

DESENVOLVIMENTO DE PADRÕES DE DUREZA NO BRASIL: ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE TRATAMENTO TÉRMICO NOS VALORES DE NÃO-UNIFORMIDADE

Ana Rosa Martins¹, Ana Cristina Vidal¹, Iêda Caminha² e Ibrahim Abud²

¹ITUC/PUC-Rio, Instituto Tecnológico da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, CEP 22451-900, Brasil

²INT, Instituto Nacional de Tecnologia, Av. Venezuela, 72, Rio de Janeiro, Brasil

O primeiro objetivo deste trabalho é apresentar os resultados dos estudos já concluídos para o estabelecimento de parâmetros de tratamentos térmicos de blocos-padrão de dureza em diferentes faixas e escalas de dureza Rockwell. Os diversos experimentos já realizados mostraram que as duas ligas atualmente utilizadas para a fabricação dos blocos-padrão não são adequadas para as faixas inferior e superior das escalas Rockwell B e C, e ainda, quando se alcança a dureza almejada, os valores de não-uniformidade não se enquadram naqueles especificados pelas normas técnicas. Com base nas pesquisas preliminares, foram especificados outros materiais que pudessem atender às duas faixas não desenvolvidas. Os valores de dureza e de não-uniformidade obtidos com o emprego destes são apresentados e discutidos no presente trabalho. Visando a correlação da microestrutura com os valores de dureza e de não-uniformidade resultantes, realizou-se a caracterização microestrutural dos materiais através da análise por microscopia ótica.

Palabras claves: Blocos-padrão, dureza Rockwell, tratamentos térmicos.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho faz parte de um amplo projeto que vem sendo desenvolvido desde de 1995, e que tem como objetivo principal o desenvolvimento de um sistema metrológico com escalas de referência de dureza no Brasil, cujos procedimentos e padrões sejam rastreáveis a entidades reconhecidas internacionalmente. Uma das etapas deste projeto envolve o desenvolvimento e certificação de blocos padrão de dureza Brinell, Rockwell e Vickers. Para tal foi formado um convênio entre três institutos de pesquisa nacionais (INMETRO, INT e ITUC/PUC-Rio), com o apoio do NIST/USA e IMGC/Itália, institutos reconhecidos internacionalmente no que se refere à padronização de escalas de dureza [1,4].

A motivação para a fabricação de blocos padrão vem da crescente demanda dos institutos de pesquisa e indústrias nacionais aliado ao fato de não existir produção de blocos padrão de dureza no Brasil. O Mercosul é suprido por produtos importados, sendo o preço para o consumidor bastante elevado, além do longo prazo para recebimento do produto e conseqüentemente limitação para o tempo de utilização deste.

Face à tendência de internacionalização de mercados e conseqüentemente da harmonização das normas técnicas existentes, acrescidas de exigências técnicas e de segurança cada vez maiores, a confiabilidade metrológica na área de dureza constitui-se atualmente uma questão de sobrevivência para as instituições de pesquisa assim como para os diversos segmentos da indústria brasileira.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de atingir as cinco faixas de dureza desejadas (60-80HRB, 85-100HRB, 20-30HRC, 35-55HRC e 60-70HRC), assim como a uniformidade de seus valores, foram utilizadas experimentalmente cinco diferentes matérias primas, todas com baixo teor de impurezas (%S e %P) e diferentes teores de elementos de liga.

Os materiais utilizados nos experimentos foram identificados da seguinte maneira:

- Material A – aço com teor de carbono em torno de 0,1%.
- Material B – aço com teor de de carbono em torno de 0,7%.
- Material C – aço com teor de carbono em torno de 1%.
- Material D – aço com teor de carbono em torno de 0,9%.
- Material E – Liga não-ferrosa.

Todo o estudo e desenvolvimento foram baseados nas normas internacionais, ISO 6508 e ASTM E 18 e EN 10109.

Os materiais foram fornecidos na forma de barras cilíndricas com diâmetro de 70 mm. Essas barras foram cortadas e usinadas para atingir as dimensões finais dos blocos-padrão: 65 mm de diâmetro e 12 mm de espessura.

Para alcançar as faixas de dureza desejadas, assim como a uniformidade de seus valores, foi realizada uma série de tratamentos térmicos variando-se as temperaturas de austenitização, taxas de resfriamento, tempo e temperaturas de revenido. Para cada condição, foram estudadas no mínimo três amostras a fim de avaliar a reprodutibilidade do processo.

Após a etapa de tratamento térmico e acabamento dos blocos, foram realizadas medidas de dureza Rockwell ao longo de toda superfície dos blocos, utilizando

durômetros pertencentes às instituições que desenvolvem o projeto, e a não uniformidade foi calculada com base na especificação EN 10109 [5].

A fim de correlacionar os resultados de dureza, e de não uniformidade, com a microestrutura dos blocos tratados termicamente, foram preparadas amostras para a realização de análises microestruturais por microscopia ótica, visando a identificação das fases presentes. Foi ainda utilizada a técnica de difração de raios-X para a identificação da possível presença de austenita retida, fase esta indesejável devido a sua condição de metaestabilidade e propriedades apresentadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores permissíveis máximos de não-uniformidade, estabelecidos pela norma EN 10109 [5]. Os valores de dureza e de não-uniformidade, obtidos para as diferentes condições estudadas, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3. As análises de difração de raios-X realizadas nas amostras não identificaram a presença de austenita retida em nenhuma das amostras.

Tabela 1. Não-uniformidade permissível [5].

Escala de Dureza	Não-Uniformidade Permissível (%)
HRB	3,0
HRC	1,5

Tabela 2. Valores de dureza e de não-uniformidade para as faixas de dureza Rockwell B estudadas com os diferentes materiais.

FAIXA DE DUREZA	MATERIAL E TRATAMENTO TÉRMICO	MÉDIA DOS VALORES DE DUREZA	NÃO-UNIFORMIDADE (%)
20-50 HRB	A Recozimento	39,8 HRB	4,0
20-50 HRB	E Como recebido	57,8 HRB	1,9
60-80 HRB	A Têmpera em óleo	74,2 HRB	10,1
60-80 HRB	A Normalização	63,2 HRB	2,2
85-100 HRB	B Têmpera e revenido	103,4 HRB	0,9
85-100 HRB	B Normalização	92,2 HRB	1,3

Tabela 3. Valores de dureza e de não-uniformidade para as faixas de dureza Rockwell C estudadas com os diferentes materiais.

FAIXA DE DUREZA	MATERIAL E TRATAMENTO TÉRMICO	MÉDIA DOS VALORES DE DUREZA	NÃO-UNIFORMIDADE (%)
20-30 HRC	B Têmpera e revenido	26,5 HRC	0,8
35-55 HRC	B Têmpera e revenido	37,0 HRC	0,5
60-70 HRC	B Têmpera e revenido	59,4 HRC	2,5
60-70 HRC	C Têmpera e revenido	59,3 HRC	1,18
60-70 HRC	D Têmpera e revenido	63,7 HRC	0,63

As Figuras 1 a 7 apresentam as microestruturas características dos blocos-padrão de dureza tratados termicamente para algumas das faixas estudadas.

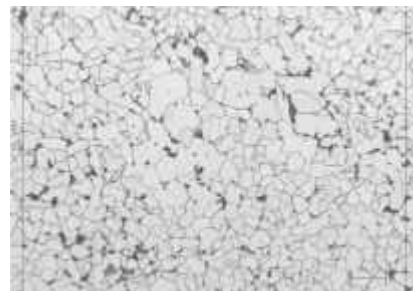


Figura 1. Microestrutura característica do bloco da faixa de 20-50 HRB. Material A, recozido. Presença de ferrita e colônias de perlita. 130 X.



Figura 2. Microestrutura do bloco da faixa de 20-50 HRB. Material E, como recebido. 200X.



Figura 3. Microestrutura característica do bloco da faixa de 60-80 HRB. Material A, normalizado. Presença de ferrita e colônias de perlita. 130 X.

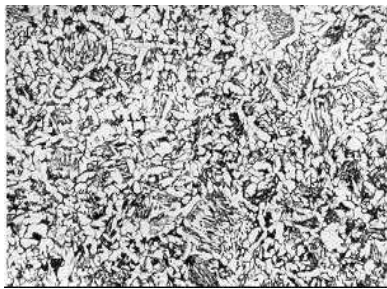


Figura 4. Microestrutura característica do bloco da faixa de 60-80 HRB. Material A, temperado em óleo. Presença de ferrita, perlita e bainita. 190X.

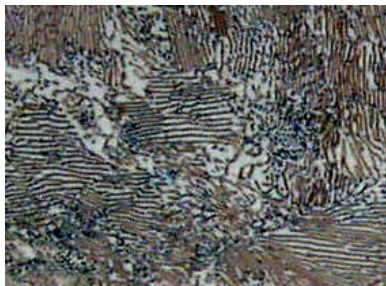


Figura 5. Microestrutura característica do bloco da faixa de 85-100 HRB. Material B, normalizado. Grande fração volumétrica de perlita. 380X.

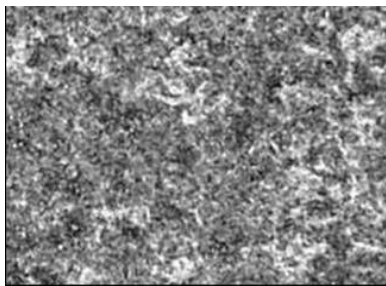


Figura 6. Microestrutura do bloco da faixa de 60-70 HRC. Material C, temperado e revenido. Predominância de martensita revenida. 310X.



Figura 7. Microestrutura do bloco da faixa de 60-70 HRC. Material D, temperado e revenido. Predominância de martensita revenida. 310X.

Os resultados de dureza e de não-uniformidade apresentados na Tabela 1 mostram que para a faixa de 20-50 HRB, os materiais A e E não exibem resultados satisfatórios. Embora o material A na condição de recozido apresente um valor de dureza dentro da faixa, a não-uniformidade está muito acima do valor máximo estabelecido nas normas técnicas. Tal fato está associado ao tipo de microestrutura resultante do recozimento, em que o tamanho de grão mostra relativo grau de heterogeneidade.

Com relação à liga não-ferrosa (material E), esta na condição como recebida tem valores de dureza superiores ao limite da faixa, entretanto a sua não-uniformidade é satisfatória. Através da aplicação de tratamentos térmicos, visando o super envelhecimento da liga [6], pretende-se alcançar níveis de dureza dentro da faixa pretendida.

Os resultados para a faixa de 60-80 HRB (Tabela 1) indicam que o tratamento de têmpera em óleo aplicado ao material A resultou em uma não-uniformidade dos valores de dureza muito acima da desejada. Esses resultados podem ser relacionados à grande heterogeneidade microestrutural observada nas amostras posteriormente ao tratamento térmico (Figura 4). Já a aplicação do tratamento de normalização ao mesmo material produz uma microestrutura mais homogênea, com grande fração volumétrica de ferrita (Figura 3), e conseqüentemente não-uniformidade muito inferior àquela resultante do tratamento de têmpera.

Embora os resultados de não-uniformidade do material B temperado e revenido para a faixa de 85-100 HRB sejam bastante satisfatórios, os valores de dureza não se enquadram dentro dos limites estabelecidos. Apesar da aplicação de uma temperatura de revenido elevada, o material apresenta limitações em função dos elevados teores de carbono e de elementos de liga, presentes em sua composição química. Dessa forma, mesmo para elevadas temperaturas de revenimento, a dureza da martensita resultante está acima de 100 HRB.

A aplicação do tratamento térmico de normalização ao material B apresentou valores de dureza adequados e de não-uniformidade mais elevados em relação aos obtidos através da têmpera e revenido, entretanto ainda dentro dos limites especificados pelas normas técnicas pertinentes. O tratamento de normalização no

material B gera uma microestrutura constituída por perlita lamelar fina em uma matriz ferrítica (Figura 5).

Para as faixas de dureza de 20-30 HRC e 35-55 HRC, o material B, na condição de temperado e revenido, apresentou bom desempenho em relação aos valores de dureza e de não-uniformidade. As microestruturas de ambos os blocos produzidos, a partir de diferentes condições de tratamentos térmicos, são compostas por martensita revenida com uma fina dispersão de carbeto.

No que se refere à faixa de 60-70 HRC, os valores de não-uniformidade dos três materiais analisados, B, C e D, atendem aos requisitos das normas, entretanto ao contrário do material D, cujo valor médio de dureza atinge satisfatoriamente o nível desejado, os materiais B e C apresentaram valores médios de dureza inferiores ao patamar mínimo estabelecido (60 HRC).

A Figura 6 mostra a microestrutura característica dos aços B e C, a qual consiste de martensita revenida com carbeto dispersos. A Figura 7 revela que o material D apresenta uma microestrutura bem semelhante àquela dos aços B e C, com martensita e carbeto, porém neste caso as partículas de carbeto são mais finas e apresentam-se em maior fração volumétrica em relação às observadas na microestrutura dos materiais B e C. A presença no material D de um maior percentual de elementos formadores de carbeto, como o tungstênio e o vanádio, favorece a obtenção dessa maior fração volumétrica de carbeto mais finos, que juntamente com o maior teor de manganês, permite a obtenção de valores de dureza mais elevados no aço D, quando comparado com os identificados por B e C. Comparando-se as microestruturas resultantes dos tratamentos de têmpera e revenido aplicados aos materiais estudados (Figuras 6 e 7), observa-se ainda que a martensita revenida produzida no aço D apresenta-se mais fina do que as dos dois outros aços, o que acarreta em características de maior homogeneidade microestrutural do material D, onde os valores de não-uniformidade foram bem inferiores aos obtidos para os aços B e C.

4. CONCLUSÕES

Os materiais A e E empregados para a produção de blocos-padrão de dureza na faixa de 20-50 HRB não apresentaram resultados satisfatórios nas diferentes condições estudadas. Considerando-se que os diversos parâmetros de tratamentos térmicos, utilizados no material A para essa faixa de dureza, produziram resultados insatisfatórios de não-uniformidade, o emprego do aço em questão mostra-se inviável.

A liga não-ferrosa utilizada para os blocos na faixa de 20-50 HRB, após a aplicação de tratamentos térmicos visando o super envelhecimento do material, poderá apresentar resultados adequados de dureza e de não-uniformidade para a faixa de 20-50 HRB. Entretanto, estudos posteriores se farão necessários.

A microestrutura resultante do tratamento térmico de normalização aplicado ao aço A, para os blocos-padrão de dureza na faixa de 60-80 HRB, produz

níveis de não-uniformidade que se enquadram dentro daqueles especificados pelas normas técnicas.

O material B após normalização exibe valores de dureza e de não-uniformidade adequados para a faixa de 85-100 HRB. Embora a têmpera seguida de revenimento produza uma microestrutura mais homogênea e em consequência com menores valores de não-uniformidade, devido ao elevado teor de carbono e de elementos de liga do aço em questão, os níveis de dureza obtidos superam o limite máximo da faixa estudada.

Para as faixas de 20-30 HRC e 35-55 HRC, o material B, sob diferentes condições de tratamentos de têmpera e revenido, apresenta bons resultados de dureza e de não-uniformidade.

Os tratamentos térmicos aplicados aos materiais C e D, empregados no desenvolvimento dos blocos para a faixa de 60-70 HRC, permitem obter valores de não-uniformidade que atendem aos requisitos das especificações técnicas. Entretanto, o resultado de não-uniformidade alcançado para o aço D é menor do que aquele obtido para o aço C, sendo, portanto mais adequado. A martensita revenida e a dispersão de carbeto do aço D apresentam-se muito mais finas do que aquelas observadas na microestrutura do material C, o que resulta em uma maior homogeneidade microestrutural e em valores de não-uniformidade inferiores.

Ainda para a faixa de 60-70 HRC, os valores médios de dureza alcançados para os aços B e C são inferiores ao desejado, contrariamente ao material D. Apesar de o material C apresentar maior teor de carbono do que o aço D, o maior percentual de elementos formadores de carbeto na composição química do material D favorece a obtenção de maiores níveis de dureza.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vidal, A.C., Martins, A.R., Caminha, I., Rocha, A.C., Oliveira, S., "The Influence of Thickness in the Non Uniformity Values of Rockwell B Hardness Standard Blocks", *Proceedings of IMEKO 2002, Alemanha, 2002*.
- [2] Vidal, A.C., Caminha, I. e Machado, R.R., "The Manufacture of Rockwell Hardness Standard Blocks in Brazil", *Proceedings of IMEKO 2000, Viena, Áustria*.
- [3] Vidal, A.C., Martins, A.R., Caminha, I. e Machado, R.R., "The Manufacture of Brinell Hardness Standard Blocks in Brasil", *Proceedings of the "International Symposium on Advances in Hardness Measurement"*, China, 1998.
- [4] Machado, R.R., Cruz, J.A., Abud, I.C. e Pereira, J.A.S., "Status of the Realization of Hardness Scales in Brasil", *Proceedings of the "8^{eme} Congrès International de Metrologie"*, France, 1997.
- [5] European Standard, EN 10109-3, 1994, "Metallic Materials -Rockwell Hardness-Part 3: Calibration of Standardized Blocks to Be Used for Rockwell Hardness Testing Machines, Scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N and T".
- [6] Hatch, J. E. Aluminum: Properties and Physical Metallurgy". Editora ASM. 1ª edição: 1984.