

# الباب الثامن

## صلادة المعادن

( HARDNESS OF METALS )

مقدمة :

( ١ ) تعريف صلادة المعادن (ب) مجال اختبار صلادة المعادن .

أولاً صلادة المعادن .

( ١ ) اختبار صلادة المعادن بطريقة برنل . (ب) اختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز . ( ج ) اختبار صلادة المعادن بطريقة ركول .  
( و ) صلادة العلامة بالتحميل الديناميكي .

ثانياً - صلادة الارتداد .

ثالثاً - صلادة الخدش :

رابعاً - صلادة التآكل

خامساً - صلادة التشغيلية بالمكينات

سادساً - علاقات أرقام الصلادة واختلافاتها

( ١ ) العلاقة بين أرقام الصلادة المعينة بالطرق المختلفة .  
(ب) العلاقة بين رقم برنل للصلادة ومقاومة الشد المعادن .  
( ج ) اختلاف رقم برنل .

سابعاً - العوامل المؤثرة على صلادة المعادن

ثامناً - الاستعراض الإجمالي للصلادة

## مقدمة :

## ١ - تعريف صلادة المعادن :

صلادة أى معدن هى الخاصية التى تمكنه من الاحتفاظ بشكل سطحه سليماً متناسكاً تحت تأثير الأحمال . وقد تعرف الصلادة بأنها قدرة المعدن (سطح المعدن) على مقاومة حدوث علامة به ( Indentation ) أو مقاومة البرى ( Abrasion ) أى مقاومة التآكل نتيجة الاحتكاك . وهذا التعريف لا يمكن اعتباره عاماً حيث أن بعض المعادن مثل الصلب المنجىزى له مقاومة قليلة لحدوث العلامة به وفى الوقت نفسه له القدرة على مقاومة البرى بدرجة عالية . لذلك فلم يتمكن الآن من إيجاد تعريف أساسى يحدد خاصية الصلادة وينطبق على كل المعادن ولكن يمكن إيجاد طرق لمقاومة الصلادة النسبية للمعادن بعضها ببعض . وقد عرفت الصلادة طبقاً لهذه الطرق كما يأتى :

## ١ - صلادة العلامة : ( Indentation Hardness )

وهى خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل استاتيكي وديناميكي .

## ٢ - صلادة الارتداد : ( Rebound Hardness )

وهى خاصية قدرة المعدن على الرجوعية أى امتصاص الطاقة وإعادتها ثانية بعد إزالة الأحمال المؤثرة مسببة إرتداداً لها تكبر قيمته كلما كبرت صلادة المعدن .

## ٣ - صلادة الخدش : ( Scratch Hardness ) .

وهى خاصية مقاومة سطح المعدن للخدش .

## ٤ - صلادة التآكل ( Wear Hardness ) .

وهى خاصية مقاومة سطح المعدن للبرى أى التآكل نتيجة للاحتكاك .

## ٥ - صلادة التشغيلية بالمكينات : ( Machineability Hardness ) :

وهى خاصية مقاومة المعدن للتشغيل بالمكينات مثل عمليات القطع والتعب والتقص . . إلخ .

ويلاحظ أن الطرق سائلة الذكر التي تصف وتعين صلادة المعدن تختلف عن بعضها في معناها وهدفها وبرغم ذلك التباعد إلا أن كل طريقة لها فائدة كبيرة في المقارنة الكمية لصلادة المعادن عند استخدامها في أغراض التشغيل المختلفة فثلا صلادة العلامة يقين أهميتها في مقارنة صلادة ألواح المدرجات الحربية لمقاومة اختراق القذائف و صلادة الارتداد تستخدم في اختبار المعادن ذات الصلادة المناسبة للياباات و صلادة الخدش تفيد في تقدير صلادة المعادن في عمليات البرد وعند تعرض المعدن للخدش أثناء التشغيل أما صلادة البري فتظهر قيمتها في تحديد صلادة المعادن اللازمة لسطوح العجلات الحديدية للقطارات والقضبان الحديدية حتى تكون ذات مقاومة كافية للتآكل نتيجة الاحتكاك و صلادة التشغيلية بالمسكنات ذات فائدة قيمة عند تشكيل المعادن بالخرطة والمثقاب وغيرها بالورشة .

كما يلاحظ أن مقاييس الصلادة المختلفة المذكورة ترتبط بالقوى الداخلية لجزيئات المعدن الأمر الذي يوضح أن استخدام أية طريقة لمقارنة صلادة المعادن تكون ذات قيمة عملية إذا أجهريت فقط على المعادن المتشابهة — فثلا — صلادة العلامة ليست بذات معنى ، أو نتيجة إذا عملت للبطاط ولكنها أداة فعالة لمقارنة وبيان صلادة أنواع الصلب المختلفة .

#### ب — مجال اختبار صلادة المعادن :

إن اختبار صلادة المعادة له مجال متسع في الصناعة وتنص معظم المواصفات القياسية على ضرورة إجرائه للمعادن وللنتجات المعدنية كاختبار قبول .  
وتستخدم نتائج اختبارات الصلادة في الأغراض الآتية .

١ — ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث أن لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها في الصناعة وفي التشغيل .

٣ — التحكم في مستوى الإنتاج ومراقبته أثناء التصنيع ، وذلك بتعيين صلادة المنتجات فإذا ما اكتشفت قطعة أو أجزاء مخالفة لاشتراطات التشغيل أمكن استبعادها وبذلك نحصل على إنتاج منتظم . . كما أنه إذا اتضح من اختبارات الصلادة

أن مجموعة كبيرة من الإنتاج غير مطابقة للصلادة المطلوبة أمكن إيقاف الإنتاج مؤقتاً للبحث عن السبب وملافاته فيتحسن الإنتاج وتقل الخسائر .

٣ — ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب أثناء الصناعة — حيث أن لكل نسبة كربون معامل صلادة معين — بإجراء اختبار الصلادة السريع والسهل يمكن التزود بالبيانات اللازمة ،

٤ — بيان مدى تأثير طريقة تشغيل المعدن للشكل المطلوب على صلادته وذلك باختبار صلادته قبل وبعد التشغيل لمعرفة تأثير عمليات الدلفنة على البارد أو الساخن أو عمليات السحب البارد . . . إلخ .

٥ — دراسة تأثير عمليات المعاملة الحرارية والتأكد من صحة إجرائها وتغييرها صلادة المعدن طبقاً لذلك حيث أن عمليات التخمير (Annealing) والتسقية (Quenching) والمرجمة (Tempering) والتصليد بالتغليف (Case-hardening) وتخفيض نسبة الكربون (Decarburization) لها تأثير مباشر على صلادة سطوح المعادن .

٦ — معرفة الخواص الميكانيكية للمعادن المتعلقة بخاصية الصلادة فثلا صلادة العلامة تناسب طردياً مع مقاومة الشد وتوجد معادلة تحدد هذا تناسب وبذلك يمكننا باختبار الصلادة تعيين مقاومة الشد دون الالتجاء إلى إجراء اختبار الشد وهو اختبار متلف (Destructive test) وتنطبق تلك النتيجة على أجزاء المسكنات أو العينات التي يراد معرفة مقاومتها للشد ولا يمكن تجهيز عينات شد منها لتعذر ذلك نتيجة صغر الجزء موضوع الاختبار أو للرغبة في عدم كسر أو إتلاف ذلك الجزء الأمر الذي يجعل اختبار الصلادة عبارة عن اختبار غير متلف للنتجات المعدنية .

## أولاً - صلادة العلامة

تحدد صلادة المعادن بهذه الطريقة بواسطة عمل علامة بها بالضغط على سطحها بجسم يترك أثراً بعد إزالة الضغط الذي يؤثر به في مدة بسيطة تتراوح من ١٥ إلى ٣٠ ثانية وتُقارن صلادة المعادن بقياس عرض الأثر أو عمقه فكلما زادت قيمته كلما كان المعدن أقل صلادة وبالعكس . ويمكن أيضاً تعيين رتْم صلادة للمعدن بحساب الإجهاد الحادث من تحميل الضغط والذي يساوى حمل الضغط مقسوماً على مساحة الأثر على المعدن المختبر ، ويعتبر هذا الإجهاد رقماً للمقارنة ولا يذكر له الوحدات المميزة للإجهاد ( كجم / سم<sup>٢</sup> مثلاً ) حيث أنه يحسب دائماً على أساس وحدات من نوع ثابت أى حمل الضغط بالكيلوجرام وأبعاد الأثر بالمليمتر .

والجسم الذي يؤثر به في المعدن المختبر ( Indentor ) قد يكون كرة صغيرة من الصلب ويسمى ذلك الاختبار في هذه الحالة باختبار برنل ( Brinell ) أما إذا كان الجسم هراً ماسياً دقيقاً فيسمى باختبار فيكرز ( Vickers ) وفي حالة اختبار ركول ( Rockwell ) يكون الجسم عبارة عن كرة دقيقة من الصلب أو مخروط له حرف مستدير دقيق من الماس ( Bral ) .

وتعتبر صلادة العلامة طريقة رئيسية هامة لتحديد ومقارنة صلادة المعادن والمنتجات المعدنية وللتفتيش عليها وللتحكم في مستوى الإنتاج وذلك لسهولة هذه الطريقة وإعطائها الدقة المطلوبة مع قلة تكاليفها واحتياجها إلى خبرة بسيطة لإمكان إجرائها بالإضافة إلى أنها طريقة اختبار غير متلفة لذلك إنتشر إستخدامها في الصناعة سواء في اختبار المواد الخام أو المصبوبات ( Castings ) أو المطروقات ( Forgings ) أو الألواح أو القضبان أو المنتجات المنتهية :

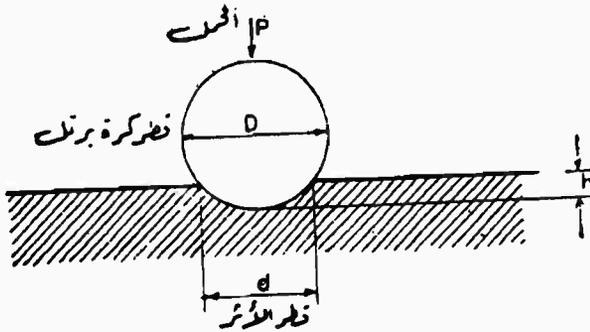
### ١ - اختبار صلادة المعادن بطريقة برنل ( Brinell )

١ - طريقة الاختبار : تلخص هذه الطريقة : في ضغط كرة من الصلب قطرها ( D ) مم بحمل قدره ( P ) كجم ثم قياس الأثر ( d ) مم الناتج من هذا الضغط على سطح

قطعة الاختبار وذلك بعد إزالة الحمل المؤثر كما هو مبين بالشكل رقم (٨-١).  
ويعبر عن صلادة المعدن المختبر برقم برنل للصلادة الذي يحسب كما يلي:

$$\text{رقم برنل للصلادة} = \frac{\text{حمل الاختبار كجم}}{\text{مساحة أثر الكرة على قطعة الاختبار م}^2}$$

$$\text{Brinell Hardness Number} = P / \pi D h$$



شكل رقم (٨ - ١) اختبار برنل للصلادة

$$B \cdot H \cdot N = \frac{P}{\pi D \cdot (D/2 - \sqrt{(D/2)^2 - (d/2)^2})}$$

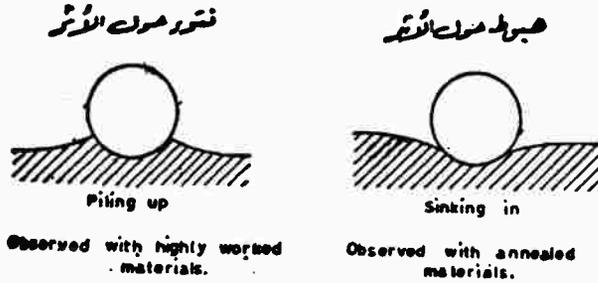
$$= \frac{P}{\pi D/2 (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

حيث  $D$  = قطر برنل بالمليمتر .

$d$  = قطر الأثر بالمليمتر ،  $P$  = حمل الاختبار بالكيلوجرام

ويراعى قياس قطر الأثر ( $d$ ) في اتجاهين متعامدين واعتبار متوسطهما عند حساب رقم برنل للصلادة ، كما يراعى أيضاً أن يكون القياس دقيقاً حتى ٠,٠١ و ٠,٠٥ وأن يكون الأثر بشكل وعمق يمكن من دقة القياس أى لا يكون قليل العمق بدرجة تكون هبوط حول الأثر أو لا يكون كبير العمق بدرجة تكون نتوء حول الأثر كما يتبين من الشكل رقم (٨ - ٢) ويعتبر الأثر مناسباً لحساب رقم برنل إذا كانت قيمة قطرة تتراوح من  $\frac{1}{4}$  إلى  $\frac{1}{2}$  قطرة الكرة .

أى أن :  $d / D = 0.25 - 0.5$  أى بمتوسط :  $d / D = 0.375$



تأثير حراري يؤثر (المنزعة) تموقع المواد بحالة التشغيل  
تأثير حراري يؤثر (المنزعة) تموقع المواد بحالة التشغيل  
على دقة القياس

شكل رقم ( ٨ - ٢ )

## ٢ - جهاز الاختبار :

مكنة الاختبار : يمكن استخدام أى نوع مناسب من مكينات إختبار الضغط أو مكينات الاختبار العامة تركيب في أحد وجهي الضغط وصحة خاصة كما في الشكل ( ٨ - ٣ ) بها الكزة الصلب للضغط بها على قطعة الاختبار بحمل معين على الأزيد أصغر قراءة لتدرجات حمل المكنة على ٠,٥ ٪ من حمل الاختبار وأن تكون دقة مكنة الاختبار في حدود ٠,٥ ٪ من حمل الاختبار . ثم يقاس قطر الأثر باستخدام ميكرومتر مجهرى الشكل رقم ( ٨ - ٤ ) كما يمكن إستخدام مكينات خاصة لاختبار برنل للصلادة شكل رقم ( ٨ - ٨٠٥ - ٦ ) تقوم بعمل الأثر المطلوب وبيانه مكبر على شاشة صغيرة بالجهاز بها ميكرومتر يمكن من قياس قطر الأثر بدقة وسهولة ، كما توجد مكينات لإختبار برنل تعين رقم برنل مباشرة على قرص مدرج أو على مقياس متصل بها الأمر الذي يبسط تحديد صلادة برنل مع السرعة بتوفير عملية الحساب .

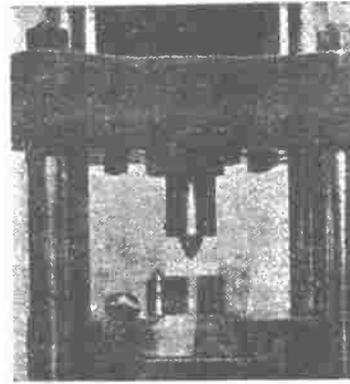
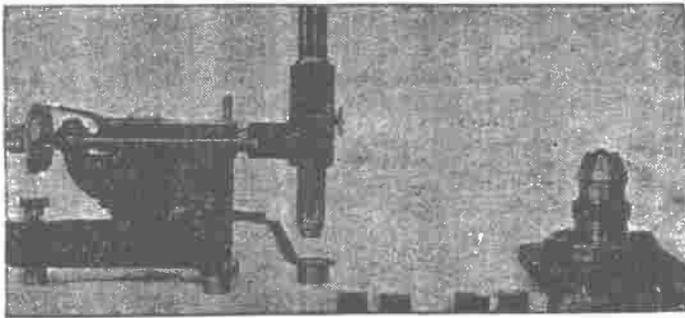
كرات برنل : تصنع كرات برنل من الصلب المعصلد ويجب أن يكون سطح الكرات أملساً وخالياً من العيوب . والكرات المستعملة في هذا الاختبار تكون بأحد الأقطار الاعتيادية المبينة بالجدول رقم ( ٨ - ١ ) .

## جدول رقم (٨ - ١) - الأقطار الإعتبارية لكرات برتل

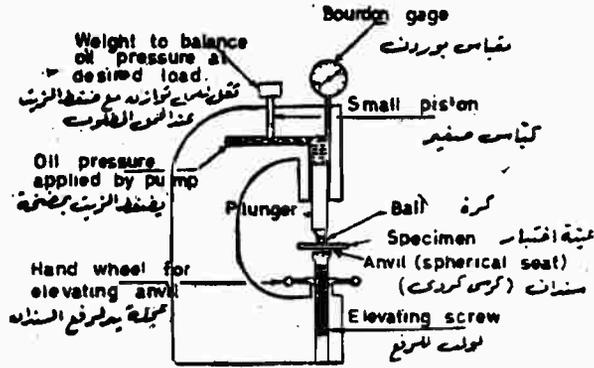
|              |              |              |              |                        |
|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|
| ١            | ٢            | ٥            | ١٠           | قطر الكرة الاعتباري مم |
| $0,0025 \pm$ | $0,0025 \pm$ | $0,0040 \pm$ | $0,0045 \pm$ | حدود السماح مم         |



شكل رقم (٥ - ٨) .مكنة اختبار برتل للصلادة

شكل رقم (٣ - ٨)  
وصلة خاصة باختبار برتل مركبة  
بمكنة الاختبار العامة

شكل رقم (٤ - ٨) الميكرومتر المجهري



FEATURES OF HYDRAULIC TYPE-BRINELL MACHINE

## أجزاء مكنة "برنل" الهيدروليكية

تكل رقم ( ٨ - ٦ )

كما يجوز استخدام كرة قطرها ٣,٥ مم بحدود سماح ٣٥,٠٠٠  
ويراعى بعد إجراء اختبار برنل التأكد من عدم حدوث عيوب سطحية بالكرة  
لوتغير في قطرها قيمته أكثر من الحدود المسموح بها وإلا تُلغى نتيجة الاختبار وتعتبر  
الكرة غير صالحة .

ويتوقف اختبار قطر الكرة المناسب للاختبار على أبعاد وحجم عينة الاختبار ،  
وعلى حالة جزيئات سطح المعدن المختبر . وكلما صغرت أبعاد العينة أو قل سمكها كلما  
استلزم الأمر ضرورة استعمال كرة صغيرة ، كما أنه كلما كبرت جزيئات سطح المعدن  
مثل الحديد الزهر كلما استلزم الأمر ضرورة استعمال كرات كبيرة ١٠ مم أو ٥ مم على  
الأقل وذلك حتى يقع تحت الكرة ويقاوم تأثير التحميل عند مناسب من جزيئات  
السطح حتى تمثل مقاومتها في مجموعها صلادة السطح الصحيحة بدلا من استعمال كرة  
صغيرة يعبر أثرها عن صلادة جزء أو جزيئات قليلة للمعدن قد لا تمثل تماماً حالة  
السطح ، وذلك لعدم انتظام التركيب الجزئى تمام للمعادن .

٢ - العلاقة بين قطر كرة برنل او حمل الاختبار .

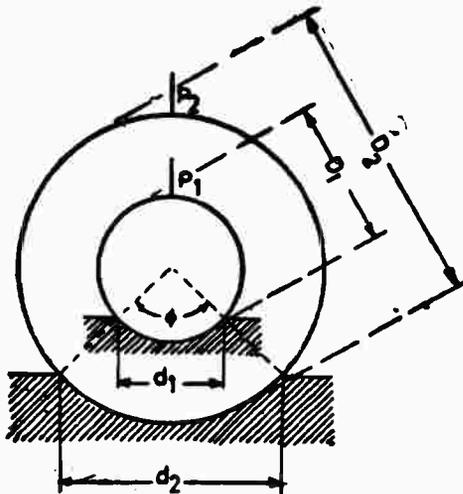
يراعى أن حمل الاختبار المناسب للمعدن المختبر لا بد وأن تستعمل معه كرة ذات

قطر مناسب حتى نحصل على أثر مناسب لقياس قطره بدقة أى حتى نستوفى الشرط  
 $d / D = 0.5 - 0.25$  ، عدد ثابت وذلك مهما اختلف نوع المعدن المختبر .  
 ويتطلب هذا الشرط أن يكون الأثر متماثاً هندسياً ( Geometrically Similar )  
 مهما اختلفت أقطار كرات برنلى والأحمال المستخدمة ، كما يبين من الشكل  
 رقم ( ٨ - ٧ ) .

وقد تبين من التجارب المختلفة أن متوسط إجهاد الضغط للتحميل على سطح المعدن  
 عدد ثابت عند الحصول على آثار كرات برنلى بحيث تتشابه تلك الآثار هندسياً مع  
 اختلاف أقطارها والأحمال المؤثر أى أن :

$$\text{إجهاد الضغط} = \frac{p}{\pi d^2 / 4} = \epsilon = \text{عدد ثابت للمعدن الواحد}$$

أى أن :  $p / d^2 = \text{ثابت}$



CONDITIONS FOR SIMILARITY IN IMPRESSIONS

حالات التشابه في الأثر  
 (أفتبار برنلى لتحميلية)

شكل رقم ( ٨ - ٧ )

حيث  $P =$  الحمل المؤثر بالكيلو جرام

$d =$  قطر الأثر بالمليمتر

$D =$  قطر كرة برنل بالمليمتر

يتبين مما سبق أن  $\frac{1}{D}$  ثابت ،  $\frac{P}{D^2}$  ثابت

وعلى ذلك تكون العلاقة بين قطر كرة برنل وحمل الاختبار هي :

$$\frac{P}{d^2} = \frac{\text{حمل الاختبار}}{(\text{قطر كرة برنل})^2} = \text{عدد ثابت}$$

ويختلف هذا العدد الثابت باختلاف نوع المعدن ، وتتوقف قيمته على متوسط صلادة المعدن . وقد عينت بالتجارب قيمته بحيث تستوفي للشرط : أن يكون  $\frac{d}{D}$  محصوراً بين ٠,٥ ، ٠,٢٥ . عند اختيار كل معدن .

ويبين الجدول رقم (٨ - ٢) قيمة هذا العدد الثابت والمعادن التي يستخدم لها عند تحديد الحمل وقطر الكرة المناظر له لإجراء الاختبار الصحيح للصلادة .

جدول رقم (٨ - ٢) قيمة الثابت (الحمل على مربع قطر كرة برنل) للمعادن المختلفة

| رقم برنل للصلادة | أمثلة من المعادن               | الثابت $\frac{P}{D^2}$ |
|------------------|--------------------------------|------------------------|
| أكبر من ١٦٠      | المعادن الحديدية               | ٣٠                     |
| من ٦٠ إلى ١٦٠    | سبائك النحاس وسبائك الألومنيوم | ١٠                     |
| من ٢٠ إلى ٦٠     | النحاس - الألومنيوم            | ٥                      |
| أقل من ٢٠        | الرصاص - القصدير وسبائكهما     | ١                      |

٤ - الأعمال المستعملة لاختبار برنل للصلادة :

إذا أريد اختبار صلادة معدن معين وتم اختيار كرة برنل مناسبة (ذات قطر معين  $D$ ) ، فيمكن حساب قيمة الحمل المستعمل في الاختبار من المعادلة عدد ثابت  $\frac{P}{D^2}$  بمعلومية نوع المعدن الذي يحدد قيمة الثابت على أساسه من الجدول رقم (٨ - ٢) .

فثلا إذا كان المعدن من الصلب وكرة برنل قطر ١٠ مم فيكون الحمل اللازم للاختبار = ٣٠٠٠ كجم كالآتي :

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

$$\therefore P = 8000 \text{ kg}$$

ويبين الجدول رقم (٨-٣) الاحمال المستعملة في اختبار برنل للمعادن المختلفة .  
الجدول رقم (٨-٣) الاحمال المستعملة في اختبار برنل

| الحمل P كجم             |      |     |     | قطر كرة برنل<br>D مم |
|-------------------------|------|-----|-----|----------------------|
| الثابت P/D <sup>2</sup> |      |     |     |                      |
| ٣٠                      | ١٠   | ٥   | ١   |                      |
| ٣٠                      | ١٠   | ٥   | ١   | ١                    |
| ١٢٠                     | ٤٠   | ٢٠  | ٤   | ٢                    |
| ٧٥٠                     | ٢٥٠  | ١٢٥ | ٢٥  | ٥                    |
| ٣٠٠٠                    | ١٠٠٠ | ٥٠٠ | ١٠٠ | ١٠                   |

٥ - قطعة الاختبار :

سمك قطعة الاختبار : يجب ألا يقل سمك قطعة الاختبار عن عشرة أمثال عمق الأثر والذي يحسب من المعادلة :

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

حيث : h = عمق الأثر بالمليمتر

B.H. N. = عمق الأثر بالمليمتر

P = رقم برنل للصلادة

D = قطر كرة برنل بالمليمتر

ويجب ألا يظهر أى انبعاج للسطح الخلفي من قطعة الاختبار ، ناتج من تأثير ضغط الحمل على الوجه المقابل لسطح قطعة الاختبار ، بعد إجراء الاختبار .

ويبين الجدول رقم (٨ - ٤) الحد الأدنى لسلك قطعة الاختبار .  
جدول رقم (٨ - ٤) الحد الأدنى لسلك قطعة الاختبار بالنسبة لارقام برنل للصلادة

| رقم برنل للصلادة     |      |      |      |       | الحمل<br>كجم | قطر الكرة<br>مم |
|----------------------|------|------|------|-------|--------------|-----------------|
| ٢٠                   | ١٥   | ١٠   | ٥    | ١     |              |                 |
| الحد الأدنى للسلك مم |      |      |      |       |              |                 |
| —                    | —    | ٠,٣٣ | ٠,٦٣ | ٣,١٧  | ١            | ١               |
| ٠,٣٣                 | ٠,٤٣ | ٠,٦٠ | ١,٢٧ | ٦,٣٥  | ٤            | ٢               |
| ٠,٧٩                 | ١,٠٦ | ١,٦٠ | ٣,١٧ | ١٥,٨٣ | ٢٥           | ٥               |
| ١,٦٠                 | ٢,٣٨ | ٣,١٧ | ٦,٣٥ | ٣١,٧٥ | ١٠٠          | ١٠              |
| ٧٠                   | ٦٠   | ٥٠   | ٤٠   | ٣٠    |              |                 |
| —                    | ٠,٢٦ | ٠,٣٣ | ٠,٤١ | ٠,٥٣  | ٥            | ١               |
| ٠,٤٦                 | ٠,٥٣ | ٠,٦٤ | ٠,٧٩ | ١,٠٦  | ٢٠           | ٢               |
| ١,١٢                 | ١,٣٢ | ١,٦٠ | ١,٩٢ | ٢,٦٧  | ١٢٥          | ٥               |
| ٢,٢٥                 | ٢,٦٤ | ٣,١٧ | ٤,٠٠ | ٥,٣٠  | ٥٠٠          | ١٠              |
| ١٥٠                  | ١٤٠  | ١٢٠  | ١٠٠  | ٨٠    |              |                 |
| —                    | —    | ٠,٢٨ | ٠,٣٣ | ٠,٤١  | ١٠           | ١               |
| ٠,٤٣                 | ٠,٤٦ | ٠,٥٣ | ٠,٦٣ | ٠,٧٩  | ٤٠           | ٢               |
| ١,٠٦                 | ١,١٣ | ١,٣٢ | ٠,٥٩ | ١,٩٨  | ٢٥٠          | ٥               |
| ٢,١٠                 | ٢,٢٥ | ٢,٦٤ | ٣,١٧ | ٤,٠٠  | ١٠٠٠         | ١٠              |
| ٥٠٠                  | ٤٠٠  | ٣٠٠  | ٢٠٠  | ١٥٠   |              |                 |
| —                    | —    | ٠,٣٣ | ٠,٤٨ | ٠,٦٣  | ٣٠           | ١               |
| ٠,٣٨                 | ٠,٤٨ | ٠,٦٣ | ٠,٩٦ | ١,٢٧  | ١٢٠          | ٢               |
| ٠,٩٤                 | ١,١٩ | ١,٦٠ | ٢,٣٨ | ٣,١٧  | ٧٥٠          | ٥               |
| ١,٩٠                 | ١,٣٨ | ٣,١٧ | ٤,٧٧ | ٦,٣٨  | ٣٠٠٠         | ١٠              |

سطح قطعة الاختبار : يجب أن يكون سطح قطعة الاختبار مصقولاً بدرجة تسمح بقياس قطر أثر كرة برنفل بمقياس دقته ٠.٠١ مم ويكون ذلك بالبرد أو التخليخ وذلك في حالة استعمال كرة برنفل ذات قطر ١٠ مم أو ٥ مم . أما في حالة استعمال الكرة ذات قطر ٢ مم فيكون الصقل باستعمال ورق صنفرة ( ٣ أصفار ) ويراعى أن يكون سطح قطعة الاختبار بعد صقله خالياً من الشوائب مثل القشور أو الزيوت أو الشحم . كما يجب مراعاة ألا تؤثر طريقة تجهيز سطح قطعة الاختبار على صلادة المعدن المختبر .

موضع أثر كرة برنفل : يجب ألا تقل المسافة بين مركز أثر كرة برنفل وأقرب حافة لقطعة الاختبار عن مرتين ونصف مرة من قطر الأثر ، وكذلك ألا تقل المسافة بين مركزي أثرتين متجاورين عن أربع مرات قطر الأثر .

#### ٦ - إجراء الاختبار :

يجرى اختبار برنفل للصلادة في درجة الحرارة العادية ويكون ذلك بوضع قطعة الاختبار على مرتكز صلب ثابت حتى لا تحدث إزاحة أثناء إجراء الاختبار ثم توضع كرة برنفل المناسبة على سطح قطعة الاختبار ويضغط عليها بحمل عمودي على سطح قطعة الاختبار ويزاد هذا الحمل تدريجياً حتى تصل قيمته إلى الحمل المناسب للمعدن المختبر المقابل لكرة برنفل المستعملة ، ثم يترك هذا الحمل مؤثراً على قطعة الاختبار فترة لا تقل عن ١٥ ثانية وبعد ذلك يزال الحمل ويقاس قطر الأثر ويحسب رقم برنفل للصلادة

ويحسن عند ذكر رقم برنفل للصلادة بيان قطر الكرة وقيمة الحمل المستخدم في الاختبار مثل ص ٠ ب ٠ ( ٢٠٠٠ / ١٠ ) أي رقم صلادة برنفل معين باستخدام كرة قطرها ١٠ مم وحمل قيمته ٢٠٠٠ كما يحسن إجراء أكثر من اختبار على القطعة الواحدة وأخذ متوسط النتائج وذلك كلما سمحت مساحة قطعة الاختبار بذلك .

#### ٧ - حدود استخدام طريقة برنفل للصلادة .

يعتبر استخدام طريقة برنفل لاختبار صلادة المعادن غير صحيح في الأحوال الآتية :

— إذا كان المعدن المختبر شديد الصلادة حيث يخشى على كرة برنل من أن تغير شكلها  
فذلك لا تحدث علامة حقيقية تمثل صلادة المعدن المختبر .

— إذا كانت العينة المختبرة رقيقة جداً أى ذات سمك صغير حيث تحدث كرة  
برنل بسطح المعدن إنبعاجاً يظهر أثره من الجانب الآخر وتكون نسبة عمق الأثر إلى  
سمك العينة لا تتفق مع ما سبق تحديده وبذلك لا يعبر رقم برنل في هذه الحالة عن صلادة  
المعدن الحقيقية .

— إذا كانت العينة المختبرة مصلدة بالتغليف حيث ينتظر أن يكون أثر كرة برنل  
له عمق أكبر من سمك الجزء المصلد وحينئذ لا يمثل رقم برنل صلادة الغلاف المصلد  
لسطح العينة وهو عرض الإختبار .

( ب ) إختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز : ( Vickers ) .

١ — طريقة الإختبار : يجرى هذا الإختبار بنفس طريقة إختبار برنل شكل رقم  
( ٨ - ٨ ) ولكن الجسم المؤثر بالحمل المحدث للأثر ليس كرة مصلدة من الصلب ولكن  
عبارة عن هرم من الماس مربع القاعدة وتتقاطع مستوياته عند الحروف بزاوية  $\Theta$   
قدرها ١٣٦° . يعين بعد التحميل - في هذه الحالة أكبر مقاس للأثر أى قطر الأثر  $D$  ،  
ويحسب رقم فيكرز للصلادة كالاتى :

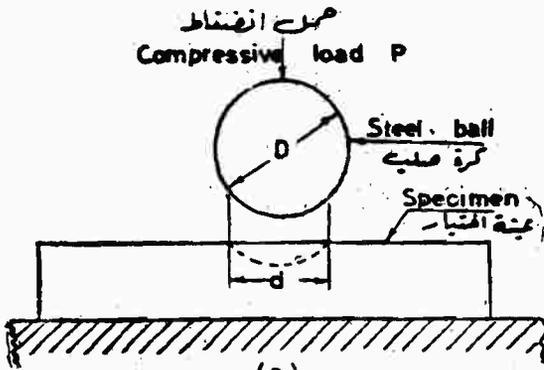
$$\text{رقم فيكرز للصلادة} = \frac{\text{الحمل (كجم)}}{\text{مساحة الأثر على قطعة الإختبار (مم}^2\text{)}}$$

$$\text{Vickers hardness number} = \frac{2 P \sin \Theta / 2}{D} = 1.854 \frac{P}{D}$$

حيث الحمل  $P$  = كجم

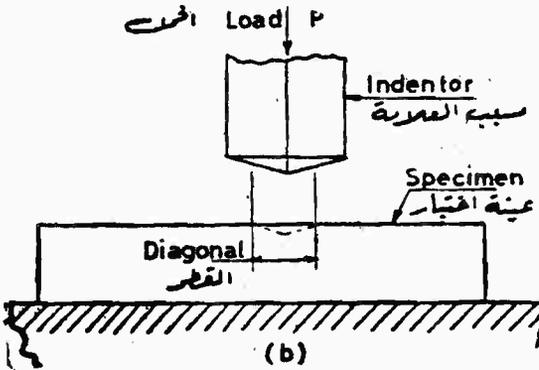
قطر الأثر  $D$  = مم ( شكل رقم ٨ - ٨٠٩ - ١٠٠ )

٢ — جهاز الإختبار : يكون إجراء إختبار الصلادة للأجسام بطريقة فيكرز  
بجهاز خاص ( شكل ٨ - ١١ ) يقوم بتحميل قطعة الإختبار بأحد الاحمال ١٠٠ أو ٥٠٠  
أو ٢٠ أو ١٠ أو ٥ كجم وحسب إختيار القائم بالإختبار طبقاً لحالة صلادة



(a)

برنل Brinell



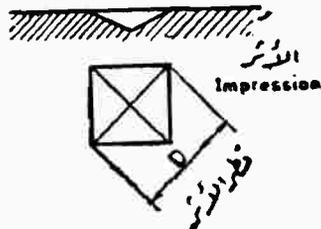
(b)

فيكرز Vickers

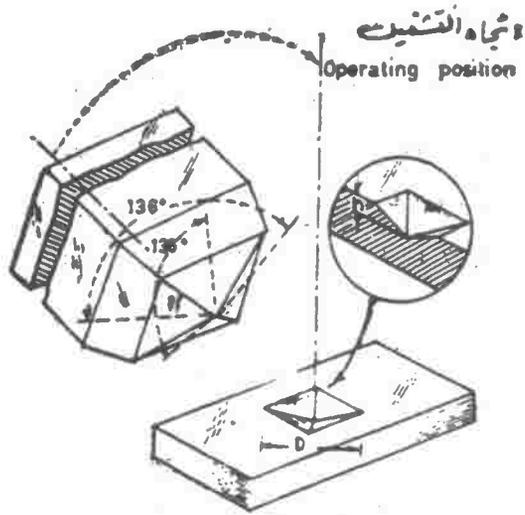
INDENTATIONS BY BRINELL AND VICKERS  
HARDNESS TESTERS

صلاة العلامة بجهازى اختبار برنل و فيكرز

(شكل رقم ٨ - ٨)



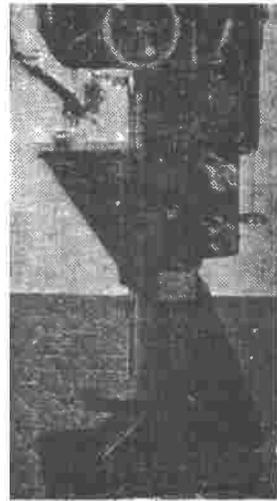
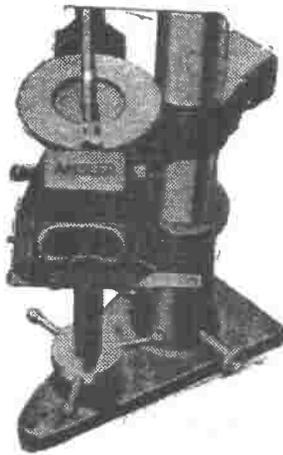
شكل رقم (٨ - ٩) آهر المهرم الماسى لاختبار فيكرز



SCHEMATIC DRAWING OF 136° DIAMOND PYRAMID INDENTER AND INDENTATION SHAPE

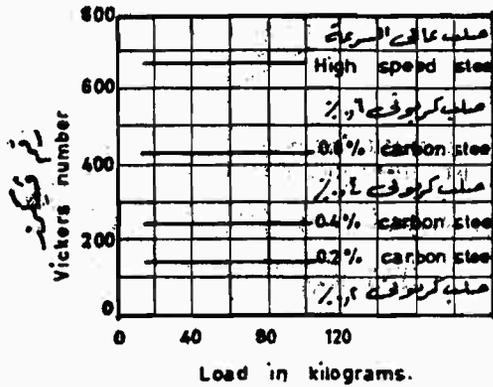
اسم نهجى للمختبر الهرمى الماسى وشكل الدوائر  
(الزاوية بين أسطح رأسى الهرم = 136°)

شكل رقم ( ٨ - ١٠ )



شكل رقم ( ٨ - ١١ ) جهاز فينكرز للصلادة

المعدن المختبر وسبك وإعداد قطعة الاختبار وعن الأثر المسموح به، بالجزء المختبر تفادياً لإتلاف سطحه. ويلاحظ أن اختلاف التحميل مع ثبوت الهرم الماسي في كل حالة لا يؤثر في إختلاف قيمة رقم فيكرز للصلادة حيث ثبت من التجارب المتعددة إن رقم فيكرز ثابت للمعدن الواحد مهما اختلفت الأحمال المؤثرة كما يذمخ من الشكل رقم (٨ - ١٢).



الحملة بالكيلوجرام

اختلاف التحميل مع ثبات الهرم الماسي في اختيار  
صلادة فيكرز لا يؤثر على قيمة الصلادة

شكل رقم (٨ - ١٢)

ويقوم هذا الجهاز بعمل الأثر الذي يمكن قياس قطره بميكرومتر عن طريق ميكروسكوب، أو أن هذا الأثر يظهر مكبراً على شاشة للجهاز حيث يمكن قياس قطر الأثر بدقة، أو أن الجهاز يعطي مباشرة عن طريق مقياس خاص قيمة رقم فيكرز للصلادة

ويلاحظ أن الهرم الماسي المؤثر بالحمل على العينة أكثر صلادة من كرة برقل لذلك ليس له ظاهرة التغير في الشكل مهما كبرت صلادة المعدن المختبر أو مهما تغيرت الأحمال المؤثرة. كما أن الهرم الماسي دقيق وأصغر مقاساً من كرات برقل الأمر الذي يعطى أتراديقاً. كما أنه نظراً لحروف الهرم الحادة فإن أثره يظهر

واضحاً محددًا وبذلك يكون قياس قطر الأثر مضبوطاً ودقيقاً أكثر من حالة أثر برنل

مزايا اختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز: يمكن باختبار فيكرز للصلادة الحصول

على قيمة دقيقة لرقم الصلادة وتعبير تام عن صلادة المعدن المختبر وذلك مع استخدام جهاز صغير الحجم وأحمال مؤثرة صغيرة. كما يمكن لهذا الاختبار باستخدام الهرم الماسي دقيق الحجم تحديد صلادة المعادن شديدة الصلادة وقليلة الصلادة والمعادن الرقيقة السمك التي لا يصلح لها اختبار برنل وذلك حتى سمك قدره ١٠, ٠ مم .

لذلك يستعمل هذا الاختبار في الأعمال التي تتطلب نتائج دقيقة للمعادن مهما اختلف النوع أو تنوعت الأبعاد أو اختلفت الصلادة ، ويعتبر اختباراً هاماً في أعمال المقارنة والأبحاث .

### ج - اختبار صلادة المعادن بطريقة ركول : ( Rockwell )

١ - إجراء الاختبار : يجرى اختبار ركول باستخدام مكنة خاصة شكل رقم

( ٨ - ١٣ ) تؤثر بحمل ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كجم وهو حمل صغير بالنسبة للحمل

المستعمل في طريقة برنل .

كما أن الجسم المحدث للأثر عبارة عن كرة صغيرة من الصلب المصنوع بصفة

أى ١,٥٨٨٨ مم أو عن مخروط له حرف مستدير من الماس يسمى ( Brule ) .

ويجرى الاختبار بتحميل قطعة الاختبار بحمل ابتدائي قيمة ١٠ كجم ( Minor load ) ،

وبعد ذلك يعاد مؤشر القرص المدرج للجهاز أمام التدرج صفر. ثم يزداد الحمل بإضافة

الحمل الكبير ( Major load ) حتى يكون الحمل الكلي النهائي ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠

كجم حسب نوع اختبار ركول المستخدم ( الحمل النهائي = الحمل الابتدائي + الحمل

الكبير المضاف ) ويلاحظ أنه أثناء التحميل بالحمل الكبير المضاف يسير الجسم المحدث

للأثر داخل سطح قطعة الاختبار وفي نفس الوقت يتحرك مؤشر القرص المدرج للجهاز

لأنه متصل بالجسم المحدث للأثر بحيث أنه كلما زاد عمق الأثر كلما زادت حركة دوران

المؤشر على قرص الجهاز . ثم يزال الحمل الكبير المضاف فيقل عن الأثر قليلا ويرقد بالتبعية قليلا المؤشر على القرص ويثبت عند تدريج معين يكون رقمه هو رقم ركول للصلادة ( مع ملاحظة أن الحمل الابتدائي ١٠ كجم لازال مؤثرا على قطعة الاختبار أي أن رقم الصلادة يتعلق بالأثر الناتج من الحمل الكبير فقط ) .

وقد بنى ركول طريقته على أساس أن رقم ركول المبين على تدريج الجهاز يتناسب تناسباً عكسياً مع إعمق الأثر الناتج من الحمل الكبير أي أنه كلما زاد عمق الأثر كلما صغر رقم ركول للصلادة أي كلما قلت صلادة المعدن المختبر ، وبين الشكل رقم ( ٨ - ١٤ ) طريقة إجراء اختبار ركول للصلادة .

٢ - مقاييس ركول للصلادة : رقم ركول هو رقم إعتباري حدده ركول على تدريج قرص جهازه على الأساس السابق ذكره . وهناك مقاييس مختلفة لتحديد الصلادة بطريقة ركول : مقياس ركول B ومقياس ركول C ومقياس ركول A ويختار المقياس المناسب بعبء لصلادة المعدن المختبر كما هو مبين بالجدول ( ٨ - ٥ ) ، كما أنه عند الاختبار لتحديد الصلادة على أساس هذا المقياس يستخدم حمل نهائى معين وجسم عدت للأثر معين أيضاً كما هو موضح بالجدول رقم ( ٨ - ٥ ) .

ويقسم القرص المدرج لكل مقياس إلى ١٠٠ قسم يمثل كل قسم منها عمق أثر قيمته ٠.٠٠٢ . فمثلاً مقياس ركول B يبدأ من رقم ٢٠ ( كصفر للبداية ) وينتهى برقم ١٣٠ ومقياس ركول C يبدأ من رقم صفر وينتهى برقم ١٠٠ ويكون رقم ركول للصلادة كالاتى :

$$\text{رقم ركول B} = ١٣ - \frac{\text{عمق الأثر (مم)}}{٠.٠٠٢}$$

$$\text{رقم ركول C} = ١٠٠ - \frac{\text{عمق الأثر (مم)}}{٠.٠٠٢}$$

ويلاحظ أن مقياس ركول C يستخدم للمعادن التي صلادتها أكبر من رقم ركول B = ١٠٠ أما مقياس ركول A فيستخدم للحالات الخاصة .



## جدول رقم ( ٨ - ) مقاييس ركول للصلادة

| المعادن التي يحدد صلادها المقياس   | الحمل الكلى للأثر كجم | الجسم المحدث للأثر                      | مقياس ركول |
|--|-----------------------|---|------------|
| الصلب الكربوني العنقري<br>والتوسط والألواح والقضبان<br>المعدنية الطرية .   | ١٠٠                   | كرة صلب مصلدة<br>قطر ١,٥٧٨ مم           | ركول B     |
| الصلب المعبد والسبائك<br>الحديدية والسبائك المعدنية<br>ذات صلادها أكثر من ركول<br>١٠٠  | ١٥٠                   | مخروط بحرف ماسي<br>مستدير<br>( Brakle ) | ركول C     |
| شراخ الصلب المصلد الرقيقة<br>والمعادن والسبائك شديدة<br>الصلادة وفي إختبار الصلادة<br>إذا أريد أن يكون الأثر<br>الحادث صغيرا . | ٦٠                    | مخروط بحرف ماسي<br>مستدير<br>( Brakle ) | ركول A     |

٣ - قطعة الاختبار : يراعى تجهيز سطح قطعة الاختبار قبل إجرائه كما هو الحال في إختبار برزل بحمل السطح مستويا وناعما وخاليا من الخدوش والعلامات وأن يكون منصقا به زيوت أو شحومات أو أية مواد غريبة كما يراعى عدم حدوث انبعاث بالجانب الآخر للعينة بعد الاختبار .

٤ - مزايا طريقة ركول للصلادة :

تستخدم طريقة ركول بكثرة في الصناعة لصغر الجهاز الخاص بها وإمكان إختبار صلادة المعادن مختلفة الصلادة سواء صغيرة أو كبيرة الصلادة والحصول على رقم الصلادة مباشرة من قراءة تدريج قرص الجهاز مما يوفر عملية الحساب، ويمكن من ليست لهم

خبرة بتعيين رقم ركول للصلادة بتشغيل الجهاز وقراءة رقم الصلادة من تدريجات القصر . كما أن الأثر الناتج من طريقة ركول صغير جدا إذا قورن بالأثر الناتج من طريقة برنل كما يقين من الشكلين رقم ( ٨ - ١٥ - ١٦ ) .

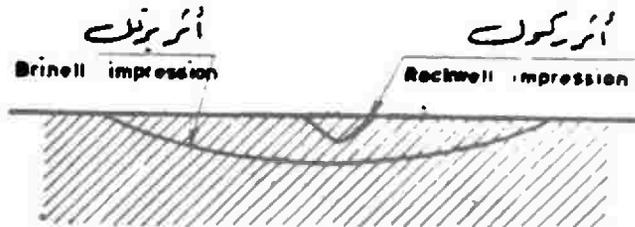
د - صلادة العلامة بالتحميل الديناميكي .

يقتصر استخدام هذه الاختبارات لتحديد صلادة المعادن في درجات الحرارة العالية ويكون إجراء الاختبار بعمل ذراع يحمل الجسم المحدث للأثر يسقط على سطح القطعة المختبرة من ارتفاع معين ثم يعين حجم الأثر الناتج والطاقة الديناميكية للحمل المؤثر ويكون عامل الصلادة هو :

$$\text{عامل الصلادة} = \frac{\text{طاقة الحركة للحمل}}{\text{حجم الأثر}}$$

وتوجد عدة طرق مختلفة لهذا الاختبار مثل اختبار مارتل ( Martel ) أو اختبار

ياستن ( Baston ) أو اختبار رودمان ( Rodman ) .



شكل رقم ( ٨ - ١٥ ) أنر برنل وأنر ركول .

أانيا صلادة الارتداد

( Rebound Hardness )

يحدد هذا الاختبار الصلادة بالتحميل الديناميكي لقطعة الاختبار ، وتعين صلادة الارتداد بطرق مختلفة أكثرها شيوعا طريقة شور لسركوب ( Shore Scleroscope ) ويعبر عن الصلادة برقم لسركوب وهو يتناسب مع الإرتفاع الذي تصل إليه مطرقة ذات طرف مدبب من الماش بعد سقوطها خلال أنبوبة زجاجية من ارتفاع ١٠ بوصة ( ٢٥,٤ سم )

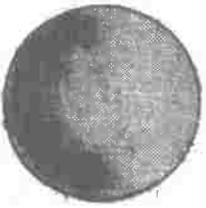
فيكر ١٠ كجم

272 VICKERS 10 kg.



205 KNOOP 10 kg.

كوب ١٠ كجم



ROCKWELL C26

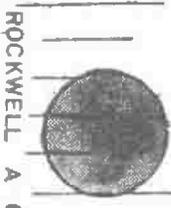
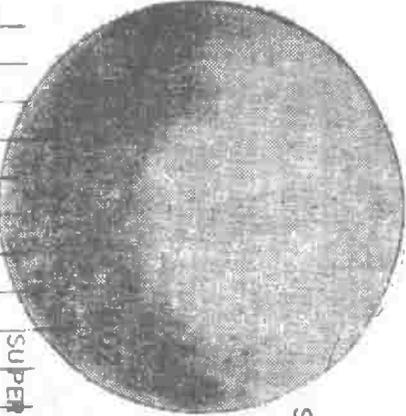
روكويل C.



MINOR LOAD 10 kg

صغ ١٠ كجم

0.01



ROCKWELL A 63.3

روكويل A

250 BRINELL 500 kg

برينل ٥٠٠ كجم

LOW STEEL

صلب متخفف



SUPERFICIAL ROCKWELL 30 N 46.8

روكويل سطحى



SUPERFICIAL MINOR LOAD 3 kg

صغ ٣ كجم

0.03

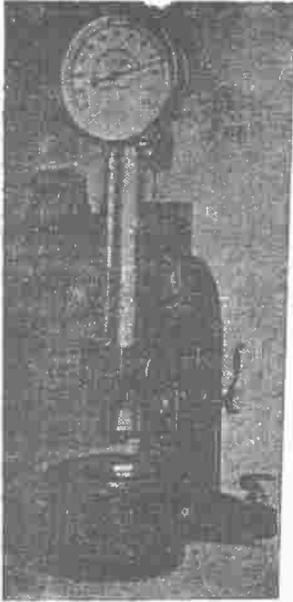


SUPERFICIAL ROCKWELL 15 N 72.8

روكويل سطحى

شكل رقم (٨ - ١٦) مقارنة بين أنواع اختبار الصلادة على هيئة من الصلب بالطرق المختلفة لاختبار الصلادة

على سطح قطعة الاختبار . والمطرقة التباسية لجهاز شور سلسكوب شكل رقم (٨-١٧) بطول ٤ بوصات (٢٠ سم) وقطر ١/٤ بوصة (٦ مم) ووزن ٣١/٢ أوقية . بطرف ماسي مستدير بنصف قطر ٠,١ بوصة (٢,٥ مم) ويقاس ارتفاع الارتداد على مقياس مستدير مقسم إلى ١٤٠ قسماً أى أن رقم سلسكوب يختلف من الصفر إلى رقم ١٤٠ وتزيد قيمته بزيادة صلادة المعدن وهو رقم اختياري يصلح فقط لمقارنة صلادة المعادن المتشابهة .



وتمتاز طريقة سلسكوب لتعيين صلادة المعادن بأنها لا تترك علامة ثابتة بسطح العينة المختبرة كما أنها تستخدم المعادن شديدة الصلادة حيث لا يمكن إجراء اختبار صلادة العلامة كما تستعمل في اختبار الصلادة بموقع المنشآت والمباني أى في حالة نقل جهاز الصلادة إلى مكان الجسم المختبر وذلك لصغر جهاز شور سلسكوب وسهولة نقله .

ويراعى ضرورة تجميع سطح الجسم المختبر للاختبار بتسويته وتنعيمه وإزالة أى طبقة زيتية أو شمعية من عليه ، وتثبيت الجسم تماماً في مكانه وجعل المطرقة تسقط عمودياً على سطحه .

شكل رقم (٨-١٧)  
مكنة شور سلسكوب لصلادة

### ثالثاً - صلادة الخدش

( Scratch Hardness )

يعتبر الخدش إحدى الطرق لمقارنة صلادة المعادن على أساس أن المعدن الصلب يخدش المعدن الأقل صلادة منه . وقد أوجد موز ( Mohs ) للجيولوجيين مقياس لصلادة الخدش للواد على هذا الأساس يبدأ بالثلك وينتهي بالماس ، وهذا المقياس

عبارة عن أرقام تعطى للواد فكلما كبر الرقم كلما كبرت صلادته كالآتي :

|          |               |         |              |
|----------|---------------|---------|--------------|
| Gypsum   | ٢ - الجبس     | Talc    | ١ - التالك   |
| Fluorite | ٤ - الفلوريت  | Calcite | ٣ - الكلسيت  |
| Feldspar | ٦ - الفلوسبار | Apatite | ٥ - الابيت   |
| Topaz    | ٨ - التوباز   | Quartz  | ٧ - الكوارتز |
| Diamond  | ١٠ - الماس    | Ruby    | ٩ - الروبي   |

ويتبين من ذلك أن الماس (١٠) أصلد من الكوارتز (٧) كما أن الفلوسبار (٦) أصلد من الجبس (٢).

وتقع المعادن ضمن هذا المقياس فتلارقم الصلب ٦٧ ووزقم كريد التتصتن (Tungstun carbide) من ٩ إلى ٩٧. وهذا المقياس تقريبي ويستعمل فقط للمقارنة ولا يمكن هندسيا الاعتماد عليه.

وتطبق صلادة الخدش على المعادن في الورش والمصانع بإحدى الطريقتين الآتيتين:

أ - اختبار المبرد: (File test) يجرى هذا الاختبار بتعريض مبرد على سطح المعدن المختبر فيكون مقدار التآكل نتيجة البرد قياسا للصلادة. ويعطى هذا الاختبار قيمة وصفية لمقارنة صلادة المعادن المتشابهة بشرط استخدام نفس المبرد ونفس العامل. وبهذه الطريقة يمكن العمال المتميزين الماهرين ذوي الخبرة الحكم على مدى صلادة المعادن.

ب - اختبار الخدش بالماس: توجد عدة طرق لهذا الاختبار منها تحديد الحمل الذي يمكن من عمل خدش بعرض معين ٠,٠١ مم مثلا (اختبار مارتنز Martens) واختبارات بمائلة لهدفيلد ومين وشيرز (Haldfield and Main and Shires)

أما طريقة هانكينز (Hankins) وهي الأكثر شيوعا فيكون إجراؤها بتعريض قطعة من الماس على شكل حرف V بزاوية ٩٠° أو ٧٢° وذلك بسرعة معينة وتحت تأثير حمل معين لتحداث خدشاً في المعدن المختبر ثم يقاس عرض الخدش الذي يعبر عن صلادة المعدن فكلما زاد العرض كلما قلت صلادة المعدن.

وقد أوجد هانكنز رقم خدش للصلادة كالاتي :

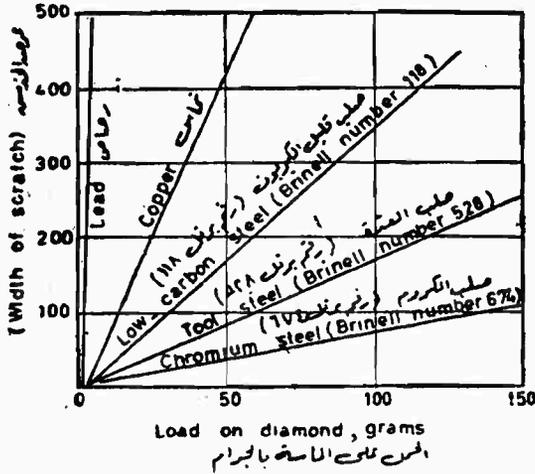
$$\text{رقم الصلادة} = \frac{P-m}{b^2-n}$$

حيث  $P$  = الحمل ( بالجرام ) المحمّلة به قطعة الماس .

$b$  = عرض الخدش بالمليمتر .

$m$  &  $n$  = عدادان ثابتان يتوقفان على شكل قطعة الماس .

وبين الشكل رقم ( ٨ - ١٨ ) العلاقة بين عرض الخدش  $b$  والحمل  $P$  للمعادن



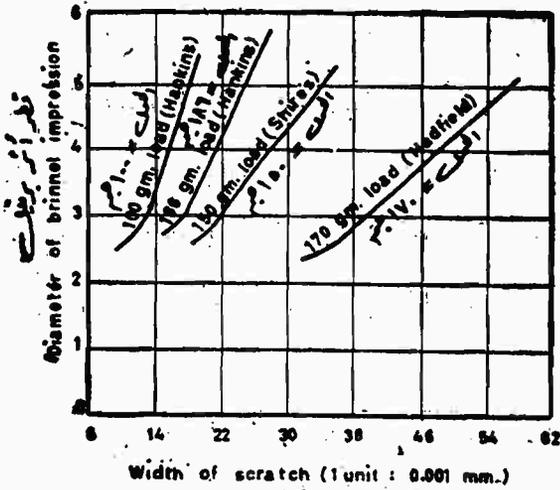
RELATION BETWEEN LOAD ON DIAMOND AND SCRATCH WIDTH

العلاقة بين الحمل على الماسة وعرض الخدش

في اختبار الصلادة بالخدش

شكل رقم ( ٨ - ١٨ )

المختلفة ، كما يبين الشكل رقم ( ٨ - ١٩ ) أن عرض الخدش يتناسب طردياً مع قطر أثر برنل أي أنه يصلح أساساً لمقارنة الصلادة .



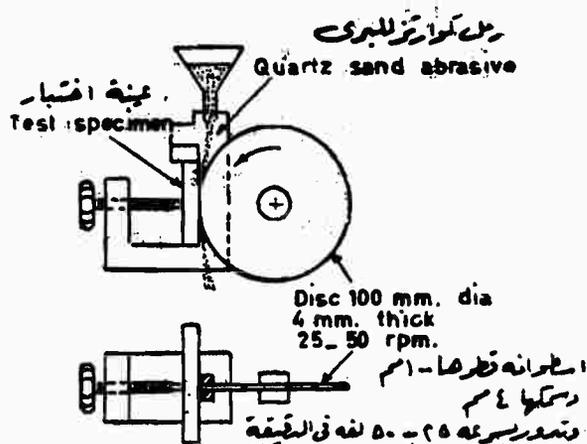
عمره الهندسه يتناسب طردياً مع قطر أثر برينل  
(إختبار صلادة الهندسة بالماسك)

شكل رقم ( ٨ - ١٩ )

وأيضا - صلادة التآكل

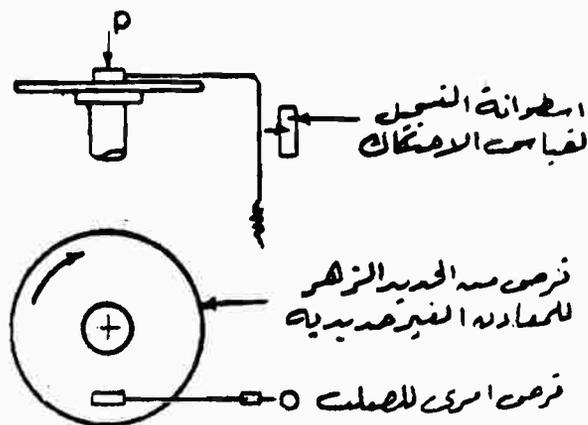
( Wear Hardness )

يجرى إختبار صلادة التآكل بتعرض المعدن المختبر إلى البرى (Abrasion) ثم قياس التآكل في المعدن نتيجة الاحتكاك لمدة معينة أو لمسار معين باستخدام مادة برى مناسبة (الرمال مثلاً) وقرص معدني صلد يكون دورانه واحتكاكه ومنعه عادة البرى بالعينة المختبرة سبباً في تآكلها نتيجة للاحتكاك. ويقاس التآكل بتعيين الفاقد في الوزن نتيجة الاختبار الذي يعبر عن صلادة المعدن فكلما زاد الفاقد في الوزن كلما صغرت صلادة المعدن، ويجرى الاختبار للمعادن وهي جافة أو بهازيت وذلك لمقارنة صلادة المعادن بالنسبة لعملها في المسكنات حيث تتعرض للاحتكاك مع بعضها البعض. ويبين الشكل رقم (٨ - ٢٠) جهازين مختلفين لإجراء اختبار صلادة التآكل.



SCHEMATIC ARRANGEMENT OF THE BRINELL  
ABRASIVE WEAR TEST

التركيبة التخطيطي لاختبار برنل للبرلى بالاحتكاك



شكل رقم ( ٨ - ٢٠ )

خاصة - صلادة التشغيلية بالمسكات

( Machineability )

يجرى اختبار صلادة التشغيلية بالمسكات بتعرض المعدن إلى عمليات التشغيل بالمسكات كالخرط أو الثقب فكلما صعب التشغيل كلما كبرت صلادة المعدن وبالعكس .

وهو اختبار مقارنة يجرى غالباً في المصانع والورش لبيان مدى قابلية المعادن للتشغيل ولكنه إختبار محدود الاستعمال . ومن أمثلة هذه الطريقة لمقارنة صلادة المعادن إختبار باور للثقب ( Bauer drill test ) وتتلخص في تعيين عمق الثقب الذي يحدثه في قطعة الاختبار مثقاب خاص في وقت محدد نتيجة لتشغيله بسرعة محددة وبمنحط محدد، ويعبر عمق الثقب المذكور عن صلادة المعدن للتشغيلية، فكلما زاد عمق الثقب صغرت صلادة المعدن .

#### سادساً : علاقات أرقام الصلادة بالطرق المختلفة :

##### ١ - العلاقة بين أرقام الصلادة بالطرق المختلفة :

اتضح من التجارب المتنوعة أنه لا توجد علاقة ثابتة صحيحة تماماً بين أرقام الصلادة المعينة بالطرق المختلفة خصوصاً أن هذه العلاقة قد تتأثر بالمعاملة الحرارية أو بالتشغيل على البارد أو في درجات الحرارة المختلفة وتختلف قيمتها من معدن إلى آخر ، لكن توجد علاقة تقريبية في درجة الحرارة العادية للمعادن المتشابهة مثال ذلك ما هو مبين بالأشكال رقم ( ٨ - ٢١ ، ٨ - ٢٢ ، ٨ - ٢٣ ) ومن الجدول رقم ( ٨ - ٦ ) .

ويتبين من ذلك أنه القبول أو رفض المعادن طبقاً لاشتراطات التعاقد على رقم صلادة معين للمعادن أو المنتجات يلزم إجراء إختبار الصلادة التي تحدد هذا الرقم فقط ولا يعتبر صحيحاً أن يترتب القبول أو الرفض على رقم صلادة لم تحصل عليه بالإختبار المباشر وإنما بإجراء إختبار رقم صلادة آخر ثم ترجمة النتيجة بالجدول أو الأشكال البيانية التقريرية إلى رقم الصلادة المتعاقد عليه .

##### ب - العلاقة بين رقم برنل للصلادة وبين مقاومة الشد للمعادن :

أثبتت التجارب أنه لا توجد علاقة ثابتة بين رقم برنل لصلادة المعادن وبين مقاومة تحملها في الشد كما يتضح من الجدول رقم ( ٨ - ٧ ) .

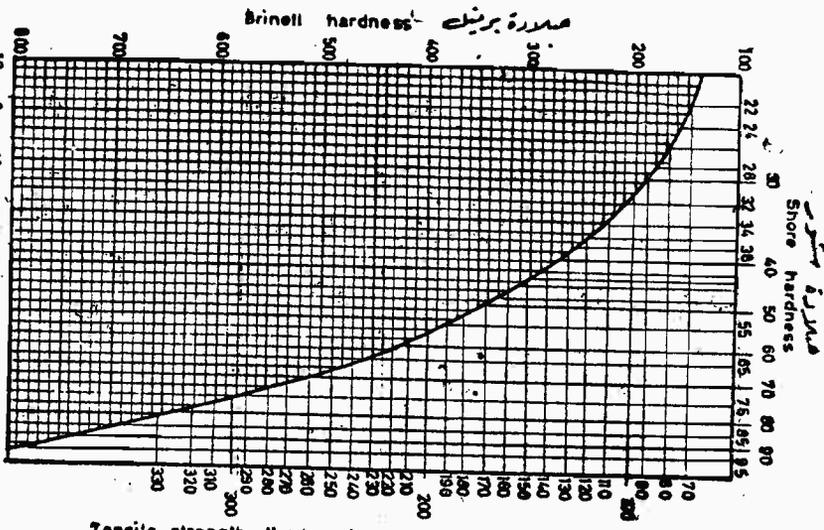
لذلك لا يمكن إتخاذ رقم الصلادة أساساً صحيحاً لحساب مقاومة الشد للمعادن المختلفة واستخدام تلك المقاومة للشد في حسابات التصميمات الهندسية .

## جدول رقم (٨-٦) أرقام الصلابة بالطرق المختلفة

| رقم<br>صلابة سلر سكوب | رقم ركول<br>الصلابة | رقم صلابة<br>فيكرز | رقم برنل بحمل ٣٠٠٠ كجم<br>وكرة قطر ١٠ مم |           |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--|-----------|
|                       |                     |                    | رقم صلابة                                | قطر الأثر |
| ٧٥                    | ٥٥                  | ٦٣٣                | ٤٥٥                                      | ٢,٦٠      |
| ٦٧                    | ٥٠                  | ٥٤٠                | ٤٩٥                                      | ٢,٧٥      |
| ٥٧                    | ٤٤                  | ٤٣٧                | ٤١٥                                      | ٣,٠٠      |
| ٤٩                    | ٣٧                  | ٣٦٣                | ٣٥٢                                      | ٣,٣٥      |
| ٤٤                    | ٣٢                  | ٣٠٥                | ٣٠٢                                      | ٣,٥٠      |
| ٣٧                    | ٢٦                  | ٢٦٣                | ٢٦٢                                      | ٣,٧٥      |
| ٣٣                    | ٢١                  | ٢٢٩                | ٢٢٩                                      | ٤,٠٠      |
| ٣٠                    | ١٥                  | ٢٠٢                | ٢٠٢                                      | ٤,٢٥      |
| ٢٧                    | ٨                   | ١٧٩                | ١٧٩                                      | ٤,٥٠      |
| ٢٤                    | ٢                   | ١٥٩                | ١٥٩                                      | ٤,٧٥      |
| ٢٢                    | —                   | ١٤٣                | ١٤٣                                      | ٥,٠٠      |
| —                     | —                   | ١١٦                | ١١٦                                      | ٥,٥٠      |
| —                     | —                   | ٩٥                 | ٩٥                                       | ٦,٠٠      |

## جدول رقم (٨-٧) العلاقة بين مقاومة الشد ورقم برنل للصلابة للمعادن المختلفة

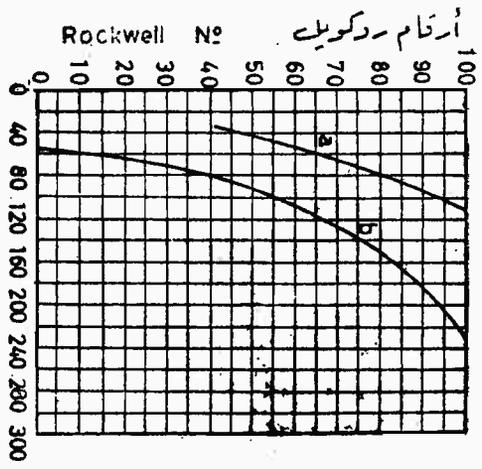
| المعدن                               | صلب ٤,٠٪<br>كربون | سبيكة<br>ألومنيوم | صلب   | نحاس أصفر<br>محبوب | ألومنيو<br>محبوب |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------|------------------|
| مقاومة الشد<br>كجم / مم <sup>٢</sup> | ٧٠                | ٤٥                | ٤٨    | ٢٠                 | ٩٣               |
| رقم برنل                             | ١٩٤               | ١١٤               | ١٣٥   | ٥٣                 | ٣١               |
| مقاومة الشد<br>رقم برنل              | ٠,٦١              | ٠,٣٩٥             | ٠,٣٦٥ | ٠,٣٧٨              | ٠,٣٠٠            |



Tensile strength, thousand pounds per square inch.  
 مقاومة الشد - 1000 باوند على البوصة المربعة

SHORE HARDNESS VS. ROCKWELL C AND BRINELL.  
 مقياس شور مقابل مقياس روكويل C ومقياس برينيل.  
 مقياس شور مقابل مقياس روكويل C ومقياس برينيل.

رقم (A) ٧٧

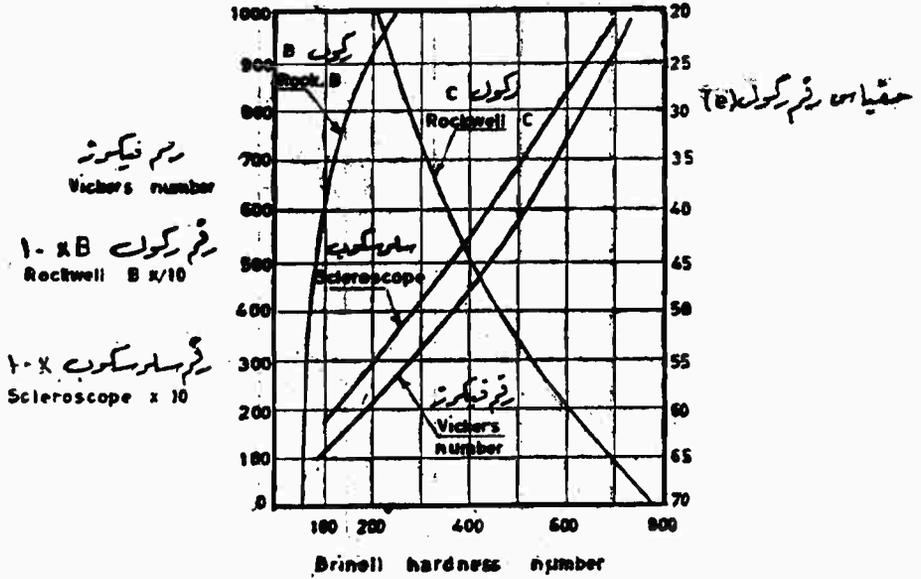


Conversion to standard brinell numbers of rockwell B scales.  
 أرقام برينيل

- (a) Rockwell B scale 1/16" ball and 60 kg load.
- (b) Rockwell B scale 1/16" ball and 100 kg load.

مقياس روكويل B مقاس 1/16 بوصة كرتة 60 كجم  
 مقاس روكويل B مقاس 1/16 بوصة كرتة 100 كجم

رقم (A) ٧١ - العلاقة بين رقم مقياس روكويل B ورقم مقياس برينيل



## رقم برنل للصلادة

شكل رقم ( ٨ - ٢٢ ) العلاقة بين أرقام الصلادة المختلفة

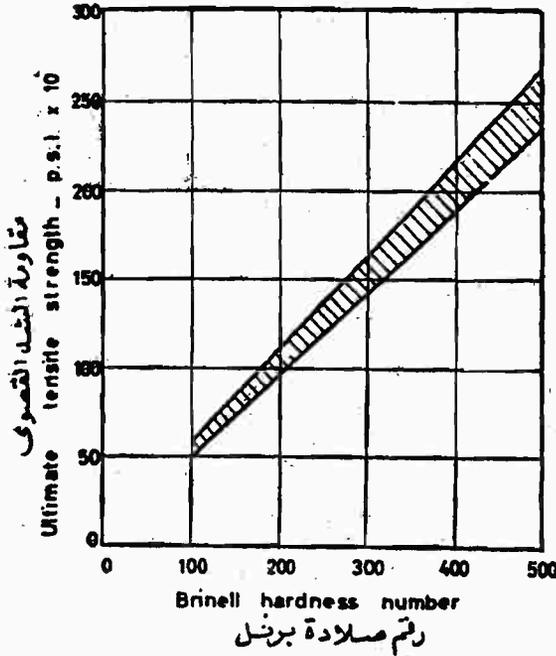
ولكن اتضح من التجارب أنه للمعادن المتشابهة ( مثلا المعادن الحديدية ) أمكن إيجاد علاقة تقريبية بين رقم برنل للصلادة ، والمقاومة للشد شكل رقم ( ٨ - ٢٤ ) وتفيد غالباً إذا أريد معرفة مقاومة أجزاء المكثات بدون تلفها ( أى بدون إجراء اختبار الشد وهو اختبار متلف ) أو إذا أريد معرفة المقاومة للشد لأجزاء المكثات ، والمنشآت التي لا يمكن لصفرها تحضير قطعة اختبار شد منها أو إذا أريد معرفة المقاومة للشد لأجزاء المكثات والمنشآت الناتجة من إنهارها لتطيل سبب الإنهيار وعدم التمكن لصفرها وتنوع شكل تلك الأجزاء من إجراء اختبار الشد .

والعلاقة بين رقم برنل ومقاومة الشد للمعادن الحديدية هي :

$$\text{مقاومة الشد ( كجم / مم }^2 \text{ )} = \text{رقم برنل} \times ٠,٣٦$$

$$\text{مقاومة الشد ( طن / بوصة }^2 \text{ )} = \text{رقم برنل} \times ٠,٢٢$$

$$\text{مقاومة الشد ( باوند / بوصة }^2 \text{ )} = \text{رقم برنل} \times ٥٠٠$$



RELATION BETWEEN HARDNESS AND ULTIMATE  
TENSILE STRENGTH FOR VARIOUS CARBON  
AND ALLOY STEELS

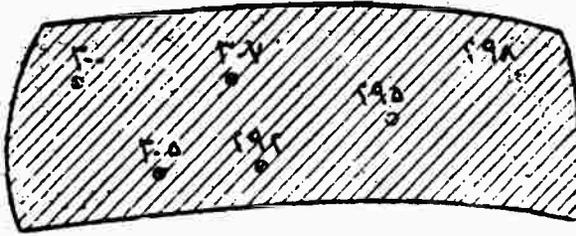
العلاقة بين الصلابة ومتانة الشد القصوى  
لمجموعة مختلفة من الصلب الكربوني وسبائك

شكل رقم ( ٨ - ٢٤ )

اختلاف رقم الصلابة :

يختلف رقم الصلابة في قطعة الاختبار الواحدة اختلافا قليلا من مكان إلى آخر نظراً لتكوين سطح القطعة وعدم الانتظام النام لجزيئاته من حيث الترتيب والخواص. والتأثر بالمعاملة الحرارية كما يتبين من الشكل رقم ( ٨ - ٢٥ ) .

لذلك يجب أن تبين نتيجة اختبار الصلابة بعمل رسم تخطيطي للقطعة المختبرة. ويبان مواضع الإختبار ثم ذكر رقم الصلابة الخاص بكل موضع ، وتبين تلك النتيجة أيضاً بذكر حدود تغير رقم الصلابة فثلاً قطعة الاختبار المبينة بالشكل رقم ( ٨ - ٢٥ ) تبين صلابتها كما هو موضح بالجدول رقم ( ٨ - ٨ ) .



شكل رقم (٨ - ٢٥) - رقم برنل للصلادة في مواضع مختلفة من سطح قطعة من الصلب

جدول رقم (٨ - ٨) بيان نتيجة إختبار صلادة العينة

| الموضع                              | ا                     | ب   | ج   | د   | هـ  | و   |
|-------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| رقم برنل للصلادة                    | ٣٠٠                   | ٣٠٥ | ٢٩٢ | ٣٠٧ | ٢٩٥ | ٢٩٨ |
| رقم برنل للصلادة<br>للعينة المختبرة | يتراوح من ٢٩٢ إلى ٣٠٧ |     |     |     |     |     |

وقد يختلف رقم الصلادة للمعدن الواحد اختلافاً قليلاً أيضاً عند إختباره بمعامل الإختبار المختلفة نظراً لاختلاف أجهزة الإختبار والقائمين بإجراء الإختبار .

### سابعاً - العوامل المؤثرة في صلادة المعادن

تتوقف قيمة الصلادة على عوامل مختلفة منها ما يأتي :

١ - نوع المعدن المختبر حيث لكل معدن أو سبيكة رقم صلادة خاص به كما

يتضح من الجدول رقم (٨ - ٩)

جدول رقم (٨ - ٩) رقم برنل للصلادة للمعادن المختلفة

| المعدن   | حديد نقي | برونز | زنك | سبيكة ألومنيوم | صلب مصلد |
|----------|----------|-------|-----|----------------|----------|
| رقم برنل | ٧٠       | ١٠٠   | ٤٠  | ٨٥             | ٦٠٠      |

٢ - طريقة تشكيل المعدن المختبر ويتبين ذلك من المثال الآتي لمعدن موني (monel metal : ٦٧٪ نيكل ، ٣٠٪ نحاس ، ١,٤٪ حديد ، ١٪ منجنيد) .  
حيث تؤثر طريقة تشكيل المعدن تأثيراً بيئياً على صلابته كما يتبين من الجدول  
رقم (٨ - ١٠) .

جدول رقم (٨ - ١٠) رقم برتل لصلادة معدن موني مشكلاً بالطرق المختلفة

| طريقة التشكيل | مدلفن على الساخن | مسحوب على البارد | مدلفن على البارد |
|---------------|------------------|------------------|------------------|
| رقم برتل      | ١٥٠              | ١٩٠              | ٢٤٠              |

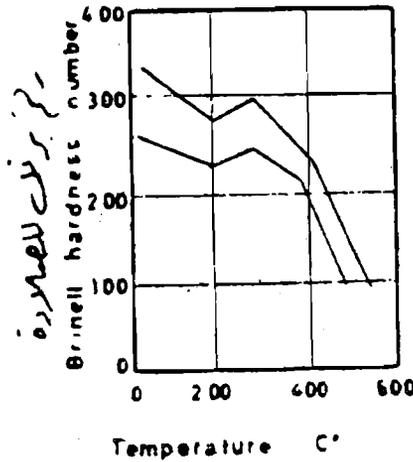
٣ - المعادلة الحرارية واختلاف طريقتها للمعدن المختبر ، وتعتبر المعاملة الحرارية عامل هام في تكييف صلادة المعدن الواحد ليلآئم ظروف استعماله حيث تختلف صلادة الصلب المدلفن فقط عنها بعد تخميره أو تسقيته أو بعد تصليده بالتغليف ويتبين ذلك من المثال الآتي لسبيكة من الصلب بالجدول رقم (٨ - ١١) .

جدول رقم (٨ - ١١) رقم برتل لسبيكة من الصلب معاملة حرارياً بالطرق المختلفة

| رقم برتل | طريقة المعاملة الحرارية      |
|----------|------------------------------|
| ١٩٦      | التخمير                      |
| ٢٦٢      | التسقية بالزيت ثم المراجعة   |
| ٤٧٩      | التصلد في الهواء ثم المراجعة |

٤ - تجهيز سطح العينة للاختبار : إذا لم يتم تسوية السطح تماماً وإزالة ما به من خدوش أو علامات أو مواد دهنية أو مواد غريبة أو صدأ فإن ذلك يؤثر تأثيراً ملحوظاً على نتيجة الاختبار حيث نحصل على رقم صلادة لا يمثل المعدن المختبر .

٥ - درجات الحرارة العالية :  
يتأثر رقم الصلادة للمعادن تأثيراً كبيراً بارتفاع درجة الحرارة حيث تقل قيمته كما يتبين من الشكل رقم ( ٨ - ٢٦ ) .



درجات الحرارة (مئوية)

تأثير الحرارة على صلادة المعادن

شكل رقم ( ٨ - ٢٦ )

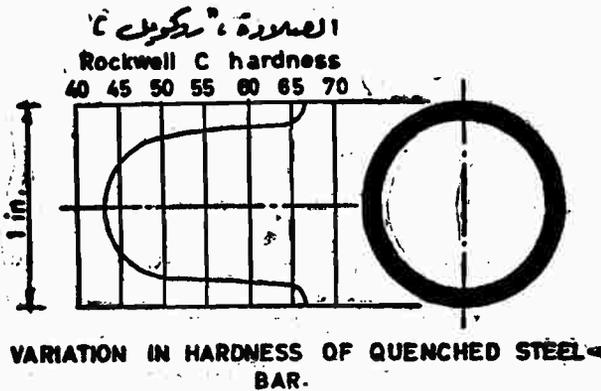
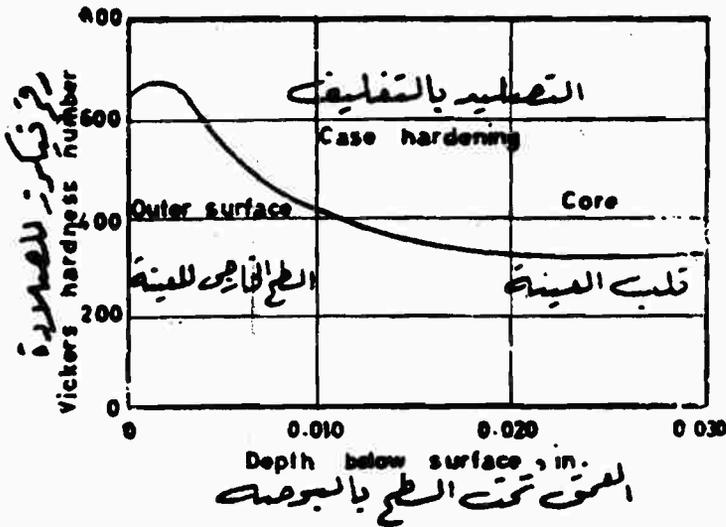
نمنا - الاستعراض الاجمالي للصلادة

( Hardness Survey )

إن بعض العمليات الصناعية أو عمليات المعاملة الحرارية أو دراسة صلادة إنتاج معين أو دراسة صلادة أجزاء منشآت أو مكائن سواء كانت سليمة أو مكسورة تتطلب كل هذه الدراسات ضرورة الحصول على استعراض إجمالي للصلادة الجزء موضوع الدراسة. ويتم ذلك بعمل رسم تخطيطي يبين قيم الصلادة في أكثر من موضع أو عمل رسم يبين توزيع تلك الصلادة على أي مقطع مستعرض لهذا الجزء أو عمل رسم كنتوري لبيان توزيع الصلادة حيث يمثل كل خط كنتوري للصلادة جميع النقاط التي يتساوى فيها رقم الصلادة .

وتبين الاشكال رقم (٨-٢٧، ٨-٢٨، ٨-٢٩، ٨-٣٠) أمثلة لهذا الاستعراض حيث يبين الشكل رقم (٨-٢٧) قيم أرقام فيكرز للصلادة على مقطع مستعرض لعينة من الصلب تعرضت إلى الصلب بالتخليط (Case Hardening) حيث يتضح منها مدى تغلغل الصلب داخل سطح العينة أى مدى فاعلية عملية تصليد سطح العينة .

أما الشكل رقم (٨-٢٨) فيبين قيم أرقام فيكرز للصلادة لعينة أخرى من سبيكة الصلب السليكونى المنجيزى التى تعرضت إلى عملية إزالة الكربنة (Decarburization)



شكل رقم (٦ - ٢٧)

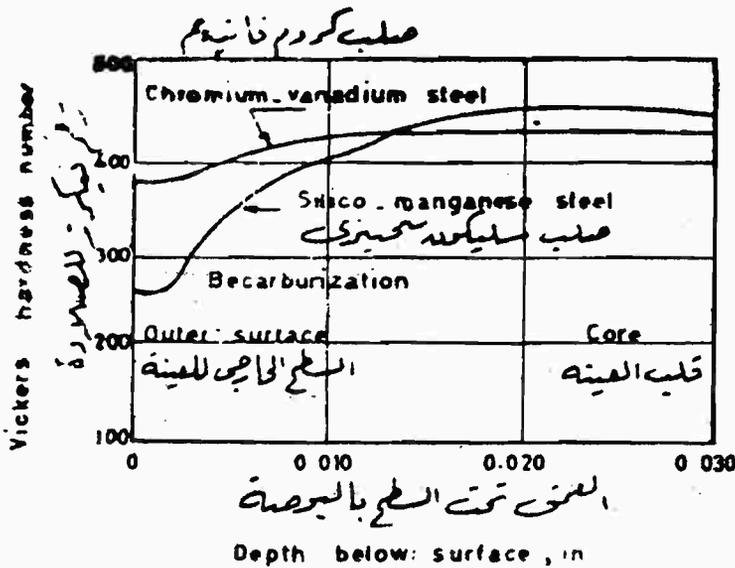
الاستعراض الإجمالى لصلادة عينة من الصلب معاملة بالتخليط

والتي تؤدي إلى تقليل صلادة الجزء السطح من العينة . ويتضح من هذا الشكل مدى عمق المعدن الذي تقصت صلابته بتلك العملية أى مدى نجاح إزالة الكربون .

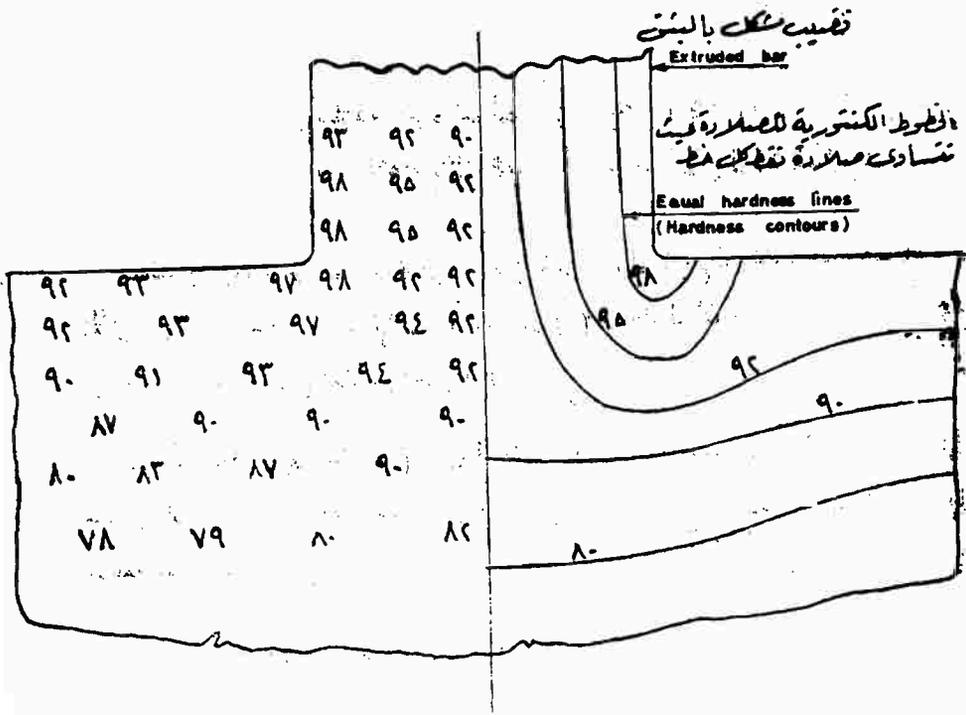
والشكل رقم ( ٨ - ٢٩ ) بين رسم كنتورى لتوزيع الصلادة على قطعة من الألومنيوم تعرضت لعملية البثق ( Extrusion ) وذلك ليبيان مدى تأثير تلك العملية على صلادة الألومنيوم المشكل بطريقة البثق .

والشكل رقم ( ٨ - ٢٠ ) يبين الخطوط الكنتورية لصلادة سطح عينة اختبار شد من الصلب الطرى بعد كسرها فى الاختبار حيث يتضح زيادة صلادة المعدن فى منطقة الرقبة .

وبين الجدول رقم ( ٨ - ١٢ ) استعراضا لرقم يرزل لبعض المعادن المشكلة بالطرق المختلفة .



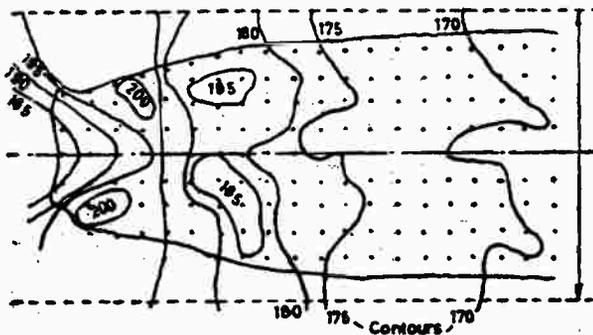
شكل رقم ( ٨ - ٢٨ ) الاستعراض الاجمالى لصلادة لعينة من الصلب السليكونى المنجزى



Rockwell hardness survey on split billet

الاستعراض الاجمالي للصلادة بطريقة ركول على كتلة مشقوقة

شكل رقم ( ٨ - ٢٩ )



HARDNESS DISTRIBUTION AFTER FRACTURE ALONG AXIAL PLATE MILD STEEL SPECIMEN.

توزيع الصلادة بعد الكسر على قطاع محوري لعينة  
من الصلب الطرى بعد كسرها واختبار الشد

شكل رقم ( ٨ - ٢ )

## جدول رقم ( ٨ - ١٢ ) أرقام برنل للصلادة لبعض المعادن

| رقم برنل      | مقاومة الشد<br>كجم/مم <sup>٢</sup> | طريقة التشكيل            | التركيب الكيميائي   | المعدن                 |
|---------------|------------------------------------|--------------------------|---|------------------------|
| ١٠٠           | ٣٣                                 | مدلفن على الساخن         | حديد ٩٧,٥ %<br>شوائب ٢,٥ %                                  | حديد طرى               |
| ١٨٠           | ١٨                                 | مصوب                     | كربون ٣,٤ %<br>سليكون ٢,٨ %<br>منجنيز ٠,٥ %                 | حديد زهر               |
| ١٣٠           | ٤٢                                 | مخمس                     | كربون ٠,٢٠ %  | صلب                    |
| ١٤٦           | ٥٠                                 | مدلفن على الساخن         | منجنيز ٠,٤٥ %   | كربوني                 |
| ٢٠٥           | ٧٣                                 | مصلد                     | سليكون ٠,٢٥ %   | كربوني                 |
| ١٤٠           | ٥٢                                 | مصوب ومخمر               | كربون ٠,٣٠ %  | صلب                    |
| ١٨٠           | ٦٥                                 | مصوب ومسحوب على الساخن   | منجنيز ٠,٧٠ %<br>سليكون ٠,٤ %                               | كربوني<br>مصوب         |
| ٢٢٥           | ٧٥                                 | مخمرة                    | كربون ٠,٣٠ %<br>منجنيز ٠,٨٠ %<br>كروم ٠,٣٠ %<br>نيكل ١,٧٥ % | سبيكة<br>صلب<br>مصبوبة |
| ٣٢٥           | ١٠٥                                | مصوبة ومسحوبة على الساخن | مولبدنم ٠,٢٥ %  | مصبوبة                 |
| من ٩٠ إلى ١٩٠ | من ١١٠ إلى ٢٨٠                     | مخمر ومدلفن على البارد   | كروم ١٩ %<br>نيكل ٨ %<br>كربون ٠,١٠ %                       | صلب<br>لا يصدأ         |
| ٣٣            | ١٠                                 | مخمس                     | ألومنيوم ٩٩ %   | ألومنيوم               |
| ٤٤            | ٢٠                                 | مدلفن على البارد ومصلد   |   |                        |
| ٤٤            | ٢٢                                 | مخمس                     | مغنسيوم ٢,٥ %   | سبيكة                  |
| ٨٥            | ٣١                                 | مدلفن على البارد ومصلد   | كروم ٠,٢٥ %   | ألومنيوم               |

تابع الجدول رقم (٨ - ١٢) أرقام برنيل للصلادة لبعض المعادن

| مقاومة الشد<br>كجم/مم <sup>٢</sup> | رقم برنيل | طريقة التشكيل          | التركيب الكيميائي      | المعدن           |
|------------------------------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------|
| ٢٨                                 | ٥٠        | مخر ومسحوب على البارد  | نحاس ٨٥ %              | نحاس أحمر<br>طرى |
| ٥٠                                 | ١٢٠       | مدلفن على البارد       | زنك ١٥ %               |                  |
| ٥٤                                 | ١٣٥       | مصلد                   |                        |                  |
| ٣٥                                 | ٥٥        | مخر ومسحوب على البارد  | نحاس ٦٥ %              | نحاس<br>أصفر     |
| ٥٠                                 | ١١٥       | مدلفن على البارد       | زنك ٣٥ %               |                  |
| ٥٢                                 | ١٨٠       | مصلد                   |                        |                  |
| ٢,٣                                | ٥         | مصبوب                  | صفيح ٩٩,٩ %            | صفيح             |
| ١,٨                                | ٥         | مدلفن على البارد       |                        |                  |
| ٥                                  | ١٢        | مصبوب ومدلفن           | رصاص ٩٤ %              | رصاص             |
| ٣                                  | ٩         |                        |                        |                  |
| ٥                                  | ١٥        | مصبوب                  | صفيح ٤٠ %<br>رصاص ٦٠ % | قصدير طرى        |
| ٤٢                                 | ٣٥        | مدلفن على الساخن       | زنك ٩٩ %               | زنك              |
| ٣٥                                 | ٤٠        | مدلفن على البارد       | رصاص ٠,١ %             |                  |
| ٣٢                                 | ٨٥        | مخر                    | نيكل ٩٩,٩ %            | نيكل نقي         |
| ٧٥                                 | ١٨٠       | مدلفن على الساخن       | نيكل ٩٣,٥ %            | سبيكة نيكل       |
| ١٢٠                                | ٣٢٠       | مصلد ومسحوب على البارد |                        |                  |
| ٨٥                                 | ٢٢٠       | مسحوب على البارد       |                        |                  |
| ١٢٠                                | ٣٤٠       | مصلد                   |                        |                  |
| ١٦                                 | ٣٠        | مخر                    | ذهب ٩٩,٩٩ %            | فضة نقية         |
| ٣٠                                 | ٩٠        | مدلفن على البارد ومصلد |                        |                  |
| ١٢                                 | ٢٥        | مخر                    | ذهب ٩٩,٩٩ %            | ذهب نقي          |
| ١٦                                 | ٦٠        | مدلفن على البارد ومصلد |                        |                  |
| ١٧                                 | ٤٠        | مخر                    |                        | بلاتين نقي       |
| ٢٥                                 | ١٠٠       | مدلفن على البارد ومصلد |                        |                  |

## امثلة محلولة

١ - أجرى اختبار برنل للصلادة على عينة من الصلب باستخدام كرة برنل قطرها ٥ مم فإذا كان قطر الأثر ٢ مم ، احسب رقم برنل للصلادة ومقاومة الشد التقريبية للصلب المختبر .

الحل :

$$\begin{aligned} \text{حيث أن العينة المختبرة من الصلب} \quad \therefore \text{الثابت } \frac{P}{D^2} = 30 \\ \text{أي أن حمل الاختبار } P = 30 \times \text{مربع قطر كرة برنل المستعملة} \\ 750 = 30 \times 5 \times 5 = \text{كجم} \end{aligned}$$

$\therefore$  رقم برنل للصلادة ( B. H. N. ) يساوى :

$$\begin{aligned} \text{B. H. N.} &= \frac{P}{\pi D/2 (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \\ &= \frac{750}{\pi \frac{5}{2} (5 - \sqrt{(5)^2 - (2)^2})} = 235 \end{aligned}$$

ومقاومة الشد التقريبية = ٢٦,٠ × رقم برنل للصلادة

$$= 235 \times 0,26 = 84,5 \text{ كجم / مم}^2$$

٢ - عين رقم فيكرز للصلادة لعينة من الصلب إذا كان حمل الاختبار المستخدم ١٠٠ كجم وقطر أثر الهرم الماسي على سطح العينة بعد الاختبار ٠,٩٣ مم .

الحل :

$$\text{رقم فيكرز للصلادة} = 1,104 \times \frac{\text{حمل الاختبار}}{\text{مربع قطر الأثر}}$$

$$210 = \frac{100}{(0,93)^2} \times 1,104 =$$

## سائل.

١ - أجرى اختبار صلادة فيكرز على عينة من الصلب باستخدام حمل قيمته ٣٠ كجم فكان قطر الأثر الناتج يساوى ٠,٦٥٤ مم . احسب رقم فيكرز للصلادة ، كذلك الحمل اللازم استعماله لقياس صلادة هذه العينة بحيث لا يزيد قطر الأثر الناتج عن ٠,٥٠ مم .

٢ - اختبرت عينة من الصلب فى الصلادة باختبار برنل باستخدام كرة ذات قطر ٥ مم فكان رقم برنل للصلادة يساوى ١٥٠ ، احسب قطر أثر تلك الكرة على العينة الناتج من الاختبار .

ما هى مقاومة الشد التقريبية لهذا المعدن بالكيلو جرام على المليمتر المربع ؟

٣ - أجرى اختبار الصلادة بطريقة برنل على عينة من سبيكة نحاس واستخدمت كرة قطرها ١٠ مم وكان قطر الأثر الناتج على العينة ٤ مم . عين رقم برنل للصلادة للعينة المختبرة .

٤ - أجرى اختبار برنل للصلادة على عينة من الصلب باستخدام كرة برنل قطر ١٠ مم وكان قطر الأثر الناتج هو ٤,٢٦ مم . احسب رقم برنل للصلادة ثم عين مقاومة الشد التقريبية لهذا الصلب .

٥ - ما هو الخطأ فى ذكر أن رقم ركول للصلادة = ٥٠ ؟

## ( تمرين رقم ١٥ )

## اختبار صلادة المعادن

## ١ - المجال :

يهدف هذا الإختبار إلى دراسة اختبار الصلادة بطريقة كل من برنل وفيكرز وركول وحساب رقم الصلادة للمعدن المختبر بكل طريقة .

## ٢ - عينة الاختبار .

يجرى اختبار صلادة المعادن بأي من طريقة برنل أو فيكرز أو ركول على قطعة من المعدن ذات سطح مستو ومصقول ونظيف مع مراعاة أن لا يقل سمك قطعة لاختبار عن عشرة أمثال عمق الأثر الذي يحدث بالعينة بعد الاختبار .

## ٣ - أدوات الاختبار :

- (١) مكينة اختبار برنل المجهزة بميكرومتر مجهرى .
- (ب) - مكينة اختبار فيكرز المجهزة بميكرومتر مجهرى .
- (ج) مكينة اختبار ركول .

## ٤ - طريقة اجراء الاختبار .

## (١) طريقة برنل :

١ - إختبار قيمة الثابت  $(\frac{P}{D^2})$  المناسب لنوع المعدن المختبر من جدول رقم

(٨ - ٢) . ثم يختار قطر كرة برنل ( D ) المناسب تبعاً لسمك قطعة الإختبار .  
فيتحدد من ذلك حمل الإختبار ( p ) .

٢ - توضع قطعة الاختبار على قاعدة مكينة ثم توضع كرة برنل المناسبة على سطحها ويحفظ عليها بحمل يزداد تدريجياً حتى تصل قيمته لحمل الإختبار ( p ) .  
ثم يترك حمل الإختبار مؤثراً لفترة تتراوح من ١٥ إلى ٣٠ ثانية يزال بعدها وتعد كرة برنل عن سطح قطعة الإختبار .

٣ - توجه عدسة المجهز لسطح قطعة الإختبار فيظهر أثر الكرة على شاشة الجهاز

وهو عبارة عن دائرة ، يقاس قطرها ( d ) باستخدام الميكرومتر المثبت بالمجهر .

(ب) طريقة فيكروز :

- ١ - إختبار قيمة حمل الإختبار ( P ) المناسب لنوع المعدن المختبر .
- ٢ - توضع قطعة الإختبار في مكنة إختبار فيكروز مرتكزة على قاعدة مستوية وثابتة ثم يؤثر على سطحها بالهرم الماسي المثبت برأس المكنة والذي ينحط على سطح قطعة الإختبار بحمل يزداد تدريجياً حتى يصل إلى حمل الإختبار ( P ) .
- ٣ - يزال الهرم الماسي عن سطح قطعة الإختبار وتوجه عدسة المجهر عمودية عليه فيظهر أثراً مربعاً على شاشة الجهاز يقاس قطريه بالميكرومتر ويحسب متوسطهما وليكن ( d ) .

(ج) طريقة ركول :

- ١ - يختار مقياس ركول ( ركول B أو ركول C أو ركول A ) المناسب لنوع المعدن المختبر وتضبط مكنة الإختبار على ذلك المقياس .
- ٢ - توضع قطعة الإختبار في مكنة إختبار ركول ثم يضبط على سطحها بحسم عبارة عن كرة صغيرة من الصلب المصلد قطرها ١,٥٨٨ مم في حالة ركول B أو مخروط بحرف ماسي مستدير في حال ركول A وركول C . وبحيث يتم الضغط كما يلي : ( أ ) الضغط بالحمل الابتدائي وقدره ١٠ كجم ثم يضبط مؤشر القرص المدرج لرقم ركول الصلادة على تدريج صفر .
- (ب) زيادة الحمل بإضافة الحمل الكبير حتى يكون الحمل الكلى ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كيلو جرام لمقاييس ركول A أو B أو C على الترتيب .
- (ج) يزال الحمل الكبير ثم يسجل رقم ركول وهو قراءة المؤشر على التدريج لمقياس ركول المستخدم

٥ - النتائج .

يحسب لكل إختبار رقم الصلادة كما يلي

( ١ ) - رقم برنل للصلادة E·H·N .

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

حيث  $P$  = حمل الاختبار .

$D$  = قطر الكرة المستعملة .

$d$  = قطر الأثر المقاس .

(ب) رقم فيكرز للصلادة  $V H N$  :

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

حيث  $p$  = حمل الاختبار .

$d$  = قطر الأثر المقاس .

(ج) رقم ركول للصلادة :

يسجل مباشرة من مكنة الاختبار الخاصة بهذا الاختبار .

٦ - مثال تطبيقي :

(١) في اختبار برنل للصلادة على عينة من الصلب كان حمل الاختبار = ٣٠٠٠ كجم و قطر الكرة المستخدمة ١٠ مم و قطر الأثر المقاس ٥ مم - احسب رقم برنل للصلادة .

الحل :

$$B. H. N. = \frac{3000}{\pi \cdot 10/2 (10 - \sqrt{(10)^2 - (5)^2})} = 143$$

(ب) في اختبار فيكرز للصلادة على عينة من الصلب كان حمل الاختبار ١٠٠ كجم

ومتوسط قطري الأثر ١,١ مم ، احسب رقم فيكرز للصلادة .

الحل :

$$V.H.N. = \frac{100}{(1.11)^2} = 150$$

٢ - ثلاثة :

- ١ - ما المقصود بصلادة المعادن ؟
- ٢ - لماذا يعتبر اختبار صلادة العلامة اختبار هام في الصناعة ؟
- ٣ - ما هي الطرق المختلفة لمقارنة صلادة المعادن ؟
- ٤ - اشرح باختصار كيفية إجراء اختبار صلادة العلامة بكل من طريقة برنل وطريقة ركول وطريقة فيكرز ؟ هل يمكن إجراء هذه الاختبارات في موقع العمل؟
- ٥ - قارن بين اختبار برنل وفيكرز وركول من حيث :  
مكثرة الاختبار - الاحمال المستخدمة في الاختبار - الاستعمالات .
- ٦ - ما هي الاختياطات التي يجب مراعاتها عند إجراء اختبار صلادة العلامة ؟
- ٧ - إذا عمل أثر برنل بالقرب من حافة قطعة الاختبار ، هل يكون رقم برنل للصلادة في هذه الحالة أكبر أم أصغر من قيمته الحقيقية ؟ لماذا ؟
- ٨ - لماذا استخدم الحمل الابتدائي في اختبار ركول للصلادة ؟
- ٩ - كيف يمكن اختيار حمل الاختبار المناسب في كل من اختبارات صلادة المعادن؟
- ١٠ - على أي أساس يحدد قطر كرة برنل المناسب لاختبار معدن معين ؟
- ١١ - ما هي مزايا وعيوب كل من اختبارات برنل وركول وفيكرز للصلادة ؟