المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تخصص ميكانيكا إنتاج

اختبار المواد

123 ميك

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " اختبار المواد (نظري) " لمتدربي قسم" ميكانيكا إنتاج " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

ما من نهضة صناعية أو عمرانية إلا كان علم اختبار المواد أحد الأسس الرائدة فيها فالأجزاء الميكانيكية الدقيقة و المنشآت الضخمة و المشروعات الإنتاجية الكبيرة ما هي إلا دليل على تقدم علم المواد حيث تقاس صلاحية المواد بصلاحية المواد المستخدمة في تكوينها و بنائها. كما أن هناك جهوداً كثيرة و كبيرة تبذل لتطوير المواد الهندسية المختلفة لتحسين خواصها الميكانيكية لتقاوم مع الزمن ما تتعرض له من أحمال و قوى و ما تتعرض له من عوامل مختلفة سواء كانت جوية أو كيميائية أو ميكانيكية مع الالتزام بالمواصفات القياسية.

هذه الحقيبة التدريبية هي عبارة عن تعريف و تصنيف للمواد الهندسية و خواصها المختلفة مع التركيز على الخواص الميكانيكية و مع المراعاة فيها لمعاني المواصفات القياسية و الوحدات و الاستعراض فيها لأهم الاختبارات الإتلافية بوصفها الاختبارات التي تزودنا بأبرز الخواص الميكانيكية ألا و هي اختبار الشد و اختبار الضغط و اختبار الصدم و أخيراً اختبار الصلادة. و كذلك يوجد في هذه الحقيبة الطرق و الوسائل و المعادلات المختلفة التي تسمح بقياس و حساب هذه الخواص. كما أنه يوجد فيها التعرف على الاختبارات غير المتلفة التي تسمح لنا بمعرفة العيوب و الشوائب بالمواد دون اللجوء إلى إتلافها. و تنقسم هذه الحقيبة إلى سبع وحدات و هي:

الوحدة الأولى: و تشمل تعريفاً للمواد الهندسية و خواصها مع تفاصيل للخواص الميكانيكية و نبذة مختصرة عن المواصفات القياسية و هيئات التوحيد القياسي. كما تحتوي على مفاهيم الحمل و الإجهاد و التشكيل و الانفعال.

الوحدة الثانية: و تطرقنا فيها لتعريف اختبار الشد و طريقة الحصول على منحنى الإجهاد و الانفعال و نستنتج منه الخواص الميكانيكية المختلفة كالمرونة و الممطولية و مقاومة الشد و الرجوعية ... و كان اهتمامنا أيضاً لأنواع الكسور حسب طبيعة المعدن المختبر و للعوامل المؤثرة على الخواص الميكانيكية مثل شكل العينة و سرعة التحميل و المعاملات الحرارية...

الوحدة الثالثة: و تشمل اختبار الضغط مع شرح للعوامل الداعية للاختبار و سلوك المعادن تحت تأثير هذا الاختبار. كما أدرجنا فيها تفاصيل حول منحنيات الإجهاد و الانفعال لمعادن ذات خواص ميكانيكية مختلفة مثل المعادن المطيلة و النصف مطيلة و القصفة مع مراعاة العوامل المؤثرة على الاختبار مثل شكل العينة و المحورية و الاحتكاك...

الوحدة الرابعة: و يوجد فيها اختبار الالتواء الذي يستخدم في مجالات عديدة في الصناعة بحيث نتعرف على الإجهادات القصية و على منحنى عزم الدوران و معايير القص و الجساءة.

الوحدة الخامسة: تطرقنا في هذه الوحدة إلى معرفة الطرق التي تسمح لنا بقياس خاصية ميكانيكية مهمة ألا وهي المتانة. أهم الطرق المستخدمة هي طريقة تشاربي و طريقة أيزود؛ و فيها تعرفنا على العلاقات الرياضية لحساب الطاقة و العوامل المؤثرة على نتائج الاختبار و شكل العينة بعد الكسر الخ ...

الوحدة السادسة: و تشمل اختبار الصلادة و أنواعه و طريقة الاختبار. ثم تعرفنا بأكثر على تفاصيل الاختبارات القياسية الأكثر شيوعاً و هي اختبار برنل و اختبار فيكرز و اختبار روكول مع إعطاء معلومات حول جهاز الاختبار و طريقة عمله و شكل الأداة المستخدمة في كل نوع من الاختبار. و عرضنا أيضاً العلاقات الرياضية لحساب أرقام الصلادة و العلاقات الموجودة بين الأرقام المختلفة حسب الطريقة المستخدمة.

الوحدة السابعة: أما هذه الوحدة فتختلف عن الوحدات الأخرى بحكم طبيعة الاختبارات أنها غير متلفة للمادة و التي تسمح لنا بالتعرف على العيوب السطحية و الداخلية للمواد باستخدام تقنيات حديثة كاستخدام السوائل المخترقة و استخدام الحقل المغناطيسي.

و قدمنا في نهاية كل وحدة مسائل محلولة و تدريبات نظرية لتعميق الاستيعاب لكل المفاهيم و لكل النظريات.

اختبار المواد

المواد الهندسية و خواصها

الوحدة الأولى:

المواد الهندسية و خواصها
Engineering Materials and their Properties

الجدارة:

التعرف على المواد الهندسية و خواصها.

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- تصنيف المواد الهندسية و خواصها المختلفة.
- معرفة الخواص الميكانيكية (المرونة و اللدونة و القصافة و الممطولية ...).
- التمييز بين الاختبارات الإتلافية و الاختبارات غير الإتلافية للمواد.
- إدراك أهمية توحيد المواصفات و المقاييس للمواد و الأجزاء الميكانيكية.
- استخدام الوحدات المختلفة في مجال الميكانيكا (المساحة و الحجم و القوة و الضغط ...).

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

ساعتان.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.1: المواد الهندسية:

استعمل الإنسان المواد المختلفة منذ نشأته على الأرض لصنع أدواته و أسلحته البسيطة. ثم أخذ منذ ذلك الحين يبحث عن الجديد و الأفضل من هذه المواد حتى أصبحت حاليًا تشكل الحجر الأساسي للتقدم العلمي و التكنولوجي و الصناعي. إذاً يمكن القول:

تعريف: المواد الهندسية هي المواد الأولية و المصنعة التي تستعمل في إنتاج السلع و الأدوات المختلفة.

و على الرغم من كثرة هذه المواد الهندسية و تشعبها فإنه من الممكن تقسيمها بصورة عامة على النحو التالي:

- ❖ المواد المعدنية و منها:
  - ✓المواد الحديدية مثل الحديد المطاوع و حديد الزهر و الفولاذ.
  - ✓المواد غير الحديدية مثل النحاس و الفضة و الرصاص.

- ❖ المواد غير المعدنية و منها:
  - ✓المواد العضوية مثل اللدائن، الخشب، المطاط.
  - ✓المواد غير العضوية و منها الزجاج، الخزف، الإسمنت.

2.1: خواص المواد الهندسية:

تعريف: خواص المواد الهندسية هي المقاييس المحددة التي تصف جودة المواد الهندسية.

و تعتبر خواص المواد الهندسية أيضًا اللغة أو العبارات التي يوضح بها المصمم احتياجاته للمادة التي ستقاوم الأحمال و الكسر و التفتت و التفاعلات الكيميائية و الإشعاعات و الحرارة... و تفيد الخواص أيضًا في اعتبارها أساساً لمقارنة انتظام العينات المختلفة للمادة الواحدة. و يلاحظ أنه لا توجد قطعتان من مادة واحدة لها نفس الخواص تمامًا بمنتهى الدقة، و يرجع ذلك إلى عوامل كثيرةً تتعرض لها المادة أثناء

الصناعة أو نتيجة لعمليات التشكيل أو إلى عوامل الزمن أو إلى التغير في درجة الحرارة أو الرطوبة أو إلى عوامل أخرى.

تنقسم خواص المواد الهندسية إلى عدة أقسام: جدول 1.1 يتضمن تلخيصًا لأهم هذه الأقسام:

القسم	الخواص
فيزيائي	الأبعاد و الشكل و الكثافة و المسامية و الرطوبة... الخ
كيميائي	التركيب الكيميائي و حمضي أو قلوي و مقاومة الصدأ...الخ
فيزو كيميائي	امتصاص الماء و الانكماش و التمدد نتيجة الحرارة ... الخ
بصري	اللون و نفاذ الضوء و انعكاس الضوء ... الخ
ميكانيكي	المقاومة و المتانة و الصلادة و الصلابة و القصافة ... الخ
حراري	الحرارة النوعية و التمدد و التوصيل الحراري... الخ
كهرومغناطيسي	الفعل الجلفاني، النفاذ المغناطيسي... الخ
سمعي	التحويل الصوتي، الانعكاس الصوتي.... الخ

جدول 1.1 : تقسيم خواص المواد الهندسية.

3.1: الخواص الميكانيكية للمواد:

تعريف: الخواص الميكانيكية هي الخواص التي تتعلق بسلوك المادة عند تعريضها للأحمال المؤثرة كالشد و الضغط و الصدم و الثني و الخدش الخ ...

علمًا بأن الخواص الميكانيكية تستخدم كأساس للمقارنة بين المواد الهندسية المختلفة.

الخواص الميكانيكية الرئيسة هي:

1. المرونة Elasticity: هي قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية أي عدم بقاء تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر.
2. اللدونة Plasticity: هي قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر.

⇦ فاللدونة عكس المرونة. و ليست هناك مادة مرنة تمامًا أو لدنة تمامًا. فبعض المواد مثل المطاط يمكن أن تأخذ تشكيلاً كبيرًا و لكنه يعود إلى أبعاده الأصلية بعد رفع الحمل المؤثر عليه. و هناك مواد لها مرونة عالية في حدود مدى معين من التحميل و بعده تصبح لدنة لدرجة ما و من أمثلة ذلك الصلب. و هناك بعض المواد الأخرى لها لدونة عالية و لكن قليل من المرونة مثل الرصاص.

3. الممطولية Ductility: يمكن تعريفها بأنها الخاصية التي تسح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير حمل الشد أي قدرة المادة على السحب و قابليتها للاستطالة الكبيرة عند تعرضها لحمل الشد.

4. القصافة Brittleness: هي الخاصية التي تجعل المادة تنكسر قبل تغير ملحوظ في الشكل.

⇦ فالممطولية هي عكس القصافة فالمواد المطيلة لها تشكل لدن كبير عند تعرضها لحمل الشد مثل النحاس أما المواد القصفة فتنكسر قبل أن يطرأ عليها أي تغير في الشكل عند التحميل مثل الزجاج و حديد الزهر.

5. الطروقية Malleability: هي قدرة المادة على أن يحدث لها تغيرات لدنة كبيرة تحت حمل الضغط أي قدرة المادة على التفلطح بالطرق دون حدوث كسر.

⇦ الطروقية خاصية تشبه الممطولية لكن التحميل في الممطولية هو الشد أما في الطروقية فهو في حالة الضغط.

6. المقاومة Strength: هي مقاومة المادة لأي حمل مؤثر، و المقاومة للشد إذا كان الحمل المؤثر حمل الشد و المقاومة للانحناء إذا كان الحمل حمل الانحناء....

7. الصلابة (الكزازة) Stiffness: هي خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل، و تعرف المادة الصلبة بأنها تتحمل أحمال عالية مع حدوث تغير صغير نسبيًا في الشكل.

8. المتانة Toughness: هي قدرة المادة على مقاومة الصدمات و امتصاص الطاقة الميكانيكية.

9. الرجوعية Resilience: هي قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تمامًا بعد زوال الحمل المؤثر.

10. الصلادة Hardness: صلادة المادة هي الخاصية التي تمكنها من الاحتفاظ بشكل سطحها سليمًا متماسكًا تحت تأثير الأحمال. و تعرف الصلادة بأنها قدرة المادة لمقاومة البري نتيجة الاحتكاك أو المقاومة للخدش أو القطع أو حدوث علامة بها.

4.1: اختبار المواد الهندسية:

و سوف نتطرق لاحقا بإذن الله لإعطاء تفاصيل أخرى للخواص الميكانيكية للمواد خاصةً طرق حسابها. ولتحديد و قياس هذه الخواص تجرى اختبارات ميكانيكية باستخدام أجهزة و آلات على عينات مجهزة للاختبار.

تنقسم الاختبارات الميكانيكية للمواد إلى قسمين:

- ❖ الاختبارات الإتلافية للمواد Destructive Testing: و فيها تتلف العينة و لا يحافظ على سلامتها مثل الكسر و الثني و الخدش الخ ... و أهمها:
  - ✓ اختبار الشد Tension test
  - ✓ اختبار الضغط Compression test
  - ✓ اختبار الصلادة Hardness test
  - ✓ اختبار الصدم Impact test
  - ✓ اختبار الالتواء Torsion test الخ ...

❖ الاختبارات غير الإتلافية للمواد Nondestructive Testing: فيها تختبر العينة دون إتلافها و المحافظة على سلامتها و أهمها:

- ✓ الاختبار بالفحص البصري Visual inspection
- ✓ اختبار بمخترق السوائل Liquid penetrant inspection
- ✓ اختبار التسرب Leak test
- ✓ الاختبار بالدقائق المغناطيسية Magnetic particles test
- ✓ الاختبارات بالأشعة Radiographic test
- ✓ الاختبار بالموجات فوق الصوتية Ultrasonic test
- ✓ الاختبار بالتيارات الدوامية Eddy current test

كما أن الاختبارات الإتلافية تقيس و تحدد الخواص الميكانيكية للمواد فإن الاختبارات غير الإتلافية تقوم بالتفتيش و توصيف العيوب الداخلية و السطحية للمواد دون إتلافها و ذلك لضمان أنها تؤدي للوظائف المطلوبة منها.

5.1: مواصفات المواد:

تعريف: المواصفات هي الاشتراطات التي يضعها المستهلك للمنتج أو صاحب العملية الهندسية لمن يقوم له بها و ذلك لبيان الرغبات المطلوبة في المنتجات أو في العملية الهندسية. و تحتوي المواصفات على اشتراطات مختلفة منها اشتراطات تتعلق بـ:

- ✓ طرق الصناعة المستخدمة
- ✓ الشكل و الأبعاد و الإنهاء
- ✓ الخواص الطبيعية و الكيميائية و الميكانيكية المطلوبة
- ✓ حدود العيوب غير المرغوبة
- ✓ كيفية تحضير عينات الاختبار و طرق الاختبار و التفتيش
- ✓ القبول و الرفض و التحكيم و الشهادات

6.1: التوحيد القياسي:

عرف التوحيد القياسي على مر العصور و الأجيال و استخدم في بناء الحضارات البشرية لخدمة الإنسان و تبسيط العمل الذي يواجهه. و مع مرور الزمن بدأت مشاكل الإنتاج بالجملة في الظهور و التضخم و كما هو المعتاد بدأ العلم في التدخل لحل تلك المشاكل. أسفرت تلك الدراسات و البحوث التي أجريت في هذا المضمار عن ضرورة وضع مواصفات و مقاييس محددة لمواد و خواص و أبعاد الأجزاء و القطع المختلفة التي تتكون منها السلع و الآلات حتى يمكن إخضاع عملية الإنتاج بالجملة لسلعة ما إلى نظام موحد يكفل تشابه و تجانس كل مجموعة من الأجزاء المتماثلة سواء في مصنع واحد أو مصانع متعددة ثم تجميعها بسهولة لتكوين عدد كبير من السلع أو الآلات في صورها النهائية.

1.6.1: المواصفات القياسية:

تعريف: المواصفات القياسية هي المواصفات المحضرة نتيجة الاتفاق بين المختصين الذين يهمهم أمر هذه المواصفات. و تستخدم المواصفات القياسية كاشتراط لقبول و رفض المواد و المنتجات بين الهيئات المعنية.

2.6.1: هيئات التوحيد القياسي:

تقوم هيئات مختلفة تسمى هيئات التوحيد القياسي بتحضير و نشر المواصفات القياسية للمواد و المنتجات و طرق الاختبار و التفتيش كل هيئة في حدود اختصاصاتها. و تتكون هذه الهيئات في الغالب من علماء و مهندسين من هيئات الأبحاث بالجامعات و المصالح الحكومية و بالشركات و الهيئات و من المهندسين الاستشاريين المتخصصين في الفرع المعين المتعلق بالمواصفات و أهم هذه الهيئات:

- ✓ الجمعية الأمريكية لاختبار المواد .The American Society for Testing and Materials: A.S.T.M
- ✓ هيئة المواصفات البريطانية .British Standards Society: B.S.S
- ✓ المعهد الألماني للمواصفات .Deutsches Institut für Normung: D.I.N
- ✓ الهيئة المصرية للتوحيد القياسي م.ق..

و تقوم الهيئة الدولية للمواصفات .I.S.O (International Standards Organization) بعمل مواصفات قياسية موحدة بعد مناقشة مواصفات الجهات المختلفة.

7.1: الوحدات:

لإجراء قياس لكمية معينة فلابد من وجود معايير لتحديد القيمة المقاسة. و لذلك نشأت مع نهاية القرن التاسع عشر عدة نظم للوحدات كان أهمها و أحدثها النظام المتري للوحدات الذي تم اعتماده كنظام دولي لوحدات القياس (SI) اتفقت عليه كل دول العالم في مؤتمر دولي للقياس عُقد في سنة 1960 . و هذا النظام يحدد وحدة قياس لكل كمية من الكميات الطبيعية التي نتعامل معها في حياتنا اليومية. جدول 2.1 يعطي الوحدات الأساسية في النظام العالمي و جدول 3.1 الوحدات المشتقة من الوحدات الأساسية في النظام العالمي.

الكمية المقاسة (الرمز)	وحدة القياس	الرمز (SI)
الطول (L)	متر	m
الكتلة (m)	كيلو جرام	Kg
الزمن (t)	ثانية	s
درجة الحرارة (T)	كلفن	K

جدول 2.1 : بعض الوحدات الأساسية في النظام العالمي.

الكمية المقاسة (الرمز)	وحدة القياس المشتقة	الرمز (SI)
المساحة (A)	متر مربع	m^2
الحجم (V)	متر مكعب	m^3
السرعة الخطية (s)	متر لكل ثانية	m/s
السرعة الزاوية (ω)	ردیان لكل ثانية	rad/s
التسارع الخطية (γ)	متر لكل ثانية مربعة	m/s^2
التسارعة الزاوية (θ)	ردیان لكل ثانية مربعة	rad/s^2
القوة (F)	نيوتن	N
الضغط (P)	نيوتن لكل متر مربع	$N/m^2 = Pa$

جدول 3.1 : بعض الوحدات المشتقة من الوحدات الأساسية في النظام العالمي.

الوحدة الأولى: تدريبات نظرية

من **التمرين 1.1** إلى **التمرين 11.1** اختر الإجابة الصحيحة من ضمن الأجوبة الأربعة المقترحة:

التمرين 1.1: خواص المواد الهندسية هي:

أ- المقاييس المحددة التي تصف جودة المواد

ب- المعايير التي يجب أخذها بالاعتبار في عمليات تشكيل المواد

ج- الخصائص الميكانيكية فقط دون الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و المغناطيسية الخ ...

د- سلوك المواد أثناء تعرضها لدرجات الحرارة العالية و الضغط العالي

التمرين 2.1: من الخواص الميكانيكية المرونة Elasticity ، المرونة هي:

أ- قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية أي عدم بقاء تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر

ب- قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر

ج- الخاصية التي تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير حمل الشد

د- الخاصية التي تجعل المادة تتكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل

التمرين 3.1: من الخواص الميكانيكية المطولية Ductility ، المطولية هي:

أ- قدرة المادة على استعادة أبعادها الأصلية أي عدم بقاء تشكل دائم بعد زوال الحمل المؤثر

ب- قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر

ج- الخاصية التي تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير حمل الشد

د- الخاصية التي تجعل المادة تتكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل

التمرين 4.1: من الخواص الميكانيكية الصلابة Stiffness ، الصلابة هي:

أ- خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل

ب- قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية أي مقدرتها على مقاومة و امتصاص الطاقة الميكانيكية

ج- قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تماما بعد زوال الحمل المؤثر

د- الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال

التمرين 5.1: يعتبر اختبارات الشد Tension Test و الضغط Compression Test من:

أ- الاختبارات الإتلافية

ب- الاختبارات غير الإتلافية

ج- التجارب السمعية البصرية

د- التجارب الفيزوكيميائية

التمرين 6.1: يعتبر اختبار الصلادة Hardness Test من:

أ- الاختبارات الإتلافية

ب- الاختبارات غير الإتلافية

ج- التجارب السمعية البصرية

د- التجارب الفيزوكيميائية

التمرين 7.1: يعتبر اختبار بالدقائق المغناطيسية Magnetic Particle Test من:

أ- الاختبارات الإتلافية

ب- الاختبارات غير الإتلافية

ج- التجارب السمعية البصرية

د- التجارب الفيزوكيميائية

التمرين 8.1: يعتبر اختبار بالترددات فوق صوتية Ultrasonic Test من:

أ- الاختبارات الإتلافية

ب- الاختبارات غير الإتلافية

ج- التجارب الكهرومغناطيسية

د- التجارب الفيزوكيميائية

التمرين 9.1: قدرة المادة على أن يكون لها تشكل دائم أي لا تسترجع المادة أبعادها الأصلية بعد إزالة الحمل المؤثر هي:

أ – المرونة Elasticity

ب – اللدونة Plasticity

ج – الممطولية Ductility

د – التقصف Brittleness

التمرين 10.1: الخاصية التي تسمح للمادة بتغير لدن كبير تحت تأثير حمل الشد هي:

أ – المرونة Elasticity

ب – اللدونة Plasticity

ج – الممطولية Ductility

د – التقصف Brittleness

التمرين 11.1: الخاصية التي تجعل المادة تنكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل هي:

أ – المرونة Elasticity

ب – اللدونة Plasticity

ج – الممطولية Ductility

د – التقصف Brittleness

التمرين 12.1: تعرضت قطعة ألمونيوم أسطوانية الشكل قطرها 5 cm و طولها الأصلي 17.000 cm لحمل ضغط قيمته 15 T (طن) فأصبح طولها النهائي 16.981 cm. احسب:

1. مساحة مقطع القطعة الأصلي
2. الإجهاد الهندسي
3. الانفعال الحقيقي
4. الانفعال الهندسي
5. معامل يونغ Young's Modulus E

اختبار المواد

اختبار الشد

الوحدة الثانية :

اختبار الشد

Tensile Test

الجدارة:

اختبار الشد و قياس أهم الخواص الميكانيكية.

الأهداف:

- عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يصبح لديه القدرة على: معرفة معنى الحمل و الإجهاد و التمييز بين الإجهاد الحقيقي و الإجهاد الهندسي.
- معرفة معنى التشكيل و الانفعال و التمييز بين الانفعال الحقيقي و الانفعال الهندسي.
- معرفة اختبار الشد و رسم منحنى القوة و الاستطالة و منحنى الإجهاد و الانفعال.
- استنتاج الخواص الميكانيكية من المنحنيات مثل إجهاد الخضوع و معامل المرونة و مقاومة الشد و إجهاد الكسر و الممطولية و الرجوعية ...
- معرفة نوعية المادة (مطيلة، نصف مطيلة أو قصفة) حسب شكل الكسر للعينة
- إدراك أهمية العوامل المؤثرة على خواص الشد للمعادن مثل سرعة التحميل، الحرارة أثناء الاختبار و شكل العينة و تركيبتها الكيميائية ...

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

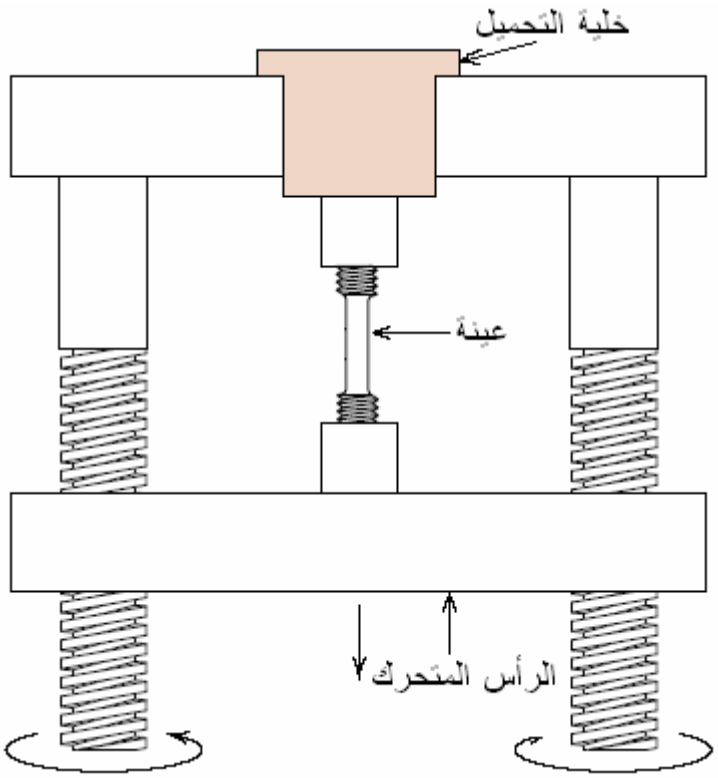
6 ساعات.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.2: تعريف: اختبار الشد Tensile test هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعين خواصها تحت تأثير حمل الشد المحوري في اتجاه واحد حيث ينطبق اتجاه الحمل على المحور الطولي للعينة المختبرة. و يكون التحميل تدريجيًا، يبدأ من الصفر و يزداد حتى حدوث الكسر بالعينة.

2.2: ماكينة اختبار الشد:

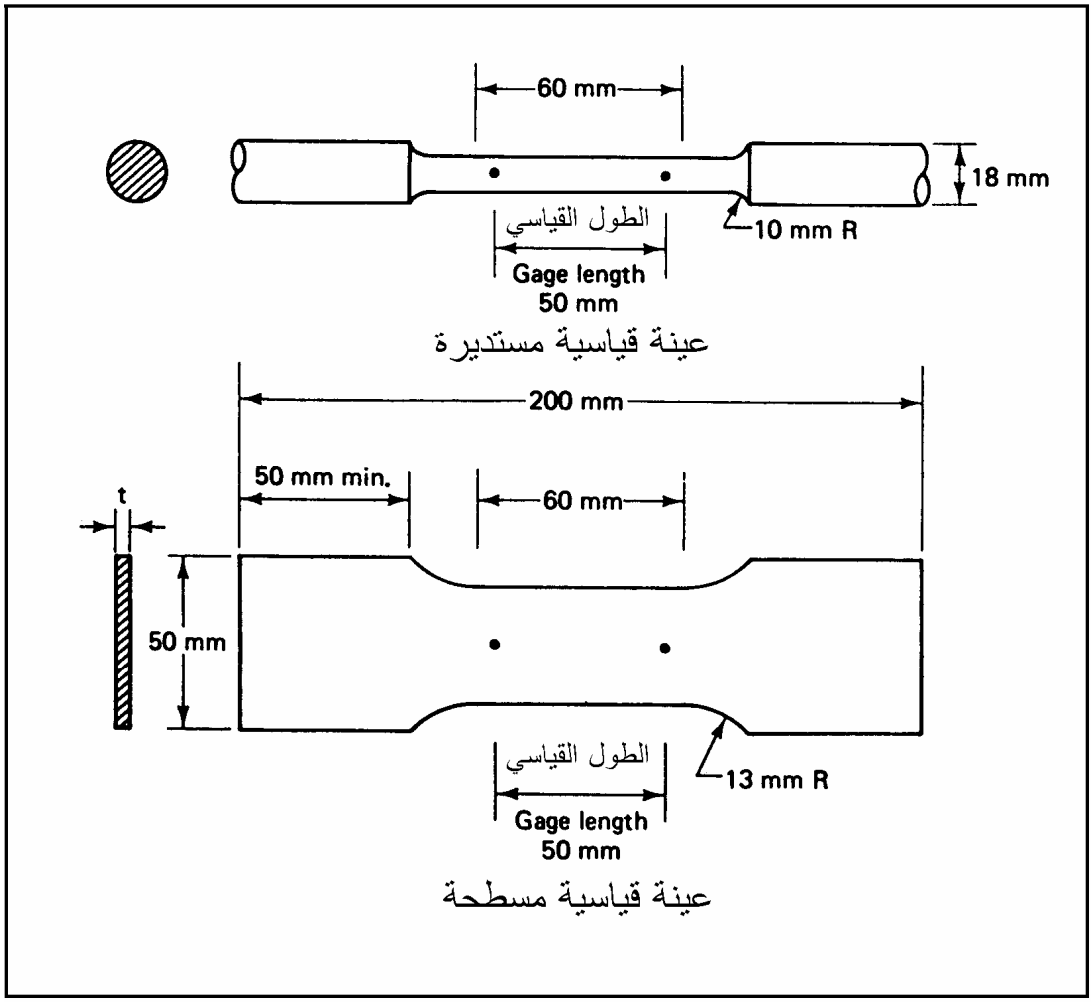


شكل 1.2 : ماكينة اختبار الشد.

تستخدم ماكينة الاختبار العامة (Universal Machine Testing) لاختبارات عديدة كالشد و الضغط و الانحناء. و تتكون هذه الماكينة من رأس ثابت خاص لموازنة الحمل و قياس قيمته (balancing) وآخر متحرك وهو المسبب للأحمال المؤثرة على العينات المختبرة (loading). العينة المختبرة تثبت بين الرأسين بواسطة كلابات و مصدر القوة المحركة يكون في أغالب الأحيان محركاً كهربائياً كما في شكل 1.2.

3.2: عينات الاختبار القياسية:

أشكال العينات القياسية المستخدمة في اختبار الشد مختلفة و لها مقاسات موحدة فمنها المستديرة الطويلة و القصيرة و منها المسطحة الطويلة و القصيرة. شكل 2.2 يعطي شكل عينة قياسية مستديرة و عينة قياسية مسطحة.

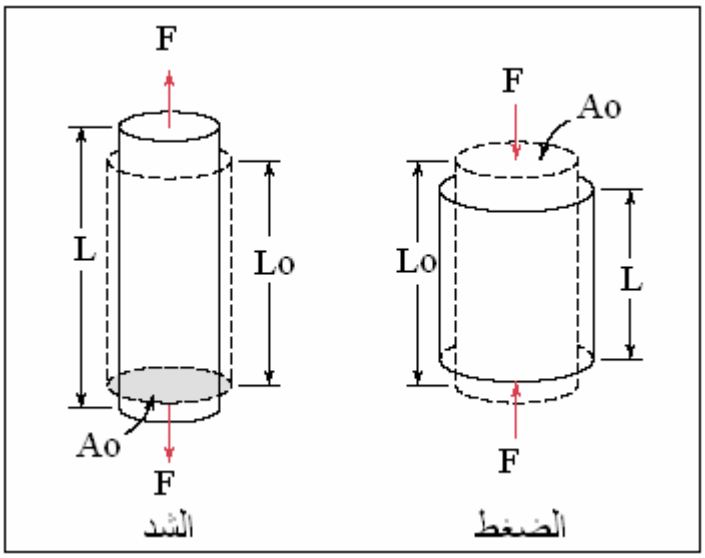


شكل 2.2 : عينات قياسية لاختبار الشد.

يعتبر اختبار الشد من أكثر الاختبارات شيوعًا في الاستخدام خاصة و أنه من أسهل الاختبارات الميكانيكية في إجرائها و من أبسطها في تحديد النتائج. كما أن نتائج هذا الاختبار تعطي كمًا هائلاً من المعلومات فيما يخص الخصائص الميكانيكية. و لذلك يعتبر اختبار الشد من أهم الاختبارات التي يستخدمها المهندس للتحكم في جودة المواد و نتائجه تعطي صورة واضحة عن مستوى الإنتاج.

4.2: الحمل و الإجهاد:

عندما يتعرض جزء من منشأ أو جزء من ماكينة إلى أحمال أو قوى خارجية، تتولد في داخله قوى مقاومة لتلك الأحمال. و تسمى هذه القوى الداخلية في أي جزء من المنشأ بالإجهادات. فنستطيع أن نقول بأن الأحمال الخارجية هي القوى المطبقة و تكون وحدتها النيوتن N و يرمز إليها غالبا بـ F . أما كثافة القوى الداخلية و هي شبيهة بالضغط المولد داخل المنشأ فهي الإجهادات و تكون وحدتها باسكال Pa أو N/m^2 و يرمز إليها بـ σ. كما أن الإجهادات تكون إجهاد شد في حالة تحميل القطعة شدًا أو إجهاد ضغط في حالة تحميلها ضغطًا كما في شكل 3.2. و بالتالي نعرف الإجهاد:



شكل 3.2 : عينات تحت حمل الشد و حمل الضغط.

1.4.2: تعريف: الإجهاد (σ) هو حاصل قسمة القوة العمودية (F) على مساحة مقطع العينة الأصلي (Ao).

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \qquad (1.2)$$

σ: الإجهاد ، [Pa] أو [N/m^2]

F: القوة ، [N]

A_o: مساحة مقطع العينة الأصلي ، [m^2]

مثال 1.2:

تم تحميل قضيب من الألومونيوم مربع المقطع ضلعه $a = 2.5\ cm$ بقوة قيمتها $m = 350\ Kg$. ما هي قيمة الإجهاد بوحدة Pa.

الحل:

مساحة المقطع:

$$A_o = a^2 = (2.5 \times 10^{-2})^2 = 6.25 \times 10^{-4}\ m^2 = 0.000625\ m^2$$

نأخذ قيمة تسارع الجاذبية الأرضية $g \approx 10\ m/s^2$ ، القوة F :

$$F = m \times g = 350 \times 10 = 3500\ N$$

الإجهاد:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{3500}{6.25 \times 10^{-4}} = 56 \times 10^5\ N/m^2 = 56 \times 10^5\ Pa$$

أثناء اختبار الشد أو الضغط لعينة ما, يبدأ التحميل من صفر حتى تتكسر العينة. من الواضح أن مساحة مقطع العينة تتغير و تنقص تدريجيًا أثناء التحميل. إذاً قيمة المساحة تتغير و بالتالي الإجهاد أيضًا يتغير. و لذلك الإجهاد ينقسم إلى نوعين:

2.4.2: الإجهاد الهندسي (σ): هو حاصل قسمة القوى العمودية (F) على مساحة مقطع العينة الأصلية (A_o) أي المساحة المحسوبة قبل الشد كما رأيناه في العلاقة (1.2):

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \qquad (1.2)$$

3.4.2: الإجهاد الحقيقي (σ_{tr}): هو حاصل قسمة القوى العمودية (F) على مساحة مقطع العينة اللحظية (A_i) أي المساحة المحسوبة لحظة قراءة القوة.

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{A_i} \qquad (2.2)$$

5.2: التشكيل و الانفعال:

عندما تؤثر قوى خارجية على منشأ أو جزء من ماكينة يتسبب عنها تغير في شكله و يسمى التغير في أي بعد طولي للمنشأ تشكيلاً. ففي حالة تحميل الشد التشكيل يعتبر استطالةً أما في حالة الضغط فتقلصًا. وحدة التشكيل وحدة طول أي ملم mm و يرمز إليه بـ ΔL . أما الانفعال فهو وحدة التشكيل أو التغير لكل وحدة من الأبعاد الطولية و لذلك وحدة الانفعال هي mm/mm و يمكن أن نقول بأنه لا وحدة له و يعبر عنه بالنسبة المئوية أي % و يرمز إليه بـ e و هكذا نعرف الانفعال:

1.5.2: تعريف: الانفعال (e) هو حاصل قسمة التشكيل (الاستطالة أو التقلص) (ΔL) الحاصلة للعينة على الطول الأصلي للعينة (L_o)

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} \qquad (3.2)$$

e: الانفعال ، [mm/mm] أو [بدون وحدة] أو % .
ΔL: التشكيل (الاستطالة أو التقلص) [mm]
L_o: الطول الأصلي للعينة ، [mm].
L_f: الطول النهائي للعينة ، [mm].

حيث إن في اختبار الشد الاستطالة ΔL هي حاصل طرح الطول النهائي L_f من الطول الأصلي L_o :

$$\Delta L = L_f - L_0 \qquad (4.2)$$

مثال 2.2:
أجري اختبار الشد على عينة أسطوانية الشكل طولها الأصلي $L_o = 160$ mm فاستطالة بـ $\Delta L = 50$ mm . احسب قيمة الانفعال.
الحل:

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{50}{160} = 0.3125 = 0.3152 \times 100\,\% = 31.25\%$$

كما هو بالنسبة للإجهاد، يوجد في الانفعال نوعان:

2.5.2: الانفعال الهندسي (e): هو حاصل قسمة التشكيل (الاستطالة أو التقلص) (ΔL) الحاصلة للعينة على الطول الأصلي للعينة (L_o):

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} \qquad (3.2)$$

3.5.2: الانفعال الحقيقي (ε): هو اللوغاريتم الطبيعي لقسمة الطول النهائي (L_f) على الطول الأصلي (L_o):

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right) \qquad (5.2)$$

من المعادلة (3.2) و (4.2) نستنتج أن:

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_f - L_o}{L_o} = \frac{L_f}{L_o} - 1 \qquad (6.2)$$

أو

$$\frac{L_f}{L_0} = e + 1 \qquad (7.2)$$

من المعلوم في المعادلة (5.2) $\varepsilon = \ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right)$ فمن الممكن إيجاد المعادلة التالية لحساب الانفعال الحقيقي بمعلومية الانفعال الهندسي أو بصيغة أخرى المعادلة التي تعطي العلاقة بين الانفعال الحقيقي بدلالة الانفعال الهندسي:

$$\varepsilon = \ln(e + 1) \qquad (8.2)$$

مثال 3.2:

عينة طولها الأصلي 100 mm تم إجراء اختبار الشد عليها حتى أصبح طولها 102 mm.أوجد كلا من:

أ) الانفعال الهندسي.

ب) الانفعال الحقيقي.

الحل :

$$L_f = 102\ mm \qquad L_0 = 100\ mm$$

أ) الانفعال الهندسي:

من العلاقة (3.2):

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{102 - 100}{100} = 0.02$$

ب) الانفعال الحقيقي:

من العلاقة (5.2):

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right) = \ln\left(\frac{102}{100}\right) = 0.0198$$

أو من العلاقة (8.2) و من قيمة الانفعال الهندسي الذي حسبناه في السؤال(أ)أي بقيمة 0.02:

$$\varepsilon = \ln(e+1) = \ln(0.02+1) = 0.0198$$

باتباع الخطوات التالية، فإنه من الممكن أيضاً استنتاج علاقة جديدة لحساب الإجهاد الحقيقي بمعرفة الإجهاد الهندسي في منطقة التشوه المتجانس Homogenous deformation من العلاقة (2.2):

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{A_i} \times \frac{A_0}{A_0}$$

$$\sigma_{tr} = \sigma \times \frac{A_0}{A_i} \qquad (9.2)$$

بما أن حجم العينة ثابت، فإن الحجم الأصلي (قبل الشد) يساوي الحجم النهائي أي قبل حدوث ظاهرة الرقبة:

$$V_0 = V_f \qquad (10.2)$$

حجم الأسطوانة هو حاصل ضرب مساحة المقطع في الطول:

$$A_0 \times L_0 = A_f \times L_f \qquad (11.2)$$

أو

$$\frac{A_0}{A_f} = \frac{L_f}{L_0} \qquad (12.2)$$

من المعادلتين (9.2) و (12.2) نستطيع كتابة المعادلة التالية:

$$\sigma_{tr} = \sigma \times \left(\frac{L_f}{L_0}\right) \qquad (13.2)$$

و باستخدام المعادلة (7.2) نحصل على:

$$\sigma_{tr} = \sigma(e+1) \qquad (14.2)$$

6.2: معامل يونغ Young's Modulus E:

العلاقة التي تربط بين الإجهاد و الانفعال الهندسيين هو معامل يونغ E كما سنراه إن شاء الله بالتفصيل لاحقًا. وحدة الانفعال بدون وحدة و وحدة الإجهاد باسكال Pa و بالتالي وحدة E هي Pa .

$$E = \frac{\sigma}{e} \qquad (15.2)$$

7.2: منحنى الإجهاد و الانفعال:

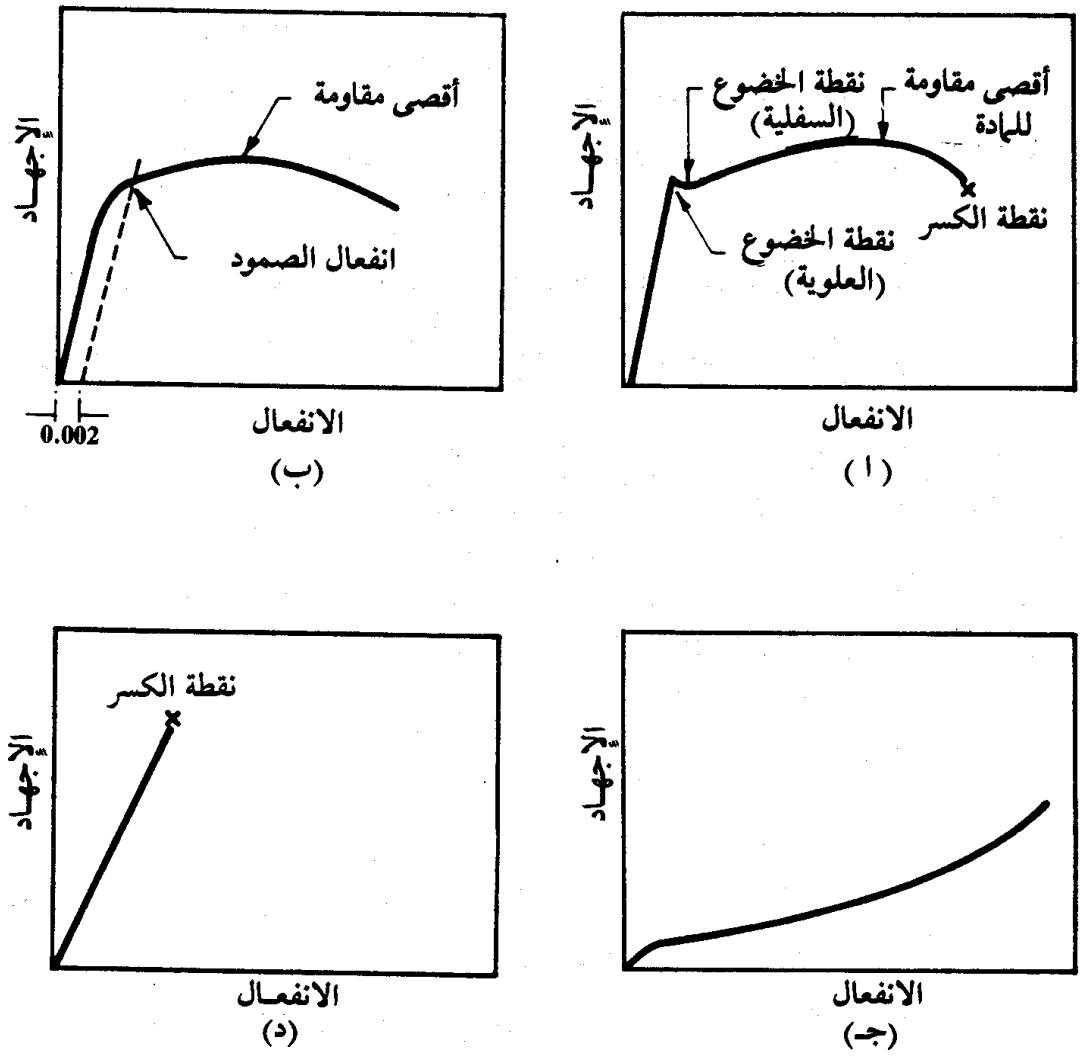
نتائج اختبار الشد توضع في منحنى الإجهاد و الانفعال الذي يعطي العلاقة بين الإجهاد و الانفعال. تمثل منحنيات الإجهاد و الانفعال لمجموعة من المواد التي يمكن رسمها بتوقيع نتائج الاختبار التي يقاس فيها التشكل المناظر لأحمال معينة. و تمثل الإجهادات بالإحداثي الرأسي أما الانفعال فيمثل بالإحداثي الأفقي. و يختلف هذا المنحنى اختلافًا لنوع المادة. فالمعادن تختلف في سلوكها تحت تأثير حمل الشد المحوري تبعًا لطبيعة تلك المواد فمنها ما يكون:

1. معادن مطيلة: وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد و الانفعال لها (شكل 4.2 – أ) بوجود منطقة مرونة و هي عبارة عن خط مستقيم مما يدل على وجود تناسب بين الإجهاد و الانفعال و منطقة لدونة و منطقة بين المنطقتين هي ما تسمى بمنطقة الخضوع، كما تمتاز بحصول تشوه كبير لها قبل حدوث الكسر و كذلك تمتاز بتكون الرقبة أو العنق. مثال: الصلب الطري.

2. معادن نصف مطيلة: وهي المعادن التي يمتاز منحنى الإجهاد و الانفعال لها (شكل 4.2 – ب) بوجود منطقة مرونة و منطقة لدونة و لكن دون وجود منطقة الخضوع بين المنطقتين، كما يحدث لها تشوه متوسط و كذلك تمتاز بتكون الرقبة بوضوح أقل. مثال: الصلب عالي المقاومة.

3. معادن قصفة: وهي المعادن التي لا يوجد لها منطقة خضوع و لا يوجد لها علاقة تناسب بين الإجهاد و الانفعال. فالمنحنى (شكل 4.2 – د) منذ بدايته عبارة عن خط مائل و ليس خطاً مستقيماً و المعدن يحدث له تشوه صغير جدًا مقارنة بالمواد الأخرى كما لا تتكون رقبة. مثل: حديد الزهر.

4. مواد ذات مرونة عالية: كما يوجد بعض المواد تكون عالية المرونة (Super Elastic) يزيد فيها الانفعال المرن عن نسبة 100% مثل المطاط وبعض المواد البلاستيكية كما هو واضح في شكل 4.2 – ج.



شكل 4.2 : منحنيات الإجهاد و الانفعال للمواد المختلفة:

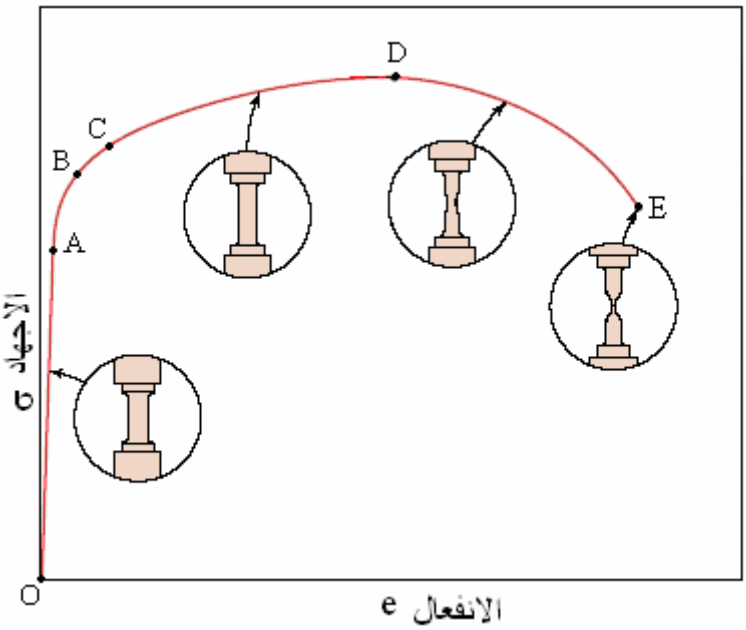
(أ): معدن مطيل، (ب): معدن نصف مطيل، (ج): مادة عالية المرونة مثل المطاط، (د): معدن قصف.

8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في اختبار الشد:

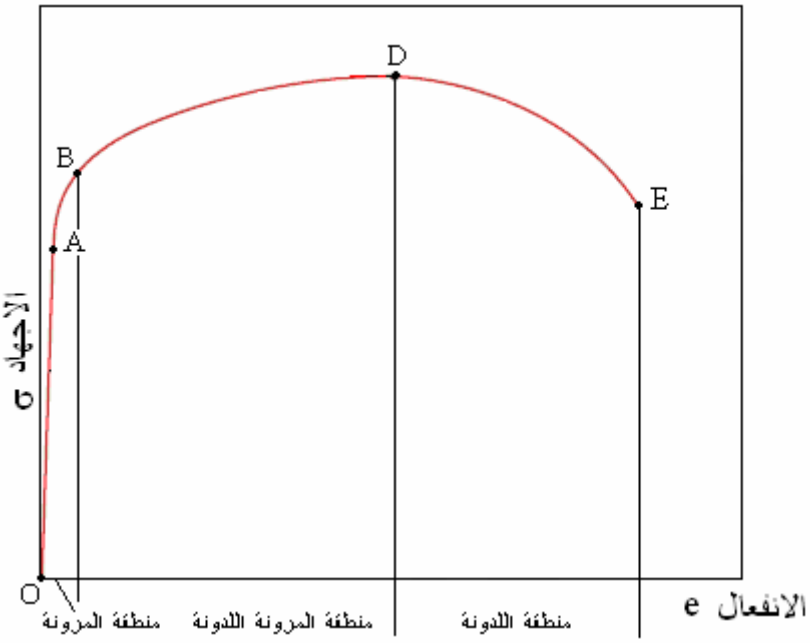
نستنتج من اختبار الشد الخواص الميكانيكية للمعادن التالية:

1- حد التناسب، 2- حد المرونة، 3- إجهاد الخضوع، 4- إجهاد الضمان، 5- المقاومة، 6- إجهاد الكسر، 7- الممطولية و الاستطالة، 8- الرجوعية، 9- المتانة و 10- التخلفية

شكل 5.2 هو منحنى الإجهاد و الانفعال وهو مثالي لمادة مطيلة بحيث يتوفر فيه أهم الخواص الميكانيكية المشار إليها و يوضح أيضًا فيه شكل العينة عند فترات مختلفة من الشد:



شكل 5.2 : منحنى الإجهاد و الانفعال لمعدن مطيل مبيناً شكل العينة عند فترات مختلفة من الشد.



شكل 6.2 : منحنى الإجهاد و الانفعال لمعدن مطيل مبيناً المناطق المختلفة.

يمكن تلخيص ما يحدث للعينة المطيلة كما هو مبين في الشكل 5.2 و 6.2 فيما يلي:

1.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة المرونة:

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

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

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

σ: الإجهاد ، [Pa] أو [N/m^2]

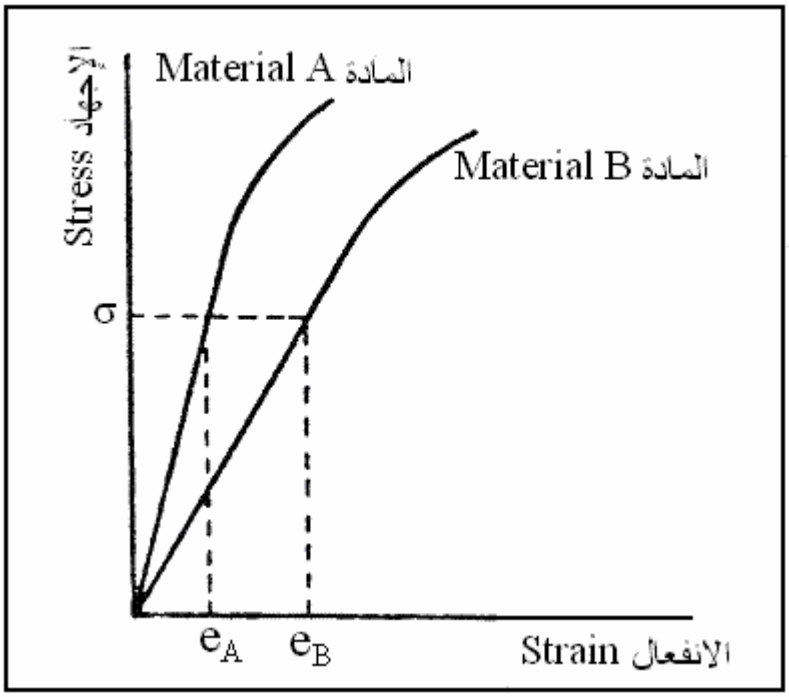
e: الانفعال ، [بدون وحدة]

E: معامل المرونة أو معامل يونغ Young's Modulus ، [Pa] أو [N/m^2]

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

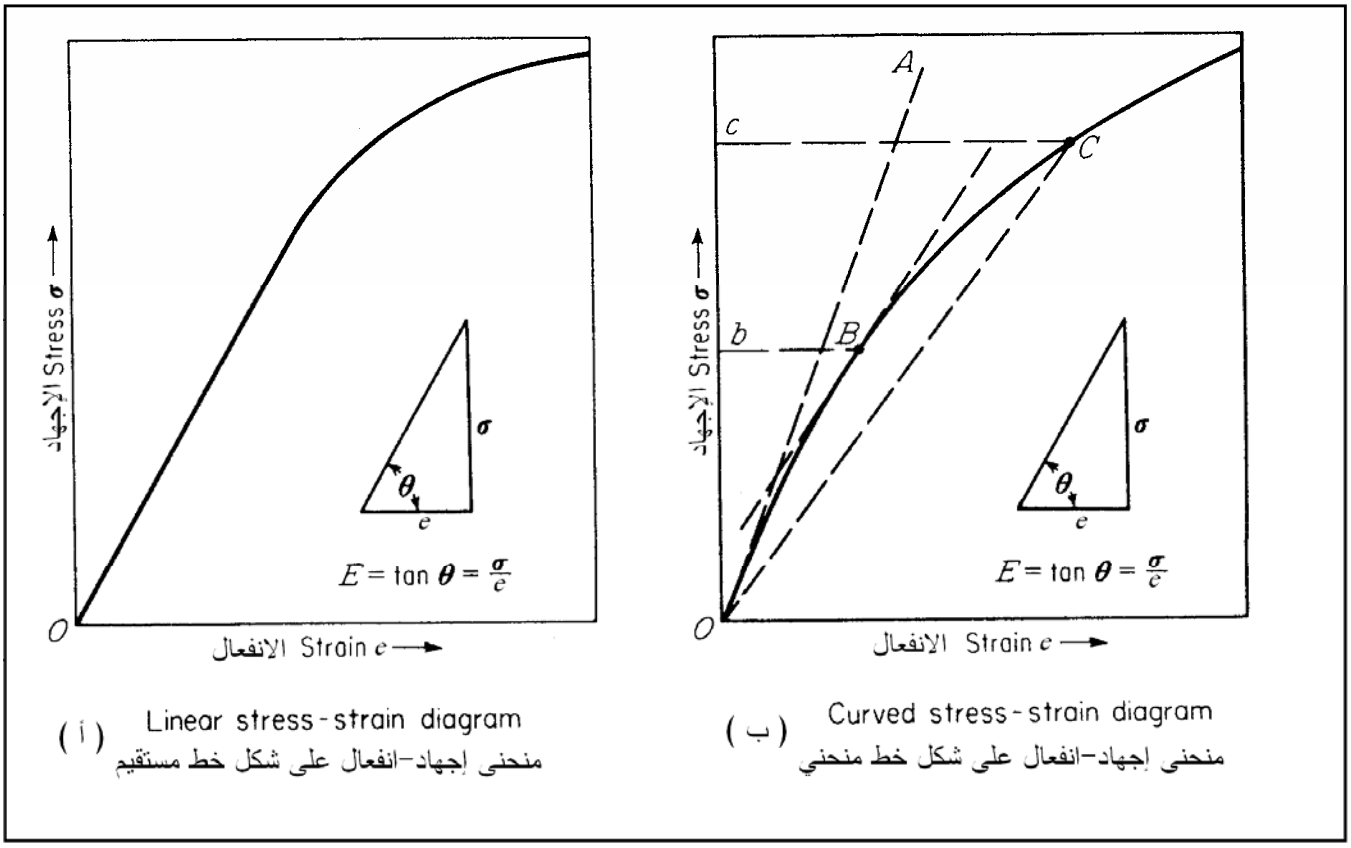
$$E = \frac{\sigma_P}{e_P} \qquad (17.2)$$

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



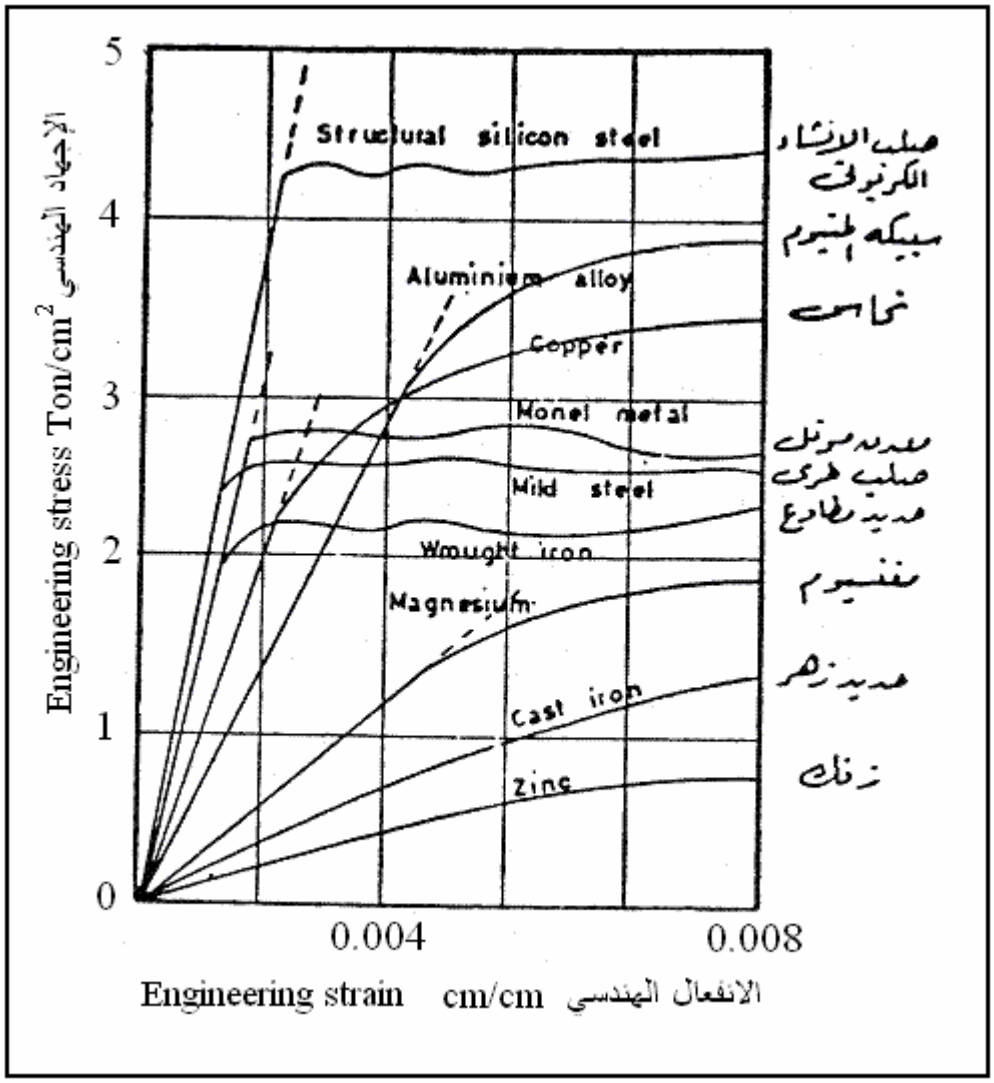
شكل 7.2: كيفية قياس الصلابة بمعامل المرونة.

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



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

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



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

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

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

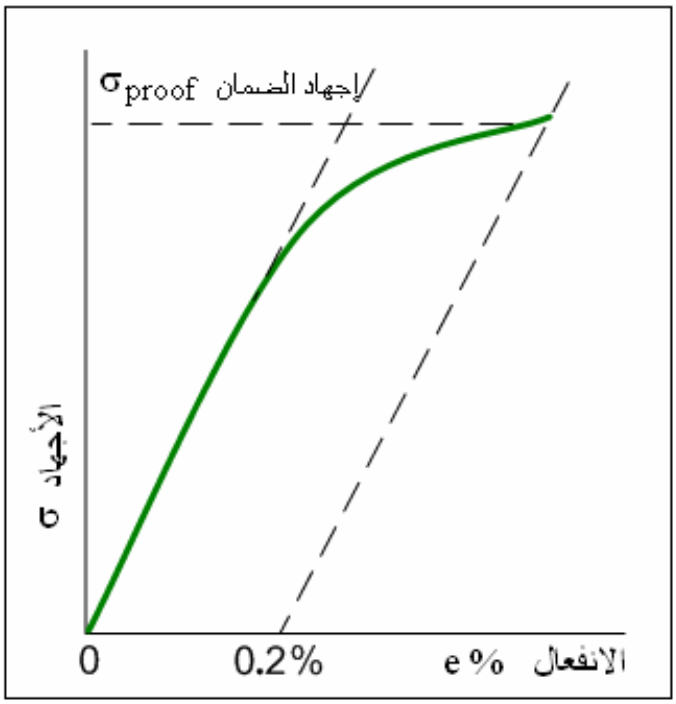
4. للمعدن. في الواقع إجهاد الخضوع ليس بنقطة بل هي منطقة و هو ممثل في الشكل بالنقطة (C) و يرمز إليه بـ σ_Y.

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

إجهاد الضمان = حمل الضمان / مساحة المقطع الأصلي

$$\sigma_{proof} = \frac{F_{proof}}{A_o} \qquad (18.2)$$

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



شكل 10.2: منحنى بياني يوضح طريقة تحديد إجهاد الضمان.

2.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة اللدونة:

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

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

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

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

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

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

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

حيث L_0 : طول القياس الأصلي للعينة

L_f : طول القياس بعد كسر العينة

تقاس الممطولية أيضًا بالنسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع المستعرض (RA %) كالآتي:

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

حيث A_0 : المساحة الأصلية لمقطع العينة

A_f : مساحة مقطع العينة بعد الكسر

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

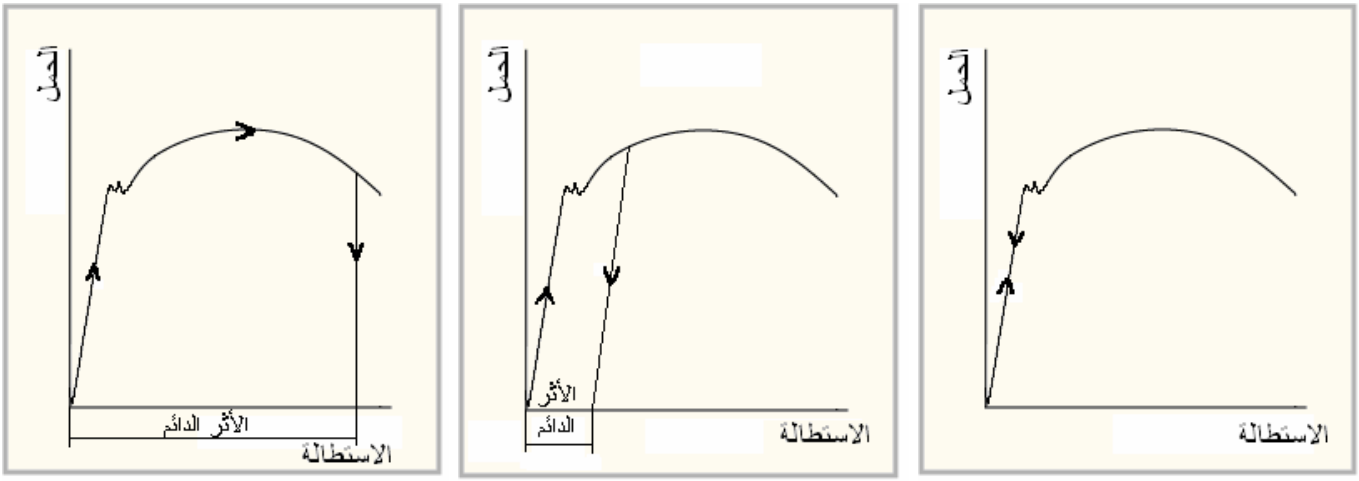
3.8.2: قياس الأثر الدائم:

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

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

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

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



(أ) (ب) (ج)

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

9.2: الطاقة المختزنة:

1.9.2: الرجوعية Resilience:

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

الرجوعية = 1/2 (الحمل المقابل لحد التناسب × الاستطالة عند حد التناسب)

$$E_r = \frac{1}{2} \times F_P \times \Delta L_P \qquad (22.2)$$

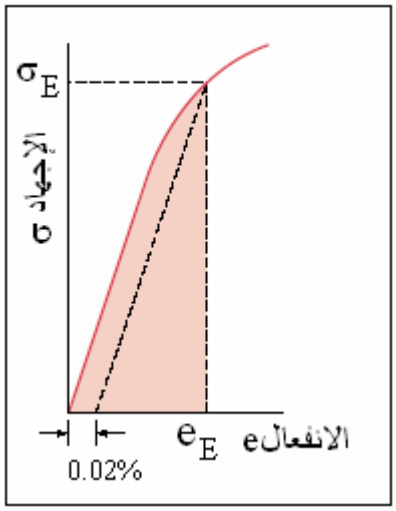
الرجوعية هي مساحة المثلث تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل و الاستطالة.

أما معامل الرجوعية U_r فهو يساوي الرجوعية مقسومة على حجم العينة المختبرة أي الرجوعية لوحدة الحجم و تساوي:

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

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

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



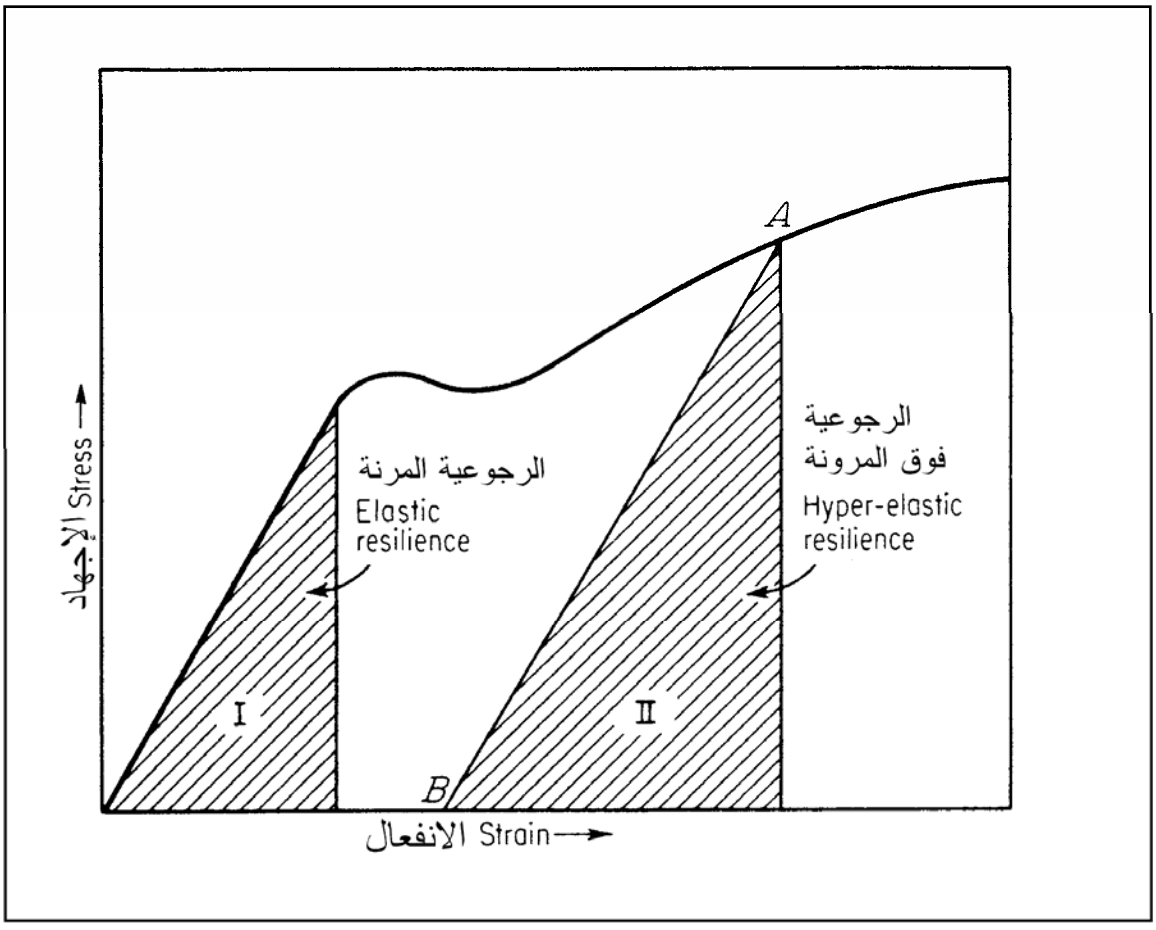
شكل 12.2 : منحنى بياني يوضح طريقة تحديد معامل الرجوعية.

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

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

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

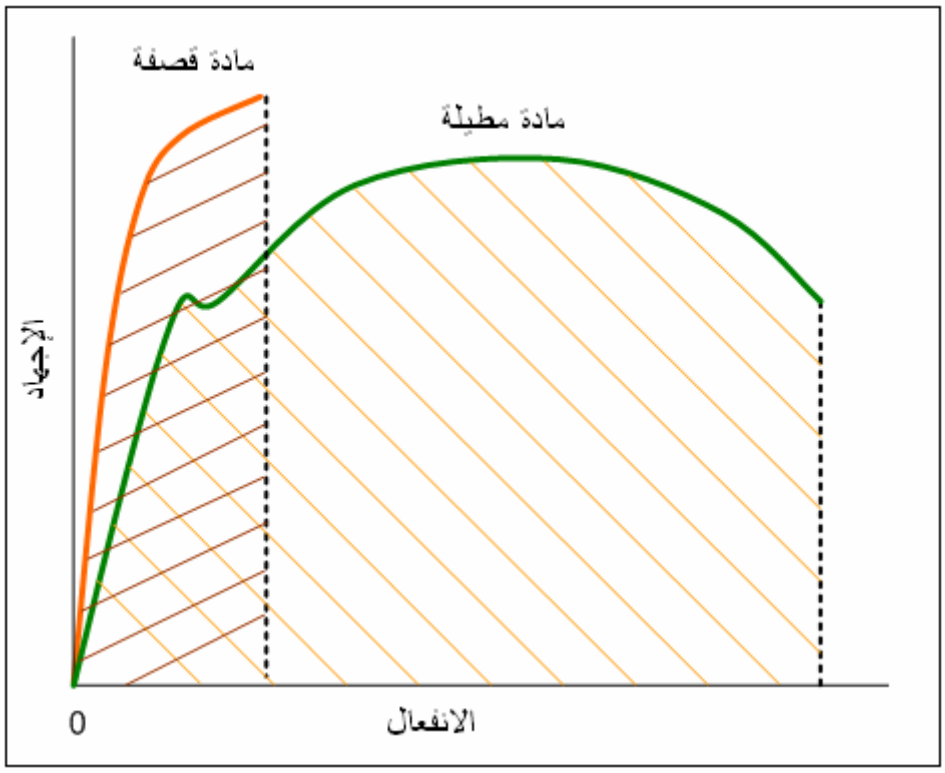
أما الرجوعية فوق حد المرونة (Hyper-elastic resilience) فهي عبارة عن الطاقة التي يفقدها المعدن بعد إزالة الحمل المؤثر وهي جزء من الشغل المبذول بالتحميل فوق حد المرونة وهي عبارة عن الطاقة المرتجعة عن أي حمل (Recoverable energy) وتقاس بالمساحة تحت المنحنى البياني للحمل والاستطالة وهي المساحة المحدودة بخط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



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

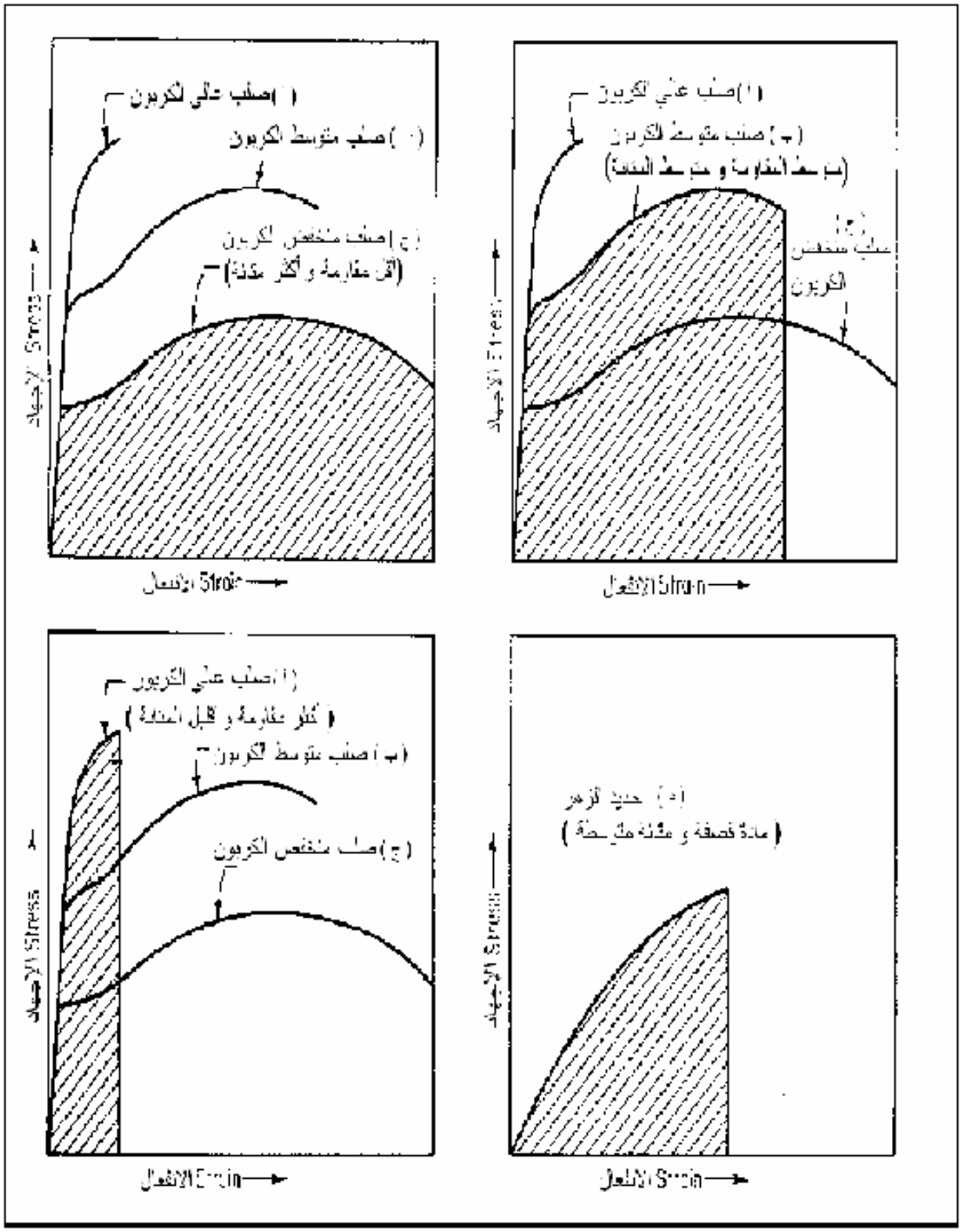
2.9.2: المتانة Toughness:

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



شكل 14.2: منحنى بياني يوضح طريقة تحديد معامل المتانة.

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



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

المتانة = المساحة تحت منحنى الحمل و الاستطالة

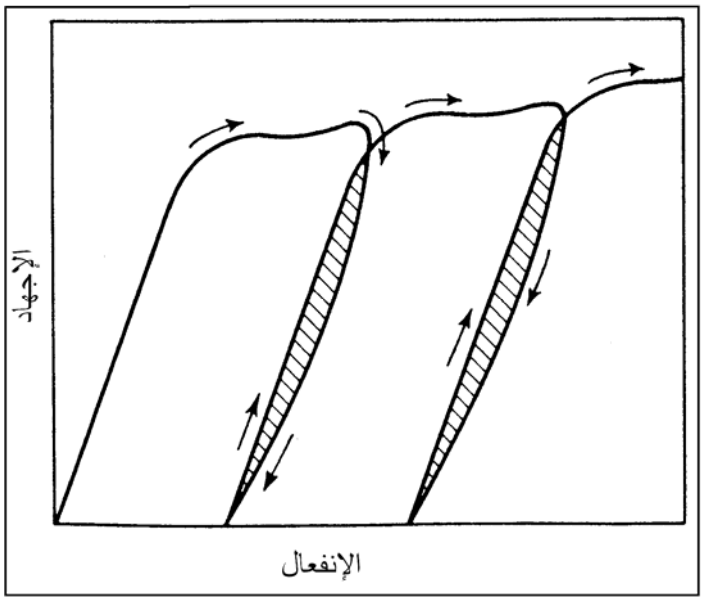
(25.2) المتانة = 1/2 (حمل الخضوع + الحمل الأقصى) × الاستطالة الكلية

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

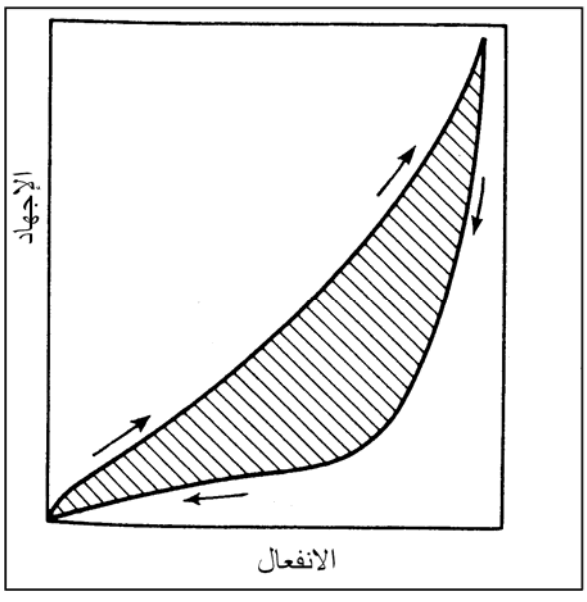
(26.2) معامل المتانة T = [1/2(حمل الخضوع + الحمل الأقصى) × الاستطالة الكلية]/حجم العينة

3.9.2: التخلفية Hysteresis:

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



(أ)



(ب)

شكل 16.2 : منحنى بياني يوضح الدورة التخلفية للصلب الطري (أ) و للمطاط (ب).

10.2: أنواع الكسور:

تنقسم أنواع الكسور للمعادن الناتجة من اختبار الشد حسب:

1. الشكل: كسور قد تكون متماثلة مثل كسر القدح و المخروط أو الكسر المسطح أو غير منتظم أو المتقطع و قد تكون الكسور غير متماثلة.

2. حالة السطح: فهي تصف السطح إما بالملمس الناعم أو بالجزيئات الصغيرة أو الجزيئات الكبيرة أو الليفي أو المتبلور أو الزجاجي.

3. و اللون: مواصفات لون الكسر فهي اللون اللامع أو الداكن.

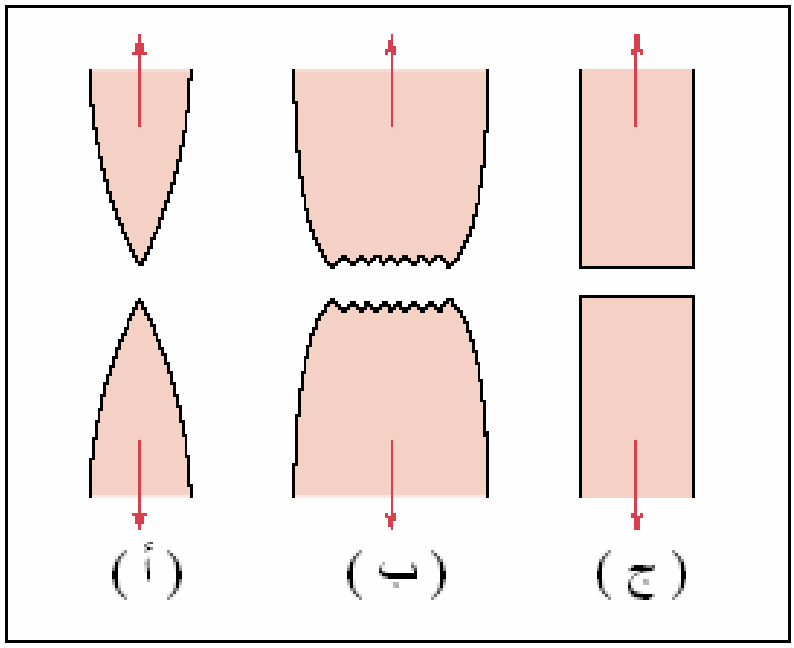
و بالنسبة لأنواع المعادن المختلفة فتكون الكسور كالتالي:

1. معادن مطيلة: عندما تتعرض عينة من الصلب الطري و التي تعتبر مادة مطيلة فإن الاستطالة تزداد تدريجيًا مع الحمل حتى تصل إلى حد المرونة و إجهاد الخضوع حيث تبدأ اللدونة. ثم يزداد الحمل حتى يصل إلى أقصى حمل أي مقاومة الشد القصوى ومنه تبدأ ظاهرة الرقبة أو العنق. يحصل تشوه كبير للعينة قبل حدوث الكسر على هيئة قدح أو مخروط حيث يكون السطح خشنًا في منتصف القطع المستعرض و ملمس ناعم عند الحروف.

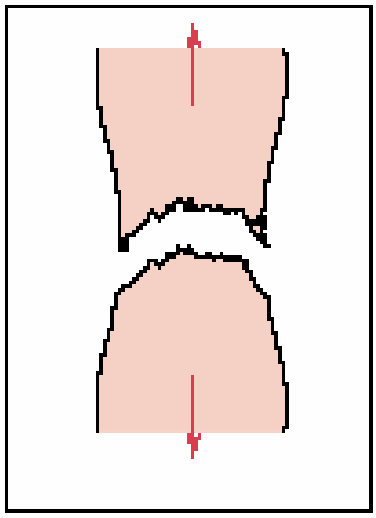
2. معادن نصف مطيلة: منحنى الإجهاد و الانفعال للمعادن النصف مطيلة له نفس الشكل العام لمنحنى المعادن المطيلة إلا أنه لا يوجد له منطقة الخضوع كما أن الحمل أكثر و الاستطالة أقل من مثيلاتها من المعادن المطيلة. و يكون الكسر على هيئة قدح و مخروط و لكن برقبة أقل وضوحًا من المعادن المطيلة.

3. معادن قصفة: يمتاز منحنى الإجهاد و الانفعال للمعادن القصفة منذ بدايته بكونه عبارة عن خط مائل و ليس خطاً مستقيماً والمعدن يحدث له تشوه صغير جدًا مقارنة بالمواد الأخرى كما لا تتكون رقبة و أن الكسر يحدث عند وصول التحميل إلى الحمل الأقصى. هنا يكون شكل الكسر على هيئة مستوى عمودي على اتجاه قوة الشد مسطحًا و محببًا.

و يتضح شكل الكسور في شكل 17.2 و شكل 18.2.



شكل 17.2: أشكال الكسور في اختبار الشد
لمادة مطيلة (أ) و مادة نصف مطيلة (ب) و مادة قصفة (ج).



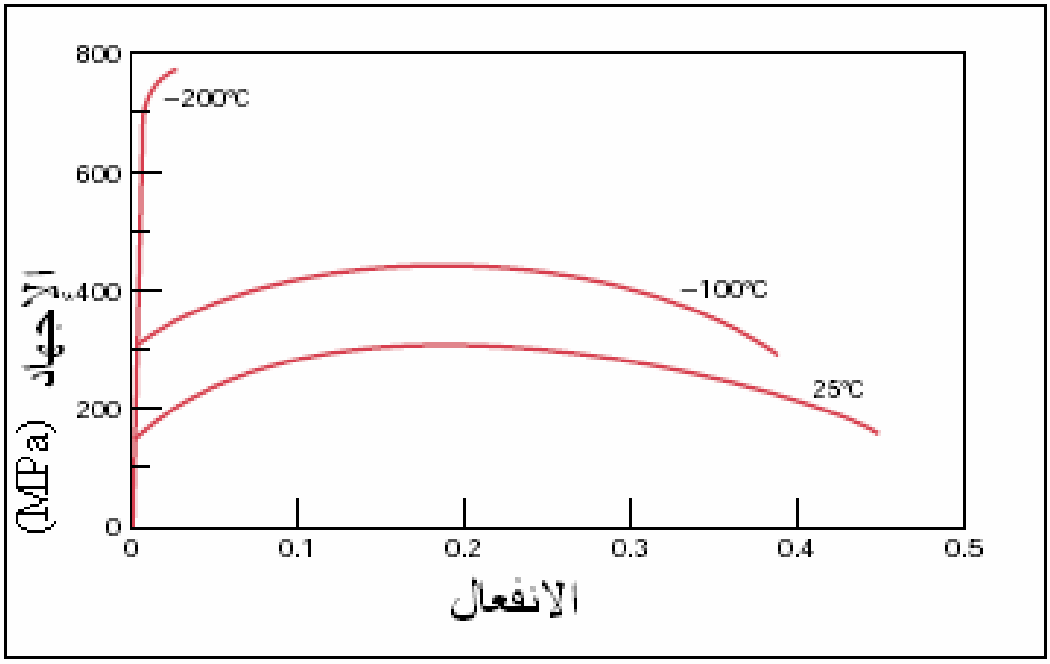
شكل 18.2 : شكل القدح و المخروط الذي يظهر عند الكسر المطيل و النصف المطيل.

11.2: العوامل المؤثرة على خواص الشد للمعادن:

1.11.2: متغيرات الاختبار:

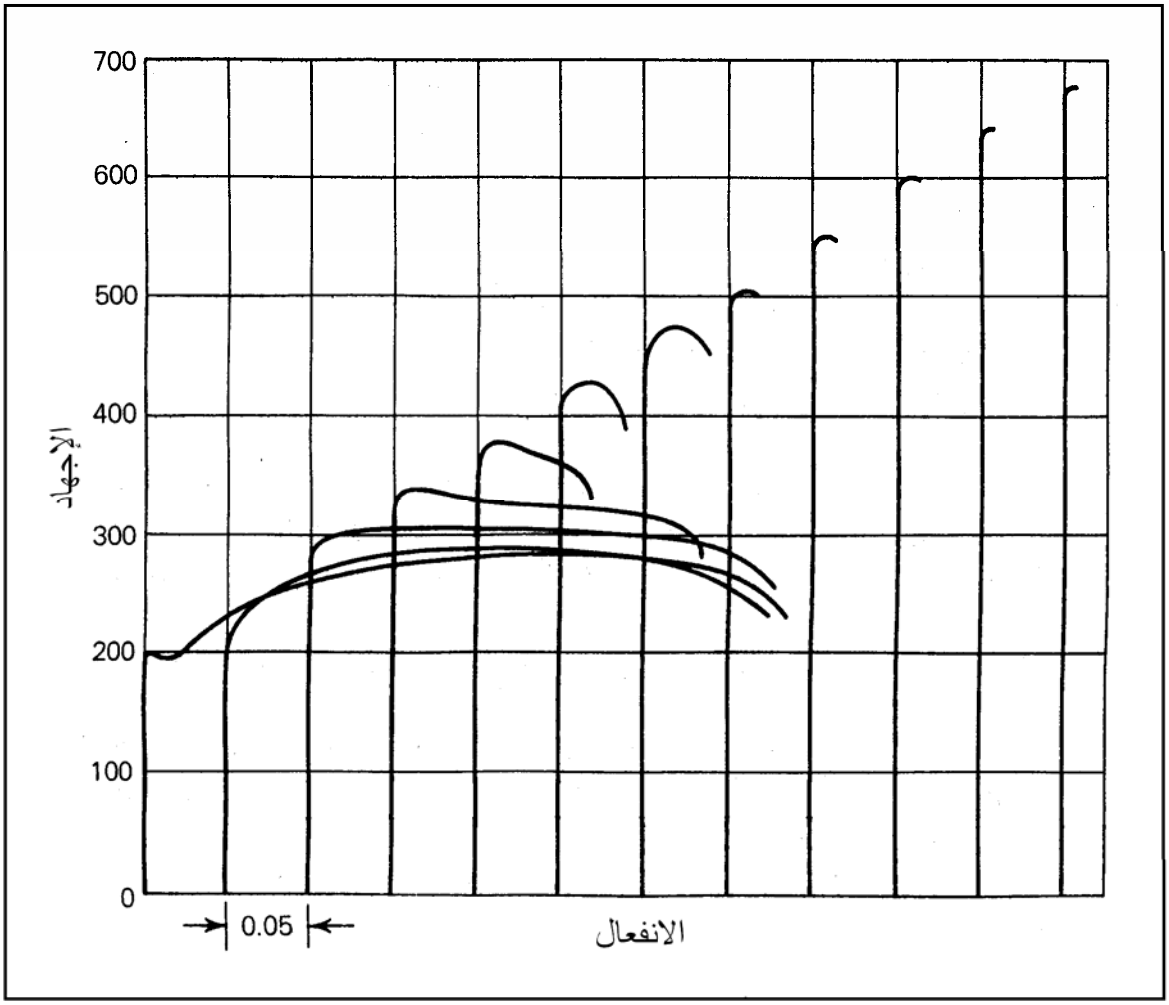
1. سرعة التحميل أثناء الاختبار: كلما زادت سرعة التحميل أثناء إجراء الاختبار للمعادن المطيلة و النصف مطيلة تزداد مقاومة الشد و إجهاد الخضوع و تقل المطولية للمعادن. أما المعادن القصفة فلا تتأثر بهذه السرعة.

2. الحرارة أثناء الاختبار: إذا ارتفعت درجة الحرارة فإن مقاومة الشد تقل بينما تزداد المطولية كما هو موضح بشكل 19.2 بالنسبة للصلب.



شكل 19.2 : تأثير درجة الحرارة على منحنى الإجهاد و الانفعال للصلب في اختبار الشد.

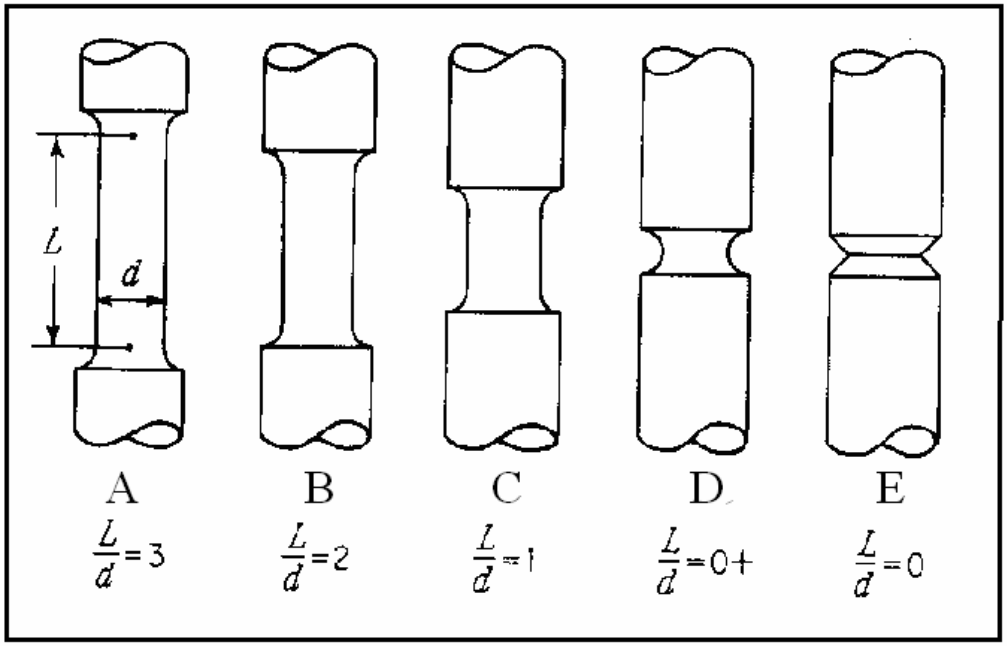
3. التشغيل على البارد : إن التشغيل على البارد هو تحميل المعدن فوق حد المرونة ثم إعادة تحميله مرة أو مرات و ينتج عنه تحسن بالزيادة في إجهاد الخضوع و حد التناسب و مقاومة الشد و الرجوعية و صلادة المعدن و لكن مع نقص في الممطولية و المتانة. أما معامل المرونة E فغالبًا لا تتغير قيمته إلا قليلاً جدًا كما هو موضح في شكل 20.2.

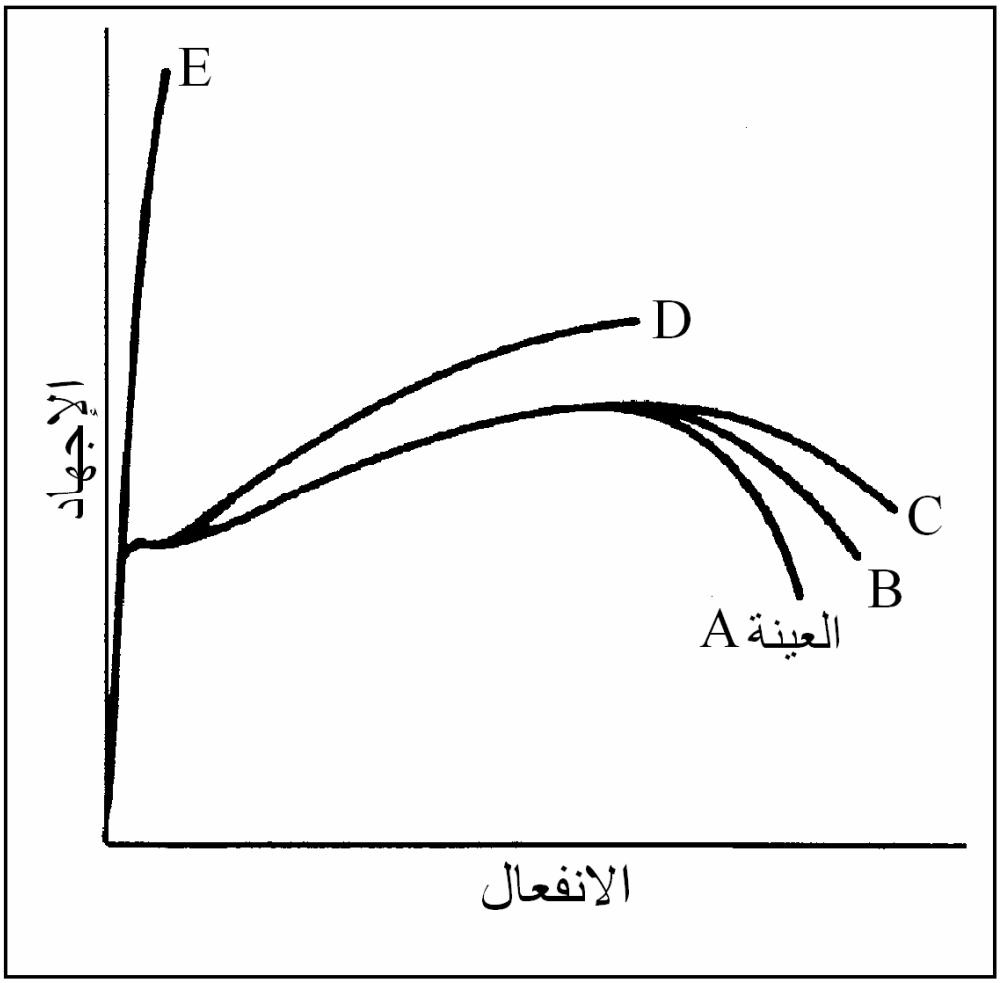


شكل 20.2: تأثير التشغيل على البارد على المنحنى والإجهاد و الانفعال لسبيكة من الصلب في اختبار الشد.

2.11.2: متغيرات عينات الاختبار:

1. شكل عينة الاختبار: يؤثر شكل عينة الاختبار على خواص الشد تأثيرًا بينًا فمثلاً إذا أخذت عينات بأشكال مختلفة كما هو موضح في شكل 21.2 واختبرت في الشد حتى الكسر فإن المنحنى البياني للإجهاد و الانفعال لكل عينة يختلف عن الآخر و بالتالي جميع الخواص تختلف.





شكل 21.2: تأثير شكل عينة الاختبار على منحنى الإجهاد و الانفعال في اختبار الشد.

2. نسبة الكربون في الصلب: تعتبر نسبة الكربون في الصلب من أهم العوامل المؤثرة على خواص الصلب و سبائكه. فزيادة نسبة الكربون في الصلب تؤدي إلى:

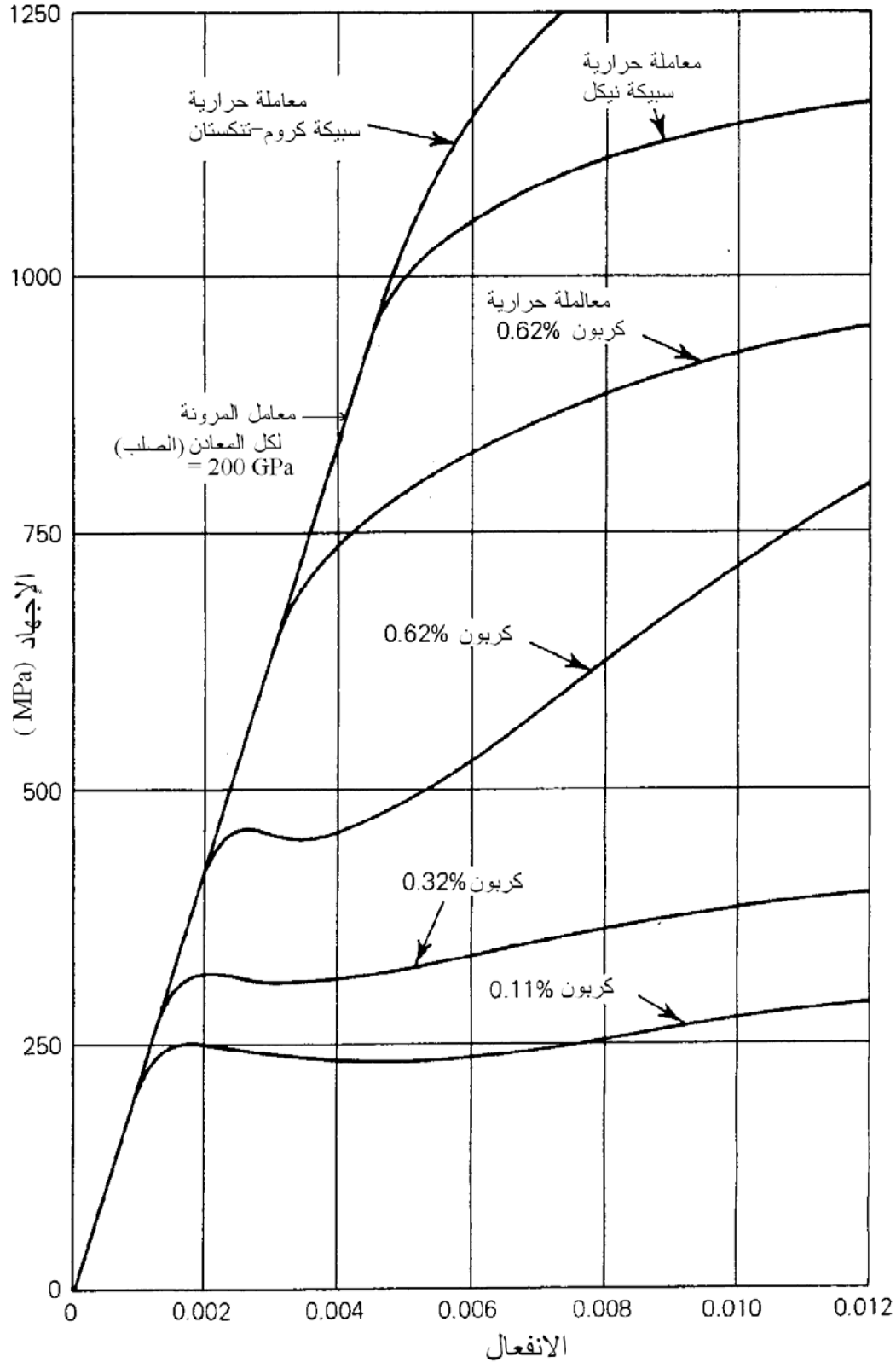
زيادة في:

- ✓ إجهاد حد التناسب
- ✓ إجهاد الخضوع
- ✓ مقاومة الشد
- ✓ الرجوعية

و نقص في:

- ✓ الممطولية
- ✓ و المتانة

كما هو موضح في شكل 22.2. كما أن الشكل يبين أن ميل منحنى الإجهاد والانفعال في منطقة المرونة (أي معامل يونغ) له قيمة واحدة لأنواع الصلب المختلفة في نسبة الكربون وفي المعاملة الحرارية أي أن صلابة أنواع الصلب يمكن اعتبارها واحدة بقيمة تساوي تقريباً 200 GPa.



شكل 22.2: تأثير نسبة الكربون في الصلب على منحنى الإجهاد و الانفعال في اختبار الشد.

3. المعاملات الحرارية: هي عمليات يسخن فيها المعدن و خاصة الصلب إلى درجات حرارة معينة لفترات زمنية محددة و يبرد بسرعات تبريد مختلفة (تبريد سريع أو بطيء) لتغير من الخواص الميكانيكية للمعدن و الحصول على خواص جديدة. يستخدم في المعاملات الحرارية أفران للتسخين و أحواض ماء أو زيوت للتبريد. و من المعاملات الحرارية:

- ✓ التقسية: يسخن الصلب إلى درجات حرارة عالية ثم يبرد تبريد فجائي في الماء البارد و هذه المعاملة تزيد من مقاومة الشد كثيرًا و لكنها تقلل المطولية.

- ✓ التخمير: يسخن الصلب إلى درجات حرارة عالية ثم يحتفظ عند هذه الدرجة لفترة من الزمن و يبرد تبريداً بطيئاً داخل الفرن و هذه المعاملة تحسن مقاومة الشد و إجهاد الخضوع قليلاً و كذلك المطولية و المتانة.

- ✓ التطبيع: يسخن الصلب إلى درجات حرارة منخفضة ثم يبرد تبريداً بطيئاً و هذه المعاملة تحسن مقاومة الشد كثيرًا و كذلك ممطولية و متانة المعدن مما يقلل من قصافته.

تستخدم المعادن في الصناعة بعد إجراء عليها المعاملات الحرارية و يوضح جدول 1.2 الخواص الميكانيكية في الشد لبعض المعادن.

المعدن	الحالة	إجهاد الخضوع (0.02%) σ_Y σ_{proof} [Kg/mm^2]	مقاومة الشد σ_B [Kg/mm^2]	معامل المرونة **E** x10^3 [Kg/mm^2]	المطولية **% El** L_0 = 50 mm
صلب طري	مخمر	30	40	21	37
صلب متوسط الكربون	مخمر	35	52	21	30
صلب لا يصدأ	مخمر	35	55	20	20
صلب متوسط الكربون	مدلفن على الساخن	51	83	20	34
صلب عالي المقاومة	مقسى في الزيت	97	152	20	12
حديد مطاوع	مدلفن على الساخن	21	35	19	30
حديد الزهر	مصبوب	متغير	18	11	0.50
ألومنيوم نقي	مدلفن على البارد	15	17	7	16
موليبدنيوم	مخمر	57	66	33	35
نحاس نقي	مدلفن على البارد	33	34	11	5
نحاس نقي	مخمر	69	22	11	60
سبيكة برونز فوسفوري	مخمر	15	34	9	50
سبيكة نيكل و نحاس	مخمر	14	38	15	28
فضة نقية	مخمر	8	13	76	45
تيتانيوم نقي	مخمر	33	24	11	30
نيكل نقي	مخمر	21	14	21	40

جدول 1.2 : الخواص الميكانيكية في اختبار الشد لبعض المعادن.

الوحدة الثانية: مسائل محلولة

مسألة 1.2: أجري اختبار شد على عينة من نحاس طولها الأصلي 50 mm و استطالت إلى 51.7 mm .
احسب:

1- قيمة الانفعال الهندسي.
2- قيمة الانفعال الحقيقي.

الحل:

1- من العلاقة (3.2)، الانفعال الهندسي e:

$L_o = 50.0$ mm $\qquad L_f = 51.7$ mm

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L_f - L_o}{L_o} = \frac{51.7 - 50.0}{50.0} = 0.034 = 3.4\%$$

2- من العلاقة (5.2)، الانفعال الحقيقي ε:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right) = \ln\left(\frac{51.7}{50.0}\right) = 0.0334 = 3.34\%$$

أو بالتعويض في المعادلة (8.2):

$$\varepsilon = \ln(e+1) = \ln(0.034+1) = 0.0334 = 3.34\%$$

مسألة 2.2: أجري اختبار شد على قطعة اختبار قياسية قصيرة من الصلب طولها القياس يساوي $L_o = 100$ mm و ذات مقطع مستدير قطرها $D_o = 20$ mm . و كانت قراءات الحمل بالطن T و الاستطالة المقابلة بـ مم mm كما يلي:

الحمل (طن) T	3.75	7.5	7.5	8.5	11.0	12.0	12.5	11.5	10.0
الاستطالة (مم) mm	0.06	0.12	1.4	4.0	12	18	24	29	32

ارسم منحنى الحمل و الاستطالة ثم عين ما يلي:

أ- إجهاد الخضوع

ب- مقاومة الشد

ت- النسبة المئوية للاستطالة

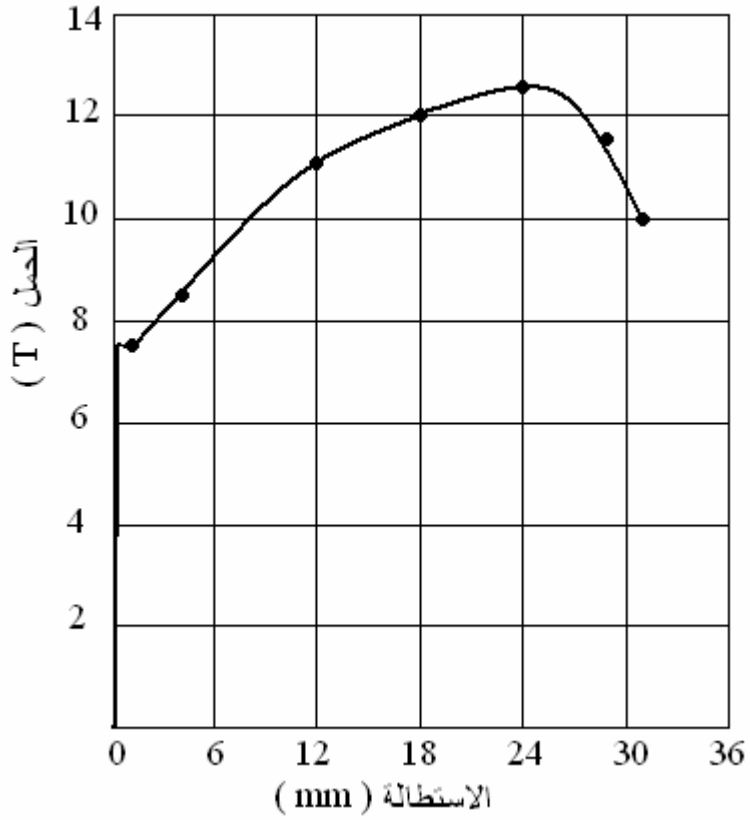
ث- معامل المرونة

ج- معامل الرجوعية

ح- معامل المتانة

الحل:

رسم منحنى الحمل و الاستطالة:



العينة ذات مقطع مستدير إذاً مساحة المقطع الأصلي A_o هي:

$$A_0 = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\pi \times 20^2}{4} = 314\ mm^2$$

أ- من العلاقة (1.2)، إجهاد الخضوع σ_Y :

$$\sigma_Y = \frac{F}{A_o} = \frac{7500}{314} = 23.95\ Kg/mm^2$$

ب- من العلاقة (19.2)، مقاومة الشد σ_{UTS} :

$$\sigma_{UTS} = \frac{F_{max}}{A_o} = \frac{12500}{314} = 39.90\ Kg/mm^2$$

ت- النسبة المئوية للاستطالة e % :

$$e\,\% = \frac{32}{100} \times 100 = 32\,\%$$

ث- من العلاقة (15.2)، معامل المرونة E :

$E = \frac{\sigma_P}{e_P}$ إذاً E = الإجهاد / الانفعال (في حدود المرونة)

$$\sigma_P = \frac{3750}{314} = 11.94\ Kg/mm^2 \qquad e_P = \frac{0.06}{100} = 0.0006$$

$$E = \frac{11.94}{0.0006} = 19900\ Kg/mm^2$$

ج- من العلاقة (23.2)، معامل الرجوعية U_r : $U_r = \frac{1}{2} \times \sigma_P \times e_P$

σ_P حد التناسب و e_P الانفعال المقابل لحد التناسب إذاً:

$$U_r = \frac{1}{2} \times \sigma_P \times e_P = \frac{1}{2} \times \frac{7500}{314} \times \frac{0.12}{100} = 0.0143\ Kg.mm/mm^3 = 143 \times 10^{-6}\ J/mm^3$$

ح- من العلاقة (26.2)،

معامل المتانة T : = [1/2 (حمل الخضوع + الحمل الأقصى) × الاستطالة الكلية] / حجم العينة

$$T = \frac{\frac{1}{2} \times (7500 + 12500) \times 32}{314 \text{ x } 100} = 10.1911 \, Kg.mm / mm^3 = 101911 \times 10^{-6} \; J / mm^3$$

مسألة 3.2: أجري اختبار شد على عينة اختبار من الألومونيوم قطرها 1 cm و طول القياس 5 cm . و كانت قراءات الحمل بالكيلوجرام Kg و الاستطالة المقابلة لها بـ مم mm كما رصدت أثناء الاختبار كما يلي:

الحمل (كلغ) Kg	0	200	400	600	800	900	1000	1100	1150
الاستطالة (مم) mm	0.000	0.018	0.036	0.054	0.072	0.083	0.105	0.160	0.270

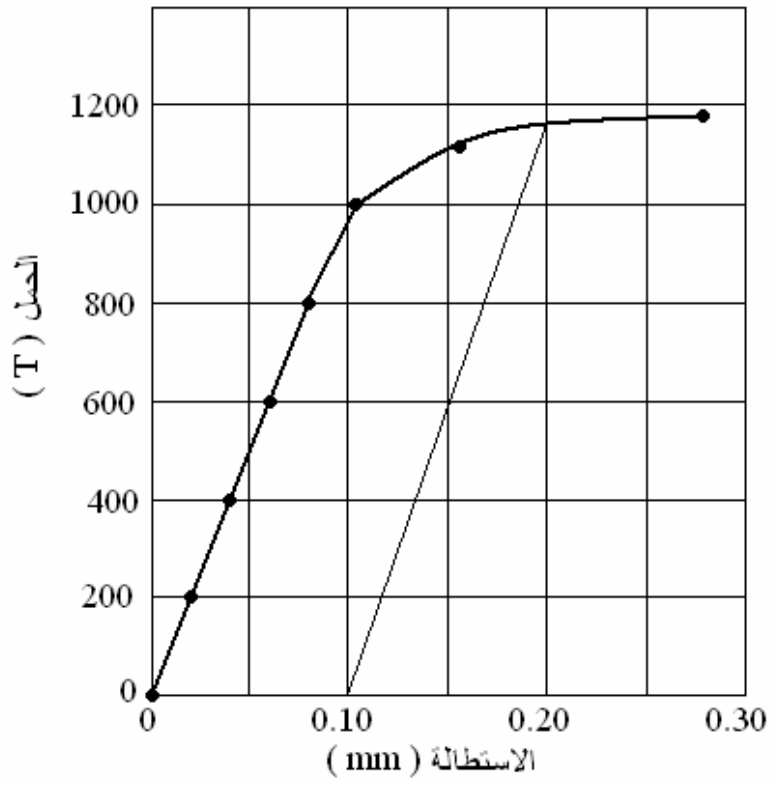
ارسم منحنى الحمل و الاستطالة ثم عين ما يلي:

أ- 0.2% إجهاد ضمان

ب- معامل المرونة

ت- معامل الرجوعية

الحل: رسم منحنى الحمل و الاستطالة:



أ- الاستطالة الدائمة عند إجهاد الخضوع هنا يعتبر إجهاد الضمان وهو:

$$\Delta L_{proof} = 0.2\ \% \times L_o = (0.2 / 100) \times 50 = 0.1\ mm$$

من منحنى الحمل و الاستطالة نجد حمل الضمان: $F_{proof} = 1130\ Kg$

إذن إجهاد الضمان σ_{proof} :

مساحة المقطع الأصلي A_0 :

$$A_0 = \frac{\pi \times 10^2}{4} = 78.5\ mm^2$$

$$\sigma_{proof} = \frac{F_{proof}}{A_o} = \frac{1130}{78.5} = 14.8\ Kg / mm^2$$

ب- من العلاقة (15.2)، معامل المرونة E : (في حدود المرونة) انفعال / إجهاد

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{F}{A_o} \times \frac{L_o}{\Delta L} = \frac{200}{78.5} \times \frac{50}{0.018} = 7077\ Kg / mm^2$$

ت- من العلاقة (23.2):

معامل الرجوعية U_r = [1/2 (الحمل المقابل لحد التناسب × الاستطالة عند حد التناسب)]/حجم العينة

$$Ur = \frac{\frac{1}{2} \times 800 \times 0.072}{78.5 \times 50} = 0.00734\ Kg / mm^2$$

الوحدة الثانية: تدريبات نظرية

من تمرين **1.2** إلى تمرين **8.2** اختر الإجابة الصحيحة من ضمن الأجوبة الأربعة المقترحة:

تمرين 1.2 : في منحنى (الانفعال–الإجهاد) أي (σ–e) في اختبار الشد و في نقطة إجهاد الخضوع تبدأ:

أ- المرونة

ب- اللدونة

ج- ظاهرة الرقبة

د- الكسر

تمرين 2.2 : في منحنى (الانفعال–الإجهاد) في اختبار الشد لمادة مطيلة، ظاهرة الرقبة تبدأ من نقطة:

أ- حد المرونة

ب- حد التناسب

ج- مقاومة الشد (أقصى مقاومة)

د- إجهاد الخضوع

تمرين 3.2 : معامل يونج Young's Modulus E هو معامل يسمح بحساب و معرفة مدى:

أ- مرونة المادة

ب- لدونة المادة

ج- مقاومة المادة

د- حموضة المادة

تمرين 4.2 : يطبق قانون هوك Hook's Law في اختبار الشد ابتداء من إجهاد يساوي صفر حتى:

أ- حد المرونة

ب- إجهاد الخضوع

ج- حد التناسب

د- مقاومة الشد (أقصى مقاومة)

تمرين 5.2 : إذا حد التناسب σ و الانفعال الذي يوافقه e فإن معامل يونج E يساوي:

أ- $E = \sigma / e$

ب- $E = \sigma \times e$

ج- $E = \sigma + e$

د- $E = \sigma - e$

تمرين 6.2 : في منحنى (الانفعال–الإجهاد) أي (σ–e) في اختبار الشد، يحتسب مقدار معاير الرجوعية Resilience للمادة بـ

أ- المساحة التي تحت منحنى الإجهاد و الانفعال المحصورة بين الصفر و إجهاد حد المرونة

ب- المساحة التي تحت منحنى الإجهاد و الانفعال المحصورة بين الصفر و نقطة الكسر

ج- قيمة إجهاد أقصى مقاومة × قيمة الانفعال في أقصى المقاومة

د- قيمة إجهاد حد المرونة / قيمة الانفعال في حد المرونة

تمرين 7.2 : في منحنى (الانفعال–الإجهاد) أي (σ–e) في اختبار الشد، يحتسب مقدار معاير المتانة Toughness للمادة بـ

أ- المساحة التي تحت منحنى الإجهاد و الانفعال المحصورة بين الصفر و إجهاد حد المرونة

ب- المساحة التي تحت منحنى الإجهاد و الانفعال المحصورة بين الصفر و نقطة الكسر

ج- قيمة إجهاد أقصى مقاومة × قيمة الانفعال في أقصى المقاومة

د- قيمة إجهاد حد المرونة / قيمة الانفعال في حد المرونة

تمرين 8.2 : كلما ازدادت مرونة المادة كلما:

أ- تضاعف معامل المرونة E

ب- نقص معامل المرونة E

ج- بقي ثابتاً معامل المرونة E

د- ازدادت لدونة المادة

تمرين 9.2 : أجري اختبار شد على قطعة من الصلب عالي المقاومة و كان قطرها 5 cm و طول القياس 25 cm و كانت الأحمال بالطن T و الاستطالة المقابلة لها بـ مم mm كما تم تسجيلها أثناء الاختبار كما يلي:

الحمل (طن)	2.500	5.000	7.500	10.000	11.250	12.500	13.500	13.750
الاستطالة (مم)	0.625	0.125	0.1875	0.2500	0.3125	0.4375	0.6875	0.8750

ارسم منحنى الحمل و الاستطالة ثم عين ما يلي:

أ- 0.2% إجهاد الضمان

ب- معامل المرونة

ت- معامل الرجوعية

ث- معامل المتانة

اختبار المواد

اختبار الضغط

الوحدة الثالثة:

اختبار الضغط
Compression Test

الجدارة:

اختبار الضغط و عيناته و منحنياته.

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- معرفة اختبار الضغط و العينات القياسية المستخدمة.
- رسم منحنيات الإجهاد و الانفعال و التمييز بينهما حسب نوعية المعدن (مطيلة أو نصف مطيلة أو قصفة).
- إدراك أهمية العوامل المؤثرة على اختبار الضغط مثل شكل العينة أو المحورية أو انبعاج العينة و الاحتكاك.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

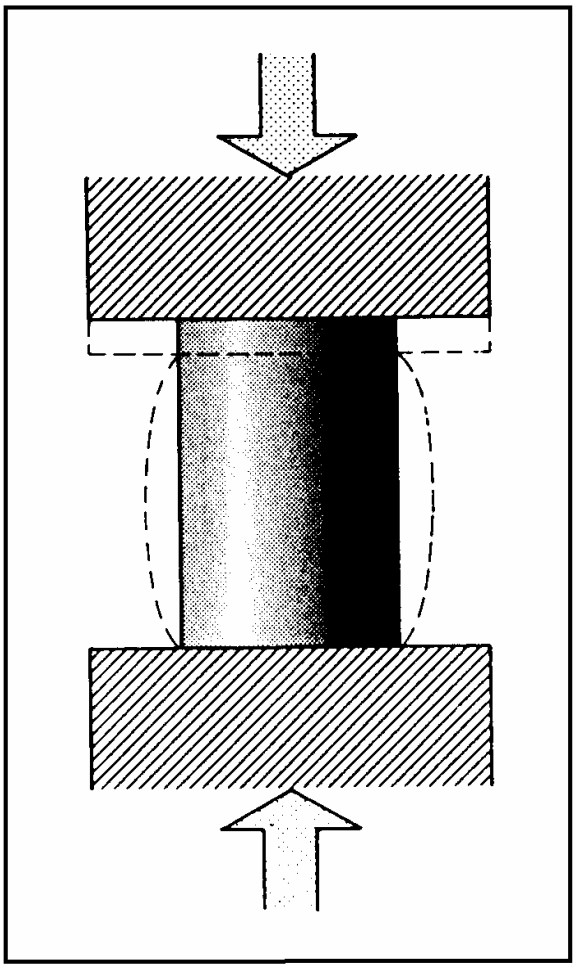
ساعتان.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.3: العوامل الداعية لاختبار الضغط:

يعتبر اختبار الضغط Compression test حالة عكسية لاختبار الشد بالنسبة لاتجاه الحمل المؤثر هذا ما يوضحه شكل 1.3. كما يمثل اختبار الشد الأساس لقبول المواد المعدنية فمن نتائج هذا الاختبار يمكن تحديد الخواص الميكانيكية للمعدن بينما يمثل اختبار الضغط الأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة و الطوب و الأحجار و الأخشاب حيث إن هذه المواد ضعيفة جدًا في الشد.



شكل 1.3 : شكل العينة في اختبار الضغط.

هذا لا يعني أن اختبار الضغط لا يجرى للمعادن و لكن يفضل عليه اختبار الشد حيث إن العوامل الآتية تجعل اختبار الضغط غير صالح لإعطاء نتائج دقيقة من استخدامه كاختبار قبول للمواد أو كاختبار معملي يعتمد على نتائجه:

1. صعوبة التأثير بحمل الضغط تأثيرًا محوريًا حقيقيًا على العينة.
2. حالة عدم الاتزان النسبية للتحميل بالضغط بالمقارنة بالتحميل بالشد.
3. الاحتكاك بين رأس الماكينة و بين نهايتي العينة المختبرة و هذا الاحتكاك يغير تغييرًا ملحوظًا نتائج الاختبار عن مثيلتها لو أجري اختبار الضغط بدون وجود الاحتكاك.
4. الكبر النسبي للمقطع المستعرض لعينة الضغط المستخدم للحصول على درجة مناسبة من الاتزان للعينة أثناء التحميل و يتسبب ذلك في ضرورة تواجد ماكينة الاختبار ذات سعة نسبيًا أو يتسبب في استخدام عينات اختبار صغيرة بدرجة تجعل من الصعوبة لحصول على الدقة المناسبة لنتائج الاختبار.

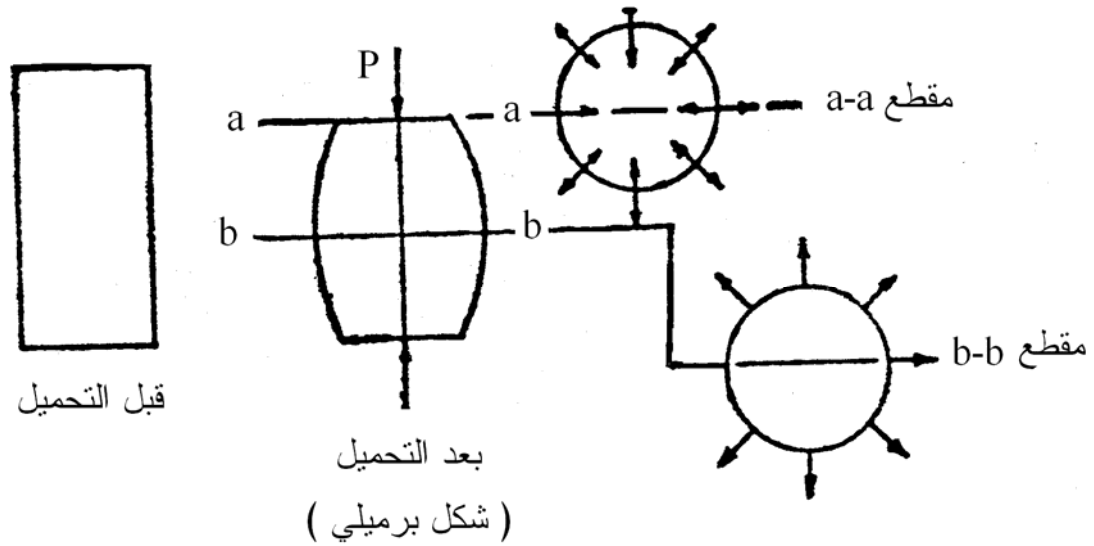
و من اختبار الضغط للمعادن المطيلة يمكن تحديد:

- ✓ إجهاد الخضوع
- ✓ معامل المرونة
- ✓ و الرجوعية

أما بالنسبة للمعادن القصفة فيمكن تحديد مقاومة الضغط فقط.

2.3: سلوك المعادن تحت تأثير الضغط:

إذا تعرضت عينة معدنية أسطوانية الشكل بارتفاع قصير نسبيًا إلى حمل ضغط فإنها تنضغط و يتسبب عن ذلك أن يحدث للعينة تشوه برميلي نتيجة الزيادة في العرض المصاحب للنقص في الطول و تواجد الاحتكاك بين سطحي نهايتي العينة و رأس ماكينة الاختبار. هذا ما يسبب قلة الزيادة في العرض عن مقطعي نهايتي العينة عنها في مقطع منتصف العينة بقيمة تدريجية تبعًا لمدى تأثير الاحتكاك كما هو موضح في شكل 2.3.



شكل 2.3 : حدوث الشكل البرميلي للمعادن المطيلة في اختبار الضغط.

3.3: منحنى الإجهاد و الانفعال:

في حدود المرونة للمعدن يكون توزيع الإجهاد الناتج عن التحميل بالضغط توزيعًا منتظمًا على مقطع العينة و يساوي حمل الضغط F مقسوماً على المساحة الأصلية A_0 للمقطع المستعرض أي:

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \qquad (1.3)$$

σ: الإجهاد ، [Pa] أو [N/m^2]

F: حمل الضغط أو القوة ، [N]

A_o: المساحة الأصلية لمقطع العينة ، [m^2].

منحنى الإجهاد و الانفعال يختلف في شكله حسب طبيعة المعادن كالتالي:

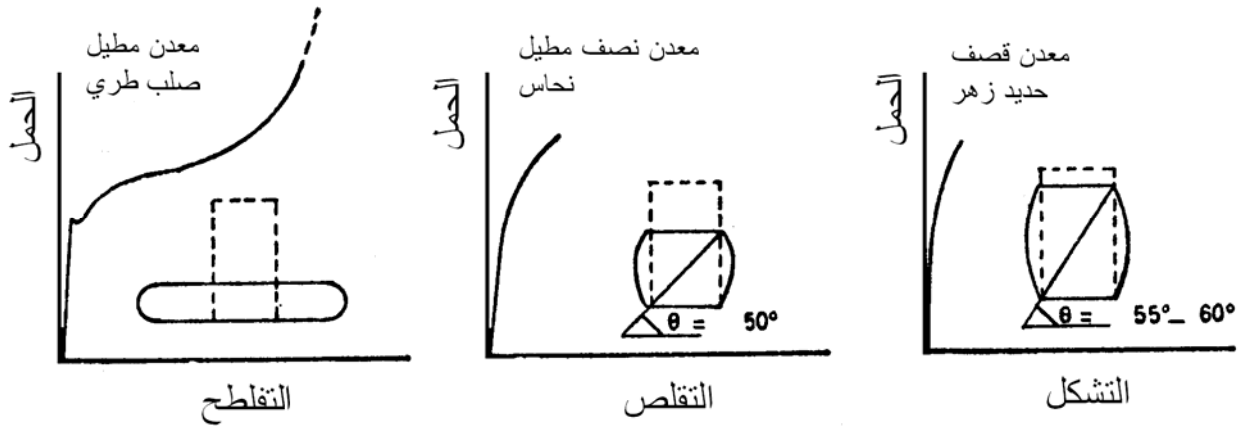
1. معدن مطيل (مثل الصلب الطري): الاستمرار في التحميل يزيد في انضغاط العينة ثم تتفلطح و تستمر في ذلك و لا يحدث لها كسر مهما ازداد الحمل.

2. معدن نصف مطيل (مثل النحاس الأصفر): العينة تنضغط مع ازدياد التحميل ثم تنكسر على مستوى يعمل 50 درجة مع الخط الأفقي حيث يظهر في المنحنى تواجد منطقة الخضوع و أحيانًا لا توجد تبعًا لظروف معدن العينة من ناحية تشغيلها و معاملتها حراريًا. كما يلاحظ وجود حد للمقاومة القصوى و بالتالي يمكن إيجاد الإجهاد الأقصى للضغط σ_{max}.

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_o} \qquad (2.3)$$

σ_{max}: الإجهاد الأقصى للضغط ، [Pa] أو [N/m^2].
F_{max}: حد المقاومة القصوى ، [N].
A_o: المساحة الأصلية لمقطع العينة ، [m^2].

3. معدن قصف (مثل حديد الزهر): العينة تنضغط قليلاً جدًا ثم تنكسر على مستوى يعمل زاوية حوالي 55 – 60 درجة مع الخط الأفقي و يتميز منحنى الحمل و الانضغاط بعدم وجود منطقة خضوع و وجود حد للمقاومة القصوى للضغط و بالتالي نستطيع حساب الإجهاد الأقصى للضغط كما هو موضح في شكل 3.3.



شكل 3.3 : سلوك المعادن المطيلة و نصف المطيلة و القصفة في اختبار الضغط.

يمكن رسم المنحنى البياني للإجهاد الهندسي و الانفعال الهندسي في الضغط باستخدام المنحنى البياني للحمل و الانضغاط علمًا بأن:

الإجهاد الهندسي في الضغط من المعادلة (1.3):

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

و الانفعال الهندسي في الضغط: (3.3):

$$e = \frac{\Delta L}{L_o}$$

F: حمل الضغط أو القوة ، [N].

A_o: المساحة الأصلية لمقطع العينة ، [m^2].

ΔL: الانضغاط ، [mm].

L_o: الطول الأصلي للعينة ، [mm].

كما يمكن رسم المنحنيات البيانية للإجهاد والانفعال الحقيقي في الضغط (انظر شكل 4.3) على أساس أن:

الإجهاد الحقيقي في الضغط هو: (3.3):

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{A_i}$$

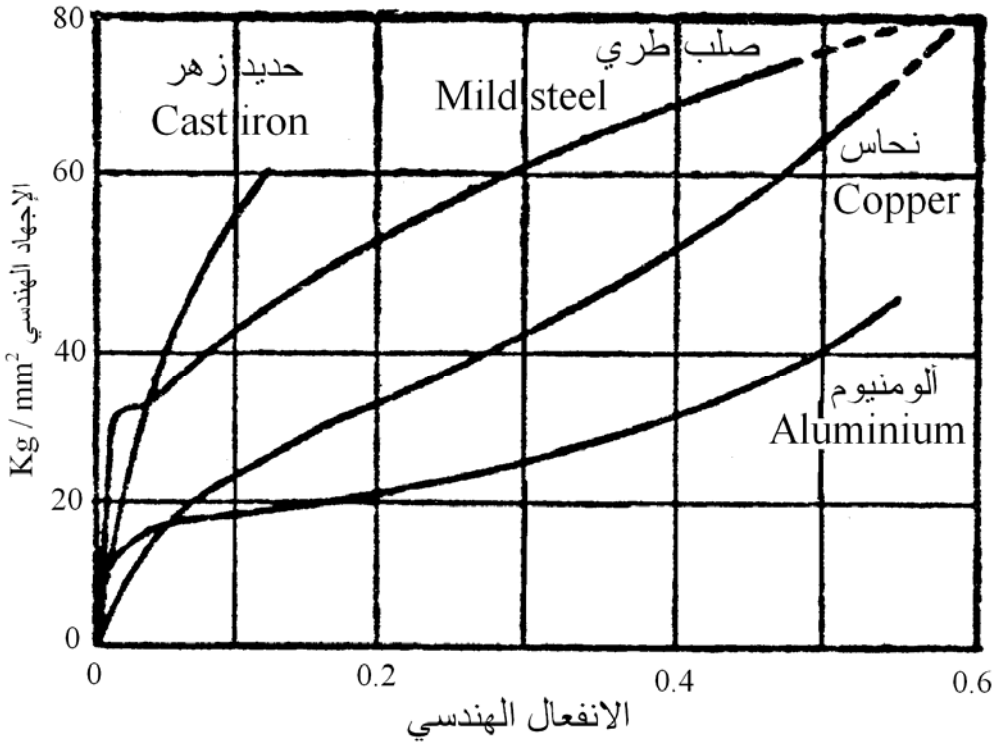
أما الانفعال الحقيقي في الضغط فهو: (4.3):

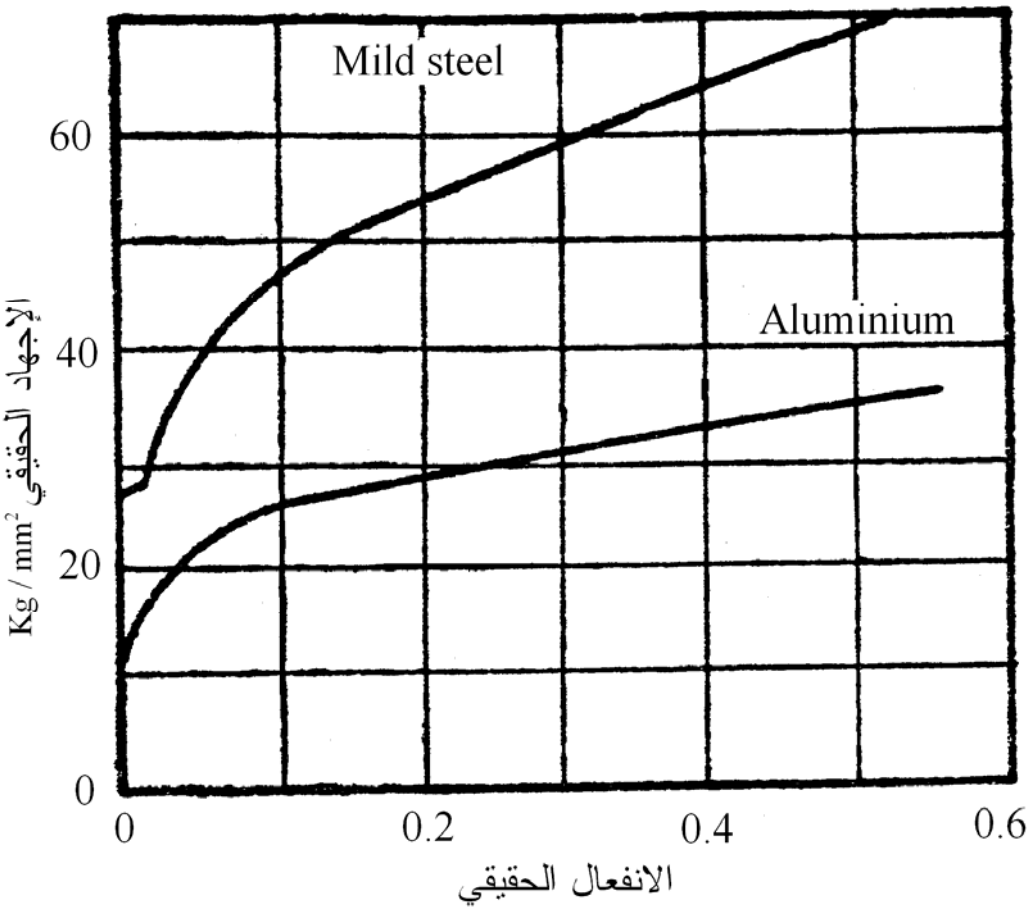
$$\varepsilon = \ln \frac{\Delta A}{A_0}$$

F: حمل الضغط أو القوة ، [N].

A_o: المساحة الأصلية للمقطع المستعرض [m^2].

A_i: مساحة أكبر مقطع مستعرض للعينة عند تأثير الحمل عليها [m^2].





شكل 4.3: منحنيات الإجهاد و الانفعال الهندسي و الحقيقي في اختبار الضغط.

4.3: عينات اختبار الضغط القياسية:

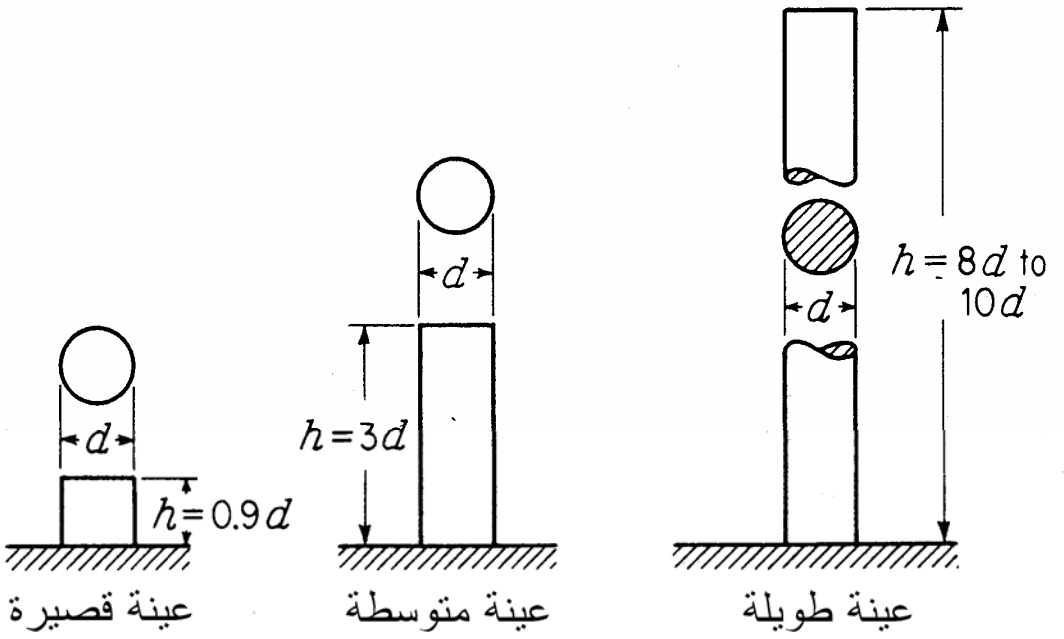
1.4.3: أنواع العينات القياسية لاختبار الضغط للمعادن:

العينات القياسية لاختبار الضغط للمعادن هي ثلاثة أنواع:

1. العينة الطويلة :
   - ✓ الطول فيها يساوي من 8 إلى 10 مرات قطر مقطع العينة
   - ✓ تستخدم لرسم منحنى الحمل و التشكيل و منه تعيين حد التناسب و إجهاد الخضوع.

2. العينة المتوسطة:
   - ✓ الطول فيها يساوي 3 مرات قطر مقطع العينة
   - ✓ تستخدم لتعيين مقاومة الضغط.

3. العينة القصيرة:
   - ✓ الطول فيها يساوي 0.9 مرات قطر مقطع العينة
   - ✓ تستخدم لاختبار معادن المحامل (كراسي التحميل) بحيث يكون تأثير الاحتكاك الموجود مشابها لحالة تشغيل معادن المحامل. و شكل 5.3 يبين شكل العينات.



شكل 5.3 : شكل العينات القياسية لاختبار الضغط.

2.4.3: الشروط الواجب توافرها في عينات الضغط للمعادن

يجب أن تستوفي عينات اختبار الضغط للمعادن الشروط التالية:

1. أن تكون العينات ذات مقطع دائري أي تكون أسطوانية وذلك حتى يكون توزيع الحمل منتظماً على سطح كل من نهايتي العينة عند التأثير بماكينة الاختبار.
2. أن تكون العينات ذات ارتفاع لا يتجاوز 10 مرات قطر المقطع حتى لا يحدث انبعاج والذي يسبب تواجد عزم انحناء على العينة بجانب حمل الضغط.
3. يكون سطحا نهاية العينة مستويين متوازيين وعموديين على محور العين وذلك حتى يكون التحميل محورياً.

5.3: العوامل المؤثرة على اختبار الضغط:

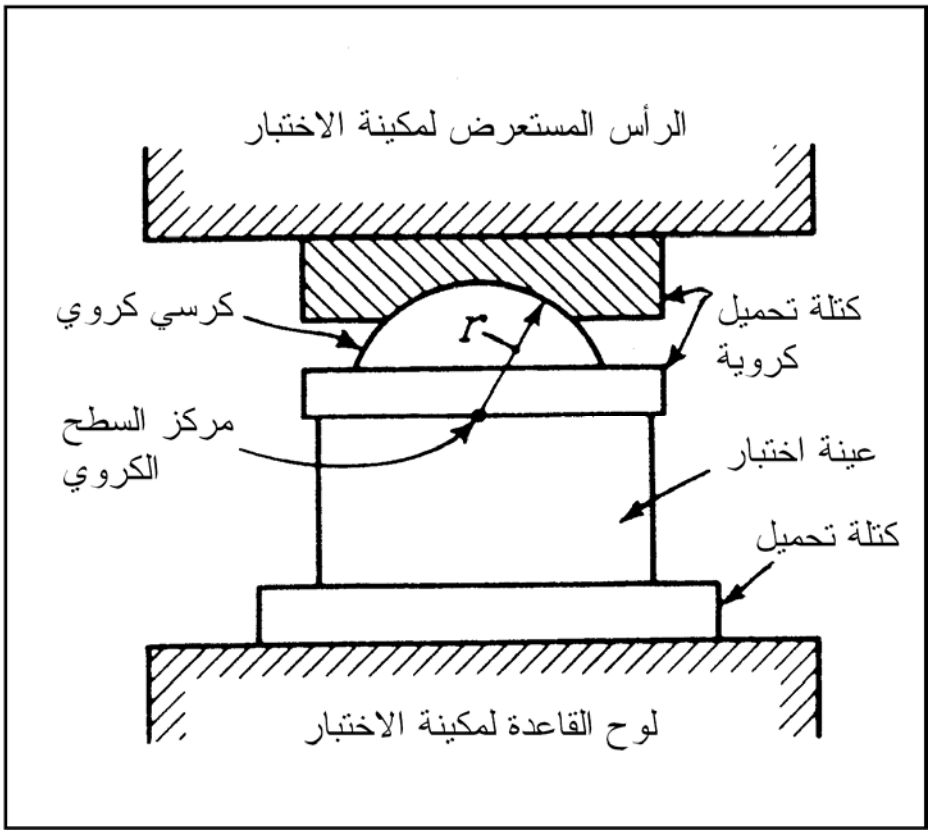
العوامل المؤثرة على اختبار الضغط هي:

1. شكل العينة
2. المحورية
3. انبعاج العينة
4. الاحتكاك

و نعبر على كل عامل كالتالي:

1. شكل العينة: حيث إن صغر مقطع العينة المختبرة بالنسبة لمساحة رأس ماكينة الاختبار يؤثر على قيمة الحمل المنتقل للعينة فيجب استعمال قطع ارتكاز بين نهايتي العينة و بين فكي ماكينة الاختبار.

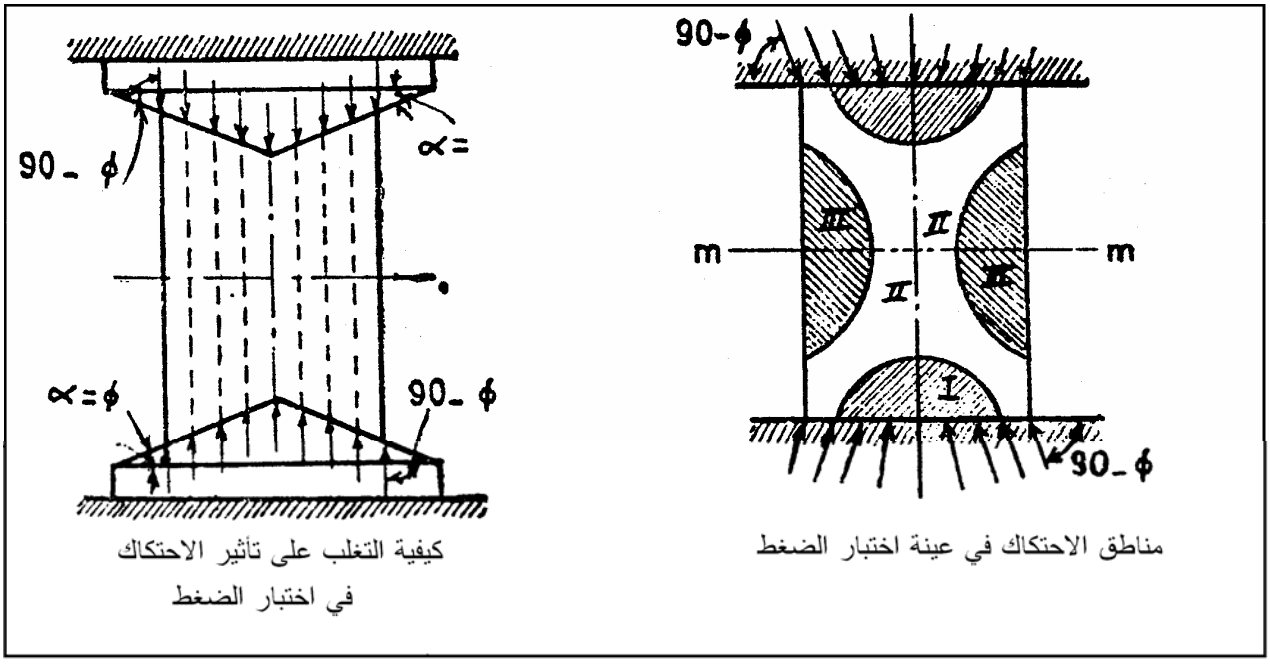
2. المحورية: يستعمل مرتكز كروي لتعديل أي انحراف في ميل الحمل و جعله محوريا دائمًا. كما هو موضح في شكل 6.3 و يجب أيضًا جعل كل نهايتي العينة مسطحًا و عموديًا على محور العينة و كذلك جعل محور العينة ينطبق مع محور ماكينة الاختبار لضمان توزيع الإجهاد على سطح العينة بانتظام و في شكل (7.3) بعض أوضاع عينة الاختبار بماكينة الاختبار.



شكل 6.3 : المرتكز الكروي لتعديل الانحراف في ميل الحمل.

3. انبعاج العينة: يجب منع حدوث انبعاج العينة نتيجة التحميل و ذلك بجعل ارتفاع العينة لا يزيد عن 10 مرات قطر العينة.

4. الاحتكاك: في اختبار الضغط لا يوجد توزيع منتظم للإجهادات على عينة الاختبار ويرجع ذلك إلى وجود الإجهادات القطرية والمماسية لقوى الاحتكاك بين سطحي قطعة الاختبار وبين رأس ماكينة الاختبار وللتغلب على ذلك يتم تشحيم هذه الأسطح المعرضة للاحتكاك باستعمال مادة مناسبة للتشحيم ولا يمكن تجنب القوى المسببة للاحتكاك تماماً بالتشحيم عندما تكون الأسطح غير منتظمة. وقد اقترح "ميسير دينا" طريقة للحصول على شكل منتظم بقطعة الاختبار و ذلك بجعل قطعة الاختبار من ثلاثة أجزاء (انظر شكل 8.3) وبذلك ينتظم التغير في شكل الجزء الأوسط من عينة الاختبار وهذه الطريقة تتبع في المواد ذات التغير القليل في الشكل ويلاحظ عدم قياس الانكماش في الجزء الأوسط من العينة بواسطة حركة رأس ماكينة الاختبار. وهناك طريقة أخرى للتقليل من الاحتكاك وذلك بلف رأس ماكينة الاختبار بحيث يميل بزاوية (α) على سطحي عينة الاختبار (حيث α تساوي زاوية الاحتكاك بين السطحين) وبذلك يتوازى اتجاه الإجهادات مع محور قطعة الاختبار وتحتفظ قطعة الاختبار بشكلها الأسطواني بعد الاختبار وأيضاً يمكن تقليل الاحتكاك مع رأس الماكينة من خلال دهان وتشحيم سطحي عينة الاختبار.



شكل 8.3: مناطق الاحتكاك و كيفية التغلب عليها في عينة اختبار الضغط.

الوحدة الثالثة: مسائل محلولة

مسألة 1.3: أجري اختبار ضغط على قطعة من النيكل مقطعها مستطيل عرضه $b = 3\ cm$ بتحميلها بقوة (طن) $15\ T$. إذا كانت قيمة الإجهاد المتولد من هذا الضغط $12.5\ Kg / mm^2$ فما هو طول مقطع العينة ؟

الحل:

إذا كان F: قوة التحميل $= 15\ T = 15000\ Kg$

و σ: الإجهاد $= 12.5\ Kg / mm^2$

و b: عرض مساحة مقطع العينة $= 3\ cm = 30\ mm$

مساحة مقطع العينة الأصلي هو:

$$A_o = a \times b$$

إذاً طول مقطع العينة هو a :

$$\sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{F}{a \times b} \Rightarrow a = \frac{F}{\sigma \times b} = \frac{15\,000}{12.5 \times 30} = 40\ mm = 4\ cm$$

مسألة 2.3: عمود أجوف من الحديد الزهر معرض لحمل ضغط محوري قيمته (طن) $27\ T$. عين قطر العمود الداخلي إذا كان قطره الخارجي $15\ cm$ بحيث لا يزيد إجهاد الضغط عن $500\ Kg / cm^2$.

الحل: إذا كان:

σ: الإجهاد ، [Pa] أو [N/m^2]

F: حمل الضغط أو القوة ، [N]

A_o: المساحة الأصلية لمقطع العينة ، [m^2].

$$\sigma = \frac{F}{A_o} = \frac{F}{\pi \times \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right)} = \frac{4 \times F}{\pi \times D^2 - \pi \times d^2}$$

$$\Rightarrow d = \sqrt{D^2 - \frac{4 \times F}{\pi \times \sigma}} = \sqrt{15^2 - \frac{4 \times 27000}{\pi \times 500}} = 11.44 \quad cm$$

مسألة 3.3: أجري اختبار الضغط على عينة من حديد الزهر مساحة مقطعها $10\ cm^2$ و طول القياس $200\ mm$. فكانت النتائج بين الحمل و الانضغاط كما سجلت أثناء الاختبار:

الحمل (كلغ) Kg	0	2700	2750	10100	12500	20250	27000
الانضغاط (مم) mm	0	0.055	0.138	0.205	0.275	0.450	0.700

1. أوجد قيم الإجهاد و الانفعال للنقاط التي تم لها تسجيل الحمل و الانضغاط
2. احسب إجهاد الكسر

الحل:

1. قيم الإجهاد و الانفعال للنقاط التي تم لها تسجيل الحمل و الانضغاط:

كما نعلم من العلاقة (1.3) أن الإجهاد يساوي: $\sigma = \frac{F}{A_o}$

F : الحمل

A_o : مساحة مقطع العينة التي تساوي $10\ cm^2$

و من العلاقة (3.3) أن الانفعال يساوي: $e = \frac{\Delta L}{L_o}$

ΔL : الانضغاط

L_o : الطول الأصلي الذي يساوي $200\ mm$

الإجهاد Kg/cm^2	0	270	275	1010	1250	2025	2700
الانفعال mm/mm	0	0.000275	0.00069	0.001025	0.00137	0.00225	0.00350

2. إجهاد الكسر: $\sigma_{CB} = \frac{F_{max}}{A_o} = \frac{27000}{10} = 2700\ Kg/cm^2$

الوحدة الثالثة: تدريبات نظرية

تمرين 1.3: لوح تحميل من الحديد الزهر معرض لحمل ضغط قيمته (طن) 80 T . فإذا كانت أقصى مقاومة ضغط الزهر تساوي $2800\ Kg / mm^2$ و قيمة الانفعال عند الكسر هي $e = 10\ mm / mm$ احسب مساحة مقطع لوح التحميل.

تمرين 2.3: خزان ماء مدعم بأربعة أعمدة من الحديد من زواياه الأربع مساحة مقطع الواحد منها 0.5 m2 . يسبب الثقل الموجود بالخزان انفعالا قدره 0.001 لكل عمود. إذا علمت أن معامل يونغ Young's Modulus لحديد الأعمدة هو 200 GPa احسب ثقل الخزان؟

تمرين 3.3: أجري اختبار ضغط على أسطوانة من الخرسانة قطرها 20 cm و طول قياسها 25 cm و كانت قراءات الحمل و التغير في الشكل أثناء الاختبار كما يلي:

الحمل (كلغ)	0	1800	5400	9000	12600	14400
الانضغاط (1/100 مم/مم)	0	0.66	2.05	4.00	6.60	8.30
الحمل (كلغ)	18000	21500	23400	25200	26000	27000
الانضغاط (1/100 مم/مم)	15.40	23.40	29.70	40.00	47.00	الانهيار

المطلوب تعيين ما يلي:

1. منحنى الإجهاد والانفعال
2. المقاومة القصوى للضغط
3. النسبة المئوية للانضغاط عند الكسر

اختبار المواد

اختبار الالتواء

الوحدة الرابعة :

اختبار الالتواء
Torsion Test

الجدارة:

اختبار الالتواء و أهم العلاقات الرياضية المستخدمة.

الأهداف:

عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يصبح لديه القدرة على:

- معرفة اختبار الالتواء و أهم الخواص الميكانيكية المتعلقة به (الإجهادات القصية ومعامل الجساءة ..)
- طريقة عمل جهاز الالتواء.
- استخدام المعادلات الرياضية خاصة لرسم منحنى عزم الدوران و زاوية الالتواء..

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

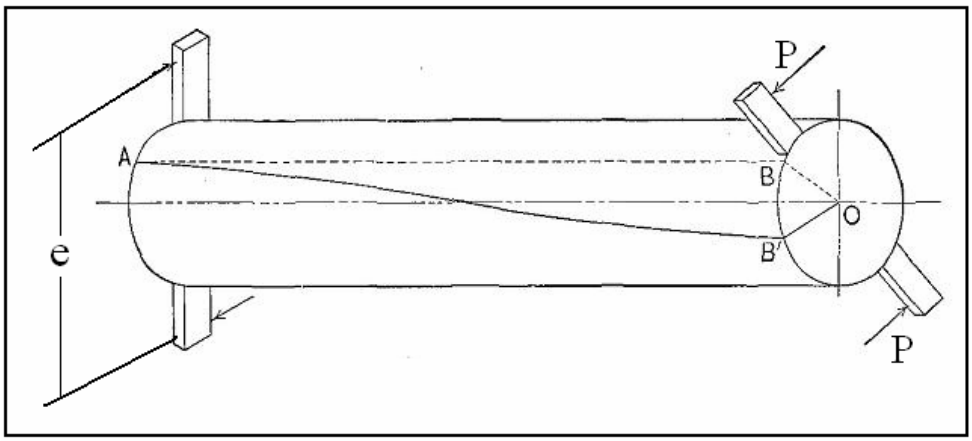
الوقت المتوقع:

3 ساعات.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.4: تعريف: يحدث الالتواء إذا تعرض المقطع المستعرض غالباً ما يكون المقطع لعمود أو لقضيب إلى عزم الالتواء Mt (و هو عزم يقع في نفس مستوى المقطع) أو إذا تعرض إلى قوتين متوازيتين و متعاكستين في الاتجاه و متساويتين في القيمة P و تبعد إحداهما عن الأخرى بمسافة e بحيث تقع كل من القوتين في نفس مستوى المقطع المستعرض و بذلك تسببان عزم التواء على المقطع كما هو مبين في شكل 1.4 و قيمته حسب العلاقة 1.4 .



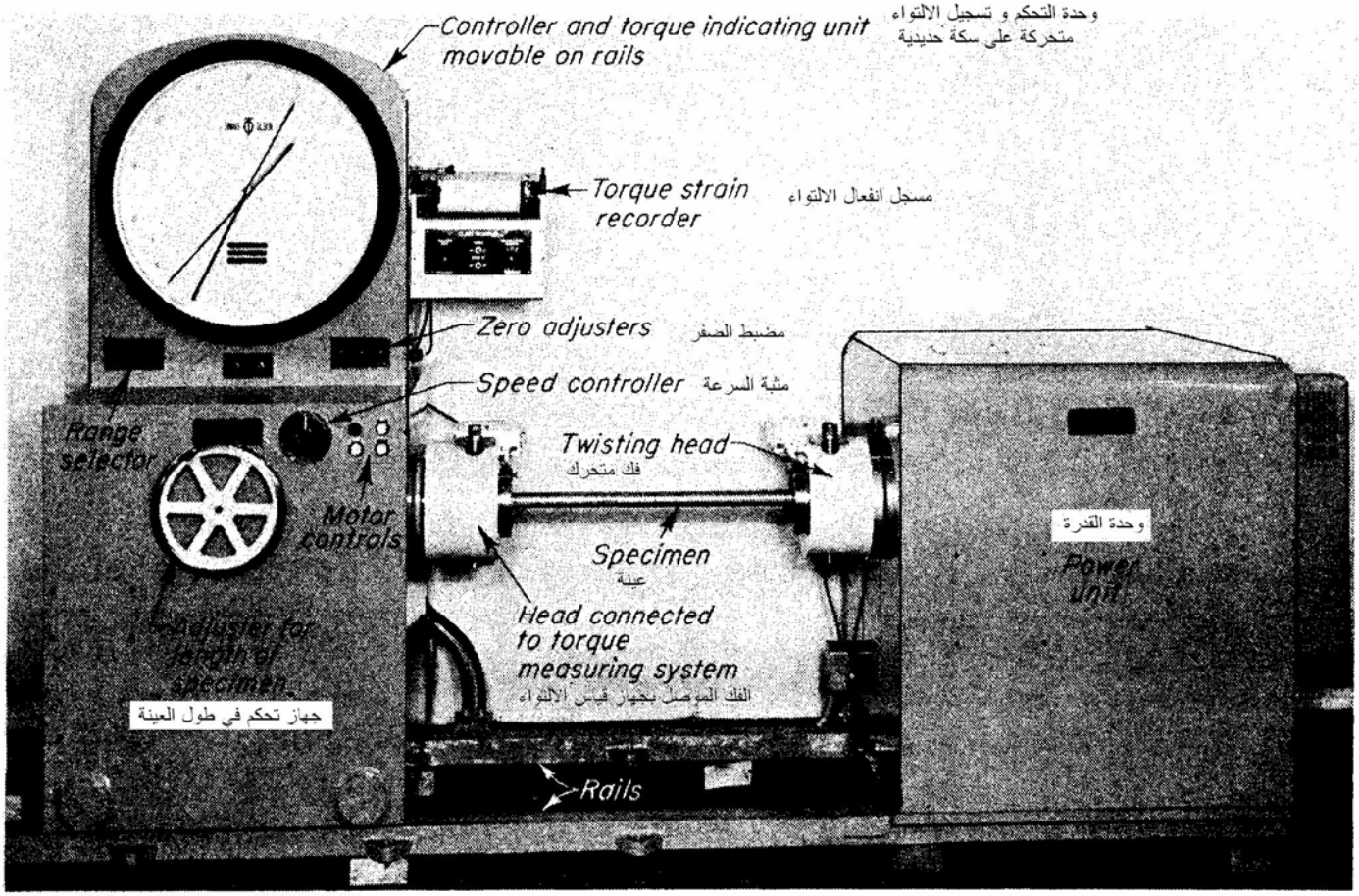
شكل 1.4 : عزم الالتواء نتيجة قوتين متوازيتين و متعاكستين في الاتجاه و متساويتين.

$$Mt = P \times e \qquad (1.4)$$

و يحدد الالتواء في أجزاء المنشآت و الماكينات المختلفة مثل أعمدة إدارة محركات المركبات كالسيارات و الشاحنات و المحركات الكهربائية Motor drive shaft و عمود المروحة للطائرات Airplane propellers إلخ ... و لا تنص المواصفات القياسية على إجراء اختبار الالتواء كاختبار قبول للمعادن إلا في حالات محددة خاصة و لكنه اختبار هام يجرى معملياً لبيان الخواص الميكانيكية للمواد في القص حيث إن الالتواء حالة قص خالص Pure shear.

2.4: ماكينة اختبار الالتواء:

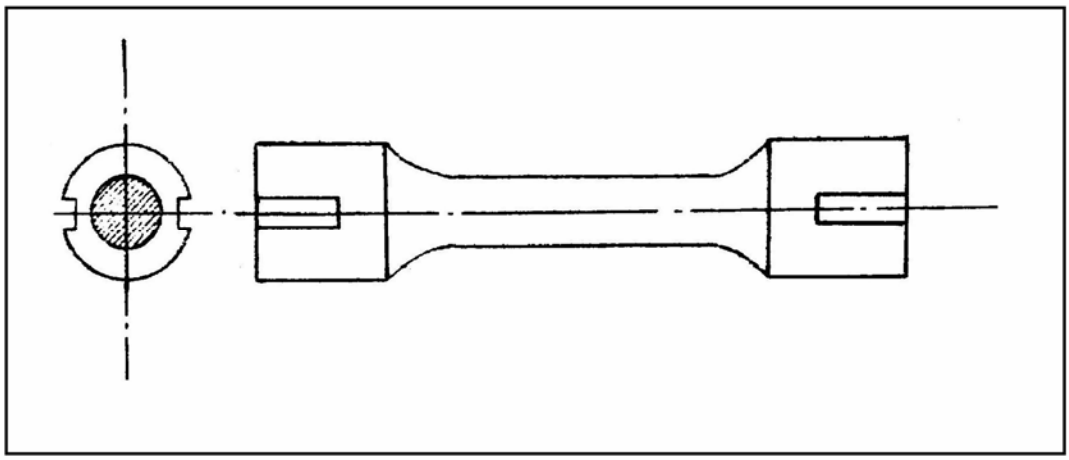
يجرى اختبار الالتواء على ماكينة خاصة ذات فكين تركب بينهما عينة الاختبار، و يتحرك أحد هذين الفكين دائرياً محدثاً عزم التواء بالعينة، أما الفك الآخر فيتصل بثقل بندولي يعمل على موازنة عزم الالتواء المذكور. و قد تستخدم أي طريقة أخرى لعمل تلك الموازنة عن طريق الفك الآخر، و يوجد بالماكينة مقياس مدرج لبيان عزم الالتواء المؤثر و أيضاً مقياس لبيان زاوية الالتواء المصاحبة لهذا العزم كما هو موضح في شكل 2.4 .



شكل 2.4 : ماكينة اختبار الالتواء.

3.4: عينة الاختبار:

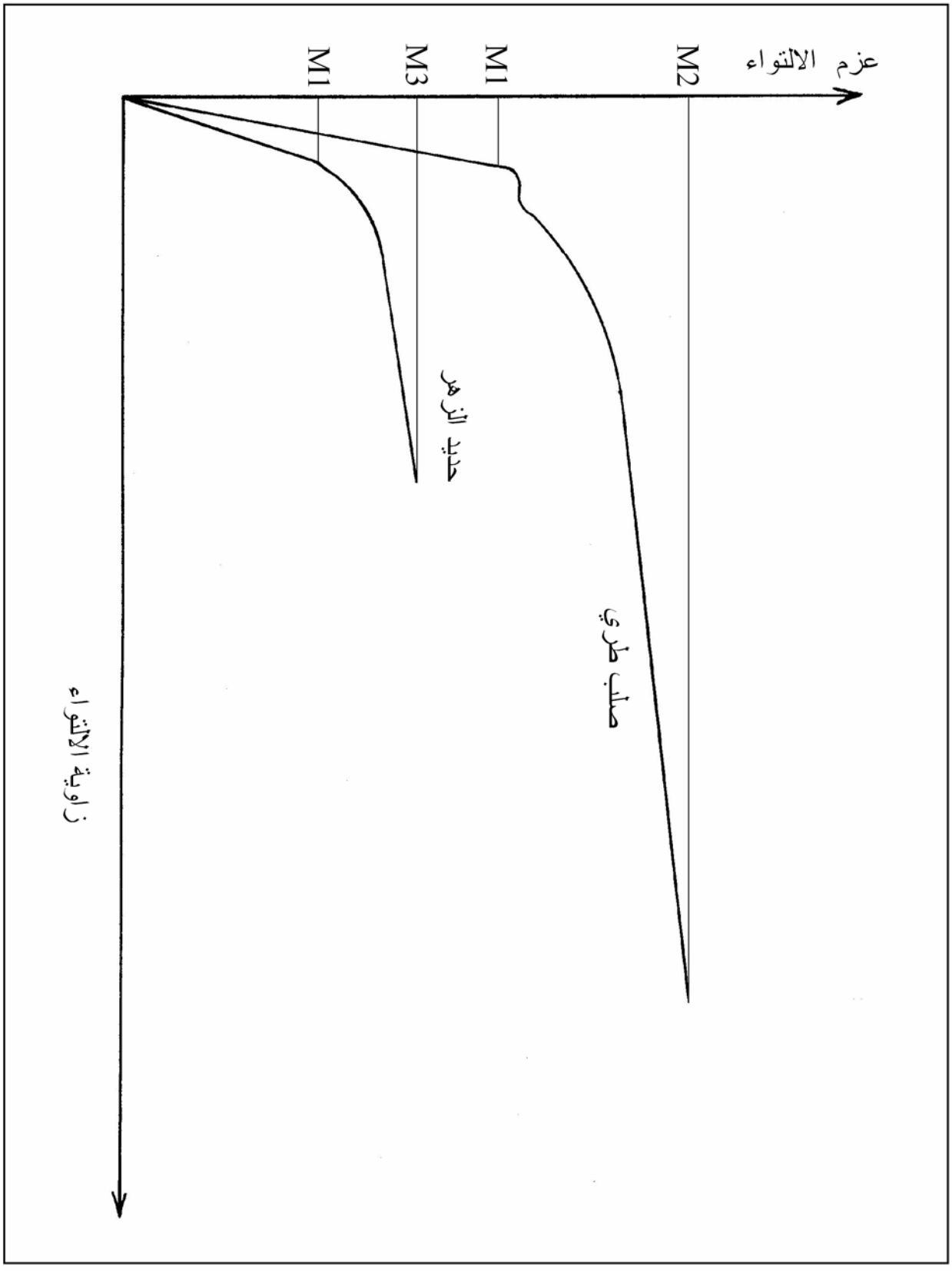
لا توجد مواصفات قياسية لشكل و أبعاد عينة اختبار الالتواء و لكنها غالباً ما تكون دائرية المقطع مع ملاحظة أن يكون قطر مقطع جسم عينة الاختبار أقل من قطر نهايتي العينة اللتين تركبان في ماكينة الاختبار تفادياً لحدوث الكسر عند إحدى نهايتي العينة حيث يلزم لصحة نتائج الاختبار أن يكون الكسر بجسم العينة المختبرة. و يلاحظ أيضاً أن يكون هناك تجاويف بكل من النهايتين حتى يمكن تركيبها في ماكينة الاختبار لترتكز عليها العينة كما في شكل 3.4 .



شكل 3.4: عينة اختبار الالتواء.

4.4: الخواص الميكانيكية في اختبار الالتواء:

يجرى هذا الاختبار على عينات من المعادن المختلفة لمعرفة الخواص الميكانيكية في الالتواء و ذلك بقياس أبعاد العينة و خصوصاً المقطع المستعرض، أي قطر هذا المقطع للعينات المستديرة المقطع، و يؤثر على العينة بعزم الالتواء Mt متدرج في القيمة تبدأ من الصفر حتى تكسر العينة و تسجل زاوية الالتواء Θ المصاحبة لكل عزم التواء. و نستخدم هذه البيانات لعمل الرسم البياني للحمل و التشكيل أي بين عزم الالتواء و زاوية الالتواء (Θ ، Mt) كما في شكل 4.4 .



شكل 4.4 : الرسم البياني لعزم الالتواء و زاوية الالتواء أي الحمل و التشكيل

و تستخدم هذه النتائج لبيان و حساب الخواص الميكانيكية في القص للمعدن المختبر و فيما يلي بيان تلك الخواص لعينات الاختبار ذات المقطع المستدير:

1. المقاومة المرنة للقص:

q_e :إجهاد القص المرن لجميع المعادن:

$$q_e = \frac{16 \times Mte}{\pi \times d^3} \qquad (2.4)$$

حيث d: قطر عينة الاختبار

Mte: عزم الالتواء عند حد المرونة و في شكل 4.4 $Mte = M_1$

2. المقاومة القصوى لقص الالتواء q_{max} Ultimate torsional shear strength :

نظراً لأن تعيين قيمة إجهاد قص الالتواء معقد حسابياً و لتسهيل الحصول على النتائج المعملية بسرعة فقد عملت معادلات نتيجة اختبارات معملية لتكون بنفس صورة معادلة إجهاد القص المرن. و لا تستند هذه المعادلات على أسس نظرية كالقص المرن و إنما على أسس نتائج معملية و هي كما يلي:

✓ المواد المطيلة:

$$q_{max} = \frac{12 \times Mt}{\pi \times d^3} = \frac{12 \times M_2}{\pi \times d^3} \qquad (3.4)$$

حيث q_{max}: المقاومة القصوى لقص الالتواء Ultimate torsional shear strength

d: قطر عينة الاختبار

Mt: عزم الالتواء الذي يكسر العينة و في شكل 4.4 $Mt = M_2$

✓ المواد القصفة:

$$q_{max} = \frac{14 \times Mt}{\pi \times d^3} = \frac{14 \times M_3}{\pi \times d^3} \qquad (4.4)$$

حيث q_{max}: المقاومة القصوى لقص الالتواء Ultimate torsional shear strength

d: قطر عينة الاختبار

Mt: عزم الالتواء الذي يكسر العينة و في شكل 4.4 $Mt = M_3$

3. معامل الجساءة Modulus of rigidity G :

يعبر معامل الجساءة G عن صلابة المعدن، أي مقاومته للتشكل بتأثير القص فكلما زادت قيمته كلما زادت صلابة المعدن و قيمة G = إجهاد القص / انفعال القص في حدود المرونة. و يمكن تعيين قيمة G من المعادلات السابقة و هي:

$$\frac{\Theta \times G}{L} = \frac{Mt}{J} \Rightarrow G = \frac{Mt \times L}{\Theta \times J} \qquad (5.4)$$

L و J أعداد ثابتة تعبر عن طول العينة و أبعاد مقطعها كما يراعى أن توضع قيمة Θ في المعادلة بالتقدير الدائري لكي تكون الحسابات صحيحة.

4. المطولية Ductility :

تقارن ممطولية المعادن باستخدام الالتواء عن طريق زاوية الالتواء القصوى Θmax و كلما كبرت هذه القيمة كلما كان للمعدن أكثر ممطولية لأن المواد المطيلة لها القدرة على التشكل الكبير (أي الالتواء الكبير) قبل الكسر بينما المواد القصفة تنكسر بتأثير الالتواء بزاوية التواء صغيرة نسبياً.

5. الرجوعية في الالتواء Resilience in torsion :

تعين الرجوعية في الالتواء من قيمة الطاقة التي قام بها الحمل المؤثر – حتى أقصى حمل مرن – عند مسار مسافة التشكل الحادث بالجسم و يساوي الحمل مضروباً في التشكل.

في حدود المرونة:

$$\text{الرجوعية} = \text{Resilience} = \Sigma Mt \times \Theta \qquad (6.4)$$

$$\text{الرجوعية} = \text{Resilience} = 1/2 \times Mt \times \Theta \qquad (7.4)$$

(8.4) الرجوعية = مساحة المثلث تحت الخط المستقيم بالمنحنى البياني للحمل و التشكل حتى حد المرونة في شكل 4.4 .

و يمكن حساب معامل الرجوعية بقسمة الرجوعية على حجم العينة المختبرة.

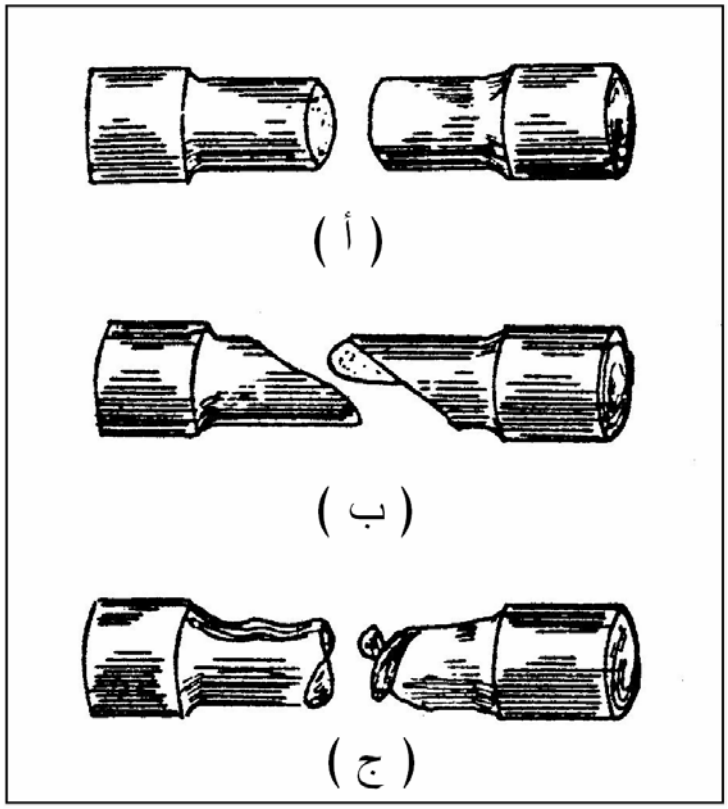
(9.4) معامل الرجوعية = حجم العينة / $\Theta \times Mt \times 1/2$ = Modulus of Resilience

6. المتانة في الالتواء Toughness in torsion :

و هي قيمة طاقة الالتواء المبذولة لكسر العينة المختبرة و تساوي المساحة الكلية تحت المنحنى البياني للحمل و التشكل شكل 4.4 ، و تعين بطرق دقيقة أو تقريبية من الرسم البياني. و يعين معامل المتانة في الالتواء بقسمة المتانة على حجم العينة المختبرة.

5.4: شكل كسر عينات الالتواء:

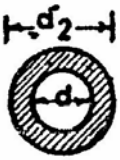
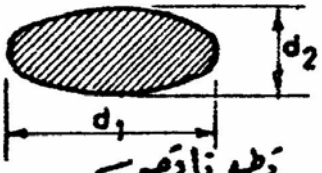
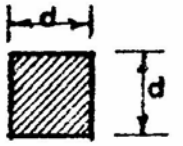
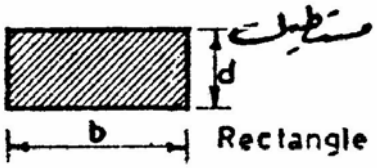
تكسر عينات المعادن المطيلة في اختبار الالتواء في مستوى عمودي على محور العينة أي على مستوى مواز للمقطع المستعرض و ذلك نتيجة تأثير قص الالتواء كما يتضح من شكل 5.4 . أما المعادن القصفة فتتكسر بالالتواء على شكل حلزوني ناتج من كسرها على مستويات تماس سطحها و تعمل 45^o مع محور العينة.



شكل 5.4: أشكال كسر عينات معدنية مختلفة في اختبار الالتواء (أ) مادة مطيلة، (ب) مادة قصفة و (ج) مادة مطيلة و شكل العينة أنبوبي مما يؤدي إلى الانبعاج.

ملحوظة: لقد تمت الحسابات السابقة على أساس أن المقطع المستعرض للالتواء مستدير لكن في حالة ما إذا كان شكل المقطع مختلفاً كالمستدير الأجوف أو مربع الخ ... فحساب إجهاد الالتواء حسب العلاقات الموجودة في جدول 1.4 و هذا ما سوف نجده إن شاء الله في المسائل المحلولة.

.

المقطع المستعرض	إجهاد الالتواء الأقصى τ_{max}	زاوية الالتواء θ
مستدير Circular	$16\ M_t / \pi d^3$	$32 / \pi d^4 \cdot M_t \cdot \ell / G$
مستدير أجوف Hollow circular 	$16\ M_t\ d_1 / \pi (d_1^4 - d_2^4)$	$32 / \pi (d_1^4 - d_2^4) \cdot M_t \cdot \ell / G$
قطع ناقص 	$16\ M_t / \pi d_1 d_2^2$	$\frac{16 (d_1^2 + d_2^2}{\pi d_1^3 d_2^3} \cdot M_t \quad \ell / G$
مربع Square 	$4.8\ M_t / d^3$	$7.11 / d^4 \cdot M_t \cdot \ell / G$
مستطيل Rectangle b>d & b< 6d 	$(3 + 1.8 \frac{d}{b}) \frac{M_t}{bd^2}$	$\frac{60 \frac{b}{a}}{1.5 b^3 d^3} \cdot M_t \cdot \ell / G$
مثلث متساوي الأضلاع Equilateral triangle	$20 / d^3 \cdot M_t$	$40 / d^4 \cdot M_t \cdot \frac{\ell}{G}$

جدول 1.4 : إجهاد الالتواء الأقصى و زاوية الالتواء المصاحبة لبعض المقاطع المستعرضة.

الوحدة الرابعة: مسائل محلولة

مسألة 1.4: أجري اختبار الالتواء على قطعة اختبار من الصلب مقطعها دائري أجوف، القطر الخارجي $D = 2$ cm و القطر الداخلي $d = 1$ cm و الطول المتوازي $L = 30$ cm . و قد سجلت نتائج اختبار الكسر كما هو مبين في الجدول الآتي:

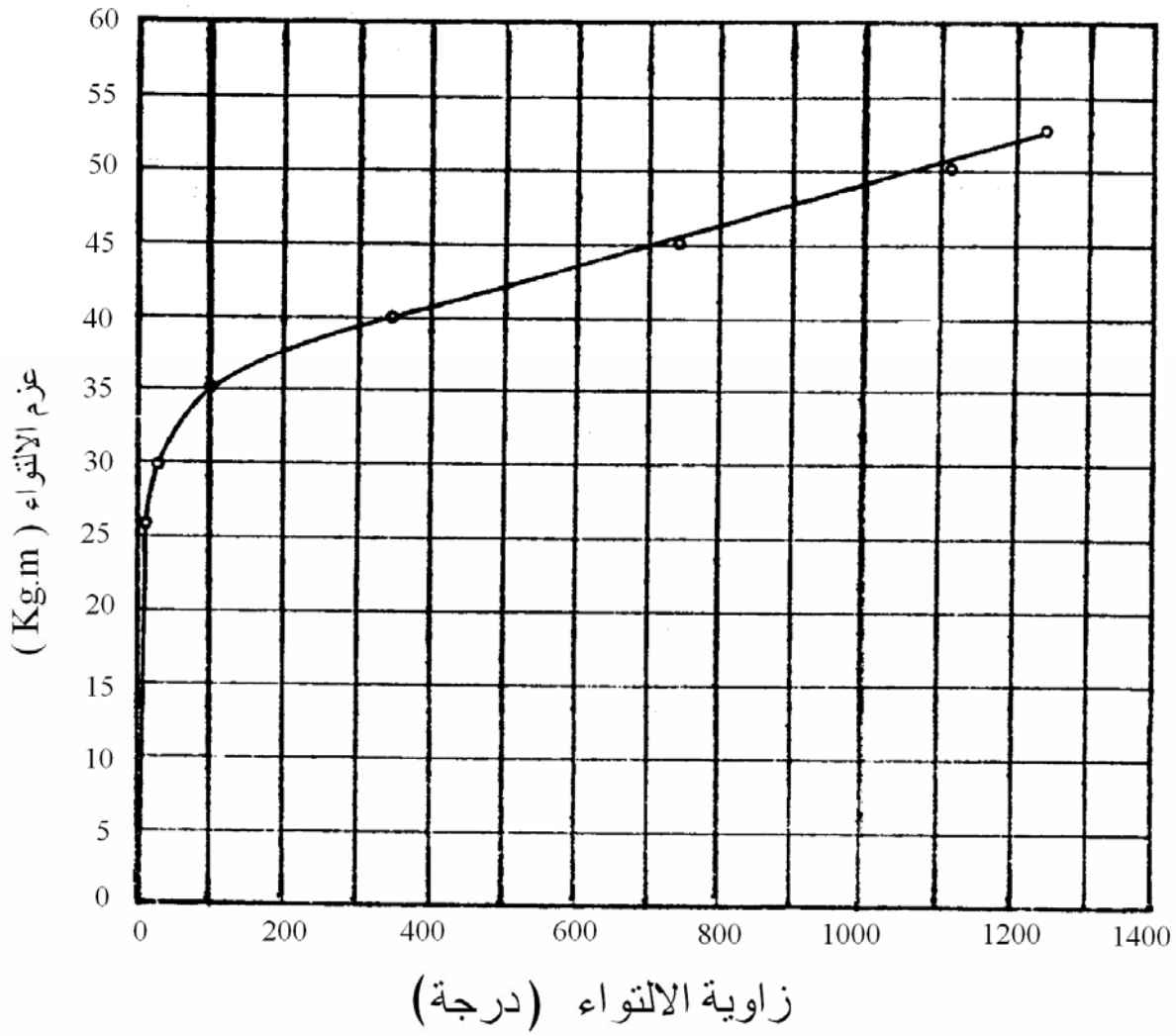
عزم الالتواء Kg.m	0	10	20	25.8	30	35	40	45	50	53
زاوية الالتواء درجة ^{o}	0	1.39	2.78	3.6	30	100	350	750	1120	1250

ارسم المنحنى البياني لعزم الالتواء و زاوية الالتواء. اعتبر كل 1 cm على محور عزم الالتواء يمثل 5 Kg.m و كل 1 cm على محور زاوية الالتواء يمثل 100^o . ثم استخدم نتائج الاختبار في تعيين كل مما يأتي علماً J عزم القصور القطبي للقطاع يساوي $14.7\ cm^4$:

1. **إجهاد حد المرونة في القص.**
2. إجهاد التشغيل في القص إذا كان عامل الأمان يساوي 3 .
3. معامل المرونة في القص.
4. معامل الرجوعية في الالتواء.

الحل:

يبين شكل 6.4 الرسم المطلوب للمنحنى البياني لعزم و زاوية الالتواء و منه يتبين أن:



شكل 6.4 : المنحنى البياني لعزم و زاوية الالتواء.

عزم الالتواء عند حد المرونة Mte : $Mte = 25.8\ Kg.m$

زاوية الالتواء عند حد المرونة Θe : $\Theta e = 3.6^{o} = 0.0628\ rad$ (دائري)

حجم العينة V : $V = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times 30 = \frac{\pi \times (2^2 - 1^2)}{4} \times 30 = 70.8\ cm^3$

1. إجهاد حد المرونة في القص qe :

من جدول 1.4 نحصل على:

$$q_e = \frac{16 \times Mte \times D}{\pi \times (D^4 - d^4)} = \frac{16 \times 25.8 \times 100 \times 2}{\pi \times (2^4 - 1^4)} = 1750 \, Kg / cm^2$$

2. إجهاد التشغيل في القص qm : qm = إجهاد حد المرونة في القص qe / عامل الأمان

$$qm = \frac{qe}{3} = \frac{1750}{3} = 583.3 \, Kg / cm^2$$

3. معامل المرونة في القص G :

من العلاقة (5.4) :

$$G = \frac{Mte \times L}{\Theta e \times J} = \frac{25.8 \times 100 \times 30}{0.0628 \times 14.7} = 870000 \, Kg / cm^2 = 870 \, Ton / cm^2$$

4. معامل الرجوعية في الالتواء:

من العلاقة (9.4) معامل الرجوعية = حجم العينة / Modulus of Resilience = 1/2 Mt × Θ

$$Ur = \frac{\frac{1}{2} \times \Theta e \times Mte}{V} = \frac{\frac{1}{2} \times 0.0628 \times 100 \times 25.8}{70.8} = 0.115 \, Kg.cm / cm^3$$

الوحدة الرابعة: تدريبات نظرية

تمرين 1.3: عمود أجوف دائري طوله 150 cm و قطر مقطعه الداخلي يساوي نصف قطره الخارجي و معرض لعزم التواء مقداره 4.83 Ton . m و معامل الجساءة لمادته يساوي 0.3×10^4 Kg / mm^2 . و المطلوب حساب قطر مقطعه الخارجي على أساس المتطلبات الآتية:

1. إجهاد القص المسموح به مقداره 9 Kg / mm^2 .
2. زاوية الالتواء المسموح بها مقدارها 1^o في طول يساوي عشرين مرة القطر الخارجي.

اختبار المواد

اختبار الصدم

الوحدة الخامسة :

اختبار الصدم
Impact Test

الجدارة:

اختبار الصدم و أهم أنواعه و العلاقات الرياضية المستخدمة.

الأهداف:

عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يصبح لديه القدرة على:

- معرفة اختبار الصدم و الخاصية الميكانيكية المتعلقة به (المتانة)
- طريقة عمل جهاز الصدم و التعرف على شكل العينات القياسية.
- معرفة أهم أنواع اختبارات الصدم و هي طريقة تشاربي و طريقة أيزود.
- حساب طاقة صدع العينة.
- معرفة العوامل المؤثرة على نتائج الاختبار و منها الفقد في الطاقة و سرعة الصدم و حجم و شكل العينة و درجة الحرارة.
- معرفة شكل العينات بعد الاختبار.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

4 ساعات.

متطلبات الجدارة:

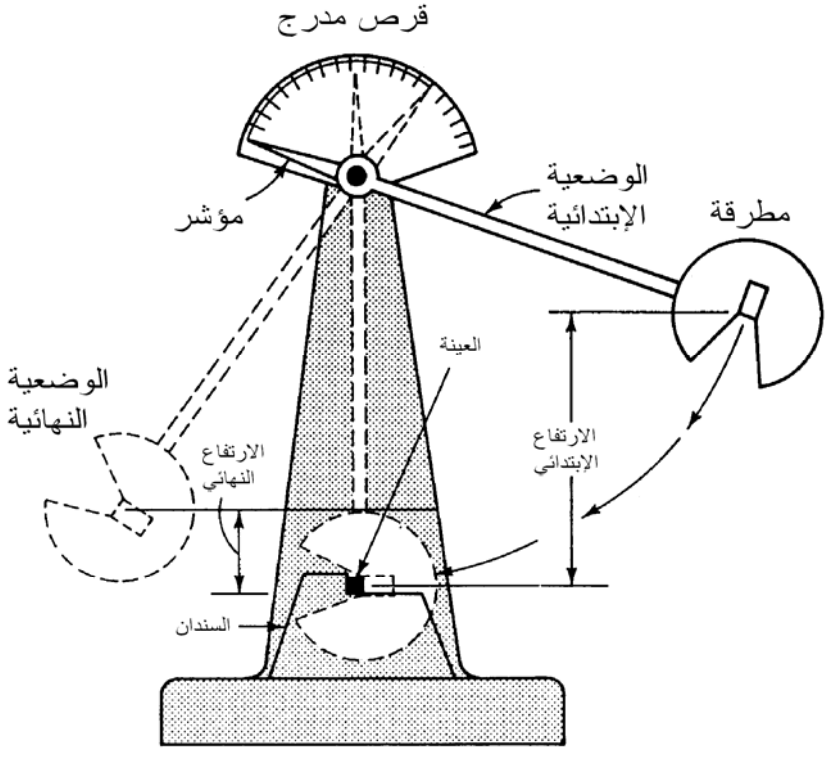
مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.5: تعريف: اختبار الصدم Impact test هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعين خاصية المتانة تحت تأثير قوة صدم بواسطة كتلة كبيرة نسبيًا متحركة و يكون التحميل فجائياً أي يستغرق فترة قصيرة جدًا من الزمن.

و تعتبر المتانة الخاصية التي تعبر عن الشغل المبذول المسبب لتصدع العينة. و تعتمد المتانة أساسًا على المقاومة و الممطولية. كما أن اختبار الصدم يبين مدى مقاومة المادة للانهيار عند تعرضها لقوى الصدم تحت ظروف التشغيل أي أن معدل امتصاص الطاقة عند الصدم يؤثر على سلوك المواد و بالتالي على جودها.

و لمجوعة من التجارب التي أجريت على المواد في اختبار الصدم لعينة غير منقورة، لوحظ أن هنالك توافق بين نتائجها و نتائج اختبار الشد في حالة حساب المتانة من منحنى الإجهاد الحقيقي و الانفعال الهندسي.

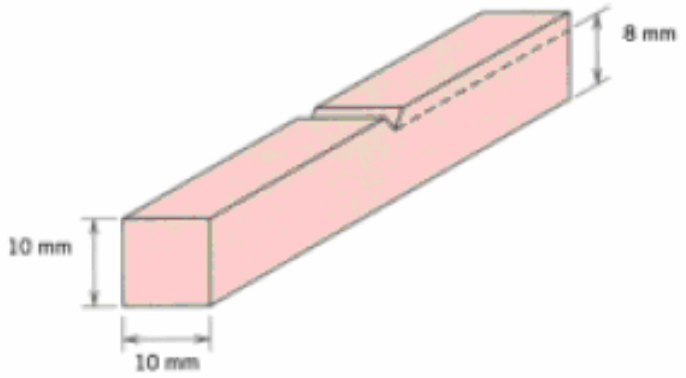
2.5: ماكينة اختبار الصدم و العينات القياسية:



شكل 1.5 : ماكينة اختبار الصدم.

بصفة عامة ماكينة اختبار الصدم هي عبارة عن ذراع على شكل قضيب مثبت بطرفه كتلة و تسمى بالمطرقة. الذراع يتأرجح حول مركز فيرفع الذراع إلى علو ما ثم يطلق الذراع فيسقط تحت تأثير الجاذبية فيصدع العينة. العينة تكون مثبتة في أسفل الجهاز ويسمى غالباً السندان. كما أنه يوجد حول مركز الدوران قرص مدرج عليه مؤشر احتكاك يسمح بقراءة الطاقة المبذولة لصدع العينة. و شكل 1.5 يوضح شكل ماكينة اختبار الصدم.

أما العينات المستخدمة في اختبار الصدم فهي عينات قياسية و بصفة عامة هي على شكل متوازي أضلاع عليه حز في أحد أسطحه يسمح له بتسهيل عملية الكسر كما هو موضح في شكل 2.5 .



شكل 2.5 : شكل عينة اختبار الصدم.

3.5: أنواع اختبارات الصدم:

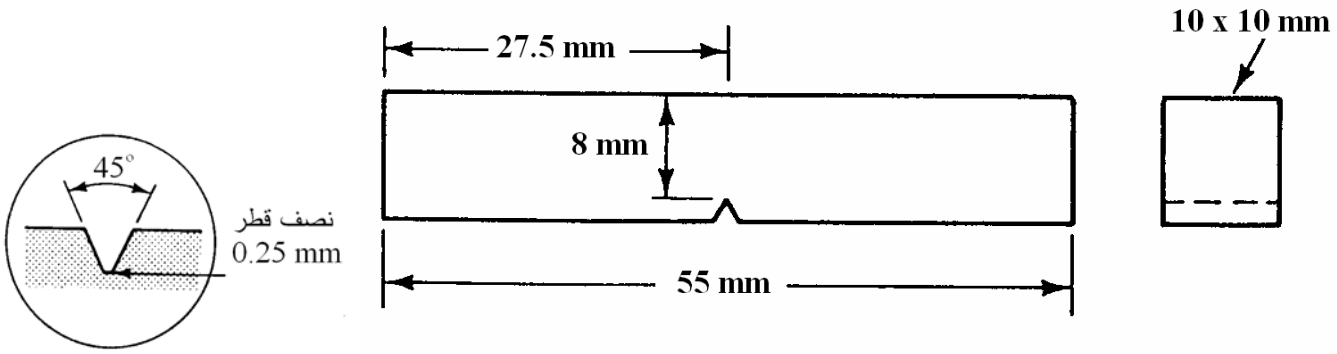
توجد عدة أنواع من اختبارات الصدم، أهمها:

1.3.5: اختبار تشاربي Charpy:

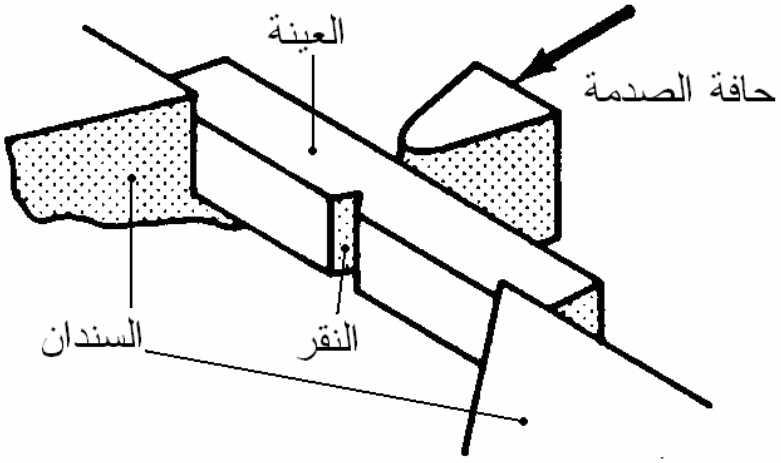
توجد ماكينة تشاربي لاختبار الصدم بمجموعة من الأحجام. و الحجم الطبيعي يكون بطاقة قصوى للصدمة قدرها 30 Kg m . و يتكون البندول من قضيب خفيف لكنه جاسئ بنهايته قرص ثقيل. و يعلق البندول من محور دوران يدور في ركيزة من رمان و يتأرجح و بالقرب من قاعدتهما توجد العينة و ركائزها و السندان. أما حد السكين الضارب فهو مستدير قليلاً كما هو في شكل 4.5 و يجب أن يضبط بحيث أن يلمس العينة في جميع عمقها عند لحظة الصدمة. أما بالنسبة لطريقة الاختبار فيرفع البندول إلى أعلى مستواه و يحفظ كذلك لكي يعطي نفس ارتفاع السقوط في كل تجربة. ثم يسمح له

بالسقوط و بالتالي يصدع العينة. و يوجد مؤشر احتكاك على مستوى محور الدوران على قرص مدرج يعطي قيمة قراءة الطاقة لصدع العينة و التي هي بدلالة كتلة القرص الضارب و ارتفاع البندول في البداية و بعد الكسر كما سنوضحه لاحقاً إن شاء الله.

عينات اختبار الصدم تشاربي القياسية عبارة عن متوازي أضلاع بأبعاد 55 × 10 × 10 mm ذات نقر و توجد عدة أشكال من النقر كما هو موضح في شكل 3.5. و في جدول 1.5 و توضع العينة أفقية ككمرة بسيطة بين سندانين كما في شكل 4.5 بحيث إن حد السكين يصدم العينة في الاتجاه المعاكس للنقر و في منتصفها.



شكل 3.5 : شكل عينة قياسية لاختبار الصدم تشاربي.

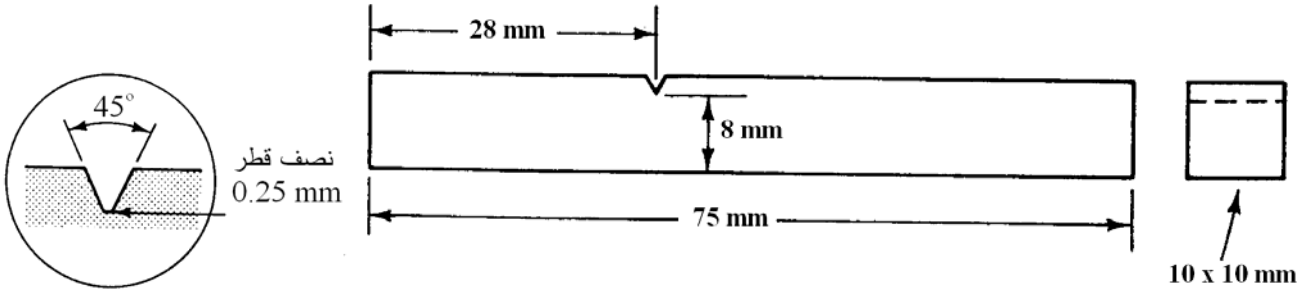


شكل 4.5 : طريقة تثبيت عينات اختبار الصدم تشاربي.

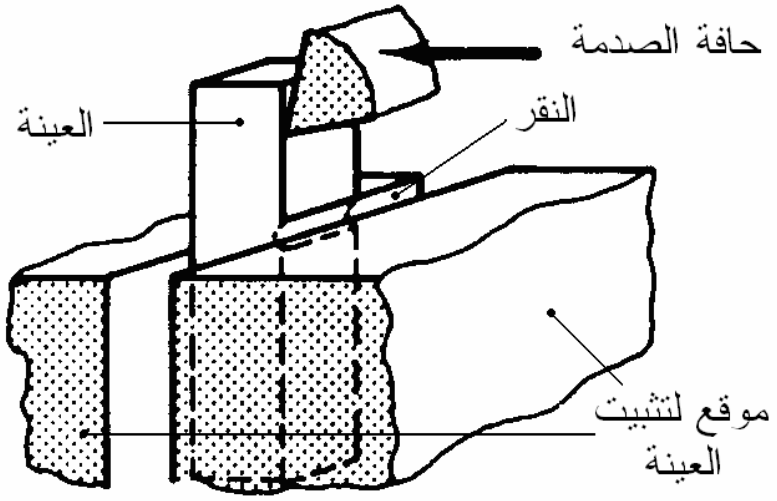
2.3.5: اختبار أيزود Izod:

تعمل ماكينة اختبار أيزود للصدمات بسعة 175 Kg.m غالبًا و توجد ماكينات منها بسعات مختلفة. و يتكون البندول من مطرقة مركبة في نهاية عضو خفيف مثبت طرفه العلوي بركيزة ذات رمان متصل بقائم ومربوط بمسمار إلى قاعدة من حديد الزهر. تظهر زاوية ارتفاع البندول بعد هبوطها أو كمية الطاقة اللازمة لتصديع العينة على تدريج بواسطة مؤشر احتكاك.

عينات اختبار الصدم أيزود القياسية عبارة عن متوازي أضلاع بأبعاد 75 × 10 × 10 mm ذات نقر عادي على هيئة V بزاوية 45^o و بعمق 2 mm كما في شكل 5.5. يصدم البندول العينة و هي مثبتة على هيئة كابولي كما هو موضح شكل 6.5 .



شكل 5.5 : شكل عينة قياسية لاختبار الصدم أيزود.



شكل 6.5 : طريقة تثبيت عينات اختبار الصدم أيزود.

4.5: حساب علاقات الطاقة:

تساوي قيمة مقاومة الصدم أو الطاقة الممتصة في كسر العينة الفرق بين الطاقة في البندول قبل الكسر و بعد الكسر.

إذا كانت E_1 : الطاقة الابتدائية للبندول

E_2 : الطاقة النهائية للبندول (بعد الكسر)

W : الطاقة لتصديع العينة

فإن لنا العلاقة التالية:

$$E_1 = E_2 + W \quad \Rightarrow \quad W = E_1 - E_2 \qquad (1.5)$$

و إذا كانت m : كتلة البندول [Kg]

g : تسارع جاذبية الكرة الأرضية $g = 9.81\ m/s^2$

H_o : ارتفاع سقوط مركز ثقل البندول (في الحالة الابتدائية) [m]

H : ارتفاع مركز ثقل البندول (بعد الكسر) [m]

فإننا نستنتج العلاقة التالية:

$$W = m \times g \times H_o - m \times g \times H = m \times g \times (H_o - H) \qquad (2.5)$$

تعطى النتائج بوحدات Kg.m أو J (joule) = N.m علماً بأن $1\ Kg.m = 9.81\ J$

5.5: العوامل المؤثرة على نتائج الاختبار:

بصفة عامة إذا كان نفس شكل النقر في العينات فإن نتائج اختبار الصدم بطريقتي أيزود و تشاربي تكون متطابقة و لو أن نتائج تشاربي تكون أعلى من نتائج أيزود. و كلما زادت متانة المادة كلما زاد الفرق. إلا أن نتائج اختبار الصدم للمعادن تتغير تبعًا للعوامل التالية:

- ✓ الفقد في الطاقة
- ✓ سرعة الصدم
- ✓ حجم و شكل العينة
- ✓ درجة الحرارة

1.5.5: الفقد في الطاقة:

عند حساب الطاقة اللازمة لتصديع العينة أخذنا الطاقة وهي تساوي الفرق بين الطاقة في البندول قبل الكسر و بعد الكسر. لكن في الواقع هذه العلاقة تحتاج إلى تصحيح لأن في هذه الحالة لم نأخذ بالاعتبار فقد الطاقة و أهملناه نظرًا لصغر قيمته و الناتج عن:

- ✓ الاحتكاك الموجود في محامل الدوران (الرمان) للبندول
- ✓ مقاومة الهواء للبندول التي هي بدلالة سرعة البندول
- ✓ و مقاومة الاحتكاك للمؤشر أثناء حركته لإعطاء قراءة القياس.

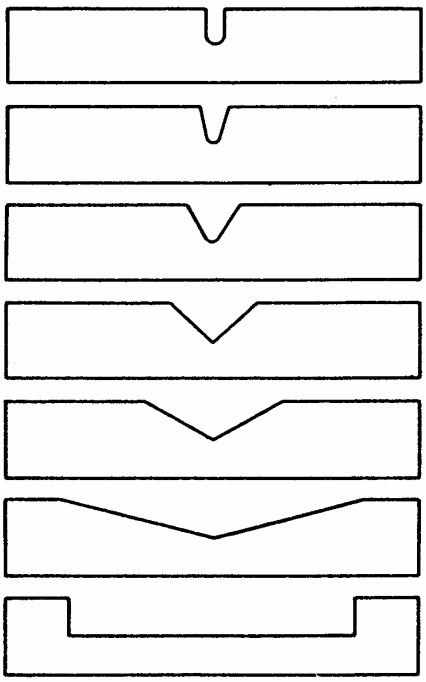
2.5.5: سرعة الصدم:

لا تؤثر السرعة كثيراً على نتائج تجربة الصدم في مدى السرعات المستخدمة في أغلب ماكينات الاختبار إلا إذا وصلت إلى قيمة معينة سمية بالسرعة الحرجة بحيث بعدها تتناقص مقاومة الصدم سريعًا. و يختلف هذا التأثير تبعًا لنوع المادة. و كقاعدة عامة فإن هذه السرعة الحرجة تكون أعلى للصلب الملدن (عملية التخمير) عن الصلب المصلد (التقسية). و على كل حال فإن أغلب ماكينات اختبار أيزود و تشاربي تعمل بسرعة أقل من تلك السرعة الحرجة.

3.5.5: حجم و شكل العينة:

أظهرت التجارب أن لحجم و شكل العينة تأثيراً على نتائج الاختبار. بحيث إن في درجة حرارة الغرفة إذا وصل عرض العينة المختبرة حتى إلى 1/4 العرض القياسي فإن مقاومتها للصدم تتناسب مع قيمة المقاومة للعرض القياسي. أما في درجات الحرارة المنخفضة فقد تعطي العينات ذات العرض القليل مقاومة للصدم تصل إلى 3 مرات مقاومة الصدم لعينة قياسية. و أظهرت الاختبارات أيضًا أن شكل النقر أيضًا له تأثير بحيث إن زاوية النقر لها تأثير إذا تعدت 60^{o} (الطاقة تزداد بزيادة ملحوظة) و لهذا السبب حددت المواصفات القياسية زاوية النقر 45^{o} كما هو موضح في جدول 1.5. و حدة جذر النقر له أيضا تأثير

ملحوظ على طاقة تصدع العينة كما يتضح في جدول 2.5 نتيجة تركيز الإجهادات. فنلاحظ بأنه كلما كان النقر حاداً كلما كانت قيمة تشاربي للصدم أقل و لذلك حدد قطر جذر النقر بمقاييس على حسب المادة المختبرة.

زاوية النقر [^{o}]	شكل العينة	قيمة تشاربي للصدم [J]
0		30.0
30		33.1
60		31.3
90		35.1
120		56.7
150		89.8
180		85.6

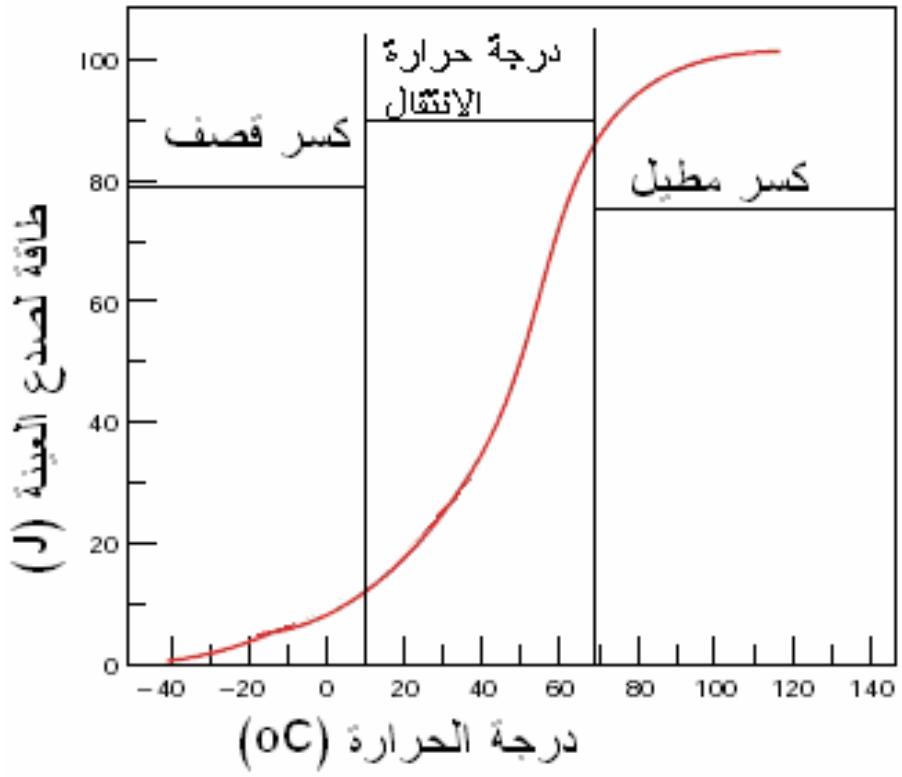
جدول 1.5 : تأثير زاوية النقر على مقاومة الصدم لعينة من الصلب الطري ذات عمق نقر قدره 5 mm و نصف قطر الجذر0.67 mm .

نصف قطر جذر النقر [mm]	قيمة تشاربي للصدم [J]
حاد	5.4
0.17	9.5
0.34	11.3
0.68	18.6

جدول 2.5: تأثير زاوية النقر على مقاومة الصدم لعينة من الصلب الطري ذات عمق نقر قدره 5 mm و نصف قطر الجذر 0.67 mm .

4.5.5: درجة الحرارة:

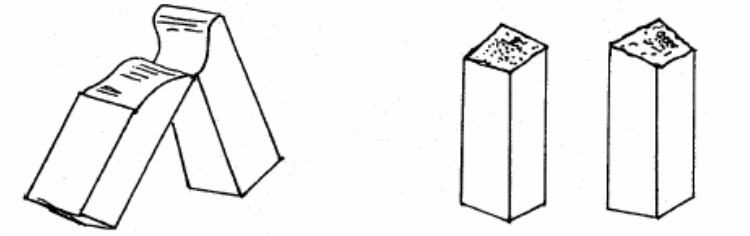
كما لدرجة الحرارة تأثير واضح و ملحوظ على خواص المواد خاصة الممطولية و القصافة (في درجات الحرارة المنخفضة تكون المواد قصفة أما في درجات الحرارة العالية تكون المواد مطيلة) فإن لها أيضاً تأثيراً واضحاً على مقاومة الصدم للعينات ذات النقر. شكل 7.5 يوضح بصفة عامة طبيعة تغير الطاقة المتسببة لصدع العينة في اختبار الصدم بدلالة التغير في درجة الحرارة. و لمادة ما و اختبار معين و تحت درجة حرارة حرجة، يكون الكسر قصفاً مع نقص في مقدار الطاقة المفقودة. أعلى من درجة الحرارة الحرجة هنا يكون الكسر مطيلاً مع امتصاص طاقة قد تكون أكبر عدة مرات من طاقة الكسر القصف. و بين هذه الحدود من درجة الحرارة يكون مدى درجة حرارة انتقالي حيث يكون الكسر مختلطاً.



شكل 7.5 : تأثير تغير درجة الحرارة على طاقة الكسر في اختبار الصدم للصلب الطري

6.5: شكل الكسر للعينات:

في اختبار الصدم في كلٍّ من اختبار تشاربي أو أيزود، شكل كسر العينة يوضح مدى خاصية المطولية أو القصافة للمعدن المختبر. فالمعادن القصفة تتكسر العينة عند الحز و مساحة الكسر تكون مسطحة و عمودية للمحور الطولي للعينة أما المعادن المطيلة فتثنى العينة عند الكسر و غالبًا لا تنفصل أو تنقسم العينة إلى جزأين كما هو موضح في شكل 8.5.



شكل 8.5 : شكل الكسر للعينات في اختبار الصدم.

الوحدة الخامسة: مسائل محلولة

مسألة 1.5: اختبرت عينة من الصلب في جهاز تشاربي للصدم. شكل 1 يوضح وضعية العينة قبل وبعد الكسر. إذا كان:

m: كتلة البندول ، $m = 30\ Kg$

g: تسارع الجاذبية الأرضية ، $g = 9.81\ m/s^2$

α: زاوية سقوط البندول أي قبل الكسر ، $\alpha = 75^o$

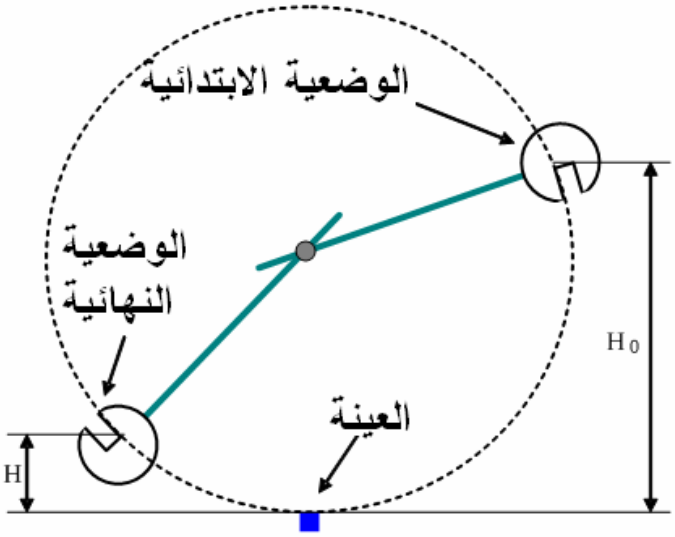
β: زاوية ارتفاع البندول أي بعد الكسر ، $\beta = 40^o$

R: طول البندول أي المسافة بين مركز ثقل البندول إلى محور الدوران O ، $R = 1.40\ m$

Ho: الارتفاع الابتدائي للبندول

H: الارتفاع النهائي للبندول

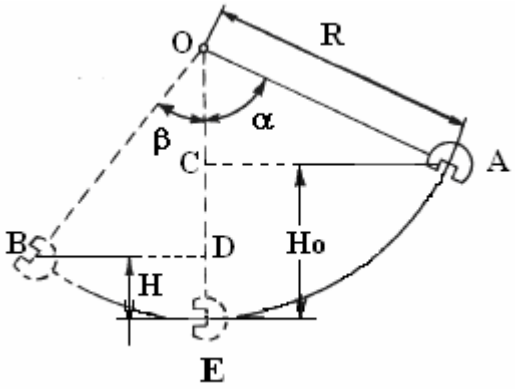
1. أوجد العلاقة التي تعطي قيمة الطاقة لصدع العينة W بدلالة m ، g ، α ، β و R .
2. احسب القيمة العددية للطاقة W .



شكل 1: وضعية البندول قبل و بعد الكسر

الحل:

1. نكتب العلاقات التالية استنادًا إلى شكل 2:



شكل 2: رسم يوضح تفاصيل وضعية البندول قبل و بعد الكسر

في المثلث القائم OCA : $OC = R \times \cos \alpha$

لكن $OE = R$ و $CE = H_o$

إذاً: $OC + CE = R \Rightarrow R \times \cos \alpha + H_o = R$

و بالتالي $H_o = R - R \times \cos \alpha$

نفس التحليل في المثلث ODB نحصل على $H = R - R \times \cos \beta =$

لكن العلاقة (2.5) تعطينا قيمة W: $W = m \times g \times (H_o - H)$

إذن $W = m \times g \times (R - R \times \cos \alpha - R + R \times \cos \beta)$

$$= m \times g \times (R \times \cos \beta - R \times \cos \alpha)$$

و العلاقة النهائية هي: $\mathbf{W = m \times g \times R \times (.\cos \beta - .\cos \alpha)}$

2. التطبيق العددي لحساب الطاقة W:

$$W = 30 \times 9.81 \times 1.40 \times (\cos 40^{o} - .\cos 75^{o}) = 412.02 \times (0.7660 - .0.2588)$$

$$W = 209 \text{ Kg. } m/s^2.m = 209 \text{ N.m} = 209 \text{ J}$$

مسألة 2.5: عند إجراء اختبار صدم بطريقة أيزود على سبيكة من النحاس كان ارتفاع المطرقة قبل الصدم 1.2 m و بعد الصدم هو 0.7 m . أوجد كتلة المطرقة إذا كانت قيمة الطاقة المبذولة 135 J .

الحل:

العلاقة (2.5) تعطينا قيمة W: $W = m \times g \times (H_o - H)$

إذن كتلة المطرقة هي: $$m = \frac{W}{g \times (H_o - H)} = \frac{135}{9.81 \times (1.2 - 0.7)} = 27.52 \text{ Kg}$$

الوحدة الخامسة: تدريبات نظرية

من تمرين **1.5** إلى تمرين **3.5** ، اختر الإجابة الصحيحة من ضمن الأجوبة الأربعة المقترحة:

التمرين 1.5: من الخواص الميكانيكية المتانة Toughness ، المتانة هي:

أ- خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل

ب- قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية أي مقدرتها على مقاومة و امتصاص الطاقة الميكانيكية

ج- قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تماما بعد زوال الحمل المؤثر

د- الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها سليما متماسكا تحت تأثير الأحمال

التمرين 2.5: خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل هي:

أ – الصلابة Stiffness

ب – الرجوعية Resilience

ج – المتانة Toughness

د – الصلادة Hardness

التمرين 3.5: قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية أي مقدرتها على مقاومة و امتصاص الطاقة الميكانيكية هي:

أ – الصلابة Stiffness

ب – الرجوعية Resilience

ج – المتانة Toughness

د – الصلادة Hardness

التمرين 4.5: أوجد قيمة مقاومة الصدم في اختبار تشاربي لعينة من الصلب المعالج حرارياً إذا كانت:

m: كتلة البندول ، $m = 35\ Kg$

g: تسارع الجاذبية الأرضية ، $g = 9.81\ m/s^2$

α: زاوية سقوط البندول أي قبل الكسر ، $\alpha = 80^o$

β: زاوية ارتفاع البندول أي بعد الكسر ، $\beta = 55^o$

R: طول البندول أي المسافة بين مركز ثقل البندول إلى محور الدوران O ، $R = 1.20\ m$

التمرين 5.5: عند إجراء اختبار الصدم بطريقة أيزود لعينة من الصلب 0.22% من الكربون و في درجة الحرارة $-20\ ^oC$ كان ارتفاع المطرقة قبل الصدم $0.75\ m$ و الطاقة لصدع العينة $100\ J$ كما أن كتلة المطرقة $30\ Kg$. أوجد قيمة ارتفاع البندول بعد الصدم.

اختبار المواد

اختبار الصلادة

الوحدة السادسة :

اختبار الصلادة
Hardness Test

الجدارة:

الصلادة، اختبارها و أنواعها و قياسها.

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة يصبح المتدرب قادراً على:

- معرفة الصلادة، أنواعها و طريقة اختبارها.
- معرفة الاختبارات القياسية لصلادة العلامة (اختبار برنل و اختبار فيكرس و اختبار ركول).
- معرفة جهاز اختبار الصلادة و طريقة العمل و شكل الأداة المستخدمة للطرق المختلفة.
- استخدام العلاقات الرياضية لحساب أرقام الصلادة للاختبارات القياسية المختلفة.
- استخدام المنحنيات و الجداول التي تعطي العلاقة بين أرقام الصلادة.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

5 ساعات.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.6: تعريف: اختبار الصلادة Hardness test هو عملية تجرى على قطعة اختبار لتعين خاصية الصلادة والتي هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها متماسكاً تحت تأثير الأحمال.

لصلادة المواد بصفة عامة و المعادن بصفة خاصة أنواع و هي:

1. صلادة العلامة: Indentation Hardness و هي خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل إستاتيكي و ديناميكي.

مجال الاستخدام: مثلاً في مقارنة صلادة ألواح المدرعات الحربية لمقاومة اختراق القذائف.

2. صلادة الارتداد: Rebound Hardness و هي خاصية قدرة المعدن على الرجوعية أي امتصاص الطاقة و إعادتها ثانية بعد إزالة الأحمال المؤثرة مسببة ارتدادًا لها تكبر قيمته كلما كبرت صلادة المعدن.

مجال الاستخدام: مثلاً في اختبار المعادن ذات الصلادة المناسبة لليايات.

3. صلادة الخدش: Scratch Hardness و هي خاصية مقاومة سطح المعدن للخدش.

مجال الاستخدام: مثلاً تفيد في تقدير صلادة المعادن في عمليات البرد و عند تعرض المعدن للخدش أثناء التشغيل.

4. صلادة التآكل: Wear Hardness و هي خاصية مقاومة سطح المعدن للبرى أي التآكل نتيجة للاحتكاك.

مجال الاستخدام: مثلاً في تحديد صلادة المعادن اللازمة لسطوح العجلات الحديدية للقطارات و القضبان الحديدية حتى تكون ذات مقاومة كافية للتآكل نتيجة الاحتكاك.

5. صلادة التشغيل بالماكينات: Machinability Hardness و هي خاصية مقاومة المعدن للتشغيل بالماكينات مثل عملية القطع و الثقب و القص الخ ...

مجال الاستخدام: هي ذات فائدة قيمة عند تشكيل المعادن بالمخرطة و المثقاب و غيرها بالورشة.

2.6: الهدف من الاختبار:

يستخدم اختبار صلادة المعادن في مجالات عديدة في الصناعة كما أن معظم المواصفات القياسية تنص على ضرورة إجرائه كاختبار قبول للمعادن و المنتجات المعدنية. و تستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الآتية:

1. ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث إن لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها في الصناعة و في التشغيل.
2. التحكم في مستوى الإنتاج و مراقبته أثناء التصنيع.
3. ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب أثناء الصناعة بحيث إن لكل نسبة كربون معامل صلادة معين.
4. بيان مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته و ذلك باختبار صلادته قبل و بعد التشغيل.
5. دراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية و التأكد من صحة إجرائها و تغييرها صلادة المعدن طبقاً لذلك.
6. معرفة بعض الخواص الميكانيكية باستخدام الصلادة دون اللجوء إلى اختبار العينة و إتلافها. مثلاً يوجد علاقة تناسب طردية بين الصلادة و مقاومة الشد.

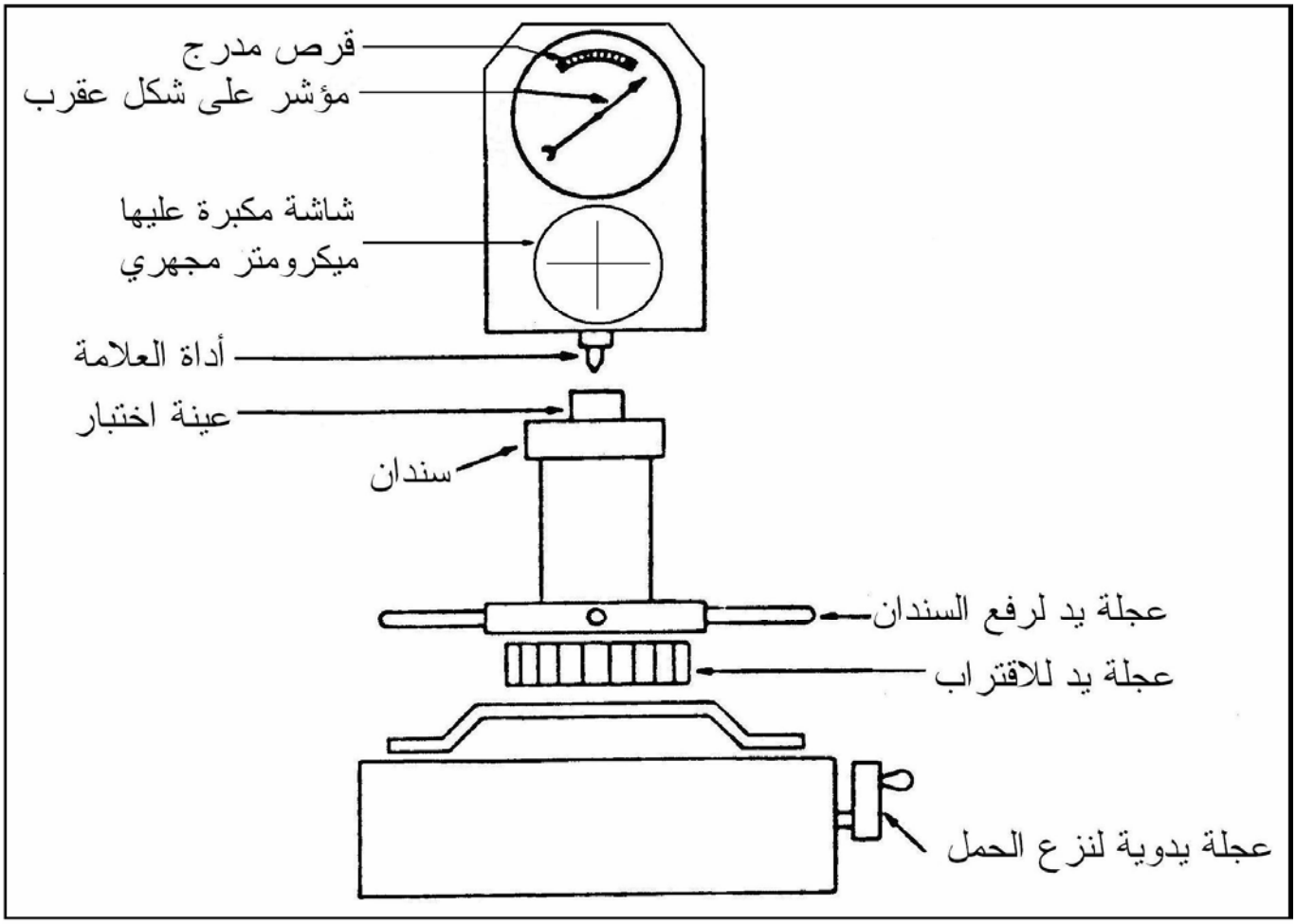
3.6: صلادة العلامة:

نوع اختبار الصلادة الأكثر استخداماً في الهندسة هو صلادة العلامة. و لهذا الغرض نتطرق إلى دراسة هذا النوع بدقة كما أنه يستخدم فيه أداة (جسم له شكل محدد) يضغط عليها حتى تترك أثر علامة على سطح المعدن بعد إزالة الحمل. مدة التحميل تتراوح من 15 إلى 30 ثانية. تقاس صلادة المعدن بقياس

عرض الأثر أو عمقه فكلما زادت قيمته كلما كان المعدن أقل صلادة. و يمكن حساب رقم صلادة المعدن بحساب حاصل قسمة حمل المؤثر على مساحة الأثر. كما أن وحدات الأحمال و المساحات ثابتة و بالتالي لا يذكر لرقم الصلادة وحدة. أنواع اختبار صلادة العلامة القياسية للمعادن هي:

- ✓ اختبار برنل Brinell
- ✓ اختبار فيكرس Vickers
- ✓ اختبار ركول Rockwell

4.6: جهاز اختبار صلادة العلامة:



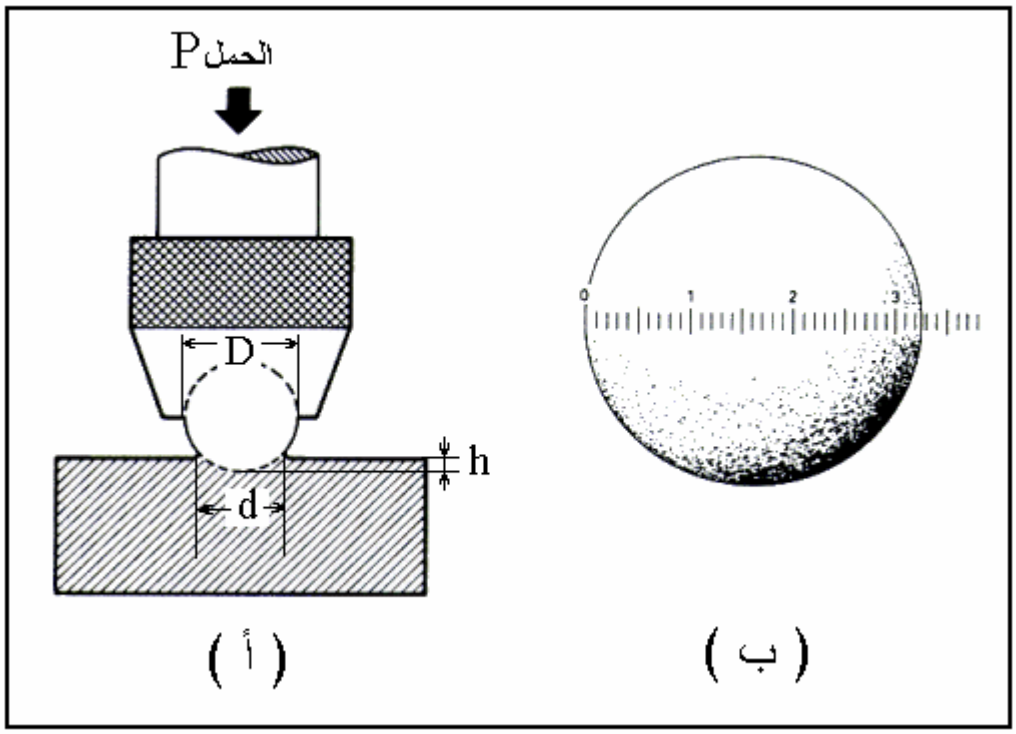
شكل 1.6: جهاز اختبار الصلادة.

جهاز الاختبار هو ماكينة اختبار الضغط تركب في أحد وجهي الضغط وصلة خاصة تثبت عليها أداة (التي تترك العلامة على القطعة المختبرة) للضغط بحمل معين على ألا تزيد أصغر قراءة لتدريجات حمل الماكينة على 0.5% من حمل الاختبار و أن تكون دقة الماكينة في حدود 0.5% من حمل الاختبار. في اختبارات برينل و فيكرس يقاس قطر الأثر بدقة و سهولة باستخدام شاشة مكبرة بالجهاز عليها ميكرومتر مجهري. أما في اختبار ركول فيعين رقم الصلادة مباشرة على قرص مدرج بالجهاز كما هو موضح في شكل 1.6.

5.6: اختبار برنل Brinell :

1.5.6: شكل الأداة:

الأدوات المستخدمة في اختبار برنل هي كرات من الصلب المصلد كما في شكل 2.6 و يجب أن يكون سطح الكرات أملس و خاليًا من العيوب. و الكرات المستعملة في هذا الاختبار تكون بأحد الأقطار المبينة بجدول 1.6 .



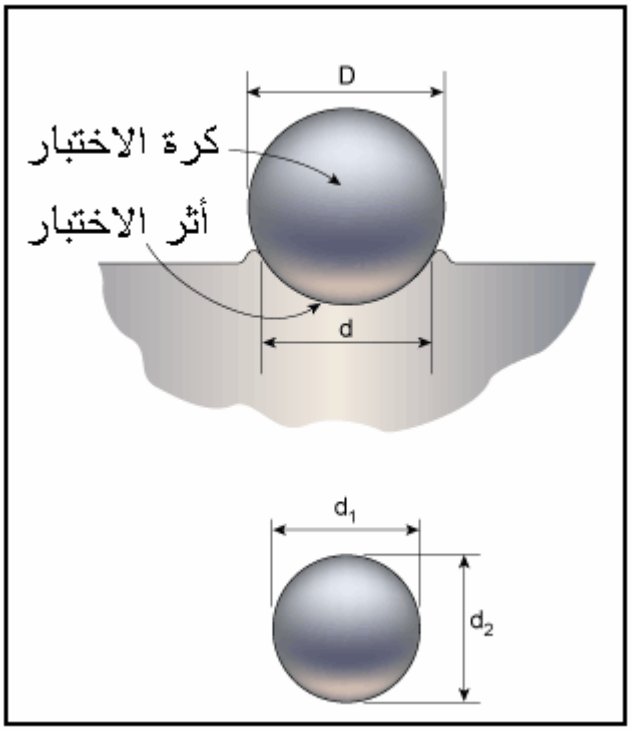
شكل 2.6: اختبار برنل للصلادة: أداة الاختبار، قطر و عمق الأثر (أ) و الشاشة المكبرة بالجهاز التي عليها ميكرومتر مجهري لقياس قطر الأثر (ب).

قطر الكرة (mm)	1	2	5	10
حدود السماح (mm)	± 0.0025	± 0.0035	± 0.0040	± 0.0045

جدول 1.6 : حجم كرات اختبار برنل مع حدود السماح.

2.5.6: طريقة الاختبار:

تتلخص طريقة الاختبار في ضغط كرة من الصلب قطرها (mm) D بحمل قدره (Kg) P ثم قياس الأثر (mm) d الناتج من هذا الضغط على سطح قطعة الاختبار و ذلك بعد إزالة الحمل المؤثر كما هو مبين في شكل 3.6 .



شكل 3.6: قياس الأثر في اختبار برنل للصلادة.

و يعبر عن صلادة المعدن المختبر برقم برنل للصلادة الذي يحسب كما يلي:

رقم صلادة برنل = حمل الاختبار (Kg) / مساحة أثر الكرة على قطعة الاختبار (mm^2)

و نستنتج العلاقة: (1.6)

$$\text{Brinell Hardness Number} = \text{B.H.N.} = \frac{P}{\pi \times D \times h}$$

$$= \frac{P}{\pi \times D \times \left(D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2} \right)}$$

$$\text{B.H.N.} = \frac{P}{\pi \times \frac{D}{2} \times \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

حيث h : عمق الأثر [mm]

D : قطر كرة برنل [mm]

d : قطر الأثر [mm]

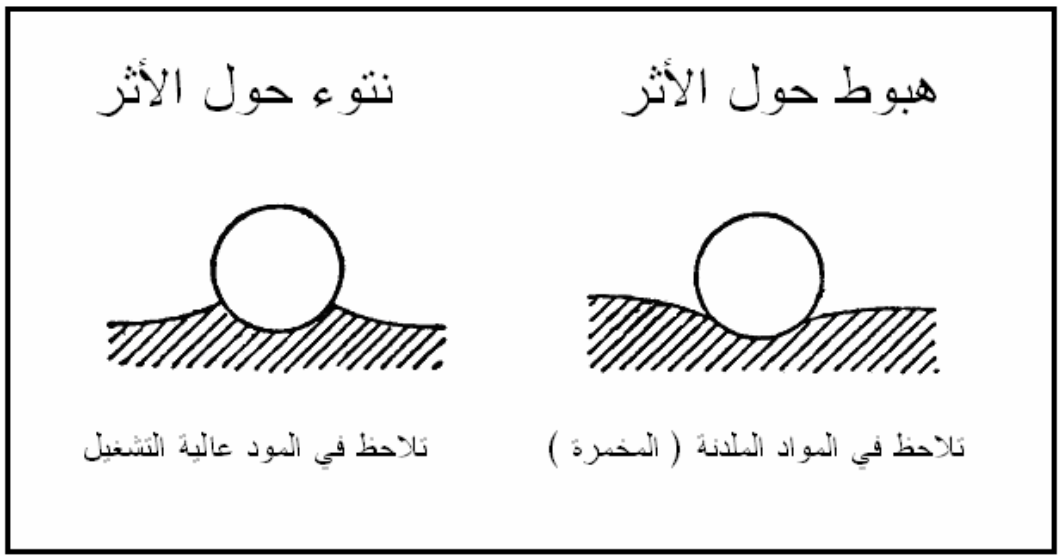
P : حمل الاختبار [Kg]

و عند الاختبار تجب مراعاة النقاط التالية:

- ✓ قياس الأثر (d) في اتجاهين متعامدين و اعتبار متوسطهما عند حساب رقم برنل للصلادة.
- ✓ القياس يكون دقيقًا حتى 0.01 mm
- ✓ يكون الأثر بشكل وعمق يمكن من دقة القياس أي لا يكون قليل العمق بدرجة تكون هبوط حول الأثر أو لا يكون كبير العمق بدرجة تكون نتوء حول الأثر كما يتبين من شكل 4.6.
- ✓ يعتبر الأثر مناسبًا لحساب رقم برنل إذا كانت قيمة قطره تتراوح من 0.25 إلى 0.5 قطر الكرة

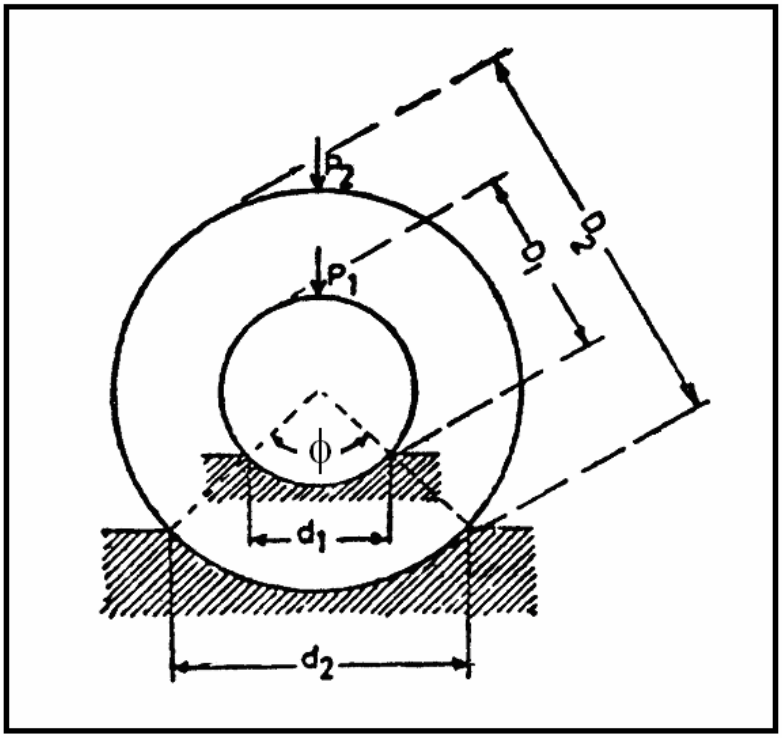
أي أن يكون (2.6) $\frac{d}{D} = 0.25 - 0.5$ أي بمتوسط $\frac{d}{D} = 0.375$

و يعتبر هذا الرقم كشرط مهما اختلف نوع المعدن المختبر.



شكل 4.6: تأثير شكل و عمق الأثر في اختبار صلادة برنل على دقة القياس.

يراعى أن حمل الاختبار المناسب للمعدن المختبر لابد و أن تستعمل معه كرة ذات قطر مناسب حتى نحصل على أثر مناسب لقياس قطره بدقة أي حتى نستوفي الشرط d / D = 0.5-0.25 و تساوي عدد ثابت وذلك مهما اختلف نوع المعدن المختبر. و يتطلب هذا الشرط أن يكون الأثر متشابهاً هندسياً (Geometrically similar) مهما اختلفت أقطار كرات برنل و الأحمال المستخدمة (شكل 5.6).



شكل 5.6: حالات التشابه في الأثر في اختبار برنل للصلادة.

و قد تبين من التجارب المختلفة أن متوسط إجهاد الضغط للتحميل على سطح المعدن عدد ثابت عند حصول آثار كرات برنل بحيث تتشابه تلك الآثار هندسيًا مع اختلاف أقطارها و الحمل أي أن:

$$\text{إجهاد الضغط} = f = \frac{P}{\pi \times d^2/4} = \text{عدد ثابت للمعدن الواحد} \qquad (3.6)$$

و كما تبين في (3.6) أن $\frac{d}{D}$ ثابت أي $\frac{d^2}{D^2}$ أيضًا ثابت و أن $\frac{P}{d^2}$ ثابت و بالتالي $\frac{d^2}{D^2} \times \frac{P}{d^2}$ ثابت و على ذلك تكون العلاقة بين قطر كرة برنل و حمل الاختبار هي:

$$\text{حمل الاختبار / (قطر كرة برنل)}^2 = \frac{P}{D^2} = \text{عدد ثابت} \qquad (4.6)$$

و يختلف هذا العدد الثابت باختلاف نوع المعدن كما هو مبين في جدول 2.6 .

الثابت $\frac{P}{D^2}$	أمثلة من المعادن	رقم برنل للصلادة
30	المعادن الحديدية	أكبر من 160
10	سبائك النحاس و سبائك الألومنيوم	من 60 إلى 160
5	النحاس – الألمنيوم	من 20 إلى 60
1	الرصاص – القصدير و سبائكهما	أقل من 20

جدول 2.6: قيم الثابت $\frac{P}{D^2}$ في اختبار برنل للمعادن المختلفة.

3.5.6: حمل الاختبار:

نريد اختبار صلادة معدن معين مثلاً الصلب مع اختيار قطر كرة برنل مثلاً $D = 10\ mm$ فكم تكون قيمة الحمل اللازم للاختبار؟

من جدول 2.6 نجد قيمة الثابت $\frac{P}{D^2}$ و هي 30 و بالتالي الحمل P يساوي:

$$\frac{P}{D^2}=30 \Rightarrow \frac{P}{(10)^2}=30 \Rightarrow P=3000\,Kg$$

و يبين جدول 3.6 الأحمال المستعملة في اختبار برنل للمعادن المختلفة:

D : قطر كرة برنل (mm)	الحمل P (Kg)			
	الثابت $\frac{P}{D^2}$			
	1	5	10	30
1	1	5	10	30
2	4	20	40	120
5	25	125	250	750
10	100	500	1000	3000

جدول 3.6: الأحمال المستعملة في اختبار برنل للمعادن المختلفة.

4.5.6: عينة الاختبار:

تجب مراعات الشروط التالية بالنسبة لعينة اختبار برنل:

- ✓ سمك قطعة الاختبار: يجب ألا يقل سمك قطعة الاختبار عن عشرة أمثال عمق الأثر و الذي يحسب من المعادلة:

$$h=\frac{P}{\pi\times D\times(B.H.N.)} \qquad (5.6)$$

حيث h : عمق الأثر [mm]

D : قطر كرة برنل [mm]

P : حمل الاختبار [Kg]

B.H.N. : رقم برنل

و يجب ألا يظهر أي انبعاج للسطح الخلفي من قطعة الاختبار ناتج من تأثير ضغط الحمل على الوجه المقابل لسطح قطعة الاختبار بعد إجراء الاختبار.

- ✓ سطح قطعة الاختبار: يجب أن يكون سطح قطعة الاختبار مصقولاً بدرجة تسمح بقياس قطر أثر كرة برنل بمقياس دقته 0.01 mm.

- ✓ موضع أثر كرة برنل: يجب ألا تقل المسافة بين أثر كرة برنل و أقرب حافة لقطعة الاختبار عن مرتين و نصف مرة من قطر الأثر، و كذلك ألا تقل المسافة بين مركزي أثرين متجاورين عن أربع مرات قطر الأثر.

5.5.6: خطوات الاختبار:

1. يجرى اختبار برنل في درجة حرارة الغرفة و يكون ذلك بوضع قطعة الاختبار على مرتكز صلب ثابت حتى لا تحدث إزاحة أثناء إجراء الاختبار

2. توضع كرة برنل المناسبة على سطح قطعة الاختبار

3. يضغط على كرة برنل بحمل عمودي على سطح قطعة الاختبار و يزداد هذا الحمل تدريجيًا حتى تصل قيمته إلى الحمل المناسب للمعدن المختبر المقابل لكرة برنل المستعملة (يستعمل جدول 2.6 و جدول 3.6 لتحديد P)

4. يترك الحمل مؤثرًا على قطعة الاختبار فترة لا تقل عن 15 ثانية

5. يزال الحمل

6. يقاس قطر الأثر بواسطة الشاشة المكبرة المزودة بالميكرومتر المجهري و يحسب رقم برينل للصلادة باستخدام العلاقة (1.6):

$$B.H.N. = \frac{P}{\pi \times \frac{D}{2} \times \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

و يحسن عند ذكر رقم برنل للصلادة بيان قطر الكرة و قيمة الحمل المستخدمين في الاختبار مثل (10 / 3000) .B.H.N أي رقم صلادة برنل معين باستخدام كرة قطرها 10 mm و حمل قيمته 3000 Kg كما يحسن إجراء أكثر من اختبار على القطعة الواحدة و أخذ متوسط النتائج و ذلك كلما سمحت قطعة الاختبار بذلك.

6.5.6: حدود استخدام طريقة برنل:

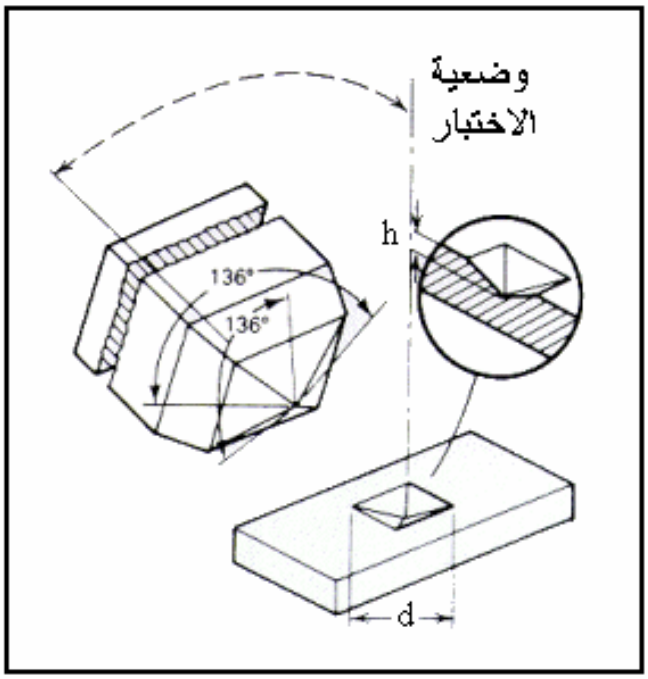
يعتبر استخدام طريقة برنل لاختبار صلادة المعادن غير صحيح في الحالات التالية:

- ✓ إذا كان المعدن المختبر شديد الصلادة حيث يخشى على كرة برنل من أن تغير شكلها فبذلك لا تحدث علامة حقيقية تمثل صلادة المعدن المختبر.
- ✓ إذا كانت العينة المختبرة رقيقة جدًا أي ذات سمك صغير حيث تحدث كرة برنل بسطح المعدن انبعاجًا يظهر أثره من الجانب الآخر.
- ✓ إذا كانت العينة المختبرة مصلدة بالتغليف حيث ينتظر أن يكون أثر كرة برنل له عمق أكبر من سمك الجزء المصلد و حينئذ لا يمثل رقم برنل صلادة الغلاف المصلد لسطح العينة و هو غرض الاختبار.

6.6:اختبار فيكرس Vickers :

1.6.6: شكل الأداة:

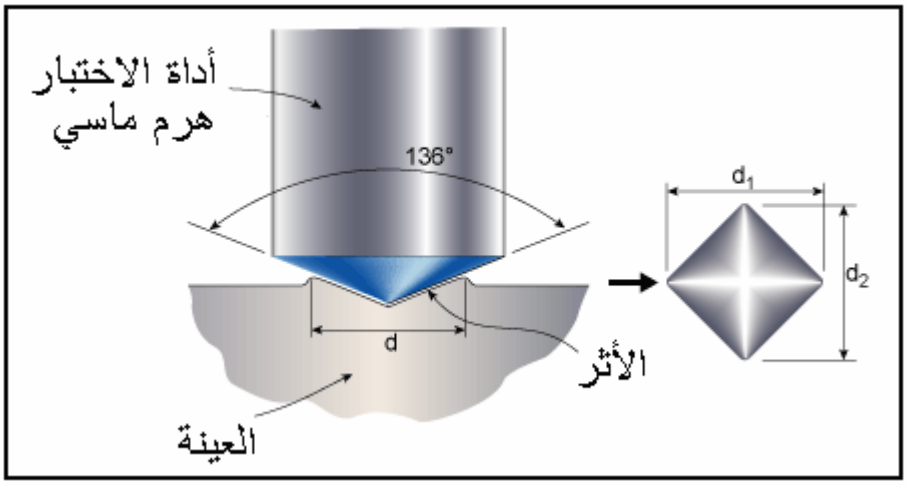
الأداة المستخدمة لإجراء الاختبار هي عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة و تتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية θ قدرها 136^o كما هو مبين في شكل 6.6.



شكل 6.6: أداة اختبار فيكرس للصلادة.

2.6.6: طريقة الاختبار:

يجرى اختبار فيكرس بنفس طريقة اختبار برنل و بما أن شكل الأداة هرم من الماس فإن الأثر على سطح القطعة المختبرة يكون مربعاً و ذا عمق معين و بالتالي تقاس الصلادة بقياس قطر الأثر (d) شكل 7.6.



شكل 7.6 : اختبار فيكرس للصلادة: وضعية الاختبار و شكل الأثر.

و يحسب رقم فيكرز كالتالي:

رقم صلادة فيكرز = حمل الاختبار (Kg) / مساحة أثر الكرة على قطعة الاختبار (mm^2)

$$\text{Vickers Hardness Number} = \text{V.H.N.} = \frac{2 \times P \times \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \qquad (6.6)$$

$$\text{V.H.N.} = 1.854 \times \frac{P}{d^2}$$

حيث: d : قطر الأثر [mm]

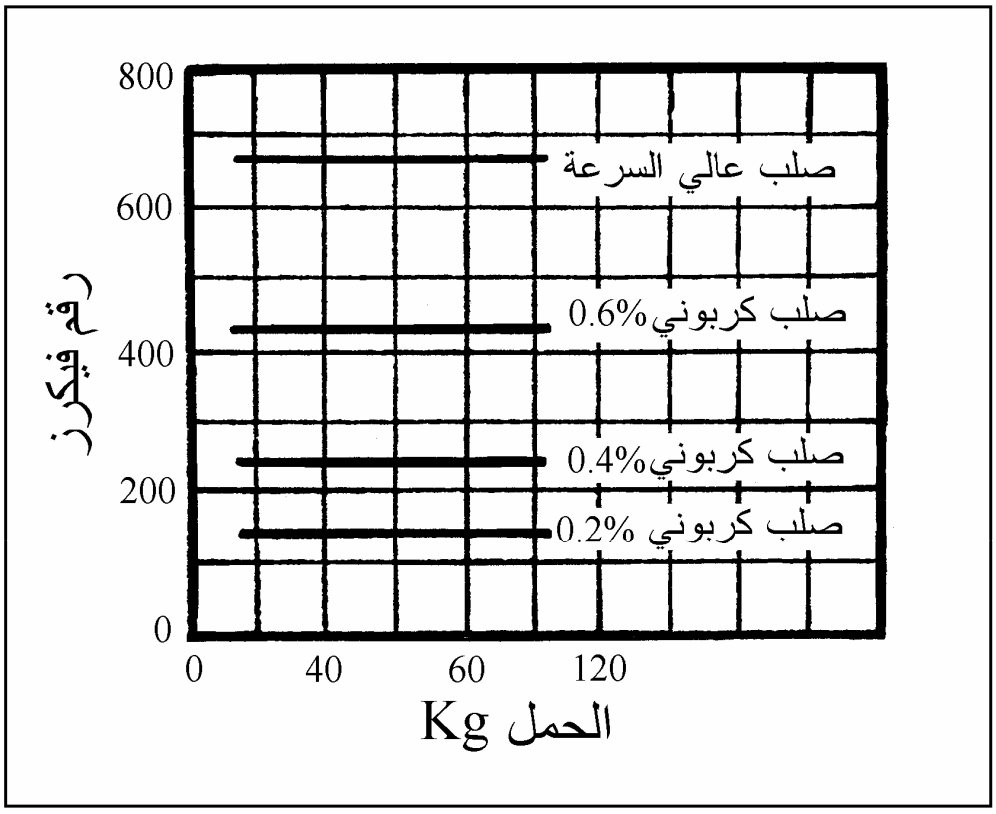
P : حمل الاختبار [Kg]

3.6.6: حمل الاختبار:

يقوم جهاز الاختبار بتحميل قطعة الاختبار بأحد الأحمال 5 ,10 ,30 ,50 أو 100 Kg و يكون الاختيار حسب:

- ✓ حالة صلادة المعدن المختبر
- ✓ سمك و أبعاد القطعة المختبرة
- ✓ عمق الأثر المسموح به بالجزء المختبر تفاديًا لإتلاف سطحه.

ويلاحظ أن اختلاف التحميل مع ثبوت الهرم الماسي في كل حالة لا يؤثر في اختلاف قيمة رقم فيكرز للصلادة حيث ثبت من التجارب المتعددة أن رقم فيكرز ثابت للمعدن الواحد مهما اختلفت الأحمال المؤثرة كما يتضح من شكل 8.6.



شكل 8.6: اختلاف التحميل مع ثبات الهرم الماسي في اختبار صلادة فيكرز لا يؤثر على قيمة الصلادة.

4.6.6: عينة الاختبار:

باستخدام هرم من الماس صغير و دقيق الحجم يمكن تحديد صلادة المعادن لعينات رقيقة السمك و ذلك حتى سمك قدره .0.01 mm.

5.6.6: مزايا اختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز:

- ✓ يعطي قيمة دقيقة لرقم الصلادة.
- ✓ الأحمال المؤثرة صغيرة إذا ما قورنت بالأحمال المؤثرة في اختبار برنل.
- ✓ يمكن بواسطته تحديد صلادة المعادن شديدة الصلادة نظراً لاستخدام الهرم الماسي.
- ✓ يمكن بواسطته تحديد صلادة المعادن الرقيقة السمك و التي لا يصلح لها اختبار برنل (فمثلاً يمكن إيجاد صلادة شفرة الحلاقة بواسطة اختبار فيكرز).

6.6.6: خطوات الاختبار:

خطوات اختبار الصلادة بطريقة فيكرس هي نفس الخطوات التي تتبع في الاختبار بطريقة برنل.

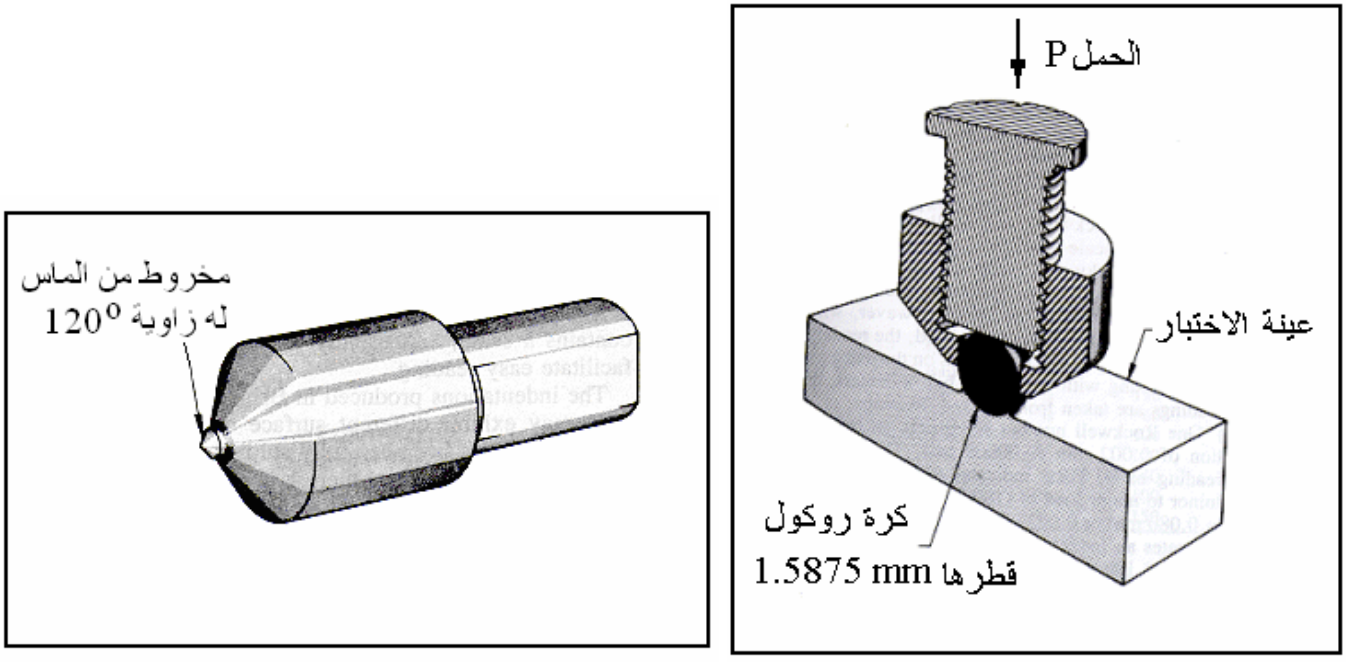
ملحوظة: في اختبار برنل أو في اختبار فيكرس، في حالة ما إذا كان سطح عينة الاختبار مقوساً أو يوجد فيه اعوجاج أو أن شكل الأثر بيضاوي (برنل) فيجب في هذه الحالة أخذ القيمة المتوسطة لقطر الأثر باستخدام العلاقة التالية استناداً لشكل 3.6 و لشكل 7.6:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \qquad (7.6)$$

7.6: اختبار روكول Rockwell :

1.7.6: شكل الأداة:

الجسم المحدث للأثر عبارة عن كرة صغيرة من الصلب قطرها 1.5875 mm أو مخروط من الماس له زاوية 120^o و حرف مستدير و يسمى برايل (Brale) شكل 9.6.



(أ) (ب)

شكل 9.6: اختبار روكول للصلادة:

شكل الأداة كرة صغيرة من الصلب (أ) أو مخروط من الماس (ب).

2.7.6: طريقة و خطوات الاختبار:

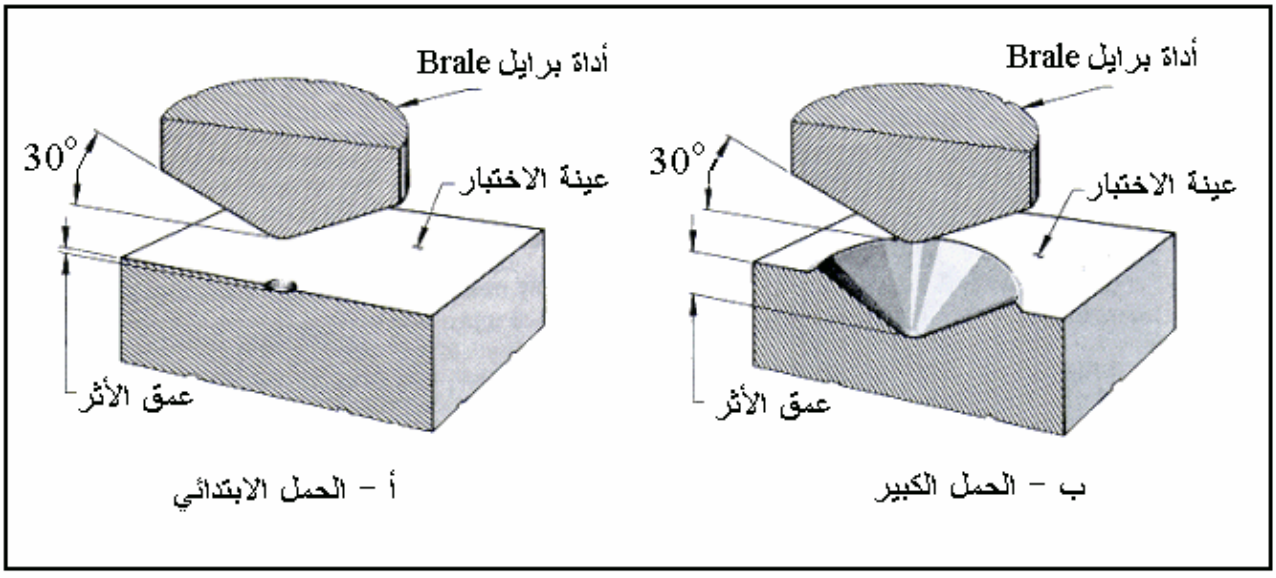
1. يجرى اختبار روكول باستخدام أحمال 60 ,100 أو 150 Kg و هي أحمال صغيرة بالنسبة للأحمال المستخدمة في طريقة برنل.

2. تحمل قطعة الاختبار بحمل ابتدائي F_o قيمته 10 Kg (Minor load) شكل 10.6 – أ و شكل 11.6. – أ.

3. يعاد مؤشر القرص المدرج للجهاز أمام التدريج صفر شكل 10.6 – أ.

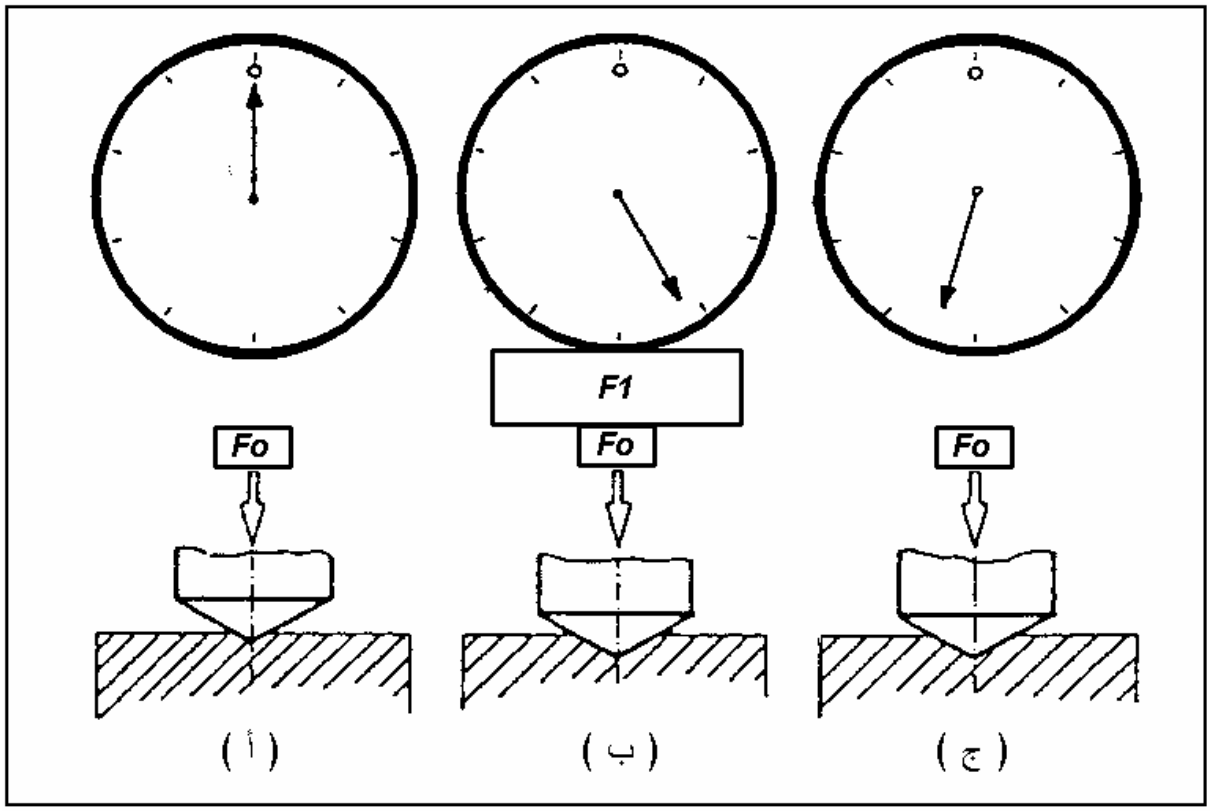
4. يزاد الحمل بإضافة الحمل الكبير (Major load) F_1 حتى يكون الحمل الكلي النهائي ,100 60 أو 150 Kg حسب نوع اختبار روكول المستخدم كما في شكل 10.6 – ب و 11.6.– ب بحيث: (8.6) الحمل النهائي = الحمل الابتدائي + الحمل الكبير المضاف.

5. عندما يثبت مؤشر القرص المدرج يزال الحمل الكبير المضاف حتى يصير الحمل المؤثر 10 Kg فيرتد المؤشر قليلاً و يثبت عند تدريج معين يمثل رقم روكول للصلادة (مع الملاحظة أن الحمل الابتدائي.10 Kg لا زال مؤثرًا على قطعة الاختبار أي أن رقم الصلادة يتعلق بالأثر الناتج من الحمل الكبير فقط) شكل 11.6 – ج.



شكل 10.6 : اختبار روكول للصلادة.: الحمل الابتدائي (أ) و الحمل الكبير (ب).

و قد بنا روكول طريقته على أساس أن رقم روكول المبين على تدريج الجهاز يتناسب عكسياً مع عمق الأثر الناتج من الحمل الكبير أي أنه كلما زاد عمق الأثر كلما صغر رقم روكول للصلادة أي كلما قلت صلادة المعدن المختبر و يبين شكل 11.6 طريقة إجراء الاختبار.



شكل 11.6 : اختبار روكول للصلادة.: التحمل الابتدائي (أ)
و الحمل الابتدائي مع التحميل الكبير (ب) و التحميل الكبير النهائي (ج).

3.7.6: مقاييس روكول للصلادة:

رقم روكول هو رقم اعتباري حدده روكول على تدريج قرص جهازه على الأساس السابق ذكره. و المقاييس المختلفة لتحديد الصلادة بطريقة روكول تعتمد على صلادة المعدن المختبر و بالتالي يحدد الحمل النهائي المستخدم و الأداة المحدثة للأثر كما هو موضح بجدول 4.6 و المقاييس المختلفة هي:

- ✓ مقياس روكول A
- ✓ مقياس روكول B
- ✓ مقياس روكول C

مقياس روكول	الجسم المحدث للأثر (الأداة)	الحمل الكلي للأثر (Kg)	المعادن التي يحدد صلادتها المقياس
مقياس A	مخروط بحرف ماسي مستدير (Brale)	60	شرائح الصلب المصلد الرقيقة و المعادن و السبائك الشديدة الصلادة و في الاختبار إذا أريد أن يكون أثر الحادث صغيراً
مقياس B	كرة صلب مصلدة قطرها 1.5888 mm	100	الصلب الكربوني الطري و المتوسط و الألواح و القضبان المعدنية الطويلة
مقياس C	مخروط بحرف ماسي مستدير (Brale)	150	الصلب المصلد أو السبائك ذات الصلادة أكثر من روكول 100

جدول 4.6: مقاييس روكول للصلادة للمعادن المختلفة.

و يقسم القرص المدرج لكل مقياس إلى 100 قسم يمثل كل قسم منها عمق أثر قيمته 0.002 mm فمثلاً مقياس روكول B يبدأ من رقم 30 (كصفر للبداية) و ينتهي برقم 130 و مقياس روكول C يبدأ من رقم صفر و ينتهي برقم 100 و يكون إذا كان عمق الأثر h بـ mm ، رقم روكول للصلادة كالتالي:

$$\text{Rockwell B Hardness Number} = 130 - \frac{h}{0.002}$$

$$\text{Rockwell C Hardness Number} = 100 - \frac{h}{0.002} \qquad (9.6)$$

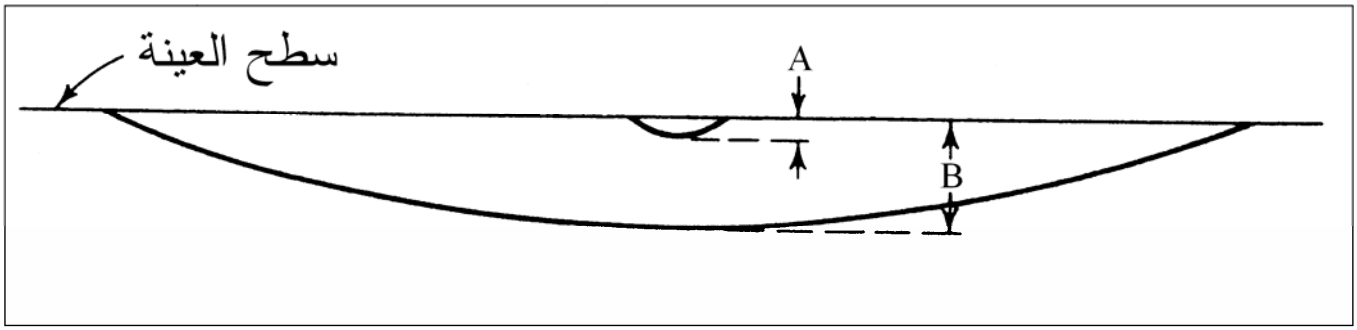
و يلاحظ أن مقياس روكول C يستخدم للمعادن التي صلادتها أكبر من روكول B = 100 أما مقياس روكول A فيستخدم للحالات الخاصة.

4.7.6: عينة الاختبار: يراعى عند تجهيز قطعة الاختبار التالي:

- ✓ أن يكون سطح القطعة مستوياً و ناعماً و خالياً من الخدوش و العلامات.
- ✓ أن لا يكون ملتصقاً به زيوت أو شحوم أو أية مواد غريبة.
- ✓ و عدم حدوث انبعاج بالجانب الآخر للعينة بعد الاختبار.

5.7.6: مزايا طريقة روكول للصلادة:

- ✓ يوجد أجهزة تقيس الصلادة إلآ بطريقة روكول ولا يمكن إستخدام طرق أخرى كبرينل أو فيكرز و تمتاز هذه الأجهزة بصغر حجمها مما يجعلها تستخدم بكثرة في الصناعة.
- ✓ إمكانية اختبار صلادة المعادن مختلفة الصلادة سواء صغيرة أو كبيرة الصلادة.
- ✓ الحصول على رقم الصلادة مباشرة من قراءة تدريج قرص الجهاز مما يوفر عملية الحساب.
- ✓ يمكن من ليست لهم خبرة بتعيين رقم روكول للصلادة بتشغيل الجهاز و قراءة رقم الصلادة من تدريجات القرص.
- ✓ و الأثر الناتج من طريقة روكول صغير جداً إذا قورن بالأثر الناتج من طريقة برنل مما يترك سطح القطعة سليماً نسبياً كما هو موضح في شكل 12.6.



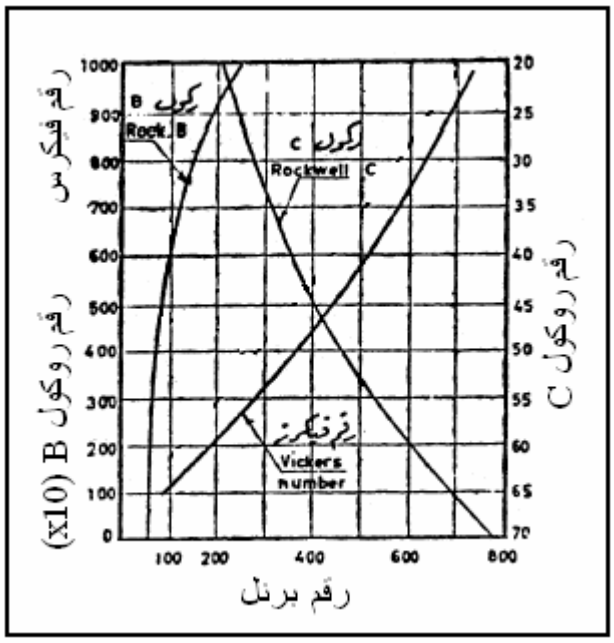
شكل 12.6 : مقارنة آثار اختبار روكول و اختبار برنل:
(A): اختبار روكول بمخروط من الماس و (B): اختبار برنل.

8.6: العلاقة بين أرقام الصلادة المختلفة:

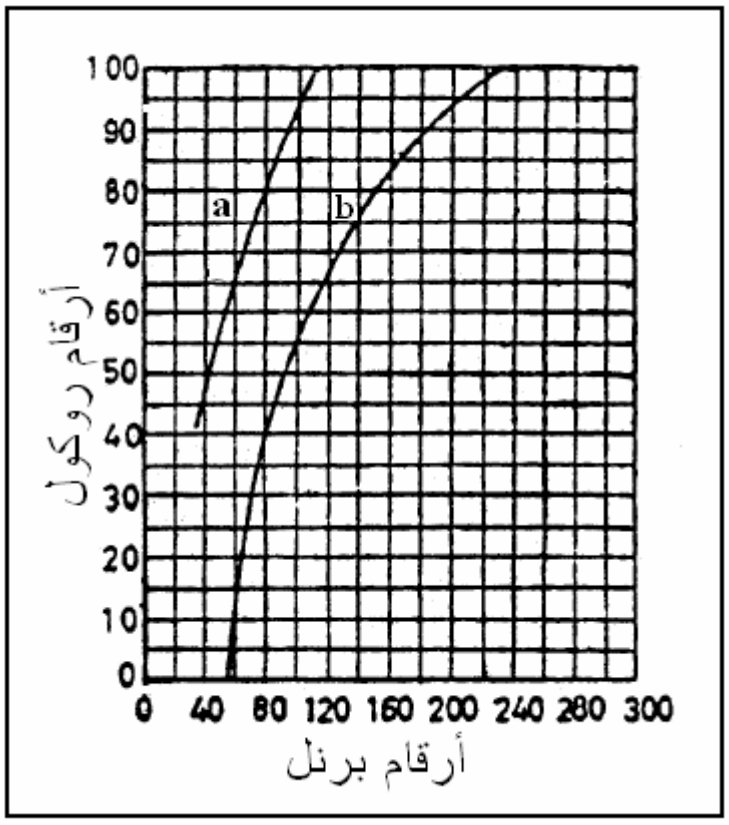
اتضح من التجارب المتنوعة أنه لا توجد علاقة ثابتة صحيحة تمامًا بين أرقام الصلادة المعينة بالطرق المختلفة بحيث تتأثر هذه العلاقة بالعوامل التالية:

- ✓ المعاملة الحرارية.
- ✓ التشغيل على البارد.
- ✓ و الدرجات الحرارية المختلفة.
- ✓ و طبيعة المعدن أي من معدن إلى آخر.

لكن توجد علاقة تقريبية في درجة الحرارة العادية للمعادن المتشابهة كما هو مبين في شكل 13.6 و شكل 14.6 و جدول 5.6.



شكل 13.6 : العلاقة بين أرقام الصلادة المختلفة.



شكل 14.6 : العلاقة بين أرقام صلادة برنل و أرقام صلادة روكول:

منحنى (a): مقياس روكول B كرة قطرها 1.5875 mm و حمل 60 Kg

منحنى (b): مقياس روكول B كرة قطرها 1.5875 mm و حمل 100 Kg .

برنل بحمل 3000 Kg و كرة قطرها 10 mm		روكول			فيكرس
قطر الأثر	رقم الصلادة	روكول A مخروط و 60 Kg	روكول B كرة و 100 Kg	روكول C مخروط و 150 Kg	هرم من الماس
2.50	...	79.8	...	57.3	640
2.75	495	76.5	...	51.3	533
3.00	415	72.8	...	44.5	440
3.25	352	69.3	...	37.9	372
3.50	302	66.3	...	32.1	319
3.75	262	63.6	...	26.6	276
4.00	229	60.8	...	20.5	241
4.25	202	58.0	93.0	...	202
4.50	179	56.0	88.0	...	179
4.75	159	53.0	83.0	...	159
5.00	143	...	78.0	...	143
5.25	128	...	71.0	...	126
5.50	116	...	65.0	...	116
5.75	105	...	58.0	...	98

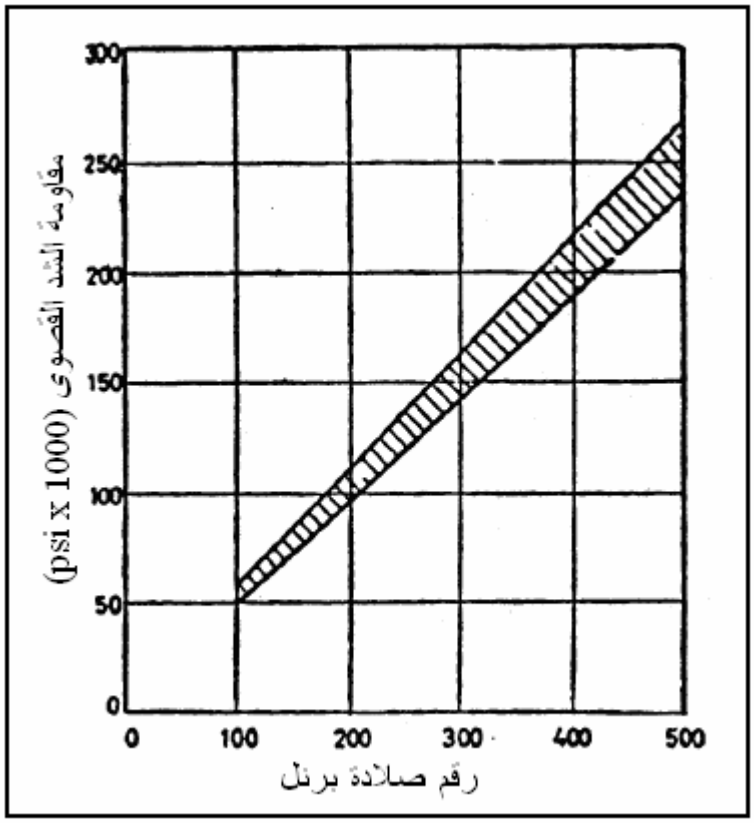
جدول 5.6: أرقام الصلادة بالطرق المختلفة: برنل، روكول و فيكرس.

كما أنه أثبتت التجارب أنه لا توجد علاقة ثابتة بين رقم برنل لصلادة المعادن و بين مقاومة الشد كما يتضح من جدول 6.6 لذلك لا يمكن اتخاذ رقم الصلادة أساساً صحيحاً لحساب مقاومة الشد للمعادن المختلفة و استخدام تلك المقاومة للشد في حسابات التصميمات الهندسية.

المعدن	صلب 0.4% كربون	سبيكة ألمونيوم	صلب	نحاس أصفر مصبوب	ألمونيوم مسحوب
مقاومة الشد (Kg/mm^2)	70	45	48	20	0.93
رقم برنل	194	114	135	53	31
مقاومة الشد/رقم برنل	0.361	0.395	0.355	0.378	0.300

جدول 6.6: العلاقة بين مقاومة الشد و رقم برنل للصلادة للمعادن المختلفة.

و لكن اتضح من التجارب أنه للمعادن المتشابهة (مثلاً المعادن الحديدية) أمكن إيجاد علاقة تقريبية بين رقم برنل للصلادة و المقاومة للشد شكل 15.6.



شكل 15.6 : العلاقة بين أرقام صلادة برنل و مقاومة الشد القصوى لمجموعة من الصلب الكربوني و سبائكه.

و تفيد هذه العلاقة غالباً إذا أريد معرفة مقاومة الشد لأجزاء من ماكينة كبيرة الحجم و دون إتلافها فتقاس صلادتها و من العلاقات التالية نستنتج مقاومة الشد :

$$\sigma_{UTS}\,(Kg/mm^2) = \text{Brinell Hardness Number} \times 0.36$$
$$\sigma_{UTS}\,(Ton/in.^2) = \text{Brinell Hardness Number} \times 0.22 \qquad (10.6)$$
$$\sigma_{UTS}\,(Ib_m/in.^2) = \text{Brinell Hardness Number} \times 500$$

علماً بأن σ_{UTS} : مقاومة الشد

Ton : طن

in : بوصة

Ib_m : باوند

الوحدة السادسة: مسائل محلولة

مسألة 1.6: أجري اختبار برنل للصلادة على عينة من الصلب باستخدام كرة برنل قطرها 5 mm . فإذا كان قطر الأثر 2 mm احسب:

1. رقم برنل للصلادة
2. مقاومة الشد التقريبية

الحل:

D : قطر كرة برنل $D = 5\ mm$

d : قطر الأثر $d = 2\ mm$

1. العينة المختبرة من الصلب بحيث الجدول 2.6 يعطينا الثابت $\frac{P}{D^2} = 30$

إذاً قيمة الحمل P : $P = 30 \times D^2 = 30 \times 5^2 = 750\ Kg$

و نستخدم العلاقة (1.6) لحساب رقم برنل للصلادة B.H.N.:

$$B.H.N. = \frac{P}{\pi \times \frac{D}{2} \times \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)} = \frac{750}{\pi \times \frac{5}{2} \times \left(5 - \sqrt{5^2 - 2^2}\right)} = 235$$

2. مقاومة الشد التقريبية σ_{UTS}: من العلاقة (10.6) :

$$\sigma_{UTS} = B.H.N. \times 0.36 = 235 \times 0.36 = 84.5\ Kg / mm^2$$

مسألة 2.6: أجري اختبار فيكرز للصلادة على عينة من الصلب باستخدام حمل قيمته 30 Kg فكان قطر الأثر الناتج يساوي 0.654 mm . احسب:

1. رقم فيكرز للصلادة
2. الحمل اللازم استعماله لقياس صلادة هذه العينة بحيث لا يزيد قطر الأثر الناتج عن 0.5 mm.

الحل:

P : الحمل $P = 30\ Kg$

D : قطر الأثر $D = 0.654\ mm$

1. لحساب رقم فيكرز للصلادة نستخدم العلاقة (6.6):

$$V.H.N. = 1.854 \times \frac{P}{d^2} = 1.854 \times \frac{30}{0.654^2} = 130$$

2. نستخدم نفس العلاقة (6.6) لكن الصلادة هي المقاسة في السؤال 1 بحيث:

$$V.H.N. = 1.854 \times \frac{P}{d^2} \Rightarrow P = V.H.N. \times \frac{d^2}{1.854} = 130 \times \frac{0.5^2}{1.854} = 17.5\ Kg$$

الوحدة السادسة: تدريبات نظرية

من تمرين **1.6** إلى تمرين **3.6** اختر الإجابة الصحيحة من ضمن الأجوبة الأربعة المقترحة:

تمرين 1.6: من الخواص الميكانيكية الصلادة Hardness ، الصلادة هي:

أ- خاصية مقاومة المادة لأي نوع من التغير في الشكل.

ب- قدرة المادة على مقاومة الأحمال الديناميكية أي مقدرتها على امتصاص الطاقة الميكانيكية

ج- قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تمامًا بعد زوال الحمل المؤثر

د- الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها سليمًا متماسكًا تحت تأثير الأحمال

تمرين 2.6: قدرة المادة على امتصاص الطاقة المرنة التي تختفي تمامًا بعد زوال الحمل المؤثر هي:

أ – الصلابة Stiffness

ب – الرجوعية Resilience

ج – المتانة Toughness

د – الصلادة Hardness

تمرين 3.6: الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها سليمًا تحت تأثير الأحمال هي:

أ – الصلابة Stiffness

ب – الرجوعية Resilience

ج – المتانة Toughness

د – الصلادة Hardness

تمرين 4.6: اختبرت عينة من الصلب باختبار برنل باستخدام كرة ذات قطر 5 mm فكان رقم برنل للصلادة يساوي 150. احسب قطر أثر الكرة على العينة الناتج من الاختبار.

تمرين 5.6: عين رقم فيكرز للصلادة لعينة من الصلب إذا كان حمل الاختبار المستخدم 100 Kg و قطر أثر الهرم من الماس على سطح العينة بعد الاختبار 0.93 mm .

اختبار المواد

الاختبارات غير المتلفة

الوحدة السابعة :

الاختبارات غير المتلفة
Nondestructive Testing

الجدارة:

الاختبارات غير المتلفة و بعض طرقها

الأهداف:

عندما يكمل المتدرب هذه الوحدة يصبح لديه القدرة على:

- معرفة الغرض من الاختبارات غير الإتلافية
- معرفة بعض طرق الاختبارات غير الإتلافية مثل الاختبار بالفحص البصري و الاختبارات بالأشعة و الاختبارات بالسوائل المخترقة الخ ...
- معرفة كيفية الكشف عن العيوب السطحية و الداخلية للمعادن.

مستوى الأداء المطلوب:

أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الجدارة بنسبة 100%.

الوقت المتوقع:

6 ساعات.

متطلبات الجدارة:

مبادئ الفيزياء و الرياضيات.

1.7: مقدمة:

إن استخدام الظواهر الطبيعية في تقييم وتفتيش أو توصيف المواد دون إتلافها والمحافظة على خصائصها، قد تطور في التقنية المعروفة باسم اختبار المواد غير المتلفة، والهدف الأساسي من هذه الاختبارات هو المساعدة في ضمان أن المواد الأساسية والمنتجات النصف مصنعة أو المنتجات النهائية تؤدي الوظائف المطلوبة منها.

ولكي يتمكن القائم بالعمل في الاختبارات غير الإتلافية أو غير المتلفة من تنفيذ هذا الهدف الكبير يجب أن يختار الطريقة المناسبة لاختبار كل منتج وكذا المعدات التي تصلح لكل عملية. كما يجب أن يكون العامل على مستوى مناسب من التدريب لتأدية الاختبار المطلوب واستخراج النتائج بالطريقة المناسبة، ويجب أن يتوفر في العامل في اختبارات المواد غير المتلفة ما يلي:

1. الإلمام بالمواد وخواصها، وتأثير عمليات التصنيع، والمعالجات الميثالورجية و تشطيب الأسطح على هذه الخواص .
2. الإلمام بعلاقات الخواص الميكانيكية وأسلوب ارتباطها بالخواص الطبيعية للمواد.
3. الإلمام بميكانيكية الانهيار وطرقه، وكيف ولماذا تنهار المادة.
4. الإلمام بالمبادئ الأساسية للطرق الفنية المختلفة لاختبارات المواد غير المتلفة ومعرفة طرق تحليل النتائج، ومعرفة مزايا وعيوب وحدود استخدام كل طريقة من هذه الطرق .

2.7: فائدة الاختبارات غير المتلفة:

لقد ساعدت اختبارات المواد غير المتلفة على تطوير جودة المنتجات وطرق التصنيع وتحليل نسبة المرفوض من المواد التالفة، وبالتالي ساعدت في توفير الوقت و المال لكل من المنتج و الصانع و المستخدم لهذه المنتجات والمواد، وقد ساعدت هذه الاختبارات أيضاً في وضع المعلومات والبيانات الخاصة بالانهيار وميكانيكيته، الذي ساعد بالتالي في تجنب تكرار الانهيار.

ونظراً لصعوبة المشاكل الواجب حلها بالاختبارات غير المتلفة، فيلزم إنشاء مجموعة عمل متكاملة من فيزيائي المواد وأخصائي الميثالورجيا، والمهندس الكهربائي والكيميائي والمهندس الميكانيكي، لأن

مثل هذه المجموعة من الفنيين يمكنها التكامل باستفادة بعضهم من خبرات بعض للوصول إلى أحسن المستويات المفيدة والمنفذة للاختبارات غير المتلفة، وعلى هذا فإن تقنية الاختبارات غير المتلفة هي تقنية متعددة الأنظمة تتضمن الكثير من النواحي المختلفة والمتكاملة للوصول للهدف.

ولا تتضمن الاختبارات غير المتلفة اكتشاف الشروخ (Crack Hunting) فقط ولكن الأكثر فائدة هو دراسة أنواع الخلل الموجودة في المادة، وهذه الدراسة تساعد بالتالي في تقييم حالة المادة عند الاستخدام، ويمكن أن تلعب هذه الاختبارات دوراً هاماً في عدد من النواحي منها:

1. دراسة الخلل في المادة والتعرف عليه.
2. تطوير أساليب العمل والتفتيش والمراقبة على الإنتاج.
3. قياس الخواص الفيزيائية والكيميائية والميثالورجية، أو التغير في هذه الخواص.
4. قياس السمك والأبعاد.

وبجانب أنواع الخلل الكبيرة في المادة مثل الشوائب والشواغر والشروخ توجد أنواع من الخلل المجهري (Micro Flows) في بنية المادة نفسها، مثل حجم الحبيبات واتجاهاتها، والتكوين الكيميائي للمادة، والإجهادات الداخلية، والتغيرات نتيجة التشكيل على البارد والمعالجة الحرارية وغيرها، و كل ذلك صعب القياس ويحتاج إلى طرق تقنية دقيقة، كما أن الخلل المجهري قد يكون ذا تأثير على خواص المادة واستخدامها أكثر منه في حالة الخلل الكبير (Macro Flows). فعلى سبيل المثال يتم توصيف عمليات المعالجة الحرارية للوصول إلى خواص ميكانيكية مطلوبة أو مرغوبة ويمكن أن يكون الجزء مقبولاً شكلياً حتى إذا لم نحصل على شكل الحبيبات المطلوب، ولكن الجزء لن يؤدي المتطلبات المفروضة ميكانيكياً، وكذلك يؤثر اتجاه ترتيب الحبيبات على الخواص الميكانيكية للمادة بشكل واضح، كما تعتبر الإجهادات الداخلية من العيوب ذات التأثير الضار على طريقة أداء الجزء الميكانيكي وتنشأ الإجهادات الداخلية غالباً من تأثير المعاملات الحرارية (Heat treatment) و التشكيل على البارد (Cold working).

ومن الصعوبة تعميم عملية أو مجموعة من عمليات الاختبارات غير المتلفة على الأنواع المختلفة من المنتجات والمواد. و ذلك لأن العيوب تختلف من منتج إلى آخر بطرق متفاوتة وبأسلوب آخر يمكن القول بأنها يجب أن تتوافق طريقة الاختبار مع المشكلة أو العيب المتوقع مثل خصائص المادة من حيث الشكل و الحجم

وطريقة التصنيع وتشطيب السطح، و مع أن المعلومات تكون في معظم الأحوال غير مباشرة، إلا أن الاختبارات غير المتلفة تجرى طبقاً لدراسات تطبيقية سابقة تتعلق بطرق الإنتاج و الأساليب المستخدمة فيه. و في الفترة الأخيرة تطورت أساليب التفتيش و الاختبار كنتيجة إيجابية لمتطلبات زيادة جودة الإنتاج، و نتيجة للتغير السريع في طرق الإنتاج و أيضاً لاستخدامها في خدمة عمليات الأمان للإنسان و الممتلكات، و قد أصبح الاختبار عملاً هندسياً حقيقياً يتطلب استخدام الأجهزة و المعدات العلمية من الأنواع المختلفة، و هو يتضمن الكثير من الأساليب بدءاً من طرق اختيار العينات و اختبارها بالفحص البصري إلى أعلى أساليب و طرق التحليل المستخدمة في أساليب الاختبارات غير المتلفة.

إن الاختبارات غير المتلفة هي خليط من الخبرة و العلم، و لكن أحد الصعوبات التي تقابل العامل بهذا الاختبار أن معظم النتائج التي يتم الحصول عليها هي نتيجة لعمليات غير مباشرة أي أن النتائج تظهر في كل اختبار بطريقة تتعلق بطريقة الاختبار وتحليل نتائجه، و هي تحتاج إلى تدريب ومهارة لاستنتاج القرارات المناسبة التي تتناسب مع نتائج الاختبار، و في الواقع فإن عمليات الاختبار بسيطة و لكن الخبرة و التدريب عاملين هامين جداً لتقرير النتائج.

3.7: أنواع الاختبارات غير المتلفة:

1. الاختبار بالفحص البصري — Visual Inspection
2. اختبار مخترق السوائل — Penetrant Inspection
3. اختبار التسرب — Leak Test
4. الاختبار بالطرق الحرارية — Thermal Test
5. الاختبار بالدقائق المغناطيسية — Magnetic Particle Test
6. الاختبارات بالأشعة — Radiography
7. الاختبار بالموجات فوق الصوتية — Ultrasonic Test
8. الاختبار بالتيارات الدوامية — Eddy Current Test
9. الاختبار بالموجات القصيرة جداً — Microwave Test

4.7: أنواع العيوب Type of defects:

يمكن تقسيم العيوب التي تقوم الاختبارات غير المتلفة باكتشافها إلى المجموعات الآتية:

1. عيوب متأصلة Inherent Defects

وهي الناشئة عن عمليات الإنتاج الأولى للمادة الخام.

2. عيوب التصنيع Processing defects

وهي الناتجة أثناء عمليات تصنيع المادة لإنتاج جزء الماكينة أو المنشأ.

3. عيوب التشغيل Service defects

وهي التي تظهر أثناء دورات تشغيل الجزء من الماكينة أو المنشأ.

و هذه العيوب يمكن أن تتخذ أحد الأشكال الآتية:

1. الشروخ Cracks السطحية وما تحت السطحية .
2. المسامية Porosity
3. التمزق Tears
4. ضعف (نقص) الترابط Lack of bond
5. الشوائب الداخلية Inclusions
6. الانعزال Segregation، ويقصد به انفصال بعض العناصر الكيميائية للسبيكة أثناء تجمدها من الحالة السائلة.
7. قلة التغلغل في اللحام Lack of penetration in welding
8. الفجوات الأنبوبية و تنتج داخل الجسم المتجمد من الحالة السائلة.
9. عيوب الكلل أو التعب Fatigue Defects

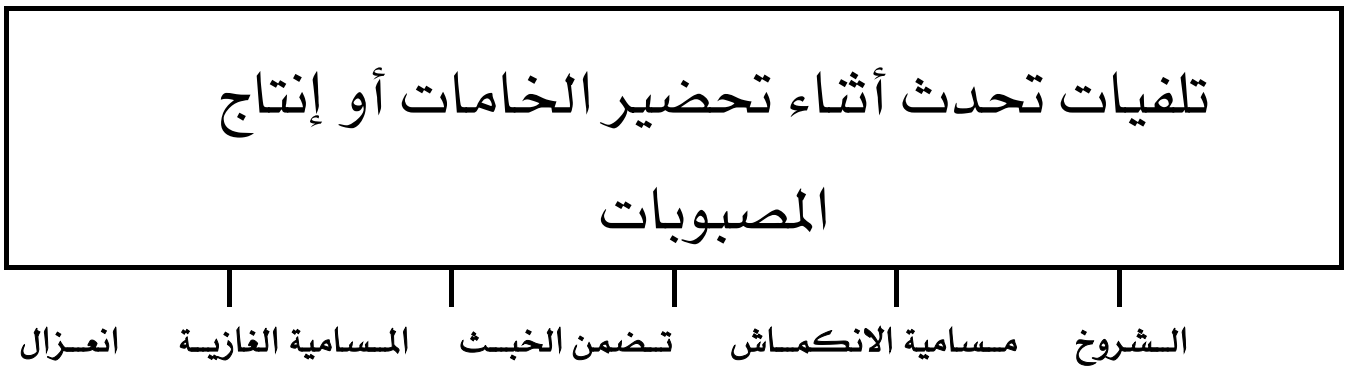
10. فجوات غازية Blow Holes، وهي عبارة عن فجوات يحبس في داخلها غاز أثناء تجمد المعدن.

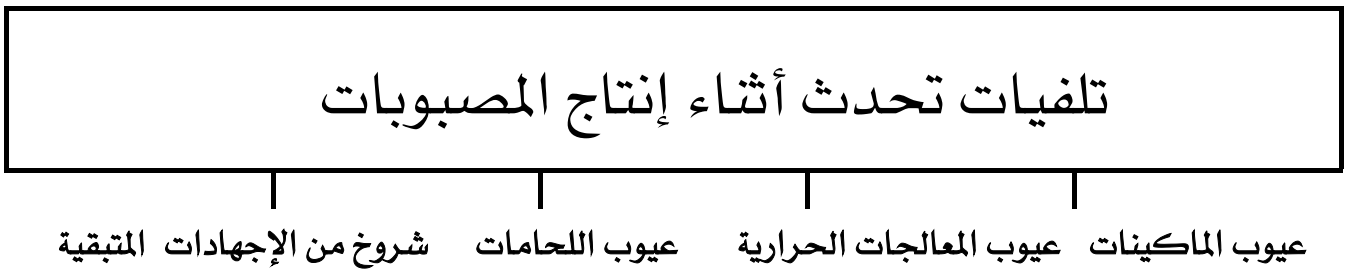
11. القشور الداخلية في المواد الحديدية.Flakes

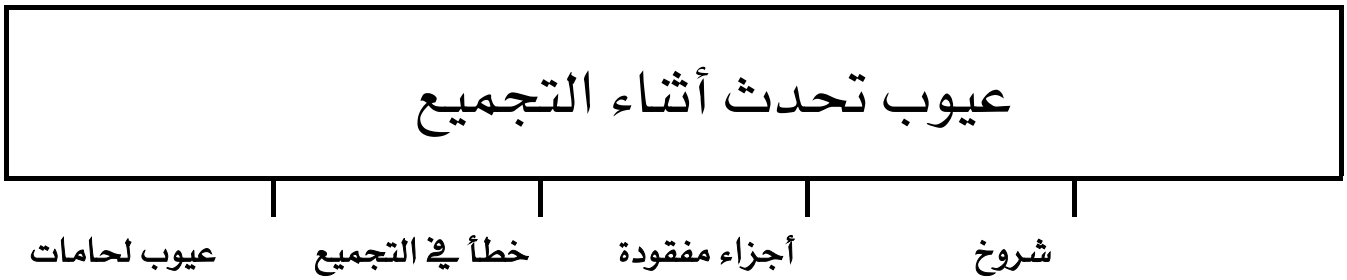
12. النقر Pitting

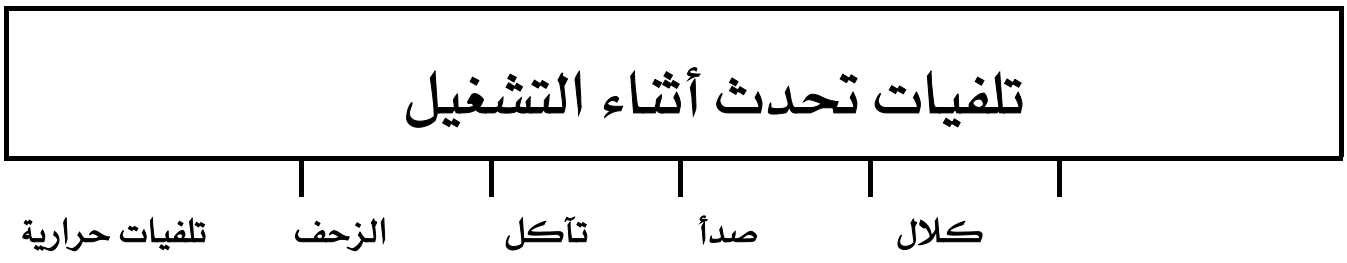
13. التراكب Laps

في الجدول 1.7 نقدم أساسيات التلفيات في المواد و المعدات









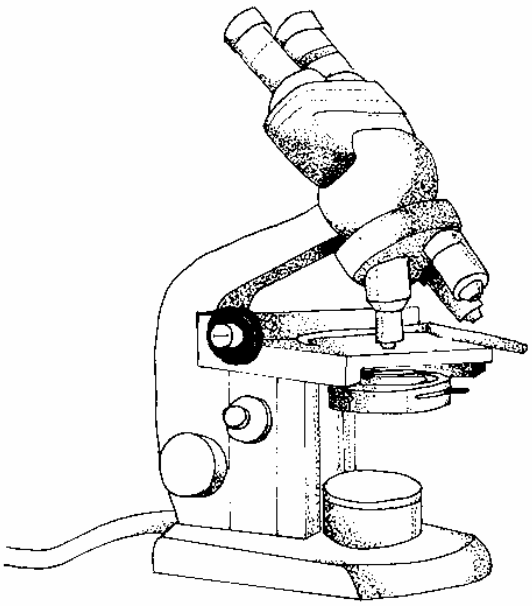
جدول 1.7 : أساسيات التلفيات في المواد و المعدات.

5.7: الاختبار بالفحص البصري Visual Inspection:

يعتبر الاختبار بالفحص البصري من أكثر الاختبارات غير المتلفة شيوعاً لسهولته و سرعة إجرائه و رخص تكلفته، و يلزم الأمر فحص العينات فحصاً بصرياً جيداً حتى لو تقرر إجراء فحوص أخرى عليها، فمثلاً عندما يفحص شخص له خبرة عالية لحاماً فإن بإمكانه الحصول على المعلومات التالية:

- ✓ وجود أو عدم وجود الشروخ السطحية، و اتجاه و مكان الشروخ إن وجدت.
- ✓ المسامية السطحية Surface porosity.
- ✓ نقر غير ممتلئ Unfilled crater.
- ✓ مقدار تغلغل اللحام و وجود الشوائب الناتجة من قشور الأكسيد القريبة من السطح.
- ✓ وجود عيوب ميكانيكية أخرى مثل الشرخ الحاد Sharp notch.

و لإجراء الفحص البصري تنظف العينة جيداً قبل اختبارها بواسطة عمليات السفح بالرمل (Sand blasting)، أو السفح بالقذف (Shot blasting)، أو غيرها – حيث إن الصدأ السطحي يحجب العيوب، ثم تضاء العينة المختبرة جيداً، و بعد ذلك تفحص العينة بالعين المجردة أو بمساعدة أحد الأجهزة الحساسة للإضاءة مثل خلايا الضوء (Photocells)، أو أنابيب الضوء (Phototubes)، فإذا فحصت عينة بالعين مباشرة فإن تكبيرها يعتمد على الصورة الشبكية للعين. كما أنه تستخدم أجهزه مكبرة لإجراء الاختبار كالميكروسكوب و العدسة المكبرة كما هو موضح في شكل 1.7.



شكل 1.7: الميكروسكوب.

و إذا وضعت عدسة مجمعة (Converging lens) أمام العين فسوف تزداد زاوية الرؤية، و ترى العين صورة مكبرة للجسم، و تعتمد إمكانية رؤية العيوب على درجة الإضاءة، و درجة التباين (Contrast) بين العينة والخلفية (Background).

6.7: اختبار المخترق و المظهر الضوئي و المخترق الفلوري

Luminex penetrant and developer and fluorescent testing methods:

تعتبر الاختبارات بالمخترق والمظهر الضوئي امتداداً لطرق الاختبار البصري حيث إن الهدف منها هو إظهار العيوب السطحية الموجودة في العينة، و في الإمكان استخدام هذه الطريقة لكل المعادن وكذلك للسيراميك و البلاستيك غير المسامية. و تتميز هذه الطريقة بسهولتها وسرعتها والاعتماد عليها و رخص تكلفتها و يعيبها أنها لا تستطيع أن تظهر سوى الشروخ السطحية أو الممتدة من السطح. و يمكن باستخدام هذه الطريقة معرفة شروخ اللحام و التجليخ و التعب و الانكماش و الصب، والفجوات الغازية و الثقوب و المسامية و عدم الالتصاق في اللحامات و عيوب أدوات التشكيل و القوالب، إذا كانت هذه العيوب مفتوحة إلى السطح الخارجي للمنتج.

1.6.7: تجهيز العينات:

يجب أن يكون سطح العينة نظيفاً تماماً قبل بدء الاختبار بخلوه من الأوساخ و الشحوم و الطلاء و الصدأ أو أي مواد قد تغلق الشروخ.. و يتم تنظيف السطح بسائل تنظيف أو بضغط البخار أو إزالة الشحوم بالبخار (Vapor degreasing) أو التنميش بالحامض (Acid etching). و يجب عدم استخدام طريقة السفح بالرمل (Sand blasting) في تنظيف الأسطح حتى لا تغلق الشروخ بالرمل.

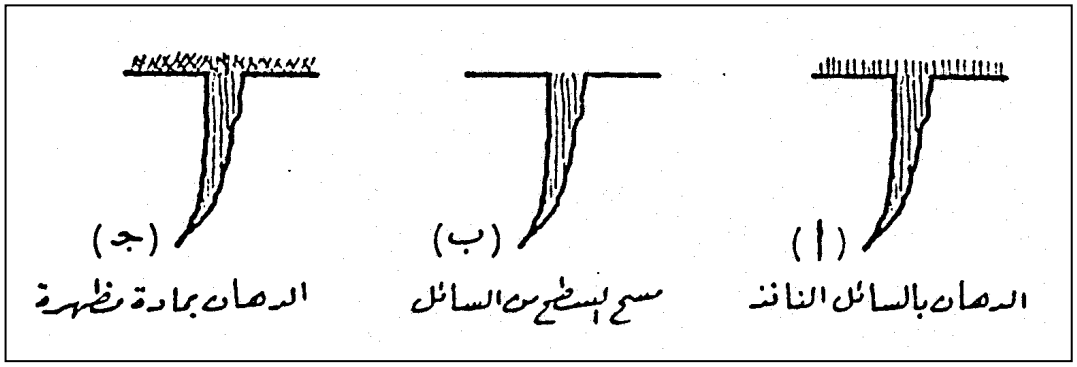
2.6.7: طرق الاختبار:

تعتمد الفكرة الأساسية للاختبارات بالمخترق على دهان السطح بسائل معين ثم تنظيف السطح، فيخرج السائل من الشروخ بعد التنظيف إلى السطح بواسطة الخاصية الشعرية (Capillaries)، و بإظهار هذا السائل (بطرق تختلف باختلاف طريقة الاختبار) تظهر أماكن الشروخ، و لهذا يصعب معرفة الشروخ العريضة نسبياً بهذه الطريقة حيث لا يتبقى بها أي سائل بعد تنظيفها.. و من أهم الطرق المستخدمة في اختبار المخترق هي:

1. طريقة الزيت والبياض Oil and whiting method
2. طريقة الصبغة Dye method
3. طريقة المظهر الفلوري Fluorescent method
4. طريقة المواد المخترقة المشعة Radio-active method

3.6.7: طريقة الزيت والبياض Oil and whiting method:

في هذه الطريقة يدهن سطح العينة بزيت مخترق مثل الكيروسين، ثم يترك لمدة كافية ليملأ الزيت العيوب الممتدة من السطح، ثم ينظف السطح جيداً أو يجفف، ثم يدهن السطح مرة أخرى بالبياض (كربونات الكالسيوم) إما جافة أو مخلوطة بالكحول، و بعد فترة يخرج السائل من الشروخ إلى البياض و يبقعه، فيكون مكان البقع هو مكان الشروخ كما هو موضح في شكل 2.7.



شكل 2.7: اختبار المخترق.

و بعد جفاف البياض تدار العينة و يطرق عليها بخفة ليساعد الطرق الزيت على الخروج من الشروخ، و قد يستخدم الزيت الساخن لقلة شده السطحي و انخفاض لزوجته، هذا بالإضافة إلى أن التسخين يعمل على تمدد الشروخ قليلاً فيكبرها و يساعد على اختراق الزيت لها.

4.6.7: طريقة الصبغة Dye method:

تتم عملية الاختبار في هذه الحالة كما يلي:

1. يدهن "المخترق" و هو عبارة عن صبغة لونية مذابة في سائل على سطح العينة، و قد تتم هذه العملية بغمس العينة في المخترق أو رشها به.
2. بعد مرور فترة يزال المخترق من على سطح العينة، بعد أن يكون قد تغلغل في الشروخ، و ذلك بإزالته بنوع من المزيل اللوني أو بغسله بالماء أو منظف خاص.

3. تزال نتائج عملية التنظيف باستخدام قطعة من القطن أو القماش.
4. تدهن العينة أو ترش بالمبين (المظهر) الذي يكون على هيئة سائل أو رش أو على هيئة بودرة مثل التلك (**talc**).
5. و بهذا تظهر الشروخ و العيوب الموجودة في العينة عندما يبتل المظهر بمادة المخترق التي تخرج بالخاصية الشعرية كما سبق إيضاحه، و تظهر العيوب في شكل مناطق ملونة.

5.6.7: طريقة المظهر الفلوري Fluorescent method:

تستخدم في هذه الطريقة مواد فلورية (Fluorescent) ذائبة في المخترق، و تجري العملية بنفس الأسلوب المتبع في المخترق بالصبغة على أن تتم في حجرة مظلمة، ثم يكشف عن العيوب باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet light).

المادة	زمن الاختراق (دقيقة)
ألمونيوم مصبوب	5 - 15
ألمونيوم مشكل بالكبس	30
ألومنيوم ملحوم	30
مغنسيوم مصبوب	15
مغنسيوم مشكل بالكبس	30
مغنسيوم ملحوم	30
صلب غير قابل للصدأ مصبوب	30
صلب غير قابل للصدأ مشكل بالكبس	60
صلب غير قابل للصدأ ملحوم	60
النحاس والبرونز مصبوب	10
النحاس والبرونز مشكل بالكبس	30
النحاس والبرونز ملحوم	15

جدول 2.7: زمن الاختراق لمخترق زيجلوبنتركس

و يلاحظ أن معظم المواد البترولية تحتوي على نسبة من المواد الفليرية، و لذلك تكون المواد المستخدمة لها أساس بترولي، و تظهر العيوب في صورة نقط لامعة. و من مظاهر التقدم الكبير في مجال المواد المخترقة الفلورية ظهور المادة المسماة زيجلوبنتركس (Zyglo pentrex) التي تستعمل معها مادة مظهرة تجعل

الاختراق أكثر سرعة و وضوحاً و تعتمد مدة بقاء المخترق على نوع مادة العينة و على نوع وحجم العيوب، و يبين جدول 2.7 زمن بقاء المخترق في حالة استخدام زيجلو بنتركس في الاختراق.

6.6.7: طريقة المواد المخترقة المشعة Radio Active Method:

في هذا الاختبار تغمر العينة في المادة المشعة ثم تعرض لضغط كاف حتى تتخلل المادة الشروخ، ثم ينظف سطح العينة من المادة الزائدة، و تعين أماكن العيوب باستخدام التصوير الفوتوغرافي أو عن طريق كاشف الأشعة. هذه الطريقة خطيرة نظرًا لصعوبة إزالة المواد المشعة من العينة بعد اختبارها لذلك لا تستخدم هذه الطريقة إلا في حالات خاصة.

7.6.7: الاحتياطات الواجب توافرها في اختبار المخترق:

يلزم أخذ الاحتياطات التالية عند إجراء اختبار المخترق:

1. بعض المخترقات متطايرة (Volatile)، وأخرى لها نقطة وميض منخفضة (Low flash point) وقد يكون البخار المنبعث من المخترق خانقاً، لذا يلزم تهوية جيدة لمكان الاختبار.
2. قد يكون أساس الزيت المستخدم كمخترق مسببا لتهيج البشرة، لذلك يلزم لبس قفازات و غسل الأيدي بعد استعمال المخترق.
3. يجب عدم استنشاق المبينات (مواد الإظهار) التي على شكل بودرة.
4. يجب عدم التعرض للإضاءة فوق البنفسجية بطريقة مباشرة.
5. يجب إجراء الاحتياطات الخاصة باستخدام المواد المشعة عند استخدامها مثل ملابس الوقاية المصنوعة من الرصاص.

7.7: اختبارات الفحص بالمجال المغناطيسي Magna Flux Inspection

تتلخص هذه الطريقة في أنه إذا حدث مجال مغناطيسي في قطعة يراد اختبارها ثم رشت ذرات الحديد عليها نجد أن تلك الذرات تتجمع في مناطق الشروخ والشوائب. كما أنه يمكن أيضاً بتقدير المنفذية

المغناطيسية و مقارنتها أن تتبين مواضع العيوب و مدى التجانس في الأجزاء المختبرة الأمر الذي يمكن الحكم به على مدى صلاحية تلك الأجزاء للاستعمال.

1.7.7: تقسيم المواد حسب منفذيتها المغناطيسية:

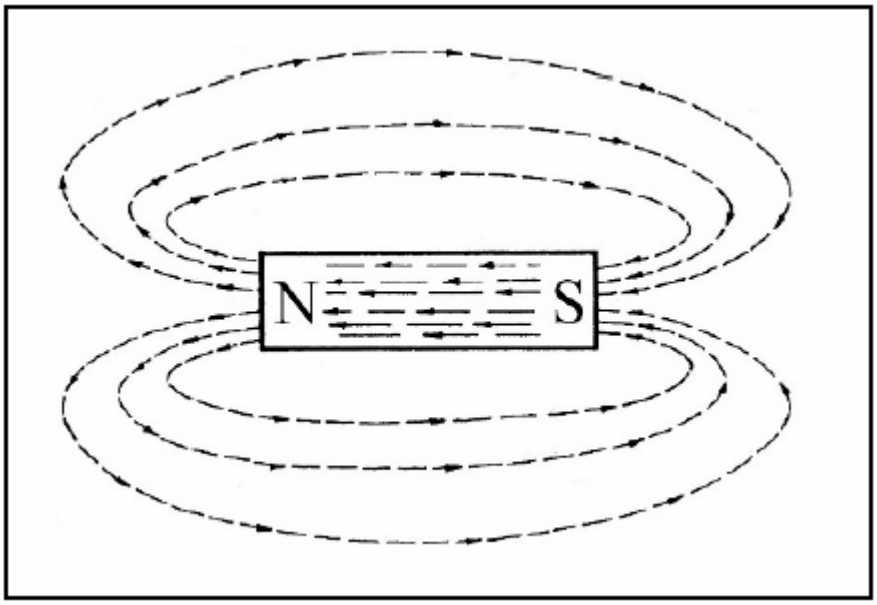
يمكن تقسيم المواد على أساس منفذيتها المغناطيسية:

- ✓ مواد بارامغناطيسية (Paramagnetic) كالهواء و الألمنيوم.
- ✓ مواد دايامغناطيسية (Diamagnetic) كالنحاس.
- ✓ مواد حديدية (Ferromagnetic) كالحديد و النيكل و الكوبالت.

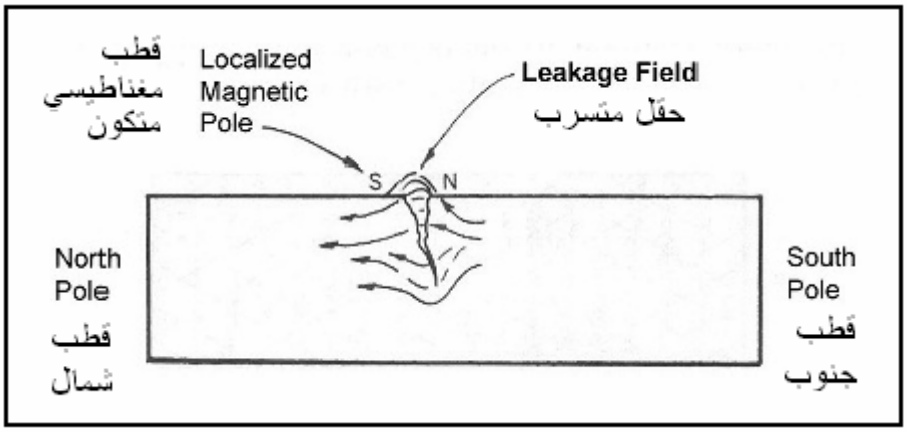
و تتلخص هذه الطريقة في مغنطة العينات المختبرة باستخدام التيار المتغير بأجهزة خاصة وبيان مدى منفذيتها المغناطيسية ومقارنة بعضها مع بعض. كما تستخدم هذه الطريقة في الإنتاج الصناعي لضمان تجانس القطع المنتجة حيث يستدل على عدم التجانس أو وجود العيوب بالاختلاف في المنفذية المغناطيسية التي يمكن بيانها على جهاز الاختبار. حيث تظهر موجات على شاشة الجهاز أو تضاء مصابيح كهربائية عند اختبار عينات مختلفة عن العينات السليمة فيمكن استبعادها وبذلك يكون الإنتاج تحت مراقبة دقيقة.

2.7.7: جهاز اختبارات الشروخ بالمجال المغناطيسي:

إذا نثرت برادة الحديد حول قضيب ممغنط الموضح في شكل 3.7 فإنها تتشكل حسب خطوط القوى المغناطيسية في المجال المغناطيسي للقضيب. كما أنها تتجمع بكثرة حول القطب الشمالي و القطب الجنوبي للقضيب فإذا وجد كسر في القضيب أو شرخ فإن كل من جزئي القضيب يعمل كمغناطيس مستقل بذاته له قطب شمالي وقطب جنوبي تسمى بالأقطاب الموضعية فإذا نثرت برادة الحديد فإنها تتجمع حول القطبين الشمالي والجنوبي و كذلك القطبين الموضعيين. و لهذا إذا وجد في جسم ممغنط شرخ تام أو جزئي فإن الأقطاب الموضعية التي تتكون نتيجة لذلك تتسبب في تجمع ذرات الحديد حولها الأمر الذي يكشف عن موضع الكسر أو الشرخ كما في شكل 4.7.



شكل 3.7: قضيب ممغنط.



شكل 4.7: ظهور الشرخ أو الكسر بواسطة الحقل المغناطيسي و بودرة الحديد.

3.7.7: استخدامات طريقة برادة الحديد:

تستخدم هذه الطريقة في:

- ✓ الكشف عن الشروخ الناتجة من الحرارة أو من عمليات التشغيل أو من معاملة المعدن حرارياً.
- ✓ الكشف عن الشروخ الناتجة من خلال المعادن و لاسيما في مجال الصدأ.
- ✓ بيان شروخ اللحام.
- ✓ معرفة الفجوات الداخلية و العيوب تحت سطح العينات لاسيما عيوب اللحام الداخلية.

وقد تعطي هذه الطريقة بعض المظاهر الخادعة من تجمعات برادة الحديد يظن منها أنها أماكن تواجد شروخ و لكنها قد تكون في الواقع نتيجة لتراكم البرادة حول فتحة أو حرف صدأ أو لتغير مفاجئ لقطاع العينة المختبرة أو لوجود مجال مغناطيسي خارجي في مكان التجربة أو عند نقطة اتصال لمعدنين جديدين مختلفين حيث تختلف منفذيتها المغناطيسية لذلك يحسن مراعاة تلك الظواهر و مثيلاتها عند إجراء الاختبار. و للكشف عن الشروخ الطولية تستخدم طريقة المجال الدائري Circular Field. و للكشف عن الشروخ العرضية تستخدم طريقة المجال الطولي Longitudinal Field.

الوحدة السابعة: تدريبات نظرية

تمرين 1.7: اذكر ثلاث فوائد للاختبارات غير المتلفة ؟

تمرين 2.7: ما هي العيوب التي تقوم الاختبارات غير المتلفة باكتشافها ؟

تمرين 3.7: اذكر أهم الطرق المستخدمة في اختبار المخترق ؟

تمرين 4.7: متى تستخدم طريقة برادة الحديد ؟

المراجع

1- Harmer E. Davis, George Earl Troxell and George F. W. Hauck "The Testing of Engineering Materials", Mc Graw-Hill, Inc., Fourth Edition, 1982.

2- William D. Callister, Jr, "Fundamentals of Materials Science and Engineering – An Introduction", John Willey & Sons, Inc., 5th Edition, 2001.

3- د. عبد الكريم محمد عطا و د. أحمد علي العريان، "المواد الهندسية – مقاومتها و اختبارها" الجزء الأول، عالم الكتب، القاهرة، مصر.

4- د. عبد الكريم محمد عطا و د. أحمد علي العريان، "المواد الهندسية – مقاومتها و اختبارها" الجزء الثاني، عالم الكتب، القاهرة، مصر.

5- د. مصطفى السيد شحاته و د. أحمد محمد دياب، "مقاومة المواد المعدنية، خواص و اختبارات"، دار الراتب الجامعية، بيروت، لبنان.

المحتويات

الفقرة	الصفحة
الوحدة الثانية: اختبار الشد	12
1.2: تعريف	13
2.2: ماكينة اختبار الشد	13
الوحدة الأولى: المواد الهندسية و خواصها	1
1.1: المواد الهندسية	2
2.1: خواص المواد الهندسية	2
3.1: الخواص الميكانيكية للمواد	3
4.1: اختبار المواد الهندسية	5
5.1: مواصفات المواد	6
6.1: التوحيد القياسي	7
1.6.1: المواصفات القياسية	7
2.6.1: هيئات التوحيد القياسي	7
7.1: الوحدات	8
الوحدة الأولى: تدريبات نظرية	9
3.2: عينات الاختبار القياسية	14
4.2: الحمل و الإجهاد	15
1.4.2: تعريف	15
2.4.2: الإجهاد الهندسي σ	16
3.4.2: الإجهاد الحقيقي σ_{tr}	16
5.2: التشكيل و الانفعال	17
1.5.2: تعريف	17
2.5.2: الانفعال الهندسي e	18
3.5.2: الانفعال الحقيقي ε	18
6.2: معامل يونغ E	20
7.2: منحنى الإجهاد و الانفعال	21
8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في اختبار الشد	22

1.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة المرونة 24
2.8.2: الخواص الميكانيكية للمعادن في منطقة اللدونة 29
3.8.2: قياس الأثر الدائم 30
9.2: الطاقة المختزنة 31
1.9.2: الرجوعية 31
2.9.2: المتانة 34
3.9.2: التخلفية 36
10.2: أنواع الكسور 37
11.2: العوامل المؤثرة على خواص الشد للمعادن 39
1.11.2: متغيرات الاختبار 39
2.11.2: متغيرات عينات الاختبار 40
الوحدة الثانية: مسائل محلولة 46
الوحدة الثانية: تدريبات نظرية 51

الوحدة الثالثة: اختبار الضغط 54
1.3: العوامل الداعية لاختبار الضغط 55
2.3: سلوك المعادن تحت تأثير الضغط 56
3.3: منحنى الإجهاد و الانفعال 57
4.3: عينات اختبار الضغط القياسية 61
1.4.3: أنواع العينات القياسية لاختبار الضغط 61
2.4.3: الشروط الواجب توفرها في عينات الضغط للمعادن 62
5.3: العوامل المؤثرة على اختبار الضغط 62
الوحدة الثالثة: مسائل محلولة 66
الوحدة الثالثة: تدريبات نظرية 69

الوحدة الرابعة: اختبار الالتواء 70
1.4: تعريف 71
2.4: ماكينة اختبار الالتواء 72
3.4: عينة الاختبار 73
4.4: الخواص الميكانيكية في اختبار الالتواء 73
5.4: شكل كسر عينات الالتواء 77

الوحدة الرابعة: مسائل محلولة 80
الوحدة الرابعة: تدريبات نظرية..... 83

الوحدة الخامسة: اختبار الصدم 84
1.5: تعريف 85
2.5: ماكينة اختبار الصدم و العينات القياسية..... 85
3.5: أنواع اختبارات الصدم..... 86
1.3.5: اختبار تشاربي Charpy 86
2.3.5: اختبار أيزود Izod 88
4.5: حساب علاقات الطاقة..... 89
5.5: العوامل المؤثرة على نتائج الاختبار..... 89
1.5.5: الفقد في الطاقة..... 90
2.5.5: سرعة الصدم..... 90
3.5.5: حجم و شكل العينة..... 90
4.5.5: درجة الحرارة..... 92
6.5: شكل الكسر للعينات..... 93
الوحدة الخامسة: مسائل محلولة 94
الوحدة الخامسة: تدريبات نظرية..... 97

الوحدة السادسة: اختبار الصلادة..... 99
1.6: تعريف 100
2.6: الهدف من الاختبار..... 101
3.6: صلادة العلامة..... 101
4.6: جهاز اختبار صلادة العلامة 102
5.6: اختبار برنل Brinell 103
1.5.6: شكل الأداة..... 103
2.5.6: طريقة الاختبار..... 104
3.5.6: حمل الاختبار..... 107
4.5.6: عينة الاختبار..... 108
5.5.6: خطوات الاختبار..... 109
6.5.6: حدود استخدام طريقة برنل..... 110
6.6: اختبار فيكرس Vickers..... 110

1.6.6: شكل الأداة 110
2.6.6: طريقة الاختبار 111
3.6.6: حمل الاختبار 112
4.6.6: عينة الاختبار 113
5.6.6: مزايا اختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز 113
7.6: اختبار روكول Rockwell 114
1.7.6: شكل الأداة 114
2.7.6: طريقة و خطوات الاختبار 115
3.7.6: مقاييس روكول للصلادة 116
4.7.6: عينة الاختبار 118
5.7.6: مزايا طريقة روكول للصلادة 118
8.6: العلاقة بين أرقام الصلادة المختلفة 119
الوحدة السادسة: مسائل محلولة 123
الوحدة السادسة: تدريبات نظرية 125

الوحدة السابعة: الاختبارات غير المتلفة 126
1.7: مقدمة 127
2.7: فائدة الاختبارات غير المتلفة 127
3.7: أنواع الاختبارات غير المتلفة 129
4.7: أنواع العيوب 129
5.7: الاختبارات بالفحص البصري 133
6.7: اختبار المخترق و المظهر الضوئي و المخترق الفلوري 134
1.6.7: تجهيز العينات 134
2.6.7: طرق الاختبار 134
3.6.7: طريقة الزيت و البياض 135
4.6.7: طريقة الصبغة 135
5.6.7: طريقة المظهر الفلوري 136
6.6.7: طريقة المواد المخترقة المشعة 137
7.6.7: الاحتياطات الواجب توفرها في اختبار المخترق 137
7.7: اختبار الفحص بالمجال المغناطيسي 137
1.7.7: تقسيم المواد حسب منفذيتها المغناطيسية 138

2.7.7: جهاز اختبار الشروخ بالمجال المغناطيسي..... 138
3.7.7: استخدامات طريقة برادة الحديد..... 139
الوحدة السابعة: تدريبات نظرية 141

المراجع 142