

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE AUSTENITIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA, DUREZA E TENACIDADE DO AÇO AISI M2¹

*Kathia Regina de Souza Zanoní²
Adonias Ribeiro Franco Júnior³
Julio César Giubilei Milan³
Marcio Ferreira Hupalo³*

Resumo

Os aços rápidos são materiais desenvolvidos para a fabricação de ferramentas de corte aplicadas em usinagem, onde sua característica mais desejada é a capacidade de corte, que por sua vez está diretamente relacionada com a dureza, a resistência ao desgaste e a tenacidade destes materiais. Essas propriedades dependem da composição da matriz, do volume, da composição e da forma de distribuição dos carbonetos. O objetivo deste estudo é avaliar a influência do tempo e da temperatura de austenitização na microestrutura, na dureza e na tenacidade do aço AISI M2. O aço foi austenitizado nas temperaturas de 1150, 1170 e 1190°C, em tempos de 50, 75 e 100 s. A microestrutura foi caracterizada por meio das técnicas de microscopia óptica e eletrônica de varredura com microanálise química por dispersão de energia (MEV/EDS). A tenacidade foi avaliada utilizando o ensaio de flexão para aços ferramenta. Foram realizadas também medidas de dureza Rockwell C. Os resultados mostram que a dureza sofre grande influência da temperatura de austenitização. Devido à presença de altas frações volumétricas de carbonetos secundários, finos e homoganeamente distribuídos na matriz, os corpos de prova austenitizados a 1170°C, durante 75 e 100 s, e a 1190°C, durante 50 s, apresentam maior tenacidade.

Palavras-chave: Aços rápidos; Microestrutura; Dureza; Tenacidade.

INFLUENCE OF AUSTENITIZING TIME AND TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE, TOUGHNESS AND HARDNESS OF AISI M2 STEEL

Abstract

High speed steels are materials developed to manufacture cutting tools applied in machining, cutting capacity is the main feature of this materials. Hardness, resistance to wear and toughness are related with this feature. These properties depend on the matrix composition, the volume fraction, size and distribution of carbide particles. The main objective of this study is to evaluate the influence of austenitizing time and temperature on the microstructure and in the mechanical properties (hardness and toughness) of the steel AISI M2. The steel were hardened using austenitizing temperatures of 1150, 1170 and 1190°C. The austenitizing times were 50, 75 and 100 s. Microstructural characterization of all samples was performed using light optical microscopy (LOM) and scanning electron microscopy with X-ray microanalysis (SEM/EDS) and Rockwell C hardness tests. Toughness was evaluated using the bend test method developed for hard tool materials. Results show that the austenitizing temperature influences the hardness. Due the lower volume fraction of primary carbides and the presence of fine and homogeneously dispersed secondary carbides, the samples austenitized at 1170°C, during 75 and 100 s, and at 1190°C, during 50 s, present higher toughness.

Key words: High speed steels; Microstructure; Hardness; Toughness.

¹ *Contribuição Técnica ao 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ.*

² *Tupy Fundições Ltda, Joinville – SC.*

³ *Instituto Superior Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville – SC.*

1 INTRODUÇÃO

Os aços rápidos são materiais desenvolvidos para fabricação de ferramentas de corte aplicadas em usinagem com elevadas velocidades e avanços pesados. Estes materiais recebem esta denominação porque possuem como principal característica a alta dureza no estado temperado, além da capacidade de conservação da mesma nas altas temperaturas atingidas durante o corte rápido de materiais.⁽¹⁾ Possuem ainda alto teor de carbono e elevados teores de elementos de liga formadores de carbonetos, essa combinação proporciona a estes aços uma alta resistência ao desgaste.⁽²⁾

A microestrutura destes materiais é composta basicamente por carbonetos primários, cuja principal função é fornecer proteção contra desgaste abrasivo, e uma matriz de martensita revenida reforçada por carbonetos secundários finamente dispersos (precipitados durante o revenido, em um processo onde ocorre endurecimento secundário), cuja função é reter os carbonetos primários, mesmo sob as altas temperaturas e tensões cisalhantes criadas na interface entre a aresta de corte das ferramentas e o material que está sendo trabalhado na usinagem.⁽³⁾

A motivação para o presente trabalho nasceu do fato de os catálogos de fabricantes de aços rápidos fornecerem informações desconhecidas a respeito das condições de tratamento térmico a serem empregadas. As duas propriedades mais importantes destes materiais, dureza e tenacidade, podem ser obtidas e controladas por meio das variáveis de tratamento térmico. Dentre estas variáveis destacam-se as temperaturas e tempos de austenitização e as condições de revenimento.

O presente trabalho tem por objetivo principal investigar o efeito das condições de tratamento térmico na microestrutura e nas propriedades mecânicas do aço rápido AISI M2. São estudadas diferentes temperaturas e tempos de austenitização, variando entre 1150 e 1190°C, e entre 10 e 20 s/mm, respectivamente, seguidos de triplo revenimento a 530, 550 e 570°C, por duas horas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

O aço AISI M2 utilizado no presente trabalho foi gentilmente cedido pela Villares Metals S.A. O material inicial, no estado recozido, foi recebido na forma de barras com diâmetro de 9,5 mm. A especificação de composição química para o aço AISI M2 encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Especificação de composição química para o aço AISI M2 (% em peso).

C	Cr	W	Mo	V	Ni	Mn	Si
0,78-0,88	3,75-4,50	5,50-6,75	4,50-5,50	1,75-2,20	0,3	0,15-0,40	0,20-0,45

2.2 Análise Química

A composição química do material utilizado foi determinada com auxílio da técnica de espectroscopia de emissão óptica. As análises foram realizadas no Laboratório de Materiais da SOCIESC, utilizando-se um espectrômetro modelo Spectrolab. Foram realizadas duas análises, tomando-se a média dos valores encontrados.

2.3 Tratamentos Térmicos

Os tratamentos térmicos foram realizados em corpos de prova para ensaios de flexão, usinados a partir das barras do material no estado como recebido (recozido). Os corpos de prova retangulares, com dimensões de 5 x 7 x 70 mm, foram confeccionados a partir da barra com diâmetro de 9,5 mm. As temperaturas e tempos de austenitização foram escolhidos com base em informações encontradas nos catálogos de fabricantes de aços rápidos do tipo AISI M2 e similares. Cabe ressaltar que não se buscou atingir nenhum valor específico de dureza, e sim realizar um mapeamento da microestrutura e das propriedades mecânicas (resistência à flexão e dureza) do aço AISI M2 em função das condições de tratamento térmico. Neste sentido, os ciclos de tratamentos térmicos consistiram de austenitização nas temperaturas de 1150, 1170 e 1190°C, com tempos de austenitização de 10, 15 e 20 s/mm (espessura do corpo de prova); seguido de triplo revenimento a 530, 550 e 570°C, por duas horas.

2.4 Análise Metalográfica

As análises metalográficas foram realizadas nas seções transversais de amostras no estado como recebido (recozido) e após tratamentos térmicos. As amostras tratadas termicamente foram retiradas dos corpos de prova de flexão, em uma região distante da fratura. A preparação metalográfica seguiu os procedimentos convencionais. Foi realizado lixamento até a grana 1200, seguido de polimento com pasta de diamante de 1µm. O ataque metalográfico para revelação da microestrutura foi feito com Nital a 4%. As microestruturas das amostras foram analisadas com auxílio das técnicas de microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura com microanálise química (MEV/EDS). Foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura Philips, modelo XL-30, instalado em laboratório da Empresa Brasileira de Compressores S.A.

2.5 Ensaio de Flexão

A tenacidade dos corpos de prova tratados termicamente foi avaliada por meio de ensaios de flexão em quatro pontos. Os ensaios de flexão foram realizados em uma máquina Kratos, modelo K500, com célula de carga de 5000 kgf. A velocidade de ensaio empregada foi de 2 mm/min. O dispositivo de ensaio utilizado é mostrado na Figura 1. A máquina empregada possui registro automático das cargas de ensaio, determinação da tensão máxima, da deformação e da tensão de proporcionalidade. Os testes foram realizados na seção transversal dos corpos de prova. Para efeito de cálculo da tensão de ruptura em flexão, considerou-se uma área de seção transversal fixa de 35 mm².

O ensaio de flexão em quatro pontos é um método amplamente utilizado para a avaliação da tenacidade de aços rápidos. Neste caso, a tensão de ruptura à flexão pode ser diretamente relacionada com a tenacidade das amostras.⁽⁴⁾

2.6 Ensaio de Dureza

O ensaio de dureza Rockwell C (HRC) foi realizado em uma máquina da marca Wolpert, modelo Testor HT. Primeiramente, por meio de lixamento, fez-se a remoção da camada de óxido presente nos corpos de prova, evitando assim a sua

influência no resultado final. As medidas de dureza foram realizadas após os ensaios de flexão, em pontos distantes da região de fratura. Foram realizadas três medidas em cada amostra, tomando-se a média dos valores obtidos.



Figura 1. Dispositivo utilizado para o ensaio de flexão em quatro pontos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Química

A composição química analisada do aço AISI M2 utilizado no presente trabalho encontra-se listada na Tabela 2. Os resultados mostram que o material atende à especificação de composição química (Tabela 1).

Tabela 2. Composição química analisada do aço AISI M2 (% em peso).

C	Cr	W	Mo	V	Ni	Mn	Si
0,88	4,20	6,08	4,60	1,79	0,26	0,34	0,38

3.2 Ensaio de Dureza

Os valores de dureza obtidos em função das diferentes condições de tratamento térmico são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Dureza dos corpos de prova em função das temperaturas e tempos de austenitização, para triplo revenimento a 530, 550 e 570°C, por duas horas.

CP	Austenitização		HRC
	Temperatura (°C)	Tempo (s)	
1	1150	50	59
2		75	61
3		100	62
4	1170	50	62
5		75	63
6		100	63
7	1190	50	62
8		75	63
9		100	64

Observa-se que as temperaturas e tempos de austenitização utilizados permitiram a obtenção de uma ampla faixa de valores de dureza, variando entre 59 e

64 HRC. Os valores de dureza aumentaram para maiores temperaturas e tempos de austenitização. Ao se analisar as faixas de dureza, de 59 a 62 HRC para 1150°C, de 62 a 63 HRC para 1170°C e de 62 a 64 HRC para 1190°C, conclui-se que a temperatura possui influência maior que a do tempo sobre a dureza final.

3.3 Microestruturas

As microestruturas das amostras do aço AISI M2 foram analisadas pelas técnicas de microscopia óptica (MO) e eletrônica de varredura (MEV). A microestrutura do aço AISI M2 no estado como recebido (Figura 2) é composta por uma matriz ferrítica contendo carbonetos primários grosseiros, predominantemente do tipo M_6C , ricos em W e Mo, agrupados em bandas ou “stringers” preferencialmente alinhados com a direção de trabalho (deformação).

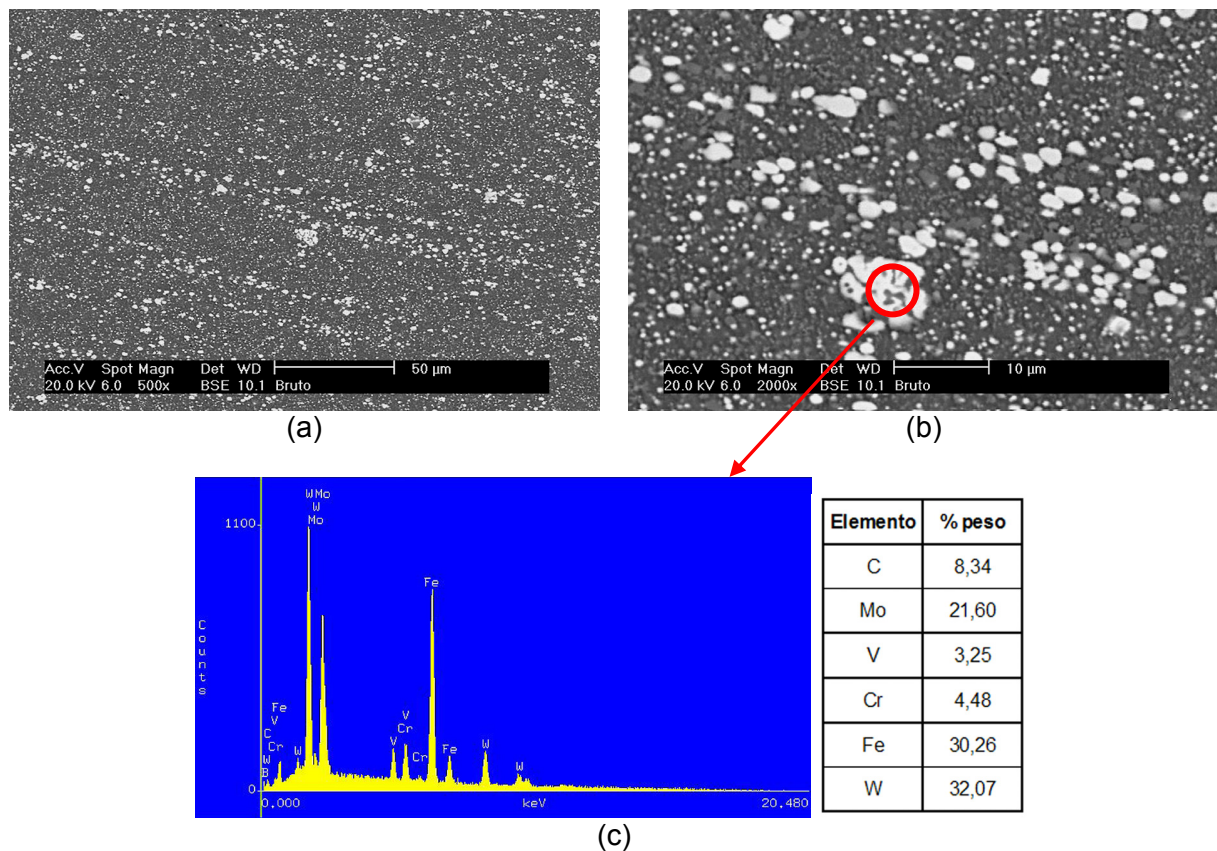


Figura 2. Microestrutura do aço AISI M2 no estado como recebido: a) 500X, b) 2000X (MEV, elétrons retroespalhados), c) resultados de microanálise química (EDS).

A literatura^(3,5) menciona que a fração volumétrica dos carbonetos varia entre 25 e 30% do volume total, sendo compostos por aproximadamente 16% de carbonetos do tipo M_6C , 9% do tipo $M_{23}C_6$ (ricos em cromo) e 3% do tipo MC (ricos em vanádio). A matriz ferrítica geralmente apresenta pequenos teores de carbono, pois este se encontra combinado com os elementos formadores de carbonetos, ou seja, Cr, W, Mo e V.

Segundo Roberts e Cary,⁽⁶⁾ durante a etapa de austenitização ocorre dissolução total dos carbonetos primários do tipo $M_{23}C_6$. Os autores relatam também a dissolução parcial dos carbonetos dos tipos M_6C e MC, enquanto que a fração volumétrica total destes cai para valores em torno de 10%, compostos

aproximadamente de 8% de carbonetos do tipo M_6C e 2% do tipo MC. Para resfriamentos realizados em óleo, a matriz é composta por aproximadamente 80% de martensita, sendo os 20% restantes compostos por austenita retida, que será transformada nos tratamentos de revenimento subseqüentes.^(5,7)

Segundo Hoyle,⁽⁷⁾ o primeiro estágio de revenimento tem por objetivos principais o amolecimento da martensita transformada, por meio do alívio de tensões, da perda da tetragonalidade da estrutura martensítica e do rearranjo de discordâncias, e o endurecimento secundário por meio da precipitação de carbonetos dos tipos M_2C e MC. A precipitação de carbonetos na austenita retida torna a mesma apta para a posterior transformação em martensita durante o subseqüente resfriamento. Deste modo, revenimentos adicionais são necessários para o alívio de tensões da martensita secundária que foi formada durante o primeiro revenimento.

Na Figura 3 são apresentadas microestruturas típicas de corpos de prova tratados termicamente. De uma maneira geral, o aumento da temperatura e do tempo de austenitização provoca uma diminuição da fração volumétrica de carbonetos primários grosseiros e aumento da quantidade e tamanho dos carbonetos do tipo MC ou M_2C , que causam endurecimento secundário. Estes carbonetos apresentam-se distribuídos de maneira mais homogênea.

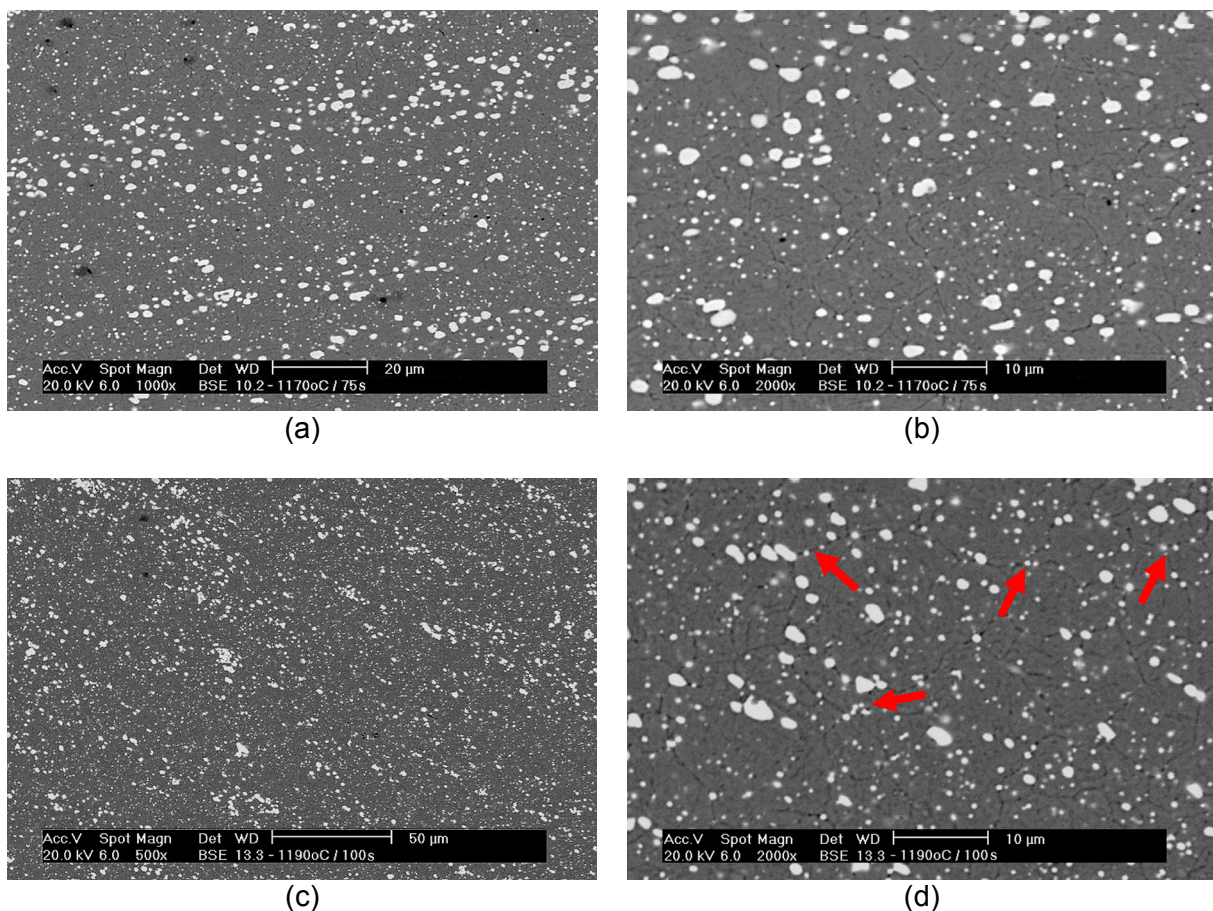


Figura 3. Microestrutura do aço AISI M2 após tratamentos térmicos: a) 1170°C/75s, 1000X; b) 1170°C/75s, 2000X; c) 1190°C/100s, 500X; d) 1190°C/100s, 2000X, notar o fenômeno de marcação de contornos de grão. MEV, elétrons retroespalhados (BSE).

3.4 Ensaio de Flexão

Os valores de tensão de ruptura em flexão (MPa) e deformação específica (%), obtidos nos ensaios de flexão em quatro pontos, são apresentados na Tabela 4. Os valores listados constituem a média de três amostras ensaiadas. Também são fornecidos os respectivos desvios-padrão para as tensões de ruptura. Observa-se que a tensão de ruptura varia entre 2239 MPa, para o CP austenitizado a 1150°C por 100 s, e 4057 MPa, para o CP austenitizado a 1170°C por 75 s. Estes corpos de prova apresentam deformações específicas de 3,7 e 6,9%, respectivamente.

Tabela 4. Tensão de ruptura (MPa) e deformação específica (%) obtidos durante os ensaios de flexão em quatro pontos.

CP	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação Específica (%)
1	2655 ± 123	4,5
2	2329 ± 696	4,1
3	2239 ± 125	3,7
4	2253 ± 146	3,8
5	4057 ± 219	6,9
6	4006 ± 193	6,9
7	3953 ± 448	7,2
8	3568 ± 233	5,8
9	3350 ± 341	5,3

Os valores de tensão de ruptura em flexão, em função dos tempos de austenitização, para as três temperaturas de austenitização utilizadas, são representados graficamente na Figura 4.

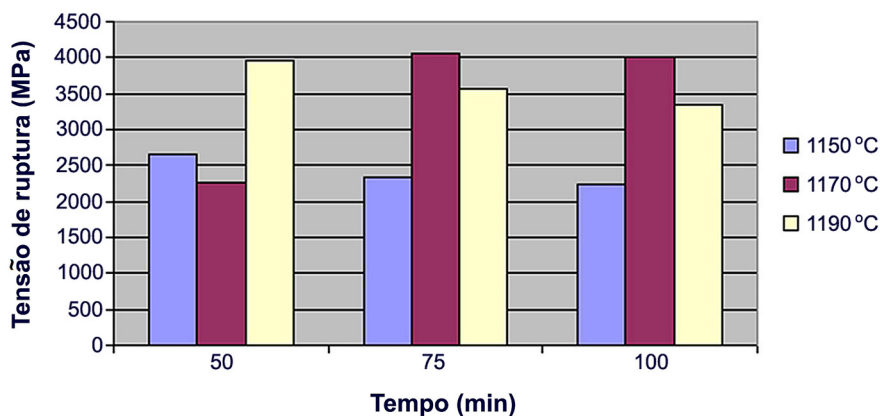


Figura 4. Variação da tensão de ruptura em flexão para o aço AISI M2 em função dos tempos e temperaturas de austenitização.

Os corpos de prova austenitizados a 1170°C, durante 75 e 100 s, e a 1190°C, durante 50 s, apresentam os maiores valores de tensão de ruptura. Pode-se afirmar que estes são os tempos e temperaturas de austenitização mais adequados à obtenção de elevada tenacidade no aço AISI M2, para as condições de revenimento utilizadas. Estas amostras apresentam, de uma maneira geral, uma microestrutura caracterizada por uma menor fração volumétrica de carbonetos primários e pela presença de carbonetos secundários finos e distribuídos homoganeamente, tal como

mostrado nas micrografias das Figuras 3a e 3b. Estas características podem ser consideradas as principais responsáveis pela maior tenacidade apresentada por estas amostras.

Como descrito anteriormente, os carbonetos primários encontram-se agrupados em bandas, dispostas paralelamente em relação à direção de deformação. Maiores temperaturas e tempos de austenitização causaram diminuição da quantidade destes carbonetos e aumento da quantidade e tamanho dos carbonetos secundários. A queda dos valores de tensão de ruptura para as temperaturas e tempos de austenitização mais elevados pode estar associada à precipitação de carbonetos secundários nos contornos de grão (marcação de contornos), tal como mostrado na micrografia da Figura 3d, em amostra austenitizada a 1190°C durante 100 s.

Segundo Fischmeister,⁽⁸⁾ para aços rápidos com dureza acima de 60 HRC a tenacidade à fratura pode ser considerada uma propriedade da matriz. Isto se deve, principalmente, à pequena zona plástica presente na ponta da trinca. Entretanto, a tenacidade do material pode ser severamente afetada pela existência de um defeito nucleador de trincas. Entre estes defeitos pode-se citar, por exemplo, poros, inclusões ou carbonetos grosseiros. Grandes frações de carbonetos grosseiros, dispostos de maneira heterogênea na microestrutura, podem reduzir a tenacidade dos aços rápidos.

4 CONCLUSÕES

As principais conclusões do presente estudo são as seguintes:

- 1) As temperaturas e tempos de austenitização utilizados permitiram a obtenção de uma ampla faixa de valores de dureza, variando entre 59 e 64 HRC. Os valores de dureza aumentaram para maiores temperaturas e tempos de austenitização. A temperatura de austenitização mostrou ter maior influência sobre a dureza final do material;
- 2) O aço AISI M2 no estado recozido possui uma microestrutura caracterizada pela presença de carbonetos primários grosseiros, agrupados em bandas ("stringers"), preferencialmente alinhados com a direção de deformação;
- 3) Pode-se afirmar que maiores tempos e temperaturas de austenitização acarretam diminuição da quantidade e tamanho dos carbonetos primários, enquanto a fração de carbonetos que causam endurecimento secundário aumenta. Estes se encontram distribuídos de maneira mais homogênea e apresentam morfologia mais próxima à esférica;
- 4) Os corpos de prova austenitizados a 1170°C, durante 75 e 100 s, e a 1190°C, durante 50 s, apresentam os maiores valores de tensão de ruptura. Pode-se afirmar que estes são os tempos e temperaturas de austenitização mais adequados à obtenção de elevada tenacidade no aço AISI M2, para as condições de revenimento utilizadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Sociedade Educacional de Santa Catarina - SOCIESC, em especial à sua área de tratamento térmico, pelo suporte e pela oportunidade de desenvolver o presente trabalho. À Embraco S.A., pelas análises de microscopia eletrônica de varredura.

REFERÊNCIAS

- 1 SILVA, A. L.; MEI, P. R. Tecnologia dos aços. 1. ed. São Paulo: Hamburg, 1981.
- 2 CHIAVERINI, V. Aços e ferros fundidos. 7. ed. São Paulo: ABM, 2003.
- 3 MAGNABOSCO, R. Relação entre estrutura e propriedades de aços rápidos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1999.
- 4 RIBEIRO, M. A.; SPECKHAHN, M. B. Influência da temperatura e do meio de resfriamento na microestrutura e propriedades mecânicas do aço ABNT/AISI M2. Joinville: SOCIESC, 2003.
- 5 MAGNABOSCO, R. et al. Tratamento térmico em aço rápido ABNT M2. In: XV COBEM (Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica), 22 a 26 de novembro de 1999 (Anais em CD-ROM).
- 6 ROBERTS, G. A.; CARY, R. A. Tool steels. Metals Park: ASM, 4. ed., 1980.
- 7 HOYLE, G. High Speed Steel. London, 1988.
- 8 METALS HANDBOOK. Tool materials. USA: ASM, 1986.