

Pruebas de dureza en campo - Guía de aplicaciones

Llog, s.a. de c.v.
Departamento Técnico
Cuitlahuac No. 54 Aragón La Villa
México D.F. 07000
<http://www.llogsa.com>

Las pruebas de dureza con instrumentos portátiles para campo han avanzado enormemente en estos tiempos en los que la presión de los costos y los requisitos de calidad son más estrictos; éstas representan no solamente una ventaja de rapidez sino también económica con respecto de las pruebas de dureza tradicionales realizadas en equipos estacionarias en los procesos de producción modernos. Las posibilidades de aplicación son extensas esto habla de aplicaciones en componentes de gran tamaño así como componentes pequeños en los cuales tenemos el problema del acceso.

Hoy día existen tres diferentes métodos físicos que son generalmente utilizados en campo y se conocen como: **El método estático UCI (Impedancia Ultrasónica de Contacto)**, **El método de rebote dinámico**, y **por último el método óptico TIV (vista a través del penetrador)**. La decisión de qué método debe ser utilizado depende de los requerimientos de la prueba.

Esta guía explica los principios básicos de estos métodos y ofrece una comparación entre ellos, utilizando ejemplos de campo, como: la prueba de dureza en soldadura en la zona afectada por calor (HAZ). Además, trata los temas que son considerados factores de influencia en los valores de dureza medidos, tales como preparación superficial en las áreas de medición o el volumen de las piezas que se probarán así como su espesor.



¿Qué es la dureza?

Con respecto a los materiales metálicos, la dureza ha sido y sigue siendo un tema de mucha discusión entre metalúrgicos, ingenieros y científicos en materiales. No es nada extraordinario por tanto que exista una amplia gama de definiciones para el término de dureza. Muchos atributos como: la resistencia al desgaste, propiedades de deformación, resistencia a la tensión así como el módulo de elasticidad son siempre relacionados con la dureza.

Una descripción exacta del método debe ser hecha si uno desea comparar las lecturas obtenidas con cualquier otro valor de dureza. Sin embargo si la lectura depende del método, entonces la conclusión hasta cierto punto puede ser claramente, que la dureza no es una cantidad física sino que debe ser un parámetro.

La prueba de dureza es casi una prueba no destructiva y en varios casos es utilizada para determinar parámetros y describir los materiales. Por ejemplo, los valores de la dureza pueden proporcionar fácilmente datos de las propiedades de resistencia de un material.

El término dureza se entiende generalmente como la resistencia de un material contra la penetración de un cuerpo fabricado de un material más fuerte.

Por lo tanto la dureza no es una cantidad fundamental de un material pero siempre es una respuesta del material a una cierta carga o método de prueba. Un valor de dureza es calculado en base a la respuesta del material a esta carga.

Dependiendo del método de prueba, otros valores numéricos son entonces determinados los cuales son caracterizados por: la forma y el material del penetrador, el tipo y el tamaño de la carga de prueba. Los diferentes métodos de prueba pueden dividirse en dos grupos:

a) Método de prueba estática

En este método de prueba, la carga se aplica total o parcialmente estática. Después de quitar la carga de prueba, el valor de dureza se define como el cociente de la carga de prueba y la superficie o el área proyectada de la huella permanente de la prueba de dureza en escalas (Brinell, Vickers, o Knoop). En pruebas de dureza en escala Rockwell, la dureza se determina por medio de la profundidad de penetración permanente de un cuerpo debido a la carga de prueba.



b) Método de prueba dinámico

En comparación con el método estático, en este caso la carga se aplica en el modo de impacto, y la dureza se determina en base a su huella "pérdida de energía". Esta práctica es normal – y a menudo necesaria – indicar los valores de dureza usados de otra escala que la usada para medirlos. Con respecto a esto se debe considerar siempre lo que sigue:

- No hay relaciones generalmente aplicables para la conversión de los valores de la dureza a partir de uno u otro.
- Las conversiones son posibles siempre que la relación de la conversión haya sido determinada por medidas estáticamente.
- Las relaciones de conversión de estándares nacionales e internacionales se aplican a ciertos grupos de materiales a un grado limitado

Las varias relaciones de conversión, según lo especificado en estándares DIN 50 150 y ASTM E 140 se almacenan y se pueden seleccionar en los instrumentos de la serie de MICRODUR (MIC10 y MIC 20) y en los probadores de dureza de rebote (DynaPOCKET, DynaMIC, MIC 20), así como en el probador óptico de dureza TIV que GE Inspection Technologies ofrece.

¿Por qué probar la dureza?

Dentro de las plantas de producción y de fabricación, la dureza se prueba principalmente por dos razones: en primer lugar, determinar las nuevas características de los materiales, y en segundo lugar, con el propósito de asegurar la calidad para satisfacer las especificaciones técnicas requeridas.

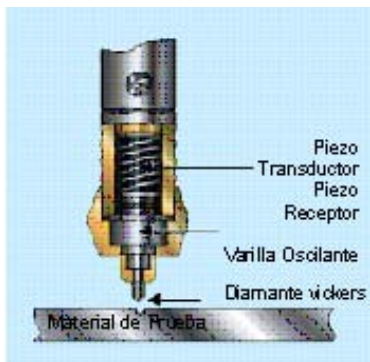
¿Prueba de dureza en campo?

Los transductores convencionales de dureza, Rockwell, Brinell, o Vickers requieren siempre que la pieza de prueba se traiga al probador. Debido a que esto no siempre es posible por razones prácticas y, sobre todo, por razones de geometría, los transductores de dureza pequeños y portátiles han sido desarrollados para permitir la prueba de los componentes en sitio.

El método UCI - ASTM A1038

Como en las pruebas de dureza Vickers o Brinell, la pregunta es en cuanto al tamaño de la huella de prueba dejada en el material por un diamante Vicker después de aplicar una carga de prueba fija también se presenta en la prueba de dureza Vicker según el método de Impedancia Ultrasónica de contacto (UCI como abreviación).

Sin embargo, las diagonales de la huella de prueba no se determinan óptimamente para el valor de dureza como de costumbre, pero el área de la huella es detectada electrónicamente midiendo el cambio de una frecuencia ultrasónica. El método UCI se puede ilustrar con un experimento pequeño imaginario. Una punta de prueba del UCI consiste esencialmente en un diamante Vickers unido al extremo de una barra de metal (fig. 5).



Esta barra es excitada en la oscilación longitudinal por los transductores piezoeléctricos. Imagínese en lugar de la barra de metal (le referimos como varilla de oscilación) un resorte espiral grande llevado a cabo en un extremo y la oscilación en una frecuencia resonante de 70 Khz. en el extremo libre. En la misma tapa del resorte, hay una placa de contacto, se llama diamante Vickers. El material de prueba con el cual entra en contacto el diamante Vickers, puede también ser imaginado como si fuera un sistema de resortes espirales más pequeños colocados verticalmente a la superficie un enlace atómico, dos átomos intercalados vía un "resorte". Si solamente uno de estos "resortes atómicos" es tocado por el diamante Vickers con el material muy duro en el cual el diamante pueda solamente penetrar

ligeramente y producir consecutivamente una pequeña huella – luego un resorte adicional es unido a un resorte espiral largo. Esto produce un cambio en la frecuencia resonante.

Este cambio de frecuencia llegará a ser mayor cuando se tocan los “resortes” adicionales, esto significa si el diamante penetra más profundo en el material de dureza mediano y la huella de prueba llega a ser más grande. Analógicamente, el cambio de frecuencia más grande es producido en materiales de prueba suaves; el diamante penetra más profundo en el material dejando una huella más grande.

El cambio de frecuencia es proporcional al tamaño de la huella de prueba producido por el diamante Vickers. Por lo tanto las diagonales de la huella de prueba no son óptimamente determinadas para el valor de dureza, como se hace usualmente, sin embargo el área de la huella es detectada electrónicamente midiendo el cambio de frecuencia tomando solo un par de segundos.

Este es todo el secreto de la prueba de dureza UCI: el cambio de frecuencia es proporcional al tamaño de la huella de prueba Vickers. La siguiente ecuación describe la relación básica en comparación a la definición del valor de dureza Vickers.

$$\Delta f = f(E_{\text{eff}}, A); \quad HV = F/A$$

Δf	= Variación de frecuencia
A	= Área o huella
E_{eff}	= Eficiencia modulo de Young's
HV	= Valor de dureza vickers
F	= Pueba de carga

Naturalmente, tal cambio de frecuencia depende asimismo de la constante del resorte de nuestros pequeños “resortes atómicos”. Cuando aplica al material que se probará, esto se conoce como módulo de elasticidad o módulo de Young. Después de completar la calibración, el método UCI puede ser usado para todos los materiales mostrando este módulo de elasticidad. Estas probetas son calibradas de fábrica en aleación baja o aceros no aleados, sin embargo, otros instrumentos modernos de prueba también pueden ser calibrados rápidamente a otros materiales, tales como titanio o cobre, en el lugar de prueba.

Selección del sensor UCI conveniente

Para realizar una prueba de acuerdo al principio UCI, un sensor que contenga una barra con un diamante Vickers unido al extremo del contacto se oscila por transductores piezoeléctricos de cerámica en una frecuencia ultrasónica

Un resorte aplica la carga y la frecuencia de la barra cambiante en proporción con el área de contacto de la huella producida por el diamante Vickers. Por lo tanto, el valor de la dureza no es óptimamente determinada por las diagonales de la huella, como normalmente podría ser el caso con un probador de dureza que mide estáticamente, pero por una medida electrónica de cambio de frecuencia dentro de unos segundos.

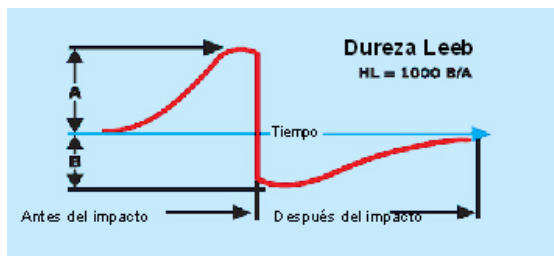


El Instrumento constantemente monitorea la frecuencia, calcula el valor, e instantáneamente muestra el valor de dureza. El método UCI es el más capacitado para pruebas con materiales homogéneos. Seis cargas de prueba son empleadas por varios modelos de transductores UCI.

El método de rebote - ASTM A956

Aun cuando los transductores de dureza operan de acuerdo al método de Leeb o de rebote, el tamaño de la huella de prueba generada depende de la dureza del material. Sin embargo, en este la pérdida de energía de un supuesto impacto de cuerpo es indirectamente medido. La figura 8 ilustra el principio físico de la prueba de dureza por rebote.

Una masa, en este caso el cuerpo del impacto con una bola de carburo de tungsteno unida a su extremidad, es rebotada contra la superficie de la prueba a una velocidad definida por la fuerza del resorte. El impacto crea una deformación plástica de la superficie debido a que el cuerpo del impacto pierde parte de su velocidad original, es decir cuanto más suave es el material, mayor es la pérdida en Velocidad. La velocidad antes y después el impacto es medido en un modo sin contacto. Esto es hecho por un pequeño imán permanente dentro del cuerpo de impacto (Fig. 9) generando una inducción de voltaje durante el paso a través de la bobina, este voltaje siendo proporcional a la velocidad (referir a la Fig. 10)



El valor de dureza de Leeb HL, nombrado después del inventor del método de rebote D. Leeb, es calculado a partir del radio del impacto y de las velocidades de rebote. Leeb definió el valor de la dureza como sigue:

Con respecto a este método de prueba de dureza relativamente joven, la pregunta sin embargo se presenta en cuanto a la escala Leeb es aceptada o aplicada por el usuario. Hasta este momento, se ha utilizado solamente en pocos casos para especificaciones y certificados de prueba. La velocidad medida ha sido sobre todo convertida en una de las escalas de dureza más convencionales (HV, HB, HS, HRB, HRC, o N/mm²). Es solamente esta posibilidad de la conversión que aumentó la aceptación de transductores de la dureza de rebote en campo.

Si uno desea convertir un valor medido de la dureza en otra escala (posiblemente en otro resultado de un método de dureza completamente diferente), no hay ninguna fórmula matemática para este propósito. Las llamadas tablas de conversión son por lo tanto, empíricamente determinadas para llevar a cabo un número de experimentos. Al hacer esto, la dureza de cierto material se mide usando los diferentes métodos de prueba, la relación entre las escalas individuales es determinado (Fig. 10). Una conversión correcta y confiable requiere el uso de una tabla de conversión producida desde los resultados de numerosas medidas de dureza utilizando ambas escalas y llevado a cabo en el material de interés correspondiente.

La causa principal para que la necesidad tenga diversos grupos de materiales es la influencia de las propiedades elásticas (módulo de Young) en la prueba de la dureza usando el método de rebote. Dos materiales teniendo igual "dureza verdadera" indica, bajo ciertas condiciones, diferentes valores de dureza Leeb debido a diferentes valores en el módulo de Young. Esa es la razón por la cual no existe relación entre escalas universales de conversión y las escalas de dureza de rebote HL. De manera que estos hechos sean reales, varios grupos de materiales, por el cual las tablas de conversión correspondientes se ocultan, pueden ser seleccionados transductores modernos en dureza del rebote (referir a la tabla 2).

Selección de un dispositivo de impacto conveniente

Las variantes del probador de la dureza de rebote incluyen los instrumentos MIC 20 TFT y DynaMIC / DynaMIC DL con tres versiones del dispositivo del impacto, y el DynaPOCKET compacto. La operación de estos instrumentos se basa en el método de Leeb.



Para aplicar este principio, un dispositivo de impacto utiliza un resorte para mover un cuerpo del impacto a través de un tubo guía hacia la pieza de prueba. Mientras se dirige a la pieza de prueba, un imán contenido dentro de un cuerpo de impacto genera una señal en la bobina enrollada en el tubo guía. Después del impacto, este rebota de la superficie induciendo una segunda señal dentro de la bobina. El instrumento calcula los valores de dureza usando el cociente del voltajes y analiza sus fases para compensar automáticamente los cambios en la orientación.

Los transductores de la dureza de Krautkramer MIC 20, dinámico, y DynaPOCKET son los únicos transductores de la dureza de rebote para tener esta característica patentada del proceso de señal permitiendo una corrección automática de la dirección.

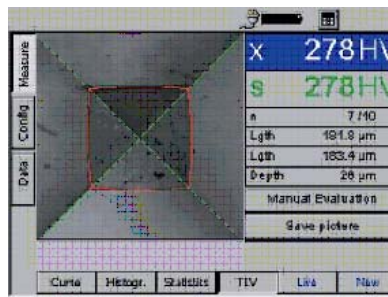
La pregunta es cual instrumento y cual dispositivo de impacto es conveniente para el uso correspondiente depende de la energía requerida de impacto y del tipo o tamaño del penetrador. Además de DynaPOCKET, con el dispositivo de impacto integrado D, hay una opción entre tres dispositivos de impacto: Dyna D, Dyna E, y Dyna G para MIC20 y DynaMIC (referencia tabla 3).

El método óptico por visión del penetrador (TIV)

El TIV es un instrumento de prueba portátil para la dureza óptica de acuerdo a la carga de prueba según Vickers (Fig. 11). Un sistema óptico incluyendo una cámara CCD permite ver “por el diamante” (por visión del penetrador). Por primera vez este nuevo método permite observar directamente el proceso del diamante Vickers que penetra en el material de la prueba.



La técnica TIV puede ser utilizada para llevar a cabo pruebas de dureza sin ninguna calibración adicional sobre diferentes materiales gracias al método óptico de medición. Por otra parte, la aplicación estática de la carga de la prueba también hace posible llevar a cabo mediciones sobre objetos delgados y pequeños, así como recubrimientos. Tan pronto como se alcance la carga de la prueba, las longitudes diagonales de la penetración se determinan y se convierten en un valor de la dureza según la definición de Vickers. Esta evaluación puede hacerse manual y automáticamente. El transductor de la dureza TIV contiene las tablas almacenadas según DIN50150 y ASTM E 140 que pueden ser seleccionadas para convertir el valor de dureza medido en otras escalas.



La imagen de la penetración o diamante de Vickers en la pantalla no solamente permite una verificación inmediata y valoración de la calidad del valor medido sino también permite la comprobación directa en cuanto a la condición del penetrador (diamante de Vickers).

TIV puede ser utilizado para abrir nuevos campos de aplicación para pruebas móviles de dureza en el cual los instrumentos convencionales no podrían producir ningún resultado confiable, debido al método de prueba de dureza óptico. “Por visión de penetración” permite una prueba de dureza:

- independientemente de la dirección de medida,
- en diferentes materiales sin ninguna calibración (independiente del material),
- en componentes finos y ligeros,
- en los materiales elásticos.

TIV es el primer probador portátil de dureza que no determina el tamaño de la penetración del diamante Vickers y por consecuencia la dureza del material indirecta y directamente: “por visión de penetración” lo cual significa que se puede ver simultáneamente la penetración del diamante Vickers “crece” en la superficie del objeto de prueba mientras que se está aplicando la carga de prueba. Esto es asegurado por una combinación de un lente óptico especial incluyendo una cámara CCD para digitalizar la imagen de la penetración. Tan pronto se logre la carga de prueba, la imagen de la penetración o el diamante se almacena en el instrumento y es evaluado automáticamente.

Un software especial se utiliza en un primer paso para determinar los bordes de la penetración. Los puntos de intersección con los bordes del diamante de Vickers (ángulo superior 136°) mostrados en la pantalla son finalmente tomados como una base para determinar las longitudes de las dos diagonales. El promedio de las dos diagonales es entonces utilizado para calcular el valor de la dureza.

La definición de Vickers. La evaluación automática no es solamente comparar rápido el uso de una medición convencional de micro-alcance pero los efectos subjetivos debido al usuario también se excluyen cuando llegan a ser sensibles, especialmente en la evaluación manual de la penetración Vickers.



La figura 12 muestra el resultado de una prueba de dureza usando el método por visión del penetrador. La verificación óptica de la forma de penetración es el único método para permitir que las conclusiones confiables sean dibujadas con respecto a la calidad de medición. Una mirada en la pantalla resulta suficiente si la medición ha sido influenciada por la calidad superficial o bastante mejor para reconocer si la medida ha sido influenciado por la calidad superficial, la micro-estructura del material o por otros efectos.

Además de la evaluación automática, el instrumento también hace posible la evaluación manual de la penetración del Vickers. Los bordes de la penetración son ajustados manualmente en un incremento de la imagen en la pantalla. La longitud de las diagonales es automáticamente renovada, el correspondiente valor de dureza es mostrado.

La pantalla del diamante Vickers presenta la posibilidad adicional de verificar directamente la condición del penetrador. Algunos defectos en el penetrador, tales como grietas de borde son identificados al instante, además evita alguna medición incorrecta desde un principio.

Los resultados de una serie de pruebas pueden ser gráficamente representados como una curva o hasta en forma tabular, incluyendo datos estadísticos (ver Figuras 13 y 14). Los datos necesarios tales como el promedio, valor sencillo, o dato estadístico son mostrados o se ponen al día durante la medición. Las ventajas esenciales del método por visión del penetrador son logradas por la aplicación estática de la carga de prueba y en directo así como también por la determinación automática de las longitudes de las diagonales de la penetración hecha por el diamante Vickers, las cuales son:

- a) El TIV permite medidas de dureza móvil y en sitio sobre diferentes materiales sin tener que realizar ajustes y procedimientos de calibración adicionales (ver Figura 15)
- b) Debido a la aplicación de la carga de prueba estática, TIV también permite medidas sobre partes delgadas y pequeñas, tales como bobinas, hojas de metal, etc.
- c) La imagen en “vivo” de la penetración sobre la pantalla permite análisis inmediatos de calidad de medición.
- d) El TIV cuenta con una evaluación automática de la penetración Vickers, las longitudes diagonales están determinadas directa y automáticamente.
- e) La demostración de los bordes del diamante sobre la pantalla permite que la condición de chequeo en el penetrador se lleve a cabo.

El TIV alcanza una larga variedad de nuevos campos de aplicación los cuales antes no tenían acceso a las pruebas de dureza móvil. Las pruebas de la dureza no solo son independientes de posiciones y direcciones de prueba sino ahora también de los objetos de materiales de prueba y masa o geometría.

Selección del sensor más conveniente

Dos diferentes transductores manuales, teniendo cargas de prueba de 10 N/1 kgf y 50 N/5 kgf respectivamente, están disponibles para el probador óptico de la dureza TIV. El rango de medición de los dos transductores TIV esencialmente es limitado por el sistema óptico usado. El tamaño del sensor CCD solamente permite un cierto tamaño máximo de la penetración de modo que un valor mínimo del rango de medición es predefinido en este caso por la óptica.



En el caso de valores de dureza más grandes, con pruebas de penetración mas pequeñas, la resolución de la cámara CCD limita el rango de medición. Aunque en las mediciones confiables y reproducibles se han llevado acabo sobre materiales cerámicos dentro del rango de dureza de 1500 HV utilizando el sensor TIV105; un límite superior de 1000 HV se especifica generalmente porque un efecto claro de la

calidad superficial del objeto de la prueba y del uso de la carga de la prueba en el resultado de la medida debe esperar en valores más altos de dureza.

Los diferentes métodos en el campo

Seleccionando el método de prueba

El método UCI es recomendable para pruebas a materiales de grano fino teniendo cualquier tamaño y figura. Se utiliza especialmente donde las propiedades de material son para determinar las tolerancias, para determinar el proceso de endurecimiento forjado en imitaciones de caída.

El método del TIV casi es independiente de probar el material y la geometría. Por lo tanto, puede ser utilizado en donde sea, donde hasta ahora han fallado las pruebas convencionales portátiles de dureza: diferentes materiales sin la calibración, piezas delgadas y ligeras, hojas de metal y bobinas, etc.

La prueba de dureza de rebote es principalmente llevado a cabo sobre materiales grandes, de grano grueso, forjas, todo tipo de materiales moldeados porque la extremidad esférica del carburo de tungsteno del dispositivo del impacto produce una penetración más grande que el diamante de Vickers y por lo tanto revela las características de la estructura del molde.

Por otra parte, las pruebas de penetración relativamente pequeñas de los transductores UCI permiten pruebas de dureza sobre soldadura y especialmente en el área crítica de la zona afectada por el calor.

Un gran número de transductores UCI y dispositivos de impacto de rebote, al tener diferentes pruebas de carga o diámetros del penetrador, permite una aplicación orientada de un método y un transductor / dispositivo de impacto conveniente. Lo que sigue se aplica al uso de los dispositivos de impacto disponibles para DynaMIC y MIC 20: además del Dyna D, que es conveniente para más campos de aplicación, se tiene en consideración al Dyna G con una energía de impacto el cual es nueve veces más alto y con un penetrador con punta esférica de carburo de tungsteno, puede ser usado, especialmente sobre superficies no homogéneas, sobre materiales moldeados y forjados.



Los materiales duros (650HV/56HRC) ocasionan que la punta esférica de carburo de tungsteno se desgaste más rápido, se recomienda el dispositivo de impacto Dyna E que cuenta en su extremidad con un penetrador con diseño de diamante.

Importancia del tamaño del penetrador

En general, entre más grande sea el área de la penetración más consistencia en los resultados de prueba. La variación en micro estructuras de materiales no homogéneos o en materiales de grano grueso

son excluidos para que el valor de dureza consistente pueda ser logrado. Un área de penetración más grande, también establece menos demanda sobre la superficie terminada y requiere menos preparación de superficie.

En comparación, los resultados de las áreas de penetración ablandados por varios dispositivos de impacto son mucho más grandes que esos creados por transductores UCI o TIV. La prueba de rebote es recomendada cuando se examinan grandes fundiciones ó forjas. Examinando áreas pequeñas de materiales homogéneos que tienen superficie dura requiere de la penetración superficial producido por el UCI o transductores TIV.

Relación entre profundidad de penetración y el mínimo espesor para capas

Para la prueba de dureza Vickers, el espesor o la profundidad de la capa endurecida, por ejemplo cromo en los rollos de acero, debe ser bastante substancial para soportar la penetración. Como regla, el espesor debe ser un mínimo de 10 veces la profundidad de penetración.

Fácilmente se puede calcular la profundidad de penetración del diamante Vickers si conoce la fuerza del transductor y aproximadamente la dureza para usar la ecuación 3. Esta formula esta basada en la geometría del diamante Vickers. Por lo tanto solamente aplica para la prueba de dureza Vickers. Recuerda: 10N / 1kgf.

Pruebas de dureza en soldaduras (HAZ)

Con las penetraciones pequeñas de la prueba hechas por los transductores de Microdur-UCI, es posible por ejemplo determinar la dureza de un componente soldado, sobretodo en el área crítica de la soldadura, zona afectada por calor (HAZ). El resultado de la prueba de la dureza proporciona la información sobre la soldadura apropiada de un material. Por ejemplo, si hay un contenido excesivo de **martensite** en la zona de calor afectada (HAZ), una zona muy dura será formada allí causando grietas.



Naturalmente, sola métodos de prueba de dureza pueden ser usados confiablemente para examinar el área crítica de la soldadura, y la (HAZ), con penetraciones las cuales no son muy grandes. Solamente las cargas bajas de la prueba (HV5 o HV10) producen una penetración Vickers la cual todavía está situada en el área crítica del HAZ. HV30, HB, y la verificación de penetraciones de la prueba de dureza

de rebote así como medidas usando el martillo van más allá de esta zona. Solamente un valor medio sobre el área de la soldadura es determinada en estos casos. Esto significa que los valores de dureza son bajos debido al hecho que las áreas adyacentes son también detectadas con dureza baja. Hoy en día los martillos pueden ser encontrados en pruebas de soldadura. Es evidente que los resultados del valor de dureza disminuyen de estas pruebas de penetración, los cuales, para el operador significa, que anteriormente el tratamiento térmico del HAZ ya no será necesario. Si esto es una decisión sabia, depende de la opinión del lector.

Requerimientos de la masa de la pieza de prueba

Se considera a la masa de la pieza de prueba. Aunque los criterios de la masa por el método de Leeb son altos a los del método UCI, los resultados de ambos métodos pueden ser influenciados por la masa y el espesor de la pieza de prueba.

El método de Leeb crea una fuerza grande de corta duración durante el impacto. Materiales delgados y ligeros producen valores erróneos. Una solución para estas pruebas de componentes pequeños que tienen una geometría simple es una ayuda del trabajo a maquina por el contorno de la superficie posterior de la pieza. La ayuda refuerza la pieza para hacerla rígida y estable. Materiales extremadamente delgados pueden también requerir del uso de una película leve de lubricante o pasta para juntar los objetos de prueba con el soporte.

El método UCI se basa en medir un cambio de frecuencia. Objetos de prueba pesando menos de 0.3 kg, pueden ir en una misma oscilación causando lecturas erróneas. La técnica de placa de soporte y acoplante descrita anteriormente son un método pequeño efectivo para evadir las oscilaciones con componentes pequeños. Si el uso de una placa de soporte no es viable, seleccionar una probeta con una carga de prueba baja puede reducir los efectos de una misma oscilación.

Requerimientos del espesor de la pared

El espesor de pared en tubos, líneas de pipa o válvulas es crítico para pruebas de durezas móviles, especialmente por el método de rebote. Por ejemplo, una pared delgada comenzará a oscilar como la piel de un tambor cuando es golpeada por el cuerpo del impacto en una prueba de rebote. Además de la masa, principalmente el espesor de pared que también hace una parte importante cuando se elige los métodos de la prueba. Puede influenciar el valor de la dureza aun cuando el objeto de prueba es sólido y pesa algunas toneladas.

A pesar de la masa pequeña del dispositivo de impacto Dyna D y el bajo impacto de energía, hay una fuerza grande de cerca de 900 N (90 kgf) producidos al momento del impacto (comparado a ese, la fuerza máxima de una probeta UCI es de 98N/10kgf). Esto es suficiente para producir vibraciones con un espesor de pared inferior a los 20 mm. Esto puede causar valores incorrectos de dureza y cantidades grandes de dispersión. En estos casos, el método UCI se debe preferir al método de rebote.

La figura 25 muestra el valor de dureza medida por una prueba estándar Vickers con una fuerza de 10kgf (98 N) en relación a esas medidas por el dispositivo de impacto Dyna D.

Para un espesor de pared más allá de 20 mm, ambas pruebas muestran los mismos resultados. Debajo de 20 mm, el valor de Vickers medido usando el método de prueba de rebote es más bajo que el valor verdadero dando por resultado una desviación de la línea horizontal.

Calidad de superficie

Todos los métodos de prueba de dureza requieren superficies lisas libres de capas de óxido, pintura, lubricantes, aceite, capa de plástico debido a la protección de corrosión, o recubrimientos de metal para mejor conductividad. La profundidad de penetración deberá ser grande en comparación a la superficie áspera.

Si es necesaria la preparación de superficie, la atención no deberá alterar la dureza de la superficie por sobrecalentar o forzar la dureza. Más resultados prácticos pueden ser logrados usando un manejo de baterías, de alta velocidad (>12000 rpm), un pulidor sostenido de mano, el MIC 1060. Use el pulidor 180 para obtener una superficie lisa. Esta toma apenas 10 segundos.

El manejo, alineamiento y arreglo

Mover el transductor del MIC a una velocidad lenta y constante. El transductor debe estar rectangular con respecto a la superficie. La máxima desviación angular desde el eje recto debe ser menor de 5 grados. Evitar el dar vuelta, no perforar. No debe haber fuerzas laterales en el diamante. El dispositivo de impacto de rebote debe estar a 1 o 2 grados perpendicular a la superficie. Para probar los accesorios en la forma de anillo de soporte para el dispositivo de impacto y zapatas del transductor por el transductor UCI aseguran la alineación apropiada.

Los anillos de soporte estándar proporcionados con cada Dyna D y Dyna E se utilizan para probar radios convexos o cóncavos más grandes de 30 mm. El diámetro más grande del anillo de soporte estándar del Dyna G requiere que el radio sea mayor de 50 mm. Los anillos de soporte para dispositivos de impacto del Dyna D y Dyna E están disponibles para cubrir el rango de $r = 10-30$ mm para pruebas del ID u OD de piezas cilíndricas y esféricas (véase Dyna 41 y Dyna 42). Los anillos de soporte personalizados son hechos bajo petición.

Para transductores estándares de longitud UCI, zapatas del MIC 270 y MIC 271 son ofrecidas con accesorios. La zapata del MIC-271 se recomienda para probar partes cilíndricas con radios desde 3 a 75 mm. La zapata plana del transductor es diseñada para probar superficies planas pero son también útiles en los radios de prueba mayores de 75 mm.

Coloca el transductor del TIV perpendicular a la pieza de prueba. Están disponibles uniones de transductores para superficies planas y curvas. Aplicar la carga a una velocidad lenta y constante. Sobre la pantalla puedes observar el "crecimiento" de la penetración. La penetración es evaluada automáticamente cuando la carga es aplicada.

Calibración

Los módulos de elasticidad (o módulo de Young) es una propiedad del material que puede influenciar en el instrumento de calibración. La calibración apropiada se requiere para asegurar la exactitud de los resultados de la prueba.

Para calibrar el DynaMIC o el MIC 20 por prueba de dureza de rebote, el operador primero debe seleccionar uno de los nueve materiales del grupo. Al seleccionar el material apropiado requiere de una calibración intensa, y el tipo de dispositivo del impacto conectado al instrumento, con esto se determinan las conversiones disponibles. Una calibración más precisa para un material en específico, es posible siempre y cuando, las muestras de dureza sean conocidas para calibrar el instrumento. Para realizar la calibración, varias lecturas son tomadas como muestras y el promedio mostrado se ajusta a la dureza actual. Esto permite alcanzar la calibración precisa con un valor calibrado que pueda ser contrarrestado para esos materiales específicos que pueden ser usados para recalibrar el instrumento.

Los transductores UCI compatibles con las series MIC 10 y MIC 20 son calibrados sobre bloques de referencia de acero teniendo unos módulos de elasticidad o módulos Young de 210,000 Mpa. Debido a que los aceros no aleados o poco aleados tienen un módulo de Young similar, los resultados exactos se obtienen con la calibración estándar. En algunos casos, la diferencia en los módulos de Young de aceros con aleación media y aleación alta es tan pequeña que el error creado cae dentro de la tolerancia permitida de la parte.

Sin embargo, el módulo de Young para materiales no ferrosos requiere calibraciones especiales. Varias lecturas son tomadas sobre una pieza muestra de prueba de dureza conocida para llevar a cabo la calibración. El promedio mostrado es entonces ajustado a la dureza actual. Esto calibra el instrumento y también establece un valor compensado de la calibración para ese material específico que se pueda utilizar para volver a calibrar el instrumento.

Los valores compensados de la calibración se refieren desde un valor ajuste-fabrica para aceros. Note por favor que puede ser cualquier valor positivo o negativo.

Verificando funcionamiento del instrumento

La interpretación de una prueba de dureza es verificar periódicamente usando bloques de referencia estandarizados. El funcionamiento perfecto de los transductores de dureza de rebote (DynaPOCKET, DynaMIC y MIC 20) se basa en 5 solas medidas sobre un bloque de referencia certificado de dureza Leeb. El promedio de esas 5 medidas deberán estar dentro de ± 5 HL del valor del bloque de referencia certificado. El bloque de dureza de referencia MICD62 tiene un valor nominal cerca de 765 HL. Si estos valores son convertidos en un valor HRC, el resultado es un valor de dureza de 55 HRC con una tolerancia de ± 0.5 HRC.

La exactitud de los transductores de dureza UCI y TIV (MIC 10, MIC 20 y TIV) es basada en las medidas usando los bloques de referencia de dureza Vickers. El promedio de 5 lecturas deberá estar dentro del ± 3.6 % del valor certificado del bloque de la referencia al usar un soporte rígido / estable o sostenedor tal como el soporte de prueba MIC222. Al probar a pulso, un mínimo de 10 lecturas se debe hacer un promedio con la tolerancia que es \pm el 5%. La tolerancia de los diferentes principios de prueba es resumida en la tabla siguiente:

Principio	Tolerancias en la medición
Rebote	± 5 HL de la desviación del promedio del valor del bloque de la referencia de la dureza con 3 a 5 lecturas.
UCI	$\pm 3.6\%$ de la desviación del promedio del valor del bloque de la referencia de la dureza con 3 a 5 lecturas usando el soporte de prueba MIC 222-A. Desviaciones más grandes son posibles con medidas a pulso.
TIV	± 3.6 % de la desviación del promedio del valor del bloque de la referencia de la dureza con 3 a 5 lecturas.

Preguntas Fundamentales para el usuario.

1. ¿Que quiere medir?

	DynaPOCKET	DynaMIC	MIC 10	MIC 20	TIV
Capas	No	No	Si	Si	Si
Superficies endurecidas	No	No	Si	Si	Si
Soldadura (HAZ)	No	No	Si	Si	Si
Diferentes materiales *(con calibración)	Si*	Si*	Si*	Si*	Si
Capas / forjas	Si	Si	En parte	Si	En parte
Tubos	En parte	En parte	Si	Si	En parte
Placas de metal, bobinas	No	No	En parte	En parte	Si

2. ¿Que tipo de material es?

	DynaPOCKET	DynaMIC	MIC 10	MIC 20	TIV
Acero (aleaciones, inoxidables,...)	Si	Si	Si	Si	Si
Otros metales (Al, Cu, ...)	Si	Si	Si	Si	Si
Acero moldeado	Si	Si	En parte	Si	En parte
Aluminio moldeado	En parte	Si	En parte	Si	En parte
Cerámicos	No	No	En parte	En parte	Si
Vidrio	No	No	No	No	Si
Plásticos	En parte	En parte	En parte	En parte	Si

3. ¿Hay algún otro requerimiento?

	DynaPOCKET	DynaMIC	MIC 10	MIC 20	TIV
Memoria de datos / interfase PC	No	Solamente DL	Solamente DL	Si	Si
Evaluación estadística	No	Si	Si	Si	Si
Conversiones de escala	Si	Si	Si	Si	Si
No direccional (*excepto transductor tipo motor)	Si	Si	Si*	Si*	Si
Espesor de pared < 20mm (*con acoplante)	En parte*	En parte*	En parte	En parte	Si
Peso < 2 kg (*con acoplante)	En parte*	En parte*	En parte	En parte	Si