الباب الثامن

صلادة المعادن

(HARDNESS OF METALS)

مقدمة :

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

أولا صلادة المعادن .

(ا) اختبار صلادة المعادن بطريقة برنل . (ب) إختبار صلادة المعادن بطريقة فيكرز . (ج) اختبار صلادة المعادن بطريقة ركول .

(ء) صلادة العلامة بالتحميل الديناميكى .

ثانيا ـ صلادة الارتداد .

ثالثا ـ صلادة الخدش :

رابعا ـ صلادة التا كل

خامسا ـ صلادة التشغيلية بالمكنات

سادسا ـ علاقات ارقام الصلادة واختلافاتها

(ا) العلاقة بين أرقام الصلادة المعينة بالطرق المختلفة .

(ب) العلاقة بين رقم برنل للصلادة ومقاومة الشد للمعادن .

(ج) إختلاف رقم برنل .

سابعا ـ العوامل المؤثرة على صلادة المعادن

ثامنا ـ الاستعراض الاجمالى للصلادة

مقدمة :

١ — تعريف صلادة المعادن :

صلادة أى معدن هى الخاصية التى تمكنه من الاحتفاظ بشكل سطحه سليما متماسكا 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 المنجنيزى 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 أمكن إيجاد طرق لمقاومة الصلادة النسبية للمعادن بعضها بالبعض . وقد عرفت الصلادة طبقاً لهذه الطرق كما يأتى :

١ — صلادة العلامة : (Indentation Hardness)

وهى خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل استاتيكى و ديناميكى .

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 — صلاة 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 بالمكنات : (Machineability Hardness) :

وهى خاصية مقاومة المعدن للتشغيل بالمكنات مثل عمليات القطع والثقب والقص . . إلخ .

ويلاحظ أن الطرق سالفة الذكر التى تصف وتعين صلادة المعدن تختلف عن بعضها فى معناها وهدفها وبرغم ذلك التباعد إلا أن كل طريقة لها فايدة كبـــيرة فى المقارنة الكمية لصلادة المعادن عند استخدامها فى أغراض التشغيل المختلفة فمثلا صلادة العلامة يتبين أهميتها فى مقارنة صلادة ألواح المدرعات الحربية لمقاومة اختراق القذائف وصلادة الارتداد تستخدم فى اختبار المعادن ذات الصلادة المناسبة للبايات وصلادة الخدش تفيد فى تقدير صلادة المعادن فى عمليات البرد وعند تعرض المعدن للخدش أثناء التشغيل أما صلادة البرى فتظهر قيمتها فى تحديد صلادة المعادن اللازمة لسطوح العجلات الحديدية للقطارات والقضبان الحديدية حتى تكون ذات مقاومة كافية للتآكل نتيجة الاحتكاك وصلادة التشغيلية بالمكنات ذات فائدة قيمة عند تشكيل المعادن بالمخرطة والمثقاب وغيرها بالورشة .

كما يلاحظ أن مقاييس الصلادة المختلفة المذكورة ترتبط بالقوى الداخلية لجزيئات المعدن الأمر الذى يوضح أن استخدام أية طريقة لمقارنة صلادة المعادن تكون ذات قيمة حقيقية إذا أجريت فقط على المعادن المتشابهة ـــ فمثلا ـــ صلادة العلامة ليست بذات معنى ، أو نتيجة إذا عملت للبلاط ولكنها أداة فعالة لمقارنة وبيان صلادة أنواع الصلب المختلفة .

ب ـــ مجال اختبار صلادة المعادن :

إن اختبار صلادة المعادة له مجال متسع فى الصناعة وتنص معظم المواصفات القياسية على ضرورة إجرائه للمعادن وللمنتجات المعدنية كاختبار قبول .

وتستخدم نتائج اختبارات الصلادة فى الأغراض الآتية .

١ ـــ ترتيب المعادن حسب صلادتها حيث أن لكل صلادة معينة استخدام مناسب لها فى الصناعة وفى التشغيل .

٣ ـــ التحكم فى مستوى الانتاج 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 ــ ضبط نسبة الكربون المطلوبة للصلب أثناء الصناعة ــ حيث أن لكل نسبة كربون معامل صلادة معين ــ بإجراء اختبار الصلادة السريع والسهل يمكن التزود بالبيانات اللازمة ،

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

٦ ــ معرفة الخواص الميكانية للمعادن المتعلقة بخاصية الصلادة فمثلا صلادة العلامة تتناسب طردياً مع مقاومة الشد وتوجد معادلة تحدد هذا التناسب وبذلك يمكننا باختبار الصلادة تعيين مقاومة الشد دون الالتجاء إلى إجراء إختبار الشد وهو اختبار متلف (Destructtve iest) وتنطبق تلك النتيجة على أجزاء المكنات أو العينات التى يراد معرفة مقاومتها للشد ولا يمكن تجهيز عينات شد منها لتعذر ذلك نتيجة صغر الجزء موضوع الاختبار أو للرغبة فى عدم كسر أو إتلاف ذلك الجزء الأمر الذى يجعل إختبار الصلادة عبارة عن اختبار غير متلف للمنتجات المعدنية .

أولا — صلادة العلامة

تحدد صلادة المعادن بهذه الطريقة بواسطة عمل علامة بها بالضغط على سطحها بجسم يترك أثراً بعد إزالة الضغط الذى يؤثر به فى مدة بسيطة تتراوح من ١٥ إلى ٣٠ ثانية وتقارن صلادة المعادن بقياس عرض الأثر أو عمقه فكلما زادت قيمته كلما كان المعدن أقل صلادة وبالعكس . ويمكن أيضاً تعيين رقم صلادة للمعدن بحساب الإجهاد الحادث من تحميل الضغط والذى يساوى حمل الضغط مقسوما على مساحة الأثر على المعدن المختبر ، ويعتبر هذا الإجهاد رقماً للمقارنة ولا يذكر له الوحدات المميزة للإجهاد (كجم / سم^2 مثلا) حيث أنه يحسب دائماً على أساس وحدات من نوع ثابت أى حمل الضغط بالكيلو جرام وأبعاد الأثر بالملليمتر .

والجسم الذى يؤثر به فى المعدن المختبر (Indentor) قد يكون كرة صغيرة من الصلب ويسمى ذلك الاختبار فى هذه الحالة باختبار برنل (Brinell) أما إذا كان الجسم هرما ماسياً دقيقاً فيسمى باختبار فيكرز (Vickers) وفى حالة اختبار روكول (Rockwell) يكون الجسم عبارة عن كرة دقيقة من الصلب أو مخروط له حرف مستدير دقيق من الماس (Brale) .

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

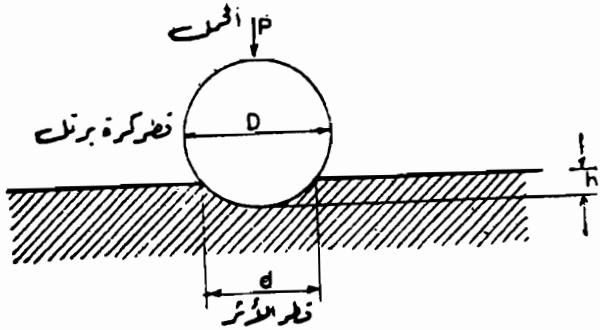
١ — اختبار صلادة المعادن بطريقة برنل : (Brinell)

١ — طريقة الاختبار : تتلخص هذه الطريقة : فى 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 الذى يحسب كما يلى :

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

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



شكل رقم (٨ — ١) اختبار برنل للصلادة

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

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

حيث D = قطر برنل بالمليمتر .

d = قطر الأثر بالمليمتر ، p = حمل الاختبار بالكيلوا جرام

ويراعى قياس قطر الأثر (d) فى اتجاهين متعامدين واعتبار متوسطهما عند حساب رقم برنل للصلادة ، كما يراعى أيضاً أن يكون القياس دقيقاً حتى ٠,٠١ مم 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 قطر تتراوح من ¼ إلى ½ قطر الكرة .

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

تحوط في الحوار الملدنة (المخمرة) تحوف في الحوار عالية التشغيل

تأثير شكل وعمق الأثر في اختبار الصلادة بطريقة برينل على دقة القياس

شكل رقم (٨ ـ ٢)

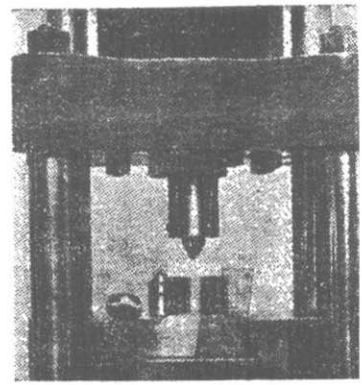
٢ ـ جهاز الاختبار :

مكنة الاختبار : يمكن استخدام أى نوع مناسب من مكنات إختبار الضغط أو مكنات الاختبار العامة تركب فى أحد وجهى الضغط وصلة خاصة كما فى الشكل (٨ ـ ٣) بها الكرة الصلب للضغط بها على قطعة الاختبار بحمل معين على ألا تزيد أصغر قراءة لتدريجات حمل المكنة على ٠,٥ ٪ من حمل الاختبار وأن تكون دقة مكنة الاختبار فى حدود = ٠,٥ ٪ من حمل الاختبار . ثم يقاس قطر الأثر باستخدام ميكرومتر مجهرى الشكل رقم (٨ ـ ٤) كما يمكن إستخدام مكنات خاصة لاختبار برنل للصلادة شكل رقم (٨ ـ ٥ ، ٨ ـ ٦) تقوم بعمل الأثر المطلوب وبيانه مكبر على شاشة صغيرة بالجهاز بها ميكرومتر يمكن من قياس قطر الأثر بدقة وسهولة ، كما توجد مكنات لإختبار برنل تعين رقم برنل مباشرة على قرص مدرج أو على مقياس متصل بها الأمر الذى يبسط تحديد صلادة برنل مع السرعة بتوفير عملية الحساب .

كرات برنل : تصنع كرات برنل من الصلب المصلد ويجب أن يكون سطح الكرات أملساً وخالياً من العيوب . والكرات المستعملة فى هذا الاختبار تكون بأحد الأقطار الاعتبارية المبينة بالجدول رقم (٨ ـ ١) .

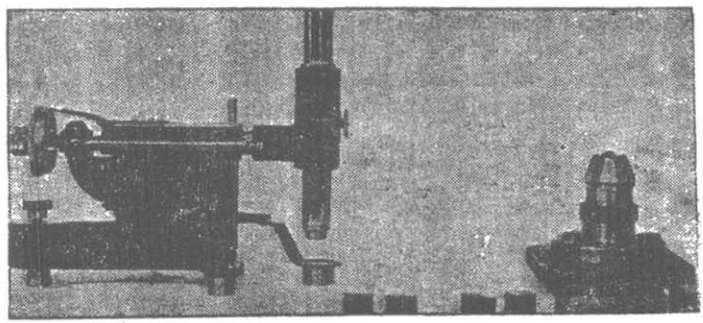
جدول رقم (٨ — ١) — الأقطار الإعتبارية لكرات برتل

قطر الكرة الاعتبارى مم	١٠	٥	٢	١
حدود السماح مم	±٠,٠٠٤٥	±٠,٠٠٤٠	±٠,٠٠٣٥	±٠,٠٠٢٥

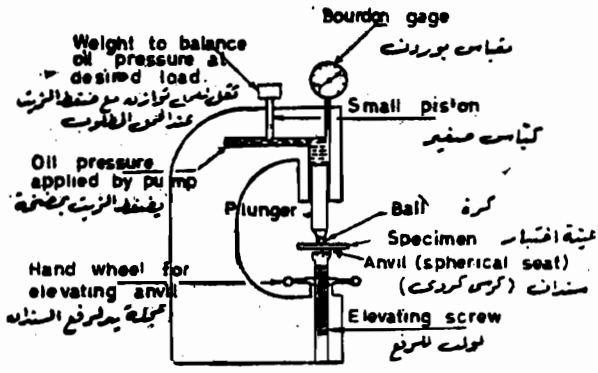


شكل رقم (٨ — ٣)
وصلة خاصة باختبار برتل مركبة بمكنة الاختبار العامة

شكل رقم (٨ — ٥) مكنة اختبار برتل للصلادة



شكل رقم (٨ — ٤) الميكرومتر المجهرى



FEATURES OF HYDRAULIC TYPE- BRINELL MACHINE

أجزاء مكنة "برنل" الهيدروليكية

بشكل رقم (٨ — ٦)

كما يجوز استخدام كرة قطرها ٣,٥ مم بحدود سماح ٠,٠٠٣٥

ويراعى بعد إجراء إختبار برنل التأكد من عدم حدوث عيوب سطحية بالكرة أو تغير فى قطرها قيمته أكثر من الحدود المسموح بها وإلا تلغى نتيجة الاختبار وتعتبر الكرة غير صالحة .

ويتوقف اختيار قطر الكرة المناسب للاختبار على أبعاد وسمك عينة الاختبار ، وعلى حالة جزيئات سطح المعدن المختبر . وكلما صغرت أبعاد العينة أو قل سمكها كلما إستلزم 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 عدد مناسب من جزيئات السطح حتى تمثل مقاومتها فى 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 الجزيئى تماما للمعادن .

٢ — العلاقة بين قطر كرة برنل اوحمل الاختبار .

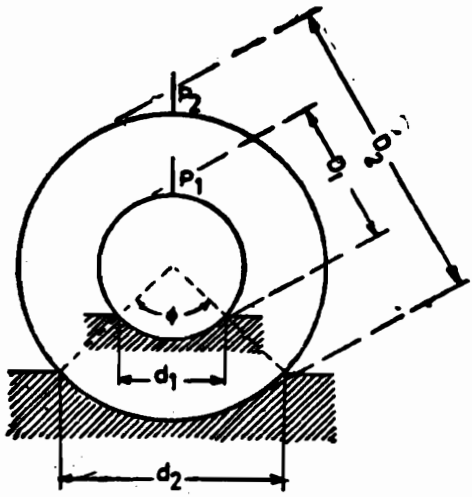
يراعى أن حمل الاختبار المناسب للمعدن المختبر لا بدوأن تستعمل معه كرةذات

قطر مناسب حتى نحصل على أثر مناسب لقياس قطره بدقة أى حتى نستوفى الشرط $d / D = ٠,٢٥ - ٠,٥$ = عدد ثابت وذلك مهما إختلف نوع المعدن المختبر . ويتطلب هذا الشرط أن يكون الأثر متشابها هندسيا (Geometrically Similar) مهما اختلفت أقطار كرات برنل والأحمال المستخدمة ، كما يتبين من الشكل رقم (٨ — ٧) .

وقد تبين من التجارب المختلفة أن متوسط إجهاد الضغط للتحميل على سطح المعدن عدد ثابت عند الحصول على اثار كرات برنل بحيث تتشابة تلك الآثار هندسياً مع إختلاف أقطارها والحمل المؤثر أى أن :

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

أى أن : $P / d^2 = \text{ثابت}$



CONDITIONS FOR SIMILARITY IN IMPRESSIONS

حالات التشابه فى الأثر

(أختبار برنل للصلابة)

شكل رقم (٨ — ٧)

حيث P = الحمل المؤثر بالكيلو جرام

d = قطر الأثر بالمليمتر

D = قطر كرة برنل بالمليمتر

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

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

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

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

ويبين الجدول رقم (٨ — ٢) قيمة هذا العدد الثابت والمعادن التى 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

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

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 فى الاختبار من المعادلة عدد ثابت $= \frac{P}{D^2}$ بمعلومية نوع المعدن الذى يحدد قيمة الثابت على أساسه من الجدول رقم (٨ — ٢) .

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

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

$$\therefore P = 3000 \ kg$$

ويبين الجدول رقم (٨ - ٣) الأحمال المستعملة فى إختبار برنل للمعادن المختلفة .

الجدول رقم (٨ - ٣) الأحمال المستعملة فى إختبار برنل

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

٥ — قطعة الاختبار :

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

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

حيث : h = عمق الأثر بالملليمتر

B.H. N. = عمق الأثر بالملليمتر

P = رقم برنل للصلادة

D = قطر كرة برنل بالملليمتر

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

ويبين الجدول رقم (٨ - ٤) الحد الأدنى لسمك قطعة الاختبار .

جدول رقم (٨ - ٤) الحد الأدنى لسمك قطعة الاختبار بالنسبة لأرقام برنل للصلادة

قطر الكرة مم	الحمل كجم	رقم برنل للصلادة				
		١	٥	١٠	١٥	٢٠
		الحد الأدنى للسمك مم				
١	١	٣,١٧	٠,٦٣	٠,٣٣	—	—
٢	٤	٦,٣٥	١,٢٧	٠,٦٠	٠,٤٣	٠,٣٣
٥	٢٥	١٥,٨٣	٣,١٧	١,٦٠	١,٠٦	٠,٧٩
١٠	١٠٠	٣١,٧٥	٦,٣٥	٣,١٧	٢,٣٨	١,٦٠
		٢٠	٣٠	٤٠	٥٠	٦٠	٧٠
١	٥	٠,٧٩	٠,٥٣	٠,٤١	٠,٣٢	٠,٢٦	—
٢	٢٠	١,٦٠	١,٠٦	٠,٧٩	٠,٦٤	٠,٥٣	٠,٤٦
٥	١٢٥	٤,٠٠	٢,٦٧	١,٩٢	١,٦٠	١,٣٢	١,١٢
١٠	٥٠٠	٧,٩٠	٥,٣٠	٤,٠٠	٣,١٧	٢,٦٤	٢,٢٥
		٨٠	١٠٠	١٢٠	١٤٠	١٥٠
١	١٠	٠,٤١	٠,٢٣	٠,٢٨	—	—
٢	٤٠	٠,٧٩	٠,٦٣	٠,٥٣	٠,٤٦	٠,٤٣٠
٥	٢٥٠	١,٩٨	٠,٥٩	١,٣٢	١,١٣	١,٠٦
١٠	١٠٠٠	٤,٠٠	٣,١٧	٢,٦٤	٢,٢٥	٢,١٠
		١٥٠	٢٠٠	٣٠٠	٤٠٠	٥٠٠
١	٣٠	٠,٦٣	٠,٤٨	٠,٣٣	—	—
٢	١٢٠	١,٢٧	٠,٩٦	٠,٦٣	٠,٤٨	٠,٣٨
٥	٧٥٠	٣,١٧	٢,٣٨	١,٦٠	١,١٩	٠,٩٤
١٠	٣٠٠٠	٦,٣٨	٤,٧٧	٣,١٧	١,٣٨	١,٩٠

سطح قطعة الاختبار : يجب أن يكون سطح قطعة الاختبار مصقولا بدرجة تسمح بقياس قطر أثر كرة برنل بمقياس دقتـــه ٠,٠١ مم ويكون ذلك بالبرد أو التجليخ وذلك فى حالة استعمال كرة برنل ذات قطر ١٠ مم أو ٥ مم . أما فى حالة استعمال الكرة ذات قطر ٢ مم فيكون الصقل باستعمال ورق صنفرة (٣ أصفار) ويراعى أن يكون سطح قطعة الاختبار بعد صقلة 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 برنل : يجب ألا تقل المسافة بين مركز أثر كرة برنل وأقرب حافة لقطعة الإختبار عن مرتين ونصف مرة من قطر الأثر ، وكذلك ألا تقل المسافة بين مركزى أثرين متجاورين عن أربع مرات قطر الأثر .

٦ ــ إجراء الإختبار :

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

ويحسن عند ذكر رقم برنل للصلادة بيان قطر الكرة وقيمة الحمل المستخدمين فى الاختبار مثل ص . ب . (١٠ / ٣٠٠٠) أى رقم صلادة برنل معين باستخدام كرة قطرها ١٠ مم وحمل قيمته ٣٠٠٠ كما يحسن إجراء أكثر من إختبار على القطعة الواحدة وأخذ متوسط النتائج وذلك كلما سمحت مساحة قطعة الاختبار بذلك .

٧ ــ حدود استخدام طريقة برنل للصلادة .

يعتبر استخدام طريقة برنل لاختبار صلادة المعادن غير صحيح فى الأحوال الآتية:

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

ـــ إذا كانت العينة المختبرة رقيقة جدا أى ذات سمك صغير حيث تحدث كرة برنل بسطح المعدن إنبعاجا يظهر أثره من الجانب الآخر وتكون نسبة عمق الأثر إلى سمك العينة لا تتفق مع ما سبق تحديده و بذلك لا يعبر رقم برنل فى هذه الحالة عن صلادة المعدن الحقيقية .

ـــ 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 غرض الإختبار .

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

١ ـــ طريقة الاختبار : يجرى هذا الاختبار بنفس طريقة إختبار برنل شكل رقم (٨ ـــ 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 θ قدرها ١٣٦ و يعين بعد التحميل ـ فى هذه الحالة أكبر مقاس للأثر أى قطر الأثر D ، ويحسب رقم فيكرز للصلادة كالآتى :

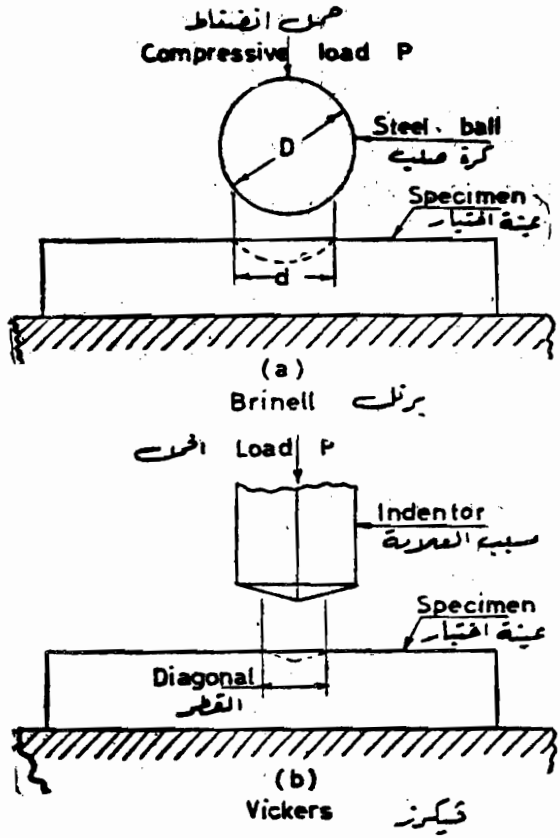
$$\text{رقم فيكرز للصلادة} = \frac{\text{الحمل (كجم)}}{\text{مساحة الأثر على قطعة الاختبار (مم}^2\text{)}}$$

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

حيث الحمل $= P$ كجم

قطر الأثر $= D$ مم (شكل رقم ٨ ـ ٩ ، ٨ ـ ١٠)

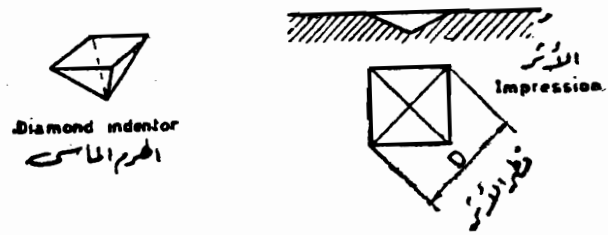
٢ ـــ جهاز الاختبار : يكون إجراء إختبار الصلادة للمعادن بطريقة فيكرز بجهاز خاص (شكل ٨ ـ ١١) يقوم بتحميل قطعة الاختبار بأحد الأحمال ١٠٠ أو ٥٠ أو ٣٠ أو ٢٠ أو ١٠ أو ٥ كجم وحسب إختيار القائم بالاختبار طبقاً لحالة صلادة



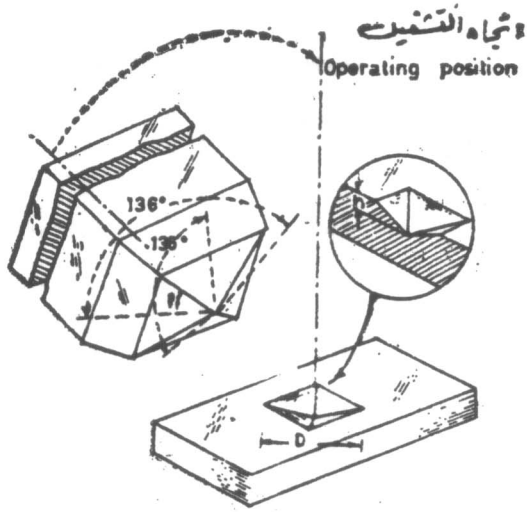
INDENTATIONS BY BRINELL AND VICKERS HARDNESS TESTERS

صلادة العلامة بجهازى أختبار برنل و فيكرز

(شكل رقم ٨ — ٨)



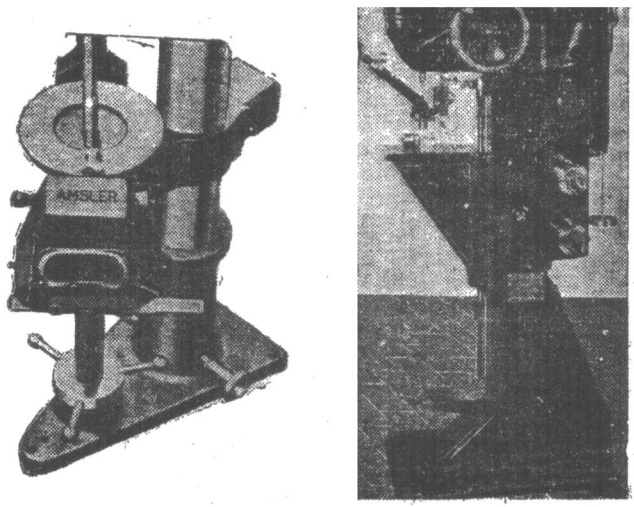
شكل رقم (٨ — ٩) أثر الهرم الماسى لاختبار فيكرز



SCHEMATIC DRAWING OF 136° DIAMOND PYRAMID INDENTER AND INDENTATION SHAPE

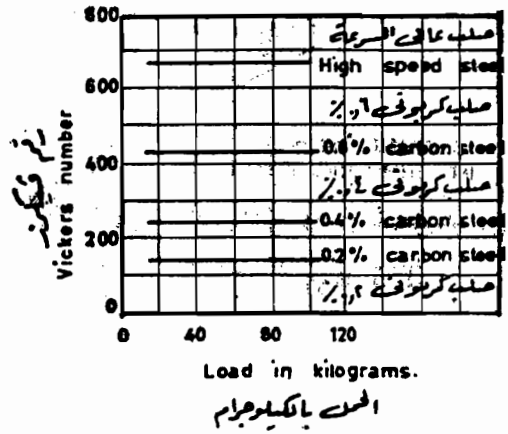
رسم تخطيطي للمخترق الهرمي الماسي وشكل العلامة
(الزاوية بين أسطح رأسي الهرم = ١٣٦°)

شكل رقم (٨ — ١٠)



شكل رقم (٨ — ١١) جهاز فيكرز للصلادة

المعدن المختبر وسمك وأبعاد قطعة الاختبار وعمق الأثر المسموح به بالجزء المختبر تفادياً لإتلاف سطحه . ويلاحظ أن اختلاف التحميل مع ثبوت الهرم الماسى فى كل حالة لا يؤثر فى إختلاف قيمة رقم فيكرز للصلادة حيث ثبت من التجارب المتعددة إن رقم فيكرز ثابت للمعدن الواحد مهما اختلفت الأحمال المؤثرة كما يتضح من الشكل رقم (٨ — ١٢) .



الحمل بالكيلوجرام

اختلاف التحميل مع ثبات الهرم الماسى فى اختبار صلادة فيكرز لا يؤثر على قيمة الصلادة

شكل رقم (٨ - ١٢)

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

ويلاحظ أن الهرم الماسى المؤثر بالحمل على القطعة أكثر صلادة من كرة برنل لذلك ليس له ظاهرة التغير فى الشكل مهما كبرت صلادة المعدن المختبر أو مهما تغيرت الأحمال المؤثرة . كما أن الهرم الماسى دقيق وأصغر مقاساً من كرات برنل الأمر الذى يعطى أثراً دقيقاً . كما أنه نظراً لحروف الهرم الحادة فإن أثره يظهر

واضحا محدداً وبذلك يكون قياس قطر الأثر مضبوطا ودقيقا 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 إستخدام جهاز صغير الحجم وأحمال مؤثرة صغيرة. كما يمكن لهذا الاختبار باستخدام الهرم الماسى دقيق الحجم تحديد صلادة المعادن شديدة الصلادة وقليلة الصلادة والمعادن الرقيقة السمك التى لايصلح لها اختبار برنل وذلك حتى سمك قدره ١٠ , ٠ مم .

لذلك يستعمل هذا الاختبار فى الأعمال التى تتطلب نتائج دقيقة للمعادن مهما اختلف النوع أو تنوعت الأبعاد أو اختلفت الصلادة ، ويعتبر اختبارا هاما فى أعمال المقارنة والأبحاث .

جـ - اختبار صلادة المعادن بطريقة ركول : (Rockwell)

١ — إجراء الاختبار : يجرى إختبار ركول باستخدام مكنة خاصة شكل رقم (٨ — ١٣) تؤثر بحمل ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كجم وهو حمل صغير بالنسبة للحمل المستعمل فى طريقة برنل .

كما أن الجسم المحدث للأثر عبارة عن كرة صغيرة من الصلب المصلد $\frac{1}{16}$ بوصة أى ١,٥٨٨٨ مم أو عن مخروط له حرف مستدير من الماس يسمى (Brale) .
ويجرى الاختبار بتحميل قطعة الاختبار بحمل ابتدائى قيمته ١٠ كجم (Minor load) وبعد ذلك يعاد مؤشر القرص المدرج للجهاز أمام التدريج صفر. ثم يزاد الحمل باضافة الحمل الكبير (MaJor load) حتى يكون الحمل الكلى النهائى ٦٠ أو ١٠٠ أو ١٥٠ كجم حسب نوع اختبار ركول المستخدم (الحمل النهائى = الحمل الابتدائى + الحمل الكبير المضاف) ويلاحظ أنه أثناء التحميل بالحمل الكبير المضاف يسير الجسم المحدث للأثر داخل سطح قطعة الاختبار وفى 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 عمق الأثر قليلا ويرتد بالتبعية قليلا المؤشر على القرص ويثبت عند تدريج معين يكون رقمه هو رقم ركول للصلادة (مع ملاحظة أن الحمل الابتدائى ١٠ كجم لازال مؤثرا على قطعة الاختبار أى أن رقم الصلادة يتعلق بالأثر الناتج من الحمل الكبير فقط) .

وقد بنى ركول طريقته على أساس أن رقم ركول المبين على تدريج الجهاز يتناسب تناسبا عكسيا مع إعمق الأثر الناتج من الحمل الكبير أى أنه كلما زاد عمق الأثر كلما صغر رقم ركول للصلادة أى كلما قلت صلادة المعدن المختبر ، ويبين الشكل رقم (٨ — ١٤) طريقة إجراء اختبار ركول للصلادة .

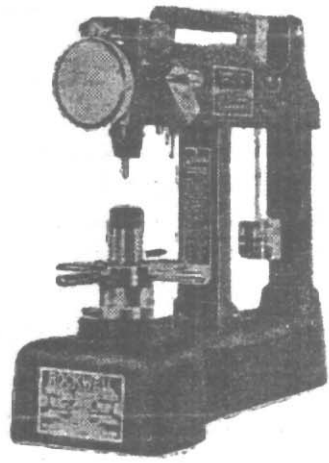
٢ — مقاييس ركول للصلادة : رقم ركول هو رقم إعتبارى حدده ركول على تدريج قرص جهازه على الأساس السابق ذكره . وهناك مقاييس مختلفة لتحديد الصلادة بطريقة ركول : مقياس ركول B ومقياس ركول C ومقياس ركول A ويختار المقياس المناسب تبعاً لصلادة المعدن المختبر كما هو مبين بالجدول (٨ — ٥) ، كما أنه عند الاختبار لتحديد الصلادة على أساس هذا المقياس يستخدم حمل نهائى معين وجسم محدث 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 فمثلا مقياس ركول B يبدأ من رقم ٣٠ (كصفر للبداية) وينتهى برقم ١٣٠ ومقياس ركول C يبدأ من رقم صفر وينتهى برقم ١٠٠ ويكون رقم ركول للصلادة كالآتى :

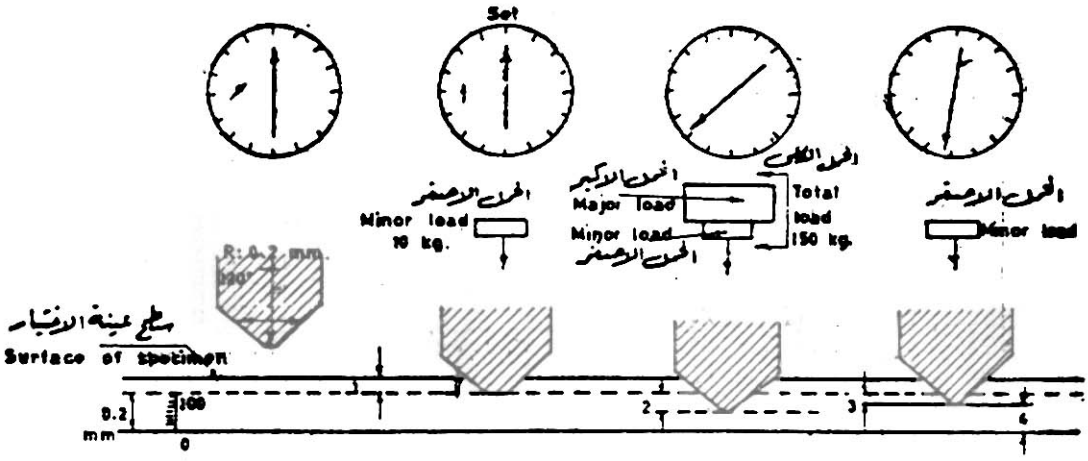
$$\text{رقم ركول } B = ١٣ - \frac{\text{عمق الأثر (مم)}}{٠,٠٠٢}$$

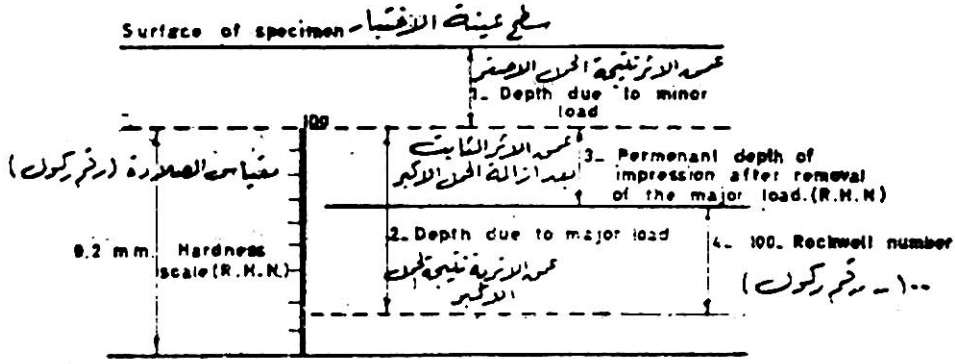
$$\text{رقم ركول } C = ١٠٠ - \frac{\text{عمق الأثر (مم)}}{٠,٠٠٢}$$

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



شكل رقم (٨ — ١٣) جهاز اختبار روكول للصلادة





شكل رقم (٨ — ١٤) طريقة إجراء اختبار روكول للصلادة

جدول رقم (٨ —) مقاييس ركول للصلادة

مقياس ركول	الجسم المحدث للأثر	الحمل الكلى للأثر كجم	المعدن التى يحدد صلادتها المقياس
ركول B	كرة صلب مصلدة قطر ١,٥٧٨ مم	١٠٠	الصلب الكربونى السطرى والمتوسط والألواح والقضبان المعدنية الطرية .
ركول C	مخروط بحرف ماسى مستدير (Brale)	١٥٠	الصلب المصلد والسبائك الحديدية والسبائك المعدنية ذات صلادة أكثر من ركول ١٠٠
ركول A	مخروط بحرف ماسى مستدير (Brale)	٦٠	شرائح الصلب المصلد الرقيقة والمعادن والسبائك شديدة الصلادة وفى إختبار الصلادة إذا أريد أن يكون الأثر الحادث صغيرا .

٣ — قطعة الاختبار : يراعى تجهيز سطح قطعة الاختبار قبل إجرائه كما هو الحال فى إختبار برنل بجعل السطح مستويا وناعما وخاليا من الخدوش والعلامات أو أن يكون ملتصقا به زيوت أو شحومات أو أية مواد غريبة كما يراعى عدم حدوث انبعاج بالجانب الآخر للعينة بعد الاختبار .

٤ — مزايا طريقة ركول للصلادة :

تستخدم طريقة ركول بكثرة فى 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

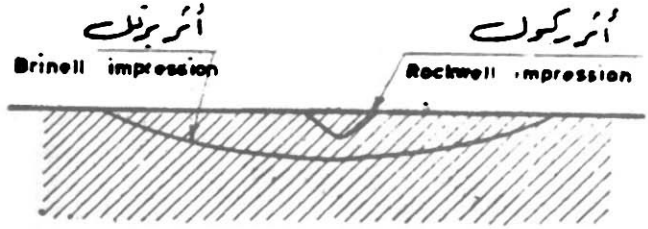
خبرة بتعيين رقم ركول للصلادة بتشغيل الجهاز وقراءة رقم الصلادة من تدريجات القرص . كما أن الأثر الناتج من طريقة ركول صغير جدا إذا قورن بالأثر الناتج من طريقة برنل كما يتبين من الشكلين رقم (٨ — ١٥ ، ٨ — ١٦) .

د — صلادة العلامة بالتحميل الديناميكى .

يقتصر استخدام هذه الاختبارات لتحديد صلادة المعادن فى درجات الحرارة العالية ويكون إجراء الاختبار بحمل ذراع يحمل الجسم المحدث للأثر يسقط على سطح القطعة المختبرة من إرتفاع 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 باستن (Baston) أو اختبار رودمان (Rodman) .

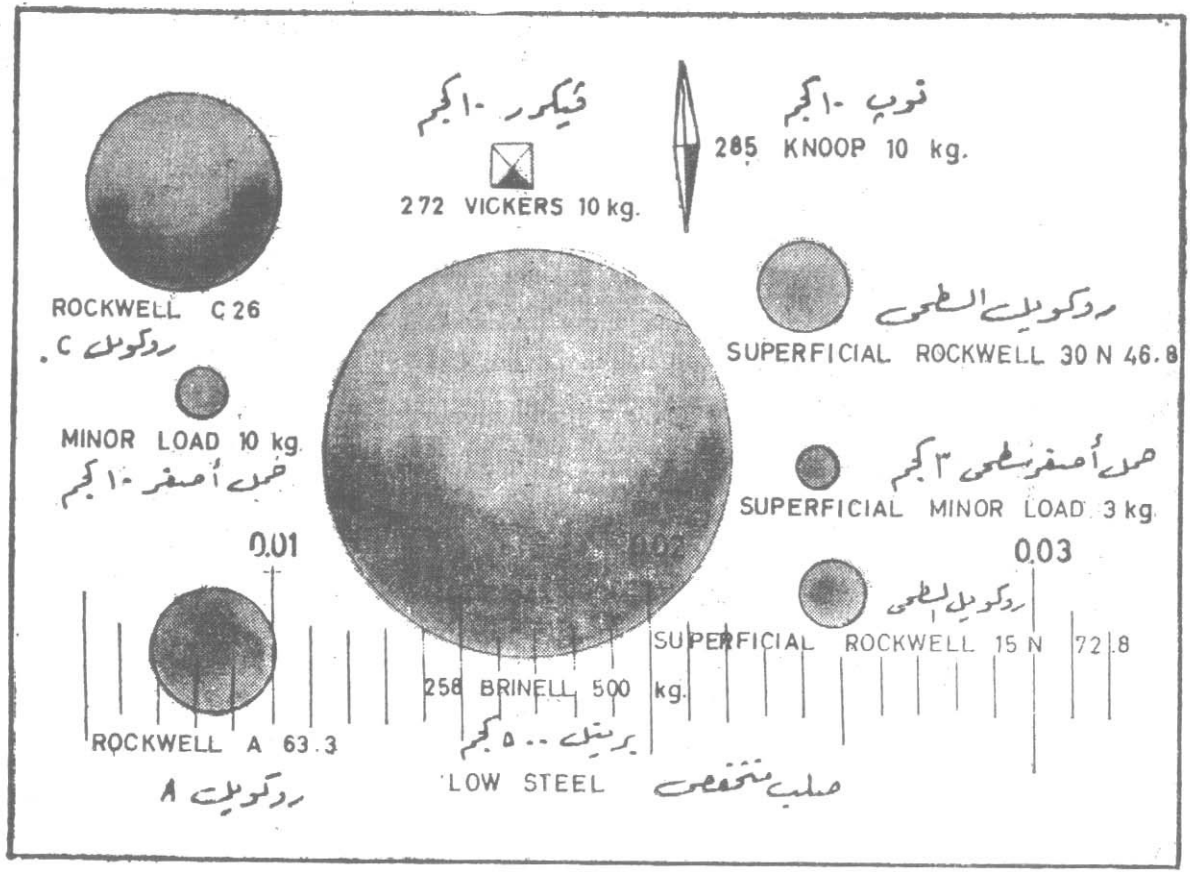


شكل رقم (٨ ـ ١٥) أثر برنل وأثر ركول

ثانيا صلادة الارتداد

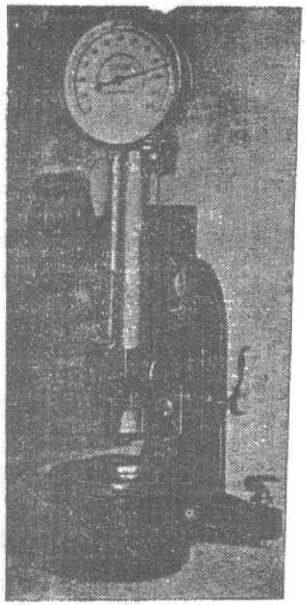
(Rebound Hardness)

يحدد هذا الاختبار الصلادة بالتحميل الديناميكى لقطعة الاختبار ، وتعين صلادة الارتداد بطرق مختلفة أكثرها شيوعا طريقة شور سلرسكوب (Shore Scleroscpe) ويعبر عن الصلادة برقم سلرسكوب وهو يتناسب مع الإرتفاع الذى تصل إليه مطرقة ذات طرف مدبب من الماس بعد سقوطها خلال أنبوبة زجاجية من إرتفاع ١٠ بوصة (٢٥,٤ سم)



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

على سطح قطعة الاختبار . والمطرقة القياسية لجهاز شور سلرسكوب شكل رقم (٨ — ١٧) بطول ٣ بوصة (٢٠ مم) وقطر ¼ بوصة (٦ مم) ووزن ٢½ أوقية بطرف ماسى مستدير بنصف قطر ٠,٠١ بوصة (٠,٢٥ مم) ويقاس ارتفاع الارتداد على مقياس مستدير مقسم إلى ١٤٠ قسما أى أن رقم سلرسكوب يختلف من الصفر إلى رقم ١٤٠ وتزيد قيمته بزيادة صلادة المعدن وهو رقم اختيارى يصلح فقط لمقارنة صلادة المعادن المتشابهة .



شكل رقم (٨ — ١٧)
مكنة شور سلرسكوب لصلادة

وتمتاز طريقة سلرسكوب 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 فى اختبار الصلادة بموقع المنشآت والمكنات أى فى حالة نقل جهاز الصلادة إلى مكان الجسم المختبر وذلك لصغر جهاز شور سلرسكوب وسهولة نقله .

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

ثالثا — صلادة الخدش

(Scratch Hardness)

يعتبر الخدش إحدى الطرق لمقارنة صلادة المعادن على أساس أن المعدن الصلد يخدش المعدن الأقل صلادة منه . وقد أوجد موز (Mohs) الجيولوجيين مقياس لصلادة الخدش للمواد على هذا الأساس يبدأ بالتلك وينتهى بالماس ، وهذا المقياس

عبارة عن أرقام تعطى للمواد فكلما كبر الرقم كلما كبرت صلادته كالآتى :

١ ــ التلك	Talc	٢ ــ الجبس	Gypsum
٣ ــ الكلسيت	Calcite	٤ ــ الفلوزيت	Flourite
٥ ــ الابتيت	Apatite	٦ ــ الفلسبار	Feldspar
٧ ــ الكوارتز	Quartz	٨ ــ التوباز	Topaz
٩ ــ الروبى	Ruby	١٠ ــ الماس	Diamond

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

وتقع المعادن ضمن هذا المقياس فمثلا رقم الصلب ٦½ ورقم كربيد التنجستن (Tungstun carbide) من ٩ إلى ٩½ . وهذا المقياس تقريبى ويستعمل فقط للمقارنة ولا يمكن هندسيا الاعتماد عليه .

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

ا ــ اختبار المبرد : (File test) يجرى هذا الاختبار بتمرير مبرد على سطح المعدن المختبر فيكون مقدار التآكل نتيجة البرد قياسا للصلادة. ويعطى هذا الاختبار قيمة وصفية لمقارنة صلادة المعادن المتشابهة بشرط إستخدام نفس المبرد ونفس العامل وبهذه الطريقة يمكن للعمال المتمرنين الماهرين ذوى الخبرة الحكم على مدى صلادة المعادن.

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

أما طريقة هانكنز (Hankins) وهى الأكثر شيوعا فيكون إجراؤها بتمرير قطعة من الماس على شكل حرف V بزاوية ٩٠° أو ٧٢° وذلك بسرعة معينة وتحت تأثير حمل معين لتحدث خدشاً فى المعدن المختبر ثم يقاس عرض الخدش الذى يعبر عن صلادة المعدن فكلما زاد العرض كلما قلت صلادة المعدن .

وقد أوجد هانكنز رقم خدش للصلادة كالآتى :

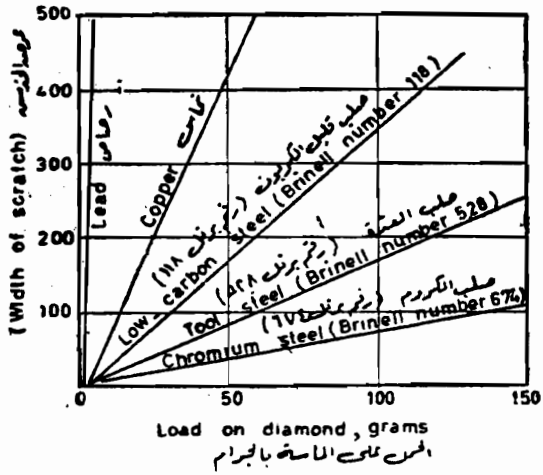
$$\text{رقم الصلادة} = \frac{P - m}{b^2 - a}$$

حيث P = الحمل (بالجرام) المحملة به قطعة الماس .

b = عرض الخدش بالملليمتر .

a&m = عددان ثابتان يتوقفان على شكل قطعة الماس .

ويبين الشكل رقم (٨ — ١٨) العلاقة بين عرض الخدش b والحمل P للمعادن

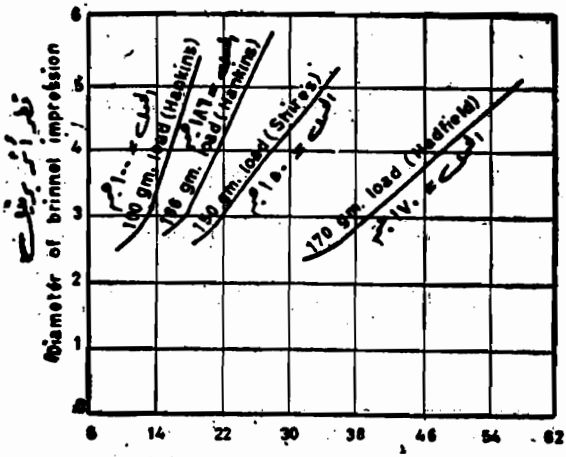


RELATION BETWEEN LOAD ON DIAMOND AND SCRATCH WIDTH

العلاقة بين الحمل على الماسة وعرض الخدش
فى اختبار الصلاده بالخدش

شكل رقم (٨ — ١٨)

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



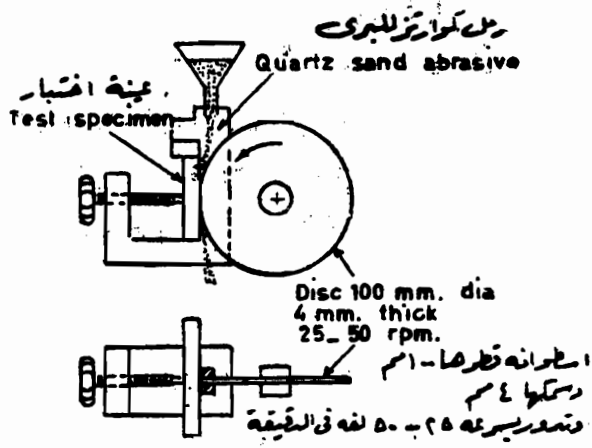
عرض الخدش يتناسب طرديا مع قطر أثر برينل
(لاختبار صلادة الخدش بالماس)

شكل رقم (٨ — ١٩)

رابعا — صلادة التآكل

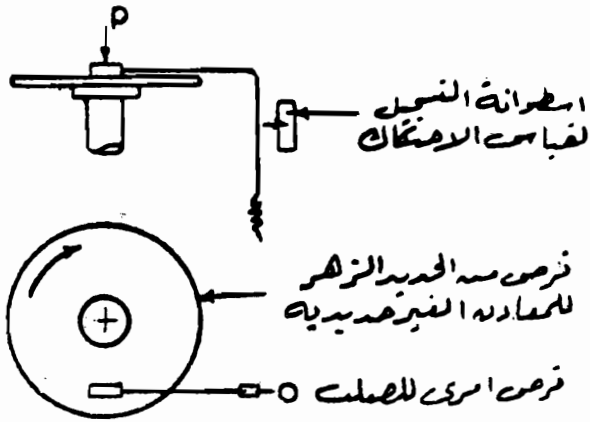
(Wear Hardness)

يجرى إختبار صلادة التآكل بتعريض المعدن المختبر إلى البرى (Abrasion) ثم قياس التآكل فى المعدن نتيجة الاحتكاك لمدة معينة أو لمسار معين باستخدام مادة برى مناسبة (الرمل مثلا) وقرص معدنى صلد يكون دورانه واحتكاكه ومعه مادة البرى بالعينة المختبرة سبباً فى تآكلها نتيجة للاحتكاك . ويقاس التآكل بتعيين الفاقد فى الوزن نتيجة الاختبار الذى يعبر عن صلادة المعدن فكلما زاد الفاقد فى الوزن كلما صغرت صلادة المعدن ، ويجرى الاختبار للمعادن وهى جافة أو بها زيت وذلك لمقارنة صلادة المعادن بالنسبة لعملها فى المكنات 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

الترتيب التخطيطى لاختبار برنل للبرى بالاحتكاك



شكل رقم (٨ — ٢٠)

خامسا ـ صلادة التشغيلية بالمكنات

(Machineability)

يجرى إختبار صلادة التشغيلية بالمكنات بتعريض المعدن إلى عمليات التشغيل بالمكنات كالخرط أو الثقب فكلما صعب التشغيل كلما كبرت صلادة المعدن وبالعكس .

وهو إختبار مقارنة يجرى غالبا فى المصانع والورش لبيان مدى قابلية المعادن للتشغيل ولكنه إختبار محدود الاستعمال . ومن أمثلة هـــذه الطريقة لمقارنة صلادة المعادن إختبار باور للثقب (Bauer drill test) وتتلخص فى تعيين عمق الثقب الذى يحدثه فى قطعة الاختبار مثقاب خاص فى وقت محدد نتيجة تشغيله بسرعة محددة وبضغط محدد، ويعبر عمق الثقب المذكور عن صلادة المعدن للتشغيلية، فكلما زاد عمق الثقب صغرت صلادة المعدن .

سادسا : علاقات ارقام الصلادة بالطرق المختلفة :

ا ـــ 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 فى درجات الحرارة المختلفة وتختلف قيمتها من معدن إلى آخر ، لكن توجد علاقة تقريبية فى درجة الحرارة العادية للمعادن المتشابهة مثال ذلك ماهو مبين بالأشكال رقم (٨ - ٢١ ، ٨ - ٢٢ ، ٨ - ٢٣) ومن الجدول رقم (٨ - ٦) .

ويتبين من ذلك أنه لقبول أو رفض المعادن طبقا لاشتراطات التعاقد على رقم صلادة معين للمعادن أو المنتجات يلزم أجراء إختبار الصلادة التى 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 بالجداول أو الاشكال البيانيه التقريبية إلى رقم الصلادة المتعاقد عليه .

ب ـــ العلاقة بين رقم برنل للصلادة وبين مقاومة الشد للمعادن :

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

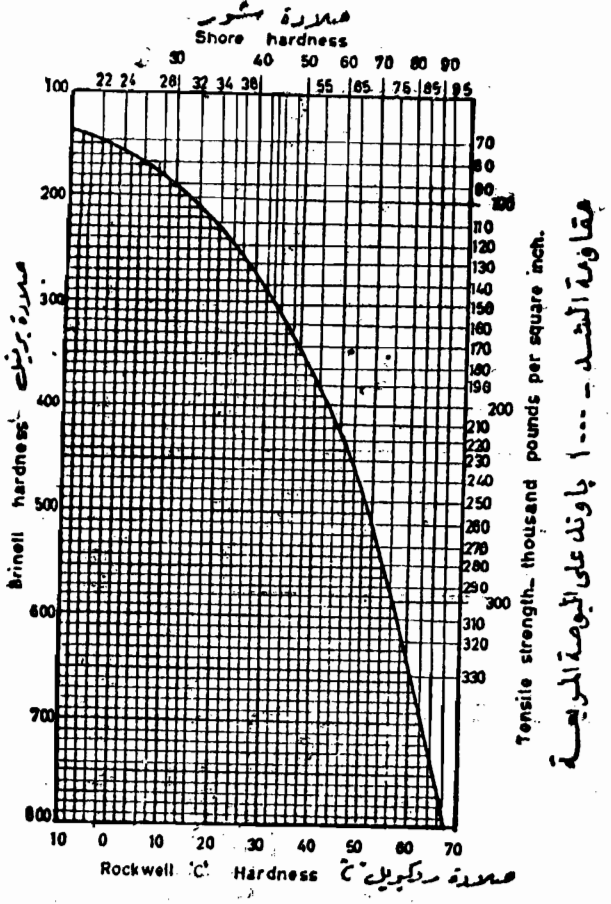
لذلك لا يمكن إتخاذ رقم الصلادة أساسا صحيحا لحساب مقاومة الشد للمعادن المختلفة واستخدام تلك المقاومة للشد فى حسابات التصميمات الهندسية .

جدول رقم (٨ - ٦) أرقام الصلادة بالطرق المختلفة

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

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

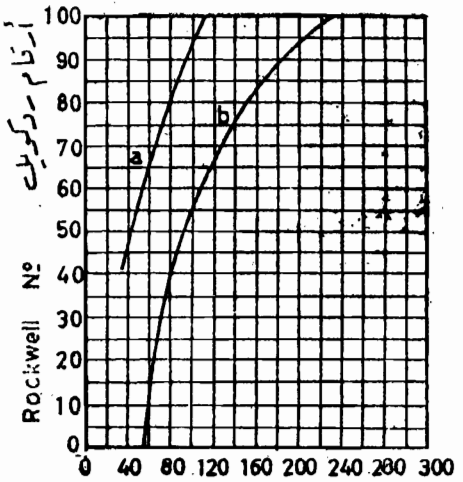
المعدن	صلب ٠,٤٪ كربون	سبيكة ألومنيوم	صلب	نحاس أصفر مصبوب	ألومنيو مسحوب
مقاومة الشد كجم / مم ٢	٧٠	٤٥	٤٨	٢٠	,٩٣
رقم برنل	١٩٤	١١٤	١٣٥	٥٣	٣١
مقاومة الشد / رقم برنل	٠,٦١	٠,٣٩٥	٠,٣٦٥	٠,٣٧٨	٠,٣٠٠



SHORE HARDNES VS. ROCKWELL C AND BRINELL.

العلاقة بين صلادة شور وروكويل "ج" وبرنل

شكل رقم (٨ - ٢٢)



Conversion to standard brinell numbers of rockwell B scales.

تحويل أرقام روكويل إلى ما يناظرها من أرقام برنل

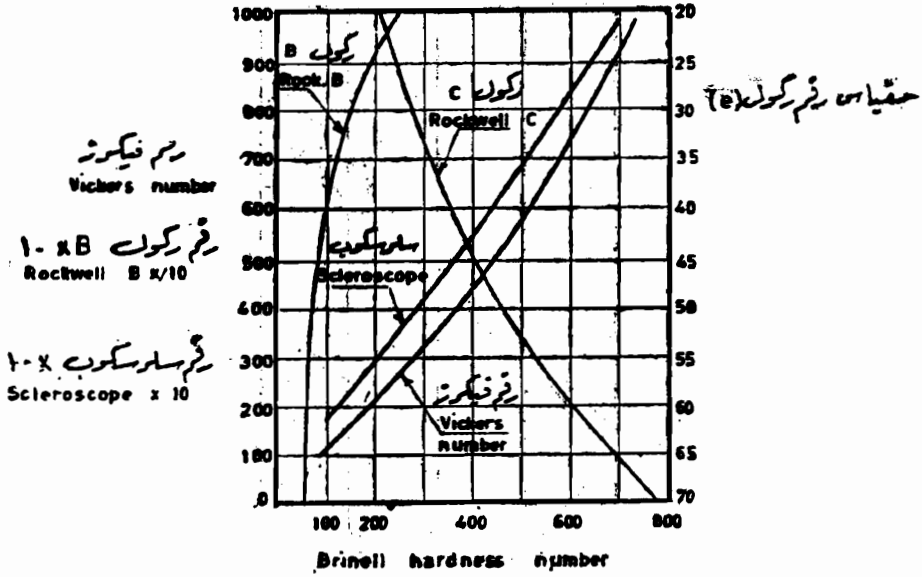
(a) Rockwell B scale 1/16" ball and 60 kg load.

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

(a) مقياس روكويل B كرة 1/16" وحمل ٦٠ كجم

(b) " " B " " 1/16" " ١٠٠ "

شكل رقم (٨ - ٢١) العلاقة بين رقم برنل ورقم روكول المصلادة



رقم بريتل للصلادة

شكل رقم (٨ — ٢٣) العلاقة بين أرقام الصلادة المختلفة

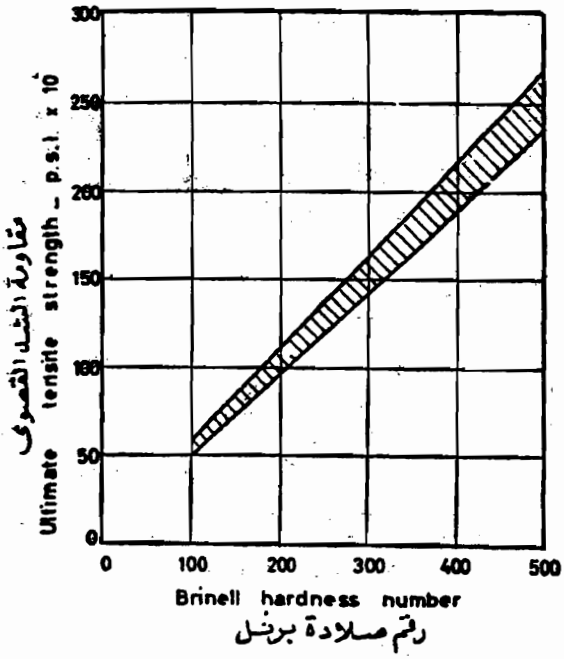
ولكن اتضح من التجارب أنه للمعادن المتشابهة (مثلا المعادن الحديدية) أمكن إيجاد علاقة تقريبية بين رقم برنل للصلادة ، والمقاومة للشد شكل رقم (٨— ٢٤) وتفيد غالباً إذا أريد معرفة مقاومة أجزاء المكنات بدون تلفها (أى بدون إجراء اختبار الشد وهو اختبار متلف) أو إذا أريد معرفة المقاومة للشد لأجزاء المكنات، والمنشآت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

والعلاقة بين رقم برنل ومقاومة الشد للمعادن الحديدية هى :

مقاومة الشد (كجم / مم ٢) = رقم برنل × ٠,٣٦

مقاومة الشد (طن / بوصة ٢) = رقم برنل × ٠,٢٢

مقاومة الشد (باوند / بوصة ٢) = رقم برنل × ٥٠٠



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

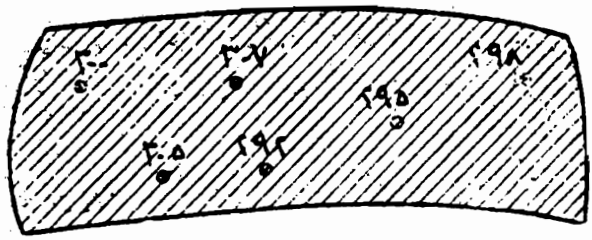
العلاقة بين الصلادة ومقاومة الشد القصوى
لمجموعة مختلفة من الصلب الكربونى وسبائكه

شكل رقم (٨ — ٢٤)

اختلاف رقم الصلادة :

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

لذلك يجب أن تبين نتيجة اختبار الصلادة بعمل رسم تخطيطى للقطعة المختبرة وبيان مواضع الإختبار ثم ذكر رقم الصلادة الخاص بكل موضع ، وتبين تلك النتيجة أيضاً بذكر حدود تغير رقم الصلادة فمثلا قطعة الاختبار المبينة بالشكل رقم (٨ — ٢٥) تبين صلادتها كما هو موضح بالجدول رقم (٨ — ٨) .



شكل رقم (٨ ـ ٢٥) ـ رقم برنل للصلادة فى مواضع مختلفة من سطح قطعة من الصلب

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

الموضع	ا	ب	حـ	د	هـ	و
رقم برنل للصلادة	٣٠٠	٣٠٥	٢٩٢	٣٠٧	٢٩٥	٢٩٨
رقم برنل للصلادة للعينة المختبرة	يتراوح من ٢٩٢ إلى ٣٠٧					

وقد يختلف رقم الصلادة للمعدن الواحد اختلافا قليلا أيضاً عند اختباره بمعامل الاختبار المختلفة نظرا لاختلاف أجهزة الاختبار والقائمين بإجراء الاختبار .

سابعا — العوامل المؤثرة فى صلادة المعادن

تتوقف قيمة الصلادة على عوامل مختلفة منها ما يأتى :

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

المعـــدن	حديد نقى	برونز	زنك	سبيكة ألومنيوم	صلب مصلد
رقم برنل	٧٠	١٠٠	٤٠	٨٥	٦٠٠

٢ ــ طريقة تشكيل المعدن المختبر ويتبين ذلك من المثال الآتى لمعدن مونل (monel metal : ٦٧ ٪ نيكل ، ٣٠ ٪ نحاس ، ١,٤ ٪ حديد ، ١ ٪ منجنيز) . حيث تؤثر طريقة تشكيل المعدن تأثيرا بينا على صلادته كما يتبين من الجدول رقم (٨ ــ ١٠) .

جدول رقم (٨ ــ ١٠) رقم برنل لصلادة معدن مونل مشكلا بالطرق المختلفة

طريقة التشكيل	مدلفن على الساخن	مسحوب على البارد	مدلفن على البارد
رقم برنل	١٥٠	١٩٠	٢٤٠

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

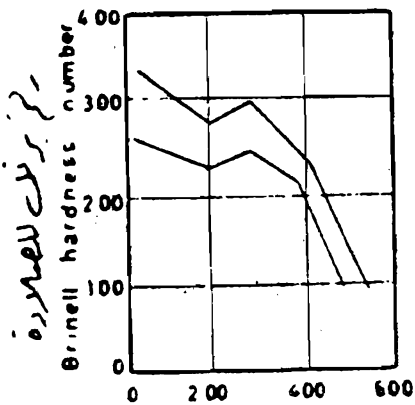
جدول رقم (٨ ــ ١١) رقم برنل لسبيكة من الصلب معاملة حرارياً بالطرق المختلفة

طريقة المعاملة الحرارية	رقم برنل
التخمير	١٩٦
التسقية بالزيت ثم المراجعة	٢٦٢
التصلد فى الهواء ثم المراجعة	٤٧٩

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

٥ ــ درجات الحرارة العالية :

يتأثر رقم الصلادة للمعادن تأثيراً كبيراً بارتفاع درجة الحرارة حيث تقل قيمته كما يتبين من الشكل رقم (٨ ــ ٢٦) .



درجة الحرارة المئوية

تأثير الحرارة على صلادة المعادن

شكل رقم (٨ - ٢٦)

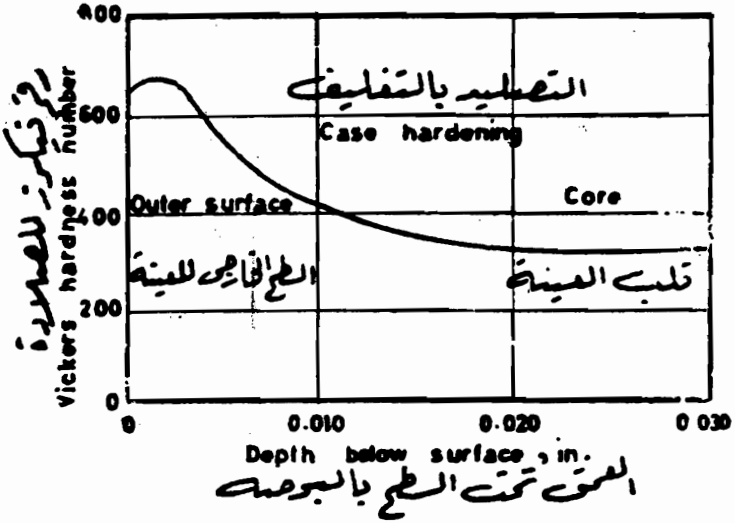
ثامنا — الاستعراض الاجمالى للصلادة

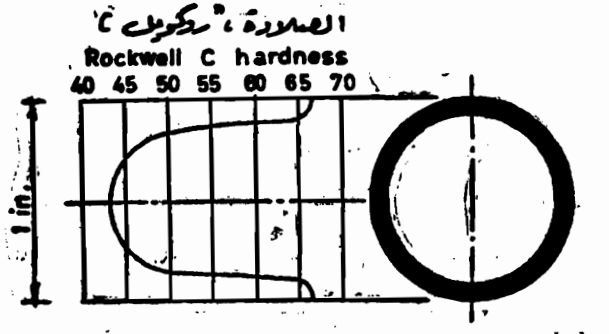
(Hardness Survey)

إن بعض العمليات الصناعية أو عمليات المعاملة الحرارية أو دراسة صلادة إنتاج معين أو دراسة صلادة أجزاء منشآت أو مكنات سواء كانت سليمة أو مكسورة تتطلب كل هذه الدراسات ضرورة الحصول على إستعراض إجمالى لصلادة الجزء موضوع الدراسة. ويتم ذلك بعمل رسم تخطيطى يبين قيم الصلادة فى أكثر من موضع أو عمل رسم يبين توزيع تلك الصلادة على أى مقطع مستعرض لهذا الجزء أو عمل رسم كنتورى لبيان توزيع الصلادة حيث يمثل كل خط كنتورى للصلادة جميع النقط التى 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 التصلد بالتغليف (Case Hardening) حيث يتضح منها مدى تغلغل التصلد 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 المنجنيزى التى تعرضت إلى عملية إزالة الكربنة (Decarburisation)





VARIATION IN HARDNESS OF QUENCHED STEEL BAR.

شكل رقم (٨ — ٢٧)

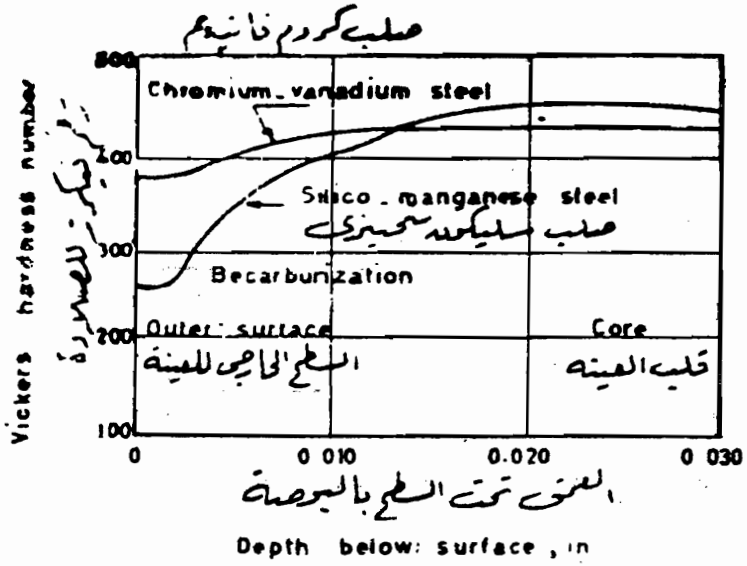
الاستعراض الإجمالى لصلادة عينة من الصلب مصلدة بالتغليف

والتى تؤدى إلى تقليل صلادة الجزء السطحى من العينة . ويتضح من هذا الشكل مدى عمق المعدن الذى نقصت صلادته بتلك العملية أى مدى نجاح إزالة الكربنه .

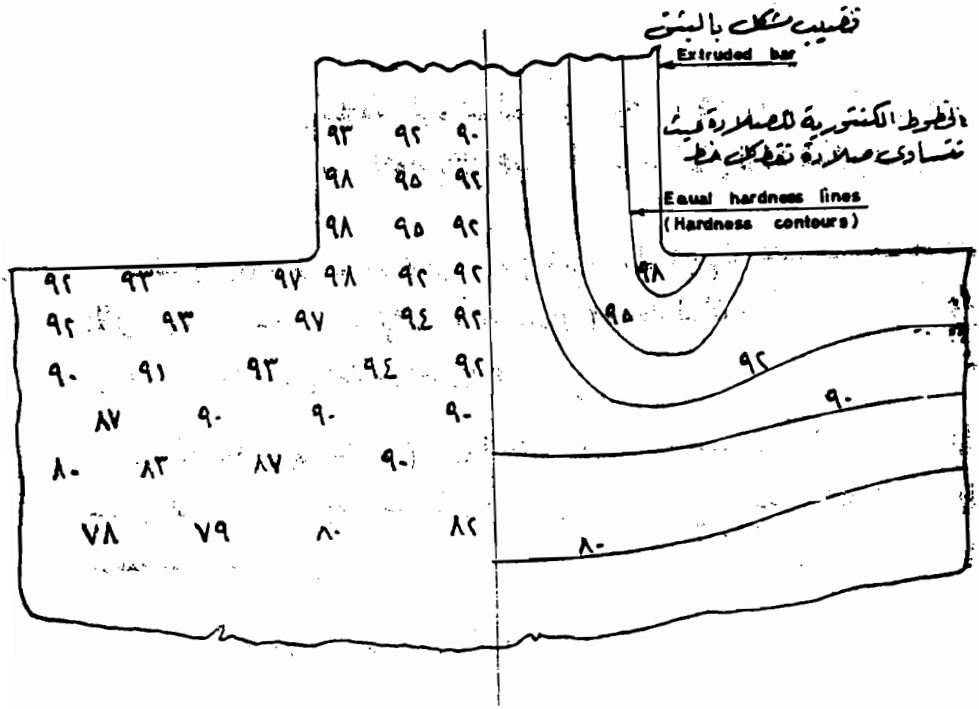
والشكل رقم (٨ — ٢٩) يبين رسم كنتورى لتوزيع الصلادة على قطعة من الألومنيوم تعرضت لعملية البثق (Extrusion) وذلك لبيان مدى تأثير تلك العملية على صلادة الألومنيوم المشكل بطريقة البثق .

والشكل رقم (٨ — ٣٠) يبين الخطوط الكنتورية لصلادة سطح عينة اختبار شد من الصلب الطرى بعد كسرها فى الاختبار حيث يتضح زيادة صلادة المعدن فى منطقة الرقبة .

ويبين الجدول رقم (٨ — ١٢) إستعراضا لرقم يرنل لبعض المعادن المشكلة بالطرق المختلفة .



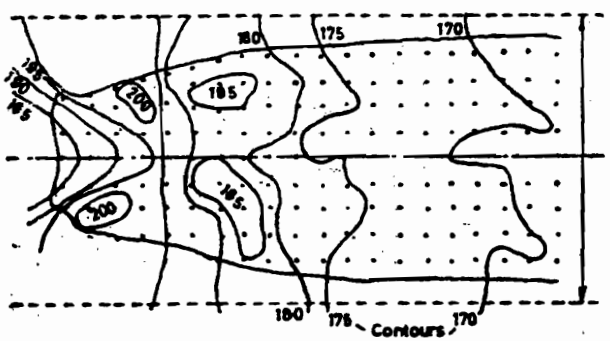
شكل رقم (٨ — ٢٨) الاستعراض الاجمالى لصلادة لعينة من الصلب السليكونى المنجنيزى



Rockwell hardness survey on split billet

الاستعراض الاجمالى 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 محورى لعينة
من الصلب الطرى بعد كسرها فى اختبار الشد

شكل رقم (٨ — ٣)

جدول رقم (٨ — ١٢) أرقام برنل للصلادة لبعض المعادن

المعدن	التركيب الكيميائى	طريقة التشكيل	رقم برنل	مقاومة الشد كجم/مم٢
حديد طرى	حديد ٩٧,٥ ٪ شوائب ٢,٥ ٪	مدلفن على الساخن	١٠٠	٣٣
حديد زهر	كربون ٣,٤ ٪ سليكون ٢,٨ ٪ منجنيز ٠,٥ ٪	مصبوب	١٨٠	١٨
صلب كربونى	كربون ٠,٢٠ ٪	مخمر	١٣٠	٤٢
	منجنيز ٠,٤٥ ٪	مدلفن على الساخن	١٤٦	٥٠
	سليكون ٠,٢٥ ٪	مصلد	٢٠٥	٧٣
صلب كربونى مصبوب	كربون ٠,٣٠ ٪	مصبوب ومخمر	١٤٠	٥٢
	منجنيز ٠,٧٠ ٪	مصبوب ومسحوب على		
	سليكون ٠,٤ ٪	الساخن	١٨٠	٦٥
سبيكة صلب مصبوبة	كربون ٠,٣٠ ٪ منجنيز ٠,٨٠ ٪ كروم ٠,٣٠ ٪ نيكل ١,٧٥ ٪ مولبدنم ٠,٢٥ ٪	مخمرة	٢٢٥	٧٥
		مصبوبة ومسحوبة على الساخن	٣٢٥	١٠٥
صلب لا يصدأ	كروم ١٩ ٪ نيكل ٨ ٪ كربون ٠,١٠ ٪	مخمر ومدلفن على البارد	من ٩٠ إلى ١٩٠	من ١١٠ إلى ٢٨٠
ألومنيوم	ألومنيوم ٩٩ ٪	مخمر	٣٣	١٠
		مدلفن على البارد ومصلد	٤٤	٢٠
سبيكة ألومنيوم	مغنسيوم ٢,٥ ٪ كروم ٠,٢٥ ٪	مخمر	٤٤	٢٢
		مدلفن على البارد ومصلد	٨٥	٣١

تابع الجدول رقم (٨ — ١٢) أرقام برنل للصلادة لبعض المعادن

المعدن	التركيب الكيميائى	طريقة التشكيل	رقم برنل	مقاومة الشد كجم/مم٢
نحاس أحمر طرى	نحاس ٨٥ ٪ زنك ١٥ ٪	مخمر ومسحوب على البارد	٥٠	٢٨
		مدلفن على البارد	١٢٠	٥٠
		مصلد	١٣٥	٥٤
نحاس أصفر	نحاس ٦٥ ٪ زنك ٣٥ ٪	مخمر ومسحوب على البارد	٥٥	٣٥
		مدلفن على البارد	١١٥	٥٠
		مصلد	١٨٠	٥٢
صفيح	صفيح ٩٩,٩ ٪	مصبوب	٥	٢,٣
		مدلفن على البارد	٥	١,٨
رصاص	رصاص ٩٤ ٪	مصبوب ومدلفن	١٢	٥
			٩	٣
قصدير طرى	صفيح ٤٠ ٪ رصاص ٦٠ ٪	مصبوب	١٥	٥
زنك	زنك ٩٩ ٪ رصاص ١,٠ ٪	مدلفن على الساخن	٣٥	٤٢
		مدلفن على البارد	٤٠	٣٥
نيكل نقى	نيكل ٩٩,٩ ٪	مخمر	٨٥	٣٢
سبيكة نيكل	نيكل ٩٣,٥ ٪	مدلفن على الساخن	١٨٠	٧٥
		مصلد ومسحوب على البارد	٣٢٠	١٢٠
		مسحوب على البارد	٢٢٠	٨٥
		مصلد	٣٤٠	١٢٠
فضة نقية	ذهب ٩٩,٩٩ ٪	مخمر	٣٠	١٦
		مدلفن على البارد ومصلد	٩٠	٣٠
ذهب نقى	ذهب ٩٩,٩٩ ٪	مخمر	٢٥	١٢
		مدلفن على البارد ومصلد	٦٠	١٦
بلاتين نقى		مخمر	٤٠	١٧
		مدلفن على البارد ومصلد	١٠٠	٢٥

أمثلة محلولة

١ ــ 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 .

الحـــل :

حيث أن العينة المختبرة من الصلب ∴ الثابت $\frac{P}{D2} = ٣٠$

أى أن حمل الاختبار P = ٣٠ × مربع قطر كرة برنل المستعملة

= ٣٠ × ٥ × ٥ = ٧٥٠ كجم

∴ رقم برنل للصلادة (B. H. N.) يساوى :

$$B.\ H.\ N. = \frac{P}{\pi D/_2\left(D - \sqrt{D2 - d2}\right)}$$

$$= \frac{750}{\pi\frac{5}{2}\left(5 - \sqrt{(5)^2 - (2)^2}\right)} = 235$$

ومقاومة الشد التقريبية = ٠,٣٦ × رقم برنل للصلادة

= ٠,٣٦ × ٢٣٥ = ٨٤,٥ كجم / مم٢

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

الحـــل :

$$\text{رقم فيكرز للصلادة} = ١,٨٥٤ \times \frac{\text{حمل الاختبار}}{\text{مربع قطر الأثر}}$$

$$= ١,٨٥٤ \times \frac{١٠٠}{(٠,٩٣)^٢} = ٢١٥$$

مسائل

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

٥ ــ 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 بأى من طريقة برنل أو فيكرز أو ركول على قطعة من المعـــدن ذات سطح مستو ومصقول ونظيف مع مراعاة أن لا يقل سمك قطعة لاختبار عن عشرة أمثال عمق الأثر الذى يحدث بالعينة بعد الاختبار .

٣ — أدوات الاختبار :

(ا) مكنة اختبار برنل المجهزة بميكرومتر مجهرى .

(ب) — مكنة اختبار فيكرز المجهزة بميكرومتر مجهرى .

(حـ) مكنة اختبار ركول .

٤ — طريقة أجراء الاختبار .

(ا) طريقة برنل :

١ — إختيار قيمة الثابت ($\frac{P}{D2}$ المناسب لنوع المعدن المختـــبر 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 مكنة ثم توضع كرة برنل المناسبة على سطحها ويضغط عليها بحمل يزداد تدريجياً حتى تصل قيمته لحمل الإختبار (p) . ثم يترك حمل الإختبار مؤثراً لفترة تتراوح من ١٥ إلى ٣٠ ثانية يزال بعدها وتبعد كرة برنل عن سطح قطعة الإختبار .

٣ — توجه عدسة المجهر لسطح قطعة الإختبار فيظهر أثر الكرة على شاشة الجهاز

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

(ب) طريقة فيكرز :

١ — إختيار قيمة حمل الاختبار (P) المناسب لنوع المعدن المختبر .

٢ — توضع قطعة الاختبار فى مكنة إختبار فيكرز مرتكزة على قاعدة مستوية وثابتة ثم يؤثر على سطحها بالهرم الماسى المثبت برأس المكنة والذى يضغط على سطح قطعة الاختبار بحمل يزداد تدريجياً حتى يصل إلى حمل الاختبار (P) .

٣ — يزال الهرم الماسى عن سطح قطعة الاختبار وتوجه عدسة المجهر عمودية عليه فيظهر أثراً مربعاً على شاشة الجهاز يقاس قطريه بالميكرومتر ويحسب متوسطهما وليكن (d) .

(ح) طريقة ركول :

١ — يختار مقياس ركول (ركول B أو ركول C أو ركول A) المناسب لنوع المعدن المختبر وتضبط مكنة الاختبار على ذلك المقياس .

٢ — توضع قطعة الاختبار فى مكنة إختبار ركون ثم يضبط على سطحها بجسم عبارة عن كرة صغيرة من الصلب المصلد قطرها ١,٥٨٨ مم فى حالة ركول B أو مخروط بحرف ماسى مستدير فى حال ركول A وركول C . وبحيث يتم الضغط كما يلى:

(ا) الضغط بالحمل الابتدائى وقدره ١٠ كجم ثم يضبط مؤشر القرص المدرج لرقم ركول للصلادة 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 .

(ح) يزال الحمل الكبير ثم يسجل رقم ركول وهو قراءة المؤشر على التدريج لمقياس ركول المستخدم

٥ — النتائج .

يحسب لكل اختبار رقم الصلادة كما يلى

(ا) — رقم برنل للصلاة B·H·N

$$B.\ H.\ N. = \frac{P}{\pi\ D/_2\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

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 .

(جـ) رقم ركول للصلادة :

يسجل مباشرة من مكنة الاختبار الخاصة بهذا الاختبار .

٦ — مثال تطبيقى :

(ا) فى اختبار برنل للصلادة على عينة من الصلب كان حمل الاختبار = ٣٠٠٠ كجم وقطر الكرة المستخدمة ١٠ مم وقطر الأثر المقاس ٥ مم - احسب رقم برنل للصلادة .

الحـــل :

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

(ب) فى اختبار فيكرز للصلادة على عينة من الصلب كان حمل الاختبار ١٠٠ كجم ومتوسط قطرى الأثر ١,١١ مم ، احسب رقم فيكرز للصلادة .

الحـــل :

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

٧ — المناقشة :

١ — ما المقصود بصلادة المعادن ؟

٢ — لماذا يعتبر اختبار صلادة العلامة إختبار هام فى الصناعة ؟

٣ — ما هى 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 فى موقع العمل؟

٥ — قارن بين اختبار برنل وفيكرز وركول من حيث :

مكنة الاختبار — الأحمال المستخدمة فى الاختبار — الاستعمالات .

٦ — ما هى الاحتياطات التى يجب مراعاتها عند إجراء إختبار صلادة العلامة ؟

٧ — إذا عمل أثر برنل بالقرب من حافة قطعة الاختبار ، هل يكون رقم برنل للصلادة فى هذه الحالة أكبر أم أصغر من قيمته الحقيقية ؟ لماذا ؟

٨ — لماذا استخدم الحمل الابتدائى فى اختبار ركول للصلادة ؟

٩ — كيف يمكن اختيار حمل الاختبار المناسب فى كل من اختبارات صلادة المعادن؟

١٠ — على أى أساس يحدد قطر كرة برنل المناسب لاختبار معدن معين ؟

١١ — ما هى مزايا وعيوب كل من اختبارات برنل وركول وفيكرز للصلادة ؟