

# ESTUDOS DE TRATAMENTO TÉRMICO NOS AÇOS FERRAMENTA VH13ISO E VF800AT<sup>1</sup>

Rafael Agnelli Mesquita<sup>2</sup>  
Daniel Rodrigo Leiva<sup>3</sup>  
Celso Antonio Barbosa<sup>4</sup>

## Resumos

Os aços ferramenta são principalmente empregados em moldes, matrizes ou outras ferramentas na conformação de materiais metálicos, em alta ou baixa temperatura, bem como na conformação de polímeros e materiais cerâmicos. Em todas essas aplicações, o tratamento térmico é fundamental para que as propriedades finais sejam obtidas e o desempenho esperado atingido. Portanto, o presente trabalho avalia diversas condições de tratamento térmico em dois aços ferramentas típicos: o aço VH13ISO<sup>®</sup>, para ferramentas de trabalho a quente, e o aço VF800AT<sup>®</sup>, para trabalho a frio. As condições de tratamento térmico são simuladas e as propriedades mecânicas, especialmente a tenacidade, são medidas e correlacionadas com a microestrutura. Os resultados evidenciam que tais propriedades dependem, significativamente, das condições do tratamento térmico, mostrando que a dureza obtida não é condição suficiente para o bom desempenho da ferramenta.

**Palavras-chave:** Aço ferramenta; Tratamento térmico; Tenacidade; Desempenho.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica a ser apresentada no III Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, SP, Brasil, 10 a 12 de Agosto, 2005.*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Pesquisador da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: rafael.mesquita@villaresmetals.com.br.*

<sup>3</sup> *Engenheiro de Materiais, Mestrando do Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, e-mail: leiva@iris.ufscar.br.*

<sup>4</sup> *Engenheiro Metalurgista, Gerente de Tecnologia da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br.*

# 1 INTRODUÇÃO

Aços ferramenta podem ser definidos como ligas ferrosas, aplicadas como moldes, matrizes, punções ou outras ferramentas em processos de conformação de outros materiais, na temperatura ambiente ou em altas temperaturas. Aços ferramenta são também empregados numa vasta variedade de outras aplicações, que necessitem de elevadas propriedades, em termos de resistência mecânica, resistência ao desgaste e tenacidade. A composição química desses materiais pode variar muito, desde aços baixa liga até aços altamente ligados. Contudo, o que difere tal classe de materiais dos aços convencionais são o processo de manufatura especial e a significativa modificação de propriedades após os tratamentos térmicos.<sup>(1)</sup> Os tratamentos térmicos mais usuais são a têmpera e revenimento, que propiciam dureza e propriedades mecânicas adequadas para maioria das aplicações.

## 1.1 Aplicações dos Aços VF800AT e VH13ISO

O presente trabalho está focado em dois aços ferramenta, VH13ISO e VF800AT. O primeiro é aplicado em trabalho a quente e o segundo em trabalho a frio. O termo ferramentas de trabalho a frio é aplicado para um grande número de ferramentas, empregadas em trabalho e moldagem de metais em temperaturas abaixo de 200 °C, tipicamente na temperatura ambiente. A Indústria metal-mecânica é a principal envolvida em conformação a frio, especialmente na conformação de aço. Por exemplo, destacam-se operações de corte e conformação de chapas, como em processos de estampagem, pentes e rolos laminadores de roscas, facas industriais para cortes por cisalhamento, punções e matrizes para cunhagem e ferramentas para forjamento a frio.

Ferramentas de conformação a quente, por outro lado, são aplicadas em processos em que o material conformado possui temperatura significativamente superior à ambiente, tipicamente acima de 500 °C. Tais ferramentas são empregadas em diversos ramos industriais, focadas na produção de peças destinadas a aplicações mecânicas e, principalmente, peças automobilísticas. A variedade de processos utilizados pode ser dividida basicamente em três operações básicas: ferramentas de forjamento a quente e a morno, moldes e matrizes para fundição de ligas não ferrosas e matrizes de extrusão de ligas não ferrosas.

## 1.2 A importância do Tratamento Térmico em Aços Ferramenta

O tratamento térmico possui muita importância nas propriedades e, conseqüentemente, no desempenho dos aços ferramenta. Apesar disso, a grande maioria das falhas prematuras de ferramentas é resultado de um tratamento térmico incorreto.<sup>a</sup>

O tratamento térmico dos aços ferramenta apresenta muitas peculiaridades. Por uma série de fatores, e não apenas fatores metalúrgicos, pode ser considerado muito diferente do tratamento térmico de aços ao carbono ou baixa liga, por exemplo, aplicados em peças seriadas. Primeiramente, pela alta dependência das propriedades finais do material com o tratamento térmico aplicado. As condições de temperatura,

---

<sup>a</sup> Estima-se que cerca de 70% das falhas prematuras de ferramentas tem como causa as falhas de tratamento térmico.

tempo e taxas de aquecimento e resfriamento, os equipamentos utilizados, enfim todo o procedimento pode estar e, na maioria dos casos, estará fortemente relacionado ao desempenho final da ferramenta. Segundo, pelo alto valor agregado das peças a serem tratadas; neste caso, moldes e matrizes em que custos de usinagem e do próprio aço já estão embutidos. Terceiro, por ser, normalmente, uma das etapas finais do processo. Assim, se ocorridos problemas sérios, dificilmente será possível repor a ferramenta tratada no prazo requisitado. Quarto, pelos moldes e matrizes não se tratarem de ferramentas padronizadas. Conseqüentemente, os tempos de aquecimento e a geometria, e os concentradores de tensão relacionados a ela, variam constantemente. Quinto, pela faixa estreita de temperatura, tanto de austenitização e revenimento, bem como pela a variação desta faixa entre os diversos tipos de aços ferramenta aplicados.

Todas essas especificidades do tratamento térmico dos aços ferramenta, se não bem observadas, podem levar a problemas ou falhas do processo que, por conseqüência, causam um baixo rendimento da ferramenta. Em termos de falhas, é interessante dividi-las em dois subgrupos. O primeiro, das falhas identificadas no próprio processo, como trincas pequenas ou catastróficas, distorções, problemas superficiais (como descarbonetação e oxidação) e outras falhas visivelmente observadas. Apesar de graves, essas falhas em geral não comprometem a vida útil da ferramenta. Ou, pelo menos, não geram resultados inesperados durante sua utilização, porque são identificadas antes que a mesma entre em operação.

A segunda possibilidade de desvios no tratamento térmico, objeto do estudo do presente trabalho, refere-se às condições de temperatura, tempo e taxas de resfriamento empregadas. O controle de qualidade do tratamento térmico, na grande maioria dos casos, é realizado apenas por medidas de dureza na superfície da ferramenta. Isto porque, normalmente, tratam de peças únicas e de alto valor, não havendo possibilidade para sua destruição e análise microestrutural e das propriedades obtidas. Assim, uma vez estando correta a dureza, dificilmente serão identificados possíveis desvios de tratamento térmico antes de a ferramenta ser utilizada. E estes apenas serão observados se uma menor vida útil da ferramenta for percebida, e se a causa da falha puder ser definida com precisão.

O presente trabalho, portanto, discute possíveis incorreções nos tratamentos térmicos e seu efeito nas propriedades de dois aços ferramenta. O primeiro aço, VH13ISO, é similar ao AISI H13, mas produzido com processos especiais de manufatura para proporcionar melhoria na tenacidade e isotropia de propriedades.<sup>(2)</sup> O segundo aço, denominado VF800AT, foi desenvolvido para aplicações que necessitem de tenacidade superior aos aços convencionais,<sup>(3)</sup> tipicamente AISI D2 e D6.

## **2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Para os dois aços estudados, VH13ISO e VF800AT (ver composição química Tabela 1), foram empregadas diversas condições de têmpera e revenimento. Algumas corretas, seguindo as temperaturas e tempos recomendados para cada aço, e algumas consideradas incorretas, por não seguirem essas recomendações. As condições de tratamento térmico empregada para cada aço são descritas nos resultados. Quando não mencionados, os tempos de austenitização foram de 30 min em temperatura e revenimento duplo de 2 horas.

**Tabela 1.** Composição química nominal dos aços VH13 e VF800AT.

	<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Nb</b>
VH13 ISO	0,40	1,0	0,3	5,2	1,5	0,9	-
VF800 AT	0,85	0,9	0,4	8,0	2,0	0,5	0,15

Para avaliação da tenacidade, o aço VH13 foi analisado por ensaio de impacto sem entalhe, seguindo recomendações da NADCA,<sup>(4)</sup> uma vez que este teste relaciona-se bem com o rendimento de matrizes de trabalho a quente.<sup>(2,5)</sup> E, para o aço VF800AT, empregou-se o ensaio de flexão estática a quatro pontos,<sup>(6)</sup> com corpos de prova de 5 x 7 mm<sup>2</sup>, retirados na direção longitudinal. Os resultados mecânicos foram correlacionados às microestruturas, observadas por microscopia óptica. Para o estudo de caso, da falha em campo de um aço também para trabalho a quente, denominado VHSUPER, a superfície de fratura dos corpos de prova de impacto foi analisada por microscopia eletrônica de varredura.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados a seguir são descritos em três partes. Na primeira, descrevem-se as simulações realizadas em laboratório para diversos tratamentos térmicos no aço VF800AT. Na segunda, a mesma abordagem é feita para o aço VH13. Um item específico de incorreções neste último material, a marcação excessiva dos contornos de grão austenítico, não foi possível de ser bem avaliada em laboratório. Isto envolveria o resfriamento lento de corpos de prova, porém não tão lento a ponto de significar o resfriamento em forno. Pela ausência desta possibilidade, foi-se empregado um caso real de falha de matriz, ocorrida por resfriamento na têmpera demasiadamente lento. Tal fato é descrito no terceiro item, para uma matriz de forjamento feita em aço VHSUPER.

#### **3.1 Análise de Várias Condições de Tratamento Térmico no Aço VF800AT**

Para o presente estudo, corpos de prova do aço VF800AT foram tratados em várias condições, uma correta e as demais incorretas, e a resistência em flexão foi avaliada. Para todas, a dureza foi mantida a 60 HRC. A condição A refere-se ao material tratado corretamente, com têmpera de 1030°C e revenimento duplo a 530 °C. As outras, a tratamentos incorretos, mas que seriam corretos para outros materiais. A Figura 1 mostra tais resultados.

A condição B caracteriza uma condição de tratamento duplamente incorreta, em que tanto a temperatura de austenitização quanto a temperatura de revenimento foram inadequadas. Em relação ao tratamento correto, existe perda em 25% de tensão de resistência à flexão e menor energia para ruptura, indicando menor tenacidade. A condição B é próxima da aplicada no tratamento térmico do aço VC131, muito difundido nas aplicações de trabalho a frio.

A condição C, por outro lado, possui a temperatura de austenitização correta, porém o revenimento foi aplicado em baixa temperatura. Tal procedimento é típico para o aço VD2, que possui temperatura de austenitização superior ao VC131, mas é revenido em baixa temperatura, porque o pico secundário não é suficientemente

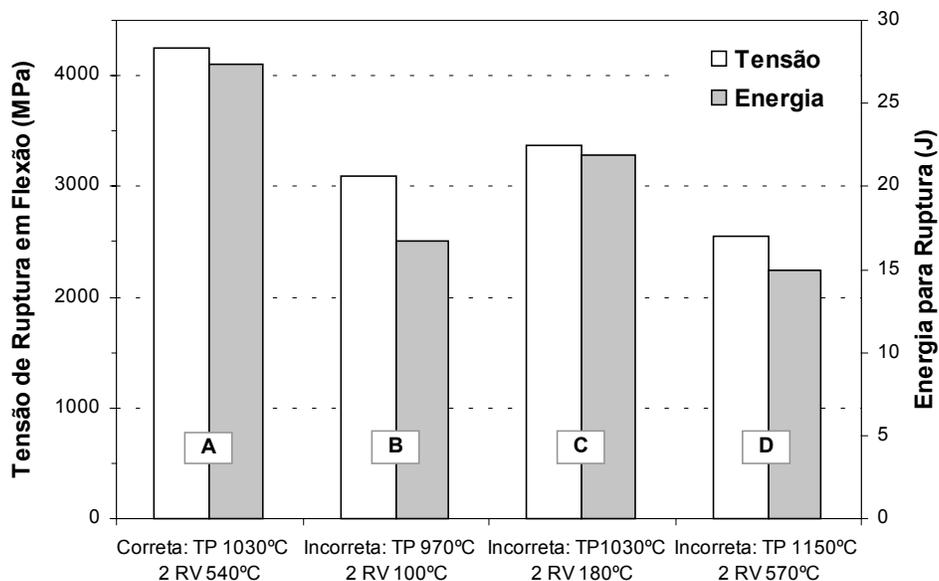
intenso para promover a dureza de 60 HRC. Neste caso, também se observa perda de resistência e tenacidade.

A quarta condição, identificação D, é típica para tratamento térmico de aços rápidos – austenitização em temperatura muito elevada e revenimento acima de 550 °C. Neste caso, a perda em tenacidade foi ainda mais expressiva.

O entendimento das propriedades mecânicas acima pode ser feito com base nas microestruturas obtidas em cada condição (Figura 2). Na primeira condição, correta (A), observam-se uma microestrutura com matriz martensítica e carbonetos primários não dissolvidos. No aumento apresentado, a identificação dos contornos de grão austeníticos não é clara, pois estes são finos, devido à temperatura de austenitização ter sido adequada. Ainda, é observada uma matriz escurecida pelo ataque metalográfico. Esta condição da matriz resulta do revenimento em alta temperatura, com precipitação carbonetos secundários, retirando elementos de liga da matriz e proporcionando maior susceptibilidade ao ataque. As propriedades mecânicas, neste caso, são superiores porque as tensões da matriz, geradas na transformação martensítica, são aliviadas; a dureza é promovida por precipitação secundária, melhorando propriedades mecânicas.

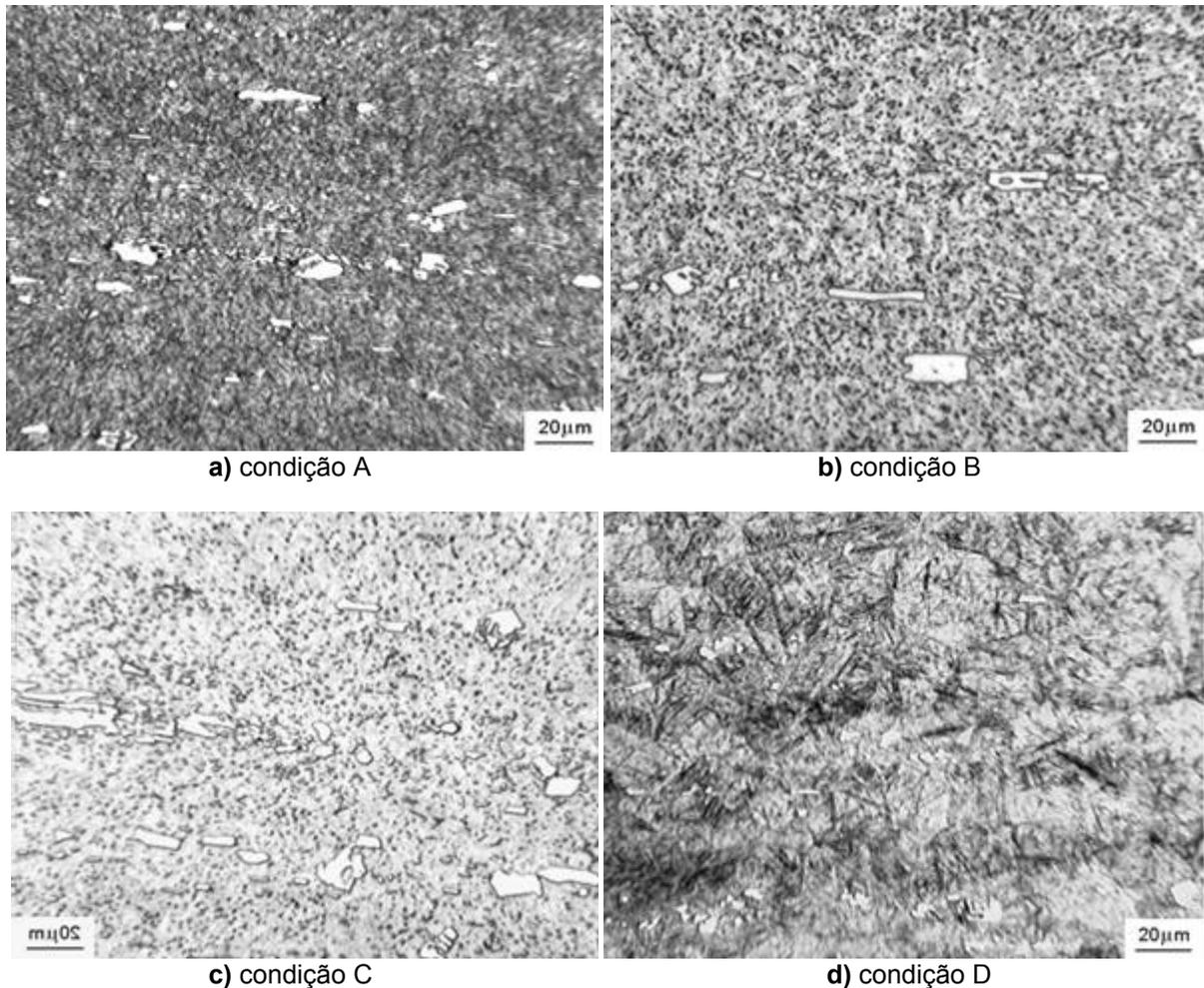
Na condição B, verifica-se que a têmpera e revenimento em baixa temperatura são capazes de promover adequada dureza. Contudo, a microestrutura praticamente constitui-se de martensita bruta, ou seja, não revenida. Em tal condição, as tensões na matriz microestrutural são muito elevadas, reduzindo a resistência do material e a tenacidade.

A condição C é ligeiramente melhor, em termos de propriedades mecânicas, que a condição B. Contudo, o fato de ainda empregar revenimento em baixa temperatura, promove tenacidade melhor que no tratamento correto (condição A). A microestrutura ainda apresenta-se pouco revenida, fato salientado pela alta resistência do material ao ataque metalográfico, gerando assim baixa tenacidade.



**Figura 1.** Resistência em flexão e energia para ruptura, para o aço VF800AT tratado para diversas condições, todas com 60 HRC. As condições, de A a D, são descritas no texto do item 3.1.

Na condição D, por outro lado, a matriz microestrutural é mais atacada pelo reagente metalográfica. Contudo, a tenacidade obtida é muito baixa, porque neste caso o fator negativo refere-se à temperatura de austenitização muito elevada (típica de aços rápidos). Nestas condições, existe demasiado crescimento de grão, pois, ao contrário dos aços rápidos, o VF800AT não possui projeto de liga para suportar temperaturas de austenitização tão elevadas. A martensita formada no resfriamento é, conseqüentemente, grosseira e as propriedades são reduzidas.



**Figura 2.** Microestruturas do aço VF800AT, resultantes dos tratamentos térmicos nas condições A a D, descritas na Figura 3. Aumento 350x, ataque Villela, por 10s.

### 3.2 Análise de Várias Condições de Tratamento Térmico no Aço VH13 ISO

Assim como realizado para o aço VF800AT, diversas condições de tratamento térmico foram aplicadas ao aço VH13ISO. As condições são apresentadas abaixo e os resultados de impacto na Figura 3.

Condição E: tratamento térmico correto para o aço H13, com austenitização a 1020 °C, resfriamento rápido durante a têmpera, e revenimento em alta temperatura –

610 °C. Esta condição gera os maiores valores de tenacidade em impacto.

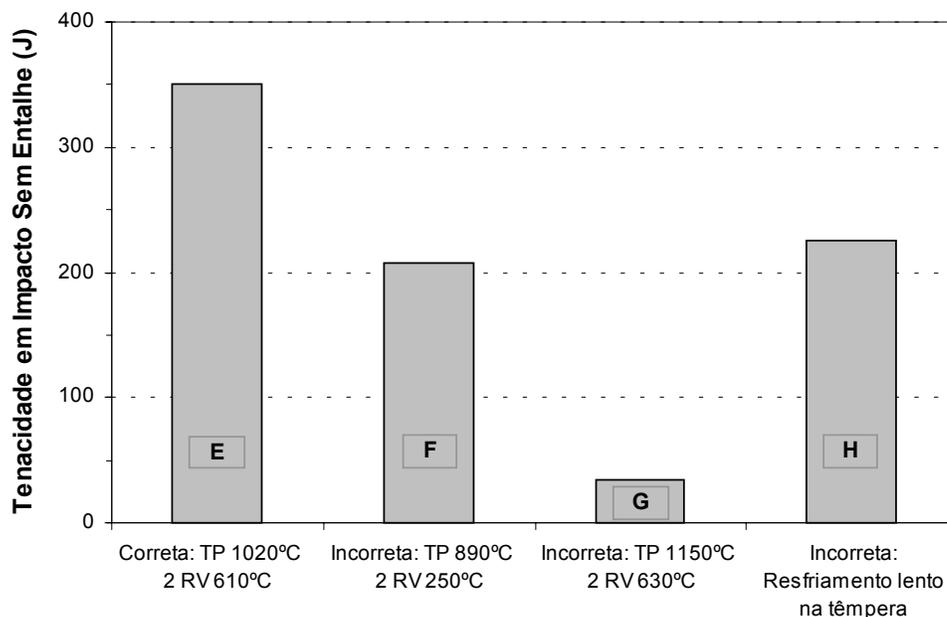
Condição F: temperatura de austenitização e revenimento baixas. Este procedimento pode ser, erroneamente, aplicado quando se utilizam fornos de baixa temperatura.

Condição G: temperatura de austenitização demasiadamente elevada, e revenimento ligeiramente mais alto que o usual, para ajustar a dureza para a faixa necessária.

Condição H: temperatura de austenitização e revenimento normais, mas material resfriado muito lentamente até a temperatura ambiente (cerca de 6 °C/min). Tal procedimento pode ser causado, por exemplo, devido à têmpera em meios de resfriamento pouco agressivos, como têmpera ao ar.

Na Figura 4 são apresentadas as microestruturas características de cada condição de tratamento térmico. Na Figura 4a, pode-se observar a microestrutura normal do material, constituída de martensita revenida e carbonetos secundários (condição E); isto gera o alto valor de tenacidade identificado – 350 J.

Na Figura 4b, condição F, a temperatura de austenitização demasiadamente baixa não promoveu a total transformação da ferrita. A tenacidade é mais baixa que o esperado (210 J). Além disso, a fim de obter a dureza requerida, este aço foi revenido em baixa temperatura (200 °C). Após exposição a 550 por 10h, tem-se a redução de 3 HRC de dureza, quando seria esperado apenas 0,5 HRC. Assim, a microestrutura, além de mais frágil, causaria menor desempenho a quente, dada sua maior perda em dureza.

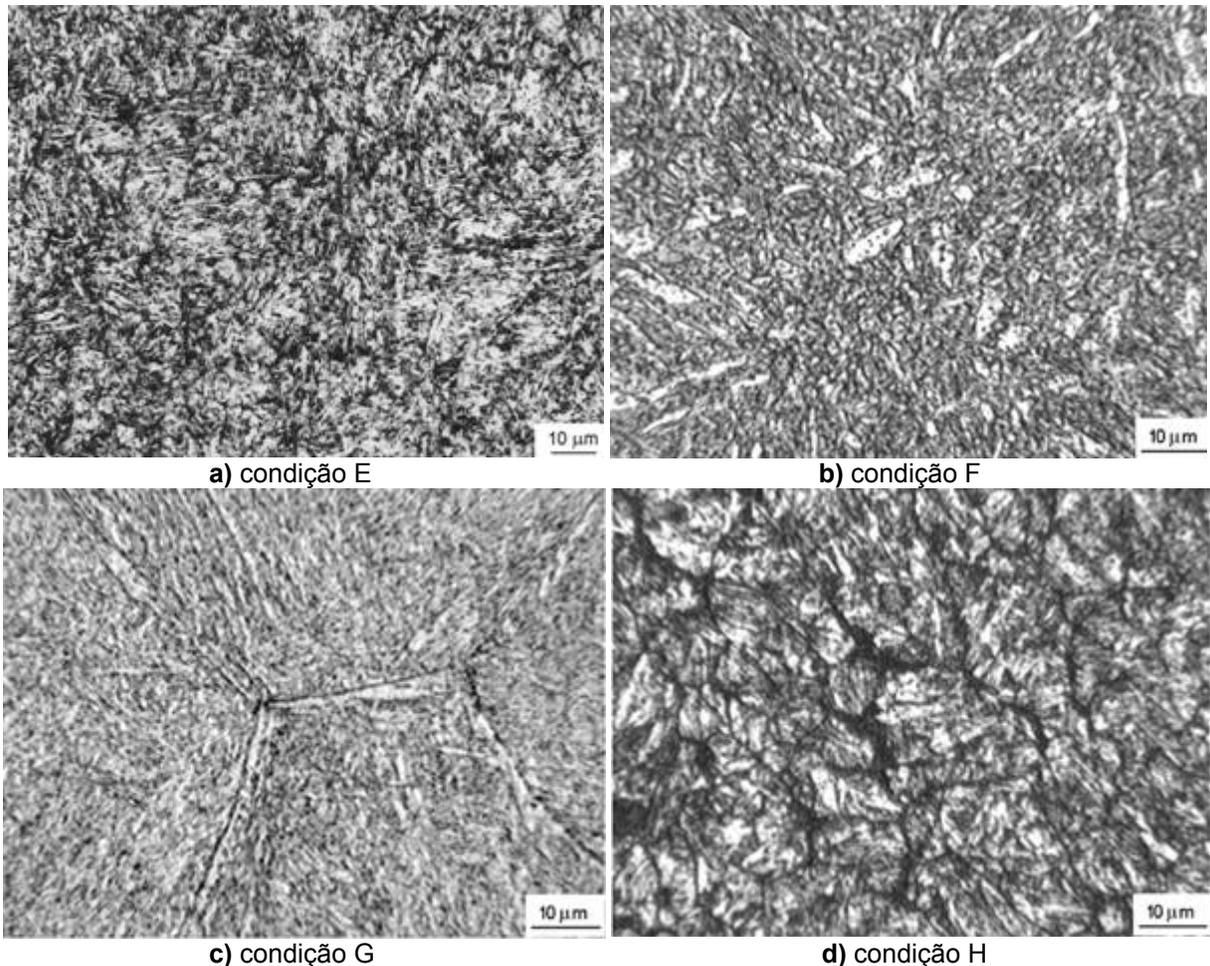


**Figura 3.** Energia de impacto sem entalhe, para ensaio conforme NADCA (4), para a aço VH13 ISO tratado para diversas condições, todas com 45 HRC. As condições, de A a D, são descritas no texto do item 3.2.

A Figura 4c mostra a microestrutura típica de um aço austenitizado em temperatura demasiadamente alta (condição G), evidenciando o elevado tamanho de grão austenítico. O resultado tenacidade cai drasticamente, para 42 J, mostrando a

fragilização ocorrida. Assim como na condição D do aço VF800AT, a temperatura de austenitização muito elevada promove a formação de martensita grosseira, e forte redução na tenacidade.

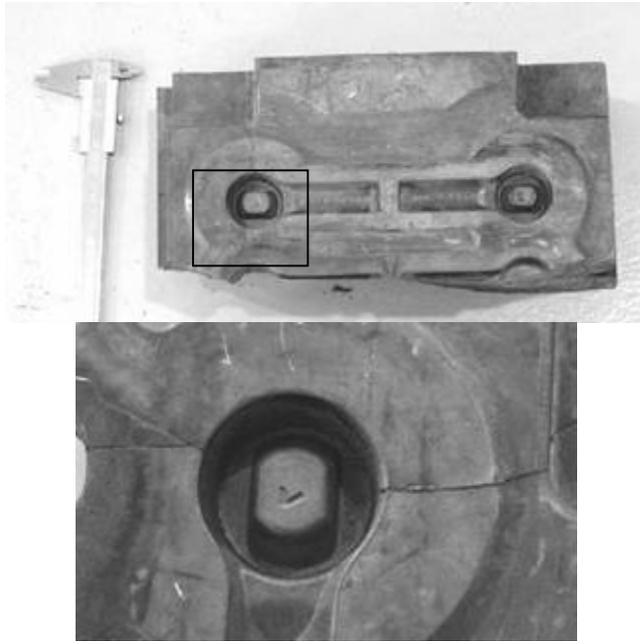
Para a condição H (Figura 4d), a microestrutura possui traços de perlita (escura nos pontos triplos), mostrando uma condição errônea no resfriamento para a têmpera. Novamente, verifica-se menor tenacidade. Além da formação de perlita, o resfriamento demasiadamente lento proporciona fragilização dos contornos de grão, como será mostrado no item a seguir.



**Figura 4.** Microestruturas do aço VH13 ISO, resultantes dos tratamentos térmicos nas condições E a H, descritas na Figura 3. Aumento 1000x, ataque nital 4%.

### 3.3 Estudo de Caso – Matriz de Forjamento com Falha Prematura

Um caso prático de falha próximo à condição H, descrita anteriormente, foi identificado em uma matriz de forjamento feita com aço VHSUPER. Neste caso, a matriz apresentou vida muito inferior ao esperado. A falha ocorreu por trincas catastróficas, mostradas na Figura 5.

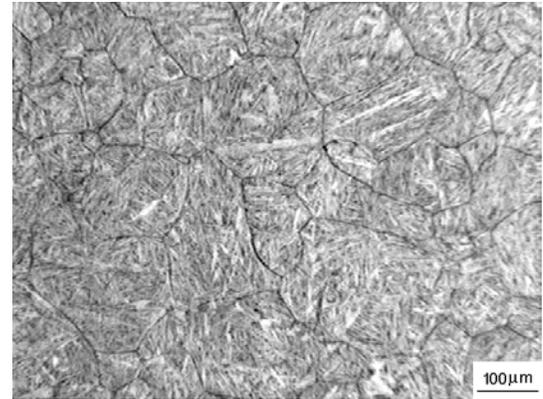


**Figura 5.** Matriz de forjamento trincada prematuramente. a) toda matriz e b) detalhe das regiões trincadas.

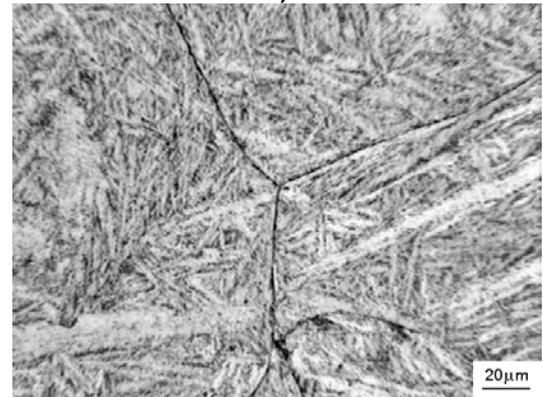
A microestrutura do material, Figura 6, mostrou forte marcação dos contornos de grão austeníticos. Isto resulta de precipitação de carbonetos secundários durante o resfriamento, devido a um resfriamento demasiadamente lento durante a têmpera. Também é observado um grão austenítico grosseiro, indicando o tratamento térmico de austenitização com temperatura ou tempos excessivamente altos, o que facilita a precipitação de carbonetos.

Para análise da tenacidade, foram retirados corpos de prova de impacto da matriz fraturada. O resultado encontrado muito inferior ao esperado para o aço VHSUPER. Obteve-se 50J de energia de impacto em corpos de prova sem entalhe, usinados segundo as recomendações da NADCA, sendo esperado para o aço energia superior a 250 J. A superfície de fratura, mostrada na Figura 9c, apresentou-se predominantemente intergranular, evidenciando o efeito fragilizante dos carbonetos.

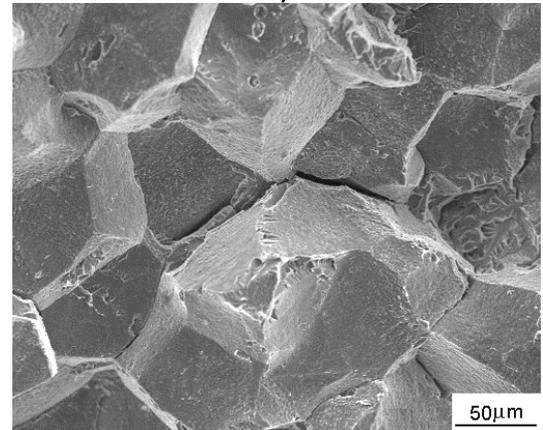
Após este resultado, em uma amostra de material foi aplicado um recozimento e nova têmpera e revenimento, para a mesma dureza, mas com resfriamento em óleo durante a têmpera. A energia de impacto aumentou de 40 para 360 J.



a)



b)



c)

**Figura 6.** Microestrutura observada na matriz trincada. Em detalhe os grãos austeníticos marcados, a) em baixo aumento, 100x, e b) em maior aumento, 350 x. c) fratura dos corpos de prova de impacto retirados da matriz, obtida por microscopia eletrônica de varredura, elétrons secundários, 200x de aumento.

### 3.4 Considerações Finais

Pelos exemplos anteriores, itens 3 e 4, fica claro que a dureza não representa condição suficiente para um tratamento térmico adequado. Para se considerar um tratamento adequado, a microestrutura e as propriedades mecânicas devem, também, serem avaliadas.

Porém, em termos práticos, é inviável avaliar a microestrutura e propriedades de um molde ou matriz, pois normalmente seria necessário destruir a peça (para se observar a microestrutura do núcleo, por exemplo). Assim, tratamento térmico adequado pode apenas ser *garantido se todos os procedimentos (equipamento, temperatura e tempo) forem rigorosamente respeitados*.

## 4 CONCLUSÕES

- As condições de tratamento térmico influem significativamente na microestrutura e propriedades dos aços ferramenta. Desta maneira, também têm forte influência na vida útil do molde, matriz ou da ferramenta empregada.
- Tanto nos aços ferramenta para trabalho a frio quanto nos aços para trabalho a quente, as condições de tratamento térmico variam de maneira intensa de aço para aço.
- Assim, as condições individuais de cada material, em termos de temperatura, tempo e taxas de aquecimento e resfriamento, devem ser respeitadas para um adequado desempenho da ferramenta.
- Os estudos realizados em laboratório comprovaram a influência de condições incorretas nas propriedades finais dos aços ferramenta. Confirmam, portanto, a necessidade de se utilizar um procedimento correto, como forma de garantia de um tratamento térmico adequado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 IRON AND STEEL SOCIETY. **Steel products manual**: tool steels. Warrendale, 1988.
- 2 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Aços ferramenta de alto desempenho para matrizes de fundição sob pressão. **Revista Metalurgia & Materiais**, v. 59, n. 539, nov. 2003. (Caderno Tecnológico ABM, Metalurgia de Não Ferrosos, 1, p.17-22).
- 3 MESQUITA, R.A.; ANDRIJAUSKAS, P.S.; BARBOSA, C.A. Desenvolvimento de um novo aço para trabalho a frio de alta tenacidade. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 56., Belo Horizonte, 2001. Anais... São Paulo; ABM, 2001. 1 CD-ROM.
- 4 NORTH AMERICAN DIE CASTING ASSOCIATION. **NADCA no 207/90**: Premium quality h13 steel acceptance criteria for pressure die casting. River Grove, 1990.
- 5 WILMES, S.; BURNS, K. P. Vergleich der Zähigkeit von Warmarbeitsstahl unterschiedlicher Herstellverfahren im Hinblick auf die Verwendung für Druckgießformen. **Giesserei**, v. 76, n. 24, p. 835-842, 1989.
- 6 HOYLE, G.; INESON, E. A modified bend test for hardened tool steels. **Journal of the Iron and Steel Institute**, v.1, n.1, p.44-55, Jan. 1959.

# HEAT TREATING STUDIES IN VH13ISO E VF800AT TOOL STEEL GRADES <sup>1</sup>

Rafael Agnelli Mesquita <sup>2</sup>  
Daniel Rodrigo Leiva <sup>3</sup>  
Celso Antonio Barbosa <sup>4</sup>

## Abstracts

Tool steels are mainly employed in molds, dies or other tools for metal forming, both in low or high temperature, and for polymers processing and ceramic shaping as well. In all these applications the heat treating is of fundamental importance for tools to attain for the desired performance. Therefore, the present work analyze several heat treating conditions on two tool steels: the VH13ISO<sup>®</sup> steel, for hot work tools, and the VF800AT<sup>®</sup> steel, for cold work. The heat treating conditions are simulated in laboratory and mechanical properties, specially the toughness, are determined and correlated with the end microstructure. The results show the strong influence of the heat treating on such properties, and that hardness is not a sufficient condition for an adequate tool performance.

**Key-words:** Tool steels; Heat treating; Toughness; Performance.

<sup>1</sup> Technical contribution to be presented in the 3<sup>rd</sup> Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, SP, Brazil, 10 to 12<sup>th</sup> August, 2005.

<sup>2</sup> Materials Engineer and Master Science in Materials Engineering, Researcher in Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brazil, e-mail: mesquita.rafael@villaresmetals.com.br.

<sup>3</sup> Post Graduate student in Materials Engineering course, Universidade Federal de São Carlos.

<sup>4</sup> Metallurgical Engineer, Technology manager in Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brazil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br.