الفصل الثالث

الخواص الميكانيكية
Mechanical Properties

(٣,١) الاختبارات الميكانيكية في الحالة الصلبة

تعد الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التي تستخدم في اختيار المواد وفي تحديد تطبيقاتها المناسبة، في الواقع يوجد في معظم التطبيقات نوع أو آخر من الأحمال الميكانيكية والاستجابة لها. لذلك تعد الخواص مثل معيار المرونة وقوة الشد وقوة التصادم عوامل جوهرية في تصميم المنتجات واختبار المواد وتحديد مواصفاتها.

وتهتم الخواص الميكانيكية بوجه عام بتشوه المواد نتيجة الأحمال المؤثرة عليها. ويعتمد هذا التشوه على هيئة العينة وطريقة تطبيق الأحمال عليها. وهذان العاملان يكونان تحت تصرف المهندس وفني الاختبار حيث يهتمان بتوقع أو تقييم أداء المبلمر. ومن هذا المنطلق تستخدم علاقة عامة بين الإجهاد والانفعال.

ويعد قانون "هوك Hooke law" من أبسط العلاقات التي تربط الإجهاد مع الانفعال كما هو موضح من المعادلات والتي تم ذكرها في الباب الثاني.

حيث إن الإجهاد = القوة/المساحة

$$\sigma = F/A \qquad (٣,٣)$$

والانفعال = الاستطالة/الطول

$$\gamma = \Delta L/L \qquad (٣,٢)$$

obeikandi.com

ويمكن تعريف قانون هوك (من المعادلة ٢,٥) كالآتي :

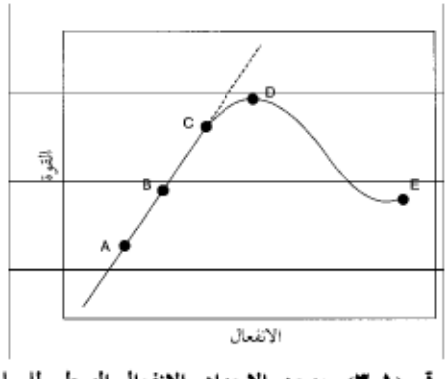
الإجهاد = معيار المرونة X الانفعال

$$\sigma = E.\gamma \qquad (٣,٣)$$

حيث (E) هو معيار المرونة أو معيار يونق و σ الإجهاد و γ الانفعال

ويعني هذا القانون أن الإجهاد يتناسب طردياً مع الانفعال .وهذا يعد حقيقياً مع المواد الصلبة تامة المرونة. ويلاحظ أن اللدائن كما تم الذكر سابقاً – تعد مواد مزجة حيث يمكن أن تصبح غير مرنة نتيجة التشوه العالي . لذلك لابد من تعريف اصطلاحات جديدة لشرح وتحديد خواص المبلمرات.

الشكل رقم(٣,١) يوضح العلاقة بين الإجهاد والانفعال للمبلمرات. في بداية التحميل وعند الانفعال القليل فإن المبلمرات تتصرف كأنها أجسام مرنة وتتبع قانون "هوك" وهذا ما يعبر عنه الخط A-C في الشكل رقم(٣,٢) المعادلة (٣,١) معادلة خط مستقيم حيث الإجهاد (σ) هو المعامل التابع الواقع على محور الصادات والانفعال (ε) هو المعامل المستقل الواقع على محور السينات . ومعيار المرونة (معيار يونق) هو ميل الخط المستقيم A-C وبذلك يتضح أن قانون هوك يشمل علاقة خطية بين الإجهاد والانفعال ومنه يمكن حساب معامل المرونة في أي جزء من الخط المستقيم من المنحنى.



الشكل رقم (٣,١). منحنى الإجهاد–الانفعال النمطي للمبلمرات.

ومن المهم ملاحظة أن معيار المرونة (يونق) يعد خاصية ثابتة للمادة .وهذا يعني أن كل مادة لها معيار مرونة خاص بها وهو يرتبط بخصائص المبلمر التي تم نقاشها في الفصول السابقة .وهذا يعني أن أي اختبار يحقق الشروط الخطية للاختبار يمكن أن يستخدم في توصيف المادة بنجاح ودقة وثقة.

في الشكل رقم(٣,١) يبدأ المنحنى في الانحراف عن العلاقة الخطية للإجهاد والانفعال عند النقطة C وتسمى هذه النقطة "حد التناسب" وهي تستخدم أحياناً في توصيف المادة.

أما عند النقطة D فإنه يوجد زيادة في الانفعال بدون زيادة في الإجهاد. وتسمى هذه النقطة D بنقطة الخضوع. ويمكن حساب إجهاد الخضوع بقسمة قوة الخضوع على المساحة المقطعية للعينة (انظر معادلة ٣,٥). كما يوضح الشكل أن العينة تستمر في الاستطالة حتى يصل جهاز الشد إلى أقصى حد مسموح به أو حتى تنكسر. وعادة ما يعبر عن الاستطالة بالنسبة المئوية لها .

)ASTM D638, ISO 527(٣,٢)اختبار الشد

اختبار الشد يستخدم في تصنيف المواد واختبارها وتصميمها. ويتم التعبير عن قيم الشد عن طريق معيار المرونة ، وقوة الشد ، وقوة الخضوع ، والاستطالة ، وعند بدء الخضوع ، وقوة الشد النهائية ، والاستطالة عند الكسر. وكل من هذه القيم لها معنى خاص عند المستخدم.

ويعد معيار المرونة (يونق) معياراً حقيقياً للمادة ، وكما تم الذكر سابقاً يعد معيار المرونة خاصية مميزة للمادة تعتمد على مواصفاتها الذاتية. ويقاس معيار المرونة عند بداية منحنى الإجهاد ـ الانفعال عندما يكونا متناسبين خطياً.

وقيم الشد المتبقية لا تمثل خواصا مميزة أو ذاتية للمادة ولكنها تحتوي على معلومات هامة عن قوة المادة واستخداماتها وطرق استجابتها للإجهاد الخارجي الواقع عليها. فعلى سبيل المثال من خلال معرفة أن المادة لها قوة شد عالية واستطالة صغيرة عند الكسر يمكننا القول بأن هذه المادة قوية ولكنها قصفة ، و مثل هذه الحالة موجودة في بعض متراكبات المبلمرات المحتوية على نسبة عالية من الإضافات أو الحشو. ومن الناحية الأخرى فإن المواد التي لها قوة شد منخفضة مع استطالة عالية عند الكسر فإنها تعد مواد ضعيفة ولكنها مرنة وهذا مثل اللدائن الحرارية المطاطية

شكل وأبعاد عينات الاختبار تحدده المواصفات الأمريكية ASTM بحيث يكون ـ عادة ـ طول العينة ١٦٥,١ مم (٦,٥ بوصة) وعرضها ١٩,٠٥ مم (٠,١٧٥ بوصة) وعادة يكون السمك ٣,٢ مم (٠,١٢٥ بوصة) أما في المواصفة الدولية ٥٢٧٠٧ ISOفيكون سمك العينة ٤ مم (٠,١٥٧ بوصة). و تتميز عينات الشد بالمنطقة الوسطى حيث يكون عرضها١٢,٧ مم (٠,٥ بوصة) وطول هذه المنطقة أكبر من أو يساوي ٥٠ مم (٢ بوصة) وهذه المنطقة الوسطى تسمى منطقة القياس وهي التي تعطي لعينات الشد شكلها المميز على هيئة العظم. والفكرة من وراء هذا الشكل أنه يركز الاستطالة في هذه المنطقة وخاصة بالنسبة للمواد الصلبة.

ولإجراء الاختبار، توضع العينة بين فكي الجهاز الذي يقوم بشدها عند معدل شد معين. ويقيس الجهاز القوة اللازمة لأحداث استطالة معينة في العينة. وتستخدم قيم القوة والاستطالة وأبعاد العينة في منطقة القياس هذه لحساب الإجهاد والانفعال أثناء اختبار الشد. وفيها يتم حساب قيم الشد المختلفة كما هو موضح في الشكل رقم (٣,٢) وسيتم شرحه تاليا.

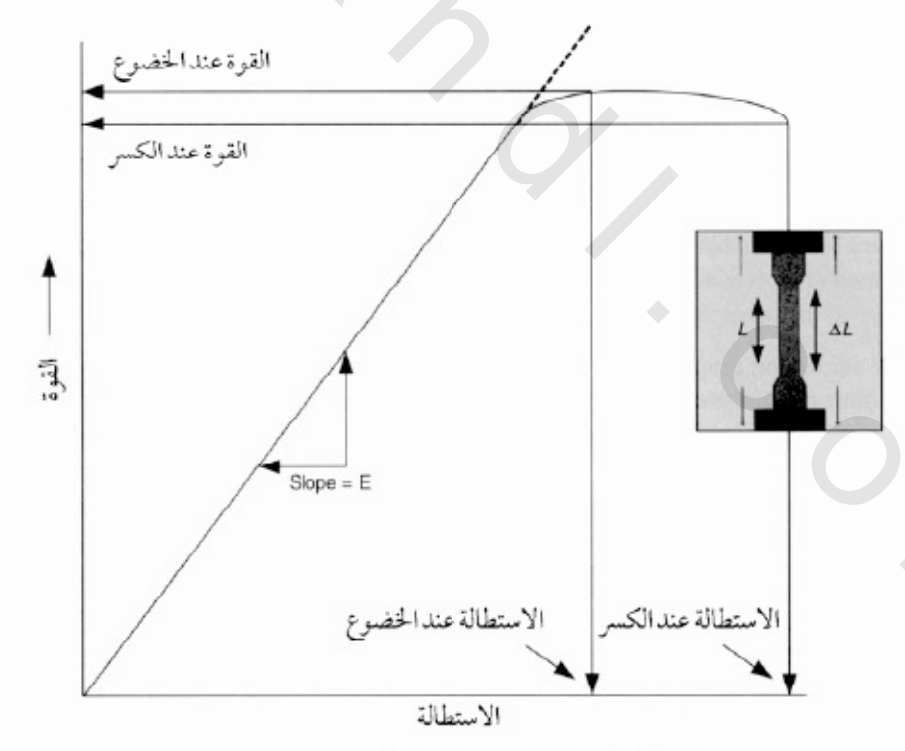
معيار المرونة (يونق)

هو خاصية ثابتة للمادة ويحسب من ميل الخط المستقيم لمنحنى الإجهاد والانفعال في المنطقة الخطية من المنحنى. الإجهاد هو قوة الإزاحة مقسومة على المساحة المقطعية للجزء الأوسط من العينة. ويتم قياس الانفعال بواسطة جهاز يسمى مقياس الانفعال أو مقياس الاستطالة. وللحصول على قياس صحيح لابد أن يكون الانفعال مركزاً في منطقة القياس الوسطى. ويمكن التعبير عن معيار المرونة (E) بالمعادلة :

$$E = \sigma/\gamma \qquad (٣,٤)$$

حيث الإجهاد = القوة/ المساحة المقطعية (معادلة ٣,١)

والانفعال=الاستطالة/ الطول الأصلي (معادلة ٣,٢)



الشكل رقم (٣,٢). منحنى اختبار الشد, ASTM D 698.

obeikandl.com

قوة الشـــــــد

النقطة التي تبدأ عندها استطالة العينة بدون زيادة في القوة تسمى نقطة الخضوع. وللحصول على إجهاد الشد عند الخضوع يتم قسمة قوة الخضوع على المساحة المقطعية للعينة كما هو موضح في المعادلة (٣,٥)

إجهاد الشد = قوة الخضوع/ المساحة المقطعية (٣,٥)

الاستطالة عند الخضوع

وهي قيمة الاستطالة عند نقطة الخضوع ويتم التعبير عنها بالنسبة المئوية لقيمة التغير في الاستطالة عند الخضوع على الطول الأصلي كما هو موضح في المعادلة (٣,٦) وهو ما يسمى بالانفعال عند الخضوع(EY)

الانفعال عند الخضوع = (الاستطالة / الطول الأصلي) x١٠٠

$$EY = \frac{L - L_O}{L_O.100} \qquad (٣,٦)$$

حيث L_0 هي الطول الأصلي و L الطول المقاس للعينة بعد الشد.

إجهاد الشد الأقصى

و يعبر عنه بقسمة قوة الشد عند كسر العينة على المساحة المقطعية للعينة كما هو موضح في المعادلة (٣,٧)

إجهاد الشد الأقصى = القوة عند الكسر/ المساحة المقطعية (٣,٧)

الاستطالة عند الكسر

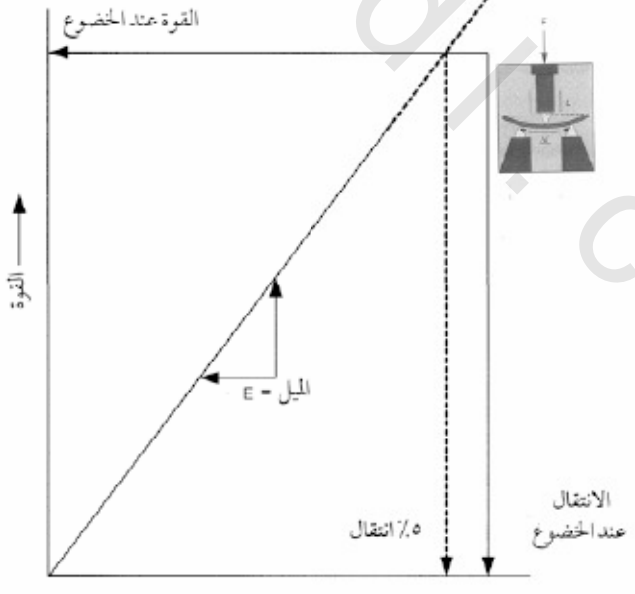
وهي استطالة العينة عند نقطة الكسر. كما يمكن التعبير عنها بالانفعال عند الكسر.

obeikandl.com

(ISO, ASTMD١٧٨ (٣,٣) اختبار الثني (٧٩٠

اختبار الثني يشابه اختبار الشد إلا أنه يختبر المادة عند تأثير الثني ثلاثي أو رباعي النقاط بدلاً من اختبار المادة عند تأثير الشد. ويعد اختبار الثني ذا فائدة عالية عندما تكون صلابة المادة هي موضوع الاهتمام. ويعد اختبار الثني أيضاً ذا أهمية خاصة في تصميم الإنشاءات. والقيم المستنتجة من هذا الاختبار هي عادة معيار يونق، ومعيار الثني، وقوة الثني، ومعيار التقاطع(SECANT).

ويتم حساب معيار الثني (معيار التماس) في الجزء المستقيم من منحنى الإجهاد والانفعال. وتعد هذه القيمة مماثلة لمعيار المرونة (يونق) المستنتجة من اختبار الشد. وكلما تم ثني العينة أثناء الاختبار كلما زادت استطالة العينة، مع الأخذ بعين الاعتبار عدم وجود انزلاق عند نقطة تثبيت العينة. عند معدلات الثني المنخفضة يكون الانزلاق متلاشياً. الشكل رقم (٣,٣) يبين رسماً توضيحياً لاختبار الثني.



الشكل رقم (٣,٣). منحنى اختبار الشد (ASTM D790)

البيانات المأخوذة من اختبار الثني هي عادة قوة الثني ومعيار الثني ومعيار التقاطع . وصمم اختبار الثني بحيث تنكسر العينة قبل الوصول إلى انفعال مساوٍ لـ ٥٪. وإذا وصلت العينة إلى هذا الانفعال (٥٪) بدون كسر فإن التجربة تعاد ولكن عند سرعة اختبار تساوي ١٠ مرات سرعة الاختبار السابق .

وقد حددت الاختبارات الأمريكية ASTM شكل العينة وأبعادها .وعادة تكون أبعاد العينة كما يلي

الطول يساوي ١٢٧مم (٥ بوصة) السمك = ٣,١٧٥ مم (٠,١٢٥ بوصة) العرض = ١٢,٧ مم (٠,٥ بوصة) وتكون المسافة بين نقطتي ارتكاز العينة ١٦ ضعف سمك العينة .

ويمكن تشكيل هذه العينات من شرائح اللدائن إذا كان سمك هذه الشرائح أكبر من أو يساوي ٣,١٧٥ مم. أما في حالة العينات السميكة فإن عرض العينة لا بد ألا يتجاوز ربع المسافة بين نقطتي التثبيت. ويتم ثني العينة بسرعة ٠,٢٥٤مم / دقيقة. وتحدد القوة اللازمة لإحداث انفعال يساوي ٥٪ في العينة. وتستخدم هذه القوة مع أبعاد هذه العينة للحسابات المختلفة لهذا الاختبار.

معيار المرونة (E)

يعد ثابتاً للمادة ويتم حسابه من ميل الخط المستقيم لمنحنى الإجهاد والانفعال . الإجهاد هو قوة الإزاحة مقسومة على المساحة المقطعية للعينة ويتم حساب الانفعال (ε) من الاستطالة (الانحناء) الناشئة أثناء الثني كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$E = \sigma/\varepsilon \qquad (3.8)$$

حيث :

الإجهاد = القوة/ المساحة المقطعية

الانفعال = الزيادة في الطول/ الطول الأصلي ويعبر عنه بالمعادلة :

$$\varepsilon=\Delta L/L = 6Dd/L^2$$

حيث D هي الاستطالة و L هي المسافة بين نقطتي التثبيت و d هي سمك العينة .

قوة الثني

يمكن حسابها بإحدى الطرق الثلاث الآتية :

أقصى قوة للعينة عند الكسر مقسومة على المساحة المقطعية للعينة.

قسمة قوة الخضوع على المساحة المقطعية للعينة.

وإذا لم تتحقق إي من الحالتين السابقتين فإننا نأخذ القوة عند انفعال مساو لـ ٥٪ ونقسمها على المساحة المقطعية .

ويجب ملاحظة أنه في حالة عدم حدوث الحالة ١ ، ٢ السابقتين، فإنه يجب زيادة سرعة الاختبار إلى ١٠ أضعاف السرعة السابقة أو إعادة الاختبار باستخدام اختبار الشد رباعي التحميل تبعاً للمواصفات الامريكية .ASTM D6272

وبالتالي فإن المعادلة (٣,٩) تعبر عن الصيغة العامة لحساب قوة الثني.

قوة الثني= القوة عند الكسر أو الخضوع أو ٥٪ استطالة/المساحة المقطعية(٣,٩)

معيار القطع في حالة الثني

ويتم حسابه بقسمة الإجهاد على الانفعال المصاحب له عند أي نقطة على منحنى الإجهاد ـ الانفعال. ويمكن تعريف معيار القطع ـ على حسب قانون هوك بأنه ميل الخط المستقيم المرسوم من نقطة البدء إلى أي نقطة على منحنى الإجهاد والانفعال .

وعادة يتم حساب معيار القطع بين ٠,٢٪ و ٧٪ للدائن

الاختبار الميكانيكي الديناميكي (DMA)(٣,٤) (ASTM D5279)

الاختبار الميكانيكي الديناميكي يبين الخواص الميكانيكية للدائن عند درجات حرارة مختلفة وعند سرعات اختبار مختلفة. ومن هذا الاختبار يمكن تعيين تأثير الحرارة

على معيار المرونة للعينة. ويمدنا هذا الاختبار أيضاً بخواص أخرى للمادة مثل نقطة الليونة ، ودرجة حرارة التحول الزجاجي ، ومجال الاستخدام ، والخواص المزجة .

ويعد هذا الاختبار ديناميكياً لأن العينة في حركة مستمرة طول الاختبار. ويعد اختبار اللّي هو أكثر الاختبارات الميكانيكية الديناميكية استعمالاً. وتكون عينة اللي ذات مقطع مستطيل أو دائري . ويتم تثبيت العينة من أحد أطرافها ويتم لي الطرف الآخر بحركة ترددية دائمة . ويتم ربط مقدار اللي مع الانفعال وقوة اللي مع الإجهاد . وعادة ما يكون هناك تأخير بين قوة اللي المؤثرة على العينة واستجابة العينة لهذه القوة . وتحتوي قيمة هذا التأخير ـ أو ما يسمى بالانحراف الطوري ـ على معلومات هامة عن الخواص المزجة للمادة .

هناك نوعان من معايير القص الميكانيكية الديناميكية التي يمكن الحصول عليها من هذا الاختبار . أحدهما هو معيار المرونة أو التخزين (G′) والآخر معيار اللزوجة أو الفقد (G″). ويكون معيار المرونة في توافق مع المؤثر الخارجي أما معيار اللزوجة فهو غير متوافق مع المؤثر الخارجي .وتسمى النسبة G″/ G′ بعامل الانحراف الطوري وعندما يكون هناك قمة في منحنى الانحراف الطوري فإن هذا يعني أن هناك تحولاً حرارياً في العينة مثل الذي يحدث عند درجة حرارة التحول الزجاجي أو درجة حرارة الانصهار.

وسوف نوضح الآن التعريفات لبعض المصطلحات الجديدة التي تم استخدامها هنا.

المتغير (G) يمثل معيار القص . و من الناحية الفيزيائية يعد معيار القص خاصية للمادة مثلها مثل معيار المرونة (يونق) ولكن القوة المؤثرة هنا هي قوة القص بدلاً من قوة الشد في حالة معيار المرونة (يونق). ويمكن تمثيل حالة القص بأن تضع كفيك فوق بعضهما وتقوم بتثبيت إحداهما وسحب الأخرى عليها في حركة انزلاق .

وتعد هذه الحركة النسبية للكفين حركة قص. وهذا موضح أيضاً في الشكل رقم(٢,٢) حيث يوضح الشكل انزلاق جزئيات المبلمر بالنسبة إلى بعضها بعضا. ويعد معيار القص خاصية منفردة لكل مادة ويعرف من المعادلة (٣,١٠) .

$$G = \sigma/\gamma \qquad (٣,١٠)$$

حيث إن σ هي إجهاد القص و γ هي انفعال القص.

وبالنسبة إلى اختبارات الديناميكية لابد لنا من أن نتوسع في تعريف معيار القص حتى يشمل معيار التخزين (G') ومعيار الفقدان (G"). ولحركة اللي المذكورة سابقاً خاصيتان مرتبطتان بها :

أولاً : مقدار اللي هو زاوية الانفعال. زاوية الانفعال (γ_o) للعينة ذات المقطع المستطيل هي :

$$\gamma_o = t\theta/2L \qquad (٣,١١)$$

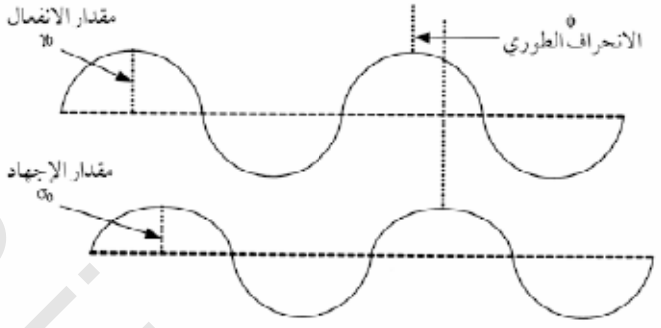
حيث t سمك العينة و L طول العينة و θ زاوية اللي

ثانياً : القوة اللازمة لحدوث هذا الانفعال يعبر عنها بالعزم (M) ويمكن حساب الإجهاد بقسمة العزم (M) على المساحة المقطعية للعينة :

$$\sigma_o = 8M_o/bt^2 \qquad (٣,١٢)$$

حيث t سمك العينة و b عرض العينة و σ_o قيمة الإجهاد و M_o هي القوة المؤثرة على العينة على هيئة عزم.

ويمكن توضيح الحركة الديناميكية باستخدام موجتي جيب. الموجه الأولى تمثل المؤثر الخارجي لثني العينة أما الموجه الثانية فتمثل استجابة العينة لهذا المؤثر. وقد يحدث انحراف لهاتين الموجتين عن بعضهما مع الوقت كما هو موضح في الشكل رقم(٣,٤).



الشكل رقم (٣,٤) الاختبار الميكانيكي الديناميكي (الحالة الصلبة).

وبدون الدخول في التفاصيل الرياضية ، فإنه يمكن التعبير عن المعايير الديناميكية كما في المعادلتين التاليتين :

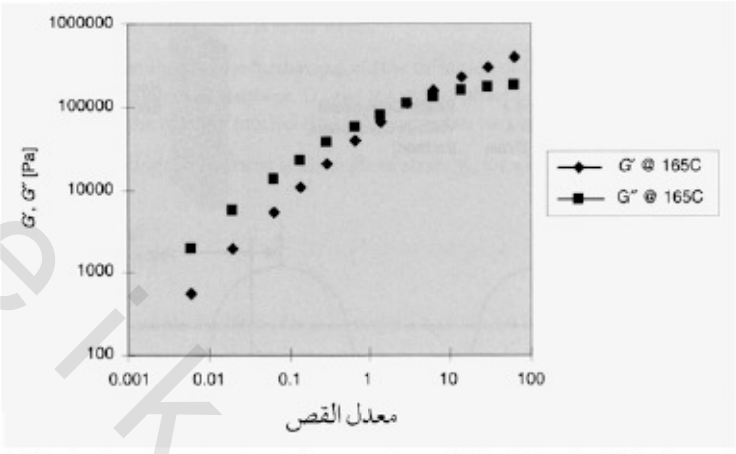
$$G' = (\sigma_o/\gamma_o)\cos\phi \qquad (٣,١٣)$$

$$G' = (\sigma_o/\gamma_o)\sin\phi \qquad (٣,١٤)$$

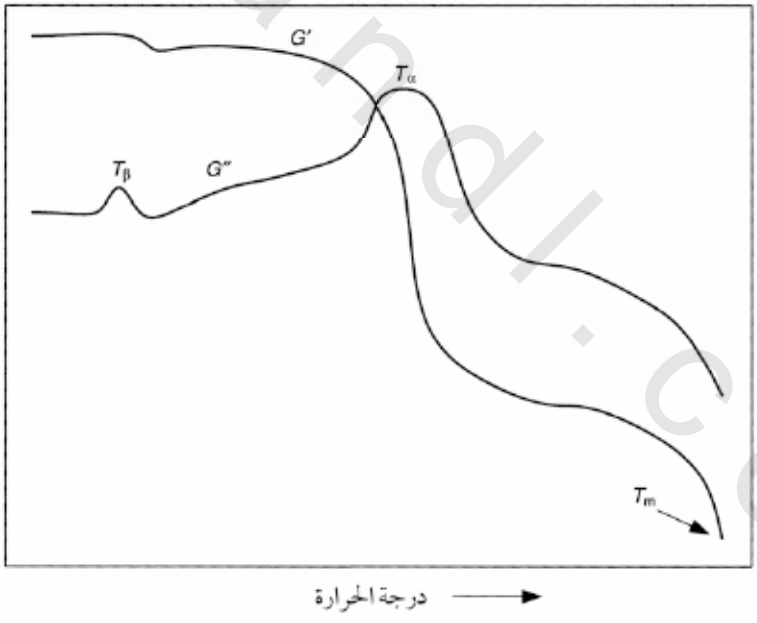
حيث (G') معيار المرونة أو التخزين و (G") معيار اللزوجة أو الفقد وتمثل ϕ زاوية الانحراف الطوري. فعندما تكون زاوية الانحراف مساوية للصفر فإن معيار اللزوجة (G') يساوي صفراً ومن ثم تتمتع المادة بمرونة تامة حيث لا تحتوي على معيار اللزوجة .أما إذا كانت زاوية الإنحراف مساوية ٩٠° فإن معيار المرونة (G") يساوي صفراً وتتصرف المادة كمادة لزجة تماماً لا تحتوي على أي مرونة بداخلها .

وكما ذكر في الجزء ٣,١ فإن اللدائن تحتوي على مركبتين، إحداهما مرنة والأخرى لزجة ولذا فإنه يتضح أن الاختبار الديناميكي يعد اختباراً مثالياً لتقييم هاتين المركبتين. وعادة عندما تكون قيمة الجزء المرن أكبر من الجزء اللزج فإن اللدائن تتصرف كمادة صلبة. والعكس بالعكس فعندما يكون معيار اللزوجة أكبر من معيار المرونة فإن اللدائن تتصرف كسائل لزج . وهاتان العلاقتان تعتمدان على درجة حرارة اللدائن وسرعة الاختبار (الوقت) كما هو موضح في الشكلين رقمي (٣,٥ و ٣,٦) .

obeikandl.com



الشكل رقم (٣,٥). النتائج الديناميكي للبولي بروبيلين موضحة اعتماد معياري اللزوجة والمرونة على التردد.



الشكل رقم (٣,٦). تأثير الحرارة على معياري اللزوجة والمرونة لمبلمر ذي خاصية اصطدام معدلة.

الشكل رقم(٣,٦) يمثل الحالة الصلبة لعينة مستطيلة من البولي بروبيلين (PP) أثناء اختبار لي بمعدل ثابت . ويلاحظ أن درجة الحرارة تتغير من درجات حرارة أقل

من درجة حرارة الغرفة إلى درجة حرارة انصهار المادة . ويوضح الشكل تمثيل العلاقة بين G' و G" ودرجات الحرارة . فعند درجات الحرارة المنخفضة يكون معيار المرونة (Ġ) هو المتحكم ويكون له قيمة ثابتة تقريباً حتى تصل المادة إلى درجة الصفر المئوي وفي هذه الفترة يكون أيضاً معيار اللزوجة ثابتا تقريباً ولكنه أقل من (Ġ) بمراحل عديدة. وعند درجة حرارة الصفر المئوي نلاحظ أن هناك انخفاضاً طفيفاً لمعيار المرونة (Ġ) مصحوبا بارتفاع طفيف لمعيار اللزوجة(G"). ويصل معيار اللزوجة (G") إلى قمته عند ٥° م . وتمثل هذه القمة نقطة التحول الزجاجي للمادة. وعند نقطة التحول الزجاجي للمبلمر يتحرر جزء من تركيبة الجزيئ ويصبح أكثر مرونة . عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة التحول الزجاجي يتصرف المبلمر بطريقة صلبة وقصفة . أما عند درجات حرارة أعلى من التحول الزجاجي فإن المبلمر يتصرف بمرونة واستطالة أكثر مما كان عند درجات الحرارة المنخفضة. ولذلك فإن مقاومة اللدائن للصدمات أفضل عند درجات حرارة أعلى من درجة حرارة التحول الزجاجي. وتعد نقطة الانصهار هي نقطة التحول الهامة التي تلي نقطة التحول الزجاجي وقيمة ومقدار هذا التحول هو الأكبر بالنسبة لأي تحول يمر به المبلمر . وسيتم تغطية تصرف المبلمر في حالة الانصهار عندما نتحدث عن اختبارات الانصهار الخاصة باللدائن .

(٣,٥) اختبار الصدم

اختبار الصدم يبين قدرة المادة على امتصاص الطاقة. ومقاومة الصدمات هي قدرة المادة على مقاومة الكسر تحت تأثر الأحمال والإجهادات المفاجئة السريعة .

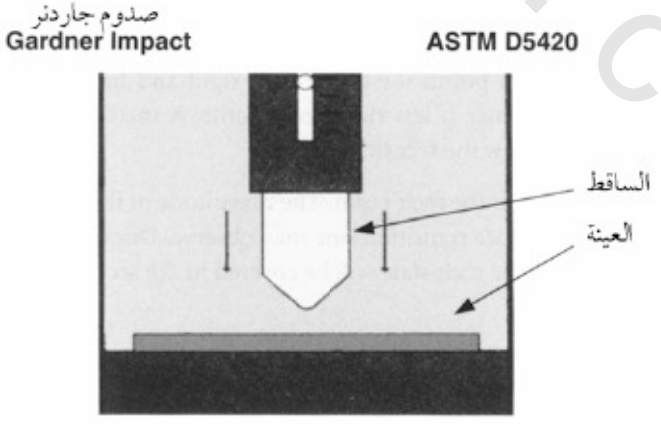
وتنكسر معظم المواد اللدائنية بطريقة مميزة تعتمد على تركيبها الجزيئ ومركباتها الجزيئية وطريقة تصنيعها وتصميم المنتج وترتيب جزيئاتها ودرجة حرارة الاختبار .

ويمكن تقسيم طريقة كسر اللدائن تحت تأثير الصدمات إلى أربعة أجزاء :

- الخضوع : تشكل مستديم للمادة بدون شروخ.
- التشرخ : تكسر المادة بدون التغير في شكلها .
- القصف : تكسر مفاجئ وعنيف للمادة بدون أي مظاهر للخضوع مثل البولي ستايرين.
- الليونة : تشكل المادة بالخضوع مع وجود شروخ مثل مادة البولي كاربونيت.

(٣,٥,١) اختبار الصدم بالمقذوف الساقط (ASTM D5420, No ISO Method)

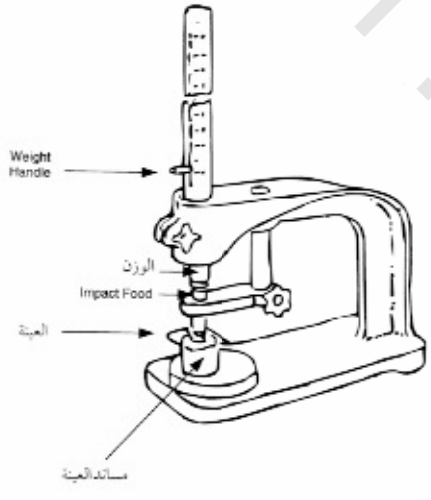
في اختبار الصدم بالمقذوف الساقط ويسمى أيضا اختبار الوزن الساقط أو اختبار "جاردينر" GARDNER " للصدم يتم صدم العينة الثابته عن طريق سقوط هدف رأسي عليها كما هو موضح في الشكل رقم(٣,٧). ويتم حساب الطاقة اللازمة لكسر العينة من معرفة وزن المقذوف الساقط وارتفاع السقوط. وتحسب الطاقة عن طريق ضرب الوزن (وليس الكتلة) في ارتفاع السقوط ووحدات الطاقة هي الجول (JOUL) أو باوند * بوصة.



الشكل رقم (٣,٧). اختبار الصدم بالمقذوف الساقط (جاردنر).

ويتم هذا الاختبار عادة برفع وزن معين إلى ارتفاع محدد ثم يتم سقوط الوزن – سقوطاً حراً – على "صادم" ذي شكل معروف يكون قد تم وضعه على العينة الثابتة كما هو موضح في الشكل رقم(٣,٨). ويقوم الصادم بنقل طاقة الحركة من الوزن الساقط إلى العينة. وتكون طاقة الحركة عند لحظة الصدم مساوية إلى الطاقة الوضع للوزن قبل لحظة السقوط. ويتم حساب متوسط الارتفاع الذي يسبب انكسار ٥٠٪ من العينات بعد اختبار عدد إحصائي كاف من هذه العينات. ومن هذا الارتفاع المتوسط للكسر يتم حساب طاقة الصدم وهي تساوي (الارتفاع * عجلة الجاذبية الأرضية* الكتلة). وتسمى هذه الطريقة في حساب متوسط طاقة الصدم بطريقة "السِلمّ" أو طريقة فوق – تحت".

ملاحظة : – يعتمد هذا الاختبار على شكل العينة وطريقة تصنيعها. ولذا فإنه ينصح باستخدام اختبار الصدم هذا فقط للمقارنة بين المواد المختلفة. ولا يجب اعتبار قيم الصدم المأخوذة من هذا الاختبار قيماً مطلقة. وللمقارنة يجب استخدام عينة لها شكل المنتج النهائي واستخدام ظروف صدم مقاربة لتلك التي سوف تتعرض لها العينة أثناء الاستخدام الفعلي. ويجب التنبيه أن النتائج التي نحصل عليها من اختبار عينات ذات أشكال مختلفة لا يمكن مقارنتها مع بعضها.



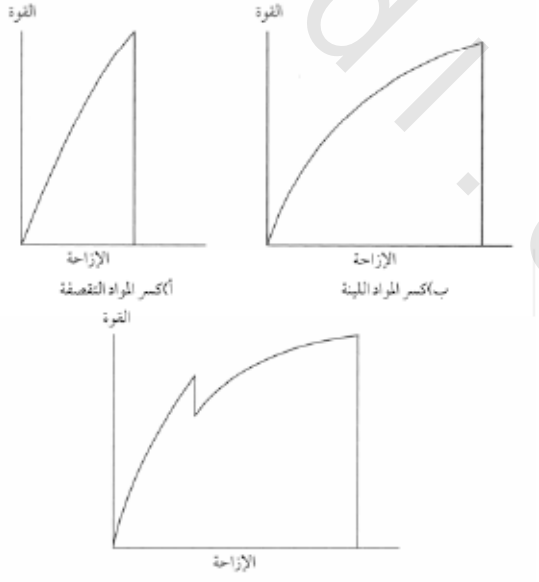
الشكل رقم (٣,٨). جهاز المقذوف الساقط.

(٣,٥,٢) اختبار الصدم الآلي (ISO 6603.2) (ASTM D3763)

يعد اختبار الصدم الآلي اختباراً جديداً وهو يكسب قبول المستخدمين سريعاً. وفي هذه الطريقة يتم استخدام طاقة صدم كافية لحدوث كسر في العينة مع كل صدمة وهذا يوفر الحاجة إلى الاختبارات المتعددة كما في الطريقة السابقة.

ويتم حساب منحنى قوة الصدم مع مسافة تشكل الصدم ومن هذا المنحنى يتم حساب طاقة الصدم عن طريق تكامل المساحة تحت المنحنى. ويتميز هذا الاختبار عن الاختبار السابق بأننا نحصل على قيم كمية من كل اختبار هنا ونتمكن من تحديد نوع الكسر عن طريق دراسة منحنى قوة الصدم – التشكل.

وفي هذا الاختبار يتم قذف الصادم بسرعة قد تساوي ٢٠٠م/دقيقة على العينة المثبتة جيداً. ويجب أن تكون طاقة القاذف كافية لحدوث كسر في العينة عند لحظة الاصطدام. ويتم آلياً حساب القوة أثناء الاصطدام وتوقع على منحنى كدالة في مسافة التشكل أثناء عملية الصدم كما هو موضح في الشكل رقم(٣,٩).



الشكل رقم (٣,٩). منحنيات القوة–المسافة من اختبار الصدم الآلي.

يوضح الشكل رقم(٣,٩) ثلاثة أنواع من المنحنيات التي يمكن الحصول عليها أثناء هذا الاختبار. الشكل رقم(أ٣,٩) يمثل كسر التقصف الذي يتميز بزيادة سريعة في القوة يتبعه انخفاض مفاجئ للطاقة ويتم هذا كله في مسافة صغيرة جداً للتشكل. أما الكسر اللين (ب ٣,٩) فهو يتميز بزيادة تدريجية في القوة مع ظهور خضوع واضح قبل الكسر.

أما الشكل رقم(ج ٣,٩) فإنه يمثل كسراً يحمل صفات الكسر اللين والكسر القصف معاً. وتعد المواد اللينة ذات الترتب الجزيئي الواضح مثالاً لهذا النوع من الكسر. المواد المتراكبة والمواد المتكونة من أكثر من طبقة يمكن أن تنكسر بهذه الطريقة أيضاً.

وتأخذ منحنيات الكسر أشكالاً متعددة غير هذه الأشكال الثلاثة والتي يمكن الحصول عليها من اختبار الصدم الآلي للمواد المختلفة. ويجب ملاحظة أن خواص الصدم للمواد اللدائنية تعتمد على سرعة الاصطدام. وأيضاً تتأثر الخواص بشكل العينة، وسمكها وطريقة تحضيرها ودرجة حرارة الاختبار. ولذا يجب المقارنة فقط بين العينات التي لها أشكال متشابهة والتي تم إعدادها بنفس الطريقة.

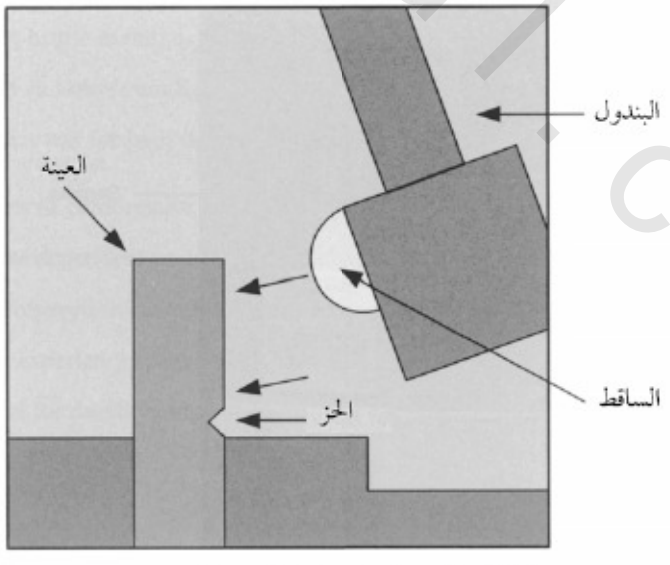
(٣,٥,٣) اختبار الصدم بطريقة أيزود أو شاربي (ASTM D256, D4812, ISO 179)

هذا النوع من اختبارات الصدم يقارن قابلية العينات للكسر بواسطة الاصطدام بالبندول. ويُعَبر عن النتائج بالطاقة التي يستهلكها البندول –لكسر العينة. العينات المستخدمة في هذا الاختبار غالباً ما يوضع بها "حَز" لكي يساعد على كسر العينة بالطريقة القصفة بدلاً من اللينة.

يعمل الحز على تركيز الاجتهادات حوله وبذلك يساعد على نمو وانتشار الشروخ.

اختبار آيزود – يتم تثبيت العينة رأسياً بحيث يكون الحز موجهاً للبندول كما هو مبين في الشكل رقم(٣,١٠). وتكون أبعاد العينة كما هو موضع بالمواصفات الأمريكية ASTM حيث الطول ٥٠,٨ مم والعرض ١٢,٧ مم والسمك ٣,١٧٥ مم (وفي بعض الأحيان يكون السُمك = ٦,٣٥ مم). أما عمق الحز فيكون ٢,٥٤ مم. ويجب قطعه بدقة. يتم رفع البندول إلى الارتفاع المطلوب ثم إطلاقه بحيث يصطدم بالعينة ويُكمل مساره بعد الاصطدام. ولابد أن تنكسر العينة كلية حتى يمكن الاستفادة من النتائج. وتأخذ طاقة الكسر من البندول ثم تُقسم على سُمك العينة. وتكون وحدات النتائج بالجول (JOULE) أو بوصة. باوند/ لكل بوصة من سُمك العينة عندالحز.

اختبار شاربي – الفرق الرئيس بين هذا الاختبار واختبار آيزود أنه في اختبار شاربي يتم تثبيت العينات أفقياً. ويجب أن تنكسر العينات ، بالكامل ويتم رصد النتائج بوحدات الجول(JOULE).

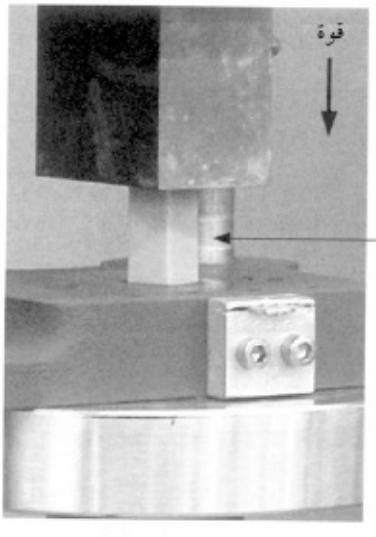


الشكل رقم (٣,١٠). أختبار آيزود الحزي.

(٣,٦) اختبار الضغط – المواصفات الأمريكية (ASTM D695 ISO 604)

اختبار الضغط يعطي معلومات عن الخواص الميكانيكية للدائن الصلبة وتراكبات اللدائن ذات الصلابة العالية عندما تكون محملة تحت تأثير قوى الضغط عند معدلات إجهاد وانفعال قليلة. وتكون خواص الضغط مفيدة عندما تستخدم المادة تحت ظرف مشابه لاختبار الضغط. هذا النوع من الاختبارات مفيد خاصةً للمواد التي تنكسر عن طريق "التشرذم" الناتج من التحميل. وهذا يعني أن هذا الاختبار غير مناسب للمواد المطيلة. ويستخدم أيضاً اختبار الضغط للدائن الحرارية المطاطية لتحديد مقدار التشكل (التشوه) الدائم لها تحت قوى الضغط.

هذا الاختبار مشابه لاختبار الشد ولكن اتجاه التشكل يكون انضغاطياً وليس استطالياً. خواص الضغط تشمل معيار المرونة، وإجهاد الخضوع، والتشكل وقوة التحمل تحت الضغط. يتم تحديد معيار المرونة وإجهاد الخضوع بطريقة مشابهة لما تم توضيحه في اختبارات الشد والثني. وتعد قوة تحمل الضغط هي أهم خاصية يمكن الحصول عليها من هذا الاختبار. وتحسب هذه القوة بقسمة أقصى حمل يمكن أن تتحمله المادة على المساحة المقطعية الأصلية للعينة كما هو موضح في الشكل رقم(٣,١١) .



الشكل رقم (٣,١١). صورة لاختبار الضغط لعينة مضلعة.

وتأخذ العينة عادة شكل الأسطوانة أو المُضلع. وتكون أبعاد الأسطوانة عادةً ١٢,٧ مم للقطر، ٢٥,٤ مم للطول. ويمكن استخدام أبعاد أخرى غير هذه الأبعاد ولكن يجب ملاحظة أن تكون نسبة الطول إلى القطر أو العرض كافية. فإذا كان الهدف حساب معيار المرونة، فإن هذه النسبة يجب أن تتراوح بين ١١-١٦ وتكون سرعة الضغط ١,٣ مم/ دقيقة. وفي حالة العينات المطيلة فإنه يمكن زيادة سرعة الضغط إلى ٦- ٥مم/ دقيقة بعد نقطة الخضوع.

وفيما يلي بعض الخواص الهامة التي يمكن تعيينها من اختبارات الضغط :-

قوة تحمل الضغط: هي أقصى وزن يمكن أن تتحمله العينة مقسوماً على المساحة المقطعية للعينة. وحداتها هي مجا باسكال MPa أو باوند/ بوصة مربعة.

قوة الخضوع تحت الضغط : ويتم حسابها بقسمة حمل الخضوع على المساحة المقطعية للعينة. وحداتها هي ميجا باسكال MPa أو باوند/ بوصة مربعة.

معيار المرونة: ويحسب هذا المعيار عن طريق ميل الخط المستقيم عند بداية منحنى الإجهاد والانفعال بقسمة الإجهاد على الانفعال في المنطقة الخطية للمنحنى، وتكون وحدات معيار المرونة هي ميجا باسكال Mpa أو باوند/ بوصة مربعة.

مميزات اختبار الضغط :-

- مناسب للمواد القصفة المعرضة للأحمال.
- يمكن اختبار أشكال متنوعة من العينات.
- اختبار معياري للمتراكبات المبلمرة عالية القوة.

عيوب اختبار الضغط :-

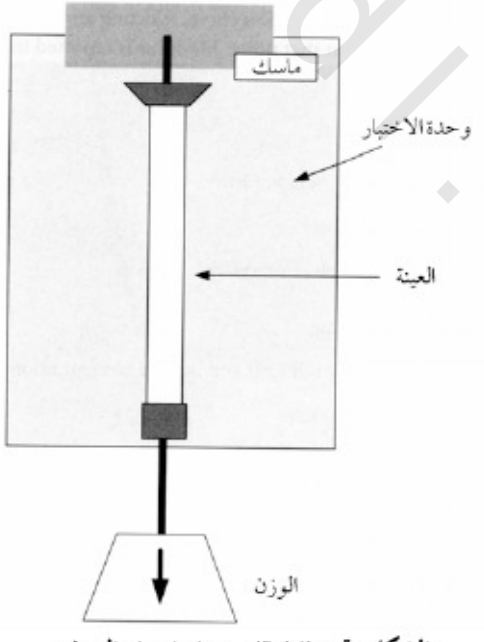
- النتائج تعتمد على ظروف الاختبار وشكل العينة.
- طريقة تحضير العينة قد تؤثر على النتائج.
- لابد من إجراء أكثر من اختبار للتغلب على تفرق النتائج.
- غير مناسب للمواد المطيلة.

obeikandl.com

(٣,٧) اختبار الزحف للمواد الصلبة (المواصفة الأمريكية) (ASTM D2 990 ISO 899)

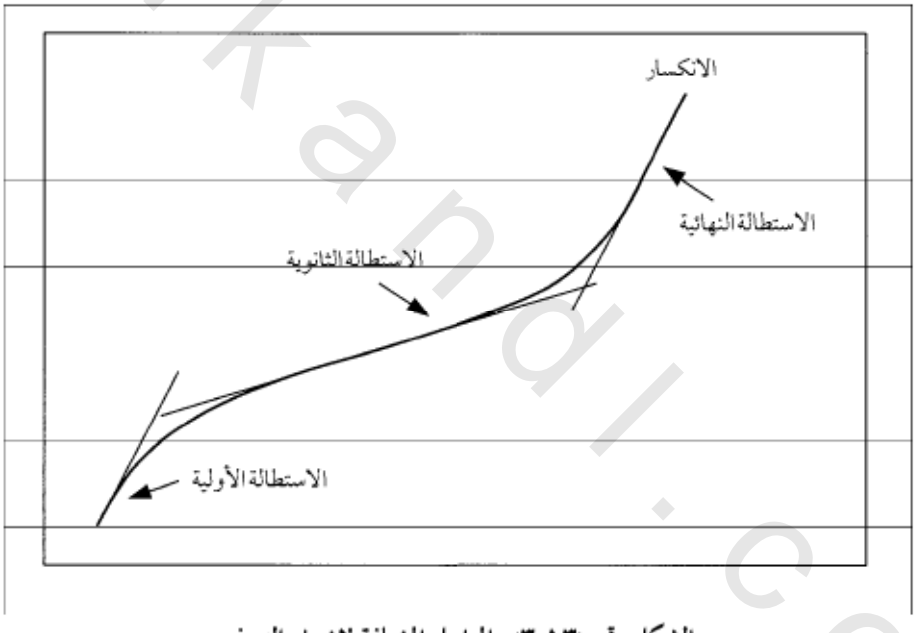
تعتمد خواص المواد المزجة على الحرارة وسرعة التحميل والزمن. ولهذا فإن الاختبارات السريعة (مثل اختبار الشد) لا يمكن أن تتنبأ بخواص المادة على الأمد الطويل. ولذا لابد من اختبارات خاصة للمواد المزجة مثل المبلمرات لمعرفة سلوكها تحت تأثير الإجهاد والوقت. لذا تم اختراع اختبار الزحف للمواد الصلبة لهذا الغرض. من المعلومات المستخلصة من هذا الاختبار يمكن حساب معيار الزحف وقوة الزحف للمادة كما يمكن التنبؤ بخواص المادة على الأمد الطويل. هذه المعلومات مفيدة في المقارنة بين المواد وتصميم الأجزاء وتوصيف اللدائن للاستخدام طويل الأمد. وفي اختبار الزحف يمكن تطبيق أي من الاختبارات السابقة مثل الشد، الثني، الضغط.

في هذا الاختبار يتم حساب التشكل (استطالة أو انضغاط) كدالة في الوقت أو حساب الوقت اللازم لانهيار العينة أو كسرها تحت تأثير حمل ثابت في ظروف معينة كما هو موضح في الشكل رقم (٣,١٢).



الشكل رقم (٣,١٢). جهاز اختبار الزحف

عند وضع الحمل على العينة تنشأ استطالة فورية نتيجة إلى الاستطالة المرنة للعينة. يتبع هذه الاستطالة الفورية استطالة أخرى بطيئة تسمى الاستطالة الابتدائية. ويتبع الاستطالة الابتدائية استطالة أخرى بمعدل ثابت تسمى الاستطالة الثانوية. وعندما تقترب العينة من نقطة الكسر يزداد معدل الاستطالة بسرعة عالية وتسمى هذه الاستطالة بالنهائية. يوضح الشكل رقم (٣,١٣) المراحل الثلاث المختلفة للاستطالة أثناء اختبار الزحف.



الشكل رقم (٣,١٣). المراحل المختلفة لاختبار الزحف

بعض مميزات اختبار الزحف:

- مؤشر ممتاز لخواص المادة طويلة الأمد
- تنوع طريقة الاختبار بين الشد والضغط والثني.

ولكن العيب الأساس لهذا الاختبار أنه يأخذ أوقاتاً طويلة. بعض الاختبارات تأخذ أكثر من ١٠٠٠ ساعة قبل التمكن من الحصول على نتائج مفيدة.

obeikandl.com