

Ensaio de dureza: caracterização metrológica dimensional de penetrador Rockwell C

Hardness testing: dimensional metrological characterization of Rockwell C indenter

Manuel António Pires Castanho¹, Larissa Mitie Ihara², Douglas Mamoru Yamanaka³, Antônio Carlos Marques Garcia⁴

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Brasil, manet@ipt.br

² Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Brasil, larissam@ipt.br

³ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Brasil, douglasy@ipt.br

⁴ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, Brasil, garcia@ipt.br

Resumo: Medições confiáveis de propriedades mecânicas desempenham um papel essencial na caracterização de componentes e ensaio de materiais. Diferentemente de propriedades intrínsecas ao material, a dureza é uma propriedade que depende do procedimento de teste, notadamente, de que maneira a endentação é imposta ao material durante um ensaio. Neste trabalho, são apresentados resultados de variações dimensionais de um penetrador Brale de diamante, utilizado em ensaios de dureza Rockwell C. O penetrador é formado por uma seção cilíndrica e uma ponta esferocônica. Para as medições, foi utilizada uma máquina de medição de perfil para medir o ângulo interno do cone e o raio da ponta esférica.

Palavras-chave: Dureza Rockwell; penetrador de dureza; avaliação dimensional; sistemas de medição; rastreabilidade.

Abstract: Reliable measurements of mechanical properties perform an essential role in the characterization of components and materials. Unlike intrinsic material properties, hardness is a property that depends on the test procedure, in particular, how the indentation is imposed on the material during a test. This work presents results of dimensional variations of a Brale diamond indenter, used in Rockwell C hardness tests. The indenter consists of a cylindrical section and a conical end with a diamond sphere tip. For these measurements, a profile measuring instrument was used to measure the internal angle of the cone and the radius of the diamond spherical tip.

Keywords: Rockwell hardness; hardness indenter; dimensional evaluation; measuring systems; traceability.

1. INTRODUÇÃO

A dureza de um material é uma medida de sua resistência à deformação plástica. O princípio básico do ensaio de dureza Rockwell C é que um penetrador Brale de diamante, sob uma carga determinada, endenta o material e a profundidade de penetração é uma indicação da dureza. O penetrador é o elemento mais importante do durômetro, portanto é necessário que esse seja precisamente calibrado, visto que variações em suas dimensões podem levar a desvios nos valores de dureza medidos [1].

Neste trabalho é utilizado um sistema de medição para obter resultados de características dimensionais de um penetrador Brale de diamante. São apresentadas as dimensões e respectivas tolerâncias que devem ser obtidas, conforme determinado pela norma pertinente.

Na Seção 3 o sistema de medição é descrito. As Seções 4 e 5 apresentam os resultados e discutem a significância destes.

1.1 Requisitos da norma

A fim de avaliar a conformidade de penetradores padrão de dureza Rockwell C (figura 1) por verificação direta, as seguintes características e suas respectivas exigências devem ser observadas, conforme especificado na Norma NM ISO 6508-2:2008 [2]:

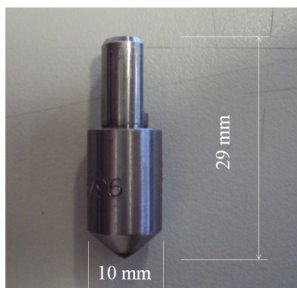


Figura 1. Penetrador de dureza Rockwell C.

- A ponta do penetrador deve ser esférica. As superfícies do cone e da ponta esférica devem ser polidas para uma profundidade de penetração de 0,3 mm e devem fundir-se de maneira tangencial. Ambas as superfícies devem estar livres de defeitos superficiais;
- Ângulo interno do cone, conforme figura 2: $\alpha = 120,00^\circ \pm 0,35^\circ$;
- O raio da ponta do penetrador, conforme figura 2, deve ser determinado a partir de valores medidos em no mínimo quatro planos: $R = (0,200 \pm 0,015) \text{ mm}$;
- O valor médio do raio, obtido de no mínimo quatro valores individuais: $\bar{R} = (0,20 \pm 0,01) \text{ mm}$.

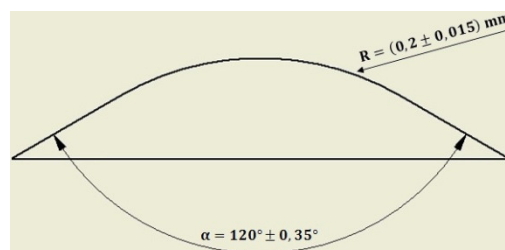


Figura 2. Características geométricas do penetrador Rockwell C.

2. MOTIVAÇÃO

Metrologia aplicada à medição de propriedades dos materiais consiste na determinação de propriedades por todo o ciclo de vida do material, de maneira exata e adequada à sua aplicação [3]. A maior demanda por testes de materiais ainda se relaciona a propriedades mecânicas convencionais. Medições precisas e confiáveis de propriedades mecânicas desempenham um papel essencial em aspectos de rastreabilidade e calibração. Por outro lado, na medida em que os dados de propriedades mecânicas estão distribuídos em uma ampla gama, sua baixa confiabilidade torna-se um obstáculo [4].

Enquanto muitas propriedades são intrínsecas ao material (e.g., densidade), em outros casos a propriedade medida depende do procedimento de teste – sendo a dureza o melhor exemplo de uma propriedade “procedimental”. Dureza é uma medição da resistência do material à deformação plástica por endentação; seu valor é altamente dependente de como a endentação é imposta ao material [3].

Dessa forma, este trabalho apresenta resultados de variações dimensionais do penetrador utilizado para provocar a endentação no material, possibilitando avaliar desvios da dureza medida em um ensaio em função dessas variações.

Especificamente, estuda-se um penetrador Brale, utilizado em ensaios de dureza Rockwell C.

A dureza Rockwell é calculada a partir da equação (1) a seguir, em que $E = 100$ para penetrador de diamante, como no caso de dureza Rockwell C.

$$HR = E - \frac{P_1}{0,002 \text{ mm}} \quad (1)$$

Sendo P a profundidade endentada total, ou seja, causada pela força total aplicada, conforme a figura 3, P_1 é $P - P_0$, em que P_0 é a profundidade causada pela pré-carga.

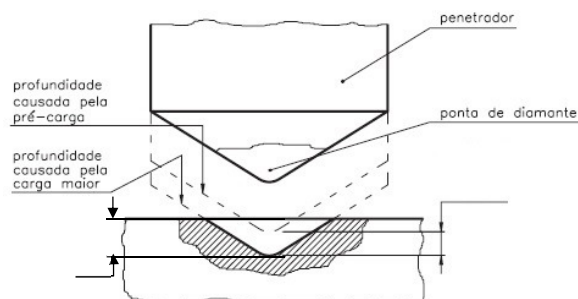


Figura 3. Profundidades de penetração produzidas pelo penetrador Rockwell C.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As medições do penetrador foram realizadas no Laboratório de Metrologia Mecânica / CTMetro / IPT. O ângulo interno do cone α e o raio R da ponta do penetrador foram avaliados em uma Máquina de Medição de Perfil com auxílio de uma mesa divisora.

3.1. Máquina de Medição de Perfil

A máquina utilizada nas medições foi o medidor de contorno CDH-400. O princípio de operação da máquina é de realização das medições por contato, com resolução de $0,1 \mu\text{m}$. A medição procedeu-se prendendo o penetrador no porta amostra fixado na mesa divisora e, auxiliado pelo programa de medição, o apalpador foi posicionado no ponto mais alto da ponta esférica, conforme ilustrado na figura 4; posicionou-se o apalpador a aproximadamente 1 mm do topo da esfera e então foi realizado um escaneamento por contato contínuo do apalpador na extremidade do penetrador por uma corda de aproximadamente 2 mm .

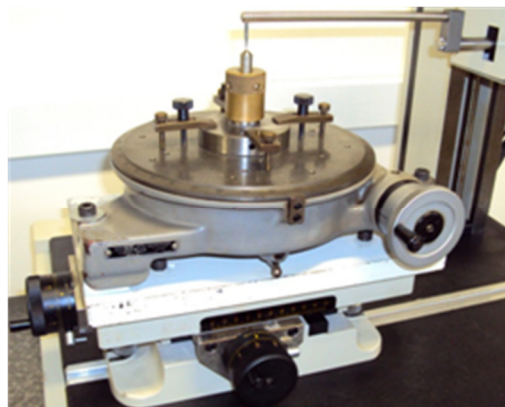


Figura 4. Penetrador Rockwell C posicionado na máquina de medição de perfil.

Repetiram-se as medições em cinco seções, i.e., a cada 72° , sendo o posicionamento determinado pela graduação da mesa divisora. O raio da ponta esférica e o ângulo interno do cone foram calculados pelo programa da máquina.

4. RESULTADOS

Os resultados para as medidas do ângulo α do cone e do raio R da ponta esférica do penetrador, obtidos a partir de 5 leituras angulares em 3 séries de medições realizadas pela máquina de medição de perfil, são apresentados na tabela 1. Para cálculos das incertezas de medição, foi utilizado o Guia para expressão da incerteza de medição – ISO GUM [5].

Tabela 1. Resultados e incertezas de α e R.

Parâmetros	Valor medido	U
α	119,910°	0,300°
R	0,201 mm	0,005 mm

A figura 5 mostra a geometria obtida através do escaneamento da superfície.



Figura 5. Penetrador Rockwell posicionado na máquina de medição de perfil.

5. DISCUSSÕES

Na medição do ângulo α , o valor medido associado à incerteza do resultado ($119,910^\circ \pm 0,300^\circ$), encontra-se dentro do estabelecido pela

norma ($120^\circ \pm 0,35^\circ$). No valor medido para o raio R, o valor medido associado à incerteza do resultado ($0,201 \pm 0,005$) mm, encontra-se dentro do estabelecido pela norma ($0,200 \pm 0,015$) mm. Portanto, para ambas as medidas avaliadas para este trabalho os resultados encontrados se mostraram consistentes.

6. CONCLUSÃO

Os parâmetros ângulo α e raio R do penetrador de dureza Rockwell C foram quantificados com uma máquina de medição de perfil. Os resultados demonstram que o penetrador está conforme os requisitos estabelecidos pela norma, sendo o método e aparatos utilizados adequados para a caracterização deste tipo de artefato.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Brice L "The influence of indenter characteristics on hardness measurements", XVII IMEKO - World Congress, 2003.
- [2] ISO 6508-2 Materiais metálicos - Ensaio de dureza Rockwell - Parte 2: Verificação e calibração de máquinas de ensaio (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T), 2008.
- [3] CIPM ad hoc Working Group on Materials Metrology. Evolving Need for Metrology in Material Property Measurements - Part 1: Report & Recommendations. 2007.
- [4] Bahng G W et al., "Establishment of traceability in the measurement of the mechanical properties of materials". 2010, *Metrologia* **47**, 2010.
- [5] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO, Switzerland, 2008.