



الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (C.O.S.Q.C)  
دائرة التقييس / قسم المقاييس / شعبة قياسات القوة والصلادة

## معايرة اجهزة صلادة المعدن بالطريقة الغير المباشرة وحساب اللاتاكدية في القياس

اعداد

علي ابراهيم حسين مندلاوي  
رئيس فيزيائيين

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



سورة الفاتحة

صدق الله العظيم

I	الرموز.....	1
I	الاشكال.....	1
II	الجداول.....	2
III	المعادلات.....	3
IV	اطار الدراسة.....	4
V	الهدف من الدراسة.....	5
VI	الخلاصة.....	6
VII	المقدمة.....	7

1 - اختبار الصلادة ..... (1)

2 - طرق قياس صلادة المعدن ..... (2)

1-2. اختبار صلادة روكويل ..... (2)

2-2. اختبار صلادة برينل ..... (5)

3-2. اختبار صلادة فيكرز..... (7)

4-2. اختبار صلادة كنوب ..... (9)

3- التحقق غير المباشر لمعايرة جهاز الصلادة ..... (12)

4- معايرة جهاز الصلادة بواسطة القوالب القياسية ..... (12)

1-4. معايرة جهاز صلادة روكويل..... (13)

1-1-4. الخطا في جهاز صلادة روكويل ..... (13)

2-1-4. التكرارية في جهاز صلادة روكويل ..... (13)

2-4. معايرة جهاز صلادة برينل ..... (15)

1-2-4. التكرارية في جهاز صلادة برينل ..... (16)

2-2-4. الخطا في جهاز صلادة برينل ..... (16)

3-4. معايرة جهاز صلادة فيكرز ..... (18)

1-3-4. التكرارية في جهاز صلادة فيكرز ..... (18)

2-3-4. الخطا في جهاز صلادة فيكرز ..... (19)

5- المتطلبات العامة في اللاتاكدية القياس للجهاز الصلادة..... (20)

6- حسابات اللاتاكدية لمعايرة جهاز الصلادة بواسطة القوالب المرجعية..... (21)

7- الاستنتاجات ..... (25)

8- التوصيات ..... (26)

9- المراجع والمصادر ..... (27)

## الرموز

- C : درجة الحرارة في نظام (SI).  
H : الصلادة (Hardness).  
U : اللاتاكدية (Uncertainty).  
F : القوة (Force).  
D : قطر كرة الناقر (Diameter).  
d : قطر الاثر لمقاييس برينل وروكويل (diagonal).  
h : عمق الفجوة في مقاييس روكويل (Depth).  
HV : صلادة فيكرز .  
HB : صلادة برينل .  
HR : صلادة ركويل.  
HK : صلادة كنوب  
ISO : المنظمة العالمية للتقييس

## الاشكال

- شكل (1-2) ناقر روكويل اثناء الفحص على سطح المعدن .  
شكل (2-2) صلادة روكويل (C).  
شكل (3-2) صلادة روكويل (B).  
شكل (4-2) رقم صلادة روكويل .  
شكل (5-2) صلادة برينل واثر العلامة وقياس قطرها.  
شكل (6-2) تفسير رقم صلادة برينل.  
شكل (7-2) طريقة صلادة برينل مع معادلة رقم الصلادة .  
شكل (8-2) طريقة قياس صلادة فيكرز وشكل وقياس الاثر.  
شكل (9-2) شرح تخطيطي لرقم صلادة فيكرز .  
شكل (10-2) طريقة صلادة كنوب وشكل الاثر.  
شكل (11-2) رقم صلادة كنوب .

## الجدول

- جدول (1-2) مقاييس اختبار روكويل .
- جدول (2-2) رموز و مصطلحات مختصرة تتعلق بصلادة روكويل .
- جدول (3-2) رموز و وحدات وتفسيرات حساب برينل .
- جدول (4-2) مقاييس صلادة برينل .
- جدول (5-2) رموز و وحدات وشرح متغيرات التي تؤثر على صلادة فيكرز .
- جدول (6-2) مقاييس صلادة فيكرز .
- جدول (7-2) متغيرات صلادة كنوب .
- جدول (8-2) مقاييس صلادة كنوب .
- جدول (1-4) مديات الصلادة للقوالب المرجعية المستخدمة في روكويل .
- جدول (2-4) السماحيات لجهاز صلادة روكويل .
- جدول (3-4) قيم المقاسة لجهاز صلادة روكويل لثلاث قوالب مرجعية .
- جدول (4-4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقالب المرجعي الاول .
- جدول (5-4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقالب المرجعي الثاني .
- جدول (6-4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقالب المرجعي الثالث .
- جدول (7-4) السماحيات لجهاز صلادة برينل .
- جدول (8-4) قيم النتائج لجهاز صلادة برينل لثلاث قوالب مرجعية .
- جدول (9-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب الاول .
- جدول (10-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب الثاني .
- جدول (11-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب الثالث .
- جدول (12-4) سماحيات التكرار لصلادة فيكرز .
- جدول (1-5) المتغيرات التي تؤثر على صلادة فيكرز .
- جدول (1-6) رموز وتفسيرات للمتغيرات التي تؤثر على اللاتاكدية .
- جدول (2-6) المتغيرات التي تشكل ميزانية اللاتاكدية .

## المعادلات

- معادلة (1-2) حساب رقم صلادة روكويل.  
معادلة (2-2) حساب رقم صلادة برينل .  
معادلة (3-2) حساب رقم صلادة فيكرز .  
معادلة (4-2) حساب رقم صلادة كنوب .  
معادلة (1-4) حساب متوسط صلادة روكويل.  
معادلة (2-4) حساب الخطأ في جهاز صلادة روكويل.  
معادلة (3-4) حساب التكرار لجهاز صلادة روكويل.  
معادلة (4-4) حساب التكرار لجهاز صلادة برينل.  
معادلة (5-4) التكرارية النسبية لصلادة برينل.  
معادلة (6-4) حساب متوسط القياسات لصلادة برينل.  
معادلة (7-4) حساب الخطأ في جهاز صلادة برينل.  
معادلة (8-4) النسبة المئوية للخطأ في صلادة برينل .  
معادلة (9-4) حساب التكرارية لصلادة فيكرز.  
معادلة (10-4) النسبة المئوية للتكرارية في صلادة فيكرز.  
معادلة (11-4) حساب متوسط القياسات لصلادة فيكرز.  
معادلة (12-4) حساب الخطأ في جهاز صلادة فيكرز.  
معادلة (13-4) النسبة المئوية للخطأ في جهاز صلادة فيكرز.  
معادلة (1-5) التعبير الرياضي لمدخلات ومخرجات في اللاتاكديية.  
معادلة (2-5) حساب معامل الحساسية.  
معادلة (3-5) اللاتاكديية في القيمة التقديرية.  
معادلة (4-5) اللاتاكديية الاجمالية.  
معادلة (5-5) اللاتاكديية الموسعة.  
معادلة (1-6) اللاتاكديية لحساب جهاز الصلادة.  
معادلة (2-6) الانحراف المعياري لخمسة قياسات صلادة.  
معادلة (3-6) اللاتاكديية في القياس لخمسة قياسات صلادة.  
معادلة (4-6) اللاتاكديية المشتركة.  
معادلة (5-6) اللاتاكديية الموسعة .

## اطار الدراسة

ان حدود الدراسة بصورة عامة تشير الى مفهوم الصلادة والتي هي مقاومة المادة او جزء من الخدش او تشوه البلاستيك حيث تشير القيمة العالية لنتيجة الاختبار الى ان المادة مقاومة لتشوه البلاستيك او التشقق تحت الضغط .

حيث ان اختبار الصلادة له اهمية ودور كبير في مجال الصناعة حيث تعتبر الصلادة من الخواص الفيزيائية الهامة للمعدن لأنه يمكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد في التعرف على المعدن وبالتالي يدخل في التصميم الهندسي وتحليل الشكل الهندسي والهيكلية وتطوير المواد في المجال الصناعي وان اهم مجال لاستخدام اختبار الصلادة هو عند تشكيل المعادن بالمخرطة والمثقاب وكذلك الصناعات الحربية والمدنية .

ان اهم طرق اختبار صلادة المعدن المعروفة والاكثر شيوعا في العالم هي (صلادة روكويل, صلادة برينل, صلادة فيكرز, صلادة كنبوب).

وكان التركيز الاكبر على معايرة جهاز الصلادة بالطريقة غير المباشرة بواسطة القوالب المرجعية المعتمدة من المعاهد العالمية حيث يتم معايرة جهاز الصلادة وبعدها يتم مقارنة نتائج القياس سواء كان اختبار الصلادة روكويل او برينل او فيكرز او كنبوب بجداول السماحيات الخاصة لكل نوع من الصلادة لكي يتم قبول الجهاز لغرض الفحص.

ان مقياس صلادة روكويل اكثر استخداما وشيوعا وذلك لانه يتميز بقدرته على عرض قيم مباشرة للصلادة وسرعة في الاختبار ويعتبر من الاختبارات اللاتلافية .

وقد تم التطرق ايضا الى اهمية لاتاكدية القياس في اختبار الصلادة حيث ان معظم مواصفات المنتج لها تفاوتات تؤثر على اداء الجهاز المستخدم في قياس الصلادة وتعتبر اللاتاكدية هي المؤشر على جودة نتيجة القياس وبالتالي المساهمة في تطوير المنتج حسب المواصفات القياسية والسماحيات المطلوبة لذلك .

## الهدف من الدراسة

تم اعداد هذه الدراسة للتعرف على مقاييس الصلادة والية عملها وخصوصا صلادة المعدن واهميتها في المجال الصناعي حيث ان نتائج اختبار الصلادة هي عامل مهم في العديد من عمليات مراقبة الجودة ودراسات البحث والتطوير ويتم تحديد خصائص المواد مثل القوة والليونة ومقاومة التآكل عن طريق اختبارات الصلادة.

يتم تحديد ما اذا كانت المواد التي سيتم استخدامها بهذه الطريقة مناسبة للمنتج , في هذه الاختبارات , يتم قياس مقاومة احدى المواد للتشوه الدائم عن طريق اختراق مادة اخرى صلبة لذلك ويتم تقييم الحمل المطبق باستخدام ملف تعريف تحميل معين , ووقت تحميل معين , ونظام قياس الاثر .

من اجل ضمان نتائج موثوقة وصحيحة لاختبار الصلادة, يجب ان يتم تنفيذ الاجراءات وفقا للمعايير اي المعايير المستخدمة في تطبيق اختبارات قياس الصلادة وان الهدف الاساسي لاختبار الصلادة هو تحديد الخواص وترجمتها بأرقام تعطي دلالات مفهومة لدى المختصين ويعطينا مواصفات للمنتج وهل هو ملائم للتطبيق او لاستخدام معين او لا .



## الخلاصة

تم التطرق في هذه الدراسة الى الدور المهم والفعال للصلادة حيث تعتبر الصلادة من الخواص الميكانيكية المهمة لدراسة سطح المادة , وتعرف بانها مقاومة سطح المادة للغرز او الخدش , او مقاومة المادة للتشوهات اللدنة الموضوعية , وتعتمد صلادة المواد على نوع القوة الرابطة بين الجزيئات او الذرات وعلى نوع السطح (ناعم,خشن) ودرجة الحرارة والظروف المؤثرة فيها وتوجد عدة طرق لصلادة المعدن نذكر منها

■ صلادة روكويل (Rockwell Hardness)

■ صلادة برينل (Brinell Hardness)

■ صلادة فيكرز (Vickers Hardness)

■ صلادة كنوب (Knoop Hardness)

ويعتبر اختبار الصلادة من الاختبارات السهلة وذلك لأنه لا يحتاج الى اجهزة معقدة وغالية الثمن اضافة الى ذلك اننا لا نحتاج الى تحضير عينات خاصة وان العينات لا تتعرض الى اتلاف ولهذا السبب لقي اختبار الصلادة انتشارا واسعا في المجال الصناعي .

يستعمل اختبار صلادة برينل لقياس صلادة الاجزاء غير المقساء (غير المصلدة) كالقطع المدرفلة والمطروقات والمسبوكات والمكبوسات المعدنية وغير المعدنية المنخفضة او متوسطة الصلادة . بالنسبة لاختبار صلادة روكويل يتم الاختبار بواسطة الضغط على سطح الجزء المراد اختباره بكرة من الصلب قطرها (1.59mm) او مخروط من الماس زاوية قمته (120°) وتختبر المواد اللينة بالكرة المصنوعة من الصلب اما المواد الصلدة فتختبر بالمخروط الماسي . ومن مميزات طريقة روكويل الدقة الكبيرة والانتاجية العالية وصغر الاثر الذي يتركه الاختبار على سطح المادة وبساطة الاختبار.

يسمح اختبار صلادة فيكرز بقياس صلادة الطبقات السطحية الرقيقة كما يمكن بواسطتها قياس صلادة المواد الشديدة الصلادة والمصنوعات ذات المقطع الصغير وتعين الصلادة بضغط هرم رباعي ماسي زاوية قمته (136°) في المادة المختبرة ويجري الضغط تحت تأثير حمل معين ثم تقدر مساحة الاثر الناتج بقياس قطره بواسطة ميكروسكوب مثبت على الجهاز او ان هذا الاثر يظهر مكبرا على شاشة الجهاز حيث يمكن قياس قطر الاثر بدقة او ان الجهاز يعطي مباشرة عن طريق مقياس خاص قيمته رقم صلادة فيكرز للصلادة, ويستعمل هذا الاختبار في الاعمال التي تتطلب نتائج دقيقة للمعادن مهما اختلف النوع او تنوعت الابعاد واختلفت الصلادة ويعتبر اختبارا هاما في اعمال المقارنة والابحاث.

وايضا تم التطرق الى اختبار صلادة كنوب الذي يعتبر من مقاييس الصلادة الدقيقة بالاشتراك مع صلادة الميكروفيكرز باستخدام الناقر الماسي من نوع معين ويكون الناقر على شكل عقدة الماس المعيني وايضا تسمى بصلادة العقدة لقياس صلادة الطبقات السطحية الرقيقة.

وتم توضيح استخدام الطريقة غير المباشرة لمعايرة اجهزة الصلادة بواسطة قوالب صلادة قياسية حيث يتم استخدام الطريقة غير المباشرة بعد التأكد من معايرة مكونات جهاز الصلادة والتي هي الحمل ودورة الاختبار ونظام قياس الاثر والتحقق من الناقر.

بعد معايرة جهاز الصلادة هنالك سماحيات بالنسبة للخطأ والتكرارية واللاتاكدية تسمح باستخدام جهاز الصلادة لاغراض الاختبار .

وتم التركيز في هذه الدراسة ايضا على اللاتاكدية في القياس حيث تفيد اللاتاكدية في المساعدة في تحديد مصادر الخطأ وتعد اللاتاكدية المصاحبة لنتيجة القياس مؤشر على الجودة وموثوقية نتيجة القياس.

## المقدمة

تعتبر الصلادة من الخواص الفيزيائية الهامة للمعدن والتي من الممكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد في التعرف على المعدن. ويمكن تعيين صلادة المعدن تعيينا نسبيا، وذلك بمقارنتها بصلادة المعادن المرتبة تبعا لزيادة درجة صلادتها في مقياس الصلادة المعروف باسم مقياس موس للصلادة الذي يحتوي على عشرة معادن تبتدئ باقل المعادن صلادة وهو (التلك) وتنتهي باكثر المعادن صلادة وهو (الماس) وبين الاثنين يوجد ثمانية معادن لها ارقام تمثل درجة الصلادة النسبية من 2 الى 9 .

تعتبر صلادة المواد من اهم خصائص المواد من الناحية التكنولوجية , على الرغم من ان الصلادة لايمكن اشتقاقها من الكميات الاولية المادية الا انها كمية قابلة للقياس يمكن تحديدها من خلال طرق اختبار الصلادة الثابتة والديناميكية المختلفة .

ان اختبار الصلادة يعتمد على عدد كبير من المتغيرات المختلفة, مثل القوة ودرجة الحرارة ومعدل التحميل والوقت, وبالتالي فان المواصفات التفصيلية لطريقة الاختبار ضرورية. تتعلق اهمية اختبار الصلادة بالعلاقة بين الصلادة وخصائص اخرى للمادة على سبيل المثال, يقيس كل من اختبار الصلادة واختبار الشد مقاومة المعدن وقد تتوازي نتائج هذه الاختبارات مع بعضها البعض بشكل وثيق ويفضل اختبار الصلادة لانه بسيط وسهل وغير مدمر نسبيا. وهناك العديد من اختبارات الصلادة قيد الاستخدام حاليا مما ادى الى تصنيف هذه الاختبارات من المطاط الى السيراميك الصلب.

ان الصلادة بشكل عام مقاومة لاختراق لاصعب المواد, وترتبط زيادة مقاومة الاختراق ارتباطا مباشرا بالخصائص الميكانيكية للمادة وهناك ايضا العوامل التي تؤثر على الصلادة مثل البنية المجهرية , وحجم الذرات , وتصلب الاجهاد ... الخ بشكل عام مع زيادة الصلادة تزداد قوة الخضوع وقوة الشد القصوى , وبالتالي تتطلب المواصفات غالبا نتائج اختبارات الصلادة بدلا من اختبارات الشد. وهناك العديد من طرق اختبار الصلادة واكثرها شيوعا هي (روكويل, برينل, فيكرز, كنوب) للمعادن والسبائك.

وتنقسم عملية الصلادة الى فئتين , الصلادة الكلية (الغير دقيقة) والصلادة الدقيقة حيث تشير الصلادة الكلية غير الدقيقة (macrohardness) الى الاختبار بالاحمال المطبقة الى الجزء الداخلي لاكثر من واحد كيلو غرام اما الصلادة الدقيقة (microhardness) تكون فيها الاحمال المطبقة واحد كيلو غرام او اقل وتنقسم الفئتين كما يلي:

1- تحميل اختبار صلادة الماكرو اكبر من واحد كيلو غرام

■ صلادة روكويل (Rockwell Hardness)

■ صلادة برينل (Brinell Hardness)

■ صلادة فيكرز (Vickers Hardness)

2- اختبار صلادة الجزئي المايكرو اصغر من واحد كيلو غرام

■ صلادة كنوب الماس (عقدة الماس) (Knop diamond)

■ صلادة هرم فيكرز الماسي (Vickers diamond pyramid)

# الفصل الأول

**1- اختبار الصلادة**

اختبار الصلادة هو اختبار ميكانيكي لخصائص المواد المستخدمة في التصميم الهندسي وتحليل الشكل الهندسي والهيكل للمواد وتطويرها. الغرض الاساسي من اختبار الصلادة هو تحديد مدى ملائمة المادة لتطبيق معين او المعالجة الخاصة للمادة نتيجة للعوامل التي تعرضت لها. يعتبر اختبار الصلادة من اكثر الطرق شيوعا لفحص المعادن والسبائك وذلك للسهولة التي يمكن بها اجراء الاختبار. اختبار الصلادة (Hardness Test) هو عملية تجري على قطعة اختبار لتعيين خاصية الصلادة و هي الخاصية التي تمكن المادة من الاحتفاظ بشكل سطحها متماسكا تحت تاثير الاحمال .

لصلادة المواد بصفة عامة والمعادن بصفة خاصة انواع هي :

– صلادة العلامة (Indentation Hardness)

وهي خاصية مقاومة المعدن لحدوث علامة به نتيجة تحميله بحمل استاتيكي وديناميكي مجال الاستخدام مثلا(في مقارنة صلادة الواح المدرعات الحربية لمقاومة اختراق القذائف).

– صلادة الارتداد (Rebound Hardness)

وهي خاصية قدرة المعدن على الرجوعية اي امتصاص الطاقة واعادتها ثانية بعد ازالة الاحمال المؤثرة ارتدادا لها تكبير القيمة كلما كبرت قيمة الصلادة , مجال الاستخدام مثلا (اختبار المعادن ذات الصلادة المناسبة (Lowering Spring)).

– صلادة الخدش (Scratch Hardness)

وهي خاصية مقاومة سطح المعدن للخدش مجال الاستخدام مثلا (تفيد في تقدير صلادة المعدن عند تعرض المعدن للخدش اثناء التشغيل).

– صلادة التآكل (Wear Hardness)

وهي خاصية مقاومة سطح المعدن للبري اي التآكل نتيجة للاحتكاك مجال الاستخدام مثلا (تحديد صلادة المعدن اللازمة لسطوح العجلات الحديدية للقطارات والقضبان الحديدية).

– صلادة التشغيل بالماكنات (Machinability Hardness)

وهي خاصية مقاومة المعدن للتشغيل بالماكنات مثل عملية القطع والثقب والقص...الخ,مجال الاستخدام مثلا(تشكيل المعادن بالمخرطة والمنقاب)

## 2- طرق قياس صلادة المعدن

في هذه الدراسة هنالك عدة طرق لقياس صلادة المعدن مثل (صلادة روكويل , صلادة برينل , صلادة فيكرز- مايكروفيكرز , صلادة كنبوب ) تقاس بها صلادة المعدن , وهذه الطرق الاكثر استخداما في العالم للاختبار المواد الصلبة في علم قياس الصلادة .

{2,1}

### 1-2- طريقة صلادة روكويل (Rockwell Hardness)

اختبار روكويل للصلادة هو اختبار يعبر عن مدى مقاومة مادة ما للخدش, تعتمد القيم الناتجة عن اختبار روكويل على المقارنة بين قياس عمقي اختراق اداة الخدش في الاختبار عند استخدام حملين مختلفين , هنالك مستويات مختلفة للاختبار يعبر عنها باحد الاحرف , وتختلف عن بعضها بحسب قيمة الحمل المستخدم او نوعية اداة الخدش . القيم الناتجة تعبر عن ارقام لا بعدية يرمز لها بالرمز (HRX) حيث ان (X) هو الحرف الذي يعبر عن مستوى الاختبار .  
تحدد قيم الصلادة باستخدام اختبار روكويل لمادة ما عن طريق التأثير عليها بحمل صغير يليه حمل كبير ثم المقارنة بين عمقي الاختراق تتحدد بعد ذلك قيمة الصلادة مباشرة باستخدام جداول معينة.

تقاس المعادن المصلدة سطحيا باستخدام المخروط وتحت تأثير حمل كلي مقداره (150kg) وتسمى (HRC) , بينما تختبر المعادن قليلة ومتوسطة الصلادة باستخدام الكرة وتحت تأثير حمل كلي مقداره (100kg) وتسمى (HRB) .

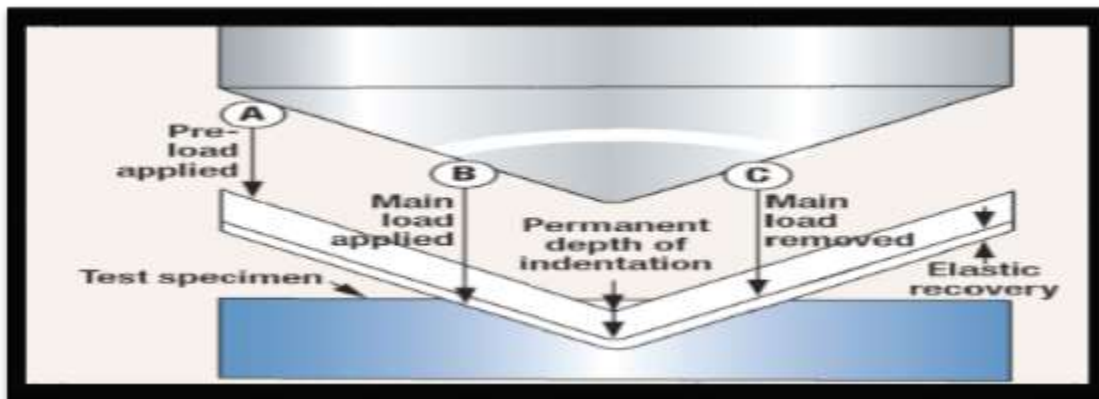
كما ويستخدم مخروط من الماس كأداة تغلغل لقياس صلادة المعادن شديدة الصلادة ذات المقاطع الرقيقة ويرمز له بالرمز (HRA) ويسلط في هذه الحالة حمل مقداره (60 كغم) .  
يعتبر صلادة روكويل مقياس الصلادة الاكثر اهمية والاكثر استخداما في العالم لأنها اكثر دقة واسهل مما يجعلها اكثر شيوعا من الطرق الاخرى.

ومن مميزات اختبار روكويل :

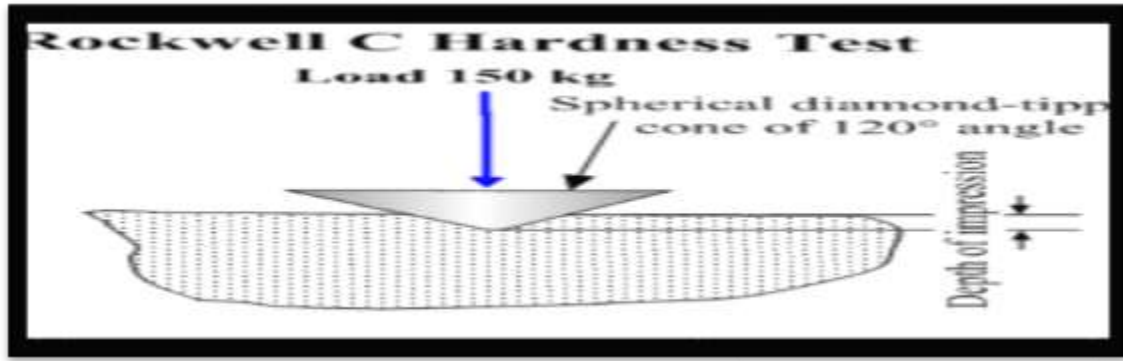
- يمتاز الاختبار بقدرته على عرض قيم الصلادة مباشرة .
- الاجهزة المستخدمة في هذا الاختبار محمولة وتستخدم في اماكن مختلفة .
- الموثوقية في القيم الناتجة .
- تعتبر من الاختبارات اللاتلافية لان مساحة الخدش صغيرة .
- السرعة في عملية الاختبار .

وتراعى عدة احتياطات لضمان دقة النتائج الناتجة عن الاختبار مثل :

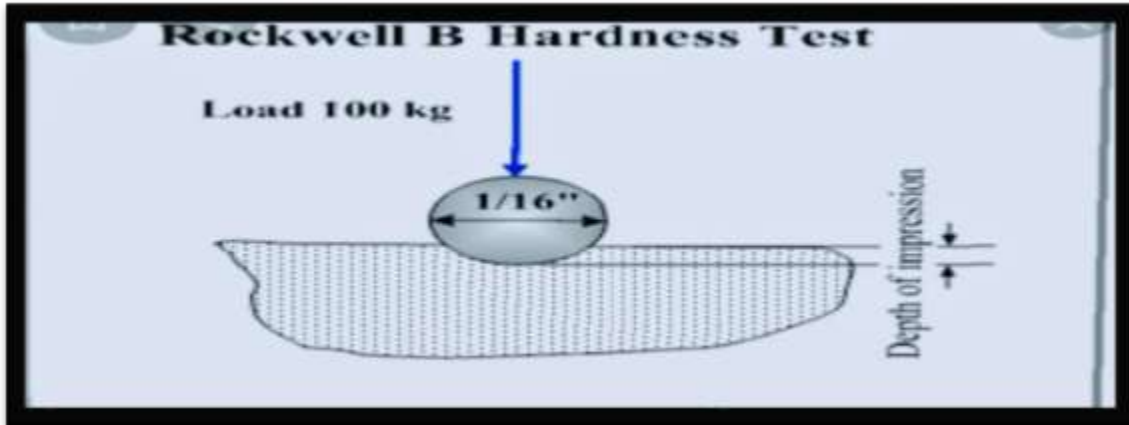
- ان يكون سمك المادة المختبرية على الاقل عشرة اضعاف عمق الخدش الناتج عن الاختبار .
  - ان يكون سطح الاختبار مستويا , وان يكون الحمل المستخدم عموديا على السطح .
- ويبين الشكل (1-2) تكوين الاثر على سطح المادة والمواقف المختلفة للناقر اثناء دورة الاختبار



شكل (1-2) ناقر صلادة روكويل خلال سطح المعدن {14}



شكل (2-2) صلادة روكويل (C) {14}



شكل (3-2) صلادة روكويل (B) {14}

وهناك ايضا مقاييس اخرى للاختبار روكويل تستخدم لقياس صلادة المعدن كما مبين في جدول (1-2). {2}

Rockwell Hardness Regular Scales	Hardness Symbol Unit	Type of Indenter	Preliminary Force F <sub>0</sub>	Total force F	Scaling Constant S	Full Range Constant N	Applicable Range of Application
A	HRC	Diamond Cone	98.07 N	588.4N	0.002mm	100	20 to 95HRA
B	HRBW	Ball 1.5875 mm	98.07 N	980.7N	0.002mm	130	10to100HRBW
C	HRC	Diamond Cone	98.07 N	1.471KN	0.002mm	100	20 to 70HRC
D	HRD	Diamond Cone	98.07 N	980.7N	0.002mm	100	40 to 77HRD
E	HRE	Ball 3.175 mm	98.07 N	980.7N	0.002mm	130	70to100HREW
F	HRFW	Ball 1.5875 mm	98.07 N	588.4N	0.002mm	130	60to100HRFW
G	HRGW	Ball 1.5875 mm	98.07 N	1.471KN	0.002mm	130	30to94HRGW
H	HRHW	Ball 3.175 mm	98.07 N	588.4N	0.002mm	130	80to100HRHW
K	HRKW	Ball 3.175 mm	98.07 N	1.471KN	0.002mm	130	40to100HRKW

جدول (1-2) مقاييس اختبار روكويل

ويحسب رقم صلادة روكويل من خلال المعادلة التالية : {1}

$$\text{Rockwell Hardness} = N - \frac{h}{S} \dots\dots\dots(1-2)$$

والنتيجة هي رقم غير محدد يعطي قيمة صلادة المادة ويتم تفسير صلادة روكويل على نحو الشكل التخطيطي (4-2) التالي. {1}

**70 HR 30F W**

- └ Indication of type of ball used w=Tungsten carbide composite
- └ Rockwell scale symbol
- └ Rockwell hardness symbol
- └ Rockwell hardness value

الشكل التخطيطي (4-2) رقم صلادة روكويل

اما الجدول (2-2) ادناه يبين رموز ومصطلحات مختصرة تتعلق باختبار صلادة روكويل من حيث رمز الصلادة وتعريفها والوحدة المستخدمة .

Symbol Abbreviated	Definition	Unit
Term		
F0	Preliminary test force	N
F1	Additional test force (total force minus preliminary force)	N
F	Total test force	N
S	Scaling constant, specific to the scale	mm
N	Full range constant, specific to the scale	-
h	Permanent depth of indentation under preliminary test force after Additional test force (permanent indentation depth)	mm
HRA HRC HRD	Rockwell Regular hardness = $100 - \frac{h}{0.002}$	
HRBW HREW HRFW HRGW HRHW HRKW	Rockwell Regular hardness = $130 - \frac{h}{0.002}$	

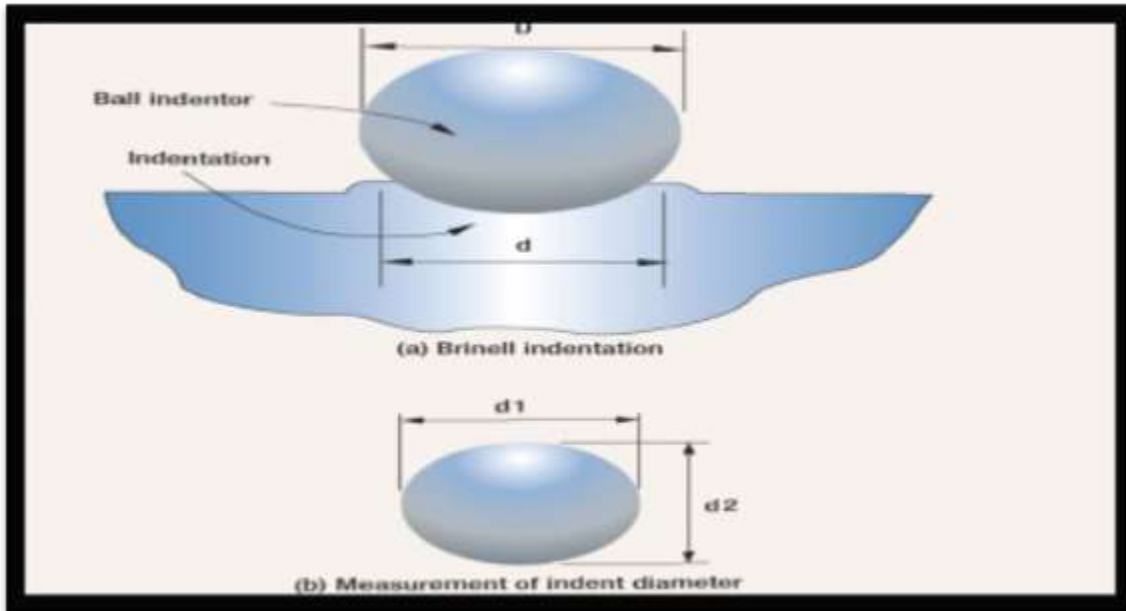
جدول (2-2) رموز ومصطلحات مختصرة لصلادة روكويل

{4,3}

## 2-2- اختبار برينل للصلادة (Brinell Hardness)

هو احد الطرق او الاختبارات المستخدمة لقياس صلادة المادة , تتلخص طريقة الاختبار في ضغط كرة من الفولاذ المصلد , او كرة مصنعة من مادة كربيدات التنجستن الملبد , على عينة نظيفة مستوية من المادة المراد اختبار صلابتها , يفضل في هذا الاختبار الا يقل سمك العينة عن عشرة امثال عمق الاثر او العلامة التي تتركها الكرة في العينة . عادة ما تستخدم كرة من الفولاذ المصلد قطرها (10mm) كمادة خارقة وتسمى (الخارق) مع حمل (3000 kg) لكن حجم هذا الخارق لا يصلح في حال العينات الرقيقة , لذا يتم استخدام كرة قطرها (5mm) , كما تستخدم الاحمال (500kg,1500kg) مع العينات الاقل صلادة . تستبدل كرة الفولاذ بأخرى من كربيدات التنجستن في حالة المواد الاكثر صلادة.

في الشكل (5-2) يمكن رؤية العرض التخطيطي لأدراك الاثر او العلامة لصلادة برينل وقياس قطرها .



شكل(5-2) صلادة برينل واثر العلامة وقياس قطرها {14}

يتم تنفيذ طريقة الاختبار هذه كما هو موضح في الشكل اعلاه في خطوتين , تحقيق الاثر وقياس مساحتها .

اما بالنسبة لسرعة اقتراب الناقر , ومدة القوة المطبقة على الناقر اي (الفترة الزمنية من بدء تطبيق الحمل حتى وصول الى القوة الاجمالية المحددة لكل مقياس ) معروفة وموحدة ومحددة . عندما يتم تحقيق الاثر او العلامة يتم عمل قطرين متعامدين على الاقل لقياسات الاثر , بعد ذلك يجب ادخال متوسط هذين القطرين في صيغة رياضية المستخدمة في حساب رقم صلادة برينل الموضح ادناه لحساب قيمة الصلادة .

$$HBW = \frac{1}{gn} \times \frac{\text{Force}}{\text{Indentation Area}} = 0.102 \frac{2F}{\sqrt{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}} \dots\dots\dots(2-2)$$

نتيجة الحساب هي رقم يعطي قيمة الصلادة المادة . {3}



الجدول أدناه (3-2) يعطي رموز ووحدات وتفسيرات حساب برينل. {3}

Symbol	Explanation	Unit
HBW	Brinell Hardness	-
D	Diameter of Ball Indenter	mm
F	Test Force	N
d	Mean Diameter = $\frac{d1+d2}{2}$	mm
d1,d2	Mean Value of the two diameters of the indentation	mm

الجدول (3-2) رموز ووحدات وتفسيرات حساب صلادة برينل

يتم تفسير رقم صلادة برينل في الشكل التخطيطي (6-2) على سبيل المثال (600HBW1/30/20) يعني ان رقم صلادة برينل الذي تم العثور عليه بعد تطبيق (30 kg) من الحمل على كرة معدنية صلابة قطرها (1mm) خلال (20sec) هو (600), العرض التخطيطي لتفسير رقم صلادة برينل المعطى ادناه .

**60 HBW 1 / 30 / 20**

└ duration Time of test force(20 sec)

└ Applied test force where 30kgf =294.2N

└ Ball diameter in mm

└ Hardness symbol

└ Brinell hardness value

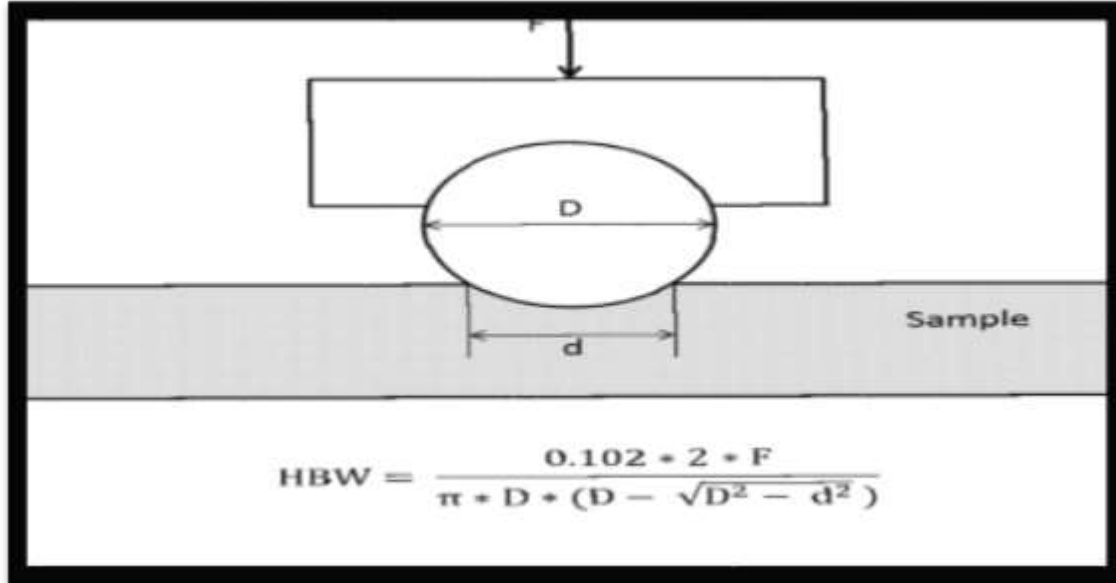
الشكل التخطيطي (6-2) تفسير رقم صلادة برينل

يؤدي التنوع في المواد الى استخدام انواع عديدة من القوة واقطار مختلفة للناقر الكروي في موازين صلادة برينل والجدول (4-2) ادناه يبين هذا التنوع {3}

Hardness Symbol	Indenter Diameter D (mm )	Nominal Value of Force F(N)
HBW 10/3 000	10	29.42 KN
HBW 10/1 500	10	14.71 KN
HBW 10/1 000	10	9.807 KN
HBW 10/500	10	4.903 KN
HBW 10/250	10	2.452 KN
HBW 10/100	10	980.7 KN
HBW 5/750	5	7.355 KN
HBW 5/250	5	2.452 KN
HBW 5/125	5	1.226 KN
HBW 5/62.5	5	612.9 N
HBW 5/25	5	245.2 N
HBW 2.5/187.5	2.5	1.839 N
HBW 2.5/62.5	2.5	612.9 N
HBW 2.5/31.25	2.5	306.5 N
HBW 2.5/15.625	2.5	153.2 N
HBW 2.5/6.25	2.5	61.29 N
HBW 1/30	1	294.2 N
HBW 1/10	1	98.07 N
HBW 1/5	1	49.03 N
HBW 1/2.5	1	24.52 N
HBW 1/1	1	9.807 N

الجدول (4-2) مقاييس صلادة برينل

كما نرى في الجدول اعلاه بسهولة, هناك احمال تبدأ من (1kg) حتى (3000kg) واقطار كروية للناقر ( 1mm,2.5mm,5mm,10mm) . اما المقاييس الاكثر شيوعا واستخداما هي (HBW 2.5/62.5) وكذلك (HBW 2.5/187.5) والشكل (2-7) ادناه يبين طريقة قياس صلادة برينل .



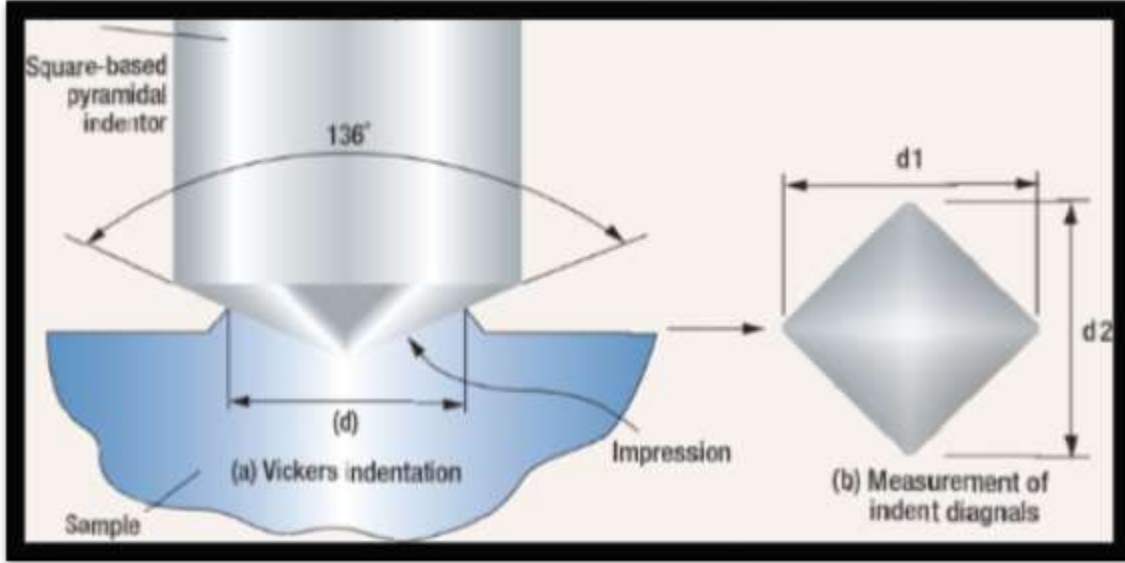
شكل(2-7) طريقة صلادة برينل مع معادلة رقم الصلادة {14}

عند ذكر نتيجة اختبار برينل يجب ذكر نوع مادة الكرة وقطرها والقوة المؤثرة التي ادت الى الحصول على هذه النتائج , وتوجد اختصارات للدلالة على نوع مادة الكرة مثلا (HBW) تدل على ان الكرة المستخدمة في الاختبار من مادة كربيد التنجستن و(HBS) تدل على ان المادة المستخدمة مصنعة من الصلب , وعندما تكون ظروف الاختبار (HBW 20/3000) فهذا معناه استخدام كرة مصنعة من مادة كربيد التنجستن بقطر (20mm) وقوة مقدارها (3000kg) .

{5,6}

### 3-2- اختبار فيكرز للصلادة (Vickers Hardness)

ان اختبار فيكرز للصلادة هو اختبار لقياس صلادة المواد طور من قبل روبرت سميث وجورج سانلاند في مختبرات شركة فيكرز المحدودة , وذلك بأسلوب بديل لطريقة اختبار برينل للصلادة. يتميز اسلوب فيكرز لقياس الصلادة بان الحسابات المطلوبة غير متعلقة بقياس حجم راس الجهاز, ولا حاجة لتغييره بغض النظر عن صلادة المادة المراد قياسها. ويمكن بواسطة هذا الاختبار تحديد صلادة المعادن شديدة الصلادة نظرا لاستخدام الهرم الماسي وتكون الاحمال المؤثرة صغيرة جدا اذا ما قورنت بالاحمال المؤثرة في اختبار برينل للصلادة ويمكن بواسطة هذا الاختبار تحديد صلادة المعادن الرقيقة (micro hardness) . طريقة اختبار فيكرز مشابهة جدا لاختبار برينل , في هذه الطريقة يتم تطبيق الحمل بسرعة الاقتراب جنبا الى جنب مع القوة المحورية الى الاثر او العلامة ويتم الاحتفاظ بالقوة على الاثر لفترة من الوقت ثم يتم ازالة القوة والناقر بعدها يتم قياس طولي قطريين للاثر (العلامة) المربعة الشكل باستخدام المجهر الضوئي . الشكل (2-8) يبين صلادة فيكرز من حيث الناقر وقياس قطري الاثر.



شكل (8-2) طريقة قياس صلادة فيكرز وشكل وقياس الاثر {14}

يتم استخدام الطرق الحديثة للإظهار الاثر وتكون مكبرة بواسطة مجهر ضوئي ويتم نقله الى شاشة كومبيوتر , ويستخدم نظام معالجة الصور لقياس الاطوال. بعد قياس واخذ متوسط الطولين القطريين يتم ادخاله في صيغة رياضية لحساب رقم صلادة فيكرز بحسب رقم صلادة فيكرز من خلال العلاقة الرياضية (3-2).

$$HV = \frac{1}{gn} \times \frac{Force}{Indentation Area} = 0.102 \times \frac{2F \sin \frac{136}{2}}{d^2} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(3-2)$$

{5} النتيجة هي رقم يعطي صلادة فيكرز .

اما الجدول (5-2) ادناه يوضح رموز ووحدات وشرح المتغيرات التي تؤثر على صلادة فيكرز.

Hardness Symbol	Explanation	Unit
HV	Vickers Hardness	-
$\alpha = 136^\circ$	Tip Angle of the square based pyramid Diamond Indenter	°
F	Test Force	N
d	Mean Diagonal Length = $\frac{d1+d2}{2}$	mm
d1,d2	Two Perpendicular Diagonal Measurement	mm

الجدول (5-2) متغيرات صلادة فيكرز

يتم الاعلان عن صلادة فيكرز كما موضح في الشكل التخطيطي (9-2) فمثلا على سبيل المثال (640HV30/20) ان هذا يعني ان رقم الصلادة بعد تحقيق حمل (30kg) على الناقر ذو الشكل الهرمي الماسي المربع خلال (20sec) هو (640) , والشرح التخطيطي ادناه يوضح ما تم شرحه .

**640 HV 30 /20**

└ Duration time of test force (20sec)

└ Applied test force where (30kgf =294.2N)

└ Hardness symbol

└ Vickers hardness value

الشكل التخطيطي (9-2) لرقم صلادة فيكرز

في صلادة فيكرز هناك نوع واحد من الناقر بقيم مختلفة من القوة المستخدمة في هذا النوع من طرق قياس الصلادة , والجدول (6-2) ادناه فيها توضيح لمقاييس صلادة فيكرز. {6}

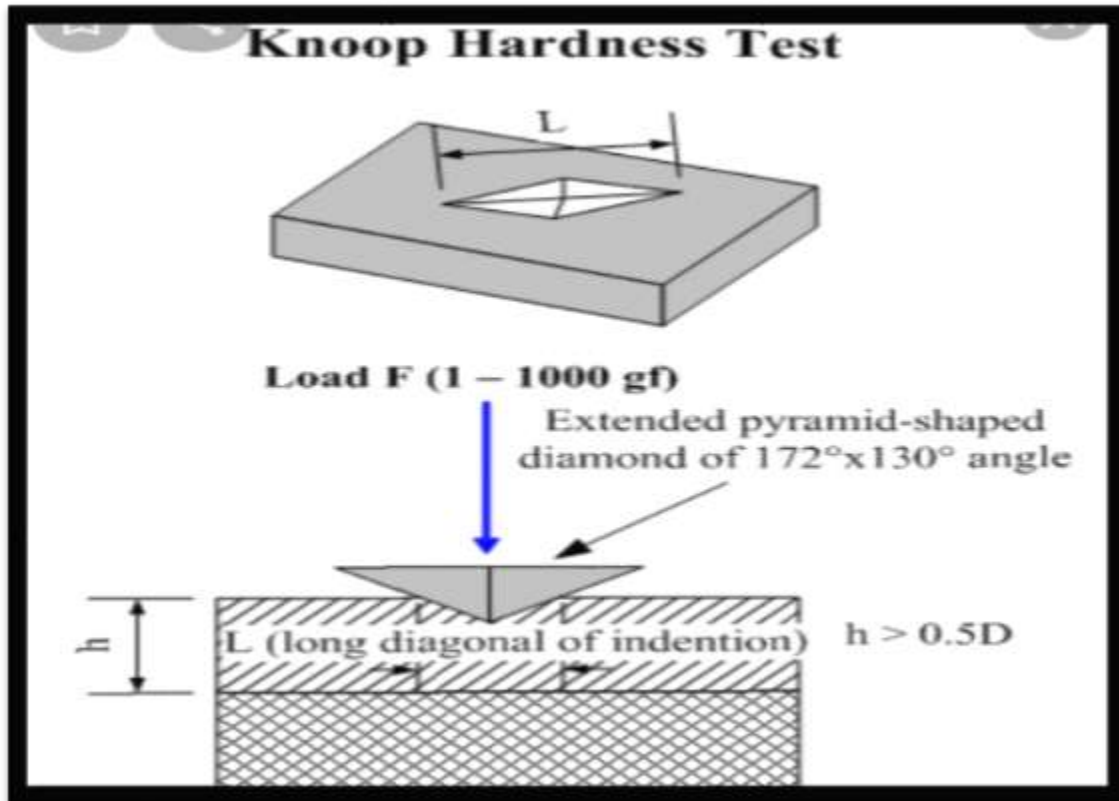
Hardness test		Low load hardness test		Micro hardness test	
Hardness Symbol	Nominal force Value F(N)	Hardness Symbol	Nominal force Value F(N)	Hardness Symbol	Nominal force Value F(N)
HV5	49.03	HV 0.2	1.961	HV 0.01	0.09807
HV10	98.07	HV 0.3	2.942	HV 0.015	0.147
HV20	196.1	HV 0.5	4.903	HV 0.02	0.1961
HV30	294.2	HV 1	9.807	HV 0.025	0.2452
HV50	490.3	HV 2	19.61	HV 0.05	0.4903
HV100	980.7	HV 3	29.42	HV 0.1	0.9807

الجدول (6-2) مقاييس صلادة فيكرز  
{6}

#### 4-2- اختبار كنوب للصلادة (Knoop Hardness)

يستخدم اختبار صلادة كنوب والذي تسمى صلادة العقدة لقياس صلادة الطبقات السطحية المعدنية الرقيقة . يعتبر مقياس صلادة كنوب (knoop hardness) من المقاييس الصلادة الدقيقة بالاشتراك مع صلادة الميكروفيكرز (micro Vickers) حيث انه مشابه تماما لطريقة قياس صلادة الميكروفيكرز باستخدام الناقر الماسي من نوع معين بدلا من الهرم المربع وقيم قوة مماثلة لتحقيق الاثر او العلامة على سطح المادة المعدنية.

بعد تحقيق الاثر على سطح المادة بتسليط حمل معين يتم العثور على قيمة الصلادة عن طريق قياس الطول القطري للأطوال حيث يبين الشكل (10-2) ادناه الناقر على شكل عقدة الماس المعيني .



شكل (10-2) طريقة صلادة كنوب وشكل الاثر {14}

بعد تسليط الحمل على سطح المادة من خلال الناقر المستخدم في صلادة كنوب يتم ملاحظة الاثر او العلامة بأقطار اطوال مختلفة .  
بعد تحقيق الاثر على سطح المادة يتم قياس الطول القطري الطويل على شكل متساوي الاضلاع عن طريق الاستفادة من وحدة معالجة الصور لجهاز الصلادة .  
يتم تحويل القيمة المقاسة الى قيمة صلادة من خلال المعادلة (4-2) الواردة ادناه

$$HK = \text{constant} \times \frac{\text{Force}}{\text{Indentation Area}} = 0.102 \times \frac{F}{cd^2} = 1.451 \times \frac{F}{d^2} \dots\dots\dots(4-2)$$

النتيجة هي رقم الصلادة المادية لمقياس كنوب (knoop) . {7}

الجدول (7-2) يوضح المتغيرات المستخدمة في صيغة المعادلة والتفسيرات المتعلقة بها .

Symbol	Explanation	Unit
F	Test force	N
d	Long diagonal length of indentation	mm
c	Indenter constant, relating project area of the indenter to the square of the length of the long diagonal	-
	Indenter constant, $c = \left\{ \frac{\tan(\frac{\beta}{2})}{2 \tan(\frac{\alpha}{2})} \right\}$ , ideally $c = 0.07028$ where $\alpha$ and $\beta$ are the angles between opposite edges at the vertex of the diamond pyramid	°
HK	Knoop hardness = $\text{constant} \times \frac{\text{test force}}{\text{projected area of ind}} = 0.102 \times \frac{F}{cd^2} = 1.451 \times \frac{F}{d^2}$	-

الجدول (7-2) المتغيرات لصلادة كنوب

يتم الاعلان عن صلادة العقدة كما موضح في الشكل التخطيطي (11-2) فمثلا على سبيل المثال ان (640HK0.1/20) يعني ان رقم الصلادة بعد تحقيق الحمل (0.1kgf) على سطح المادة من خلال الناقر الماسي على شكل معين خلال (20sec) هو (640) . والمخطط ادناه يوضح رقم صلادة كنوب .

**640 HK 0.1 /20**

└ Duration time of test force (20sec)

└ Applied test force, where 1 kgf=9.80665N

└ Hardness symbol

└ Knoop hardness value

الشكل التخطيطي (11-2) رقم صلادة كنوب

وهناك مقاييس عدة لصلادة كنوب والجدول (8-2) ادناه يبين هذه المقاييس . {7}

Hardness Symbol	Nominal force value		Hardness Symbol	Nominal force value	
	F(N)	F(kgf)		F(N)	F(kgf)
HK 0.01	0.09807	0.010	HK 0.2	1.961	0.200
HK 0.02	0.1961	0.020	HK 0.3	2.942	0.300
HK 0.025	0.2452	0.025	HK 0.5	4.903	0.500
HK 0.05	0.4903	0.050	HK 1	9.807	1.000
HK 0.1	0.9807	0.100	HK 2	19.614	2.000

الجدول (8-2) مقاييس صلادة كنوب

# الفصل الثاني

{4,2}

### 3- التحقق الغير المباشر لمعايرة جهاز الصلادة

تتم معايرة جهاز الصلادة ( HTM ) وفقا للمتطلبات القياسية في المعايير ( ISO 6508-2 ) , ( ISO 6506-2 ) , ( ISO 6507-2 ) لمقاييس الصلادة روكويل , برينل , فيكرز حيث ان بواسطة التحقق غير المباشر بواسطة قوالب مرجعية اولية يتم فحص الوظيفة الاجمالية لجهاز الصلادة (HTM), فيها يتم تحديد قابلية تكرار لجهاز الصلادة وانحراف قياس جهاز معايرة الصلادة عن قيمة الصلادة الحقيقية , للتحقق غير المباشر لجهاز الصلادة يكون الاختلاف (الخطأ) بين متوسط صلادة القالب المرجعي الاولي للصلادة التي تم قياسها بواسطة جهاز المعايرة والقيمة المعتمدة المقابلة للقالب المرجعي الاولي للصلادة هي محسوبة ومبلغ عنها. ويتحقق التحقق الغير المباشر مما اذا كان الخطأ ضمن الحدود القصوى المسموح بها, يتم معايرة القوالب الصلادة المستخدمة في معايرة اجهزة الصلادة بواسطة مختبر معتمد او معهد وطني للقياس مع الحسابات اللاتاكديية للقالب.

قبل معايرة جهاز الصلادة يجب فحص الجهاز للتأكد من انه تم اعداده بشكل صحيح وفقا للتعليمات الشركة المصنعة.

{13}

### 4- معايرة جهاز صلادة المعدن بواسطة قوالب القياسية

تشمل اجراءات المعايرة لجهاز الصلادة على التحقق من المكونات التي تشكل جهاز الصلادة بشكل منفصل ومعايرة جهاز الصلادة (HTM) بواسطة قوالب المرجعية المعتمدة للتحكم في اداء الجهاز ككل , لذلك تكون معايرة جهاز الصلادة في الاجراءات التالية في البداية كخطوة اولى في المعايرة يتم اجراء التحقق المباشر لمكونات الجهاز التي هي :-

■ معايرة الحمل (القوة)

■ التحقق من دورة الاختبار

■ معايرة نظام القياس الاثر

■ التحقق من الناقر

بعد التحقق من القوة, نظام قياس الاثر, وكذلك الناقر ودورة الاختبار بعدها تتم معايرة جهاز الصلادة (HTM) بواسطة الطريقة غير المباشرة وهي معايرة جهاز الصلادة بواسطة قوالب صلادة مرجعية معتمدة.

{2}

### 1-4- معايرة جهاز صلادة روكويل .

بعد معايرة القوة , ونظام قياس الاثر , ودورة الاختبار والناقر بعدها يتم معايرة جهاز صلادة روكويل بواسطة القوالب المرجعية المعتمدة .

عند القيام بأجراء معايرة جهاز صلادة روكويل يتم استخدام ثلاث قوالب صلادة مرجعية مع رقم صلادة مختلف لكل مقياس حيث يتم اجراء خمسة قياسات للصلادة لكل قالب مثل اختبار صلادة العادي ويتم تسجيل قيم من جهاز الصلادة .

تعد قابلية التكرار وخطا الجهاز من المتغيرات المهمة التي يجب حسابها لمعرفة ما اذا كان جهاز الصلادة مناسب للاستخدامه كجهاز اختبار.

حيث ان لكل مقياس من مقاييس الروكويل قوالب مرجعية يتم استخدامه في المعايرة , يتم اختيار كل منها من مدى مختلف الوارد في الجدول (1-4) .



Scales	Hardness Ranges of Blocks	Scales	Hardness Ranges of Blocks
A	(20 – 40) HRA (45 – 75) HRA (80 – 88) HRA	F	(60 – 75) HRF (80 – 90) HRF (94 – 100) HRF
B	(20 – 50) HRB (60 – 80) HRB (85 – 100) HRB	G	(30 – 50) HRG (55 – 75) HRG (80 – 94) HRG
C	(20 – 30) HRC (35 – 55) HRC (60 – 70) HRC	H	(80 – 94) HRH (96 – 100) HRH
D	(40 – 47) HRD (55 – 63) HRD (70 – 77) HRD	K	(40 – 60) HRK (65 – 80) HRK (85 – 100) HRK
E	(70 – 77) HRE (84 – 90) HRE (93 – 100) HRE		

جدول (1-4) مديات الصلادة للقوالب المرجعية المستخدمة في معايرة جهاز صلادة روكويل {13,2}

#### 1-1-4 الخطأ في جهاز صلادة روكويل (Error of HTM)

خطا الجهاز هو الفرق بين قيمة صلادة القوالب المرجعية ومتوسط قياس الصلادة لخمسة نقرات الذي سجله جهاز الصلادة على القالب المرجعي .  
اولا يجب حساب المتوسط على النحو الوارد ادناه في المعادلة (1-4) .

$$H_{\text{mean}} = \frac{H1+H2+H3+H4+H5}{5} \dots\dots\dots(14)$$

بعد حساب متوسط النقرات على القالب يتم حساب الخطا في جهاز الصلادة من خلال المعادلة (2-4) .

$$E = H_{\text{mean}} - HR \dots\dots\dots(24)$$

$H_{\text{mean}}$  متوسط خمسة قراءات مقاسة من خلال جهاز الصلادة على القالب القياسي .  
 $HR$  القيمة القياسية المعتمدة للقالب المرجعي .

{13,2}

#### 2-1-4 قابلية التكرار لجهاز صلادة روكويل (Repeatability of HTM)

يتم حساب قابلية التكرارية لجهاز صلادة روكويل من خلال الفرق بين قيمة الصلادة الاعلى الذي سجله جهاز الصلادة على القالب المرجعي من بين الخمس قياسات للصلادة على القالب والقيمة الادنى المقاسة من جهاز الصلادة وبالتالي التكرارية تحسب من خلال المعادلة (3-4) .

$$r = H_{\text{max}} - H_{\text{min}} \dots\dots\dots(34)$$

$r$  التكرارية (repeatability)  
 $H_{\text{max}}$  قيمة الصلادة الاعلى ضمن خمسة قراءات  
 $H_{\text{min}}$  قيمة الصلادة الادنى ضمن خمسة قراءات

بعد حساب الخطأ وقابلية التكرار للماكنة , يجب مقارنتها مع السماحيات الواردة في الجدول (2-4) فيما اذا كانت الماكنة ضمن هذه السماحيات المسموح بها , فتكون الماكنة متاحة لأغراض الاختبار.

Rockwell Hardness Scale	Hardness Value of the Block	Error Tolerance of the machine	Repeatability Tolerance of the machine
A	20 HRA ≤ 45 75 < HRA ≤ 88	± 2 HRA ± 1.5 HRA	≤ 0.02×(100-H) or 0.8 Rockwell unit
B	20 ≤ HRB ≤ 75 45 < HRB ≤ 80 80 < HRB ≤ 100	± 4 HRB ± 3 HRB ± 2 HRB	≤ 0.04×(130-H) or 1.2 Rockwell unit
C	20 ≤ HRC 70	± 1.5 HRC	≤ 0.02×(100-H) or 0.8 Rockwell unit
D	40 ≤ HRD ≤ 70 70 < HRD ≤ 77	± 2 HRD ± 1.5 HRD	≤ 0.02×(100-H) or 0.8 Rockwell unit
E	70 ≤ HRE 90 90 < HRE 100	± 2.5 HRE ± 2 HRFE	≤ 0.4×(130-H) or 1.2 Rockwell unit
F	60 ≤ HRF ≤ 90 90 < HRF ≤ 100	± 3 HRF ± 2 HRF	≤ 0.04×(130-H) or 1.2 Rockwell unit
G	30 ≤ HRG ≤ 50 50 < HRG ≤ 75 75 < HRG ≤ 94	± 6 HRG ± 4.5 HRG ± 3 HRG	≤ 0.4×(130-H) or 1.2 Rockwell unit
H	80 ≤ HRH ≤ 100	± 2 HRH	≤ 0.04 ×(130-H) or 1.2 Rockwell unit
K	40 ≤ HRK ≤ 60 60 < HRK ≤ 80 80 < HRK ≤ 100	± 4 HRK ± 3 HRK ± 2 HRK	≤ 0.04 ×(130-H) or 1.2 Rockwell unit

جدول (2-4) السماحيات لجهاز اختبار صلادة روكويل

**مسألة :-** الجدول (3-4) ادناه قيم صلادة مقاسة من خلال من خلال جهاز الصلادة (HTM) لكل قالب مرجعي من القوالب الثلاثة المستخدمة لمعايرة الجهاز ولكل قالب خمسة قراءات للصلادة .

1. Blok	2. Blok	3. Blok
HRC	HRC	HRC
30.4	50.7	60.7
30.5	50.9	60.7
30.4	50.8	61.0
30.6	50.8	60.9
30.4	50.8	60.8

جدول (3-4) القيم المقاسة لجهاز صلادة روكويل لثلاث قوالب معتمدة

**الحل :-** يتم حساب متوسط القياس لخمس قراءات صلادة على القالب القياسي لكل قالب , ثم الفرق بين متوسط القياس والقيمة المعتمدة لكل قالب صلادة لاجاد الخطأ وبعدها يتم ايجاد قابلية التكرارية للجهاز من الفرق بين القيمة الاعلى والقيمة الادنى من خلال القراءات الخمسة على القالب القياسي .

والجداول الثلاثة ادناه يبين نتائج القيم لكل قالب من القوالب الثلاثة المستخدمة لمعايرة جهاز صلادة روكويل .

Measured Value	Mean Value	Reference Value	Repeatability		Error		Uncertainty
			measured	tolerance	measured	tolerance	

HRC	HRC	HRC	HRC		HRC		HRC
30.4							
30.5							
30.4	30.46	30.24	0.2	1.4	0.2	± 1.5	0.5
30.6							
30.4							

جدول(4.4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقلب المعتمد الاول

Measured Value	Mean Value	Reference Value	Repeatability		Error		Uncertainty
			measured	tolerance	measured	tolerance	
HRC	HRC	HRC	HRC		HRC		HRC
50.7							
50.9							
50.8	50.80	50.28	0.2	1.0	0.5	± 1.5	0.5
50.8							
50.8							

جدول(5.4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقلب المعتمد الثاني

Measured Value	Mean Value	Reference Value	Repeatability		Error		Uncertainty
			measured	tolerance	measured	tolerance	
HRC	HRC	HRC	HRC		HRC		HRC
60.7							
60.7							
61.0	60.82	60.50	0.3	0.8	0.3	± 1.5	0.5
60.9							
60.8							

جدول(6.4) نتيجة قياسات جهاز صلادة روكويل للقلب المعتمد الثالث

{4}

#### 2-4- معايرة جهاز صلادة برينل (Brinell HTM)

بعد معايرة الحمل (القوة) , ونظام قياس الاثر , ودورة الاختبار وتحقيق الناقر , بعدها يتم معايرة جهاز الصلادة برينل بواسطة القوالب المرجعية للصلادة وفقا للمواصفة القياسية (ISO 6506-2) , ويجب مراعاة ما يلي :-

● لكل قالب مرجعي يجب قياس الفرق بين متوسط القيمة المقاسة ومتوسط القطر المعتمد ان لا يتجاوز (0.5%) .

● يجب التحقق من ماكنة الاختبار لكل قوة اختبار ولكل حجم للكرة المستخدمة , ولكل قوة اختبار يجب اختيار قالبين مرجعيين على الاقل من مديات الصلادة التالية .

- $\leq 200$  HBW
- $300 \leq \text{HBW} \leq 400$
- $\geq 500$  HBW

● يجب توزيع خمسة نقرات للصلادة على كل قالب مرجعي بشكل موحد على سطح الاختبار وقياسها وتكون اجراء الاختبار وفقا للمواصفة (ISO 6506-1).

● يتم اجراء قياس الصلادة على كل قالب قياسي مرجعي خمسة قياسات مثل اختبار صلادة عادي ويتم تسجيل قيم القياس .

● تعد قابلية التكرار وخطا الماكنة من المتغيرات المهمة التي تتم حسابها لمعرفة ما اذا كانت الماكنة مناسبة لاستخدامها للاختبارات .

{13,2}

#### 1-2-4- قابلية التكرار لجهاز صلادة برينل (Repeatability of HTM)

التكرار لجهاز صلادة برينل هو الفرق بين قيمة الصلادة الاعلى والادنى بين قياسات القطر الخمسة على القالب القياسي , لنفرض ان (d1,d2,d3,d4,d5) قياسات اقطار موضوعة بصورة تصاعديّة او متزايدة فان تكرارية الجهاز يحسب من خلال المعادلة (4.4) .

$$r = H_5 - H_1 \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

او النسبة المئوية للتكرارية تحسب من خلال المعادلة (5-4) .

$$r_{rel} = \frac{d_5 - d_1}{d_{men}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

حيث ان (d1,d5) هما قيمتا القطر الاعلى والادنى على التوالي وان (dmen) متوسط قياسات الاقطار الخمسة .

بعد حساب الخطأ وتكرارية الجهاز يجب مقارنتها مع التفاوتات الواردة في الجدول (4-7) ووفقا للمواصفة القياسية (ISO 6506-2) ومتطلبات الجهاز المتوافق مع هذه السماحيات , اذا كان الجهاز ضمن هذه السماحيات المسموح بها , فمن المقبول ان يكون الجهاز متاح للاغراض الاختبار .

{13,2}

#### 2-2-4- الخطأ في جهاز صلادة برينل (Error of HTM)

خطا الجهاز هو الفرق بين قيمة الصلادة المعتمدة للقوالب المرجعية ومتوسط قياس الصلادة الخمسة الذي تم التقاطه بواسطة الجهاز على القالب , لذلك يجب اولا حساب المتوسط على النحو الوارد في معادلة (6-4) ادناه .

$$H_{mean} = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5}{5} \quad \dots\dots\dots(6.4)$$

لذلك فان خطا الجهاز هو في معادلة (7-4) .

$$E = H_{mean} - H_R \quad \dots\dots\dots(7.4)$$

E خطا الجهاز  
Hmean المتوسط لخمسة قياسات صلادة على القالب القياسي  
HR القيمة المعتمدة المرجعية للقالب القياسي

وكذلك يتم حساب النسبة المئوية للخطأ على النحو التالي من خلال المعادلة (8-4)

$$E_{rel} = \frac{H_{mean} - H_R}{H_R} \times 100 \quad \dots\dots\dots(8.4)$$

فيما يلي ادناه الجدول (7-4) يبين التفاوتات التي تخص التكرارية والخطا لجهاز صلادة برينل

Hardness range HBW	Permissible repeatability	Permissible error Erel (%)
≤ 125	3.0	± 3.0
125 < HBW ≤ 225	2.5	± 2.5
> 225	2.0	± 2.0

جدول (7-4) السماحيات لجهاز صلادة برينل

**مسألة :-** في الجدول (8-4) ادناه قياسات لجهاز صلادة برينل باستخدام مقياس (HBW2.5/62.5) لثلاث قوالب مرجعية وتقييم النتائج .

Blok - 1		Blok - 2		Blok - 3	
HBW 2.5 / 62.5	(mm)	HBW 2.5 / 62.5	(mm)	HBW 2.5 / 62.5	(mm)
98.7	1.362	337	0.759	540	0.603
97.9	1.367	334	0.763	535	0.605
97.6	1.369	337	0.759	538	0.604
97.9	1.367	336	0.761	540	0.603
97.6	1.369	333	0.764	538	0.604

جدول (8-4) قيم النتائج لجهاز صلادة برينل لثلاث قوالب معتمدة

**الحل :-** عند حساب التكرارية والخطأ لجهاز صلادة برينل يتم الحصول على نتائج المعايرة التالية ووضعها في شكل جداول .

Measurement Values		Mean values		Reference Value	Repeatability (%)		Error (%)	
HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	measured	tolerans	measured	tolerans
98.7	1.362							
97.9	1.367							
97.6	1.369	97.9	1.367	96.9	0.5	3.0	1.1	± 3.0
97.9	1.367							
97.6	1.369							

جدول (9-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب القياسي الاول

Measurement Values		Mean values		Reference Value	Repeatability (%)		Error (%)	
HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	measured	tolerans	measured	tolerans
337	0.759							
334	0.763							
337	0.759	335.4	0.761	332.6	0.6	2.0	1	± 2.0
336	0.761							
333	0.754							

جدول (10-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب القياسي الثاني

Measurement Values		Mean values		Reference Value	Repeatability (%)		Error (%)	
HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	(mm)	HBW 2.5/62.5	measured	tolerans	measured	tolerans
540	0.603							
535	0.605							
538	0.604	538.2	0.604	534.8	0.5	2.0	0.6	± 2.0
540	0.603							
538	0.604							

جدول (11-4) نتائج القياسات لجهاز صلادة برينل على القالب القياسي الثالث {6}

### 3-4- معايرة جهاز صلادة فيكرز (Vickers HTM)

بعد معايرة القوة , نظام قياس الاثر (العلامة) ودورة الاختبار وتحقيق الناقر, مثل مقاييس روكويل وبرينل , فان جهاز صلادة فيكرز يتم معايرته بواسطة قوالب صلادة مرجعية معتمدة ووفقا للمواصفة القياسية (ISO 6507-2) , حيث ان اثناء المعايرة يجب مراعاة ما يلي

● على كل قالب مرجعي يجب قياس الاثر المرجعي , ولكل قالب يكون الفرق بين متوسط القيمة المقاسة ومتوسط قطر القالب المعتمد يجب ان لا يتجاوز الحد الاقصى للخطا المسموح به ضمن التفاوتات القياسية .

● يجب التحقق من الجهاز عند كل قوة اختبار يتم استخدامها , عند كل قوة اختبار يجب اختبار قالبين مرجعيين ضمن نطاقات الصلادة المحددة ادناه , يتم اختيار القوالب بحيث يستخدم قالب مرجعي واحد على الاقل في كل نطاق صلادة للتحقق من نطاقات الصلادة التالية

- ≤ 225 HV
- 400 HV to 600 HV
- > 700 HV

● عند التحقق من جهاز الاختبار باستخدام قوة اختبار واحدة فقط يجب استخدام ثلاث قوالب مرجعية في كل من النطاقات المحددة اعلاه .

● على كل قالب مرجعي و يجب عمل خمسة نقرات صلادة وقياسها ويكون اجراء الاختبارات وفقا للمواصفة القياسية (ISO 6507-1) .

● لأغراض خاصة , يمكن التحقق من جهاز الاختبار الصلادة بقيمة صلادة واحدة فقط , تقابل تقريبا قيمة الاختبارات التي سيتم اجراؤها .

● تعد قابلية التكرار وخطا الماكنة من المتغيرات المهمة التي يجب حسابها لمعرفة ما اذا كانت الماكنة مناسبة للاستخدامها كجهاز اختبار ام لا .

{13,6}

### 1-3-4- التكرارية لجهاز صلادة فيكرز (Repeatability of HTM)

التكرارية لجهاز صلادة فيكرز (Vickers) هو الفرق بين قيم الطول القطري الاعلى والادنى بين خمس اطوال قطرية للناقر على القالب القياسي, لنفرض (d1,d2,d3,d4,d5) تكون قياسات اطوال قطرية للاثر على القالب مرتبة بترتيب تصاعدي فان تكرار الجهاز يحسب من خلال المعادلة (9-4) .

$$r = H5 - H1 \quad \dots\dots\dots(9-4)$$

او النسبة المئوية للتكرارية تعطى بالمعادلة (10-4)

$$r_{rel} = \frac{d5-d1}{d_{mean}} \times 100 \quad \dots\dots\dots(10-4)$$

r قابلية التكرار  
 rrel النسبة المئوية للتكرار  
 d5 الطول القطري الاعلى  
 d1 الطول القطري الادنى

يجب ان يكون تكرار الجهاز ضمن التفاوتات في الجدول (12-4) .

Hardness Range	Max Permissible repeatability						
	r rel (%)			r (HV)			
	HV5-HV100	HV0.2-< HV5	< HV0.2	HV5-HV100		HV0.2 < HV5	
				Hardness range	HV	Hardness range	HV
≤ 225 HV	3.0	6.0	9.0	100	6	100	12
				200	12	200	24
> 225 HV	2.0	4.0	5.0	250	10	250	20
				350	14	350	28
				600	24	600	48
				750	30	750	60

جدول (12-4) سماحيات التكرار لجهاز صلادة فيكرز {13,6}

### 2-3-4- الخطأ في جهاز صلادة فيكرز (Error of HTM)

في جهاز صلادة فيكرز يحسب الخطأ من خلال الفرق بين قيمة الصلادة القياسية المعتمدة للقالب المرجعي ومتوسط قياس الصلادة لخمس نقرات صلادة على القالب المرجعي التي تم تسجيله من قبل جهاز الصلادة , لإيجاد الخطأ في الجهاز اولا يتم حساب المتوسط على النحو التالي حسب المعادلة (11-4)

$$H_{\text{mean}} = \frac{H1+H2+H3+H4+H5}{5} \quad \dots\dots\dots(11-4)$$

ويتم حساب خطأ الجهاز من المعدلة (12-4)

$$E = H_{\text{mean}} - H_R \quad \dots\dots\dots(12-4)$$

E خطأ الجهاز  
 Hmean متوسط خمسة قياسات صلادة على القالب المعتمد  
 HR القيمة المعتمدة للقالب المرجعي

يتم حساب النسبة المئوية للخطأ في الجهاز من خلال المعادلة (13-4)

$$E_{\text{rel}} = \frac{H_{\text{mean}} - H_R}{H_R} \times 100 \quad \dots\dots\dots(13-4)$$

Erel النسبة المئوية للخطأ  
 Hmean متوسط خمسة قياسات صلادة سجلها الجهاز  
 HR القيمة المعتمدة للقالب المرجعي

وبعد ايجاد التكرارية والخطأ لجهاز الصلادة يجب مقارنتها مع التفاوتات الواردة في الجدول (12-4) ادناه ووفقا للمواصفة القياسية (ISO 6507-2) متطلبات معايير الاجهزة والتوافق مع هذه التفاوتات , اذا كان الجهاز ضمن هذه التفاوتات المسموح بها , فمن المقبول اتاحته لأغراض الاختبار.

# الفصل الثالث



### 5- المتطلبات العامة في اللاتاكديّة القياس للجهاز الصلادة

يعد تحليل اللاتاكديّة في القياس من المتغيرات المهمة للمساعدة في تحديد مصادر الخطأ وفهم الاختلافات في نتائج الاختبار, حيث ان معظم مواصفات المنتج لديها تفاوتات تم تطويرها على مدى السنوات الماضية استنادا بشكل اساسي الى متطلبات المنتج ولكن ايضا جزئيا على اداء الجهاز المستخدم في قياس الصلادة , وبالتالي فان هذه التفاوتات تتضمن مساهمة بسبب اللاتاكديّة في قياس الصلادة وسيكون من المناسب اجراء اي تخصيص لهذا القياس عن طريق على سبيل المثال تقليل التفاوت المحدد من خلال اللاتاكديّة المقدر لقياس الصلادة , وبعبارة اخرى عندما تنص مواصفات المنتج على ان الصلادة العنصر يجب ان تكون اعلى او اقل من قيمة معينة و فيجب تفسير ذلك على انه يحدد ببساطة ان قيم الصلادة المحسوبة يجب ان تفي بهذا الشرط , ما لم يذكر على وجه التحديد خلاف ذلك في مستوى المنتج , ومع ذلك , قد تكون هناك ظروف خاصة يكون فيها تقليل التفاوت من خلال اللاتاكديّة في القياس مناسباً , يجب ان يتم ذلك فقط باتفاق الاطراف المعنية .

يأخذ نهج تحديد اللاتاكديّة حالات اللاتاكديّة المرتبطة باداء القياس الشامل لجهاز اختبار الصلادة فيما يتعلق بالقوالب المرجعية للصلادة (اختصاراً باسم CRM) تعكس اوجه اللاتاكديّة هذه في الاداء التاثير المشترك على كل حالات اللاتاكديّة المنفصلة , بسبب هذا النهج من المهم ان تعمل مكونات الجهاز الفردية في حدود التفاوتات. يوصى بشدة بتطبيق هذا الاجراء لمدة اقصاها عام واحد بعد اجتياز التحقق والمعايرة بنجاح .

على العموم اللاتاكديّة في القياس , المصاحبة لنتيجة القياس , هو مؤشر على الجودة وموثوقية نتيجة القياس , تستند حسابات اللاتاكديّة في الصلادة بشكل اساسي الى المستند (EURAMET/C9-16/V.01:2007) وفقا لهذا الدليل , اولا , يجب تحديد المتغيرات التي تؤثر على صلادة الكمية الناتجة , يمكن اعتبار هذا تعبيراً رياضياً من الكمية الاجمالية (المخرجات) , للعديد من كميات المتغيرات (المدخلات) ويعبر عنه على النحو التالي حسب المعادلة (1-5)

$$H = f(X1, X2, \dots, Xn) \quad \dots \dots \dots (1-5)$$

في حالة الصلادة لا يوجد مثل هذا النموذج الرياضي , بدلا من ذلك , يتم تحديد المتغيرات التي يمكن وضعها في شكل جدول بما في ذلك اللاتاكديّة المعياري ومعاملات الحساسية والمساهمات في اللاتاكديّة الكلي , مثال على ذلك بما يتضمنه الجدول (1-5)

Quantity Xi	Estimate xi	Standard Uncertainty u(xi)	Sensitivity Coefficients ci	Contribution Total uncertainty ui(H)
X1	x1	u (xi)	c1	u1(H)
.....	....	....	.....	.....
Xn	Xn	u(Xn)	Cn	Un(H)
Hardness	H			u(H)

جدول (1-5) المتغيرات التي تؤثر على الصلادة

Xi : المتغيرات التي تؤثر على اللاتاكديّة الكلي.

xi : تقدير قيمة الكميات .

u(Xi) : اللاتاكديّة المعياري للكميات.

ci : معاملات الحساسية للكميات, مع اعطاء معلومات عن مدى تاثير الكمية الكلية بهذه

الكميات ويتم حسابها على النحو التالي :-

$$c_i = \frac{\Delta H}{\Delta X_i} \dots\dots\dots(2-5)$$

ويتم حساب هذا المعامل اما بأخذ مشتق من الكمية الاجمالية فيما يتعلق بكل كمية في حالة وجود نموذج رياضي او اخذ نسبة التغير في صلادة الكمية الاجمالية الى التغير في الكمية , في حالة عدم وجود نموذج رياضي .

$u_i(H)$  : مساهمة اللاتاكديفة في القيمة التقديرية ,  $x_i$  , في اجمال اللاتاكديفة ويتم حسابها على النحو التالي :

$$u_i(H) = C_i u(x_i) \dots\dots\dots(3-5)$$

نظرا لان جميع المتغيرات التي تؤثر على الكمية الاجمالية في الصلادة مقبولة ومنفصلة , فان اللاتاكديفة الاجمالي ليس سوى جمع التريبيعي للمساهمات وحسابه كالآتي :

$$u^2(H) = \sum_{i=1}^n u_i(H) \dots\dots\dots(4-5)$$

وجد ان اللاتاكديفة الموسعة لعامل التغطية ( $k=2$ ) هو بضربه في اللاتاكديفة الكلي كالآتي :

$$U = ku(H) \dots\dots\dots(5-5)$$

يتم التعبير عن هذه القيمة مع قيمة الصلادة المقاسة ( $H \pm U$ ).

{13,8}

### 6- حسابات اللاتاكديفة في القياس لمعايرة جهاز الصلادة بواسطة القوالب المرجعية

هنالك عدة خطوات لحساب اللاتاكديفة لمعايرة جهاز الصلادة وهي :-

■ الخطوة الاولى: دستور وظيفة النموذج ( Constitution of Model Function )

يتم حساب اللاتاكديفة لجهاز الصلادة من خلال معايرته بواسطة القوالب المرجعية للصلادة وهو يشمل ثلاث متغيرات , اللاتاكديفة في القوالب المرجعية للصلادة, اللاتاكديفة في القياس واللاتاكديفة بسبب تحليل جهاز الصلادة , ويمكن التعبير عن وظيفة النموذج التي تم تشكيلها وفقا لهذا المبدأ على النحو التالي

$$\Delta H = H_{HTM} - H_R + \delta H_{HTM} + \delta S_{HTM} + \delta r_{HTM} \dots\dots\dots(1-6)$$

ويتم حساب اللاتاكديفة في جهاز الصلادة مع توجيه وظيفة النموذج هذه , الجدول (1-6) ادناه يمكن رؤية المتغيرات لحساب اللاتاكديفة.

List for Symbol Used		Unit
$\Delta H$	Hardness difference between reference block value and mean of measurements made with HTM .	Hardness Unit
$H_R$	Hardness value of the reference block.	
$H_{HTM}$	Hardness measurement values made by HTM on reference block.	
$S_{HTM}$	Standard deviation of 5 measurements made on the block	
$r_{HTM}$	Resolution of HTM	
$\delta_{HR}$	Effect of reference block	
$\delta_{HHTM}$	Effect of hardness measurements	
$\delta_{rHTM}$	Effect of resolution of HTM	
$u(H_R)$	Uncertainty contribution by reference block	
$u(r_{HTM})$	Uncertainty contribution by resolution of HTM	
$u(S_{HTM})$	Uncertainty contribution by measurement	
$u(H_{HTM})$	Combined uncertainty for HTM for $k= 1$	
$U(H_{HTM})$	Expanded uncertainty HTM for $k=2$	

جدول (1-6) رموز وتفسيرات للمتغيرات التي تؤثر على اللاتاكديفة في جهاز الصلادة

■ الخطوة الثانية: تحديد مكونات اللاتاكديية (Determination of Uncertainty component) يتم اعطاء هذه الخطوة على شكل جدول كالآتي :

Uncertainty Budget			
Uncertainty sources	Uncertainty type,distribution function	Uncertainty contribution	Variations
Uncertainty of reference $u(HR)$	Type, A ,Normal	$u(HR)$	$u^2(HR)$
Uncertainty of Standard Deviation $u(S_{HTM})$	Type, A ,Normal	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_{mean} - H_i)^2}{n(n-1)}}$	$\frac{\sum_{i=1}^5 (H_{mean} - H_i)^2}{20}$
Uncertainty of Resolution $u(r_{HTM})$	Type,B,Rectangular	$\frac{r_{HTM}}{2\sqrt{3}}$	$\frac{r_{HTM}^2}{12}$

جدول (2-6) المتغيرات التي تشكل ميزانية اللاتاكديية

■ الخطوة الثالثة: دستور ميزانية اللاتاكديية (Constitution of Uncertainty Budget) يجب اجراء حساب اللاتاكديية لكل قالب مرجعي للصلادة المستخدمة في المعايرة , بالنظر الى كل هذه الامور وفي التفسيرات الاولى من الخطوتين , يمكن اجراء حساب اللاتاكديية في القياس لخمسة قياسات للصلادة على النحو التالي .

$$S_{HTM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (H_{HTM} - H_{mean})^2}{4}} \dots\dots\dots(2-6)$$

$$u(S_{HTM}) = \frac{t S_{HTM}}{\sqrt{5}} \dots\dots\dots(3-6)$$

حيث ان (t) هو معامل التوزيع ويساوي (1.14) لخمسة قياسات للصلادة .

$$u_{HTM} = \sqrt{u^2(HR) + u^2(S_{HTM}) + u^2(r_{HTM})} \dots\dots\dots(4-6)$$

هذه القيمة عبارة عن اللاتاكديية المشترك ويجب ضربها بعامل التغطية لاجاد اللاتاكديية الموسعة على النحو الوارد ادناه

$$U_{HTM} = k \times u_{HTM} \dots\dots\dots(5-6)$$

مثال:- يتحقق التحقق الغير المباشر مما اذا كان التحيز ضمن الحدود القصوى المسموح بها , وبالتالي فان الاجراء التالي هو اجراء لحساب اللاتاكديفة في قيمة التحيز في القياس جهاز معايرة الصلادة فيما يتعلق بمتوسط الصلادة الحقيقي للقلب المرجعي للصلادة الاولي . يتم حساب اللاتاكديفة في قياس انحياز جهاز معايرة الصلادة من نتائج التحقق غير المباشر باستخدام معادلة (4-6) .

$$u_{HTM} = \sqrt{u^2(HR) + u^2(SHTM) + u^2(rHTM)}$$

$u(HR)$ : هي مساهمة اللاتاكديفة في القياس بسبب اللاتاكديفة للقيمة المصادق عليها للقلب المرجعي للصلادة الاولي , وفقا لشهادة المعايرة لـ (k=1).

$u(SHTM)$ : هي مساهمة لاتاكديفة في القياس بسبب نقص قابلية تكرار القياس لجهاز معايرة الصلادة وعدم انتظام الصلادة للقلب المرجعي الاولي , محسوبة على انها الانحراف المعياري لمتوسط قياسات الصلادة عند القياس للقلب المرجعي للصلادة الاولي .

$u(rHTM)$ : هي مساهمة في اللاتاكديفة في القياس بسبب دقة جهاز معايرة الصلادة

فمثلا : تحقق غير مباشر من مقياس (C) روكويل (45 HRC) لجهاز معايرة الصلادة , قيمة القلب المرجعي للصلادة الاولي (HR=45.40 HRC) , اللاتاكديفة الموسعة المصادق عليها (u(HR)=0.24 HRC) من شهادة المعايرة , دقة جهاز المعايرة للصلادة (01HRCδms=0).

الحل:- يتم اجراء خمسة قياسات (HRC) على القلب المرجعي , كما هو موضح في جدول (3-6) .

■ يتم حساب الخطا من خلال المعادلة.....

■ يتم حساب اللاتاكديفة في قالب الصلادة المعتمد من خلال.....

■ يتم حساب الانحراف المعياري لخمس قياسات صلادة من خلال.....

$$SHTM = \sqrt{\frac{(H1-Hmean)^2 + (H2-Hmean)^2 + (H3-Hmean)^2 + (H4-Hmean)^2}{4}}$$

■ بعدها يتم حساب اللاتاكديفة لتكرارية جهاز الصلادة من خلال.....

$$U(SHTM) = \frac{t \times SHTM}{\sqrt{5}} \quad (\text{حيث ان } t=1.14)$$

■ بعدها يتم حساب اللاتاكديفة في دقة الجهاز من خلال.....

$$u(ms) = \frac{\delta ms}{2\sqrt{3}}$$

Measurement hardness	Number of block
45.65	1
45.52	2
45.51	3
45.58	4
45.57	5
45.57	Hmean القيمة المتوسطة
0.059	SHR الانحراف المعياري
0.030	uHR اللاتاكديفة المعياري في القياس
HRC	صلادة مقياس C , روكويل

جدول (3-6) نتائج التحقق غير المباشر لجهاز صلادة مقياس روكويل (C)

من المتغيرات التحقق غير المباشر والجدول (3-6) نستنتج ان خطأ الجهاز يساوي

$$\begin{aligned} E &= H_{\text{mean}} - H_R \\ &= 45.57 - 45.40 \\ &= 0.17 \text{ HRC} \end{aligned}$$

وان اللاتاكديفة لقالب الصلادة القياسى الماسخدم فى عملفة المعالفة هف

$$\begin{aligned} u_{HR} &= \frac{u(HR)}{2} \\ &= \frac{0.24}{2} \\ &= 0.12 \text{ HRC} \end{aligned}$$

واللالاكديفة للكرارففة الجهاز فساوى

$$\begin{aligned} u(S_{HTM}) &= \frac{t \times S_{HTM}}{\sqrt{n}} \\ &= \frac{1.14 \times 0.059}{\sqrt{5}} \\ &= 0.030 \end{aligned}$$

وان الللالاكديفة لدفة الجهاز من خلال

$$\begin{aligned} u(\text{ms}) &= \frac{\delta \text{ ms}}{2\sqrt{3}} \\ &= 0.00 \end{aligned}$$

وان الللالاكديفة المشركفة فى قفاس انحفاز جهاز معالفة الصلادة من نلالف الككفف غير المبالر من خلال

$$\begin{aligned} u_{HTM} &= \sqrt{u^2(HR) + u^2(S_{HTM}) + u^2(r_{HTM})} \\ &= \sqrt{(0.12)^2 + (0.030)^2 + (0.00)^2} \\ &= 0.12369 \text{ HRC} \end{aligned}$$

وان الللالاكديفة الموسعة الفساوى

$$\begin{aligned} U_{HTM} &= k \times u_{HTM} \\ &= 2 \times 0.12369 \\ &= 0.24738 \text{ HRC} \end{aligned}$$

ننفة القفاس مع الصلادة المعدلة

$$\begin{aligned} X_{\text{corr}} &= (H_R - E) \pm U_{HTM} \\ &= (45.23 \pm 0.24738) \text{ HRC} \end{aligned}$$

اما نفة القفاس مع الللالاكديفة المعدلة

$$\begin{aligned} X_{\text{ucor}} &= H_R \pm (U_{HTM} + |E|) \\ &= (45.40 \pm 0.41738) \text{ HRC} \end{aligned}$$

# الفصل الرابع

## 7- الاستنتاجات

- 1 - تعتبر الصلادة من الخواص الهامة للمعدن لأنه يمكن تعيينها بسرعة وبذلك تساعد في التعرف على خواص المادة المعدنية .
- 2 - تم الاستنتاج بان الصلادة تعتمد على عدد كبير من المتغيرات المختلفة مثل القوة (الحمل) ودرجة الحرارة ومعدل التحميل والوقت.
- 3 - ان اختبار الصلادة واختبار الشد يقيس كل منهما مقاومة المعدن وقد تتوازي نتائج هذه الاختبارات مع بعضها البعض بشكل وثيق .
- 4 - هنالك اختبارات الصلادة يكون فيها الحمل اكبر من واحد كيلو غرام مثل صلادة (روكويل , برينل , فيكرز) وهنالك اختبارات صلادة اقل من واحد كيلو غرام مثل صلادة(كنوب الماس,هرم فيكرز الماسي) .
- 5 - تعتبر الصلادة اختبار ميكانيكي لخصائص المواد المستخدمة في التصميم الهندسي وتحليل الشكل الهندسي والهيكل وتطوير المواد.
- 6 - هنالك عدة طرق لقياس صلادة المعدن الا ان صلادة روكويل الاكثر اهمية والاكثر استخداما في العالم حيث تتميز بالدقة والبساطة .
- 7 - يتم استخدام الطريقة غير المباشرة في معايرة جهاز الصلادة بواسطة القوالب القياسية المعتمدة من المعاهد العالمية بعد معايرة مكونات جهاز الصلادة من الحمل , والتحقق من دورة الاختبار ومعايرة نظام قياس الاثر وكذلك التحقق من الناقر وهذه مجملها تسمى الطريقة المباشرة.
- 8 - هنالك عدة متغيرات لكل طريقة من طرق اختبار الصلادة من حيث الخطا والتكرارية واللاتاكدية وهنالك جداول سماحيات لهذه المتغيرات التي يجب ان تكون ضمنها لكي يكون جهاز الصلادة متاحا للاستخدام .
- 9 - تعتبر اللاتاكدية في القياس المصاحبة لنتيجة القياس هو مؤشر على الجودة وموثوقية نتيجة القياس .
- 10 - تم الاستنتاج بان صلادة برينل وفيكرز وكنوب فيها يتم قياس حجم المسار اما صلادة روكويل يقيس العمق .

## 8- التوصيات

- 1 - التطرق الى الطريقة المباشرة للصلادة وذلك من خلال معايرة والتحقق من مكونات جهاز الصلادة والتي هي
  - معايرة الحمل (القوة) .
  - التحقق من دورة الفحص .
  - معايرة نظام قياس الاثر .
  - التحقق من الناقر.
- 2- نشر الوعي الثقافي في مجال الصلادة والتوعية بأهميتها البالغة في تعزيز الصناعة للاستفادة من طرق اختبار الصلادة في التعرف على مدى قوة المعدن واستخدامها في تشكيل وتطوير المواد .
- 3- التوسع في عملية اللاتاكديية في قياس صلادة وتطبيق جدول الميزانية على نتائج اللاتاكديية لما لها تأثير على موثوقية الجودة .
- 4- اظهار النتائج بصورة عملية من خلال التطبيق العملي على كل طريقة للاختبارات الصلادة المذكورة سابقا وعمل جدول مقارنات في نتائج قيم القياس لمعرفة اي الطرق ادق وسهل ولايحتاج الى تعقيد في العمل .
- 5- تتعلق اهمية اختبار الصلادة بالعلاقة بين الصلادة وخصائص اخرى للمادة حيث يمكن دراسة مميزات الصلادة وكذلك مميزات اختبار الشد والاثبات بان الاختبارين يقيسان مقاومة المعدن وتتوازي نتائجهما مع البعض بشكل وثيق .



## 9- المراجع والمصادر

- BSI,2015,Metallic Materials-Rockwell Hardness Test-part 1 ..... -1  
Test Method –(BS EN ISO 6508-1 : 2015 )
- BSI,2015,Metallic Materials-Rockwell Hardness Test-part 2 ..... -2  
Verification and calibration of testing machines and Indenters  
(BS EN ISO 6508-2 : 2015)
- BSI,2014,Metallic Materials-Brinell Hardness Test – part 1 ..... -3  
Test Method (BS EN ISO 6506-1 : 2014)
- BSI,2014,Metallic Materials – Brinell Hardness Test – part 2 ..... -4  
Verification and calibration of Testing Machines  
(BS EN ISO 6506-2 : 2014 )
- BSI,2005,Metallic Materials –Vickers Hardness Test – part 1 ..... -5  
Test Method (BS EN ISO 6507-1 : 2005)
- BSI,2005,Metallic Materials-Vickers Hardness Test – part 2 ..... -6  
Verification and calibration of Testing Machines  
(BS EN ISO 6507-2 : 2005 )
- BSI,2005,Metallic Materials – Knoop Hardness Test –part 1 ..... -7  
Test Method (BS EN ISO 4545-1 : 2005 )
- EURAMET,2007,Gudelines on the Estimation of Uncertainty in ..... -8  
Hardness Measurement
- 9- قياس صلادة المعادن , المهندس علاء الخفاجي , 2014
- 10- طريقة قياس صلادة المعدن,الموسوعة العلمية للصخور والمعادن, 2009.
- Uncertainty Calculations, S.Kaan Gurel , 2019 .....-11
- 12- المواد المعدنية , اختبار صلادة برينل (SASO ISO 6506-1 : 2009)
- Calibration of Hardness, TUBITAK(UME) , July, 2016 ..... -13
- www.pic types of hardness .com ..... -14

شكرا جزىلا