار المبينة فيما بعد . ويبين الشكل رقم (٤-٦٢)

قطعة الاختبار المتناسبة المشكلة ذات المقطع المستعرض الدائرى والنهايتين الاسطوانيتين

شكل رقم (٤ — ٦٢)

والجدول رقم (٤ — ٤) أمثلة لمقاسات قطع الإختبار المتناسبة المشكلة ذات المقطع المستعرض الدائرى والنهايات الأسطوانية .

ق = قطر قطعة الاختبار .

ق١ = قطر النهاية (ويكون حوالى ١,٢ ق) .

ل١ = طول القياس (٥ ق) .

ل٢ = الطول المتوازى = ل + ق (على الأقل) .

ل٣ = الطول الكلى (ويحدد تبعاً لطول كلابتى مكنة الإختبار) .

ن = طول النهاية (ويحدد تبعاً لطول كلابتى مكنة الإختبار) .

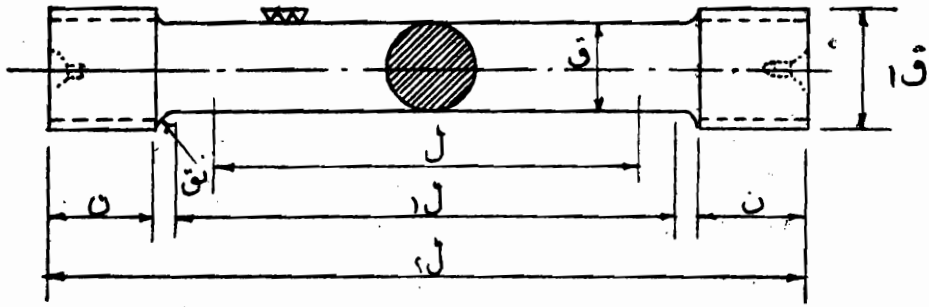
نق = نصف قطر دوران الانتقال من الطول المتوازى إلى نهاية قطعة الإختبار ولا يقل عن (ق) .

جـــدول رقم (٤ — ٤)

أمثلة لقطع الإختبار المتناسبة المشكلة ذات المقطع المستعرض الدائرى والنهايات الاسطوانية

قطر قطعة الاختبار ق مم	قطر النهاية ق١ مم	قطع الاختبار القصيرة		قطع الاختبار الطويلة	
		ل مم	ل١ مم	ل مم	ل١ مم
٦	٨	٣٠	٣٦	٦٠	٦٦
٨	١٠	٤٠	٤٨	٨٠	٨٨
١٠	١٢	٥٠	٦٠	١٠٠	١١٠
١٢	١٥	٦٠	٧٢	١٢٠	١٣٢
١٤	١٧	٧٠	٨٤	١٤٠	١٥٤
١٦	٢٠	٨٠	٩٦	١٦٠	١٧٦
١٨	٢٢	٩٠	١٠٨	١٨٠	١٩٠
٢٠	٢٤	١٠٠	١٢٠	٢٠٠	٢٢٠
٢٥	٣٠	١٢٥	١٥٠	٢٥٠	٢٧٥

وفى حالة الإختبارات التى تجرى لغرض الحصول على قياسات أدق لخواص المرونة يستحسن تشكيل قطعة الاختبار بنهايتين ملولبتين بالمقاسات المبينة بالشكل رقم (٤ — ٦٣) والجدول رقم (٤ — ٦) .



قطعة الاختبار المناسبة للشكلة ذات المقطع المستعرض الدائرى والنهايتين الملولبتين

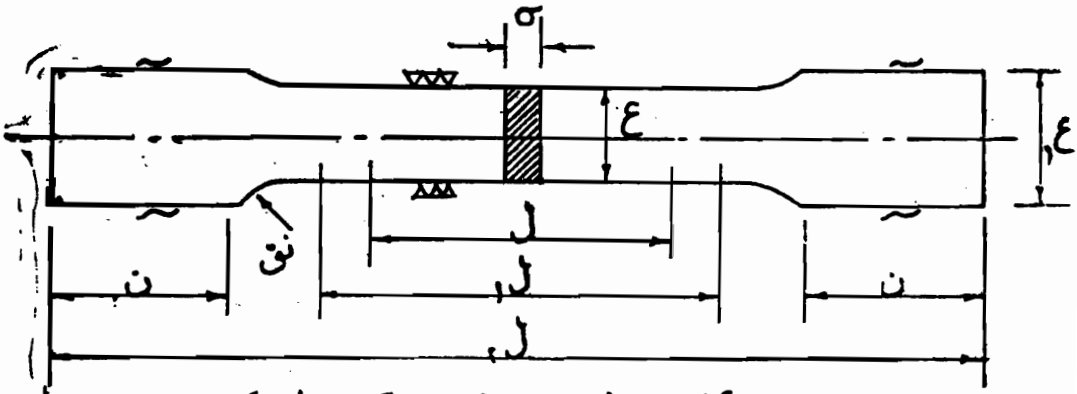
شكل رقم (٤ — ٦٣)

ق = قطر قطعة الاختبار ، ق١ = قطر اللولب ، ل = طول القياس
ل١ = الطول الكلى ، ل٢ = الطول المتوازى (ل + ق) على الأقل
ن = طول النهاية الطولية (لا تقل عن ¼ ق) ، وتحدد تبعاً لطول كلابة مكنة الاختبار
نق = نصف قطر دوران الانتقال من الطول المتوازى إلى نهاية قطعة الاختبار ولا يقل عن (ق) .

جـــدول رقم (٤ — ٥)

أمثلة لقطع الاختبار المتناسبة المشكلة ذات المقاطع المستعرضة الدائرية والنهايات الملولبة

قطر قطعة الاختبار ق مم	قطر اللولب ق١ مم	أصغر طول للولب ن مم	قطع الاختبار القصير		قطع الاختبار الطويلة	
			ل مم	ل١ مم	ل مم	ل١ مم
٦	١٠	٨	٣٠	٣٦	٦٠	٦٦
٨	١٢	١٠	٤٠	٤٨	٨٠	٨٨
١٠	١٦	١٢	٥٠	٦٠	١٠٠	١١٠
١٢	١٨	١٥	٦٠	٧٢	١٢٠	١٣٢
١٤	٢٠	١٧	٧٠	٨٤	١٤٠	١٥٤
١٦	٢٤	٢٠	٨٠	٩٦	١٦٠	١٧٦
١٨	٢٧	٢٢	٩٠	١٠٨	١٨٠	١٩٨
٢٠	٣٠	٢٤	١٠٠	١٢٠	٢٠٠	٢٢٠
٢٥	٣٣	٣٠	١٢٥	١٥٠	٢٥٠	٢٧٥



قطع الاختبار المتناسبة المطولة

شكل رقم (٤ — ٦٤)

٢ ــ قطع الاختبار المتناسبة المسطحة :

لإجراء اختبار الشد على الألواح والصفائح والخوص والقطاعات (*) والمواسير تستخدم قطع الاختبار المتناسبة وتجهز طبقاً للرسم المبين بالشكل رقم (٤ ــ ٦٤) والجدول رقم (٤ ــ ٦) .

س = سمك قطعة الاختبار ع = عرض قطعة الاختبار .

ل = طول القياس . ل$_1$ = الطول المتوازى (ل + ع) على الأقل .

ل$_2$ = الطول الكلى (ويحدد تبعاً لطول كلابتى مكنة الاختبار).

ن = طول النهاية (ويحدد تبعاً لطول كلابتى مكنة الاختبار) . ع$_1$ = عرض النهاية.

جـــدول رقم (٤ ــ ٦)

أمثلة لقطع الاختبار المتناسبة المسطحة

سمك قطعة الاختبار س	عرض قطعة الاختبار	مساحة المقطع القطعة م	قطع الاختبار الصغيرة		قطع الاختبار الطويلة	
			ل	ل	ل	ل$_1$
مم	مم	مم	مم	مم	مم	مم
٥	١٠	٥٠	٤٠	٥٠	٨٠	٩٩
٥	١٦	٨٠	٥٠	٦٥	١٠٠	١١٥
٦	٢٠	١٢٠	٦٠	٨٠	١٢٠	١٤٠
٧	٢٢	١٥٤	٧٠	٩٠	١٤٠	١٦٠
٨	٢٥	٢٠٠	٨٠	١٠٥	١٦٠	١٨٥
١٠	٢٥	٢٥٠	٩٠	١١٥	١٨٠	٢٠٥
١٠	٣١	٣١٠	١٠٠	١٣٠	٢٠٠	١٣٠
١٢	٢٦	٤١٢	١٠٠	١٢٥	٢٠٠	٢٢٥
١٥	٣٠	٤٥٠	١٢٠	١٥٠	٢٤٠	٢٧٠
١٨	٣٠	٥٤٠	١٢٠	١٦٠	٢٦٠	٢٩٠

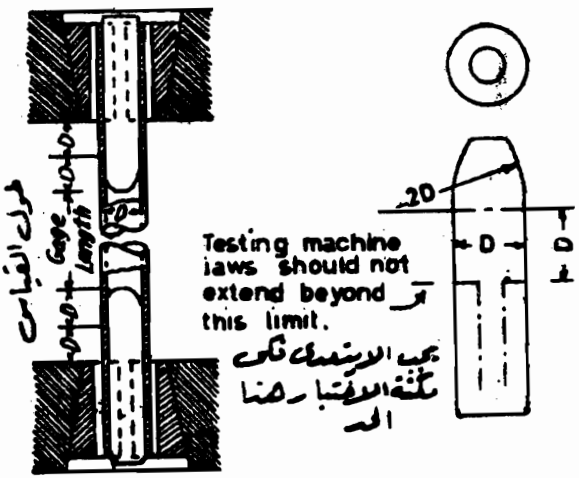
(*) يقصد بالقطاعات الزوايا والكمرات ذات المقاطع على هيئة حرف I أو T أو Z أو على هيئة مجرى ، أو أى قطاعات أخرى يوجد بها سطحان متوازيان .

ثانيا : قطع اختبار المواسير :

تجهز قطعة اختبار الشد للمواسير بإحدى الطرق الآتية :

(أ) اختبار جزء كامل من الماسورة :

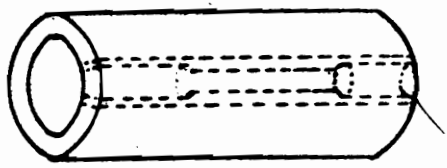
تجهز قطعة الاختبار بقطع جزء كامل من الماسورة بطول كاف بحيث لا تقل المسافة بين كلا من مكنة الاختبار عن طول القياس مضافا اليه أربعة أمثال القطر الداخلي للماسورة كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٦٥) ولإجراء اختبار الشد على هذا الجزء من الماسورة يسد طرفاها بأحكام بسدادة معدنية ، ويراعى أن يكون شكلها وطولها مناسبين كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٦٥) حتى لا تؤثر فى حرية استطالة قطعة الاختبار . وتحدد المواصفات الخاصة بمعدن الماسورة طول القياس لقطعة الاختبار .



شكل رقم (٤ — ٦٥) تفاصيل السدادة لاختبار الشد للمواسير

(ب) اختبار شرائط طولية من الماسورة :

تجهز قطعة الاختبار بقطع شريط طولى من الماسورة حسب مقاسات قطعة الاختبار المتناسبة المستطيلة المقطع ، والمبينة بالفقرة أولا من بند قطع الاختبار، أنظر كذلك الشكل رقم (٤ — ٦٦) . ويراعى عدم إجراء أية عملية تسوية على الجزء الأوسط لقطعة الاختبار ولكن يمكن عدل نهايتها (ن). ويمكن اعتبار مساحة مقطع الشريط الطولى للماسورة المختبرة مساوية لعرض القطعة (ع) مضروبا فى سمكها (س) أى = ع × س ،



شكل رقم (٤ ـ ٦٦)

قطعة اختبار على هيئة شريط طولى من الماسورة

ولحساب المساحة الحقيقية للقطع المستعرض لهذه القطعة يمكن استخدام المعادلة الآتية :

$$\text{المساحة} = \frac{1}{4}\left(\left(ق_1 - ع^2 + ق_1 \text{ جا}^{-1}\frac{ع}{ق_1}\right) - \right.$$

$$\left.\frac{1}{4}\left(ع\,ق_2\,ا - ع^2 + ق_2 \text{ جا}^{-1}\frac{ع}{ق}\right)\right).$$

حيث : $ق_1$ = القطر الخارجى للماسورة . $ق_2$ = القطر الداخلى للماسورة .

ع = عرض الشريط .

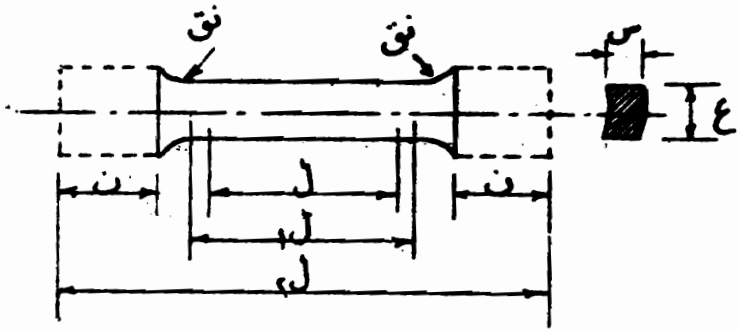
وذلك كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٦٧) .

كما يمكن وضع المعادلة السابقة فى الصورة الآتية :

$$\text{المساحة} = ع\,س\left(1 + \frac{ع^2}{6\,ق_1\,ق_2} + \frac{ع^4}{4\,ق_1^2\,.\,ق_2^2} + \ldots\ldots\right)$$

ويمكن عمليا الاكتفاء بالحدين الأولين من المعادلة السابقة فتكون :

$$\text{المساحة التقريبية} = ع\,س\left(1 + \frac{1}{4}\,\frac{ع^3}{ق_1 \times ق_2}\right).$$

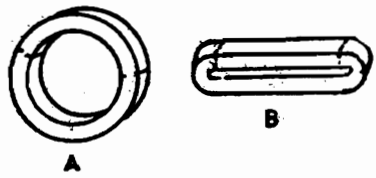


قطعة الاختبار للشرائط الطولية من المواسير

شكل رقم (٤ ـ ٦٧)

(ج) اختبار شرائط عرضية من الماسورة :

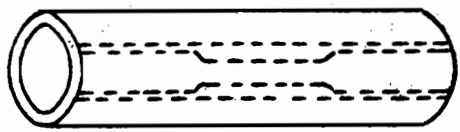
تجهز قطعة الاختبار بقطعة حلقة من إحدى طرفي الماسورة كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٦٨) ثم يؤخذ منها شريط يعدل قبل أو بعد فصله من الحلقة ، وتكون عملية العدل إما على الساخن أو على البارد ، فاذا كانت على البارد وجبت معالجة الشريط حراريا بتخميره ثم تجهز قطعة الاختبار من هذا الشريط حسب مقاسات قطع الاختبار المتناسبة المستطيلة المقطع والموضحة بالفقرة « أولا » من بند قطع الاختبار .



شكل رقم (٤ — ٦٨) شرائط عرضية من الماسورة

(د) اختبار المواسير ذات الجدران السميكة :

تجهز قطعة الاختبار بتشكيلها من جدار الماسورة — كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٦٩) حسب مقاسات قطع الاختبار المتناسبة المستديرة المقطع ، والموضحة بالفقرة « أولا » المشار إليها .



شكل رقم (٤ ـ ٦٩)
طريقة الحصول على قطعة الاختبار المواسير ذات الجدران السميكة

ثالثا — قطع اختبار الاسلاك :

يجري اختبار الشد على جزء من السلك كما هو بدون إجراء أى تجهيز له مالم ينص على غير ذلك .

وفى حالة قياس النسبة المئوية للاستطالة يكون طول القياس لقطعة اختبار السلك مساوياً للطول قدره ٢٥ سم ، وفى حالة وجود طول كاف من السلك يمكن أخذ طول القياس

مساوية ٦٥ , ٠ √م و ١١,٣ √م (حيث م تساوى مساحة مقطع السلك) .

أما فى حالة عدم قياس النسبة المئوية للاستطالة فيمكن أخذ أى طول مناسب من السلك بحيث لا تقل المسافة بين كلابتى مكنة الاختبار عن ٥ سنتيمتر وفى جميع الحالات يجب ألا يقع الكسر عند كلابتى مكنة الاختبار .

طريقة اجراء اختبار الشد

أ — تجهيز قطعة الاختبار

(١) فصل قطعة الاختبار من العينة .

يراعى فى طريقة فصل قطعة الاختبار من العينة ألا تتعرض لتغير فى شكلها أو لارتفاع فى درجة حرارتها إلا فى أضيق الحدود .

وفى حالة القضبان مستديرة المقطع التى لا يتجاوز قطرها ٣٠ ملليمتر يشترط أن يكون محور قطعة الاختبار المخروطة منطبقاً على محور القضيب ، أما إذا كان قطر القضيب أكثر من ٣٠ ملليمتر أو كانت العينة غير مستديرة المقطع فيتوقف تحديد محور المخرط على حجم وشكل العينة ، ويحدد ذلك المواصفات الخاصة بكل معدن .

وفى حالة العينات المسطحة يفضل فصلها بالمنشار . فاذا كان القطع . بالمقص أو باستخدام اللهب . فيراعى ترك مسافة مناسبة لعملية التشكيل التالية للقطع . ويجوز عدل العينة على البارد قبل تشكيلها إلا فى حالة اختبار لتعيين إجهاد الخمان . ولا تجرى على العينة أية معاملة أخرى إلا إذا نص على ذلك .

(٢) تشكيل وتشطيب قطعة الاختبار .

يجوز ترك سطح قطعة الاختبار على حالته بعد الدلفنة أو السحب أو البثق أو الصب، كما يجوز خرطه أو برده أو تجليخه ، وفى هذه الحالة يراعى تجنب الارتفاع الزائد فى درجة الحرارة أو تصلد قطعة الاختبار نتيجة التشغيل . كما يراعى إزالة الأحرف الحادة وآثار عملية الخرط ، وبصفة خاصة عند نقطة تماس الطول المتوازى مع دوران الانتقال إلى نهاية قطعة الاختبار .

(٣) تحديد طول القياس .

تحدد نهايتا طول القياس على خط يرسم على سطح قطعة الاختبار موازيا لمحورها

الطولى إما بالترنيب الخفيف أو بالخدش أو بالقلم أو البوية ويلاحظ فى حالة قطعة الاختبار المسطحة أن يكون الخط الطولى مرسوما فى منتصف العرض ، ويحسن تجنب الخدش أو الترنيب فى حالة المعادن ذات الحساسية العالية للخدش .

٤ - السماح فى مقاسات قطعة الاختبار :

يجب ألا يزيد التجاوز فى مقاسات قطعة الاختبار وفى طول القياس ± ٠,٥ ٪ ويجوز للسماح بتغير أقصاه ± ٥ ٪ فى مساحة المقطع عند حساب طول القياس لقطع الاختبار المتناسبة .

(ب) تثبيت قطعة الاختبار فى ماكنة الشد :

تثبت قطع الاختبار العادية بكلابات خابورية ، أما قطع الاختبار المشكلة فتثبت بواسطة كلابات خابورية أو ملولبة أو ذات أكتاف أو أية طريقة مناسبة لشكل قطع الاختبار . ويراعى أن يكون تثبيت قطع الاختبار بحيث يضمن محورية التحميل وخصوصاً فى حالة اختبار المعادق القصفة أو عند تعيين معاير المرونة أو إجهاد الخضوع أو إجهاد الضمان للمعادن المطيلة .

(ج) تحميل قطعة الاختبار :

يراعى أن تحمل قطع الاختبار تدريجياً ، وأن يكون معدل زيادة الحمل منتظما مع تجنب التحميل المفاجىء ، وفى حالة اختبار المعادن التى تتأثر خواصها بتغيير معدل التحميل ، يجب أن ينص على القيمة المناسبة لهذا المعدل فى المواصفات الخاصة بكل معدن

(د) نتائج الاختبار :

(١) اجهاد الخضوع

يوقع الرسم البيانى للإجهاد والانفعال لقطعة الاختبار ، ومنه يعين إجهاد الخضوع وهو إجهاد الخضوع الاوطى الموضح بالشكل رقم (٤ — ٥٩) ورقم (٤ — ٦٠)

وفى حالة عدم توقيع الرسم البيانى المذكور يكون إجهاد الخضوع هو الإجهاد المقابل لإحدى المشاهدات العملية الآتية :

١ — الزيادة المفاجئة فى طول القياس التى يستدل عليها باستعمال الفرجار .

٢ ــ السقوط المفاجىء لذراع مكنة الاختبار

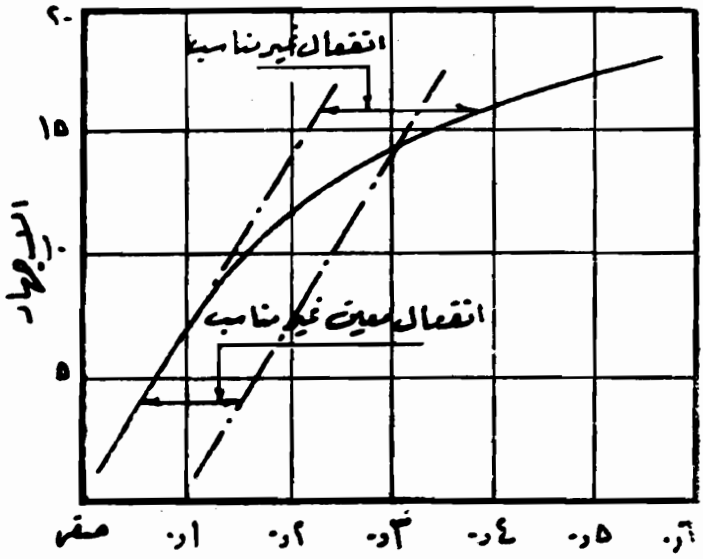
٣ ــ التذبذب فى حركة مؤشر مكنة الاختبار .

وفى حالة صعوبة الاستدلال على إحدى المشاهدات السابقة يعتبر إجهاد الخضوع هو الإجهاد المسبب لاستطالة قدرها ٠,٢٠ ٪ من طول القياس .

(٢) اجهاد الضمان :

يعين إجهاد الضمان من الرسم البيانى للإجهاد والانفعال للمعادن المطيلة التى ليست لها منطقة خضوع واضحة (مثل الصلب عالى المقاومة المبين بالشكل رقم (٤ ــ ٥٩) ويكون ذلك برسم خط مواز للجزء المستقيم من الرسم البيانى بحيث تكون المسافة بين الخطين مساوية للنسبة المئوية المطلوبة للانفعال ثم يعين إجهاد الضمان بتحديد الإجهاد المقابل النقطة تقاطع الخط المرسوم مع الرسم البيانى كما هو مبين بالشكل رقم (٤ ــ ٧٠) .

وعند الإشارة إلى إجهاد الضمان أو النص على تعيينه يجب أن تذكر النسبة المئوية



طريقة تعيين إجهاد الضمان

(شكل رقم (٤ ــ ٧٠)

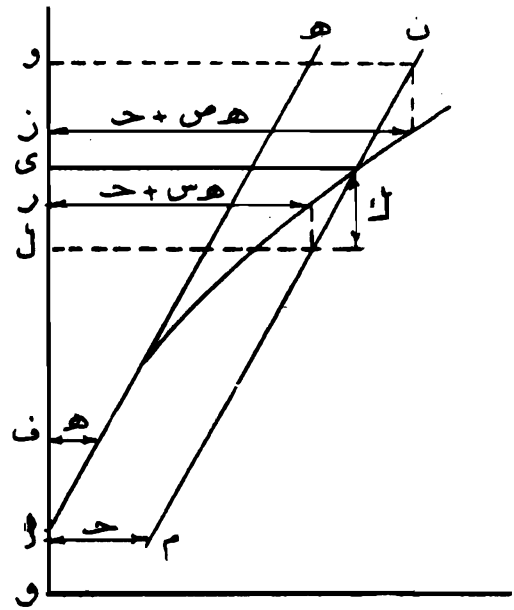
للانفعال المحدد (مثلا : إجهاد ضمان ١٠ , ٠ ٪) ويراعى عند أخذ قياسات الاجهاد والانفعال أن يترك التحميل عند كل قراءة مدة كافية حتى تثبت قيمة الاستطالة. وأن يكون جهاز قياس الإستطالة المستخدم دقيقاً بحيث يبين إستطالة قيمتها ٠٥ , ٠ من طول القياس.

وفى الحالات التى يكون فيها الجزء المستقيم من الرسم البيانى للاجهاد والانفعال غير محدد تحديداً كافياً بحيث يسمح بتعيين إجهاد الضمان بالطريقة سالفة الذكر ، يعين بدلا منه الاجهاد المسبب لإنفعال دائم ذى قيمة محددة ، وذلك بتحميل قطعة الاختبار بأحمال متزايدة على التتابع مع مراعاة أن يترك الحمل فى كل مرة ١٠ ثوان تقريباً على قطعة الاختبار ثم يرفع بعدها ، ويستمر التحميل ورفعه إلى أن تزيد الإستطالة الدائمة المقيسة على قطة الاختبار عن قيمة النسبة المئوية المحددة للانفعال . ويعين الاجهاد المطلوب بطريقة التوسط إن لزم الأمر ، وعند الاشارة أو النص على تعيين هذا الاجهاد يجب أن تذكر النسبة المئوية المحددة للانفعال الدائم (مثلا : إجهاد مسبب لإنفعال دائم ٢٠ , ٠ ٪) .

ولتثبيت جهاز قياس الاستطالة ، يسمح بتعريض قطعة الاختبار لإجهاد شد ابتدائى صغير على أن تسجل القراءات التالية مع وجود هذا الاجهاد مؤشراً على قطعة الاختبار ، وعلى ألا يزال فى أية لحظة أثناء إجراء الاختبار . وقد يستدعى الحال فى بعض المعادن أن تحدد أكبر قيمة لهذا الاجهاد الابتدائى ، وفى مثل هذه الحالات يجب أن تحدد أكبر قيمة له فى المواصفات القياسية الخاصة بالمعدن .

ويمكن تعيين قيمة تقريبية لإجهاد الضمان بدون توقيع الرسم البيانى للاجهاد والانفعال بطريقة النقط الأربعة الآتية :

لبيان هذه الطريقة نفرض أن الشكل رقم (٤ — ٧١) يمثل الرسم البيانى للاجهاد والانفعالى لقطعة الاختبار . وأن الخط م مواز للجزء المستقيم (أ هـ) من الرسم البيانى حيث المسافة (جـ) تساوى الانفعال المحدد غير المتناسب والمسافتان (و ل) ، (و د) تمثلان الحدين الأدنى والاقصى لقيمة إجهاد الضمان المبينة بمواصفات المعدن المختبر (على أن يفرض الحد الأقصى فى حالة عدم تحديده) ومن ثم يمكن تعيين إجهاد الضمان باتباع الخطوات الآتية :



طريقة النقط الأربعة لتعيين اجهاد الضمانه

شكل رقم (٤ - ٧١)

١ — تحمل قطعة الاختبار باجهاد شد ابتدائى صغير (و ا) ثم يركب جهاز قياس الاستطالة بحيث تكون قراءته صفراً عند هذا الوضع .

٢ — يزاد الحمل إلى أن يصل الاجهاد إلى قيمة مناسبة (و ف) ويسجل الانفعال (هـ)

ملاحظة : يفضل أن يكون ا ف $= \frac{\text{ا ل}}{\text{س}} = \frac{\text{ا د}}{\text{ص}}$ حيث س ، ص عددان صحيحان .

٣ — يزداد الحمل على قطعة الاختبار إلى أن يصل الانفعال إلى قيمة معينة تساوى (هـ س + جـ) يسجل الاجهاد المقابل (و ر)

٤ — يستمر فى زيادة الحمل على قطعة الاختبار إلى أن يصل الانفعال إلى قيمة معينة تساوى (هـ ص + جـ) ويسجل الاجهاد المقابل (و ز) فاذا كانت قيمة الاجهاد المسجل (و ر) أعلى من الحد الأدنى (و ل) ، وكانت قيمة الاجهاد المسجل (و ز) أقل من الحد الأقصى (و د) فيكون إجهاد ضمان المعدن المختبر فى هذه الحالة متفقاً

مع شروط المواصفات ولتعيين قيمة تقريبية لإجهاد الضمان (و ى) بطريقه النقط الأربعة تستخدم المعادلة الآتية .

$$\text{وى} = \text{و ل} + \text{ك} \quad \text{حيث ك} = \frac{(\text{ور} - \text{و ل}) \times (\text{ود} - \text{ول})}{(\text{ور} - \text{و ل}) + (\text{ود} - \text{وز})}$$

(٣) مقاومة الشد:

يعين أكبر حمل تتعرض له قطعة الاختبار ثم تحسب مقاومة الشد بقسمة هذا الحمل على مساحة مقطعها المستعرض الأصلى .

(٤) النسبة المئوية للاستطالة:

لتعيين النسبة المئوية للاستطالة ، يقسم طول القياس (ل) إلى عدد زوجى من الأقسام المتساوية لا يقل عن ثمانية ، وليكن (٢ ف) وتعين النسبة المئوية للاستطالة بعد تحديد الزيادة فى طول القياس ، وذلك بعد كسر قطعة الاختبار كما يلى :

$$\text{النسبة المئوية للاستطالة} = \frac{\text{الزيادة فى طول القياس}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{\text{ل}_{\text{ـ}} - \text{ل}}{\text{ل}} \times ١٠٠$$

حيث ل$_{\text{ـ}}$ = طول القياس .

ل = طول القياس بعد كسر قطعة الاختبار .

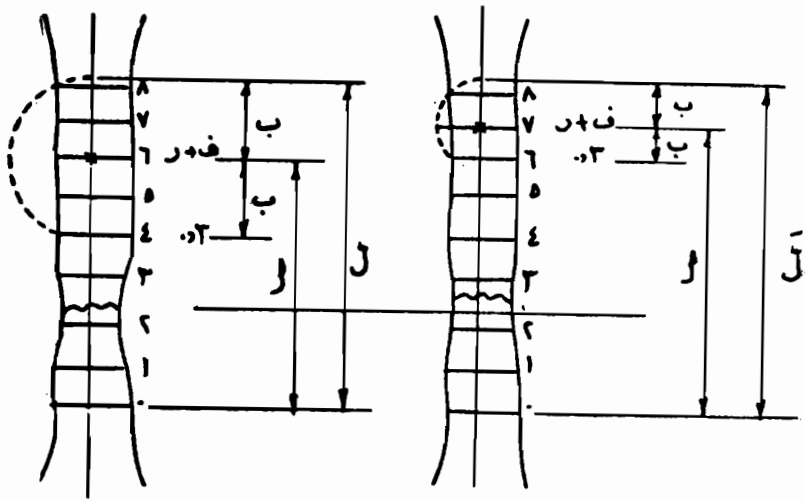
ويراعى عند تحديد طول القياس النهائى لطول القياس ضرورة تلاصق جزأى قطعة الاختبار المكسورة تلاصقاً تاماً ، كما يجب عند بيان النسبة المئوية للاستطالة أن يذكر شكل قطعة الاختبار وقطرها أو مساحة مقطعها ، وطول القياس المستعمل ولكى تكون النسبة المئوية للاستطالة المحسوبة ممثلة للقيمة الكاملة لاستطالة قطعة الاختبار فيجب أن يقع الكسر فى الثلث الأوسط من طول القياس . أما إذا وقع الكسر خارج هذه المنطقة وكانت النسبة المئوية للاستطالة المحسوبة لا تقل عن الحد الأدنى لقيمة النسبة المئوية للاستطالة المنصوص عليها فى مواصفات المعدن المختبر، فيمكن الأخذ بنتيجة الاختبار فى قبول العينة وذلك رغم أن النسبة المئوية للاستطالة المحسوبة لا تمثل الاستطالة الكاملة لقطعة الاختبار . أما إذا وقع الكسر خارج الثلث

الأوسط لطول القياس ، وكانت النسبة المئوية للاستطالة المحسوبة أقل من الحد الأدنى المنصوص عليه فى مواصفات المعدن المختبر فيجب استبعاد هذه النتيجة وعندئذ يلزم إعادة الاختبار على المعدن أو اتباع الطريقة الآتية لحساب النسبة المئوية للاستطالة الكاملة فى قطعة الاختبار .

إذا وقع الكسر داخل طول القياس على مسافة ($\frac{ل}{٣}$) مقسمة من علامة أقرب نهاية لطول القياس (يرمز لهذه العلامة بالقدر صفر) تعد الأقسام من هذه العلامة حتى موضع الكسر وليكن عددها يساوى (و) ثم يستمر فى عد الأقسام حتى القسم (٢ و) وكذلك إلى القسم (ف + و) ثم تقاس المسافة بين العلامتين صفر ، (ف + و) وليكن طولها (ا) كما تقاس المسافة بين العلامتين (٢ و)، (ف + و) وليكن طولها (ب) وحينئذ يمكن اعتبار طول القياس النهائى (ل) مساوياً للقيمة (ا + ب) وتكون النسبة المئوية للاستطالة .

$$= \frac{ا + ب - ل}{ل_٣} \times ١٠٠$$

ويبين الشكل رقم (٤ — ٧٢) مثال لتطبيق هذه الطريقة .



طريقة قياس الاستطالة

شكل رقم (٤ — ٧٢)

(هـ) النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع :

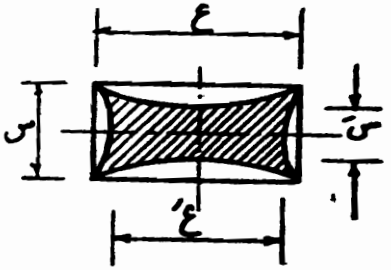
تعين النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع بقياس أبعاد أصغر مقطع فى قطعة الاختبار بعد كسرها ثم تحسب هذه النسبة كما يلى .

النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع $= \frac{م - م'}{م} \times ١٠٠$

حيث م = المساحة الأصلية لمقطع قطعة الاختبار .

، م' = مساحة أصغر مقطع فى قطعة الاختبار بعد الكسر .

ويراعى فى تحديد أبعاد أصغر مقطع لقطعة الاختبار بعد الكسر قياس أصغر قطر فى حالة قطع دائرية المقطع ، أما فى حالة قطع الاختبار المسطحة فيقاس أصغر عرض (ع) وأصغر سمك (س) للمقطع كما هو مبين بالشكل رقم (٤ — ٧٣) وتعتبر مساحة أصغر مقطع مساوية القيمة (ع' × س') .



شكل رقم (٤ — ٧٣)

امثلة محـــلولة

١ ــ أجرى اختبار الشد على قطعة اختبار قياسية متناسبة قصيرة من الصلب ذات مقطع مستدير قطرها ٢٠ مم . وكانت قراءات الحمل (بالطن) والاستطالة المقابلة (م) كما يلى .

الحمل (طن)	٣,٧٥	٧,٥	٧,٥	٨,٥	١١	١٢	١٢,٥	١١,٥	١٠
الاستطالة (مم)	٠,٠٦	٠,١٢	١,٤	٤	١٢	١٨	٢٤	٢٩	٣٢

ارسم منحنى الحمل والاستطالة ثم عين مايلى :

(ا) اجهاد الخضوع (ب) مقاومة الشد (حـ) النسبة المئوية للاستطالة .

(ء) معاير المرونة (هـ) معاير الرجوعية (و) معاير المتانة

الحـل :

$$\text{مساحة المقطع الاصلى} = \frac{\text{ط} (٢٠)^{٢}}{٤} = ٣١٤ \text{ مم}^{٢}$$

$$\text{(ا) إجهـــاد الخضوع} = \frac{٧٥٠٠}{٣١٤} = ٢٣,٩٥ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{(ب) مقـــاومة الشـد} = \frac{١٢٥٠٠}{٣١٤} = ٣٩,٩٠ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

لقطعة الاختبار المتناسبة القصيرة طول القياس يساوى خمسة أمثال القطر

$$\therefore \text{ طول القياس} = ٥ \times ٢٠ = ١٠٠ \text{ مم}$$

$$\text{(حـ) النسبة المئـــوية للاستطالة} = \frac{٣٢}{١٠٠} \times ١٠٠ = ٣٢ \%$$

$$\text{(ء) معاير المرونة} = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{الانفعال}} \text{ (فى حدود المرونة)}$$

$$\therefore \text{معاير المرونة} = \frac{٣٧٥٠}{٣١٤} \div \frac{٠,٠٦}{١٠٠٠} = ١٩٩٨٠ \text{ كجم / مم}^{٢} .$$

$$\text{(هـ) معاير الرجوعية} = \frac{١}{٢} \times \text{إجهاد حد التناسب} \times \text{الانفعال عند حد التناسب}$$

$$= \frac{١}{٢} \times \frac{٧٥٠٠}{٣١٤} \times \frac{٠,١٢}{١٠٠} = ٠,٠١٣٨ \text{ كجم مم / مم}^{٣} .$$

(و) معاير المتانة = المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والاستطالة / حجم العينة

= (حمل الخضوع + الحمل الأقصى / ٢) × الاستطالة القصوى / حجم العينة

= ١ / (١٠٠ × ٣١٤) × ٢٢ × (١٢٥٠٠ + ٧٥٠٠ / ٢)

= ١٠,٢ كجم . مم / مم٣

شكل رقم (٤ — ٧٤) يبين منحنى الحمل والاستطالة .

٢ — أجرى اختبار الشد على عينة قياسية متناسبة طويلة مستديرة المقطع من الصلب الطرى وقد سجلت القراءات الآتية :

حمل حد التناسب = ٤,٥ طن — حمل الخضوع = ٥ طن

الحمل الأقصى = ٧,٥ طن — الاستطالة الكلية = ٤٨ مم

القطر الأصلى للعينة = ١٥,٩ مم — قطر العينة عند مقطع الكسر = ٤٨ مم

ارسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة ثم عين ما يأتى :

إجهاد الخضوع — مقاومة الشد — النسبة المئوية للاستطالة — معاير المتانة — الانقباض الحقيقى عند حمل الكسر .

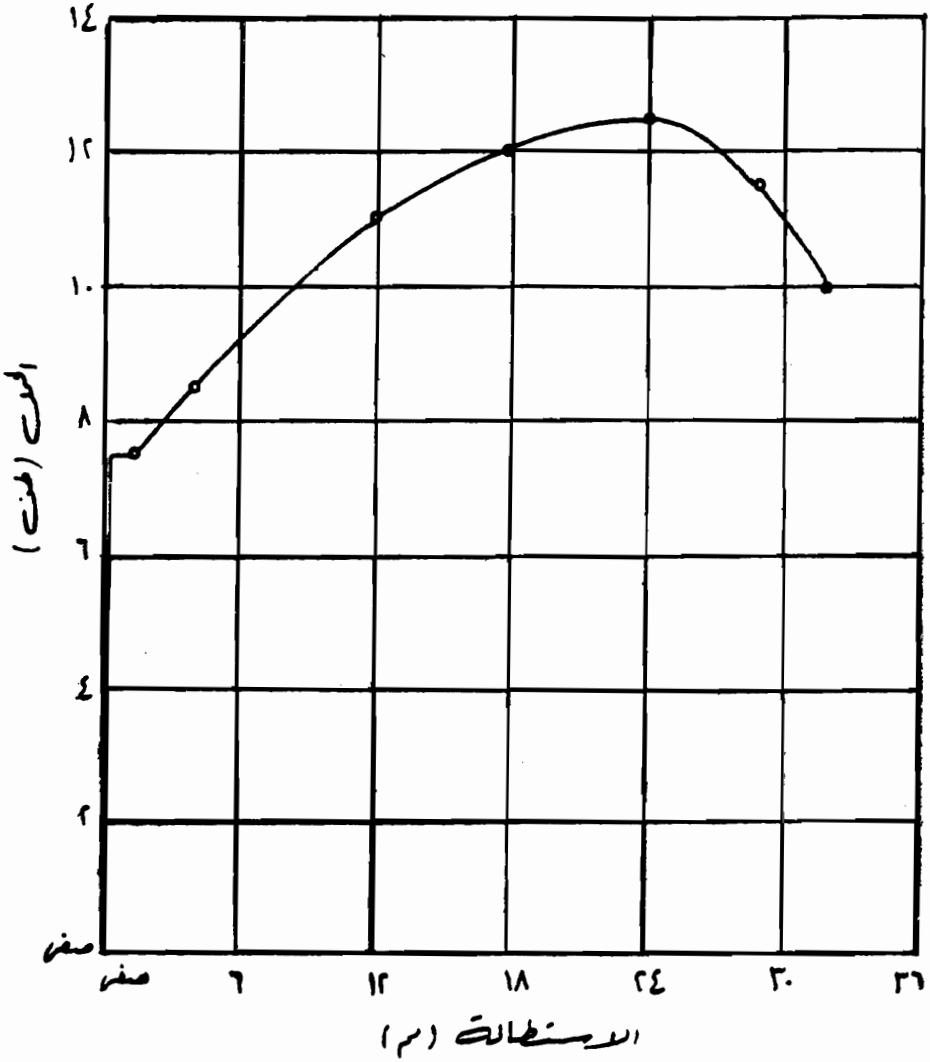
الحـــل :

مساحة المقطع الأصلى = ط . (١٥,٩)٢ / ٤ = ٢٠٠ مم٢

إجهاد الخضوع = حمل الخضوع / مساحة المقطع الأصلى = ٥٠٠٠ / ٢٠٠ = ٢٥ كجم / مم٢

مقاومة الشد = الحمل الأقصى / مساحة المقطع الأصلى = ٧٥٠٠ / ٢٠٠ = ٣٧,٥ كجم / مم٢ .

حيث أن العينة قياسية متناسبة طويلة .



شكل رقم (٤ — ٧٤) المنحنى البيانى للحمل والاستطالة

∴ طول القياس = ١٠ × ١٥,٩ = ١٥٩ مم .

$$\text{والنسبة المئوية للاستطالة} = \frac{\text{الاستطالة الكلية}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠ =$$

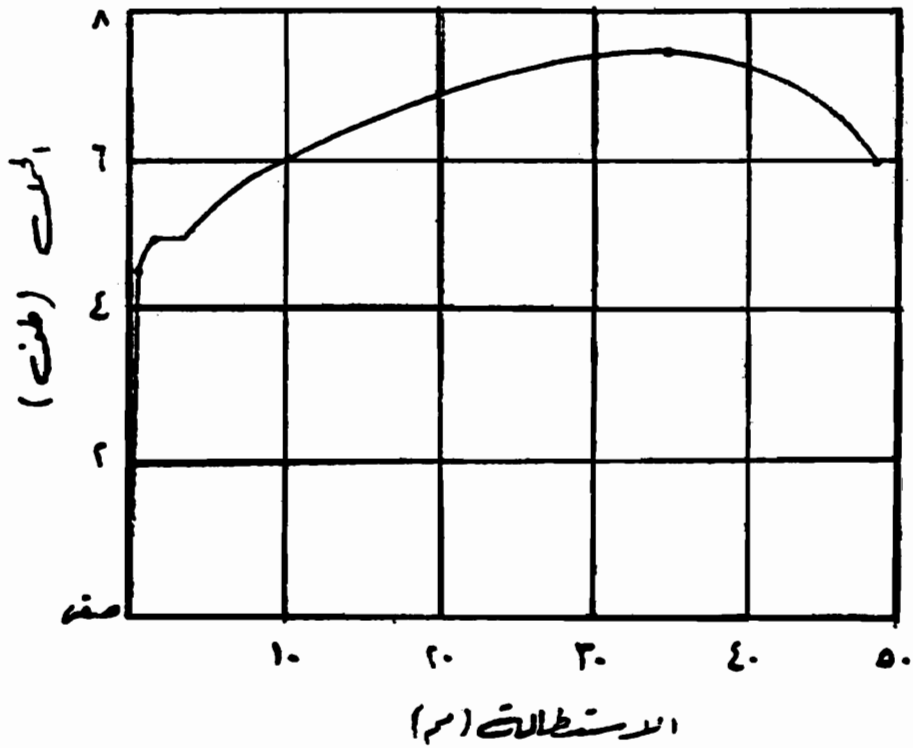
$$= \frac{٤٨}{١٥,٩} \times ١٠٠ = ٣٠ \text{ ٪}$$

$$\text{معاير المتانة} = \frac{\frac{1}{2}(\text{حمل الخضوع} + \text{الحمل الأقصى}) \times \text{الاستطالة الكلية}}{\text{حجم العينة}} =$$

$$= \frac{\frac{1}{2}(٥٠٠٠ + ٧٥٠٠) \times ٤٨}{٢٠٠ \times ١٥٩} = ٩,٤٤ \text{ كجم مم/مم}^٣$$

$$\text{الانفعال الحقيقى عند الكسر} = ٢ \text{ لو} \left(\frac{\text{القطر الأصلى}}{\text{القطر عند الكسر}}\right) = ٢ \text{ لو} \frac{١٥,٩}{٨} = ١,٣٨٦٠$$

شكل رقم (٤ — ٧٥) يبين رسماً تخطيطياً لمنحنى الحمل والاستطالة .



شكل رقم (٤ — ٧٥) المنحنى البيانى للحمل والاستطالة

٣ — أجرى اختبار شد على قطعة اختبار من الألومنيوم قطرها ١ سم وطول القياس ٥ سم ، وكانت الأحمال بالكيلو جرام والاستطالة المقابلة لها بالملليمتر كما رصدت أثناء الاختبار كما يلى :

الحمل : كجم	صفر	٢٠٠	٤٠٠	٦٠٠	٨٠٠	٩٠٠
الاستطالة : مم	صفر	٠,٠١٨	٠,٠٣٦	٠,٠٥٤	٠,٠٧٢	٠,٠٨٣

الحمل : كجم	١٠٠٠	١١٠٠	١١٥٠
الاستطالة : مم	٠,١٠٥	٠,١٦	٠,٢٧

ارسم بيانى الحمل والاستطالة ثم عين :

١ — ٠,٢ ٪ إجهاد ضمان . ٢ — معاير المرونة . ٣ — معاير الرجوعية .

الحـــل :

الإستطالة الدائمة(ج) = ٠,٢٠ ٪ من طول القياس .

$$= \frac{٢}{١٠٠٠} \times ٥٠ = ٠,١٠ \text{ مم}$$

شكل رقم (٤ — ٧٦) يبين منحنى الحمل والاستطالة ومنه نجد أن :

حمل الضمان = ١١٣٠ كجم .

$$\text{مساحة المقطع الأصلى} = \frac{\text{ط} (١٠)^{٢}}{٤} = ٧٨,٥ \text{ مم}^{٢}$$

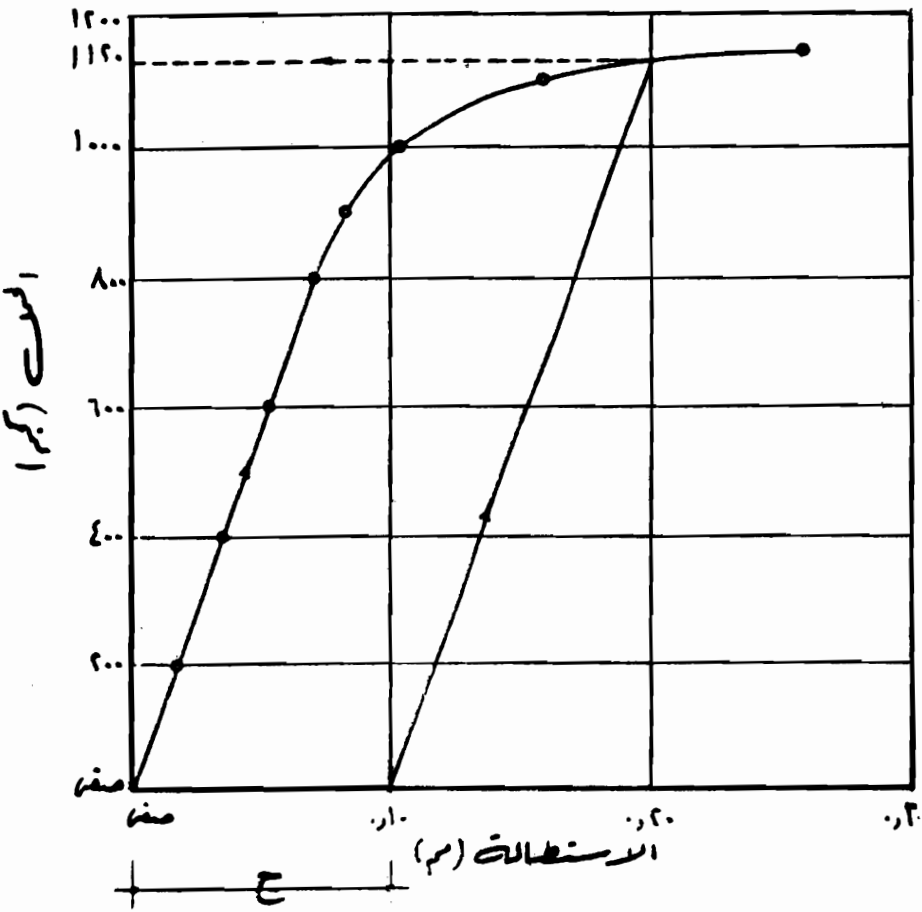
$$\therefore \text{إجهاد الضمان} = \frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١١٣٠}{٧٨,٥} = ١٤,٨ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{معايرة المرونة} = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{الانفعال}} \text{ (فى حدود المرونة)}$$

$$= \frac{٢٠٠}{٧٨,٥} \div \frac{٠,٠١٨}{٥٠} = ٧١٠٠ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{معاير الرجوعية} = \frac{\frac{١}{٢} (\text{حمل حد التناسب} \times \text{الاستطالة عند حد التناسب})}{\text{حجم العينة}}$$

$$= \frac{\frac{١}{٢} \times ٨٠٠ \times ٠,٠٧٢}{٥٠ \times ٧٨,٥} = ٠,٠٠٧٣٥ \text{ كجم. مم / مم}^{٣}$$



شكل رقم (٤ — ٧٦) تعيين إجهاد الضمان

٤ — أجرى اختبار الشد على عينة من الصلب عالى المقاومة قطرها ١٣,٨ مم وطول القياس ١٠٠ مم ، وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المقابلة لها بالمليمتر كما رصد بالمعمل كما يلى :—

الحمل (طن)	٠,٥	٣	٤,٥	٧	٩	١٠	١٠,٥
الاستطالة (مم)	صفر	٠,٠٧٠	٠,١١٨	٠,١٩٥	٠,٢٤٧	٠,٢٩٥	٠,٣٨٦

ارسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة ثم عين :

١ — إجهاد ضمان ٠,١٠٪ ٢ — معاير المرونة ٣ — معاير الرجوعية .

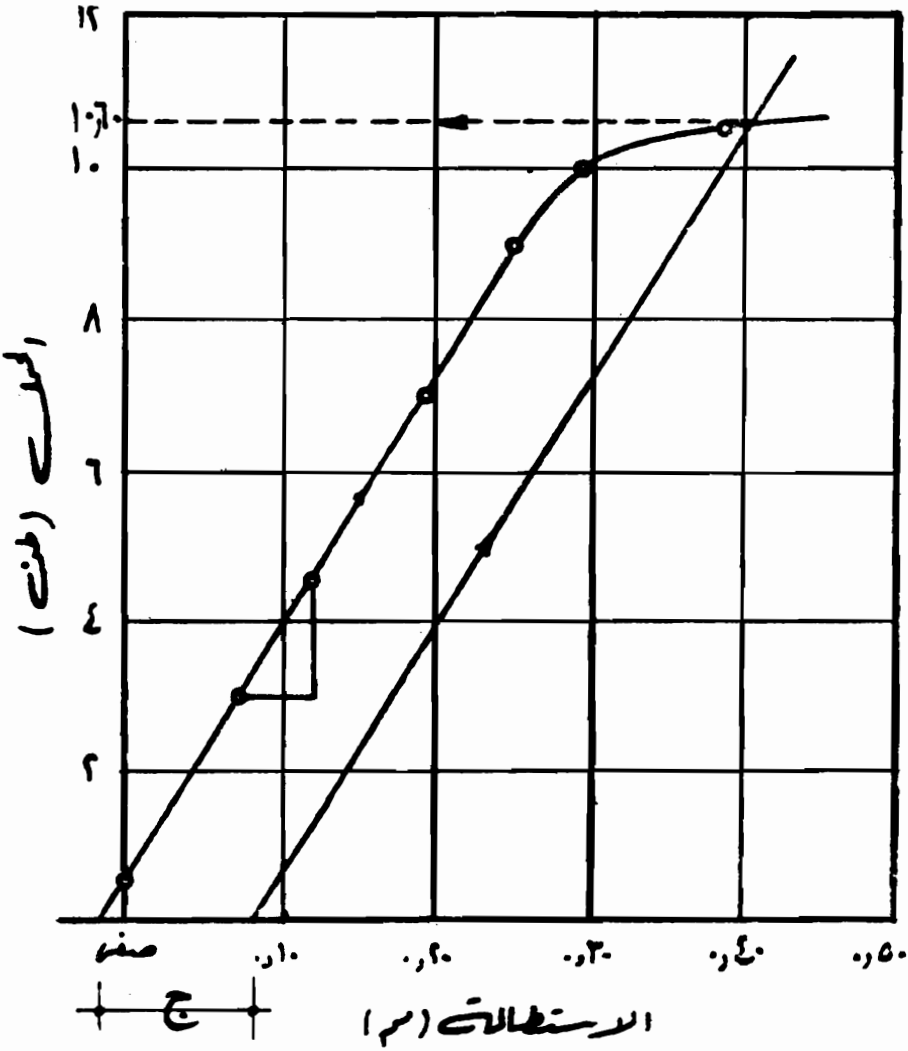
الحـل :

الاستطالة الدائمة (ج) = ١٠,٠ ٪ من طول القياس .

$$= \frac{١}{١٠٠٠} \times ١٠٠ = ١٠,٠ \text{ مم}$$

شكل رقم (٤-٧٧) يبين المنحنى البيانى للحمل والاستطالة ومنه حمل الضمان = ١٠٦٠٠ كجم .

مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار = $\frac{\text{ط} \cdot (١٢,٨)^{٢}}{٤}$ = ١٥٠ مم^{٢}



شكل رقم (٤ - ٧٧) تعيين إجهاد الضمان

١ ــ إجهاد ضمان ١٠,٠ ٪ = $\frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$

$= \frac{١٠٦٠٠}{١٥٠} = ٧٠,٥$ كجم / مم^٢

٢ ــ معاير المرونة = ميل الخط المستقيم من منحنى الحمل والاستطالة × $\frac{\text{طول القياس}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$

∴ معاير المرونة $= \frac{١٥٠٠}{٠,٠٤٨} \times \frac{١٠٠}{١٥٠} = ٢٠٩٠٠$ كجم / مم^٢

٣ ــ معاير الرجوعية = $\frac{\frac{١}{٣} \times \text{حمل حد التناسب} \times \text{الاستطالة عند حد التناسب}}{\text{حجم العينة}}$

∴ معاير الرجوعية $= \frac{\frac{١}{٣} \times ٩٠٠٠ (٠,٢٤٧ + ٠,٠١٢)}{١٠٠ \times ١٥٠}$

$= \frac{٠,٢٥٩ \times ٩٠٠٠}{١٠٠ \times ٣٠٠} = ٠,٠٧٧٧$ كجم مم / مم^٢

٥ ــ أجرى اختبار شد على عينة من الصلب منخفض الكربون طول قياسها ٢٠٠ مم ، وكانت قراءات الحمل بالطن والاستطالة بالملليمتر والقطر الأدنى بالملليمتر أثناء الاختبار كما يلى :

الحمل (طن)	صفر	٨,٦٠	١٢,٢٠	١٣,٤٠	١٤,٠٠	١٣,٨٠	١١,٦٠
الاستطالة (مم)	صفر	٦	١٥	٢٥,٨	٢٩,٦	٥٣,٥	٧٠,٠٥
القطر الأدنى (مم)	٢٢,٩	٢٢,٦	٢٢	٢١,٦	٢٠,٩	١٨	١٤,٨

والمطلوب تعيين ما يأتى :

ا ــ مقاومة الشد ــ الإجهاد الحقيقى عند بدء حدوث الرقبة .

ب ــ الانفعال العادى والانفعال الحقيقى عند بدء حدوث الرقبة .

حـ ــ الاجهاد العادى والاجهاد الحقيقى عند الكسر .

و ــ الانفعال العادى والانفعال الحقيقى عند الكسر .

ه ــ ارسم منحنى العلاقة العادية ومنحنى العلاقة الحقيقية بين الإجهاد والانفعال .

الحـــل :

$$\text{مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار} = \frac{\text{ط} \cdot (٢٢,٩)^{٢}}{٤} = ٤١١ \text{ مم}^{٢}$$

$$\text{ا ــ مقاومة الشد} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١٤٠٠٠}{٤١١} = ٣٤ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{الاجهاد الحقيقى عند حدوث الرقبة} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{أصغر مساحة مقطع عند هذا الحمل}} =$$

$$= \frac{١٤٠٠٠}{\frac{\text{ط} \cdot (٢٠,٩)^{٢}}{٤}} = ٤١ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{ب ــ الانفعال العادى عند حدوث الرقبة} = \frac{\text{الاستطالة عند حدوث الرقبة}}{\text{طول القياس}}$$

$$= \frac{٣٩,٦}{٢٠٠} = ٠,١٩٨ \text{ مم / مم}$$

$$\text{الانفعال الحقيقى عند حدوث الرقبة} = ٢ \text{ لو} \left(\frac{\text{القطر الأصلى}}{\text{أصغر قطر عند حدوث الرقبة}} \right)$$

$$= ٢ \text{ لو} \left(\frac{٢٢,٩}{٢٠,٩} \right) = ٠,١٨٢٨ \text{ مم / مم}$$

$$\text{و ــ الاجهاد العادى عند الكسر} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$$

$$= \frac{١١٦٠٠}{٤١١} = ٢٨,٢ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

$$\text{الاجهاد الحقيقى عند الكسر} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{أصغر مساحة مقطع عند الكسر}}$$

$$= \frac{١١٦٠٠}{\frac{\text{ط} \cdot (١٤,٨)^{٢}}{٤}} = ٦٧,٥ \text{ كجم / مم}^{٢}$$

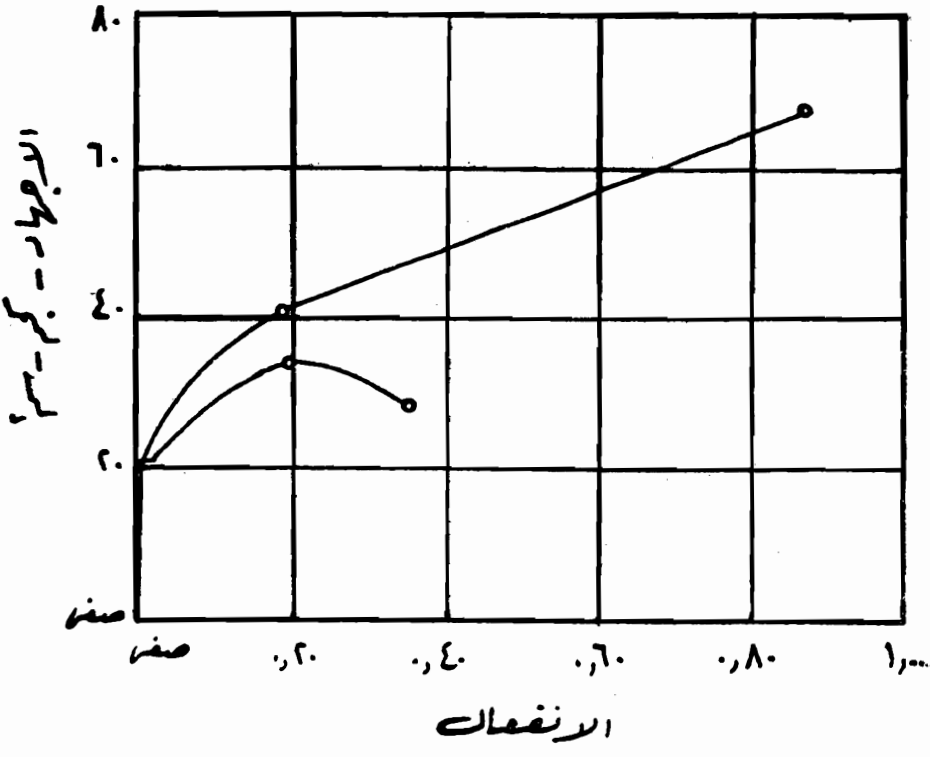
و ــ الانفعال العادى عند الكسر = $\frac{\text{أقصى استطالة}}{\text{طول القياس}}$

$$= \frac{٧٠,٥٠}{٢٠٠} = ٠,٣٥٢٥ \text{ مم / مم}$$

الانفعال الحقيقى عند الكسر = ٢ لو $\left(\frac{\text{القطر الأصلى}}{\text{أصغر قطر عند الكسر}} \right)$

$$= ٢ \text{ لو} \left(\frac{٢٢,٩}{١٤,٨} \right) = ٠,٨٧٣٢ \text{ مم / مم}$$

هـ ــ شكل (٤ ــ ٧٨) يبين العلاقة العادية الحقيقية بين الإجهاد والإنفعال .

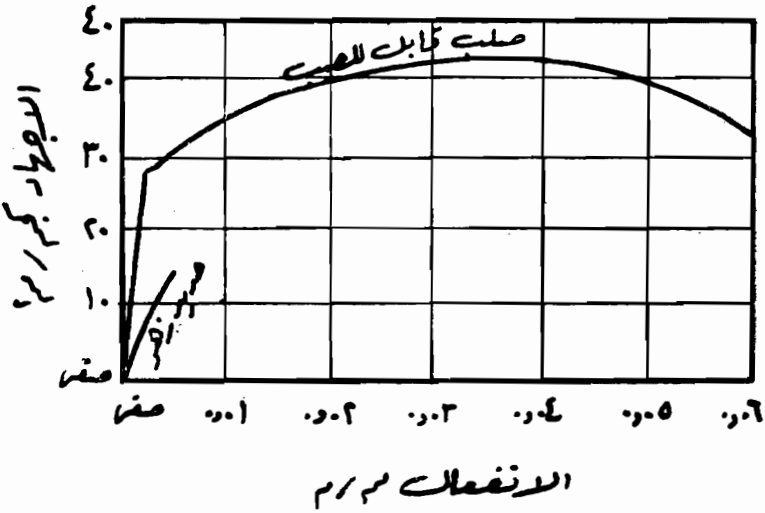


شكل رقم (٤ ــ ٧٨) المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى والحقيقى لصلب الطرى

٦ ــ رسم المنحنى البيانى للإجهاد والانفعال فى الشد لكل من الحديد الزهر والصلب المصبوب فكانت كما هو مبين فى شكل رقم (٤ ــ ٧٩) والمطلوب تعيين ما يلى :

(ا) النسبة بين مقاومة المعدنين لحمل الشد المحورى الإستاتيكى .

(ب) » » » » » » » الصدمى .



شكل رقم (٤ ــ ٧٩) منحنى الاجهاد والانفعال العادى للحديد الزهر والصلب المصبوب

الحـــل :

من الرسم نجد ما يلى :

مقاومة الشد للزهر = ١٤ كجم/ مم٢

مقاومة الشد للصلب المصبوب = ٤٣ كجم/ مم٢

إجهاد حد التناسب للصلب (تقريبا) = ٢٨ كجم/ مم٢

أقصى انفعال للزهر = ٠٫٠٠٥ مم/مم

أقصى انفعال للصلب المصبوب = ٠٫٠٥٩ مم/مم

ويمكن من هذه النتائج حساب معاير المتانة لكل من المعدنين كما يلى :

معاير المتانة للزهر = $\frac{1}{2}$ × ١٤ × ٠٫٠٠٥ = ٠٫٠٤٦٧ كجم . مم/مم٢

ومعاير المتانة للصلب المصبوب = $(\frac{٢٨ + ٤٣}{٢}) \times ٠,٠٥٩ = ٢,١٠$ كجم/مم^٢

∴ النسبة بين مقاومة الشد الاستاتيكى للصلب والزهر = $\frac{٤٣}{١٤} = ٣,٠٨$

والنسبة بين مقاومة الشد الصدمى للصلب والزهر = $\frac{٢,١٠}{٠,٠٤٦٧} = ٤٥$

٧ ــ أجرى اختبار الشد على عينة من الصلب (أ) مستديرة المقطع قطرها (ق) = ١,٢ سم ، وكانت النسبة المئوية للاستطالة محسوبة على أساس طول قياس مقدارهما ٥ ق ، ١٠ ق هما ٣٤ ٪ ، ٣٠ ٪ على الترتيب . ثم أجرى اختبار شد آخر على عينة مستديرة من الصلب (ب) لها نفس القطر (ق) وكانت النسبة المئوية للاستطالة محسوبة على أساس طول قياس مقداره ٤ ق هى ٣٩ ٪ والمطلوب معرفة أى النوعين له مطولية أفضل .

الحـــل :

تحسب الاستطالة لعينة الصلب (أ) كما يلى :

الاستطالة فى حالة طول قياس ٥ ق = النسبة المئوية للاستطالة × طول القياس =

$= \frac{٣٤}{١٠٠} \times ٥ \times ١,٢ = ٢,٠٤$ سم

الاستطالة فى حالة طول قياس ١٠ ق = $\frac{٣٠}{١٠٠} \times ١٠ \times ١,٢ = ٣,٦$ سم

وبالتعويض فى معادلة الاستطالة $\Delta L = bL + c\sqrt{A_٥}$

يمكن إيجاد ثوابت النوعين c ، b للصلب (أ) كما يلى :

$$\sqrt{A_٥}\, c + ١,٢ \times ٥ \times b = ٢,٠٤$$

$$\sqrt{A_٥}\, c + ١,٢ \times ١٠ \times b = ٣,٦٠$$

وبحل هاتين المعادلتين نجد أن : b = ٠,٢٦ ، c = ٠,٤٥

فاذا كان طول قياس عينه من الصلب (أ) = ٤ ق نجد أن الاستطالة تحسب كما يلى :

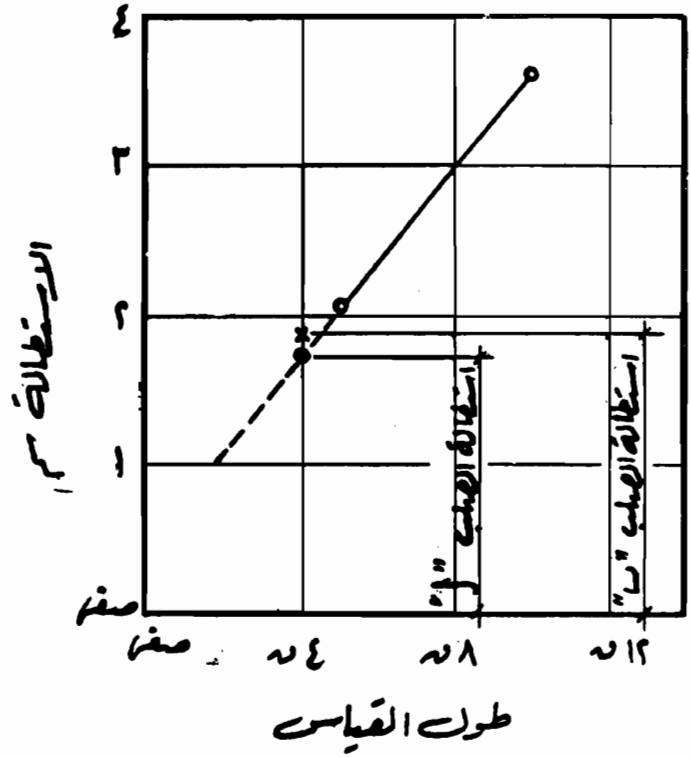
الاستطالة فى حالة طول قياس ٤ ق = $٠,٢٦ \times ٤ \times ١,٢ + ٠,٤٥\sqrt{ط\, \frac{(١,٢)^٢}{٤}}$

$= ١,٧٣$ سم

فتكون النسبة المئوية للاستطالة فى هذه الحالة $= \frac{١,٧٣}{١,٢ \times ٤} \times ١٠٠ = ٣٦,٢$ ٪

وبمقارنة النسبة المئوية للاستطالة للصلب (ا) ، والصلب (ب) على أساس طول قياس ٤ ق لكل منهما وهى ٣٦,٢ ٪ ، ٣٩ ٪ على الترتيب نجد أن الصلب (ب) أكثر مطولية من الصلب (ا) .

ويمكن حل هذه المسألة بطريقة أخرى حيث تحسب استطالة عينات الصلب (ا) المناظرة لطولى القياس ٥ ق ، ١٠ ق . ثم توقيع الاستطالة والطول القياسى المناظر لها كما فى شكل رقم (٤ — ٨٠) بتحديد نقطتين على الخط المستقيم الذى يمثل العلاقة البيانية بين الاستطالة وطول القياس للصلب (ا) . يرسم هذا الخط المستقيم ويمد حتى طول القياس ٤ ق لتحديد الاستطالة المناظرة له على الرسم .



شكل رقم (٤ — ٨٠) العلاقة بين طول القياس والاستطالة

تحسب استطالة عينة الصلب (ب) التى بطول قياس ٤ ق وهى

$$= \frac{٣٩}{١٠٠} \times ٤ \times ١,٢ = ١,٧٧ \text{ سم}$$

ثم توقع على نفس الرسم السابق . فنجد أنها أكبر من استطالة الصلب (ا) لنفس طول القياس .

∴ الصلب (ب) له مطولية أفضل من مطولية الصلب (ا) .

٢ — عضو مركب مكون من لوح من النحاس سمك ٢٠مم محصور بين لوحين من الصلب سمك كل منهما٦مم. تعرض هذاالعضو لحمل شد محورى (P) .فاذا كان عرض الألواح جميعاً متساوى وقدره ١٠ سم احسب أكبر قوة شد (P) يمكن التأثير بها، علما بأن مقاومة الشد للصلب ٥٦ كجم / مم٢ ومقاومة الشد للنحاس ٢١ كجم/مم٢ وعامل الأمان يساوى ٣ ومعاير مرونة الصلب يساوى ٢ × ١٠^٤ كجم /مم٢ ومعاير مرونة النحاس = ٠,٩ × ١٠^٤ كجم/ مم٢ وأن العضو له استطالة موحدة أى أن الإستطالة فى كل من الصلب والنحاس متساوية .

الحل :

$$\text{اجهاد التشغيل للصلب} = \frac{\text{مقاومة الشد للصلب}}{\text{عامل الأمان}} = \frac{٥٦}{٣} = ١٨,٦٧ \text{ كجم / مم}^٢$$

$$\text{كذلك إجهاد التشغيل للنحاس} = \frac{٢١}{٣} = ٧ \text{ كجم / مم}^٢$$

بما أن استطالة ألواح الصلب = استطالة لوح النحاس، واطول الألواح الثلاثة متساوية

∴ الانفعال فى الصلب = الانفعال فى النحاس

$$\therefore \frac{\text{الإجهاد بالصلب}}{\text{معاير مرونة الصلب}} = \frac{\text{الإجهاد بالنحاس}}{\text{معاير مرونة النحاس}}$$

فلو فرضنا أن الإجهاد بالصلب وصل إلى قيمة المسموح به للصلب، أى ١٨,٦٧ كجم/مم٢

$$\text{فيكون الإجهاد بالنحاس} = \frac{١٨,٦٧ \times ٠,٩ \times ١٠^٤}{٢ \times ١٠^٤} = ٨,٤ \text{ كجم / مم}^٢$$

وهو أعلى من إجهاد التشغيل المسموح به النحاس وهو ٧ كجم / ٢ .
ولكن بفرض أن الإجهاد بالنحاس = ٧ كجم/ مم ٢

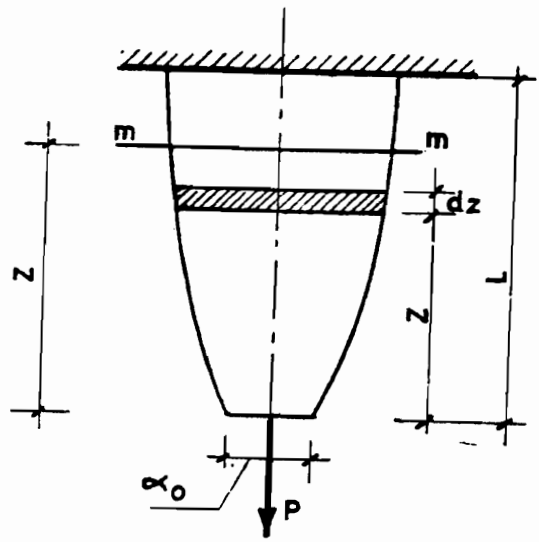
$$\text{يكون الإجهاد بالصلب} = \frac{٤١٠ \times ٢ \times}{٤١٠ \times ٠,٩} = ١٥,٦ \text{ كجم/ مم}^{٢}$$

وهو إجهاد أقل من إجهاد التشغيل المسموح به وهو ١٨,٦٧ كجم/٢ مم وعلى ذلك يكون أقصى حمل يتحمله لوح النحاس = الإجهاد بالنحاس × مساحة مقطع لوح النحاس = ٧ × ٢٠ × ١٠٠ = ١٤٠٠٠ كجم

كذلك يكون الحمل الذى يتحمله لوحى الصلب = ١٥,٦ × ٢ × ٦ × ١٠٠
= ١٧٦٠٠ كجم

ويكون الحمل الأقصى الذى يمكن التأثير به = مجموع ما يتحمله كل من الصلب والنحاس
= ١٤٠٠٠ + ١٨٦٠٠ = ٣٢٦٠٠ كجم

٩ ــ قضيب مقطعه المستعرض دائرى ثبت معلقا رأسيا من قاعدته العليا ـ شكل رقم (٤ ــ ٨١) ـ فاذا كانت مادة القضيب تزن (W) جرام / سم ٣ ويؤثر على القضيب (علاوة على وزنه) وفى مركز قاعدته الحرة حمل محورى رأسى قيمته (P).



شكل رقم (٤ ــ ٨١)

استنتج المعادلة التى تحدد مساحة القضيب عند أى مقطع مستعرض على مدى طول القضيب (L) حتى يكون إجهاد الشد عند أى مقطع مستعرض يساوى قيمة ثابتة .

الحـــل :

يفرض أن مساحة القاعدة الحرة $= A_o$

والمساحة عند أى مقطع $= A$

ويفرض قوة الشد عند أى مقطع مستعرض وليكن m—m الذى يبعد مسافة z عن القاعدة الحرة تساوى (P_z)

حيث $$P_z = P + W \int_0^z A \, dz$$

ويكون الإجهاد عند هذا المقطع (f) $=$ $\frac{\text{قوة الشد}}{\text{مساحة المقطع}}$ $=$ مقدار ثابت

$$f = \frac{P_z}{A} = \frac{P}{A_o} = \text{Constant.}$$

$$\therefore \frac{P + W \int_0^z A\,dz}{A} \quad \frac{P}{A_o} = \text{Constant.}$$

$$\therefore \quad P + W \int_0^z A\,dz = \frac{A}{A_o} A ,$$

ويتفاضل طرفى المعادلة الأخيرة بالنسبة لـ z .

$$W A = \frac{P}{A_o} \frac{dA}{dz} \quad \text{و} \quad \therefore \quad d z = \frac{P}{W A_o} \cdot \frac{dA}{A}$$

وبتكامل طرفى هذه المعادلة نجد أن : $z = \frac{P}{W A_o} (\log A - \log C)$

حيث c مقـــدار ثابت — $\therefore \quad A = C \cdot e^{\frac{W A_o Z}{P}}$

وعند $z = C$ نجد أن $A = A_o$ بالتعويض بها فى المعادلة الأخيرة :

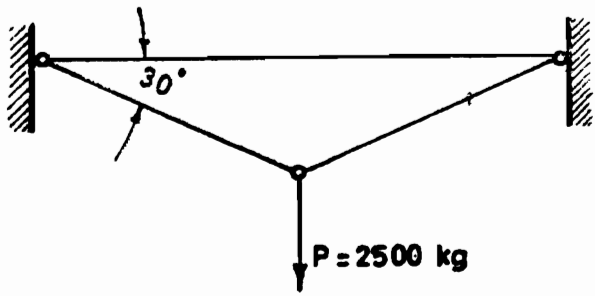
$$\therefore \quad C = A_o \quad \text{و} \quad \therefore \quad A = A_o \, e^{\frac{W A_o Z}{P}}$$

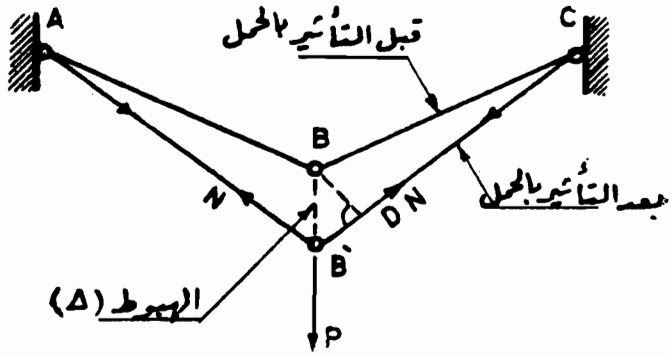
وهى المعادلة المطلوبة .

١٠ ــ منشأ يتكون من قضيبين متشابهين طول كل منهما ٥ متر متصلين مع بعضهما وكذلك مع حائطين رأسين اتصال مفصلى ـ شكل رقم (٤ ــ ٨٢) . فاذا أثر عند نقطة اتصال القضيبين حمل رأسى يؤثر إلى أسفل قيمته ٢٥٠٠ كجم . فالمطلوب تعيين ما يلى :

(ا) مساحة مقطع كل من القضيبين إذا كان إجهاد التشغيل المسموح به يساوى ١٠ كجم / مم٢ .

(ب) هبوط نقطة إتصال القضيبين معاً إلى أسفل . إذا كان معاير مرونة مادة القضيب يساوى ٢ × ١٠٤ كجم / مم٢ .





شكل رقم (٤ ـ ٨٢)

الحـل :

إذا كانت قوة الشد فى قضيب = N ، $\therefore$ $2N \cos 60 = P$

$$\therefore \quad N = \frac{P}{2 \cos 60} = 2500 \text{ kg}$$

$$\text{مساحة مقطع القضيب} = \frac{\text{قوة الشد}}{\text{اجهاد التشغيل المسموح به}} = \frac{٢٥٠٠}{١٠} = ٢٥٠ \text{مم}^{٢}$$

$$\text{استطالة القضيب} = \frac{\text{الاجهاد بالقضيب}}{\text{معاير المرونة}} \times \text{طول القضيب} =$$

$$= \frac{١٠}{٢ \times ١٠^{٤}} \times ٥٠٠٠ = ٢,٥ \text{ مم}$$

وحيث أن الاستطالة صغيرة جداً بالنسبة لطول القضيب

$\therefore$ يمكن إعتبار أن الزاوية A B́ C تساوى الزاوية ABC أى تساوى ١٢٠°

شكل رقم (٤ — ٨٢) .

كذلك فإن : (تقريباً) DC = BC أى أن الاستطالة تساوى B́ D

$$BB' = \frac{B'D}{\cos 60} = \frac{2.5}{0.5} = 5 \text{ mm}$$

مسائل

(١) أجرى اختبار شد على عينة من الصلب قطرها ١٢,٦ مم وكان طول القياس ٥ مم وفيما يلى جدول يبين الحمل والاستطالة المقابلة له :

الحمل بالكيلو جرام	صفر	١٦٢٠	٢٨٨٠	٣٦٠٠	٢٢٠٠
الاستطالة بالسنتيمتر	صفر	٠,٠٣١	٠,٠٥٦	٠,٠٨١	٠,٤٣٢
الحمل بالكيلو جرام	٣٣٧٠	٣٩١٠	٤٥٠٠	٥٠٤٠	٣٩٠٠
الاستطالة بالسنتيمتر	٠,٩٦٥	٢,٠٣	٣,٨١	١١,٤	١٩,٣

استخدم النتائج السابقة فى الآتى :

ا — ارسم بيانى الحمل والاستطالة . اعتبر كل ١ سم على محور الحمل يمثل ٥٠٠ كجم وكل ١ سم على محور الاستطالة يمثل ٢ مم ، ثم عين :

ب — إجهاد الخضوع حـ — مقاومة الشد ى — معاير المرونة

هـ — معاير المتانة و — النسبة المئوية للاستطالة

٢ — أجرى اختبار الشد على عينة من الصلب الطرى قطرها ١٥,٩ مم وطول القياس لها ١٠ مم وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المقابلة لها بالمليمتر — كما رصدت أثناء الاختبار — كما يأتى :

الحمل — طن	٢,٤	٤,٨	٤,٥	٥,٢	٦	٦,٦	٧	٧,٢	٦,٨	٦
الاستطالة — مم	٠,٠٦	٠,١٢	١	٣	٨	١٣	١٨	٢٦	٣٠	٣٢

ارسم منحنى الحمل والاستطالة ، ثم عين :

ا — إجهاد الخضوع ب — مقاومة الشد

حـ النسبة المئوية للاستطالة ى — معاير الرجرعية

هـ — معاير المرونة

٣ — أجرى اختبار الشد على قطعة اختبار معدنية مساحة مقطعها المستعرض ٢سم٢ وطول القياس ١٠ سم ، وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المقابلة لها بالمليمتر ، كما رصدت أثناء الاختبار كما يلى :

الحمل : طن	صفر	١	٢	٣	٤
الاستطالة : مم	صفر	٠,١٢٥	٠,٠٥٠	٠,٧٥	٠,١٠٠
الحمل : طن	٤,٥		٥	٥,٤	٥,٥
الاستطالة : مم	٠,١٢٥		٠,١٧٥	٠,٢٧٥	٠,٣٥٠

عين : ا ــ ٠,١٠ ٪ إجهاد ضمان ب ــ معاير المرونة حـ ــ معاير الزحوفية .

٤ ــ أجرى اختبار الشد على عينة من معدن عالى المقاومة قطرها ١٥,٩ مم وطول القياس ١٠ سم وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المقابلة لها بالملليمتر كما رصدت بالمعمل كما يلى :

الحمل ــ طن	صفر	٢	٦	١٠	١٣	١٥	١٧
الاستطالة ــ مم	صفر	٠,٠٢	٠,٠٦٠	٠,١	٠,١٦	٠,٢٢	٠,٣٠٠

ارسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة وعين بواسطة ٠,١٠ ٪ إجهاد الضمان ومعاير المرونة لهذا المعدن .

٥ ــ أجرى اختبار الشد على عينة من الصلب الطرى قطرها ١٥,٩ مم وطول القياس لها ١٠٠ مم ، وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المقابلة لها بالملليمتر وقطر أقل مقطع مستعرض المقابل بالملليمتر كما يلى :

الحمل ــ طن	صفر	٢,٤	٥,٦	٥,٦	٦,٤	٧,٢	٨	٧,٦	٦,٨
الاستطالة ــ مم	صفر	٠,٠٦	٠,١٤	١	٤	١٠	٢٤	٣٠	٣٢
القطر ــ مم	١٥,٩	١٥,٩	١٥,٨	١٥	١٤,٥	١٣	١٢	١٠,٥	٨,٨

والمطلوب :

ا ــ رسم منحنى الاجهاد العادى والانفعال العادى .

ب ــ رسم منحنى الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى .

حـ ــ معادلات الأجزاء المختلفة لمنحنى الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى والتى تعبر عن العلاقة بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى .

٦ ــ أجرى اختبار الشد على عينة من الصلب بقطر ٢٠ مم وبطول قياس ١٠٠مم حتى الكسر وكانت قيم الحمل بالطن والمساحة المقابلة له عند أقل مقطع مستعرض بالملليمتر المربع كما يلى :

الحمل	٧	١٠	١٣	١٥	١٦	١٤,٥	١٣
المساحة	٣١٢	٣١٢	٣٠٠	٢٨٠	٢٦٥	٢٥٠	٢٢٠

ا ــ ارسم المنحنى البيانى بين الحمل ومساحة أقل مقطع مستعرض للعينة المختبرة .

ب ــ بين على هذا المنحنى مكان حدوث ظاهرتى الخضوع والرقبة للعينة المختبرة .

حـ ــ مقاومة الشد للصلب المختبر .

ء ــ النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض .

هـ ــ الاستطالة الحقيقى عند حمل ١٥ طن .

و ــ الاستطالة الحادثة بالعينة عند حمل ٧ طن إذا علم أن نسبة بواسون للصلب = ٠,٢٥ وأن قطر العينة عند هذا الحمل = ١٩٩,٩٩٥ مم .

ز ــ معاير المرونة للصلب المختبر

ح ــ الاجهاد الحقيقى عند الكسر .

ط ــ شكل الكسر المحتمل لتلك العينة .

٧ ــ إرسم مستخدماً نتائج اختبار الشد للبطاط المبينة فى الجدول التالى المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال أثناء التحميل وأثناء إزالة الحمل ثم عين ما يلى :

ا ــ معاير القاطع ومعاير التماس عند إجهاد ١٥ كجم / سم^{٢} أثناء التحميل .

ب ــ معاير الرجوعية .

حـ ــ التخلفية (Hysteresis) لدورة واحدة من التحميل وإزالة الحمل .

أثنـــاء التحميل		أثناء إزالة الحمل	
الإجهاد (كجم / سم٢)	الإنفعال	الإجهاد (كجم / مم٢)	الإنفعال
صفر	صفر	٢٠	٤,٢٥
٤	٠,٤٠	١٦	٤,١٥
٨	١,٢٥	١٢	٣,٩٠
١٢	٢,٤٢	٨	٣,١٣
١٦	٣,٥٥	٦,٥	٢,٠٠
٢٠	٤,٢٥	٤	٠,٧٠
		صفر	صفر

٨ — ما هى النسبة بين معاير المرونة لمادتى قضيبين بنفس الحجم . إذا كانت النسبة بين الانفعال فى القضيبين ١ : ١½ تحت تأثير قوى شد متساويتين ؟ عين مقدار الانفعال فى كل من القضيبين إذا كان الأول من الصلب والثانى من النحاس وكان اجهاد الشد ١٠ كجم / سم٢ ومعاير المرونة للصلب ٢١٠٠ طن / سم٢ .

٩ — شركة تصدير قطن تستعمل بنجاح منذ زمن بعيد شرائط من الصلب من النوع (ا) فى ربط بالات القطن واستعملت أيضاً شرائط من النوع (ب) ولكن حدثت كمية كبيرة من الانهيارات فى النوع (ب) . لذلك أجرى اختبار الشد على شرائط من النوع (ا) والنوع (ب) وكانت النتائج كما يلى :

نوع الشريط	أبعاد المقطع	الحمل الأقصى	الاستطالة فى ١٠ سم
(ا)	١,١ × ٣١,٥ مم	٢٥٢٠ كجم	١٣ مم
(ب)	١,١ × ٢١,٠ مم	١٥٣٠ كجم	٦ مم

(ا) عين مقاومة الشد والنسبة المئوية للاستطالة للشرائط ا ، ب .

(ب) إحسب معاير المتانة للشرائط ا ، ب

(ح) اشرح احتمال سبب الانهيار الشرائط ب .

١٠ ــ أجرى اختبار الشد على ٣ عينات قياسية من ٣ معادن مختلفة ا ، ب ، حـ وكانت خواص الشد للمعادن كما يلى :

المعدن	حد التناسب كجم/مم٢	مقاومة الشد كجم / مم٢	النسبة المئوية للاستطالة	معاير المرونة كجم / مم٢
ا	١٠٠	١٦٠	٥ ٪	٢١٠٠٠
ب	٢٠	٤٠	٣٠ ٪	٢٠٠٠٠
حـ	١٥	٣٦	٢٥ ٪	٧٠٠٠

(ا) عين معاير المتانة للمعدن ب .

(ب) أى نوع من المعادن الثلاثة أ ، ب ، حـ تختاره لعمل ياى حلزونى ؟ لماذا ؟

(حـ) ماهو المعدن الأصعب فى التشغيل ؟ لماذا ؟

(د) أى من المعادن يقاوم أكثر التغير فى الشكل فى حدود المرونة ؟ لماذا ؟

(هـ) ارسم ثلاث عينات قياسية تستخدم فى اختبار الشد .

١١ ــ المطلوب تصميم قضيب من المعدن معرض لإجهادات شد فى حدود المرونة من حمل يسقط سقوطاً فجائياً ، أى المعدنين تفضل لصناعة هذا القضيب ـ ديورالومين أم ١٣,٠ ٪ صلب كربونى ؟ اشرح السبب ؟ مع العلم بأن الخواص الميكانيكية لكلا المعدنين كالآتى :

المعدن	إجهاد حد التناسب كج / مم٢	إجهاد الشد كج / ٢	معاير المرونة كجم / مم٢
ديورالومين	١٣	٣٥	٧٠٠٠
١٣, صلب كربونى	١٨,٥	٣٨	٢١٠٠٠

١٢ ــ شداد مستطيل المقطع يؤثر عليه حمل شد محورى قدره ١٢٦٠٠ كجم فإذا كان عرض مقطعه ثلاثة أمثال سمكه وكان إجهاد الشد المسموح به لا يتعدى ٦,٧٥ كجم / مم٢ . فأوجد أبعاد المقطع .

١٣ ــ سلكان معلقان رأسياً ومثبتان بأحكام من طرفيهما العلوى والمسافة بينهما ٥٠ سم ويحملان قضيباً جاسئا (Rigid) فى الوضع الأفقى . فإذا كان

السلك الأيسر مصنوعاً من النحاس ومساحة مقطعه ٣ مم والسلك الأيمن مصنوعاً من الصلب ومساحة مقطعه ٨,٠ مم٢ . والطول الأصلى لكل من السلكين ٤٥٠ سم .

(ج) عين الموضع على القضيب الذى يعلق عنده ثقل وزنه W بحيث يظل القضيب فى الوضع الأفقى .

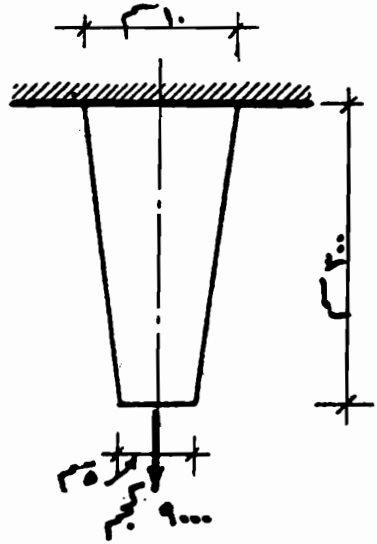
(د) عين الإجهاد والاستطالة لكل من السلكين إذا كانت W = ٢٠ كجم .

معاير المرونة E للصلب = ٢١٠٠ طن/ سم٢ وللنحاس = ١٢٠٠ طن /سم٢ .

ملاحظة : يمكن إهمال وزن القضيب .

١٤ — علق هرم ناقص قاعدته السفلى ٥ × ٥ سم وقاعدته العليا ٥ × ١٠ سم ، وارتفاعه ٣٠٠ سم كما فى الشكل رقم (٤ — ٨٣) . بإهمال وزن القضيب وبفرض أن معاير مرونته ٢١٠٠ طن / سم٢ عين الاستطالة الناتجة عن ثقل قدره ٩٠٠٠ كجم معلق فى القاعدة السفلى للهرم .

١٥ — أكبر عمق لبئر بترول هو ١٨٠٠٠ قدم تقريباً ويتم الحفر فيها بواسطة عمود يدفع آلة الحفر إلى أسفل وبغض النظر عن الإجهادات الناشئة فى العمود أثناء التشغيل ، فتؤثر عليها إجهادات كبيرة ناتجة عن وزنه وهذه الإجهادات تحدث حتى أثناء عدم



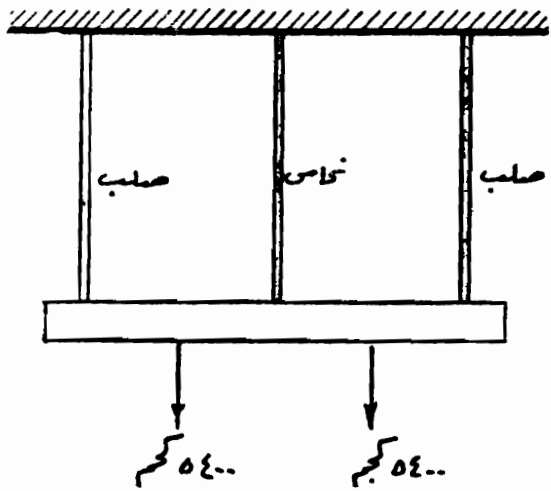
شكل رقم (٤ — ٨٣)

دوران العمود . فإذا علم أن الوزن النوعى للصلب ٢٨ , ٠ ياوند / بوصة ٣ فاوجد :

(أ) أكبر اجهاد شد فى العمود .

(ب) إذا استبدل هذا العمود بآخر مكون من ثلاثة أجزاء طول كل منها ٦٠٠٠ قدم ومساحة مقطع الجزء العلوى والأوسط والسفلى على الترتيب ٢ ، ١,٥ ، ١ بوصة . عين أين يحدث أكبر اجهاد .

١٦ — قضيب أفقى ا ب جاسىء تماما ومحمول بواسطة ثلاثة قضبان رأسية متساوية الطول - كما فى الشكل رقم (٤ — ٨٤) فإذا كان القضيبان الخارجيان من الصلب ومساحة مقطع كل منهما ٣ سم٢ والقضيب الأوسط من النحاس ومساحة مقطعة ١٠ سم ٢ فإذا كانت القضبان على أبعاد متساوية من بعضها ثم وضع حملين كل منهما ٥٤٠٠ كجم فى منتصف المسافة بين كل قضيبين . فيهمال وزن القضيب الجاسىء إحسب القوة فى كل من القضبان الرأسية إذا علمت أن القضيب الجاسىء أب يظل أفقيا بعد وضع الاحمال المذكورة وأن معايير المرونة للصلب والنحاس هو ٢ × ١٠ ٤ كجم/ مم٢ ١,٢٠ × ١٠ ٤ كجم / مم ٢ على الترتيب .



شكل رقم (٤ — ٨٤)

تمرينات

تمرين رقم (٤)

اختبار الشد لعينة من الصلب الطرى لاجراء الرسم التلقائى لمنحنى الحمل والاستطالة

(Autographic tensile test for mild steel specimon)

المجال :

يهدف هذا الاختبار لرسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة لعينة الصلب الطرى تحت تأثير حمل الشد الإستاتيكى وذلك تلقائياً باستخدام مكنة الاختبار ، كما يهدف الاختبار إلى دراسة خواص العينة المختبرة — وهى مادة مطيلة — تحت تأثير حمل الشد باستخدام المنحنى البيانى المذكور .

الادوات :

مكنة اختبار الشد ذات سعة مناسبة — ميكروميتر — مسطرة مدرجة — آلة تحديد طول القياس .

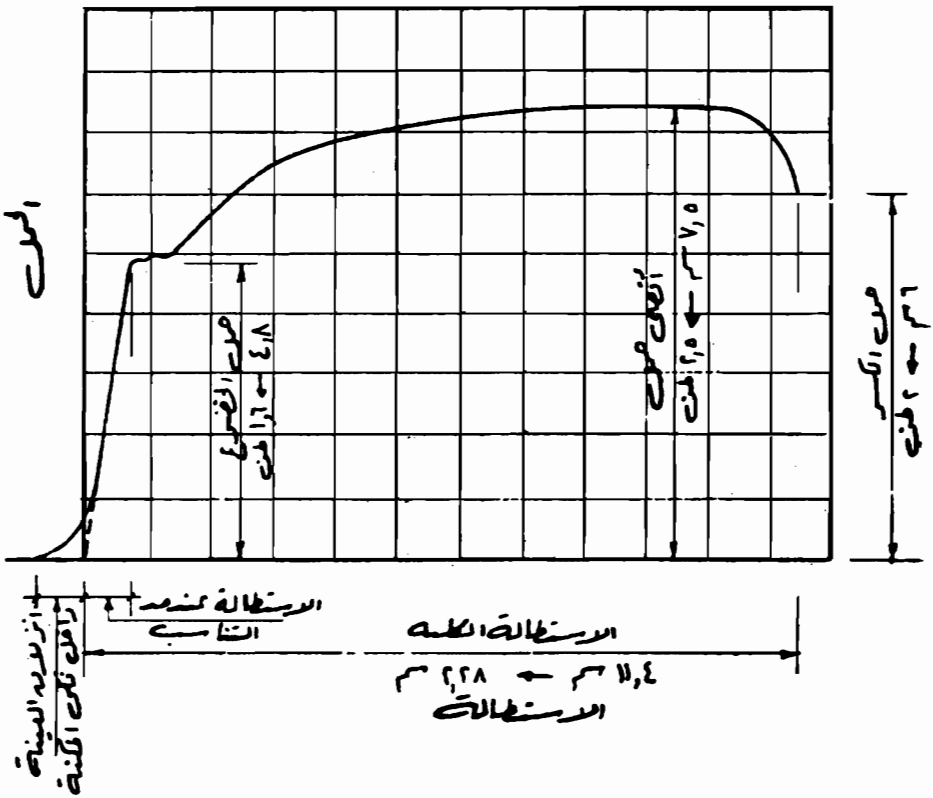
طريقة الاختبار:

١ — يقاس قطر قطعة الاختبار بالميكروميتر فى أكثر من موقع ويؤخذ المتوسط ثم تحدد على سطح قطعة الاختبار نهايتى طول القياس باستخدام آلة تحديد طول القياس.

٢ — تثبت قطعة الاختبار فى مكنة اختبار الشد ثم تجهز المكنة لرسم منحنى الحمل والإستطالة تلقائياً . ويتم ذلك بتثبيت قلم فى نهاية الذراع الأفقى الذى يحرك مؤشر المكنة المبين للحمل وبحيث يكون طرف القلم ملامساً عمودياً سطح اسطوانة ملفوف عليها ورقة رسم ، وتتحرك هذه الاسطوانة حركة دورانية حول محورها عند تحرك فك المكنة إلى أسفل نتيجة استطالة العينة وذلك لوجود خيط مثبت بفك المكنة المتحرك وملفوف حول الأسطوانة . لهذا فعند تحميل قطعة الاختبار يتحرك طرف القلم أفقياً مسافة تتناسب مع الحمل المؤثر على قطعة الإختبار بينما تتحرك ورقة الرسم أسفل

طرف القلم حركة رأسية إلى أسفل تتناسب مع الإستطالة الحادثة من قطعة الاختبار . فيرسم طرف القلم محصلة الحركتين أى العلاقة بين الحمل والإستطالة. شكل رقم (٤ — ٨٥).

٣ — تحمل قطعة الإختبار تدريجياً حتى الكسر . ثم تنزع ورقة الرسم المبين عليها منحنى الحمل والإستطالة المرسوم تلقائياً .



شكل رقم (٤ — ٨٥) الرسم التلقائى لمنحنى الحمل والاستطالة

النتائج :

١ — حساب مقياسى رسم المنحنى التلقائى للحمل والإستطالة :

$$\text{مقياس رسم الحمل} = \frac{\text{أقصى مسافة يمكن أن يتحركها القلم أفقياً (عرض ورقة الرسم)}}{\text{سعة المكنة}}$$

مقياس رسم الإستطالة : مبينة قيمته على مكنة الإختبار .

٢ ــ حساب الخواص الميكانيكية للصلب المختبر تحت تأثير الشد الإستاتيكى ــ أنظر صفحة ١٥٩ .

مثال تطبيقى :

يوضح المنحنى المبين فى شكل رقم (٣ ــ ٥٨) رسماً تلقائياً يمكنة إختبار الشد لعينة من الصلب بقطر ٩مم وطول قياس ١٠ سم وكان مقياس رسم الحمل ٣ سم: ١ طن ومقياس رسم الإستطالة ٥ : ١ والمطلوب حساب الخواص الميكانيكية الآتية للصلب المختبر :

١ ــ إجهاد الخضوع . ٢ ــ مقاومة الشد .

٣ ــ إجهاد الكسر . ٤ ــ النسبة المئوية للإستطالة .

٥ ــ معاير الرجوعية . ٦ ــ معاير المتانة .

الحـــل :

$$\text{مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار} = \frac{\text{ط} \cdot (٩)^{٢}}{٤} = ٦٣,٥ \text{ مم}^{٢}$$

يمكن من المنحنى التلقائى والاستطالة إستنتاج ما يلى :

حمل الخضوع الأوطى = ١,٦٠ طن

أقصى حمل = ٢,٥٠ طن

الحمل عند الكسر = ٢,٠٠ طن

الإستطالة عند حد التناسب = ٠,١٤ مم

الإستطالة الكلية = ٢٢,٨ مم

ومنها تحسب الخواص الميكانيكية المطلوبة كما يلى :

$$\text{١ ــ إجهاد الخضوع} = \frac{\text{حمل الخضوع الأوطى}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١٦٠٠}{٦٣,٥} = ٢٥ \text{ كجم/مم}^{٢}$$

$$\text{٢ ــ مقاومة الشد} = \frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{٢٥٠٠}{٦٣,٥} = ٣٩,٥ \text{ كجم/مم}^{٢}$$

٣ ــ إجهاد الكسر = حمل الكسر / مساحة المقطع الأصلى = ٢٠٠٠ / ٦٣,٥ = ٣١,٥ كجم/مم٢

٤ ــ النسبة المئوية للاستطالة = الإستطالة الكلية / طول القياس × ١٠٠ = ٢٢,٨ / ١٠٠ × ١٠٠ = ٢٢,٨٪

٥ ــ معاير الرجوعية = المساحة تحت الخط المستقيم من منحنى الحمل والإستطالة / حجم العينة =

= ١/٢ × ١٦٠٠ × ٠,١٤ / ١٠٠ × ٦٣,٥ = ٠,٠١٧٦ كجم/مم مم٣

٦ ــ معاير المتانة = المساحة الكلية تحت منحنى الحمل والإستطالة / حجم العينة =

= (حمل الخضوع + الحمل الأقصى) / ٢ × الإستطالة الكلية / حجم العينة =

= (١٦٠٠ + ٢٥٠٠) / ٢ × ٢٢,٨ / ١٠٠ × ٦٣,٥ = ٧,٣٥ كجم/مم مم٣

المناقشة:

١ ــ اشرح كيف يمكن أن تقوم مكنة الإختبار برسم المنحنى البيانى للحمل والإستطالة تلقائياً لعينة الصلب الطرى المختبرة فى الشد ؟ وضح إجابتك بالرسومات مبينا أجزاء المكنة التى تسجل الحمل والأجزاء التى تسجل الإستطالة ؟

٢ ــ ارسم المنحنى البيانى للإجهاد العادى والإنفعال العادى باستخدام المنحنى البيانى للحمل والاستطالة المرسوم تلقائياً .

٣ ــ عين باستخدام المنحنى البيانى للحمل والاستطالة ـ المرسوم تلقائياً ـ ما يأتى .

(ا) إجهاد الخضوع (إجهاد الخضوع الأوطى) .

(ب) إجهاد الخضوع الأعلى .

(حـ) مقاومة الشد (إجهاد الشد الأقصى) .

(ى) النسبة المئوية للإستطالة .
(هـ) إجهاد الكسر للعينة المختبرة فى الشد .

٤ ــ كيف يمكنك تعيين حمل الخضوع لقطعة الاختبار من جهاز قياس التحميل لمكنة الإختبار عن طريق سلوكه أو عن طريق إسلوك العينة أثناء إجراء الاختبار بالتحميل التدريجى المستمر .

٥ ــ ماسبب حدوث ظاهرة الخضوع للصلب الطرى تحت تأثير حمل الشد ؟
٦ ــ ما الغرض من تعيين إجهاد الخضوع .
٧ ــ هل يعتبر إجهاد الخضوع الأعلى قيمة ثابتة لنفس المعدن ؟ اشرح ذلك . وهل لهذا الاجهاد دلالة كخاصية ذات أهمية للمعادن ؟ لماذا ؟
٨ ــ متى تحدث ظاهرة الرقبة بعينة الصلب الطرى المختبرة فى الشد ؟ اشرح أسباب حدوثها ، وبين مكان تواجدها بالعينة . وضح إجابتك بالرسومات .

٩ ــ ارسم تخطيطياً شكل الكسر لعينة الصلب الطرى تحت تأثير حمل الشد واشرح لماذا يكون هذا الشكل على هيئة قدح وخروط .

تمرين رقم (٥)

اختبار الشد لعينة من الحديد الزهر الرمادى

(Tensile test on grey cast iron specimen)

المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى بيان كيفية إجراء اختبار القبول للحديد الزهر الرمادى وكذلك دراسة سلوك الحديد الزهر الرمادى ــ وهو مادة قصفة ــ تحت تأثير حمل الشد .

الادوات :

مكنة إختبار الشد ذات سعة مناسبة ــ ميكرومتر .

العينة:

قطعة اختبار مستديرة المقطع ذات نهايات ملولبة ــ أنظر ص ٢١٤ .

طريقة الاختبار :

١ ــ يقاس قطر العينة بالميكروميتر فى أكثر من موضع ويسجل المتوسط .

٢ ــ تثبت العينة فى مكنة اختبار الشد وتحمل تدريجيا وأثناء التحميل يلاحظ حدوث ظاهرة الخضوع والرقبة من عدمه . ثم يسجل حمل الكسر ويرسم شكل الكسر

النتائج :

١ ــ يلاحظ من الاختبار عدم حدوث ظاهرة الخضوع أو الرقبة . وأن الكسر يشكل مستوى عمودى على اتجاه التحميل .

$$\text{٢ ــ مقاومة الشد للزهر الرمادى المختبر} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$$

مثال تطبيقى :

إذا كان حمل الكسر لقطعة إختبار من الحديد الزهر = ١,٣٤ طن وكان قطر العينة قبل الاختبار ١٠ مم . احسب مقاومة الشد للحديد الزهر .

الحل :

$$\text{مساحة المقطع الأصلى لقطع الاختبار} = \frac{\text{ط} \cdot (١٠)^{٢}}{٤} = ٧٨,٥ \text{ مم}^{٢}$$

$$\text{مقا الشد} = \frac{\text{حمل الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١٣٤٠}{٧٨,٥} = ١٧ \text{ كجم/مم}^٢$$

أسئلة :

١ ــ ارسم تخطيطيا قطعة اختبار الشد القياسية للحديد الزهر الرمادى؟ اشرح لماذا تأخذ عينة الاختبار مثل هذا الشكل ؟

٢ ــ هل تلاحظ وجود ظاهرة الخضوع بعينة الحديد الزهر الرمادى المختبرة ؟ اشرح لماذا ؟

٣ ــ هل حدثت رقبة بعينة الحديد الزهر الرمادى المختبرة ؟ لماذا ؟

٤ ــ عين باستخدام حمل الكسر بالشد مقاومة الحديد الزهر الرمادى المختبر فى الشد .

هل يعتبر ذلك الحديد مقبولا أو مرفوضا طبقا لاشتراطات المواصفات القياسية م . ق م ــ ١٩٦٠ ؟

٥ ــ هل يمكن تعيين النسبة المئوية للاستطالة والنسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض لعينة الحديد الزاهر الرمادى المختبر بسهولة ودقة ؟ لماذا ؟

٦ ــ هل تحوى مواصفات الحديد الزهر الرمادى تحديد قيمة النسبة المئوية للاستطالة فى اختبار الشد كأساس للقبول ؟ لماذا ؟

٧ ــ ارسم تخطيطيا شكل الكسر لعينة الحديد الزهر الرمادى المختبرة تحت تأثير حمل الشد واشرح سبب حدوث الكسر بهذا الشكل .

٨ ــ بين لماذا يجب منع تواجد أى لامحورية ولو بسيطة التحميل عند اختبار الشد للمواد القصفة مثل الحديد الزهر الرمادى ؟

تمرين رقم (٦)

اختبار الشد التجارى لعينة من الصلب الطرى

المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين الخواص الميكانيكية الرئيسية للصلب الطرى تحت تأثير حمل الشد وهى المقاومة للشد فى حد المرونة والمقاومة للشد والمطولية التى يعبر عنها كل من النسبة المئوية للاستطالة والنسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع المستعرض والخواص المذكورة هى التى يجب أن يتضمنها التقرير الخاص باختبار الشد التجارى الذى يعتبر اختبار قبول للمواد المعدنية .

الأدوات :

مكنة إختبار الشد ذات سعة مناسبة ــ ميكروميتر ــ مسطرة مدرجة ــ آلة تحديد طول القياس .

العينة :

قطعة إختبار قياسية متناسبة مستديرة المقطع ــ أنظر ص ٢١١ .

طريقة الاختبار :

١ ــ يحدد القطر المتوسط لقطعة الإختبار باستخدام الميكروميتر ثم تحدد نهايتى طول القياس على سطح العينة باستخدام آلة تحديد طول القياس .

٢ ــ تثبت قطعة الاختبار فى فكى مكنة اختبار الشد وتحمل تدريجا وأثناء التحميل تسجل البيانات الآتية :

(ا) حمل الخضوع : وهو الحمل المبين على تدريج مكنة الاختبار عندما يلاحظ إهتزاز المؤشر المبين للحمل أو ثبوته عند قيمة معينة .

(ب) الحمل الاقصى وهو أقصى قراءة للحمل والتى يثبت عندها المؤشر التابع بينما يبدأ المؤشر المبين للحمل فى الرجوع (عند بداية حدوث الرقبة) . ويستمر التحميل حتى تنكسر قطعة الاختبار وترفع من المكنة ويقاس قطر العينة عند مقطع الكسر كذلك تقاس المسافة بين نهاية طول القياس بعد الكسر .

النتائج :

يمكن من إختبار الشد التجارى للصلب الطرى تعيين الخواص الميكانيكية الآتية :

١ ــ إجهاد الخضوع $= \frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$

٢ ــ مقاومة الشد $= \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$

٣ ــ النسبة المئوية للإستطالة $= \frac{\text{طول القياس بعد الكسر} - \text{طول القياس}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠$

٤ النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع $= \frac{\text{مساحة المقطع الأصلى} - \text{مساحة مقطع الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} \times ١٠٠$

مثال تطبيق :

فى إختبار الشد التجارى على قطعة إختبار من الصلب الطرى قطر مقطعها الأصلى ٨ مم وطول قياسها ٨ سم أخذت القراءات الآتية :

حمل الخضوع = ١٢٠٠ كجم

الحمل الأقصى = ١٩٥٠ كجم

قطر مقطع الكسر = ٥,٨ مم ـ طول القياس بعد الكسر = ١٠,١ سم

والمطلوب حساب الخواص الميكانيكية الآتية :

١ ــ إجهاد الخضوع . ٢ ــ مقاومة الشد .

٣ ــ النسبة المئوية للإستطالة . ٤ ــ النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع .

الحل :

مساحة المقطع الأصلى $= \frac{ط \cdot (٨)^٢}{٤} = ٥٠$ مم^٢

$$\text{إجهاد الخضوع} = \frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١٢٠٠}{٥٠} = ٢٤ \text{ كجم/مم}^٢$$

$$\text{مقاومة الشد} = \frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} = \frac{١٩٥٠}{٥٠} = ٣٩ \text{ كجم/مم}^٢$$

$$\text{النسبة المئوية للاستطالة} = \frac{\text{طول القياس بعد الكسر} - \text{طول القياس}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{٨٠ - ١٠١}{٨٠} \times ١٠٠ = ٢٦,٣ \text{ ٪}$$

$$\text{مساحة مقطع الكسر} = \frac{\text{ط} \cdot (٥,٨)^٢}{٤} = ٢٦,٤ \text{ مم}$$

∴ النسبة المئوية فى مساحة المقطع =

$$= \frac{\text{مساحة المقطع الأصلى} - \text{مساحة مقطع الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{٥٠ - ٢٦,٤}{٥٠} \times ١٠٠ = ٤٧,٢ \text{ ٪}$$

الثالثة :

١ — متى يجرى اختبار الشد التجارى للصلب الطرى ؟

٢ — ارسم تخطيطياً عينة الإختبار المستخدمة لإختبار الصلب الطرى فى الشد .

٣ — عين باستخدام نتائج الإختبار ما يأتى :

(ا) إجهاد الخضوع . (ب) مقاومة الشد . (حـ) النسبة المئوية للاستطالة .

(د) النسبة المئوية النقص فى مساحة المقطع المستعرض .

٤ — ارسم عينات اختبار الشـــد القياسية التى تتضمنها المواصفات القياسية م . ق . م ١٧٦ / ١٩٦١ .

٥ ــ أذكر ـ موضحاً بالرسوت ـ الأخطاء الممكن تواجدها بعينات إختبار الشد وكذلك الأخطاز التى يمكن حدوثها أثناء مسك العينة (gripping) فى مكنة الإختبار .

٦ ــ ما هى الاحتياطات الواجب مراعاتها عند إجراء اختبار الشد ؟

٧ ــ أذكر تأثير كل مما يأتى على الخواص الميكانيكية فى الشد الصلب الطرى :

الحرارة (Temperatute) ، التخمير (Annealing) ، التقسية (Quenching)، المراجعة (Tempering) ، التشغيل على البارد (Cold working) .

تمرين رقم (٧)

اختبار الشد لعينة من الصلب الطرى لدراسة الاستطالة ولتعيين ثوابت أنوين

المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى بيان كيفية توزيع الاستطالة على طول القياس وكذلك بيان العلاقة بين النسبة المئوية للاستطالة وطول القياس ومن ثم تعيين ثوابت أنوين التى تربط العلاقة بين الاستطالة وطول القياس ومساحة المقطع المستعرض لقطعة الاختبار .

الادوات :

مكنة اختبار الشد ذات سعة مناسبة ـ ميكروميتر ـ مسطرة مدرجة ـ زنبة التعليم على سطح قطعة الاختبار .

العينة :

قطعة اختبار مستديرة المقطع بطول حوالى ٣٥ سم يحدد عليها طول قياس ٢٠ سم ثم يقسم إلى عشرة أقسام متساوية طول كل منها ٢ سم .

طريقة الاختبار :

١ ـ تثبت قطعة الاختبار المذكورة فى فكى مكنة اختبار الشد وتحمل تدريجياً حتى الكسر ثم ترفع من المكنة .

٢ ـ يقاس طول كل قسم من أقسام طول القياس بالبدء من إحدى نهايتيه ثم تحسب استطالة كل قسم وتسجل هذه البيانات فى الجدول التالى :

رقم القسم	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الطول بعد الكسر (سم)										
الاستطالة (مم)										

النتائج :

١ ـ من الجدول السابق يمكن رسم توزيع الاستطالة على طول القياس ويلاحظ أن أقصى استطالة تحدث فى القسم الذى تكونت به الرقبة وحدث به الكسر ولنفرض أن هذا القسم هو القسم رقم ٥ .

٢ ــ يمكن من النتائج السابقة رسم العلاقة بين طول القياس وكل من الاستطالة والنسبة المئوية للاستطالة وذلك باعتبار أن القسم رقم٥ (القسم الذى حدث به الكسر) هو قطعة اختبار طولها الأصلى ٢٠ مم واستطالته معروفة فى الجدول السابق كما يمكن حساب النسبة المئوية لاستطالته كما يلى :

$$\text{النسبة المئوية للاستطالة للقسم رقم٥} = \frac{\text{استطالة القسم رقم ٥}}{٢٠} \times ١٠٠$$

كذلك فإن الأقسام ٤، ٥، ٦ يمكن اعتبارها قطعة اختبار بطول قياس ٦٠ مم وباستطالة تساوى مجموع الاستطالات التى حدثت بالأقسام ٤ ، ٥ ، ٦ وتحسب النسبة المئوية للاستطالة بها كما يلى :

النسبة المئوية لإستطالة عينة بطول قياس ٦٠ مم =

$$\frac{\text{مجموع استطالة ٤ ، ٥ ، ٦}}{٦٠} \times ١٠٠$$

ويكرر ذلك لقطعة اختبار بطول قياس ١٠٠ مم مكونة من الأقسام ٤، ٥، ٦، ٧ وقطعة اختبار رابعة بطول قياس ١٤٠ مم مكونة من الأقسام ٢، ٣، ٤ ، ٥، ٦، ٧ ، ٨ ولقطعة اختبار خامسة بطول قياس ١٨٠ مم مكونة من الأقسام ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧، ٨، ٩ وتسجل النتائج فى الجدول التالى :

طول القياس (مم)	٢٠	٦٠	١٠٠	١٤٠	١٨٠
الاستطالة (مم)					
النسبة المئوية للاستطالة					

ومن ذلك الجدول يمكن رسم العلاقة بين طول القياس والاستطالة كذلك العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة .

ويلاحظ أن العلاقة الأولى هى خط مستقيم (أنظر ص ١٧٨ ، ١٧٩) ميله هو الثابت b من ثوابت أنوين أما الثابت الآخر وهو c فيعين من قسمة قيمة الإستطالة عندما يتقاطع الخط المستقيم مع محور الإستطالة على الجذر التربيعى لمساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار .

مثال تطبيقى :

فى إختبار الشد على عينة من الصلب الطرى قطرها ٨ سم ومقسمة إلى عشرة أقسام طول كل منها ٢٠ مم حدث الكسر فى القسم الرابع من أحد طرفى العينة فاذا كان طول كل قسم بعد الكسر محدد من هذا الطرف كما هو مبين من الجدول التالى :

رقم القسم	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الطول بعد الكسر مم	٢٤	٢٤	٢٥	٢٩	٢٣,٥	٢٣,٥	٢٣	٢٣	٢٢,٥	٢٢,٥

المطلوب :

١ — رسم توزيع الاستطالة على محور العينة .

٢ — رسم العلاقة البيانية بين طول القياس والاستطالة .

٣ — تعيين ثوابت أنوين للصلب الطرى .

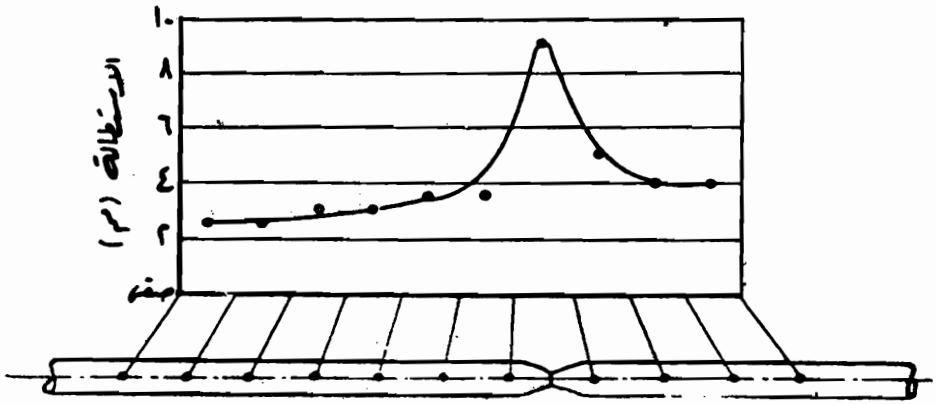
٤ — رسم العلاقة البيانية بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة .

الحـــل :

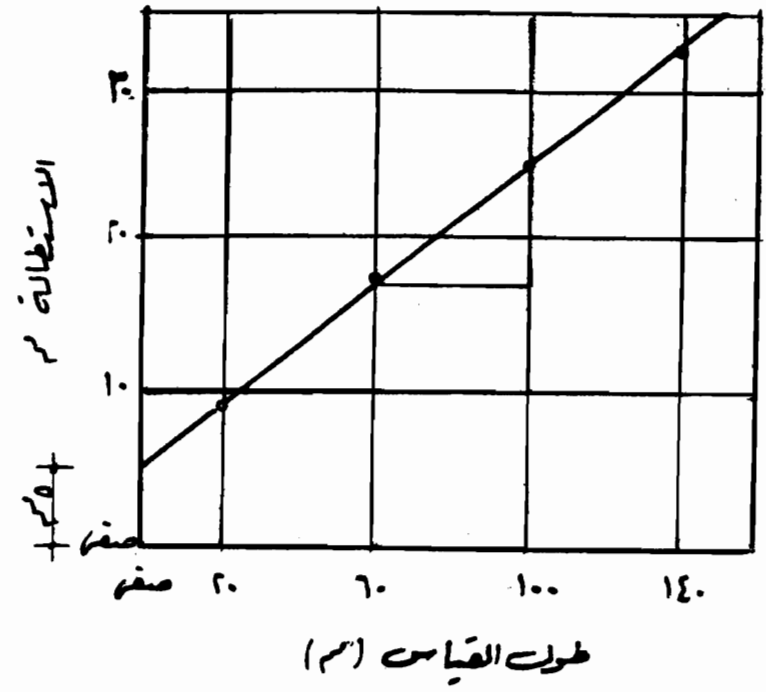
الجدول التالى يبين توزيع الاستطالة على محور العينة

رقم القسم	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠
الاستطالة (مم)	٤	٤	٥	٩	٣,٥	٣,٥	٣	٣	٢,٥	٢,٥

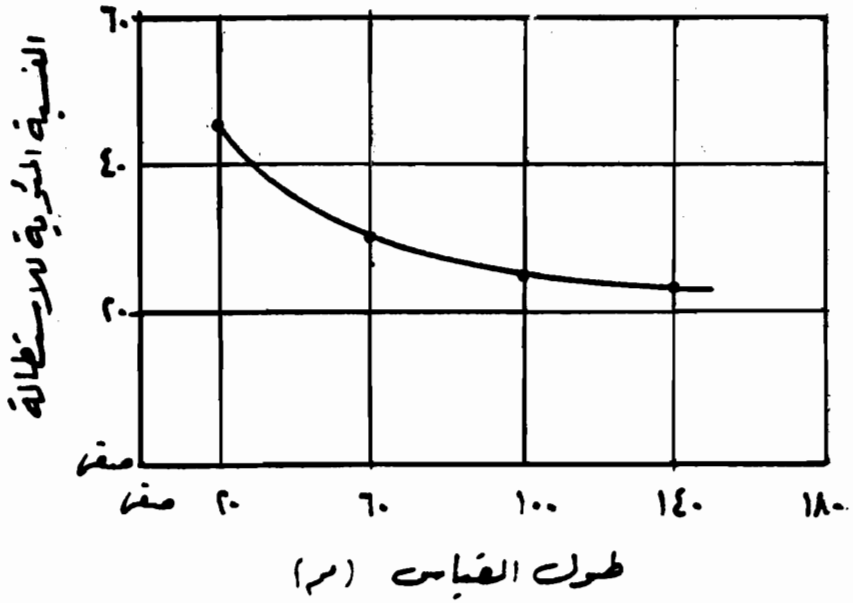
ويبين شكل رقم (٤ — ٨٦) توزيع الاستطالة على محور العينة



شكل رقم (٤ — ٨٦) توزيع الاستطالة على محور العينة



شكل رقم (٤ — ٨٧) العلاقة بين طول القياس والاستطالة



شكل رقم (٤ — ٨٨) العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

والجدول التالى يبين تغير كل من الاستطالة والنسبة المئوية للاستطالة تبعاً لتغير طول القياس — كما يبين شكل رقم (٤ — ٨٧) وشكل رقم (٤ — ٨٨) العلاقة بين طول القياس وكل من الاستطالة والنسبة المئوية للاستطالة على الترتيب .

طول القياس (مم)	٢٠	٦٠	١٠٠	١٤٠
الإستطالة (مم)	٩	١٧,٥	٢٥	٣٢,٥
النسبة المئوية للاستطالة	٤٥	٢٩,٢	٢٥	٢٣,٢

الثابت b من ثوابت أنوين = ميل الخط المستقيم فى شكل رقم (٤ — ٨٧)

$$= \frac{٨}{٤٠} = ٠,٢٠$$

مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار = $\frac{ط \cdot (٨)^{٢}}{٤}$ = ٥٠ مم^{٢}

الثابت c من ثوابت أنوين =

$$\frac{\text{الجزء المقطوع من محور الاستطالة فى شكل رقم! (٤ — ٨٧)}}{\sqrt{\text{مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار}}}$$

$$= \frac{٥}{\sqrt{٥٠}} = ٠,٧٠$$

المناقشة :

١ — ارسم باستخدام نتائج الاختبار رسماً بيانياً يوضح توزيع الاستطالة على طول القياس عند حمل الكسر وبين مكان الاستطالة المحلية (Local - extension) والاستطالة العامة (General extension) .

٢ — ارسم باستخدام نتائج الاختبار رسماً بيانياً يوضح العلاقة بين النسبة المئوية للاستطالة وطول القياس للعينة المختبرة . ما هى النتائج التى يمكن استخلاصها من الرسم البيانى ؟

٣ ــ ارسم باستخدام نتائج الاختبار رسماً بيانياً يوضح العلاقة بين الاستطالة وطول القياس للعينة المختبرة ثم احسب باستخدام هذا الرسم البيانى ثوابت أنوين للصلب الطرى ، ما هى النتائج التى يمكن استخلاصها من هذا الرسم البيانى ؟

٤ ــ لماذا يجب استخدام عينات اختبار متناسبة عند إجراء اختبار الشد القياسى ؟

٥ ــ اشرح لماذا يجب إهمال نتائج اختبار الشد ويلزم إعادته إذا وقع الكسر لعينة الاختبار فى منطقة خارج الثلث الأوسط لطول القياس ؟

تمرين رقم (٨)

اختبار تعيين اجهاد اضمحلال لعينة من الصلب عالى المقاومة فى الشد

المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين اجهاد الضمان لعينة من الصلب عالى المقاومة فى الشد وكذلك تعيين الخواص الميكانيكية الرئيسية للعينة المختبرة .

الادوات :

مكنة إختبار الشد ذات سعة مناسبة ـ جهاز لقياس الاستطالة (Extensometer) ـ ميكروميتر ـ آلة تحديد نهايتى طول القياس .

العينة: : قطعة إختبار قياسية متناسبة من الصلب عالى المقاومة

طريقة الاختبار :

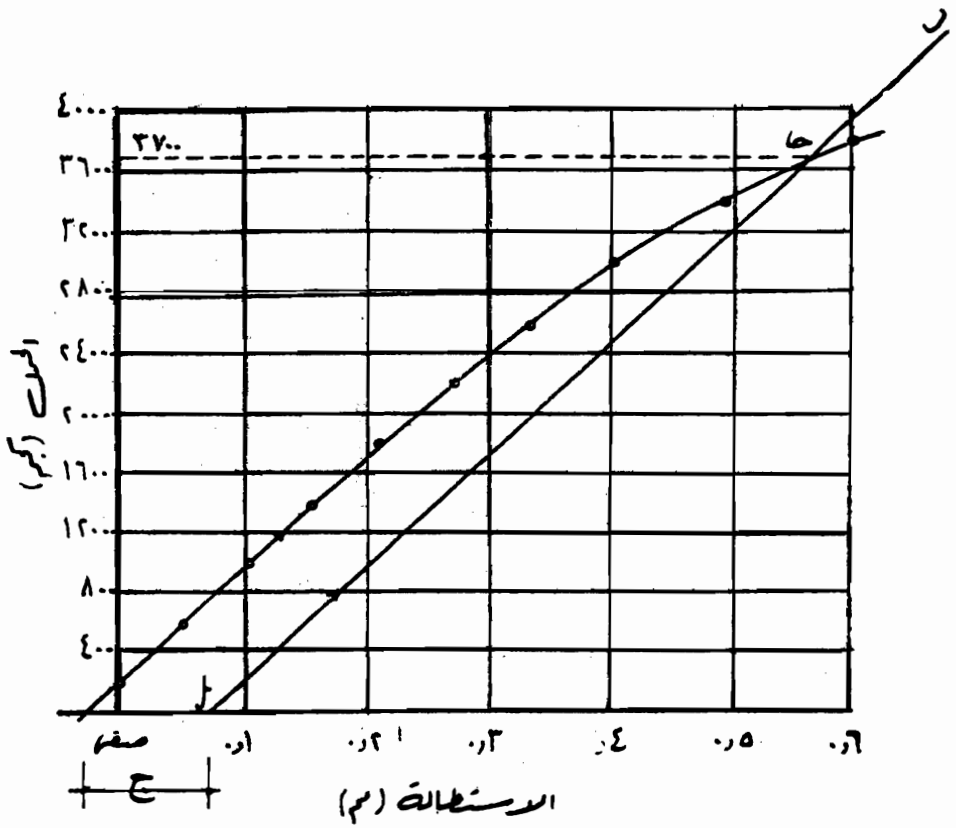
١ ـ يقاس قطر قطعة الاختبار بالميكروميتر وتحدد على سطحها نهايتى طول القياس ثم تثبت فى فكى مكنة الاختبار وتحمل بحمل مبدئى صغير .

٢ ـ يضبط جهاز قياس الاستطالة على طول القاس المطلوب ثم يثبت على سطح قطعة الاختبار .

٣ ـ تحمل العينة مرة أخرى على دفعات صغيرة حوالى ١طن وفى كل مرة يسجل الحمل والاستطالة المقابلة له بعد أن تثبت قيمتها ويرسم منها مباشرة وأثناء التحميل العلاقة البيانية بين الحمل والاستطالة .

٤ ـ يرسم ا ب شكل رقم(٤ ـ ٨٩) وعندما يتقاطع هذا الخط مع منحنى الحمل والاستطالة فى نقطة ح يرفع جهاز قياس الاستطالة وينشر تحميل العينة حتى الكسر ويسجل أقصى حمل .

٥ ـ ترفع قطعة الاختبار من المكنة ويقاس قطرها عند مقطع الكسر كما يقاس طول القياس بعد الكسر .



شكل رقم (٤ — ٨٩) تعيين لجهاد الضمان

النتائج :

١ — يحسب إجهاد الضمان - أنظر ص ١٦٤ ، ١٦٥ - بالخطوات الآتية :

(ا) تزسم العلاقة بين الحمل والاستطالة - شكل رقم (٤ - ٨٩) .

(ب) يرسم الخط المستقيم أب موازيا الخط المستقيم فى منحنى الحمل والاستطالة ويبدأ من نقطه أعلى محور الاستطالة التى تبعد مسافة ج عن بداية منحنى الحمل والاستطالة (حيث ج هى الاستطالة الدائمة والتى تعطى على هيئة نسبة مئوية من طول القياس فيطلب مثلا اجهاد ضمان ١٠ , ٠ ٪ أى أن ج فى هذه الحالة تساوى ١٠ , ٠ ٪ من طول قياس قطعة الاختبار) .

(ح) يسجل حمل الضمان وهو الحمل المقابل للنقطة ح فى شكل رقم (٤-٨٩) وهى نقطة تقاطع الخط أب مع منحنى الحمل والاستطالة .

(د) يحسب إجهاد الضمان من المعادلة :

$$\text{اجهاد الضمان} = \frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار}}$$

٢ ــ يمكن من هذا الاختبار تعيين كل من مقاومة الشد والنسبة المئوية للاستطالة والنسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع ـ وذلك بنفس الطريقة المتبعة فى اختبار الشد التجارى للصلب الطرى ٤

٣ ــ كما يمكن أيضا تعيين كل من معاير المرونة ومعاير الرجوعية بنفس الطريقة المتبعة فى تمرين رقم ٤ .

مثال تطبيقى :

يبين الجدول التالى القراءات المعملية للحمل والاستطالة لعينة من الصلب عالى المقاومة قطرها ٧ مم وطول قياسى ١٠٠ سم :

الحمل (كجم)	٢٠٠	٦٠٠	١٠٠٠	١٤٠٠	١٨٠٠	١٨٠٠	٢٢٠٠	٢٦٠٠	٣٠٠٠	٣٤٠٠	٣٨٠٠
الاستطالة (سم)	صفر	٠,٠٥١	٠,١٠٣	٠,١٥٥	٠,٢١٠	٠,٢٧٠	٠,٣٣٤	٠,٤٠٩	٠,٤٩٣	٠,٦٠٣	

فإذا كان أقصى حمل = ٥٨٦٠ كجم

وطول القياس بعد الكسر = ١١,٢سم

وقطر مقطع الكسر = ٥,٩ مم

المطلوب تعيين ما يلى :

١ ــ إجهاد ضمان ٠,٠١٠٪ ٢ ــ مقاومة الشد .

٣ ــ النسبة المئوية للإستطالة . ٤ ــ النسبة المئوية للنقص فى مساحة المقطع .

٥ ــ معاير المرونة . ٦ ــ معاير الرجوعية .

الحـــل :

شكل رقم (٤ ــ ٨٩) يبين العلاقة بين الحمل والإستطالة .

ج = ٠,٠١٠٪ × طول القياس = $\frac{١}{١٠٠٠}$ × ١٠٠ = ٠,١٠ مم

من شكل رقم (٤ — ٨٩) حمل الضمان = ٣٧٠٠ كجم

مساحة المقطع الأصلى لقطعة الاختبار = $\frac{\text{ط} \cdot (٧)^{٢}}{٤}$ = ٣٨,٥ مم٢

إجهاد الضمان = $\frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$ = $\frac{٣٧٠٠}{٣٨,٥}$ = ٩٦ كجم / مم٢

مقاومة الشد = $\frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$ = $\frac{٥٨٦٠}{٣٨,٥}$ = ١٥٢ كجم/مم٢

النسبة المئوية للاستطالة = $\frac{\text{طول القياس بعد الكسر} - \text{طول القياس}}{\text{طول القياس}} \times ١٠٠$

$= \frac{١١٢ - ١٠٠}{١٠٠} \times ١٠٠ = ١٢ \%$

النسبة المئوية النقص فى مساحة المقطع = $\frac{\text{مساحة المقطع الأصلى} - \text{مساحة مقطع الكسر}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}} \times ١٠٠$

النسبة المئوية النقص فى مساحة المقطع = $\frac{٣٨,٥ - ٢٧,٤}{٣٨,٥} \times ١٠٠ = ٢٩ \%$

معاير المرونة = $\frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$ (فى حدود المرونة)

$= \frac{\text{الحمل}}{\text{الاستطالة}} \times \frac{\text{طول القياس}}{\text{مساحة المقطع الأصلى}}$

$= \frac{٦٠٠}{٠,٠٨} \times \frac{١٠٠}{٣٨,٥} = ١٩٦٠٠$ كجم/مم٢

معاير الرجوعية = $\frac{\text{المساحة تحت الخط المستقيم من منحنى الحمل والاستطالة}}{\text{حجم العينة}}$

$= \frac{\frac{١}{٢} \times ١٨٠٠ \times ٠,٢٤٠}{١٠٠ \times ٣٨,٥} = ٠,٠٥٦٢$ كجم . مم/٣

المناقشة :

١ ــ ما المقصود بإجهاد الضمان ؟

٢ ــ ما معنى ٠,١ ٪ إجهاد ضمان؟

٣ ــ ما الغرض من تعيين إجهاد الضمان ؟ وهل يمكن تعيينه لجميع المعادن؟لماذا؟

٤ ــ اشرح طريقة إجراء الاختبار لتعيين إجهاد الضمان .

٥ ــ ارسم المنحنى البيانى للحمل والاستطالة للعينة المختبرة باستخدام القراءات العمابة ، ثم عين ٠,١ ٪ إجهاد الضمان للصلب عالى المقاومة فى الشد .

٦ ــ اشرح كيف يمكن أن يعين إجهاد الضمان من المنحنى البيانى للإجهاد العادى والانفعال العادى ، ثم ارسم منحنى الإجهاد والانفعال العادى للعينة المختبرة وعين منه ٠,١ ٪ إجهاد الضمان .

٧ ــ كيف يمكن تعيين إجهاد حد المرونة وحد التناسب لعينة الصلب عالى المقاومة فى الشد .

٨ ــ عين معاير المرونة ومعاير الرجوعية للعينة المختبرة من الصلب عالى المقاومة فى الشد .

٩ ــ اشرح كيف يمكن معرفة أن قيمة إجهاد الضمان لمعدن ما لاتقل عن حد أدنى معلوم ؟ اشرح أيضاً ذلك إذا كانت قيمة إجهاد الضمان يجب أن تكون بين حدين أدنى وأقصى معلومين .

تمرين رقم (٩)

اختبار شد لعينة من الصلب الطرى لرسم المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى .

(Tensile test for plotting true stress true strain diagram)

المجال :

يهدف هذا الاختبار إلى رسم المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى لعينة من الصلب الطرى ثم دراسة خصائص ذلك المنحنى .

الادوات :

مكنة اختبار الشد ذات سعة مناسبة — ميكرومتر .

العينة :

قطعة اختبار مستديرة المقطع من الصلب الطر .

طريقة الاختبار :

١ — يقاس أصغر قطر بقطعة الاختبار بالميكروميتر ثم تثبت فى فكى مكنة الاختبار وتحمل بالتدريج حتى نهاية المرونة تقريبا .

٢ — ابتداء من نهاية منطقة المرونة تحمل قطعة الاختبار على دفعات وفى كل مرة تسجل قيمة الحمل وقيمة أصغر قطر بقطعة الاختبار المناظرة له ويستمر ذلك حتى الكسر .

النتائج :

١ — من القراءات المسجلة لقيمة كل من الحمل وأصغر قطر بقطعة الاختبار يمكن حساب قيمة الإجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى المناظر له بالطريقة المبينة فى ص ١٨١ — ١٨٦ ويتم ذلك فى الجدول التالى :

الحمل (كجم)	أصغر قطر (مم)	أصغر مساحة مقطع (مم٢)	الاجهاد الحقيقى كجم / مم٢	لو (القطر الأصلى) — لو (أصغر قطر)	الانفعال الحقيقى

ومن هذا الجدول يمكن رسم العلاقة البيانية بين الإجهاد الحقيقى والإنفعال الحقيقى فى الشد للصلب الطرى .

٢ ــ يلاحظ أن العلاقة الصحيحة بين الإجهاد والانفعال من الخضوع حتى حدوث الرقبة يمكن التعبير عنها بالمعادلة . $f = b . \epsilon^{c}$

حيث f الإجهاد الحقيقى ، ϵ الانفعال الحقيقى .

b ، c ثوابت يمكن تعيينهما برسم العلاقة بين لوغاريتم الاجهاد الحقيقى ولوغاريتم الانفعال الحقيقى : $\log f = \log b + c \log \epsilon$

وهى عبارة عن خط مستقيم ميله الثابت c بينما b تمثل العدد المقابل للوغاريتم الجزء المقطوع من محور لوغاريتم الاجهاد الحقيقى (log f) .

٣ ــ كما نجد أن العلاقة بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى من حدوث الرقبة حتى الكسر عبارة عن خط مستقيم معادلته $= k \cdot \epsilon + m$

حيث k ميل الخط المستقيم و m قيمة الجزء المقطوع من محور الاجهاد الحقيقى.

مثال تطبيقى :

الجدول التالى يبين القراءات التى سجلت بالمعامل أثناء اختبار شد على قطعة اختبار من الصلب الطرى قطرها ٢٣ مم :

الحمل (طن)	صفر	١٠,٨٥	١٤	١٥,٢٥	١٥,٨	١٥,٧٥	١٢
أصغر قطر (مم)	٢٣	٢٢,٧	٢٢,١	٢١,٦	٢١	١٨	١٤,٩
ملاحظات		الخضوع			الرقبة		الكسر

والمطلوب : ١ ــ رسم العلاقة البيانية بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى .

٢ ــ تعيين الثوابت b ، c ، k ، m للصلب الطرى

الحل : ١ يبين الجدول التالى الحسابات اللازمة لرسم العلاقة بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى المبينة فى شكل رقم (٤ — ٩٠) .

الحمل بالطن	أصغر قطر (مم)	أصغر مساحة (مم ٢)	الاجهاد الحقيقى كجم/مم٢	لو (القطر الأصلى) — لو (أصغر قطر)	الانفعال الحقيقى
صفر	٣٣,٠	٤١٥	صفر		صفر
١٠,٨٥	٢٢,٧	٤٠٤	٣٦,٩	٠,٨٣٢٩-٠,٨١٩٨ = ٠,٠١٣١	٠,٠٢٦٢
١٤,٠٠	٢٢,١	٣٨٤	٣٦,٥	٠,٨٣٢٩-٠,٧٩٣٠ = ٠,٠٣٩٩	٠,٠٧٩٨
١٥,٢٥	٢١,٦	٣٦٦	٤١,٦	٠,٨٣٢٩-٠,٨٧٠١ = ٠,٠٦٢٨	٠,١٢٥٦
١٨,٨٠	١٥,٠	٣٤٦	٤٥,٦	٠,٨٣٢٩-٠,٧٤١٩ = ٠,٠٩١٠	٠,١٨٢٠
١٥,٠٠	١٨,٠	٢٥٤	٥٩,٠	٠,٨٣٢٩-٠,٥٨٧٨ = ٠,٢٤٥١	٠,٤٩٠٢
١٣,٠٠	١٣,٩	١٧٤	٧٤,٨	٠,٨٣٢٩ — ٠,٤٠٠ = ٠,٤٣٢٩	٠,٨٦٥٨

٢ — يبين شكل رقم (٤ — ٩١) العلاقة بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى من الخضوع حتى حدوث الرقبة موقعة على ورقة مربعات لوغاريتمى ، ومنها نجد أن :

$$\text{الثابت } n = \frac{\text{لو } ٣٦,٥ - \text{لو } ٢٦,٩}{\text{لو } ٠,٠٧٩٨ - ٠,٠٢٦٢} = \frac{٠,٢٠٧٥}{١,١١٥٤} = ٠,٢٨$$

$$\text{لو } b = \text{لو } ٤١,٦ - ٠,٢٨ \times \text{لو } ١٢٥٦ ,$$

$$\text{لو } b = ٣,٧٢٨١ - ٠,٢٨ \times ٣,٩٢٥٥ - = ٤,٣٠٩$$

$$\therefore \text{الثابت } b = ٧٤,٥ \text{ كجم/مم}^٢$$

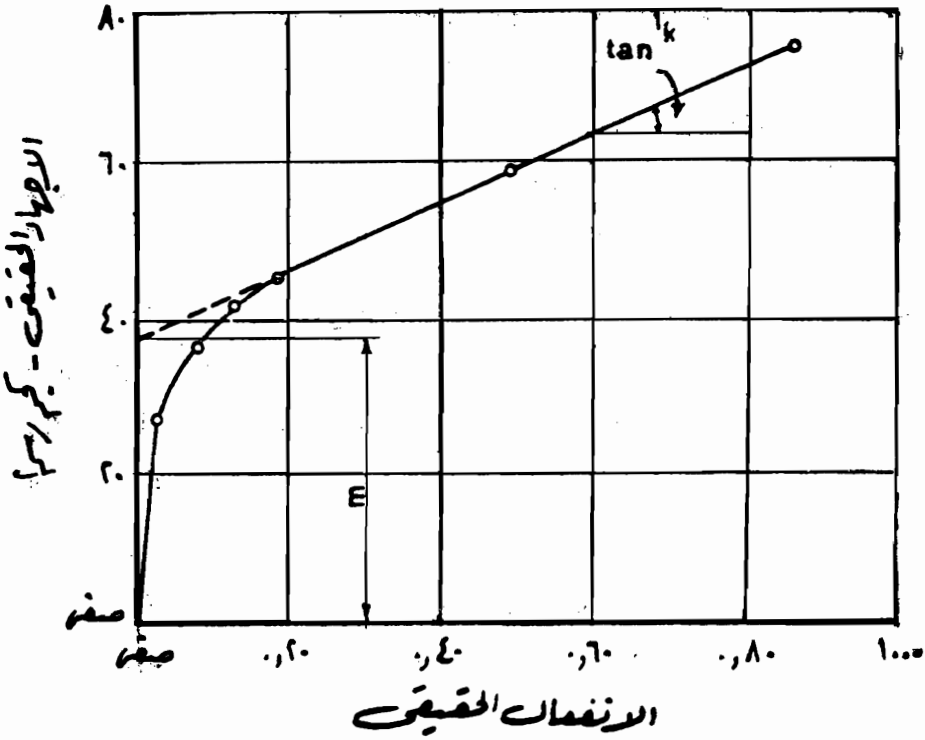
كما يتضح من شكل رقم (٤ — ٩٠) أن : الثابت $k = \frac{٩٠}{٠,٢٠} = ٤٥$ كجم/مم^٢

والثابت $m = ٣٧٥$ كجم /مم^٢

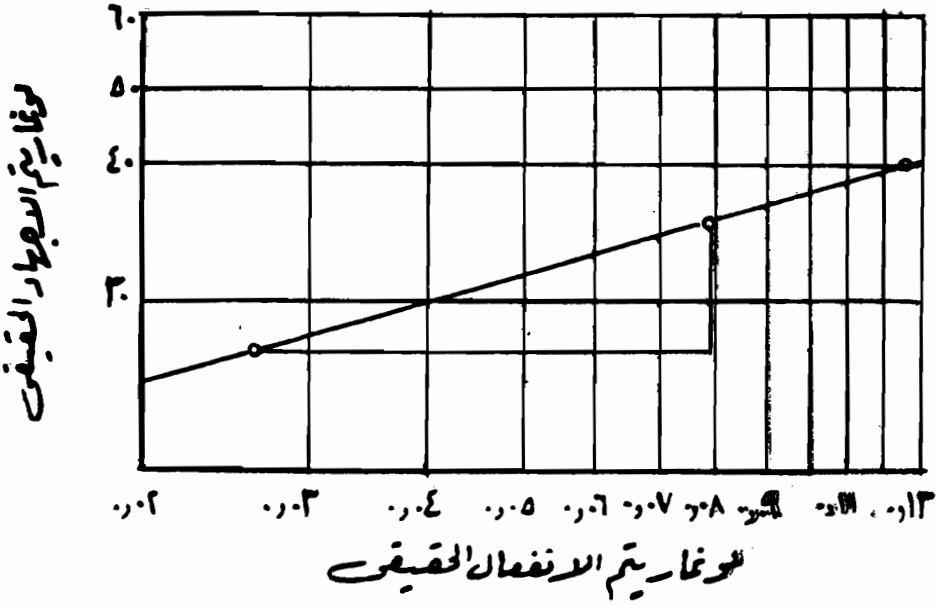
المناقشة :

(١) ما المقصود بكل من الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى ؟

(٢) ارسم باستخدام نتائج الاختبار — وهى قراءات أحمال الشد المؤثرة على العينة وقراءات قيمة أقل قطر لأقل مقطع مستعرض للعينة عند الأحمال المذكورة — المنحنى



شكل رقم (٤ — ٩١)



شكل رقم (٤ — ٩٠) العلاقة بين الإجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى

البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى مع بيان المناطق التى يحدث بها الخضوع وظاهرة حدوث الرقبة وانهيار العينة بالكسر .

(٣) ماهى العلاقة بين الاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى للصلب الطرى فى كل من منطقة المرونة ومنطقة اللدونة ومنطقة المرونةاللدنة، بين ذلك بمعادلات جبرية ثم وضح كيفية تعيين ثوابت هذه المعادلات باستخدام الرسم البيانى لمنحنى الاجهاد والانفعال .

(٤) كيف تعين قيمة معاير المتانة (Modulus of toughness) للصلب الطرى فى الشد باستخدام المنحنى البيانى للاجهاد والانفعال العادى والمنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى ؟ أحسب معاير المتانة المذكور من المنحنى البيانى المرسوم للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى . .

(٥) ارسم تخطيطيا المنحنى البيانى للاجهادالعادى والانفعالالعادى والمنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والانفعال الحقيقى وذلك بنفس مقياس الرسم، ثم وضح النتائج التى يمكن استخلاصها من مقارنة هذين المنحنى .