

# Informativo Técnico

## Medição de Dureza – soluções portáteis

Em períodos de pressão por redução de custos e aumento da qualidade, os equipamentos portáteis de medição de dureza resultam não apenas em uma resposta mais rápida, mas também uma solução econômica que complementa os testes efetuados em bancada.

Dentre as várias aplicações possíveis, os equipamentos portáteis são utilizados para medir durezas em peças muito grandes, cujo deslocamento ao laboratório seria difícil, ou até mesmo impossível; em pequenas peças, onde o acesso ao ponto a ser testado é muito restrito, e na linha de produção, quando há a necessidade de inspecionar 100% das peças.

Existem alguns métodos físicos distintos utilizados por estes equipamentos portáteis, sendo três deles particularmente reconhecidos no campo: método estático UCI, método dinâmico de rebote e método óptico TIV. A decisão de qual o melhor método a ser utilizado dependerá da peça a ser testada.

O objetivo deste informativo técnico é apresentar o princípio básico de cada um destes métodos, informando suas principais aplicações e parâmetros que podem variar na escolha do melhor equipamento e sonda.

### ➤ O que é dureza?

Existe um amplo leque de definições envolvendo o termo dureza, como resistência ao desgaste, comportamento durante deformação, resistência à tração e módulo de elasticidade. Uma descrição exata do método precisa ser feita caso se deseje comparar os resultados obtidos com outro, mas se a leitura depende do método utilizado, pode-se concluir que a dureza não é uma quantidade física, e sim, um parâmetro. Dureza é uma resposta do material a uma certa carga e método de teste, sendo calculada com base na resposta do material testado à esta carga.

Os métodos de teste podem ser divididos grosseiramente em dois grupos:

- método de teste estático, no qual a carga é aplicada estaticamente, ou quase estaticamente. Após remover a carga de teste, o valor da dureza é definido como uma razão entre a carga aplicada e a área da indentação permanente resultante. Ex: Brinell e Vickers. Nos testes de Rockwell, a dureza é determinada pela profundidade da penetração permanente resultante da carga aplicada.

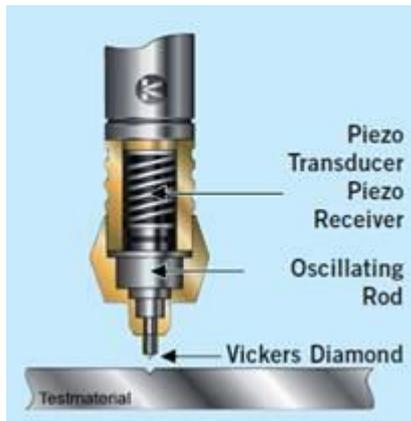
- método de teste dinâmico, onde a carga é aplicada com um impacto, e a dureza determinada de acordo com a perda de energia deste torpedo.

Muitas vezes é necessário indicar o valor da dureza medida em outra escala diferente da que foi utilizada em sua medição. Vale lembrar que não há uma fórmula geral para converter as medidas de dureza de um método em outro. Estas conversões são possíveis

sempre que estas relações forem determinadas previamente por medidas comparativas, criando-se tabelas de conversões entre as escalas. As relações de conversão especificadas nos padrões DIN 50 150 e ASTM E 140 estão armazenadas nos equipamentos de medição de dureza da GE, podendo ser selecionada a unidade de medição desejada nestes instrumentos.

### ➤ Método UCI

Método estático UCI (Ultrasonic Contact Impedance), padronizado de acordo com o ASTM A 1038.

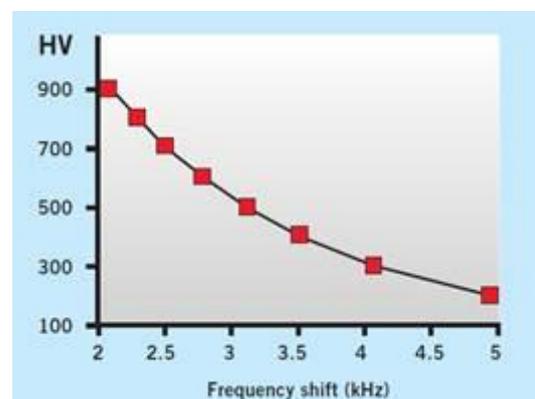


Como ocorre nos testes Vickers ou Brinell, o método UCI também analisa o tamanho da indentação deixada no material pelo diamante Vickers, situado na ponta da sonda, após aplicar uma determinada carga de teste. Entretanto, as diagonais da indentação não são determinadas opticamente como ocorre nesses outros métodos, sendo a área da indentação detectada eletronicamente por meio da variação de frequência ultrassônica do cristal piezoelétrico existente dentro da sonda UCI.

Uma sonda UCI consiste em um diamante Vickers colocado na ponta de uma haste de metal (oscillating rod mostrado na figura), que é excitada por um transdutor piezoelétrico a uma oscilação longitudinal de frequência 70KHz. A figura ao lado ilustra esta sonda, mostrando a haste de metal como se fosse uma mola espiral para facilitar o entendimento. Quando a sonda UCI toca a superfície de um material duro, a ponta de diamante consegue uma pequena penetração no material, produzindo consequentemente uma pequena indentação, e também uma pequena oscilação na frequência de ressonância da “mola espiral”. Esta variação na frequência de oscilação será maior, quando o diamante penetrar mais profundamente no material, resultando em uma indentação maior, isto é, quanto mais “mole” for o material testado.

Desta forma, podemos dizer que a variação da frequência de oscilação da haste de metal, detectada pelo equipamento através da variação ocorrida no transdutor piezoelétrico, é proporcional à indentação resultante no material, e então, inversamente proporcional à dureza do mesmo, como podemos ver no gráfico ao lado.

Este é o segredo do método UCI, que permite a medição da dureza de um material em questão de segundos.



Evidentemente esta variação de frequência depende também do material testado, sendo conhecido como módulo de elasticidade de Young, que é informado automaticamente

ao equipamento durante sua calibração. As sondas UCI já saem de fábrica pré-calibradas para alguns materiais, podendo entretanto serem calibradas muito rapidamente em campo para outros materiais com o uso de um bloco de referência do material a ser testado.

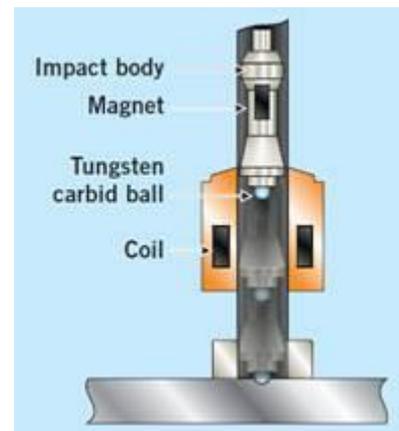


Por realizar o teste em uma área extremamente pequena, deixando uma indentação mínima no material, o teste de UCI é mais indicado para materiais homogêneos. A sonda mais apropriada para cada teste pode ser definida dentro de uma gama de sondas disponíveis de acordo com o material a ser inspecionado, sua espessura, acessibilidade à região a ser testada (sondas mais alongadas para pontos de difícil acesso, por ex), aplicação de carga automatizada para cilindros de rotogravura, ou mesmo de acordo com a preparação da superfície e indentação máxima desejada.

### ➤ Método de Rebote

Método dinâmico de rebote ou rebound, padronizado de acordo com o ASTM A 956.

No método de rebote, a indentação gerada no material também depende da dureza do material testado, porém neste caso, a medição da dureza é feita de forma indireta através da perda de energia, chamada popularmente de impacto. A figura ao lado ilustra uma sonda utilizada no teste de rebote.



Uma massa, neste caso, o “impact body” conhecido popularmente como torpedo, com uma esfera de tungstênio ou diamante presa a sua ponta, é lançado contra a superfície de teste a uma velocidade definida. Esse impacto cria uma deformação plástica na superfície, fazendo com que o torpedo perca parte de sua velocidade original. Quanto mais “mole” o material, maior será a perda de velocidade. A velocidade antes e após o impacto é medida por um objeto magnético situado dentro do torpedo, gerando uma tensão induzida ao passar por uma bobina. Quanto maior a velocidade do corpo magnético ao passar pela bobina, maior será a tensão induzida. A medida de dureza Leeb (nome de seu inventor) ou HL é calculada pela razão entre o impacto e a velocidade de rebote, isto é, do retorno.

Por ser uma unidade de medida mais nova, esta medida é normalmente convertida pelos usuários nas escalas convencionais HV, HB, HS, HRB, HRC ou N/mm<sup>2</sup>. Como já dito antes, não há fórmulas para se converter valores de uma escala em outra, porém foram criadas tabelas de conversão, o que no caso do método de rebote, precisa ser feito para cada material, devido à influência do módulo de elasticidade de Young nos resultados.

Nos equipamentos modernos, que fazem esta conversão, precisa ser selecionado o material em teste para a conversão ser feita corretamente para outras escalas.

Este teste de rebote precisaria ser feito sempre na direção vertical, a exatos 90 graus, ou cálculos de compensação serem feitos para compensar a mudança de orientação. A GE / Krautkramer possui a patente deste processamento de sinais, que permite aos seus equipamentos de rebote o cálculo automático desta correção de direção, fornecendo a medida de dureza correta, independentemente da orientação da sonda na hora do teste. Isto é muito importante no campo ou em linhas de produção, onde seria impossível garantir a perpendicularidade na hora do teste, e o cálculo da compensação também seria bastante difícil e impreciso. Mesmo em ambientes mais controlados, esta direção vertical é muitas vezes impossível de ser obtida devido à geometria e tamanho da peça a ser inspecionada, e o cálculo de compensação feito automaticamente auxilia bastante o processo.



Existem sondas de rebote distintas a serem definidas de acordo com o impacto desejado (N/mm) ou a indentação requerida, variando o tamanho e material do esfera do torpedo.

### ➤ Método TIV

Método óptico de visualização da indentação (Through-Indenter-Viewing).

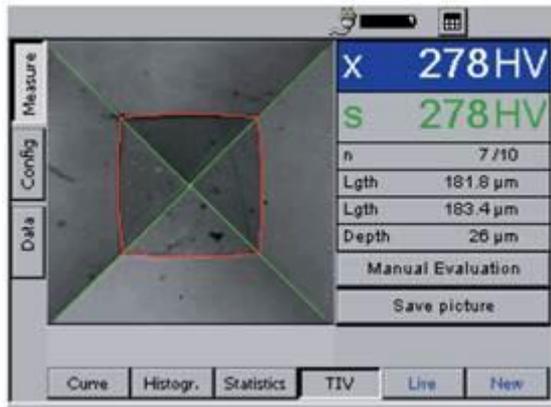
O TIV é um instrumento portátil para teste óptico de dureza, que possui uma câmera CCD que possibilita uma “visão através do diamante”, possibilitando pela primeira vez a visualização em display da penetração do diamante Vickers no material de teste.



Esta técnica permite a realização de testes sem a necessidade de calibrações adicionais nos diferentes materiais, uma vez que faz as medições nas diagonais opticamente e não de forma indireta, possibilitando também medições em objetos finos e pequenos, como também em revestimentos.

Assim que é alcançada a carga de teste, os comprimentos das diagonais da indentação são determinados e convertidos em um valor de dureza de acordo com a definição Vickers. Esta análise pode ser feita manualmente ou automaticamente pelo equipamento. A análise automática não é apenas rápida comparada ao uso convencional de um microscópio, mas exclui também efeitos subjetivos do usuário, que ocorrem sobretudo em análises manuais da indentação Vickers.

O equipamento contém tabelas de conversão de acordo com as normas DIN 50150 e ASTM E 140, que podem ser selecionadas para converter as medidas realizadas em outras escalas de dureza de interesse.



O método TIV permite o teste de dureza:

- independentemente da direção de medição
- em diferentes materiais sem a necessidade de calibração (independentemente do material)
- em materiais leves ou finos
- em materiais elásticos

### ➤ Selecionando o método mais adequado

Não existe um método melhor entre os 3 citados anteriormente, mas sim o método mais adequado a uma aplicação específica. Um método pode ser excelente para determinada aplicação, porém não fornecer resultados satisfatórios a outras condições ou materiais inspecionados.

Resumidamente, podemos dizer que:

O método UCI é recomendado para materiais de granulometria fina, que possuam praticamente qualquer tamanho ou forma. É especialmente utilizado em testes onde as propriedades dos materiais são determinadas dentro de estreitas faixas de tolerância, como por exemplo no endurecimento de peças forjadas.

O método de rebote é utilizado em materiais espessos, de granulometria grosseira, forjados, e todos os tipos de materiais fundidos, porque a esfera de tungstênio produz uma indentação bem maior que o diamante Vickers, revelando melhor as características da estrutura fundida. Entretanto, ele não é recomendado para materiais com espessuras inferiores a 20mm, onde o método de UCI ou o TIV são indicados.

Por outro lado, as indentações relativamente pequenas das sondas UCI permite testes de dureza em soldas, especialmente na área crítica da região termicamente afetada (HAZ), onde o método de rebote é ineficiente.

O método TIV é praticamente independente do material a ser testado, podendo ser utilizado em qualquer peça onde os demais equipamentos portáteis de medição de dureza falharem, não sendo entretanto recomendado para superfícies não homogêneas.

No quadro abaixo, podemos ver um resumo de algumas aplicações e a informação do método de teste de dureza mais adequado.

Application	UCI hardness testing MIC 10, MIC 20	Rebound hardness testing DynaPOCKET, DynaMIC, MIC 20	TIV
Solid parts	+	++	++
Coarse-grained materials	-	++	o
Steel and aluminum cast alloys	o	++	o
HAZ with welds	++	-	++
Tubes: wall thickness > 20 mm	++	++	++
Tubes: wall thickness < 20 mm	++	-	++
Sheet metal, coils	o	-	++
Inhomogeneous surfaces	-	+	-
Thin layers	++	-	+
Hard-to-get-at-positions	++	+	-
++ especially well-suited / + well-suited / o sometimes suitable / - not recommended			

### ➤ Selecionando equipamentos e sondas

A GE Inspection Technologies possui equipamentos portáteis que trabalham com os 3 métodos apresentados neste informativo técnico, possuindo diversos acessórios e suportes para acoplamentos melhores às peças testadas, sondas automáticas ou manuais, acessório para inspeção na HAZ de tubulações que permite manter a mesma distância a cada identificação, softwares para análise estatísticas dos resultados obtidos (média, desvio-padrão, gráficos, histogramas), blocos de referência e acessórios para prender os equipamentos ao cinto, no caso dos equipamentos mais portáteis para testes efetuados em campo.

O MIC10 é o equipamento mais solicitado quando se trata de inspeção da zona termicamente aquecida nas soldas de tubulações, por trabalhar com a técnica UCI e ser muito portátil. O MIC20 é um equipamento maior, que possui mais recursos gráficos, e que trabalha com os métodos UCI e Rebote, sendo necessário apenas trocar as sondas quando se deseja utilizar a outra técnica, em outros materiais. O TIV é o único equipamento indicado para realizar medições de dureza em vidros.

Nossa equipe de vendas e técnicos pode ajudá-los a definir o equipamento, sondas e acessórios mais adequados à sua necessidade de medição. Havendo interesse, podemos enviar um guia de medição de dureza desenvolvido por nossos especialistas da GE/Krautkramer Alemanha ou agendarmos uma visita para verificarmos suas peças e ensaios necessários..



Créditos:

GE  
Measurement & Control