جامعة تكريت

كلية الزراعة

قسم المكائن و الالات الزراعية

المادة تصميم المعدات و الالات الزراعية

المرحلة الثالثة

قسم المكائن والالات الزراعية / الفصل الثاني

مدرس المادة : أ.م.د.ثائر تركي عبد الكريم

المصادر

اساسيات هندسة المواد / د. عيسى مسعود

المحاضرة الخامسة

الخواص الميكانيكية للمواد ٢

4- 3 الإطالة أو المطيلية (Ductility):

المطيلية عبارة عن قياس الإنفعال المؤدي إلى الكسر (أي إنهيار المادة) وهذه الخاصية مهمة في الكثير من التطبيقات الهندسية المتعلقة بتشكيل المعادن مثل الدرفلة والسحب وتستعمل إختبارات الشد لقياسها بطريقتين هما:

1- نسبة الاستطالة:

$$El = \frac{L_f - l_o}{l_o} \times 100 = \varepsilon_{\max} \times 100\% \qquad (13-4)$$

عندما تكون:

El: الاستطالة. $\varepsilon_{\max}$: أقصى إنفعال.

lo: الطول الأصلي.

l_f: والطول عند الكسر.

2- النقص في مساحة المقطع:

يمكن قياس الإنفعال عن طريق تحديد التغير في مساحة مقطع العينة قبل وبعد التحميل ثم التعويض في المعادلة الآتية:

$$RA = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \qquad (14-4)$$

عندما تكون:

RA: نسبة النقص في المساحة.

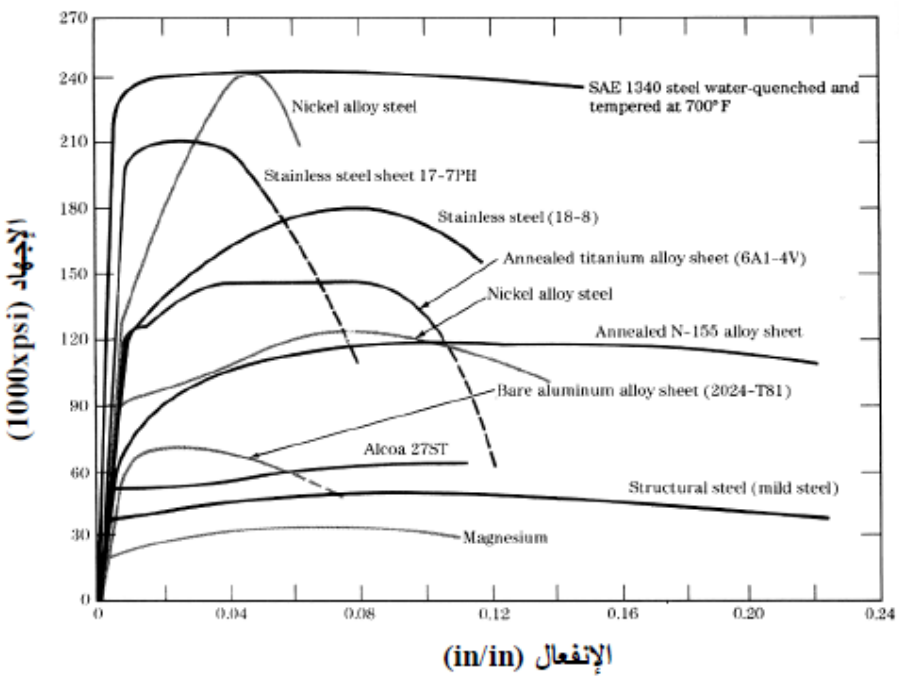
Ao: المساحة الأصلية.

A_f: المساحة عند الكسر أو بعد التحميل.

وبصورة عامة تعتبر المواد مطيلة عندما تكون (RA) أكبر من 30 % والمواد الهشة تلك التي لها مطيلية أقل من 10 % .

ويختلف منحني الإجهاد والإنفعال من معدن إلى آخر فمنها السبائك ذات قوة شد عالية مثل سبائك الصلب الذي لا يصداء وسبائك صلب النيكل ومنها المتوسطة

مثل سبائك التيتانيوم والالومنيوم ومنها ذات قوة شد ضعيفة مثل الصلب منخفض الكربون وسبائك الماغنيسيوم، والشكل(4-5) يبين قوة الشد لبعض السبائك الهندسية.



الشكل(4-5) قوة الشد لبعض السبائك الهندسية.

4-4 الصلابة (Toughness):

صلابة المادة هي مقدار الشغل (Work) لوحدة حجم المطلوب لعمل كسر أو بمعنى أخر هي عبارة عن كمية الطاقة التي يتحملها الجسم قبل الكسر ولذلك يعرفها البعض بمقاومة المادة للصدمات. فمثلا عند إختبار الشدة يمكن حساب الشغل من تكامل المساحة تحت منحنى الإجهاد والإنفعال للمعدن أو المادة (أي مجموع المساحة تحت المنحنى) كما بالشكل (4-6) .

$$\frac{W}{V} = \int F \frac{dl}{Al} = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma_f d\varepsilon \qquad (15-4)$$

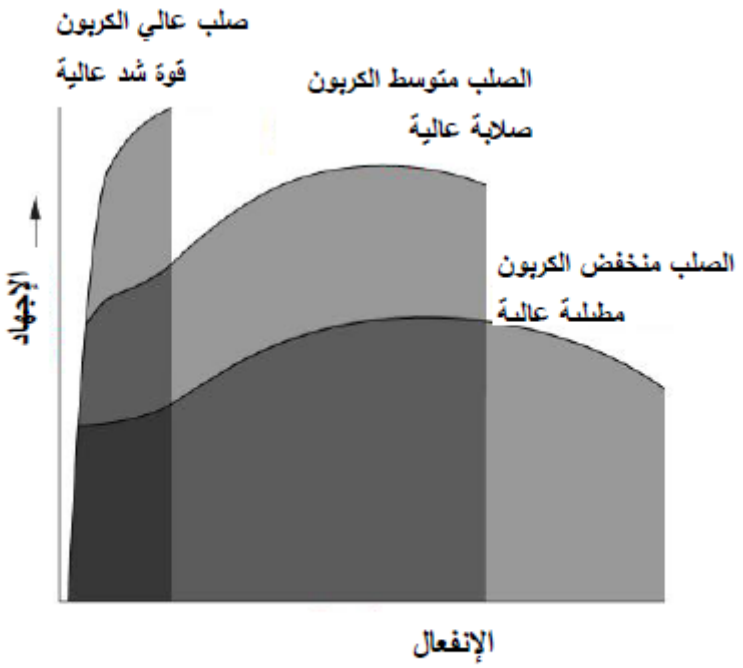
عندما تكون:

F: القوة المؤثرة. ε_f: والإنفعال عند الكسر.

dl: التغير في الطول. σ_f: الإجهاد.

A: مساحة المقطع. dε: مقدار التغيير في الإنفعال.

l: طول العينة.



شكل (4 - 6) مقدار الصلابة.

مثال:

أوجد طاقة الإنفعال المرن لعينة في حالة شد بإجهاد قدره 40000 باوند/ بوصة مربعة إذا كان معامل المرونة يساوى 10^7 باوند/ بوصة مربعة .

الحل

هذه الطاقة عبارة عن شغل لكل وحدة حجم (work/volume)

$$w/v = \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon = \int_0^{\varepsilon} E\varepsilon d\varepsilon = \frac{(E\varepsilon)^2}{2}$$

$$\because \quad \varepsilon = (\frac{\sigma}{E}) \qquad \therefore \quad w/v = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{(40000)^2}{2x10^7} = 80 psi$$

والنتيجة 80 باوند/ بوصة مربعة .

4-4-1 إختبار الصدم (Impact test):

من الطرق السهلة والبسيطة التي يمكن بها قياس الصلابة النسبية للمعادن طريقة إختبار الصدم أو الصدمة ويستخدم لذلك ألة لقياس الصلابة تتكون من مطرقة لها شفرة حادة مثبة في نهاية ذراع متصل بمفصل بحيث تكون المطرقة حرة الحركة ويوجد أعلى المفصل تدريج بمؤشر يوضح مقدار الصلابة بالجول وفي قاعدة الآلة يوجد سندان ذو شفتين يتم تثبيت العينة على حافتيهما الداخلية ويكون الطرق من الناحية الخلفية للعينة كما بالشكل(4-7).

ويتم حساب الصلابة من تعيين مقدار طاقة الوضع الكفيلة بتكسير العينة وهذه يمكن حسابها من وزن المطرقة وفرق إرتفاعها قبل وبعد تكسير العينة وذلك حسب المعادلة الآتية.

الصلابة النسبية = وزن البندول × الفرق في إرتفاع المطرقة

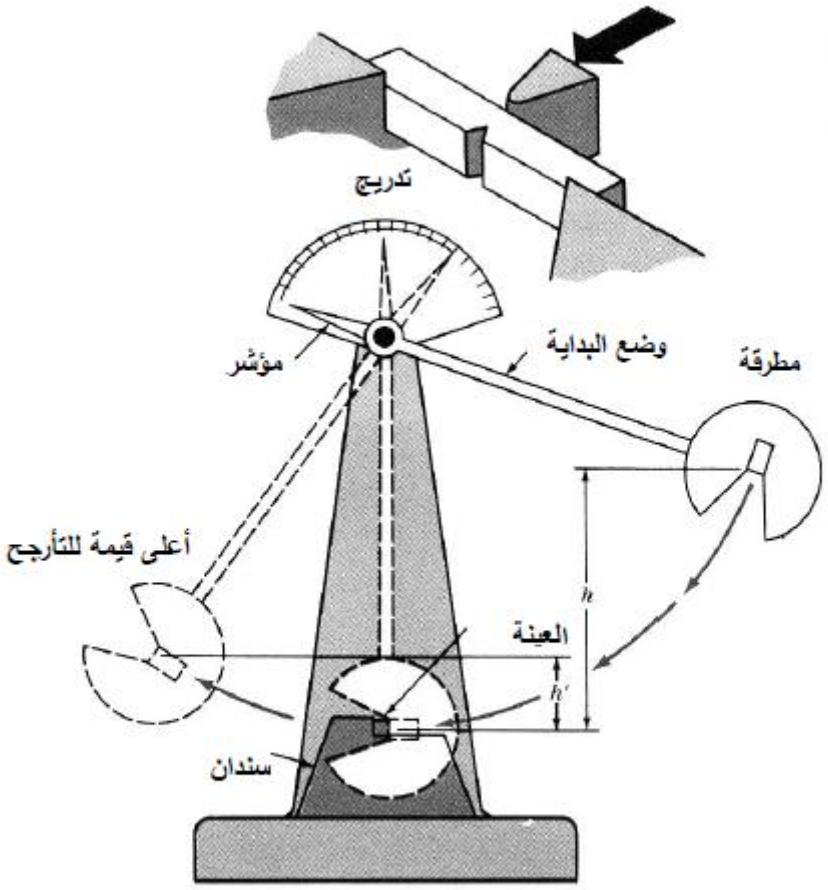
$$W = F(\Delta h) \qquad (16\text{-}4)$$
$$W = mg(\Delta h) \qquad (17\text{-}4)$$

حيث أن:

m: كتلة المطرقة.

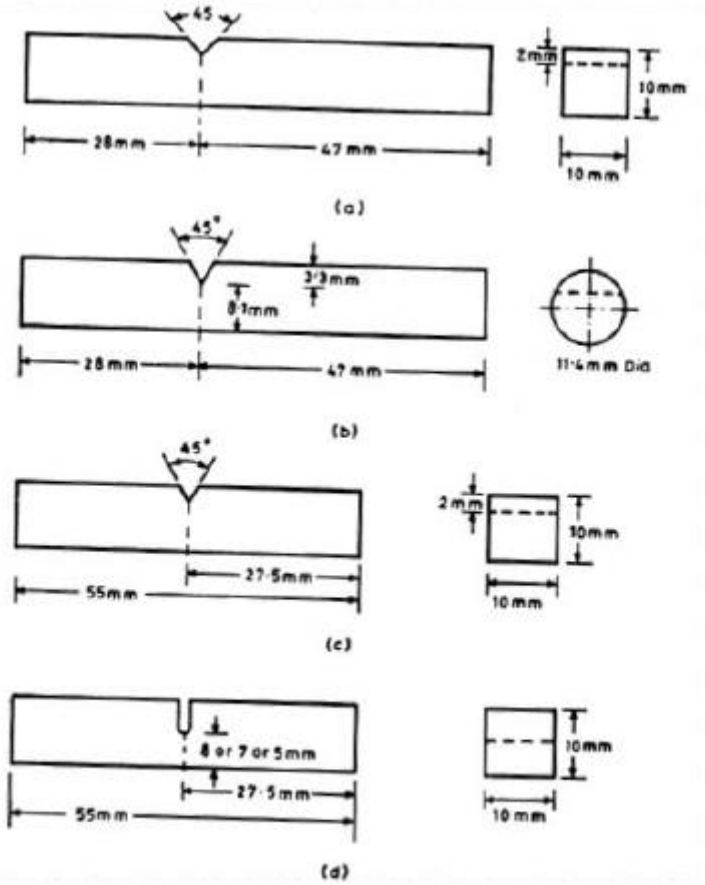
F: القوة. g: ثابت الجاذبية الأرضية.

إلا أن الآلة عادة ما يوجد بها تدريج بمؤشر يقوم بتعيين مقدار الصلابة بالجول دون اللجوء إلى المعادلات الحسابية السابقة.



الشكل(4-7) يوضح آلة قياس الصلابة النسبية للمواد.

ويوجد هناك طريقتان لتحضير العينات كما بالشكل(4-8).



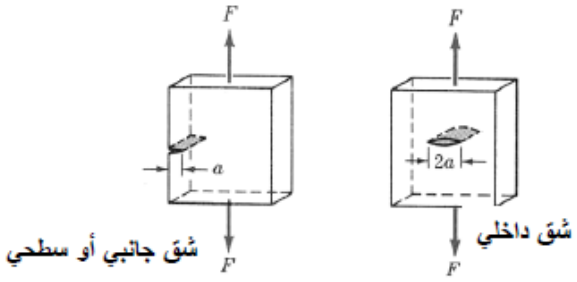
شكل (4-8) أنواع عينات قياس الصدم بطريقة أيزود، وطريقة تشاربي.

فالطريقة الأولى تسمى طريقة شاربى (Charpy test) وتحضر العينة بمقياس 10x10x55 مم ويعمل لها شق بعمق 2 مم في وسط العينة على شكل حرف V في اللاتينية وبزاوية 45 درجة، أو قد يكون الشق على هيئة فتحة مفتاح (Key hole) كما بالشكل(4-8) وتثبت العينة من الجانبين على الجهاز بحيث يكون طرق العينة من الخلف، وتخضع هذه التجارب لمواصفة الجمعية الأمريكية لإختبار المواد (ASTM E23).

والطريقة الأخرى تسمى إيزود (Izod test) ويكون الحز بعمق 2 مم كذلك وبزاوية 45 درجة ويعمل على مسافة ثلث العينة، ويكون التثبيت من ناحية الطول الأكبر في العينة كما أن الطرق يكون من ناحية الحز وعلى الطرف الصغير كما بالشكل(4-8).

4- 4- 2 صلابة الكسر :

إن ما يعبر عنها بصلابة الكسر (Fracture Toughness) أي الصلابة عند إجهاد وإنفعال الكسر تتناسب مع الطاقة المستهلكة في التشوه اللدن ولكن من الصعوبة قياس هذه الطاقة عمليا ولذا أستحدث لها معامل يتناسب مع الإجهاد ويسمى معامل شدة الإجهاد (Stress intensity factor) ليحدد مقدار الإجهاد المؤدي إلى الكسر لمعظم المعادن، ويستخدم لذلك عينات ذات شق داخلي أو جانبي كما بالشكل(4-9).



شكل (4-9) يوضح وضع الشق الجانبي والداخلي عند قياس صلابة الكسر.

وعند تعريض العينة لإجهاد الشد فان الشق يزداد مع زيادة القوة المؤثرة حتى الانهيار، وخلال التجربة يتم قياس طول الشق ومقدار الإجهاد على فترات زمنية ويمكن حساب معامل شدة الإجهاد من المعادلة الآتية:

$$K_I = \alpha\sigma\sqrt{\pi a} \qquad (18-4)$$

عندما يكون: K_I: معامل شدة الإجهاد (Stress intensity factor).

σ: الإجهاد الاعتباري أو الهندسي (Nominal stress).

a: طول الشق (Crack).

α: معامل يعتمد على نوع العينة والشكل الهندسي للشق.

والجدير بالذكر أن الإنهيار الكامل أي الكسر لجسم ما يحدث عندما يصل معامل شدة الإجهاد إلى نقطة حرجة تسمى صلابة الكسر (Fracture toughness) أو معامل شدة الإجهاد الحرج (K_{Ic})، وهذا المعامل يمكن حسابه من المعادلة الآتية:

$$K_{IC} = \sigma_f \sqrt{\pi a_f} \qquad (19-4)$$

عندما يكون:

K_{IC} : صلابة الكسر وله وحدة ميجا باسكال م$^{1/2}$ أي (MP√m).

σ_f : الإجهاد الاعتيادي لحظة الكسر.

a_f : الطول الحرج للشق أي طول الشق لحظة الكسر.

ويمتاز هذا المعامل بأنه يقدم قيمة تعبر عن مقدار صلابة المعدن، والجدول (4 - 1) يبين قيمة صلابة الكسر لبعض السبائك غير الحديدية القوية.

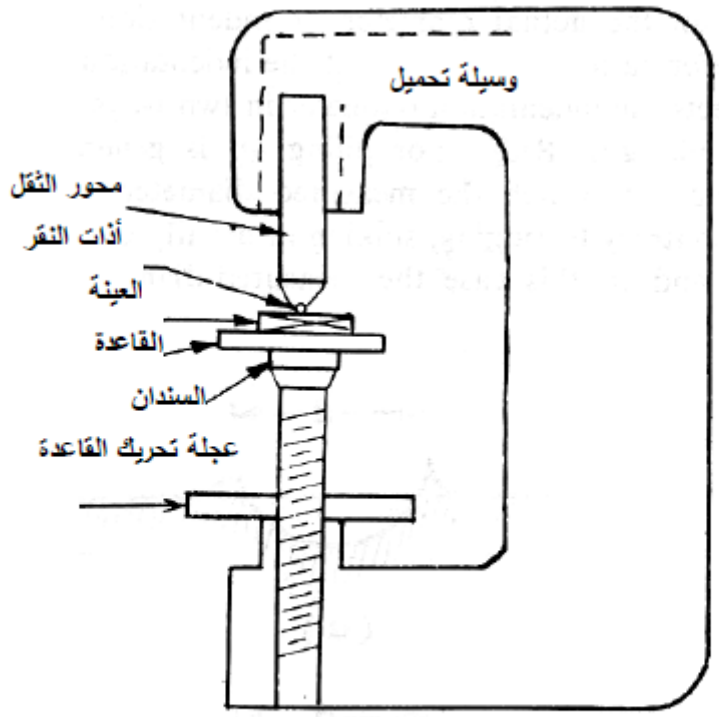
جدول(4 – 1) صلابة الكسر لبعض السبائك.

Material	K_{Ic} (MPa √m)
Ti-6 Al- 4V	54
2024-T3	26
7075 -T6	24

4-5 الصلادة (Hardness):

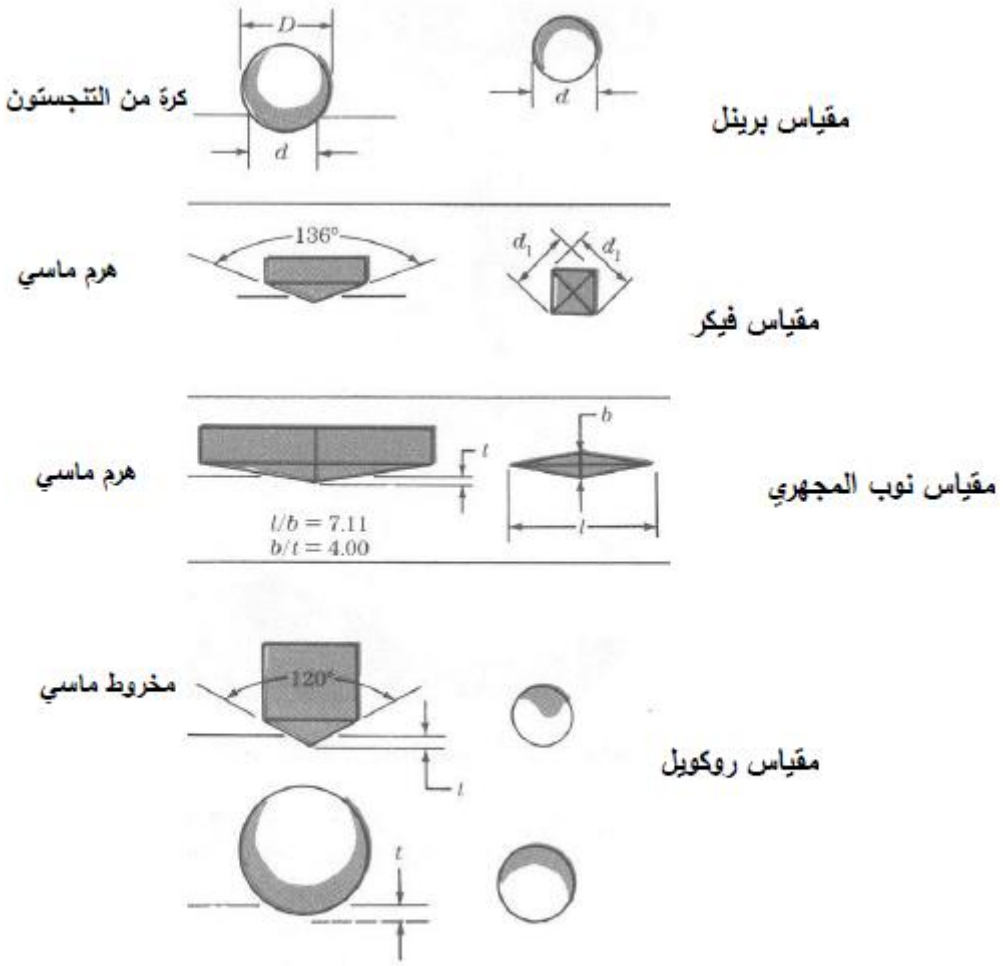
يعتمد مفهوم الصلادة على نوعية التخصص الدقيق الذي تستخدم لأجله، فمثلا عند مهندسو التصميم عادة ما تعني قيمة معينة تعطي معلومات عن قوة المعدن ومعالجته الحرارية، وبالنسبة للعاملين في مجال الإختبارات الميكانيكية فإنها تدل على مقاومة المعدن للخدش (Indentation)، كما أن وسائل إختبار الصلادة تتدرج من البسيطة جداً مثل إستخدام المبرد عند الحدادين أو الظفر عند الجيولوجيين إلى إستعمال وسائل رقمية متقدمة تعطي قيمة الصلادة مباشرة.

وتستخدم أدوات النقر المختلفة ضمن جهاز لقياس الصلادة يحتوي على ثقل أو وسيلة تحميل مع تدريج ووسيلة تثبيت للعينة كما بالشكل(4-10).



شكل(4 -10) يوضح تركيب ألة قياس الصلادة.

ولقد صممت معظم إختبارات الصلادة على أساس إستعمال أداة للخرق أو الخدش مؤثر عليها بقوة محددة لفترة زمنية معينة والشكل(4 -11) يبين أهم أدوات الخدش أو النقر المستعملة لقياس الصلادة .



شكل (4 - 11) طرق إختبار الصلادة و أذات الإختبار في كل منها.

4-5-1 مقياس الصلادة لبرينل (Brinell Hardness):

يستخدم مقياس برينل كرة من الصلب أو التنجستون ذات قطر 10 مم كأذات للنقر وتعرض الكرة لوزن قدره 3000 كجم لمدة 10 أو 15 ثانية . أما بالنسبة للمعادن والمواد الأقل صلابة فإن الوزن يخفض إلى 500 كجم والزمن إلى 30 ثانية، ويقاس قطر آثر الكرة على المعدن بمجهر معد بتدريج من المليمترات ويمكن تعيين الصلادة من التدريج أو بالتعويض في المعادلة الآتية:

$$BHN = \frac{P}{(\pi D/2)(D-\sqrt{D^2-d^2})} = \frac{2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})} \qquad (20-4)$$

عندما يكون:

P: مقدار الثقل بالكيلوجرام. d: قطر آثر الكرة بالمليمتر.

D: قطر الكرة بالمليمتر. t: عمق الأثر بالمليمتر.

BHN: مقياس برينل للصلادة كجم / مم2

4-5-2 مقياس فيكر للصلادة (Vickers hardness)

يستعمل لقياس الصلادة في هذه الحالة هرم ماسي ذو قاعدة مربعة وزاوية بين الأضلاع تساوي 136 درجة كأذات للنقر، ويتم قياس الصلادة بتعيين طول قطر مربع الأثر ثم التعويض في معادلة فيكر الآتية:

$$VHN = \frac{2P\sin(\pi/2)}{l^2} = \frac{1.845P}{l^2} \qquad (21-4)$$

عندما يكون : P مقدار الثقل (كجم)

L: طول قطر مربع الأثر بالمليمتر.

θ : الزاوية بين أي سطحين متقابلين في الهرم وتساوى 136 درجة.

ومن مميزات هذا المقياس تدرج قيم الصلابة للمعادن من الأقل صلابة عند 5 كجم/مم2 إلى المعادن الصلبة جدا بمقدار 1500 كجم/مم2.

4-5-3 مقياس روكويل للصلادة:

يستعمل مقياس روكويل مخروط بزاوية 120 درجة مثبت على رأسه كرة من الحديد لها قطر 1/8 أو 1/16 بوصة كأذات للنقر ويتم قياس عمق النقر في المعدن بعد تسليط وزن قدره 60 أو 100 أو 150 كجم ويقاس العمق آليا .

وتكون نتيجة القياس عبارة عن رقم وحرف فمثلا:

المواد الصلدة جداً تقدر على مقياس (C) وتقاس ما بين RC 20 و RC 70

والمواد الأقل صلادة تكون على مقياس B أو A

4-5-4 الصلادة المجهرية (Microhardness):

تمتاز طريقة قياس الصلادة المجهرية بخصوصيتها لقياس الصلادة على سطح صغير جداً من المادة، أي تحت المجهر، وكذلك إمكانية التركيز على طور معين على سطح المادة أو المعدن كما بالشكل(4-12) ، ويستعمل لذلك هرم ماسي رباعي نسبة القطر الكبير إلى الصغير يساوى 7 إلى 1 وثقل مقداره 25 كجم، ويتم إيجاد قيمة الصلادة من قياس الطول الأكبر في المعين الناتج عن أثر الهرم في العينة، ثم التعويض في معادلة نوب للصلادة المجهرية.

$$KHN = \frac{P}{A_p} = \frac{P}{l^2 C} = \frac{14.2P}{l^2} \qquad (22-4)$$

عندما يكون:

KHN: الصلادة المجهرية أو صلادة نوب (Knoop Hardness)

P: الثقل بالكيلوجرام

Ap: مساحة أثر النقر بالمليمترات المربعة .

l: طول القطر الأكبر في قاعدة الهرم مم.

C: ثابت لنوع الهرم يحدده المصنع.

ورغم أن هذه الطريقة دقيقة جداً في إختبارات الأماكن التي يمكن قياس الصلادة لها فان العينات تحتاج إلى تحضير جيد قبل إستعمالها .