

# EFEITO DO RECOZIMENTO DE TRANSFORMAÇÃO NO TAMANHO DE GRÃO DO AÇO RÁPIDO M3-2 SINTERIZADO A VÁCUO <sup>(1)</sup>

*Rejane Aparecida Nogueira <sup>(2)</sup>  
Oscar Olimpio de Araújo Filho <sup>(2)</sup>  
Maurício David Martins das Neves <sup>(2)</sup>  
Odília Cordeiro de Souza Ribeiro <sup>(2)</sup>  
Francisco Ambrozio Filho <sup>(2)</sup>*

## Resumo

O tipo de recozimento dado a aços rápidos antes do endurecimento tem uma grande influência no tamanho médio de grão austenítico e, conseqüentemente, na sua microestrutura e propriedades finais. Neste trabalho, foi feita uma avaliação da influência do recozimento de transformação aplicado antes do tratamento térmico de têmpera no tamanho médio de grão austenítico do aço rápido M3-2 sinterizado a vácuo. Este recozimento consiste no aquecimento lento das amostras até 870°C, ai permanecendo por cerca de 2 horas, seguido de resfriamento até 760°C, conservadas nesta temperatura por 4 horas e, em seguida, resfriadas ao ar. Na seqüência as amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de têmpera às temperaturas de: 1135, 1140, 1160, 1180, 1185, 1200, 1210 e 1235°C. O tamanho médio de grão austenítico foi determinado por meio de microscopia eletrônica de varredura e método analítico digital de imagens "Quantikov". Observou-se que, as amostras do aço M3-2 sinterizadas a vácuo sem prévio recozimento de transformação, apresentaram, um crescimento excessivo de grão com o aumento da temperatura de têmpera e fraturas tipo escama de peixe. Com relação às amostras sinterizadas a vácuo, recozidas e temperadas, constatou-se que, o aumento da temperatura de têmpera não resultou em crescimento de grão.

**Palavras-chave:** Aços rápidos; Tratamento térmico; AISI M3-2; Tamanho de grão austenítico.

<sup>1</sup> 60º Congresso da Associação Brasileira de Metais (ABM) realizado de 25 a 28 de julho de 2005 em Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Dra. Rejane Aparecida Nogueira, MSc. Oscar Olimpio de Araújo Filho, MSc. Maurício David Martins das Neves, Bel. Odília Cordeiro de Souza Ribeiro <sup>(2)</sup>, Dr. Francisco Ambrozio Filho são do Departamento de Ciência e Tecnologia de Materiais (CCTM) do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen).

## INTRODUÇÃO

O tratamento térmico de aços rápidos é, geralmente, mais complexo do que o de aços convencionais devido à sua microestrutura. Um volume considerável de carbonetos está sempre presente na microestrutura dos aços rápidos exercendo uma influência direta nas propriedades e na composição final da matriz, dependendo do grau de dissolução durante o tratamento térmico. Alguns carbonetos permanecem insolúveis acima da temperatura “solidus” sendo chamados carbonetos de alta temperatura ou primários, formados durante a solidificação e início do resfriamento, geralmente do tipo  $M_6C$  e  $MC$ , cuja quantidade e proporção relativa varia com a composição química do aço.

Os aços rápidos são sempre encontrados na condição endurecida, quando resfriados até a temperatura ambiente a partir da fusão ou do trabalho a quente. O primeiro tratamento térmico aplicado durante os estágios de processamento é o recozimento. Consta na literatura (1-4) que o tratamento prévio de recozimento permite obter além do alívio de tensões, um tamanho de grão austenítico ótimo e dureza adequada e, que a falta do recozimento pode ocasionar um crescimento excessivo de grão e a ocorrência de fraturas conhecidas como escama de peixe. O presente trabalho aborda o recozimento de transformação (transformation annealing). Neste recozimento as amostras são aquecidas lentamente a 840-870°C, mantidas por cerca de 2 horas, resfriadas até 760°C, conservadas a esta temperatura por 4 horas e, em seguida resfriadas ao ar. Após o recozimento a estrutura consiste de uma matriz ferrítica e carbonetos. A seqüência de tratamento térmico consiste de: austenitização, têmpera e revenimento. A microestrutura resultante é composta basicamente por carbonetos primários do tipo  $MC$  e  $M_6C$ , cuja principal função é fornecer proteção contra desgaste abrasivo e, uma matriz de martensita revenida reforçada por carbonetos finamente dispersos, que precipitam durante o revenido, num processo conhecido como endurecimento secundário. Este tratamento de endurecimento influencia o tamanho de grão austenítico e, conseqüentemente, a microestrutura e as propriedades das ferramentas. Neumeyer e Kasak (5) reportaram que o refinamento de grão austenítico melhorou significativamente a performance de ferramentas de aços rápidos em condição de usinagem intermitente e, que, em condição de usinagem contínua, o refinamento não apresentou efeito algum. Gill (6) constatou que o refinamento de grão foi responsável por um acentuado aumento da tenacidade de um aço rápido T1, submetido a testes de torção. Bungardt e Mülders (7) mostraram, também, que o refinamento progressivo do grão austenítico leva a um contínuo e substancial aumento na resistência à flexão de um aço rápido M2.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas amostras do aço rápido AISI M3-2 sinterizadas a vácuo em um forno “Metalmaster” do laboratório de metalurgia do pó do *ipen*. A composição química do aço é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química do aço M3-2 (% em peso)

<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>W</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Fe</b>
0,98	3,97	5,68	6,20	2,92	Bal.

As amostras foram preparadas a partir de pós do aço M3-2 atomizados a água, compactados em prensa uniaxial, com pressão de 700 MPa, com densidade a verde entre 70 e 75% da densidade real do material e sinterizadas sob vácuo, a temperatura de  $1263 \pm 3^\circ\text{C}$ . Devido à elevada velocidade de resfriamento utilizada após a sinterização a microestrutura resultante é composta por martensita, austenita retida e carbonetos. A seguir, foram cortadas na forma de pastilhas quadradas com 12,7 mm de lado e, na seqüência, submetidas a tratamentos térmicos de têmpera às temperaturas de: 1135, 1140, 1160, 1180, 1185, 1200, 1210 e  $1235^\circ\text{C}$ , mantidas à temperatura por três minutos antes do resfriamento ao ar para têmpera.

Para avaliação da microestrutura as amostras após têmpera foram polidas até pasta de diamante de  $1\mu\text{m}$ , atacadas com solução de 3% nital e observadas em microscópio eletrônico de varredura, com aumentos entre 500 e 1000X.

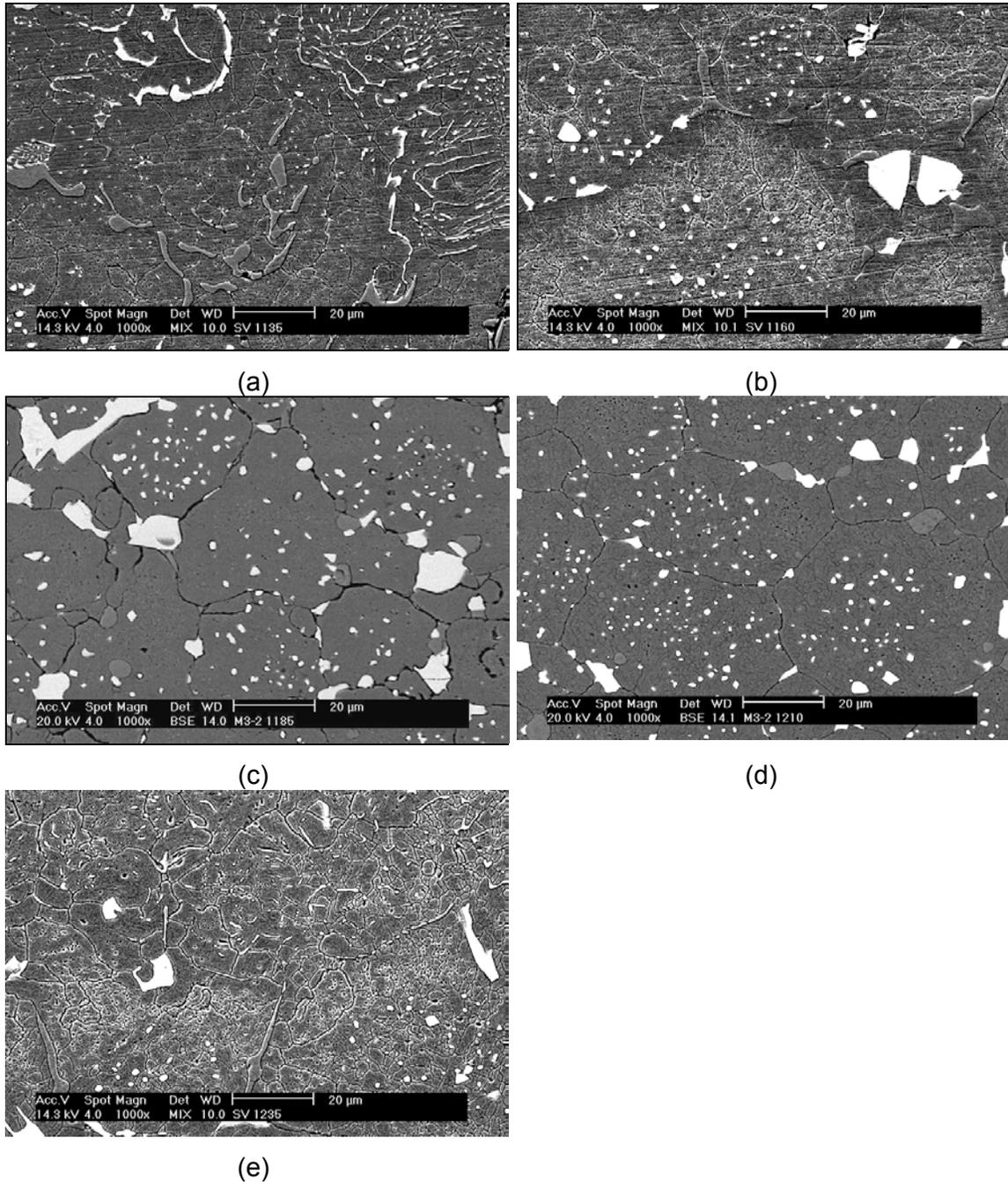
O tamanho médio de grão austenítico foi medido usando o método analítico digital, Quantikov (8). Este método foi desenvolvido para integrar recursos da plataforma "Windows" na análise de imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as microestruturas eletrônicas de varredura típicas das amostras do aço rápido M3-2 sinterizadas a vácuo, sem prévio tratamento térmico de recozimento de transformação, submetidas a tratamentos térmicos de têmpera às temperaturas de 1135, 1160, 1185, 1210 e  $1235^\circ\text{C}$ . Estas microestruturas revelam os contornos de grãos austeníticos existentes antes da têmpera, os carbonetos primários  $\text{M}_6\text{C}$  claros e  $\text{MC}$  escuros com tonalidade próxima à da matriz. Os carbonetos conforme esperado para amostras sinterizadas a vácuo são angulares e com geometria poligonal.

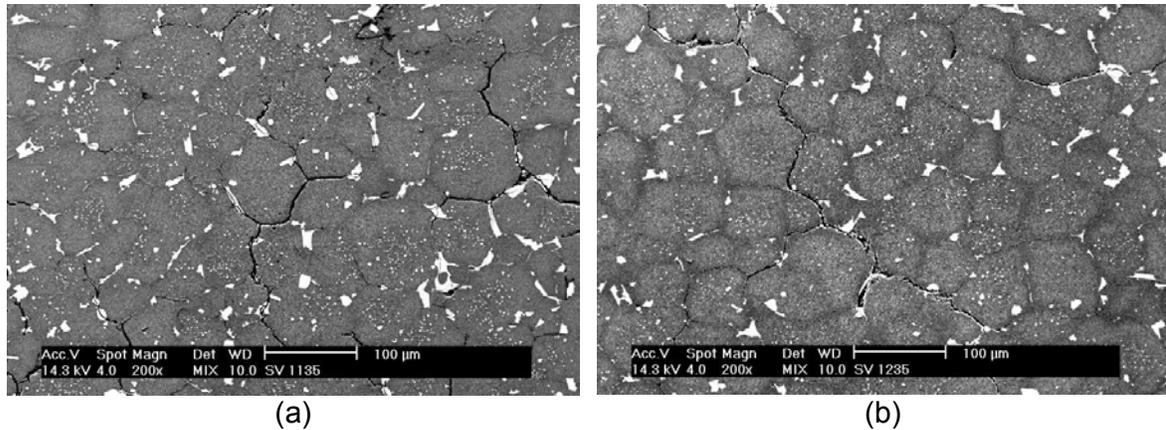
Na micrografia 1(a), observam-se carbonetos resultantes do processo de resfriamento na forma de partículas isoladas com forma anelar. Esta morfologia é, provavelmente, dependente da composição química local da matriz e da taxa de resfriamento.

Nas demais micrografias da Figura 1, pode-se notar os carbonetos em forma de esfera localizados em contornos e, no centro dos grãos. O carboneto predominante é do tipo  $\text{M}_6\text{C}$ . À medida que a temperatura aumenta observa-se uma diminuição da densidade dos carbonetos menores e a estrutura austenítica de grãos e subgrãos.



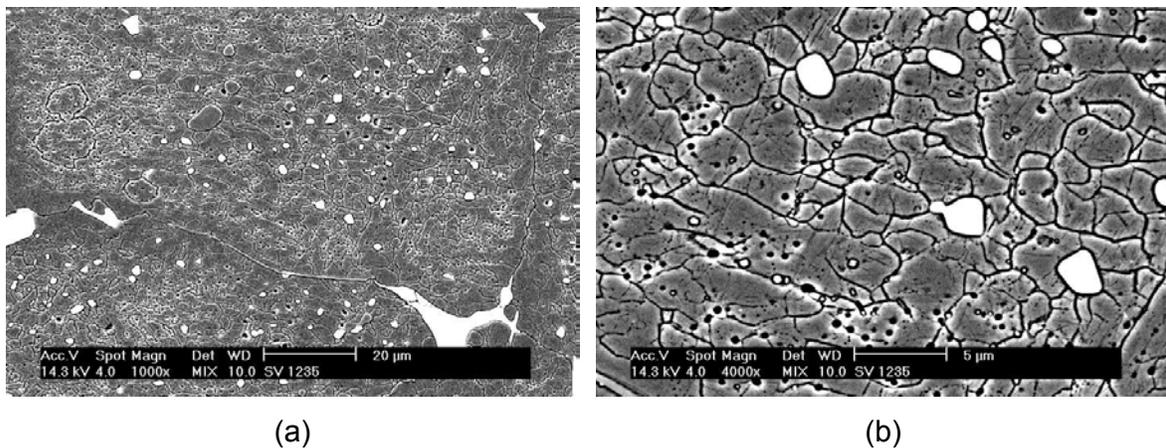
**Figura 1.** Micrografias eletrônicas de varredura das amostras do aço M3-2 sinterizadas a vácuo sem prévio tratamento térmico de recozimento, submetidas a tratamentos térmicos de têmpera às temperaturas de 1135 (a), 1160 (b), 1185 (c), 1210 (d), 1235(e).

Na Figura 2, as microcrografias do aço M3-2 sinterizado a vácuo, sem prévio recozimento, temperado a 1135°C (a) e 1235°C (b) apresentam fratura tipo escama de peixe, típica de materiais com alto grau de tensões internas.



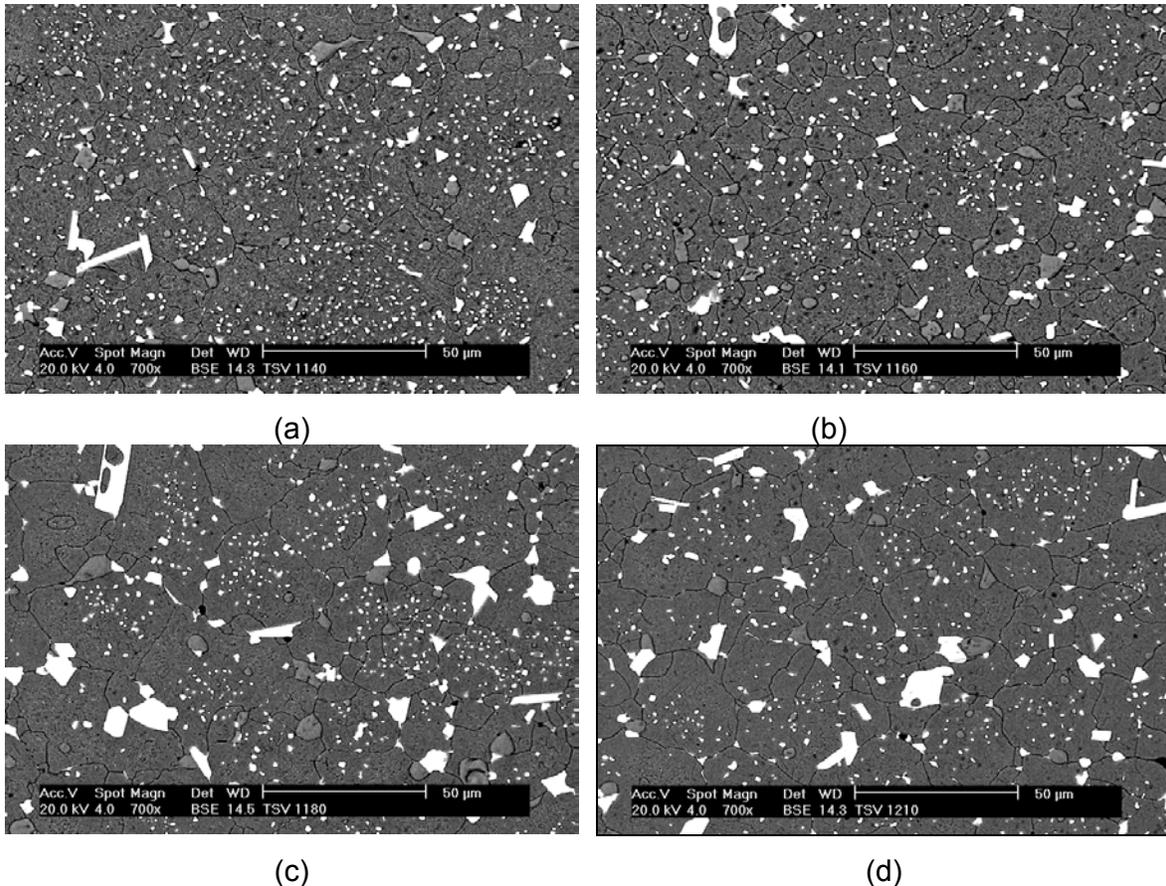
**Figura 2.** Micrografia do aço M3-2 sinterizado a vácuo, sem prévio recozimento, temperadas a 1135°C (a) e 1235°C (b) apresentando fratura tipo escama de peixe.

Na Figura 3 (a), micrografia do aço M3-2 sinterizado a vácuo, sem prévio recozimento, temperado a 1235°C, observa-se grão com células de deformação ou subgrãos no seu interior e, na 3 (b) tem-se uma visão das células com maior aumento.



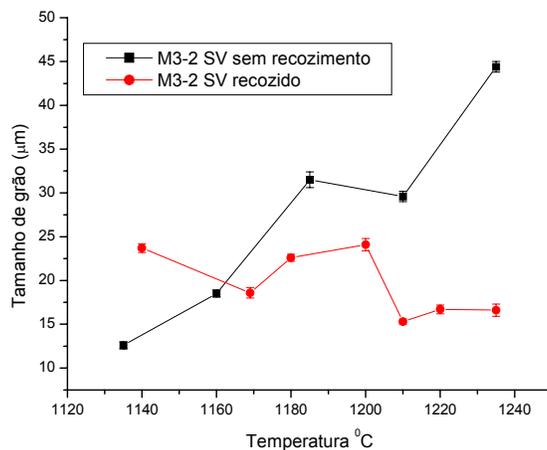
**Figura 3.** Micrografia do aço M3-2 sinterizado a vácuo, sem prévio recozimento, temperado a 1235°C, mostrando na micrografia (a) grão com células de deformação ou subgrãos no seu interior e, em (b) uma visão das células com maior aumento.

A Figura 4 apresenta as microestruturas típicas das amostras do aço rápido M3-2 sinterizadas a vácuo com tratamento térmico de recozimento, submetidas a tratamentos térmicos de têmpera às temperaturas de 1140 (a), 1160 (b), 1180 (c), 1200°C (d). Pode-se observar grãos austeníticos e carbonetos  $M_6C$  e  $MC$ , não se observa à presença de carbonetos anelares nem de subgrãos. Quando se comparam os carbonetos finos, localizados no interior dos grãos, para as quatro temperaturas de têmpera, pode-se constatar que eles são dissolvidos à medida que a temperatura aumenta

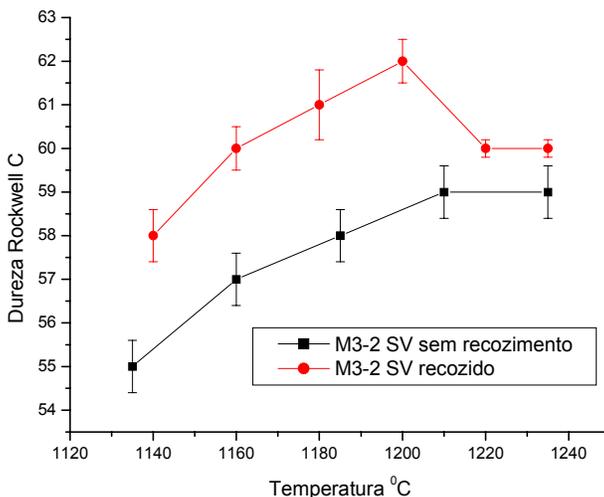


**Figura 4.** Microestruturas típicas das amostras do aço rápido M3-2 sinterizadas a vácuo submetidas a tratamento térmico de recozimento e de têmpera às temperaturas de 1140 (a), 1160 (b), 1180 (c), 1210°C (d).

Na Figura 5 pode-se observar o efeito determinante do recozimento prévio de transformação no tamanho médio de grão austenítico após tratamento de têmpera a diferentes temperaturas. Conforme descrito na literatura (1-4), durante o recozimento de transformação, os carbonetos secundários incluindo os que precipitam na região austenítica e os resultantes da decomposição da austenita têm como função reter os carbonetos primários e ancorar os contornos de grão austeníticos. Pode-se observar para as amostras sem recozimento, portanto, com alto grau de tensões internas e fração volumétrica de carbonetos secundários menor, que a partir de aproximadamente 1180°C a diferença de tamanho médio de grão se acentua. Próximo a 1200°C o tamanho médio de grão é cerca de 2 vezes maior que para as amostra tratadas, e a 1235°C atinge 2,7 vezes



**Figura 5.** Tamanho médio de grão das amostras do aço M3-2 sinterizadas a vácuo, com e sem recozimento térmico de transformação, em função da temperatura de têmpera.



**Figura 6.** Dureza das amostras do aço M3-2 sinterizadas a vácuo, com e sem recozimento térmico de transformação, em função da temperatura de têmpera.

Com relação à dureza observa-se que, para as amostras submetidas ao recozimento térmico de transformação, o valor médio de dureza Rockwell C é cerca de 3 pontos superior, para temperaturas de têmpera até 1200°C.

## CONCLUSÕES

1. O tratamento térmico de transformação é essencial para a melhoria das propriedades obtidas após tratamentos térmicos subseqüentes.
2. O recozimento de transformação que precede o tratamento de endurecimento convencional teve um efeito determinante no tamanho de grão austenítico final. Amostras recozidas apresentaram um tamanho médio de grão menor.

3. O aumento da temperatura de têmpera propiciou um aumento exagerado no tamanho médio de grão austenítico para as amostras sem recozimento de transformação, próximo a 1200°C o tamanho médio de grão é cerca de 2 vezes maior que para as amostras tratadas, e a 1235°C atinge 2,7 vezes.
4. Para as amostras recozidas e temperadas o aumento da temperatura de tempera resultou em uma dissolução dos carbonetos finos localizados dentro dos grãos.
5. Com relação à dureza observa-se que, para as amostras submetidas ao recozimento térmico de transformação, o valor médio de dureza Rockwell C é cerca de 3 pontos superior, para temperaturas de têmpera até 1200°C.

### **Agradecimento**

A **Hurth-Infer** pelos tratamentos térmicos de têmpera.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 1 Hoyle, G. Heat Treatment. In: **High Speed Steel**, UK: Butterworth & Co, 1988. cap. 4, p. 52-74.
- 2 Ghomashchi, M.R., Sellars, C.M. Microstructural changes in as-cast M2 grade high speed steel during high temperature treatment. **Metals Science**, v. 18, p. 44-48, january 1984.
- 3 Ghomashchi, M.R. Quantitative microstructural analysis of M2 grade high speed steel during high temperature treatment. **Acta Materials**, v. 46, p. 5207-20, 1998.
- 4 Omsén, A. The annealing of high speed steel. **Journal of the Iron and Steel Institute**, v. 207, p. 610-20, may 1969.
- 5 Neumeyer, T.A., Kasak, A. Grain size of high speed tool steels. **Metallurgical Transactions**, v. 3, p. 2281-87, august 1972.
- 6 Gill, J.P. **Trans. ASM**, v. 24, p. 735-73, 1936.
- 7 Bungardt, K., Mülders, O. **Arch. Eisenhüttenw**, v. 35, p.1079-87, 1964.
- 8 Nogueira, R.A., Ribeiro, O.C.S., Neves, M.D.M., Lima, L.F.C.P., Ambrozio, F.F., Friedrich, D.N., Boehs, L. Influence of the heat treatment on the microstructure of AISI T15 high speed steel. **Materials Science Fórum**, v. 416-418, p. 89-94 2003.

# EFFECT OF TRANSFORMATION ANNEALING ON GRAIN SIZE OF M3-2 VACUUM SINTERED HIGH SPEED STEEL

*Rejane Aparecida Nogueira  
Oscar Olimpio de Araújo Filho  
Maurício David Martins das Neves  
Odília Cordeiro de Souza Ribeiro  
Francisco Ambrozio Filho*

## **Abstract**

The type of annealing heat treatment of high speed steels before the final hardening affects the austenitic grain size, the final microstructure and properties. This paper evaluates the effect of transformation annealing given prior to quenching on the mean austenitic grain size of vacuum sintered M3-2 high speed steel. The transformation annealing was performed by slow heating up to 870°C, holding at this temperature for 2h and subsequently cooling to 760°C, holding at this temperature for 4h followed by cooling in air. The quenching heat treatment was performed at temperatures: 1135, 1140, 1160, 1180, 1200, 1210 and 1235°C. The mean austenite grain size was measured by analyses of the scanning electron micrographs and the Quantikov quantitative digital method. Sintered vacuum samples without such transformation annealing show an excessive grain growth and the so called “fish-scale” fracture. In the annealed samples the increase of quenching temperature did not yield grain growth.

**Key-words:** High speed steel; Heat treatment; AISI M3-2; Austenite grain size.