

UMA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE DESGASTE E TENACIDADE EM AÇOS PARA TRABALHO A FRIO

Rafael Agnelli Mesquita ¹

Celso Antonio Barbosa ²

Resumo

Nos processos de conformação a frio, geralmente utilizados pela indústria metal-mecânica, a vida útil da ferramenta depende de muitos fatores, alguns deles relacionados às propriedades dos aços empregados. Portanto, o presente trabalho compara tais propriedades em vários aços ferramenta para trabalho a frio. Os aços usualmente empregados em tais aplicações foram comparados, destacando-se os aços da série AISI D, como o D2 e D6. Novos aços, como os obtidos por metalurgia do pó e o aço VF800AT também foram envolvidos no estudo comparativo. As propriedades mais relevantes à aplicação das ferramentas foram avaliadas, destacando-se a resistência ao desgaste, a resposta ao tratamento térmico e a tenacidade. Os valores obtidos foram comparados às microestruturas dos materiais, permitindo distinguir os materiais, bem como avaliar a adequação de cada um para as aplicações. Quanto à resistência ao desgaste abrasivo, os aços de alto C e alto Cr, como o AISI D6, são os mais adequados. Contudo, para as aplicações de conformação a frio mais freqüentes, os aços VF800AT e os obtidos por metalurgia do pó mostram-se mais interessantes. A escolha entre estes últimos deve, ainda, ser avaliada mediante as características críticas da aplicação em questão.

Palavras-chave: Aço-ferramenta; Trabalho a frio; Resistência ao desgaste; Tenacidade; Tratamento térmico.

EVALUATION OF WEAR RESISTANCE AND TOUGHNESS IN COLD WORK TOOL STEELS

Abstract

In cold working processes usually employed in the metal-mechanic industries, tool life depends on several factors, some related to the properties of the employed tool steel. Therefore, the present work compares these properties in several cold working tool steels. The steels usually employed in these applications were compared, emphasizing the AISI D series, such as the D2 and D6, the VF800AT new steel and the powder metallurgy steels were also analyzed. The most important properties to the applications were evaluated, especially the wear resistance, heat treating response and toughness, being the results compared to materials microstructure. This property comparison leads to useful data for material selection in each application. Regarding abrasive wear resistance, the most proper steels are those with high carbon and chromium content, such as the AISI D6. However, in metal forming, which are the most common applications, the steels VF800AT and the P/M high speed steels are shown to be interesting. For the choice of the last class, it should be also considered the critical level of the application.

Key words: Cold working tools steel; Wear resistance; Toughness; Heat treatment.

I INTRODUÇÃO

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. Nessas condições, as ferramentas são submetidas a elevados esforços mecânicos e ao desgaste. 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

¹ Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Membro da ABM, Pesquisador da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: mesquita.rafael@villaresmetals.com.br

² Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Gerente de Tecnologia da Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brasil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br

laminadores de roscas, facas industriais para cortes por cisalhamento, punções e matrizes para cunhagem e ferramentas para forjamento a frio.

A seleção dos aços a serem empregados depende de uma série de fatores, que envolvem o valor do aço ferramenta, as operações de usinagem que serão aplicadas e as propriedades dos materiais utilizados. Em aplicações típicas de conformação a frio são normalmente empregadas três classes de aços: aços da série de alto carbono e alto Cr (AISI D), aços baixa liga de médio a alto teor de carbono (AISI O ou W) e aços resistentes à choques (AISI S).

Os aços da série AISI D, para as aplicações mais críticas, pois possuem alta resistência ao desgaste a frio e atingem elevada dureza, normalmente da ordem de 60 HRC. Nestas aplicações, também vem sendo muito empregado um novo aço desenvolvido pela Villares Metals,⁽¹⁾ denominado VF800AT, que possui como principais propriedades alta resistência ao desgaste associada à alta tenacidade. A tenacidade, em ferramentas de trabalho a frio, é importante para reduzir falhas por trincas ou desgaste por microlascamentos.

Em aplicações menos críticas são utilizados os aços menos ligados, como os aços VND e VETD (da classe AISI O ou W). Tais materiais possuem alto teor de carbono, conferindo alta dureza, porém menor resistência ao desgaste devido à menor fração de carbonetos primários – formados durante a solidificação. Ferramentas altamente solicitadas em impacto, como facas para corte de chapas grossas ou tarugos por cisalhamento, corte de sucata, talhadeiras e placas de choque, utilizam aços de alta tenacidade. Nestas aplicações destacam-se os aços VW3 e VS7 (da classe AISI S) ou o aço VCO. São consideradas aplicações de trabalho a frio, porque trabalham tipicamente na temperatura ambiente. Contudo, as solicitações quanto ao desgaste são muito menores que as das operações típicas de conformação a frio, como conformação de chapas, cunhagem ou forjamento a frio, em que os aços da série AISI D são normalmente utilizados.

Em algumas situações específicas, em que a resistência ao desgaste e a resistência à compressão devem ser superiores às dos aços para trabalho a frio da série D,⁽²⁻⁴⁾ podem ser utilizados aços rápidos. Tais materiais atingem dureza acima de 64 HRC e possuem carbonetos primários de alta dureza, proporcionando resposta adequada nas aplicações mais críticas. Um exemplo

típico de aço rápido empregado é o VWM2. Em situações que exigem maiores esforços de flexão ou concentração de tensão, podem ser inclusive aplicados aços rápidos obtidos por metalurgia do pó (também conhecidos como aços sinterizados), devido à maior tenacidade desses materiais.⁽⁵⁻⁶⁾

Dadas as inúmeras possibilidades de aplicações bem como os diferentes materiais existentes, o presente trabalho busca apresentar um comparativo de propriedades de vários aços ferramenta para trabalho a frio. São principalmente enfocados os aços da série AISI D, porém alguns dados sobre os aços rápidos VWM2, Sinter 23 e Sinter 30 também são apresentados. Ainda, são mostradas algumas propriedades dos aços VND e VW3.

Primeiramente, este trabalho compara a resposta ao tratamento térmico dos vários materiais, dada a sua importância nas propriedades mecânicas obtidas. São, então, enfocadas as propriedades de resistência ao desgaste, dureza e tenacidade. Tais propriedades são discutidas e entendidas com base na microestrutura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química dos aços aqui discutidos é apresentada na Tabela 1. Com base na composição química, os materiais podem ser divididos em quatro classes distintas. Primeiramente, os aços de alto carbono e alto Cr, e o novo aço VF800AT. A característica comum desses materiais é a alta dureza após tratamento térmico e alta resistência ao desgaste a frio. A segunda classe seria do aço VND, de alto teor de carbono, proporcionando alta dureza, porém com baixo teor de elementos de liga. O aço VW3, e também o aço VS7, seriam uma terceira classe. Possuem menor teor de carbono, proporcionando assim menor dureza após tratamento térmico e resistência ao desgaste muito inferior à dos outros materiais. Contudo, ambos possuem tenacidade muito superior. Uma quarta classe seria a dos aços rápidos, VWM2, Sinter 23 e Sinter 30, com alto teor de C e elementos de liga. Em trabalho a frio, tais materiais atingem durezas mais elevadas e os carbonetos primários de elementos de liga geram alta resistência ao desgaste.

Tabela 1. Composição química típica de aços aplicados em trabalho a frio. Porcentagem em massa e balança em Fe. O sinal "-" nas similaridades indica que os materiais são próximos, mas apresentam diferenças em alguns elementos. Os teores não indicados são de elementos residuais.

Aço	AISI	DIN	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Outros
VC131	D6	1.2436	2,10	0,3	0,3	11,5	-	0,7	0,2	-
VD2	D2	1.2379	1,50	0,3	0,3	12,0	1,0	-	0,9	-
VF800AT	-	-	0,85	1,0	0,3	8,5	2,1	-	0,5	Nb= 0,15
VND	O1	1.2510	0,95	0,3	1,3	0,5	-	0,5	0,1	-
VW3	S1	1.2542	0,45	1,0	0,3	1,4	0,2	2,0	0,2	-
VWM2	~M2	1.3343	0,89	0,4	0,3	4,2	5,0	6,1	1,9	-
Sinter 23 ^o *	M3:2	~1.3344	1,28	0,4	0,3	4,2	5,0	6,3	3,0	-
Sinter 30 ^o *	-	-	1,28	0,4	0,3	4,2	5,0	6,3	3,0	Co= 8,4

*Obtidos por metalurgia do pó; marca sinter propriedade da Villares Metals S.A.

As propriedades foram avaliadas nas curvas de tratamento térmico de cada material, ensaios de resistência ao desgaste abrasivo e adesivo,^a tenacidade em flexão e microestrutura. O ensaio de flexão não é adequado para o aço VW3, devido à sua menor dureza e, portanto, não foi aplicado. Ainda, as medidas de resistência ao desgaste abrasivo e adesivo foram apenas aplicadas nos aços VC131, VD2 e VF800AT, pois estes aços são empregados em ferramentas em que o desgaste é o fator crítico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resposta ao Tratamento Térmico

O tratamento térmico aplicado é de suma importância para um bom rendimento das ferramentas. Para tanto, deve ser o primeiro item analisado na comparação ou substituição de aços ferramenta. As curvas de revenimento da Figura 1 mostram resultados típicos para os aços aqui analisados.

Primeiramente, esta figura já permite entender a razão da aplicação de alguns dos aços apenas em trabalho frio. Os aços VC131, VD2 e VND promovem alta dureza em baixa temperatura, porém esta dureza não é estável a altas temperaturas. Assim, se tais materiais fossem empregados em processos com aquecimento acima de 500 °C,^b a ferramenta perderia dureza rapidamente, causando falha prematura. Os aços rápidos, por outro lado, possuem alta dureza quando revenidos a altas temperaturas, propriedade fundamental para sua aplicação em ferramentas de corte.

A curva do aço VWM2 é apenas representativa, pois as condições de tratamento térmico são normalmente discutidas em função da temperatura de austenitização, como mostram as curvas da Figura 2 e não de revenimento. Por exemplo, para durezas de 60 a 62 HRC no aço VWM2 são empregadas temperaturas de austenitização de 1100 °C e revenimento fixo a 560 °C.

As várias curvas da Figura 1 referem-se à austenitização nas temperaturas usuais de cada material, às quais são muito variadas. Por exemplo, o aço VND, por ser baixa liga, é austenitizado a 800°C. Para este aço, temperaturas

superiores causariam demasiado crescimento do grão austenítico, sem ganhos em outras propriedades. O aço VWM2, por outro lado, é temperado de 1200 °C (quando se objetiva dureza de 64 a 66 HRC), pois altas temperaturas são necessárias para proporcionar adequada dissolução de carbonetos. Os carbonetos também atuam como barreira ao crescimento de grão, evitando perda excessiva de tenacidade e tornando possível o emprego de tais temperaturas de austenitização.

Portanto, cada material tem uma condição distinta de tratamento térmico, que inclui temperatura e tempo de austenitização, meio de resfriamento na têmpera e condições de revenimento, como temperatura, tempo e número de revenimentos aplicados. O uso de condições inadequadas normalmente incorre em perda de propriedades mecânicas e, assim, em falha prematura da ferramenta. Um exemplo disto foi simulado para o aço VF800AT. O material foi tratado em várias condições, uma correta e as outras incorretas, e a resistência em flexão foi avaliada. Neste ensaio empregou-se a técnica de quatro pontos e

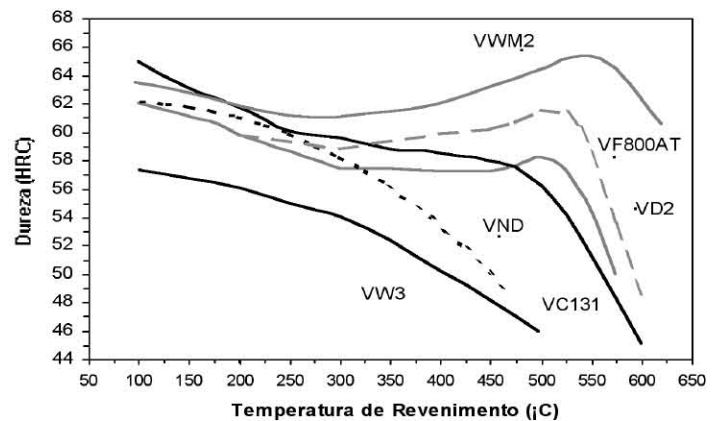


Figura 1. Curvas de revenimento para os aços VW3, VND, VC131, VD2, VF800AT e VWM2. Os dados referem-se a corpos de prova temperados em óleo e duplo revenimento. As temperaturas de austenitização são as típicas para cada aço: 920 °C para o VW3, 800 °C para o VND, 940 °C para o VC131, 1010 °C para o VD2, 1030 °C para o VF800AT e 1200 °C para o VWM2.

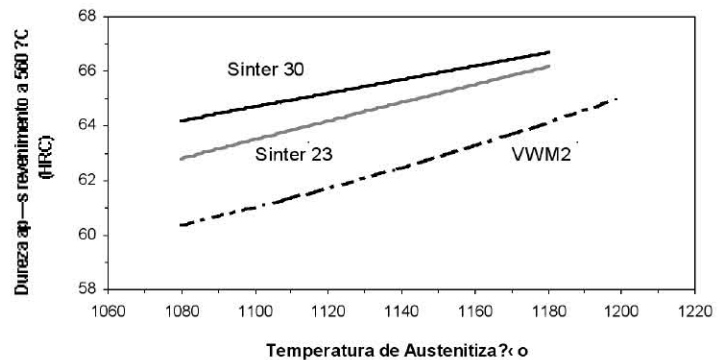


Figura 2. Dureza após revenimento a 560°C em função da temperatura de austenitização para os aços VWM2, Sinter 23 e Sinter 30. Revenimento duplo para o VWM2 e triplo para os aços Sinter 23 e Sinter 30.

^a Os dados do ensaio são descritos nas legendas das figuras.

^b Para o aço VF800AT o revenimento em alta temperatura é possível e recomendado, principalmente para melhoria da tenacidade, como será mostrado no item 3.4.

corpos de prova de 5 x 7 mm² de secção; a dureza foi mantida a 60 HRC para todas condições. A condição A refere-se ao tratamento do material de forma correta, com têmpera a partir de 1030°C e revenimento duplo a 530 °C. Nas outras condições foram efetuados tratamentos incorretos, para os aços em questão, mas que seriam corretos para outros materiais. A Figura 3 mostra os resultados obtidos.

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, 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 já apresenta 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, causada pelo crescimento exagerado de grão.

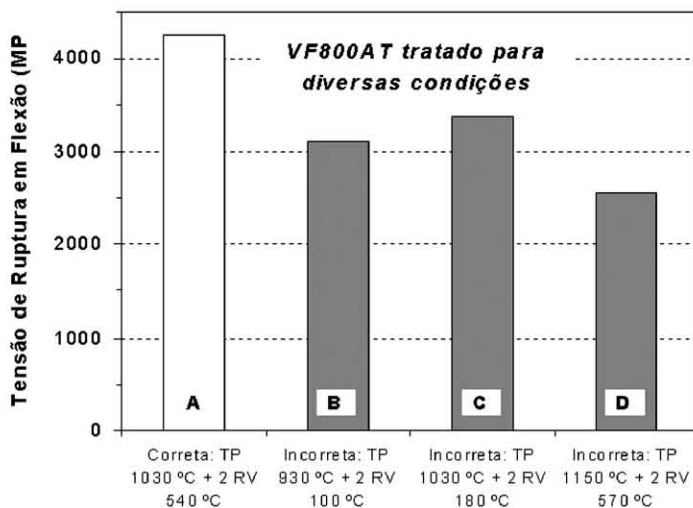


Figura 3. Resistência em flexão para o aço VF800AT tratado para diversas condições, todas para dureza de 60 HRC. A condição A é a correta, com têmpera de 1030 °C e revenimento duplo a 540 °C. A condição B é incorreta pela aplicação de austenitização em baixa temperatura (aproximadamente 930 °C) e revenimento em baixa temperatura (100 °C). A condição C é também incorreta, com austenitização em temperatura adequada (1030 °C), porém revenimento em baixa temperatura (180 °C). Na condição D a temperatura de austenitização foi excessivamente alta, 1150 °C, com revenimento a 570 °C, ajustando a dureza para 60 HRC. Na Figura, TP significa a temperatura de austenitização empregada na têmpera e RV o número de revenimentos.

3.2 Resistência Mecânica

A resistência mecânica dos aços para trabalho a frio, ou seja, a resistência à deformação plástica é basicamente determinada pela dureza após tratamento térmico. Nestes aços, não são comumente avaliados os valores de tensão de escoamento, limite de resistência, alongamento e redução em área, parâmetros comuns para materiais estruturais. Primeiramente, porque tais materiais não são aplicados em partes estruturais. Também, porque o ensaio de tração dificilmente é aplicável a aços com dureza acima de 60 HRC, típica nos aços para trabalho a frio.

Em algumas aplicações, como ferramentas de cunhagem e forjamento a frio, as ferramentas são empregadas no limite de sua resistência mecânica. Neste caso, a resistência à deformação plástica é importante. Contudo, nos níveis elevados de dureza em que trabalham as ferramentas, a tensão de escoamento dificilmente é atingida. São assim mais importantes os valores de tensão de ruptura, que devido à baixa ductilidade estão intimamente ligados à tenacidade, discutida no item 3.4. Apesar deste e alguns outros casos específicos, a dureza de projeto normalmente relaciona-se à vida da ferramenta quanto ao desgaste, descrita a seguir.

3.3 Resistência ao Desgaste

Em trabalho a frio, o fim de vida das ferramentas normalmente condiciona-se ao desgaste, devido às altas tensões de contato, associadas ao deslizamento relativo da ferramenta com o material conformado. O processo ainda pode conter partículas de alta dureza na região de deslizamento, como óxidos, causando desgaste por abrasão. Por exemplo, num processo de estampagem de chapas, a tensão entre o punção, a chapa e a matriz é elevada, sendo esta tensão aplicada simultaneamente ao deslizamento da chapa em contato com as ferramentas. Neste caso, o desgaste é tipicamente adesivo, sendo causado no contato metal-metal. Contudo, a presença de impurezas do processo também pode conduzir à abrasão^c.

A resistência ao desgaste abrasivo do aço ferramenta é promovida pela dureza da matriz, dada pelo tratamento térmico, e pela

^c Partículas metálicas da ferramenta ou da chapa, resultantes do desgaste adesivo, podem oxidar com o calor do processo e também causar abrasão.

presença de carbonetos primários não dissolvidos. O gráfico da Figura 4a mostra um comparativo desta propriedade, para os aços VC131, VD2 e VF800AT. Observa-se a alta resistência ao desgaste do aço VC131 e valores ligeiramente superiores do aço VF800AT em relação ao VD2. Assim, para aplicações tipicamente de desgaste abrasivo o aço VC131 seria o mais indicado. Exemplos são as ferramentas para trabalho e conformação de cerâmicas, como em prensagem. Outros casos que também envolvem principalmente abrasão são facas de corte de papel e trabalho com madeira.

Porém, a maioria das aplicações em trabalho a frio possui desgaste tipicamente adesivo, como em corte e conformação de chapas, pentes e rolos laminadores de rosca, ferramentas de cunhagem e outros processos de contato metal-metal. Esta propriedade é mais difícil de ser avaliada, pois envolve um arranjo

mais complexo de forças e parâmetros de superfície, dificilmente reproduzidos em laboratório. Alguns resultados,⁽⁷⁾ como os da Figura 4b, mostram alta resistência ao desgaste adesivo para o aço VF800AT, e menor valor para o VD2, seguido pelo VC131. Os resultados da Figura 4a e 4b são explicados pela microestrutura e tenacidade dos aços, descritas a seguir.

3.4 Microestrutura e Tenacidade

Os resultados do ensaio de flexão, que indicam a tenacidade dos aços ferramenta com alta dureza,⁽⁸⁻⁹⁾ são apresentados na Figura 5a. Devido à possibilidade de uso em mais alta dureza, a Figura 5b compara os aços rápidos acima de 64 HRC.

Na Figura 5a, o aço VF800AT apresenta a maior tenacidade sendo esta a principal característica deste novo aço (1). Para os aços rápidos, os dados da Figura 5b indicam a alta tenacidade e homogeneidade de propriedades dos aços Sinter 23 e Sinter 30. Por exemplo, a resistência à flexão do aço VWM2 diminui à metade no ensaio da direção transversal, enquanto os aços obtidos por metalurgia do pó mantêm o mesmo valor para as duas direções.

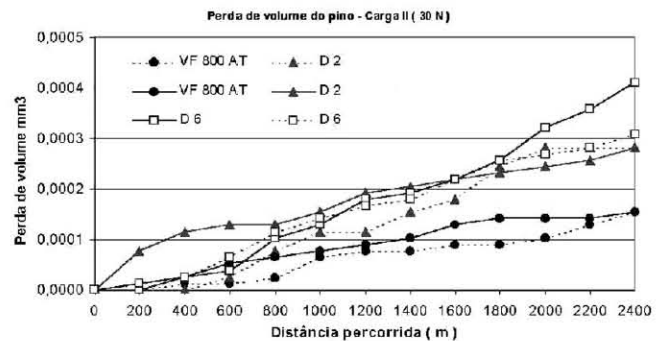
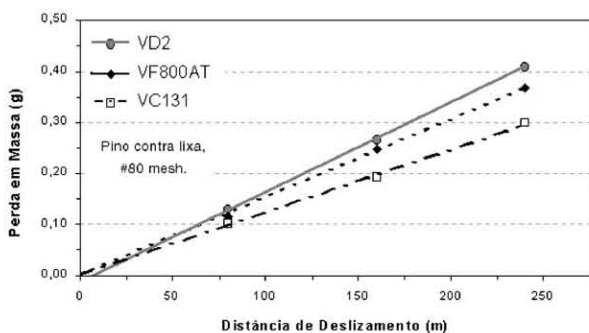


Figura 4. a) Resultados do teste de desgaste abrasivo pino contra lixa, para os aços VD2, VC131 e VF800AT. As condições do ensaio foram: força aplicada 44,5N, velocidade média de deslizamento 1,72 m/s, lixa de #80 mesh de Al_2O_3 e tempo de cada ensaio igual a 60s. b) ensaio de desgaste pino contra disco, pino do aço ferramenta e disco de aço SAE 1008, obtido da referência.⁽⁷⁾

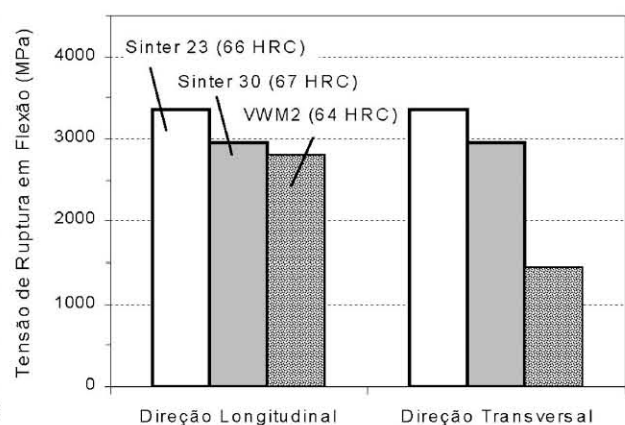
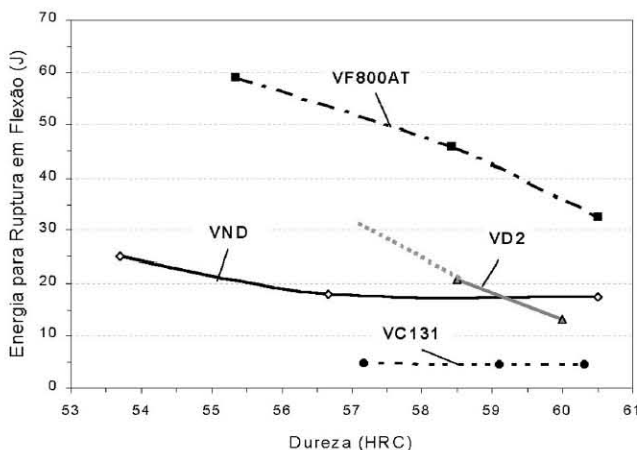


Figura 5: a) energia para ruptura em flexão a 4 pontos para os aços para trabalho a frio, com 60 HRC. Dados para direção longitudinal, em corpos de prova com 5 x 7 mm de seção. b) resultados de tensão de ruptura (neste caso proporcional a energia) para os aços rápidos, em maior dureza. O aço VV3 não foi avaliado em flexão, pois sua menor dureza inviabiliza as condições de utilização deste tipo de ensaio.

Na Figura 6 podem ser comparadas as microestruturas dos aços VC131, VD2, VF800AT e VND; baseado nelas, os resultados de tenacidade e desgaste podem ser entendidos. A maior fração de carbonetos primários no aço VC131 confere alta resistência ao desgaste abrasivo, pois estes carbonetos dificultam a remoção de material durante o desgaste pela partícula abrasiva. Contudo, também atuam como concentradores de tensão, reduzindo a tenacidade do material. A fração de carbonetos primários é menor no aço VD2 e ainda menor no VF800AT, proporcionando maior tenacidade, mas diminuindo a resistência ao desgaste abrasivo. O aço VD2 possui tenacidade muito menor que o aço VF800AT, porém também menor resistência ao desgaste. O aço VND possui menor resistência ao desgaste abrasivo que os aços anteriores, pela ausência de tais carbonetos; e o aço VW3 ainda menor, pela menor dureza obtida.

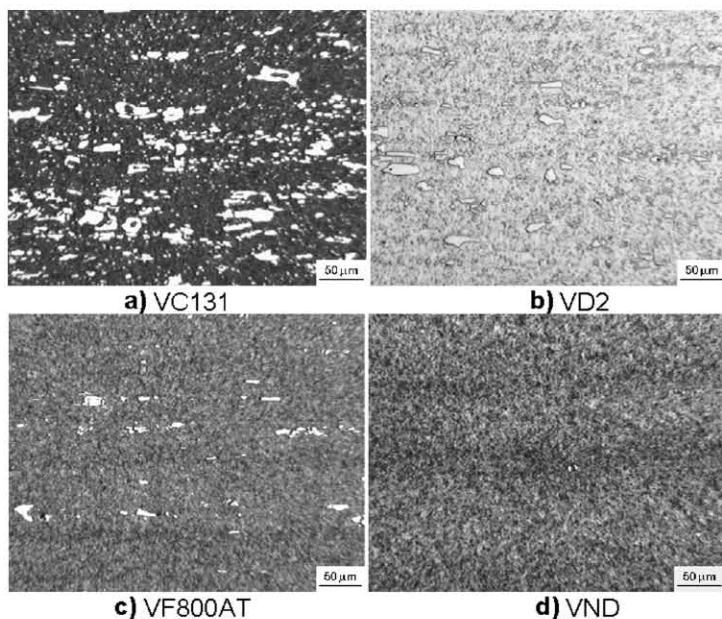


Figura 6. Microestrutura dos aços para trabalho a frio a) VC131, b) VD2, c) VF800AT e d) VND. Regiões meio raio, bitolas de 60 mm, após tratamento térmico para 60HRC. Ataque nital 4%, mesmo tempo para as micros a), b) e c) e menor tempo para a micro d).

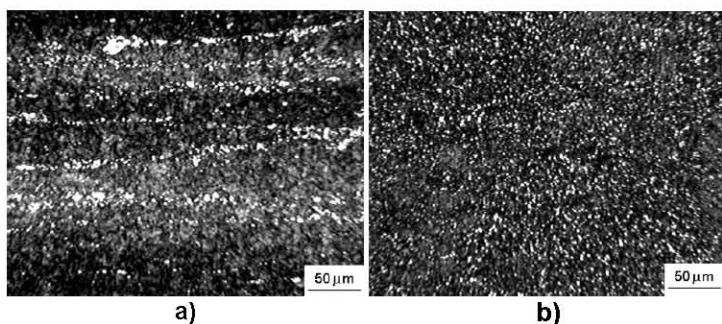


Figura 7. Microestrutura dos aços rápidos a) VWM2 e b) Sinter 23, após tempera e revenimento. Bitolas de aproximadamente 100 mm.

O aço VF800AT, apesar de menor fração de carbonetos que o aço VD2, possui maior resistência ao desgaste abrasivo. Dois fatores causam esta diferença. Primeiro, o fato do VF800AT possuir, além dos carbonetos M_7C_3 ricos em Cr, também carbonetos tipo MC, ricos em V e Nb.⁽¹⁾ No caso do VD2, a microestrutura possui majoritariamente carbonetos M_7C_3 , cuja dureza é inferior à dos carbonetos MC. Em segundo lugar, pela maior tenacidade do VF800AT, evitando microlascamentos e microtrincas durante o desgaste. Este fator é, contudo, fundamental no ensaio de desgaste adesivo, e pode ser considerado a principal razão para maior resistência ao desgaste do VF800AT, mostrada na Figura 4b.

Além do aspecto dos carbonetos, a tenacidade também depende da matriz microestrutural. No caso dos aços VC131, VD2 e VND, a dureza é promovida por martensita pouco revenida, ou seja, ainda altamente tencionada e com alta fragilidade. No aço VF800AT, contudo, o tratamento térmico envolve revenimento em alta temperatura, possibilitando alívio das tensões e reações de revenido, gerando aumento da tenacidade. Neste sentido, o material possui tenacidade mesmo superior ao aço VND, apesar de possuir maior fração de carbonetos primários.

Em relação aos aços rápidos, os resultados da Figura 5b também podem ser entendidos baseando-se nas microestruturas, mostradas na Figura 7^d. O material convencional possui carbonetos alinhados, com morfologia de estrias, facilitando a propagação de trincas nesta direção e reduzindo, como conseqüência, o valor obtido na direção transversal.

Este fato também é importante para comparar os resultados dos aços sinterizados aos aços para trabalho a frio convencionais. Na Figura 5a todos os casos são relativos ao ensaio na direção longitudinal. Assim, se os resultados na transversal fossem avaliados, valores significativamente menores seriam obtidos, pois, assim como os aços rápidos, os aços para trabalho a frio convencionais possuem estrias de carbonetos como rotas preferenciais à propagação de trincas. E, considerando esta situação, a homogeneidade de propriedades dos aços obtidos por metalurgia do pó os torna muito superiores aos aços convencionais.

^d As microestruturas da Figura 7 não podem ser diretamente comparadas às das Figura 6, pois as bitolas são diferentes.

4 CONCLUSÕES

As condições de tratamento térmico são fundamentais para que elevadas propriedades mecânicas sejam atingidas nos aços ferramenta para trabalho a frio.

Para aplicações em desgaste puramente abrasivo, o aço VC131 é adequado, devido à

maior fração de carbonetos em sua microestrutura. Em trabalho na indústria metal-mecânica, as aplicações envolvem principalmente desgaste adesivo, em que o aço VF800AT é recomendável pelo seu arranjo de propriedades mecânicas.

Para as aplicações mais críticas, os aços rápidos podem ser empregados e, neste caso, os aços obtidos por metalurgia do pó (Sinter 23 e Sinter 30) destacam-se pela elevada homogeneidade de propriedades.

REFERÊNCIAS

- 1 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., 2001, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 2001. p.71-80.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6189**: Aços Ferramenta. Rio de Janeiro, 1982.
- 3 ASTM. **A684-94**: Standard specification for tool steels alloy. West Conshohocken, 2004.
- 4 ROBERTS, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. **Tool steels**. 5. ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 1998. p. 1-123 e p. 219-250.
- 5 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Evaluation of as-hiped PM high speed steel for production of large diameters cutting tools. **Materials Science and Forum**, v. 416-418, p. 235-240, 2003.
- 6 MESQUITA, R. A.; ANDRIJAUSKAS, P. S.; BARBOSA, C. A. Aços de alta tenacidade para matrizes de trabalho a frio. In: ENCONTRO DE INTEGRANTES DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRAMENTAS, MOLDES E MATRIZES, I., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2003. p.1-10.
- 7 BRESSAN, J. D.; GILAPA L. M.; TRAMONTIN, A. Estudo comparativo do desgaste em aços ferramenta AISI D2, D6 e VF800AT. In: ENCONTRO DE INTEGRANTES DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRAMENTAS, MOLDES E MATRIZES, I., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2003. p.51
- 8 HOYLE, G.; INESON, E. A modified bend test for hardened tool steels. **Journal of the Iron and Steel Institute**, v. 14, p. 44-55, Jan. 1959.
- 9 HORTON, S. A.; CHILD, H. C. Relationship between structure and fracture behaviour in 6W-5Mo-2V type high-speed steel. **Metals Technology**, v. 10, n.7, p. 245-256, July, 1983.

Recebido em: 28/03/05

Aceito em: 11/10/05

Proveniente de: ENCONTRO DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRAMENTAS, MOLDES E MATRIZES, 2., 2004, São Paulo. São Paulo : ABM, 2004.