

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE AÇOS RÁPIDOS SUBMETIDOS A DIFERENTES PROCESSOS DE TRATAMENTOS TÉRMICOS¹

Leonardo Fernandes Muniz de Souza²

Oscar Olimpio de Araujo Filho³

Rejane Aparecida Nogueira⁴

Mauricio David Martins das Neves⁵

Francisco Ambrozio Filho⁵

Resumo

O objetivo do presente trabalho é averiguar diferentes processos de tratamentos térmicos aplicados aos aços rápidos ao molibdênio. Dois aços rápidos ao molibdênio AISI M2 (VWM-2) e AISI M3:2 (VWM3C) foram submetidos a tratamentos térmicos de endurecimento em banho de sal e a vácuo e tiveram suas microestruturas avaliadas por MEV e suas estruturas por difração de raios-X (DRX). As durezas dos materiais em questão foram avaliadas (Rockwell C) para verificar o quão efetivo foi o tratamento térmico. Os resultados de dureza para o processo em banho de sal foram adequados para esses tipos de aço ferramenta. O procedimento a vácuo produziu resultados de dureza abaixo dos esperados. No entanto, espectros de difrações de raios-X mostraram fases consistentes com aquelas esperadas, após os tratamentos térmicos especificados, para ambos os processos e tipos de aços rápidos.

Palavras-chave: Aços rápidos ao molibdênio; Tratamentos térmicos; Caracterização microestrutural.

MICROSTRUCTURAL EVALUATION OF HIGH SPEED STEELS SUBMITTED TO DIFFERENT HEAT TREATMENT

Abstract

The main aim of this work is to study distincts types of heat treatment of hardening of two molybdenum high speed steels obtained by conventional metallurgy route. M2 high speed steel (VWM-2) and M3:2 (VWM3C) were submitted to hardening in salt bath and under vacuum in order to investigate the results observed after the distincts heat treatment proposed. The two high speed steels were submitted to heat treatment of hardening with austenitizing temperatures of 1190 °C and tempering at 540 °C. The effectiveness of the heat treatment was determined by hardness tests (Rockwell C hardness). Samples of the two PM high speed steels were manufactured and submitted to the heat treatment described and have their microstructures evaluated by SEM (Scanning Electronic Mycroscopy) and the structures evaluated by means of RDX (X-ray diffraction patterns).

Key words: Molybdenum high speed steels; Powder metallurgy; Heat treatment; Microstructural characterization.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Aluno de graduação Centro Universitário da FEI, aluno de iniciação científica do IPEN-CNEN/SP- Av. Prof. Lineu Prestes Nº 2242 – USP – Butantã – São Paulo – SP – Brasil.*

³ *Engenheiro mecânico, MSc, aluno de doutorado do IPEN-CNEN/SP- Av. Prof. Lineu Prestes Nº 2242 – USP – Butantã – São Paulo – SP – Brasil.*

⁴ *Bacharel em Química, Dra. do IPEN-CNEN/SP- Av. Prof. Lineu Prestes Nº 2242 – USP – Butantã – São Paulo – SP – Brasil.*

⁵ *Engenheiro metalurgista, Prof. Dr. do IPEN-CNEN/SP- Av. Prof. Lineu Prestes Nº 2242 – USP – Butantã – São Paulo – SP – Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

O termo “aço rápido” conhecido em Inglês como “high speed steel” (HSS) foi derivado originalmente do fato desse material ser capaz de cortar metal em grandes quantidades a alta velocidade quando comparados aos aços ferramentas ao carbono, preservando sua capacidade de cortar mesmo a elevadas velocidades de corte (dureza a quente). Embora substituído por metal duro para muitas aplicações é ainda extensamente utilizado para fabricação de machos, matrizes, brocas, alargadores e outras ferramentas de corte.⁽¹⁾

Desde o primeiro protótipo introduzido por Taylor e White no início do século XX, os aços rápidos tem sido utilizados a bastante tempo na fabricação de ferramentas de corte devido a sua versatilidade nas propriedades permitindo em muitas aplicações que o mesmo rivalize com os carbonetos sinterizados (metal duro).⁽¹⁾

A microestrutura deste aço ferramenta após o tratamento de endurecimento (austenitização e tempera seguido de revenimento) consiste em uma matriz de martensita com carbonetos dispersos ricos em tungstênio, molibdênio e vanádio, conduzindo a proveitosas e adequadas propriedades tais como resistência ao desgaste e tenacidade. A combinação destas propriedades específicas, juntamente com o baixo custo de fabricação, faz com que este aço ferramenta seja uma classe de material preferido em muitas aplicações tais como processos de usinagem.^(2,3)

A rota convencional para a fabricação dos aços rápidos (fundição, lingotamento e subsequente trabalho a quente) produz um material com estruturas segregadas constituídas de células de carbonetos conferindo anisotropia das propriedades. Por outro lado, o método da Metalurgia do Pó, conhecida em Inglês como Powder Metallurgy (PM), tem sido utilizado com sucesso, como um processo alternativo para obtenção de produtos com melhor distribuição de carbonetos menores de tal maneira que não se observa a anisotropia das propriedades, ou extensamente minimizadas.⁽⁴⁾

O tratamento térmico dos aços rápidos constitui uma etapa crucial no processamento desses materiais. A otimização dessa etapa de tratamento térmico permite a obtenção de produtos com dureza adequada para a aplicação a que se destina com propriedades melhoradas de tenacidade e resistência à flexão.^(5,6) No presente trabalho aços rápidos ao molibdênio comerciais M2 (designação comercial VWM-2) e M3:2 (designação comercial VWM3C), fabricados pelo processo convencional foram submetidos aos mesmos procedimentos de tratamento térmico de endurecimento em banho de sal e a vácuo e tiveram suas microestruturas caracterizadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e medidas de dureza no sentido de avaliar o resultado obtido pelos dois distintos processos de tratamento. Adicionalmente, espectros de difração de raios-X foram obtidos com o objetivo de determinação das fases, após os acima citados tratamentos térmicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os aços rápidos objetos deste presente trabalho de pesquisa foram submetidos a tratamento térmico de endurecimento através de duas diferentes técnicas: em banho de sal e a vácuo estabelecendo-se uma comparação entre as mesmas. O tratamento térmico em banho de sal foi realizado na Hurth Infer Indústria

e Ferramentas Ltda e o procedimento a vácuo foi realizado no Laboratório de Metalurgia do Pó no CCTM (Centro de Ciências e Tecnologia de Materiais) do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares). O forno a vácuo utilizado é apresentado nas Figuras 1 e 2.



Figura 1. Forno a vácuo da Thermal Technology Inc. Metalmaster 121212W utilizado.



Figura 2. Câmara de trabalho.

Os tratamentos térmicos constaram de austenitização e tempera a uma temperatura de 1190°C durante três minutos no caso do tratamento térmico em banho de sal e 20 minutos no caso do tratamento térmico a vácuo, e triplo revenimento a 550°C. O ciclo do tratamento térmico em banho de sal é apresentado na Figura 3.

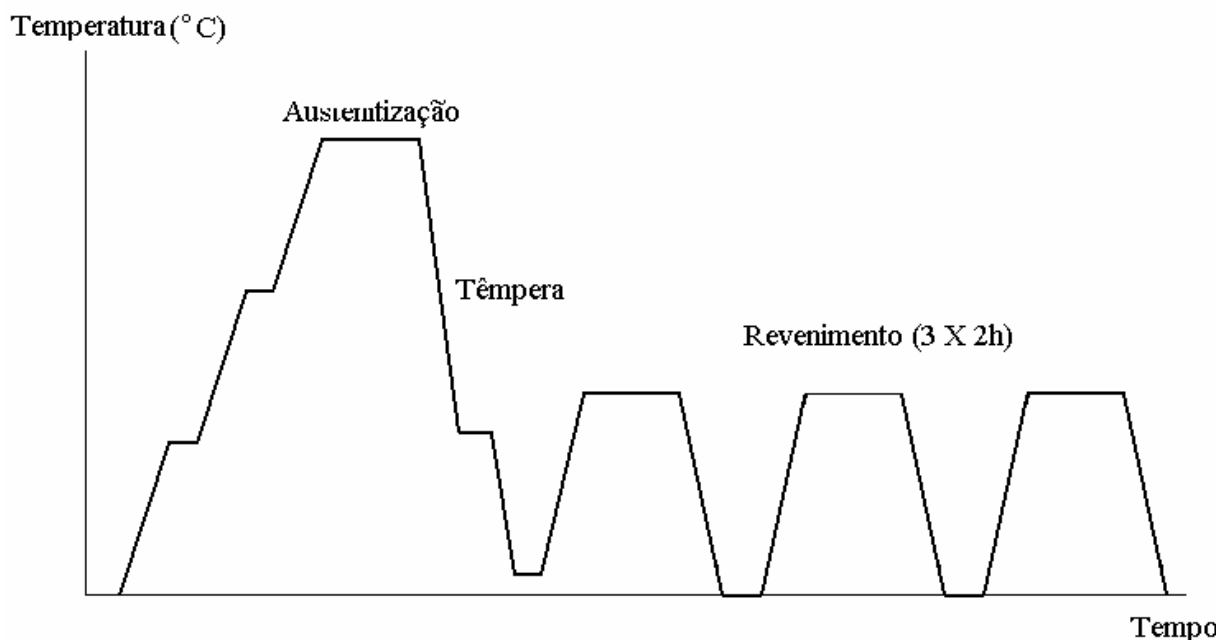


Figura 3. Ciclo de tratamento térmico, banho de sal e vácuo.

Para a realização do MEV, todas as amostras foram devidamente preparadas metalograficamente. As amostras foram atacadas com Nital 3% para revelar o tamanho de grão e avaliação da microestrutura. Medidas de dureza Rockwell C

foram executadas para avaliar a efetividade dos tratamentos térmicos. Espectro de difração de raios-X foram obtidos para a determinação das fases dos materiais. Utilizou-se um difratômetro PHILIPS MDP 1880, radiação Cu K α : $\lambda = 0,1541$ nm com 2θ variando de 40° a 100° e passo de $0,02^\circ/\text{seg}$. Os picos com as suas correspondentes fases foram indexadas estabelecendo-se comparações entre os valores de espaçamento interplanar “d” calculados e os valores de d que constam das fichas do JCPDS (Joint Committee for Powder Diffraction Standards).

3 RESULTADOS

As micrografias de MEV dos aços rápidos VWM-2 e VWM3C austenizados e temperados são apresentadas nas Figuras 4, 5, 6 e 7. Contornos de grãos e carbonetos primários dos tipos M₆C e MC são observados nas micrografias.

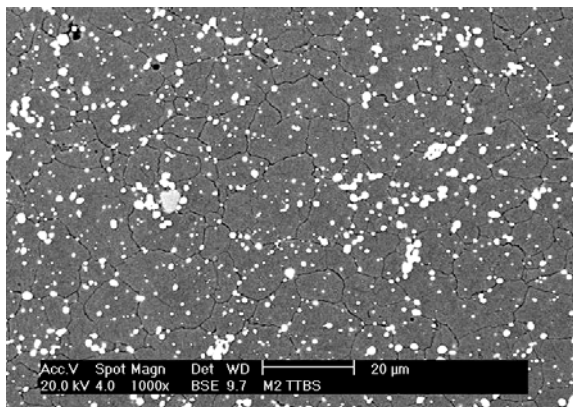


Figura 4. Aço rápido VWM-2 austenizado a e temperado a 1190°C em banho de sal. Aumento: $1000\times$. Ataque químico: nital a 3%.

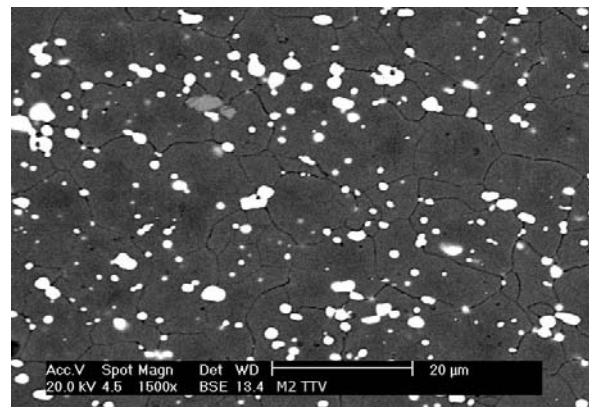


Figura 5. Aço rápido VWM-2 austenizado a e temperado a 1190°C a vácuo. Aumento: $1500\times$. Ataque químico: nital a 3%.

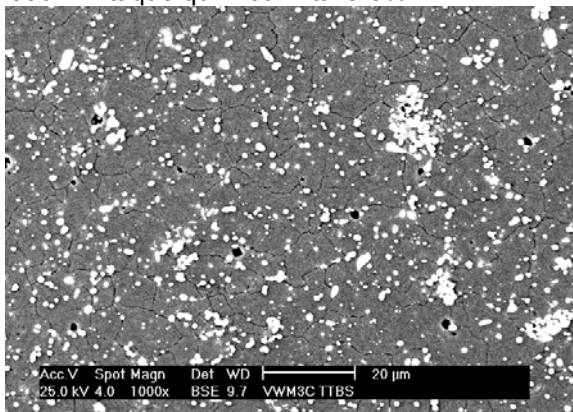


Figura 6. Aço rápido VWM3C austenizado e temperado a 1190°C em banho de sal. Aumento: $1000\times$. Ataque químico: nital a 3%.

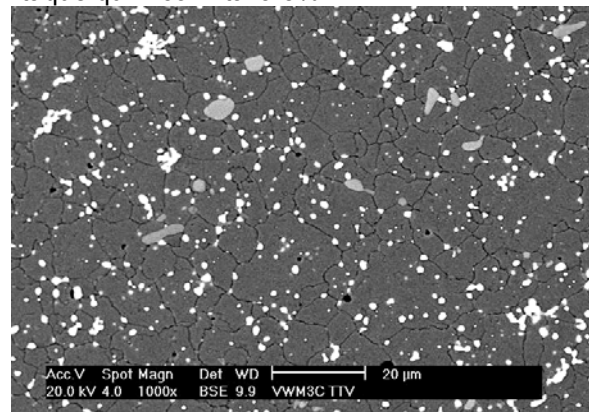


Figura 7. Aço rápido VWM3C austenizado e temperado a 1190°C a vácuo. Aumento: $1000\times$. Ataque químico: nital a 3%.

As micrografias de MEV dos aços rápidos VWM3C e VWM-2 após triplo revenimento a 550°C em banho de sal e a vácuo estão em fase de elaboração e não são apresentadas no presente trabalho.

As fases constituintes dos dois aços rápidos tratados termicamente pelos dois diferentes processos foram determinadas por difração de raios-X. Os difratogramas são apresentados nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

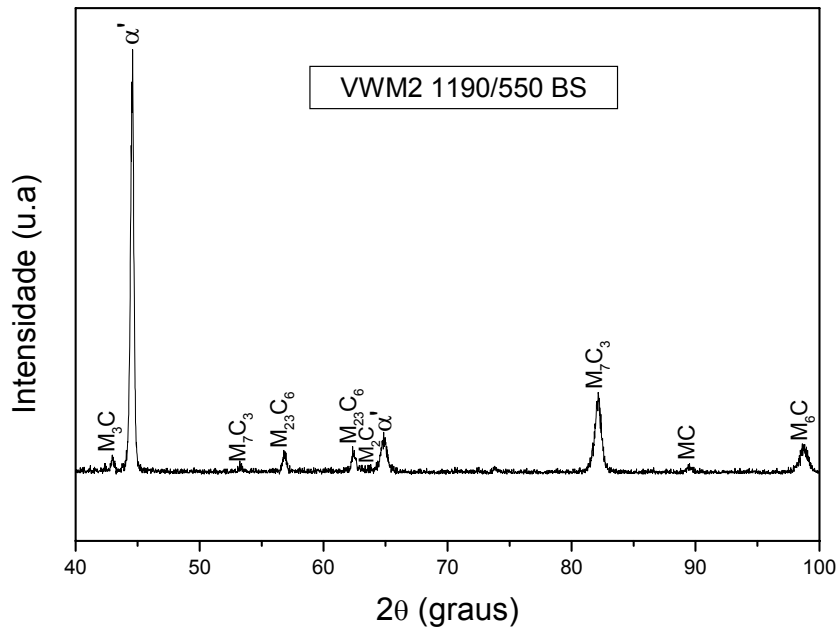


Figura 8. Difratograma do aço rápido VWM-2 austenitizado e temperado a 1190 °C e revenimento a 550 °C em banho de sal. Radiação Cu- α .

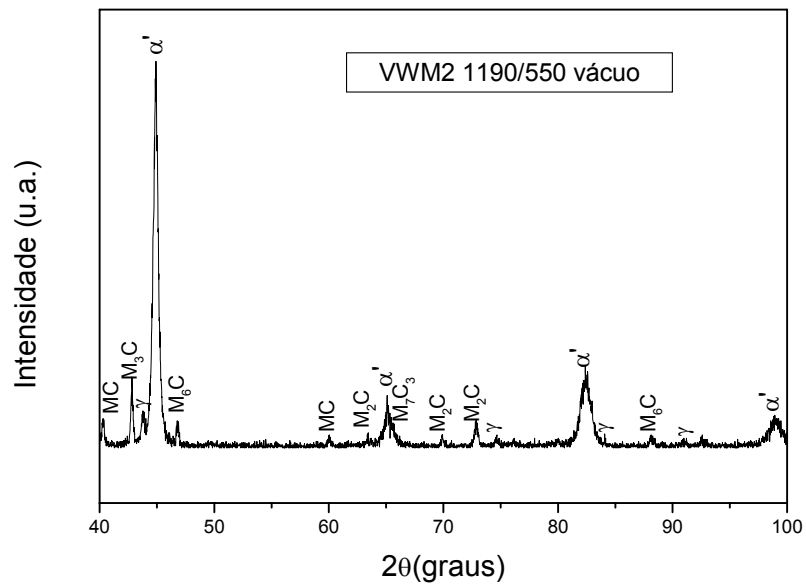


Figura 9. Difratograma do aço rápido VWM-2 austenitizado e temperado a 1190 °C e revenimento a 550 °C a vácuo. Radiação Cu- α .

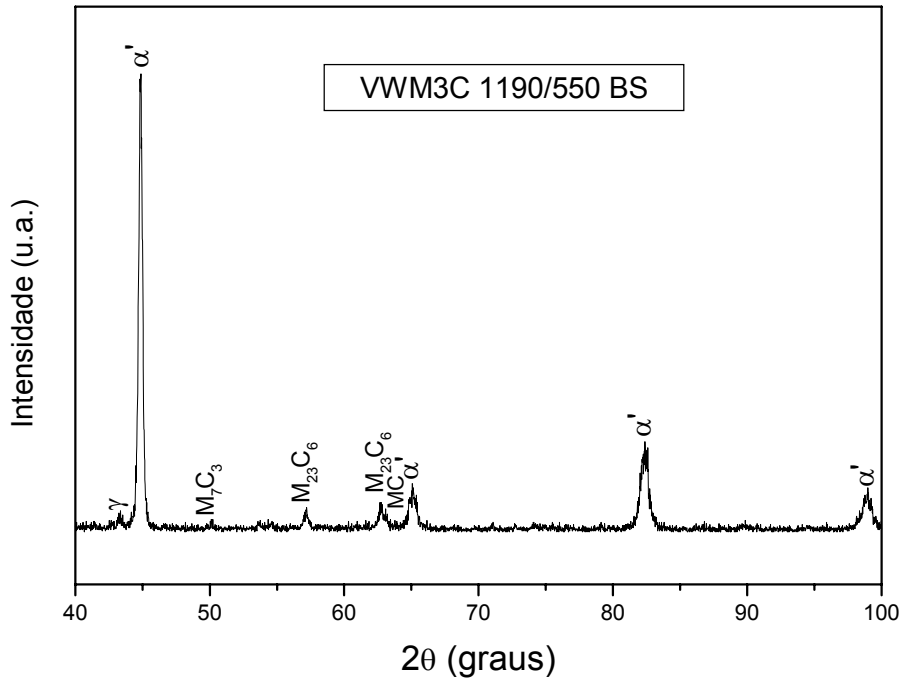


Figura 10. Difratoograma do aço rápido VWM3C austenitizado e temperado a 1190 °C e revenimento a 550 °C em banho de sal. Radiação Cu- α .

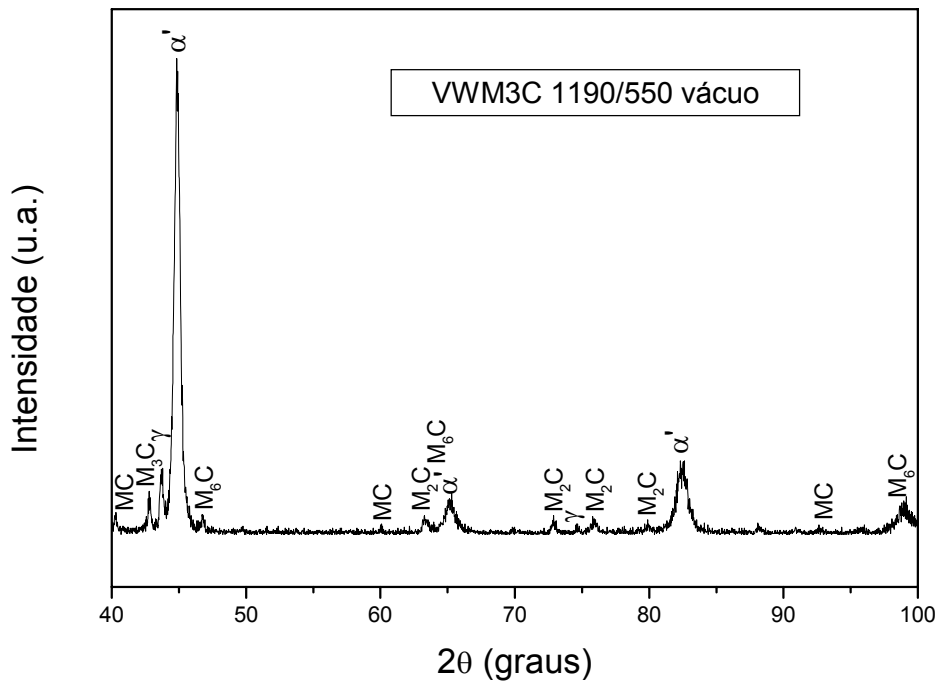


Figura 11. Difratoograma do aço rápido VWM3C austenitizado e temperado a 1190 °C e revenimento a 550 °C a vácuo. Radiação Cu- α .

Os aços VWM-2 e VWM3C tratados termicamente em banho de sal e a vácuo

apresentam uma matriz de martensita revenida, alguma fração de austenita retida (não transformada mesmo após revenimento triplo e que não foi ainda quantificada) e carbonetos dos tipos M_6C , MC , M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_2C , M_3C .

Os resultados encontrados para a dureza Rockwell C são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1. Resultados de dureza para os dois aços rápidos.

Tipo TT	Tipo de Aço	Austenitizado	Austenitizado + 3× revenido
Banho de sal	M2	61,0 ± 0,9	64,0 ± 0,4
Banho de sal	VWM3C	60,0 ± 0,7	64,7 ± 0,4
Vácuo	M2	60,2 ± 0,5	62,3 ± 0,4
Vácuo	VWM3C	59,0 ± 0,7	61,5 ± 0,8

4 DISCUSSÃO

Os dois tipos de tratamentos térmicos aplicados aos dois aços foram parcialmente efetivos no sentido de proporcionar resultados de dureza adequados para aços ferramenta o que é corroborado pelas fases obtidas a partir das difrações de raios-X que consiste de uma matriz de martensita revenida, alguma fração de austenita retida não desejável e que persiste mesmo após tratamento térmico de triplo revenimento. O tratamento térmico em banho de sal para os dois aços rápidos foi efetivo e produziu resultados de dureza adequados, já o tratamento térmico a vácuo produziu resultados de dureza abaixo do esperado. Tal pode ser atribuído a taxa de resfriamento durante a têmpera. A princípio, o primeiro revenimento revine a martensita formada por ocasião da têmpera e transformaria a austenita retida, o segundo revenimento revine a martensita recém formada e um terceiro revenimento deveria assegurar que toda a matriz seria constituída de martensita revenida. Tal no entanto, não se verificou como se verificou a partir dos difratogramas. Contornos de grão são observados no material só austenitizado e temperado. A observância de contornos de grão no material após o revenimento está em conformidade com a literatura.⁽⁷⁾

5 CONCLUSÕES

Os itens relacionados abaixo são pertinentes com os resultados observados e nos permitem concluir que:

1. Os resultados de dureza observados são adequados para o tratamento térmico utilizado (austenitização a 1190 °C, seguida de têmpera e revenimento a 550 °C) no caso do tratamento térmico em banho de sal, no entanto apresentaram valores relativamente baixos para o processo a vácuo;
2. Os resultados de dureza para o tratamento térmico a vácuo são mais baixos comparativamente ao tratamento térmico em banho de sal, o que pode ser atribuído a baixa taxa de resfriamento por ocasião da têmpera no caso do processo a vácuo;

3. As microestruturas que resultam dos procedimentos de tratamentos térmicos em banho de sal e a vácuo estão em conformidade com a literatura e são corroborados pelos espectros de difração de raios-X. As microestruturas apresentam uma matriz de martensita revenida e carbonetos dos tipos M_6C e MC . Os espectros de DRX apresentam as fases martensita (α'), austenita retida (γ) e carbonetos M_6C (carboneto de tungstênio, molibdênio e ferro), MC (carboneto de vanádio), $M_{23}C_6$ (carboneto de cromo), M_3C (carboneto de ferro ou cementita), M_7C_3 (carboneto de ferro) e M_2C (carboneto de tungstênio);
4. Os aços rápidos ao molibdênio M2 (VWM-2) e M3:2 (VWM3C) foram adequadamente tratados termicamente em banho de sal, e a vácuo os resultados ficaram um pouco abaixo do esperado.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao IPEN, Villares Metals, Hurth Infer Indústria de Ferramentas, CNPq pela bolsa de iniciação científica (PIBIC) do aluno Leonardo Fernandes Muniz de Souza e FAPESP.

REFERÊNCIAS

- 1 Araujo Filho, O. O., Ambrozio Filho, F. , Neves, M.D.M., Ribeiro, O.C.S. and Lopes da Silva, C. H., Transverse Rupture strength of a PM Tool Steel, *Materials Research*, v. 8, n. 2, p. 173-176, 2005.
- 2 Mesquita, R. A. and Barbosa, C. A., High Speed Steel Produced Through Conventional Casting, Spray Forming and Powder Metallurgy, 6TH International Tooling Conference. P 325 – 337, 2002.
- 3 Nogueira, R. A., Ribeiro, O. C. S., Neves, M. D. M., Lima, L. F. C. P., Ambrozio Filho, F., Friedrich, D. and Boehs, L. – Influence of the Heat Treatment on the Microstructure of AISI T15 High Speed Steel, *Materials Science Forum* Vol. 416-418, p. 89-94, 2003.
- 4 Lyapunov, A. I., Heat Treatment of Tools in Vacuum, *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 43, n. 11-12, p. 429-430, 2001.
- 5 Hoyle, G. – *High Speed Steels*. Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1988.
- 6 Wilson, R. – *Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels*. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, 1975.
- 7 Beiss, P. and Wähling R. - Transverse Rupture Strength and Plastic Work of Bending of Two PM Tool Steels- World Conference on Powder Metallurgy , Vol 1, p. 140-143, 1990.