

Tema: Tratamento Térmico

## EFEITO DAS CONDIÇÕES DE TÊMPERA NA MICROESTRUTURA E NA DUREZA DO AÇO AISI M2\*

*Aline Silva Magalhães<sup>1</sup>*  
*Grazielle Gianini Braga Maria<sup>2</sup>*  
*Suzanny Cristina Soares Martins<sup>3</sup>*  
*Tâmisa Eleutério Silva<sup>4</sup>*  
*Wellington Lopes<sup>5</sup>*  
*Elaine Carballo Siqueira Corrêa<sup>6</sup>*

### Resumo

Os aços rápidos são assim chamados por sua capacidade de reter elevadas durezas mesmo quando submetidos a altas temperaturas, em geral decorrentes de elevadas velocidades de corte no processo de usinagem. No entanto, para que esses aços apresentem as propriedades mencionadas, faz-se necessária a combinação adequada da composição química e dos parâmetros dos tratamentos térmicos. Dentro deste contexto, o objetivo do trabalho é avaliar os efeitos da temperatura de austenitização e do tempo de encharque na têmpera na microestrutura e na dureza do aço rápido AISI M2, ligado ao tungstênio e ao molibdênio. As análises foram conduzidas através de testes de dureza e microscopias óptica e eletrônica de varredura, além de difração por raios-x, considerando três temperaturas e três tempos de austenitização. Foi observado que, de maneira geral, os valores de dureza aumentaram com a elevação da temperatura de austenitização para os três diferentes tempos de encharque utilizados, de forma concomitante com a redução na quantidade de carbonetos dispersos na matriz martensítica.

**Palavras-chave:** Aço rápido; Tratamento térmico; Microestrutura; Dureza.

### EFFECT OF QUENCHING PARAMETERS IN THE MICROSTRUCTURE AND THE HARDNESS OF AISI M2 HIGH SPEED STEEL

#### Abstract

The high speed steels are known for their ability to retain high hardness values even when subjected to high temperatures, usually resulting from high shear rates in the machining process. However, for the high speed steel having the aforementioned properties, it is necessary the combination of adequate chemical composition and heat treatment parameters. The aim of this work is to evaluate the effects of austenitizing temperature and soaking time in quenching in the microstructure and hardness of the AISI M2 high speed steel, whose chemical composition involves tungsten and molybdenum. The analyzes were conducted by in terms of hardness and optical and scanning electronic microscopy. Three austenitizing temperatures and three soaking times were considered. It was observed that, in general, hardness values increased with austenitizing temperature, as well as the amount of carbides dispersed in the martensitic matrix diminished.

**Keywords:** High speed steel; Heat treatment; Microstructure; Hardness.

<sup>1</sup> Eng. Materiais, Mestranda Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>2</sup> Eng. Materiais, Mestranda Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>3</sup> Eng. Materiais, Mestranda Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>4</sup> Eng. Materiais, Mestranda Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>5</sup> Eng. Mecânico, Dr., Professor, Depto. Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>6</sup> Eng. Mecânica, Dra., Professora, Depto. Eng. Materiais, CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, Brasil

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Os aços rápidos constituem o principal grupo de aços para aplicação em ferramentas de corte devido às suas propriedades, destacando-se elevada resistência ao desgaste, alta tenacidade, considerável dureza após têmpera e retenção de dureza a quente [1-3].

A possibilidade de suportar elevadas velocidades de corte e pesados avanços [4], que é a principal característica dos aços rápidos, relaciona-se diretamente com a dureza do material, principalmente a altas temperaturas, nas quais o mesmo deve resistir ao amaciamento, mantendo a sua capacidade de corte [3,5].

As propriedades mencionadas estão associadas a tendência à formação de carbonetos complexos, devido à presença de determinados elementos de liga, como tungstênio, molibdênio cromo e vanádio [6-9]. A formação de tais carbonetos é potencializada pelo aumento do percentual de carbono, conferindo maior dureza e melhorando a resistência ao desgaste dos aços ferramenta [3].

De maneira geral, a obtenção das melhores propriedades mecânicas dos aços rápidos se dá quando a microestrutura se apresenta homogênea no que se refere à distribuição dos carbonetos na matriz [10,11]. No entanto, ainda de acordo com Serna (2009), a obtenção dessa microestrutura é dificultada pelo fato de que a formação dos carbonetos se dá em várias fases do processamento do aço rápido.

Os fatores que influenciam na formação de carbonetos em aços rápidos, e conseqüentemente, na microestrutura e nas propriedades desenvolvidas nos mesmos, são a composição química, a taxa de resfriamento na solidificação e os parâmetros de tratamentos térmicos [6]. Segundo Bochnowski *et al* (2003), tais fatores podem alterar a fração de volume de carbonetos presentes, o tamanho, a morfologia e a forma como eles estão distribuídos sobre a matriz.

Considerando especificamente os aços rápidos ao molibdênio, que compõem a classe M e dentre os quais se destaca o aço AISI M2, o elemento em questão substitui parcialmente o tungstênio, formando carbonetos complexos e, por possuir menor peso atômico, possibilita, quando acrescentado na mesma proporção que o tungstênio, disponibilização do dobro de átomos para se ligar ao aço [3]. Com isso, segundo Chiaverini (1996), 8 a 9,5% de molibdênio podem substituir cerca 18 a 20 % de tungstênio na composição de um aço rápido ao molibdênio.

Dentro deste contexto, o objetivo do presente trabalho foi analisar os efeitos de parâmetros do tratamento térmico de têmpera, como temperatura de austenitização e tempo de encharque, na microestrutura e na dureza do aço rápido ao molibdênio AISI M2.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi um aço rápido equivalente ao AISI M2, cuja composição química (% em peso), fornecida pelo fabricante, é apresentada na tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química informada pelo fornecedor do aço rápido AISI M2 (% em peso)

C	Cr	Mo	V	W
0,9%	4,1%	5,0%	1,9%	6,4%

Fonte: Schmolz – Bickenback [13].

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Após a preparação das amostras, tratamentos térmicos de têmpera com resfriamento em óleo foram conduzidos em um forno elétrico da marca Brasimet, considerando os parâmetros exibidos na Tabela 2. Posteriormente aos mesmos, foram realizadas as etapas de determinação da dureza e caracterização microestrutural, observando as fases e os constituintes desenvolvidos.

**Tabela 2.** Condições de tratamento térmico utilizadas variando temperatura e tempo de encharque

Temperaturas	Tempos de encharque
1000°C	10 min, 20 min, 60 min
1100°C	10 min, 20 min, 60 min
1200°C	10 min, 20 min, 60 min

A análise da dureza foi realizada através de ensaios de microdureza Vickers, conduzidos em um microdurômetro marca Shimadzu modelo HMV 2T. Foram empregadas ao menos duas amostras para cada condição, seccionadas na seção transversal após os tratamentos e posteriormente lixadas, sendo realizados 10 testes em cada, com carga de 0,5kgf e tempo de aplicação de 15s. Ressalta-se que, apesar de tratar-se de um equipamento de microdureza, a carga escolhida foi tal que os ensaios foram realizados em porções significativas do material, envolvendo a presença de martensita e carbonetos, dentre outros, podendo assim, os resultados serem considerados similares aos de macrodureza.

A caracterização microestrutural envolveu a análise através de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios-x.

As análises metalográficas permitiram observar de maneira detalhada a microestrutura do material, os constituintes e a morfologia resultante dos tratamentos térmicos empregados. As amostras foram preparadas por meio do procedimento convencional, envolvendo corte após os tratamentos, embutimento a frio, lixamento e polimento com pasta de diamante e ataque químico com o reagente Nital 10%.

A microscopia óptica foi realizada em um microscópio da marca Fortel e a microscopia eletrônica de varredura em um microscópio da marca *Hitachi* modelo TM3000.

A difração de raios-X foi conduzida em um difratômetro com alvo metálico de cobre com ângulo de varredura entre 10° a 100° e passo de 0,02s<sup>-1</sup>. Para esses ensaios, as amostras foram preparadas por meio de corte, lixamento e polimento.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

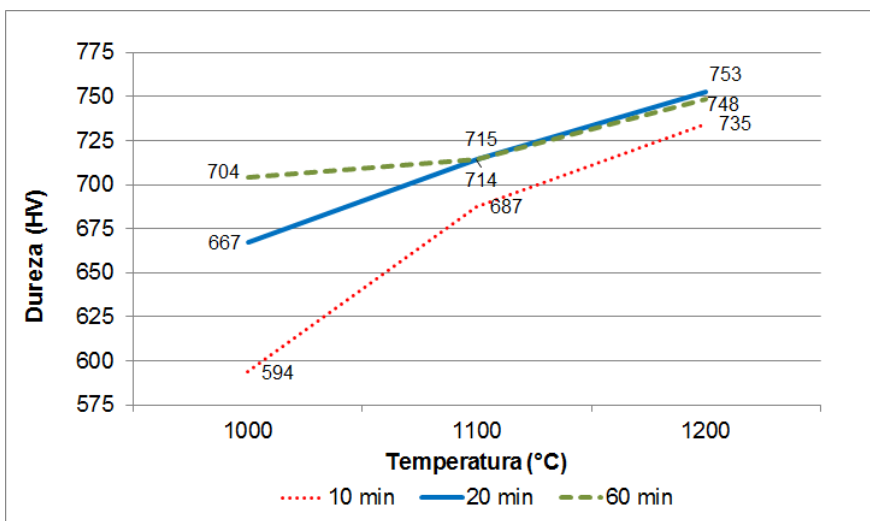
Os resultados dos ensaios de dureza Vickers do aço AISI M2 após os tratamentos térmicos são apresentados na Figura 1.

Pode-se observar que, de maneira geral, o aumento da temperatura de austenitização levou à elevação dos valores de dureza para os três tempos de encharque empregados, sendo esse aumento mais acentuado para o tempo de 10 minutos.

Em relação ao encharque, verifica-se que o efeito do tempo é mais pronunciado para a temperatura de austenitização mais baixa, caracterizando um aumento dureza com o mesmo. Por outro lado, para as demais temperaturas, observa-se elevação significativa nos valores de dureza apenas ao passar do tempo de encharque de 10 minutos para 20 minutos.

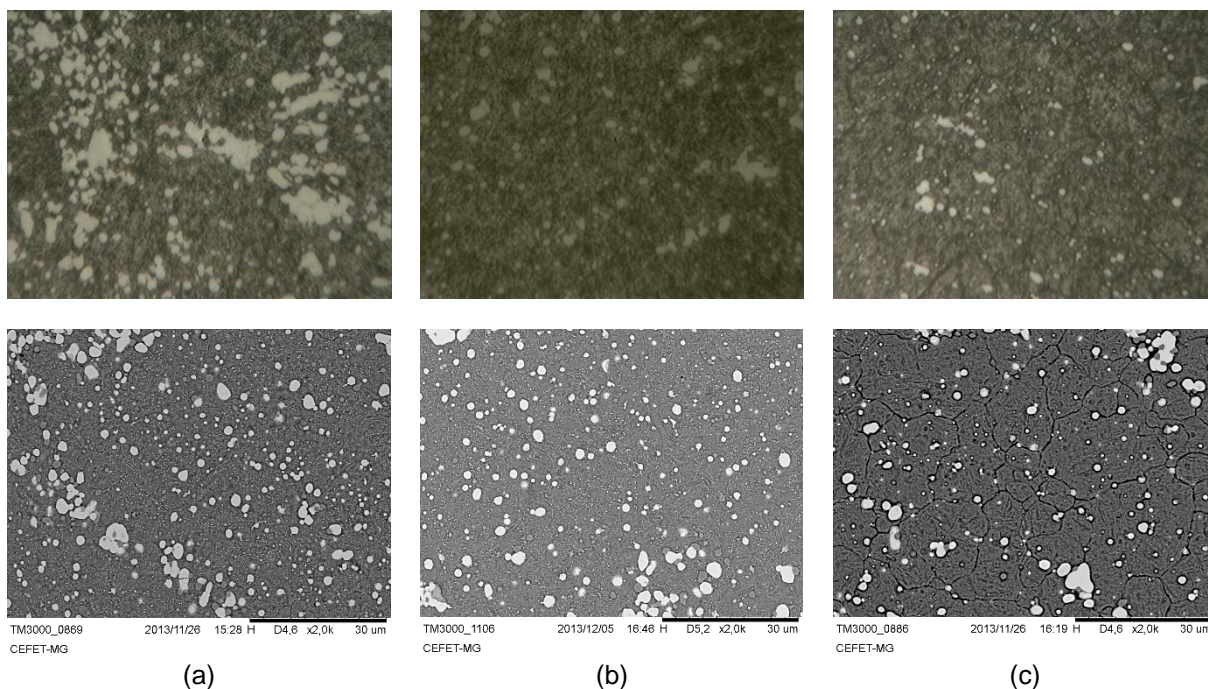
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.





**Figura 1.** Gráfico comparativo das durezas apresentadas das amostras resfriadas em óleo relacionando a temperatura e o tempo de encharque

Nas Figuras 2, 3 e 4 podem ser observadas as fotomicrografias obtidas por microscopia ótica (MO) e microscopia eletrônica de varredura (MEV) do aço AISI M2 desenvolvidas após as diversas condições de tratamento térmico aplicado (Tabela 2).

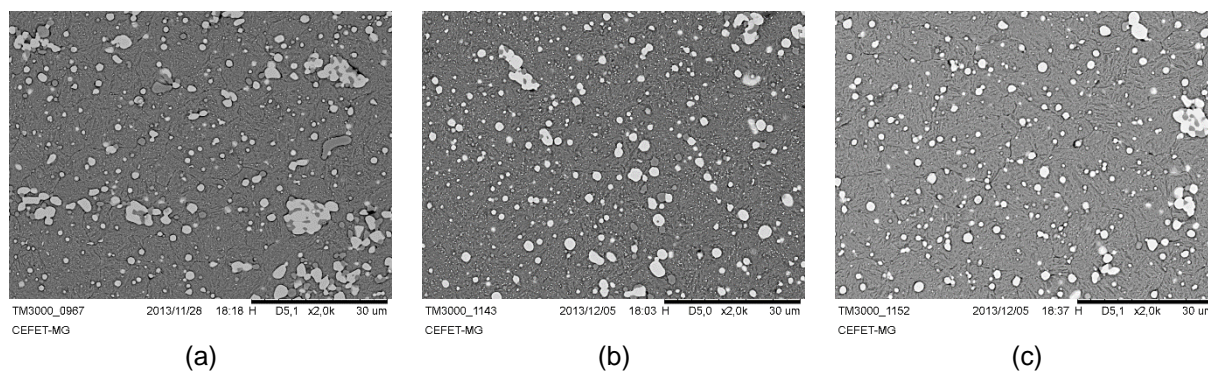


**Figura 2.** Fotomicrografias (MO e MEV) do Aço AISI M2 temperados em óleo com 1000°C para tempos de encharque distintos: (a) 10 min e (b) 20 min e (c) 60 min.



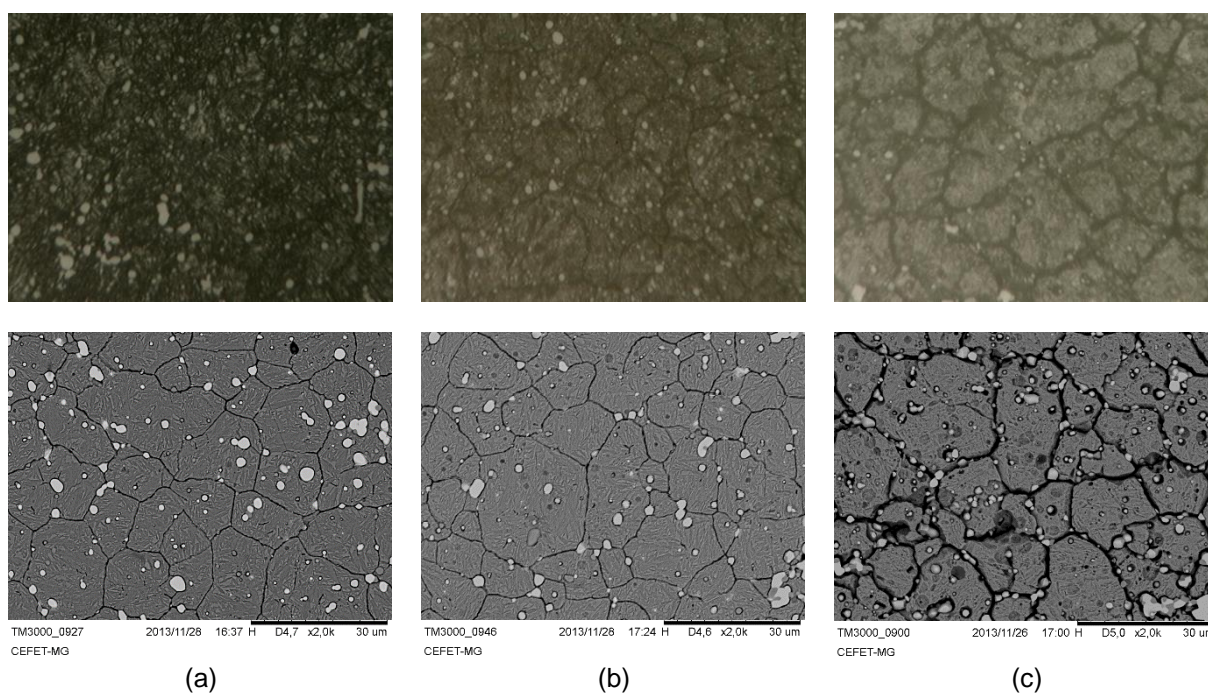
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.





**Figura 3.** Fotomicrografias (MO e MEV) do Aço AISI M2 temperados em óleo com 1.100°C para tempos de encharque distintos: (a)10 min e (b) 20 min e (c) 60 min.

Nota-se, em geral, uma estrutura com a presença acentuada de carbonetos (pontos mais claros) dispersos sobre uma matriz de martensita, o que vai ao encontro com a literatura [14].



**Figura 4.** Fotomicrografias (MO e MEV) do aço AISI M2 temperado em óleo com 1200°C para tempos de encharque distintos: (a)10 min e (b) 20 min e (c) 60 min.

A morfologia dos carbonetos pode ser analisada de maneira mais nítida por meio das imagens de MEV, que demonstram uma estrutura apontada como globular e com variações no seu tamanho. Tal análise é reiterada na literatura, que cita os carbonetos dos tipos MC e  $M_{23}C_6$  como característicos de materiais com composição química contendo vanádio, cromo, molibdênio, e tungstênio e com a morfologia apresentada [15].

Em relação ao efeito dos parâmetros de tratamento, observa-se que, em geral, o aumento do tempo de encharque resultou em uma aparente diminuição na quantidade de carbonetos, principalmente para as temperaturas de 1.000°C e 1.100°C.

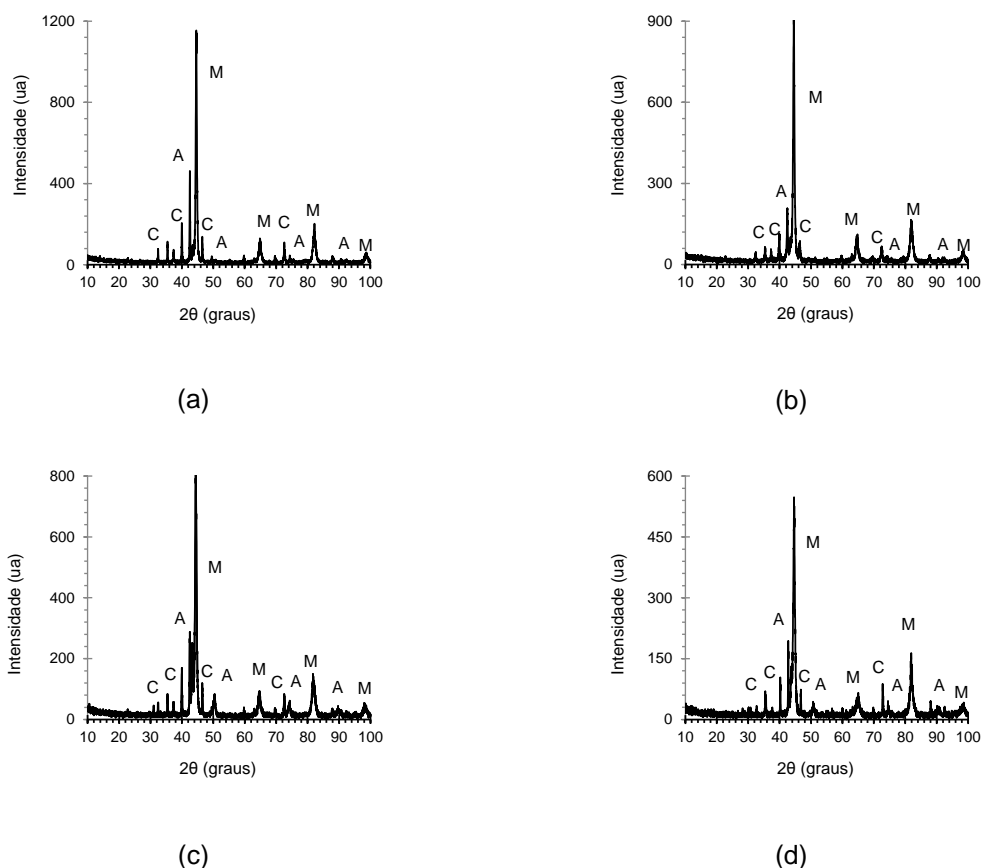
Considerando a temperatura de austenitização, comportamento similar é verificado, ou seja, de maneira geral, a elevação na temperatura parece levar à redução na

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

quantidade de carbonetos, especialmente ao comparar os resultados observados para o material temperado a 1.000°C e 1.200°C.

Relacionando os valores de dureza com as micrografias exibidas, verifica-se que o aumento da mesma com a elevação da temperatura de austenitização e do tempo de encharque pode estar relacionado com a dissolução dos carbonetos na matriz, levando à formação de uma quantidade maior de martensita, que exibiria ainda maior teor de carbono.

Na Figura 5 são apresentados os difratogramas das amostras nas temperaturas de 1.000°C e 1.200°C e tempos de encharque de 10 e 60 minutos.



**Figura 5.** Difratogramas do aço AISI M2 temperado em óleo em temperaturas e tempos de encharque distintos: (a) 1.000°C/10 min, (b) 1.000°C/60 min, (c) 1.200°C/10 min e (d) 1.200°C/60 min.

Verifica-se a presença de picos característicos de martensita (M), austenita (A) de carbonetos (C), resultado de acordo com os trabalhos desenvolvidos por Herranz et al (2014), Akbari et al (2010), Dobrzanski et al (2004) e Moon et al (2008). Observa-se que o aumento na temperatura de austenitização parece promover uma elevação na proporção de austenita retida, considerando os dois tempos de encharque. Esse fenômeno estaria de acordo com a análise das micrografias, que indicaram uma redução na quantidade de carbonetos, uma vez que a dissolução dos mesmos levaria a um maior teor de carbono na austenita antes do resfriamento e, dessa forma, resultaria em mais austenita retida ao final do tratamento.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

## 4 CONCLUSÃO

De maneira geral, a dureza do aço rápido AISI M2 aumentou com a temperatura de austenitização. Em relação ao tempo de encharque, a elevação nos valores de dureza foi observada de forma clara ao passar de 10 minutos para 20 minutos.

As fotomicrografias revelaram, para as diversas condições de tratamento térmico, a ocorrência de estrutura martensítica e a presença de carbonetos, cuja quantidade pareceu diminuir com o aumento do tempo de encharque e com a elevação da temperatura de austenitização. Os difratogramas corroboraram com os resultados das fotomicrografias, evidenciando ainda a presença de austenita retida.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à agência de fomento CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) pelas bolsas.

## REFERÊNCIAS

- Herranz G, Romero A, Castro V, Rodríguez G.P. Processing of AISI M2 high speed steel reinforced with vanadium carbide by solar sintering. *Materials and Design*, 2014; 54: 934-946.
- Pippel E, Woltersdorf J, Pockl G, Lichtenegger G. Microstructure and nanochemistry of carbide precipitates in high-speed steel S 6-5-2-5. *Materials Characterization*, 1999; 43: 41-55.
- Chiaverini V. Aços e ferros fundidos. 7 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 1996. 599p.
- Li HY, Luo DF, Lau KH, Yeung CF. Use of low carbon/high ductile high-speed steel to make cutting-tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002; 122: 179-184.
- Coutinho CB. *Materiais metálicos para engenharia*. Belo Horizonte: UFMG: Fundação Christiano Ottoni, 1992. 405 p.
- Chaus AS, Dománková M. Precipitation of secondary carbides in M2 high-speed steel modified with Titanium diboride. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2013; 22: 1402-1420.
- Zhou XF, Fang F, Li F, Jiang JQ. Morphology and microstructure of M<sub>2</sub>C carbide formed at different cooling rates in AISI M2 high speed steel. *Journal of Materials Science*, 2011; 46: 1196-1202.
- Zhang G, Yuan H, Jiao D, Li Z, Liu Z. Microstructure evolution and mechanical properties of T15 high speed steel prepared by twin-atomiser spray forming and thermo-mechanical processing. *Materials Science & Engineering A*, 2012; 558: 566-571.
- Xu L, Xing J, Wei S, Zhang Y, Long R. Study on relative wear resistance and wear stability of high-speed steel with high vanadium content. *Wear*, 2007; 262: 253-261.
- Suchánek J, Kuklík V. Influence of heat and thermochemical treatment on abrasion resistance of structural and tool steels. *Wear*, 2009; 267: 2100-2108.
- Serna MM, Rossi JL. MC complex carbide in AISI M2 high speed steel. *Materials Letters*, 2009; 63, 2009: 691-693.
- Bochnowska W, Leitner H, Major L, Ebner R, Major B. Primary and secondary carbides in high-speed steels after conventional heat treatment and laser modification. *Materials Chemistry and Physics*, 2003; 81: 503-506.
- Schmolz, Bickenbach. Rapidur 3343. Catálogo do Fabricante. Disponível em: <[http://www.schmolz-bickenbach.com.br/fileadmin/files/schmolz-bickenbach.com.br/documents/Fichas\\_Tecnicas\\_novo\\_formato\\_dez2011/Acos\\_rapidos/Rapidur\\_3343.pdf](http://www.schmolz-bickenbach.com.br/fileadmin/files/schmolz-bickenbach.com.br/documents/Fichas_Tecnicas_novo_formato_dez2011/Acos_rapidos/Rapidur_3343.pdf)>. Acesso em: 23 mar. 2013.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



- 14 ASM Handbook. Metallography and microstructures. Ohio: ASM International, 2004. 1184p.
- 15 Vitry V, Nardone S, Breyer JP, Sinnaeve M, Delaunois F. Microstructure of two centrifugal cast high speed steels for hot strip mills applications. *Materials and Design*, 2012; 34: 372-378.
- 16 Akbari A, Mohammadzadeh R, Templier C, Rivieri JP. Effect of the initial microstructure on the plasma nitriding behavior of AISI M2 high speed steel. *Surface & Coatings Technology*, 2010; 204: 4114–4120.
- 17 Dobrzanski LA, Matula G, Varez A, Levenfeled B, Torralba JM. Fabrication methods and heat treatment conditions effect on tribological properties of high speed steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004; 157: 324–330.
- 18 Moon HK, Lee KB, Kwon H. Influences of Co addition and austenitizing temperature on secondary hardening and impact fracture behavior in P/M high speed steels of W–Mo–Cr–V(–Co) system. *Materials Science and Engineering A*, 2008; 474: 328–334.

---

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*