

AÇOS DE ALTA TENACIDADE PARA MATRIZES DE TRABALHO A FRIO

Rafael Agnelli Mesquita ⁽¹⁾
Celso Antonio Barbosa ⁽²⁾

Em conformação a frio, a principal propriedade é a resistência ao desgaste. Porém, falhas por trincas ou desgaste por micro-lascamentos podem ocorrer devido à baixa tenacidade dos aços convencionais. Portanto, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento um aço para trabalho a frio de alta tenacidade, denominado VF800 AT. Avalia também as propriedades de dois aços rápido sinterizados, como alternativa para ferramentas de alta solicitação. A tenacidade dos materiais foi avaliada pelo ensaio de flexão a 4 pontos. O aço VF800 AT foi comparado ao aço de alto C e alto Cr ABNT D2 (VD2), visto que estes são os principais aços utilizados em conformação a frio de metais. Também são apresentados resultados comparativos de vida útil de ferramentas, confeccionadas com os materiais estudados e empregados em conformação a frio. Os aços rápido obtidos por metalurgia do pó foram comparados a aços rápido convencionais. Para esses, a tenacidade foi avaliada nas direções transversal e longitudinal, visando traçar a homogeneidade de propriedades (isotropia). Nos testes comparativos verificou-se que a tenacidade do VF800 AT é sensivelmente superior (acima de 40 %) a do aço VD2. Isto resulta da sua microestrutura mais refinada, com menor volume de carbonetos ledeburíticos, e de uma matriz martensítica mais tenaz, devido ao endurecimento secundário em alta temperatura. A comparação dos aços rápido convencionais e sinterizados também mostra aumento na tenacidade, especialmente na direção transversal, promovendo assim maior isotropia.

Palavras-chave: Aço Ferramenta para Trabalho a Frio, Tenacidade, Metalurgia do Pó, VF800 AT, Sinter.

Contribuição técnica a ser apresentada no 1º Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, Outubro de 2003.

¹⁾ Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Membro da ABM, Pesquisador da Villares Metais S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: agnelli@villares.com.br.

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

1. 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.

A indústria metal-mecânica é a principal envolvida em conformação a frio, especialmente na conformação de aço. Por exemplo, destacam-se operações de furação de longarinas de caminhões e chassis de automóveis, corte de chapas, furação e dobra para fabricação de fechaduras e móveis de aço, para fazer roscas em parafusos, pentes e rolos laminadores de roscas, facas industriais, ferramentas de cunhagem, punções e matrizes de corte e repuxe.

As ferramentas possuem especial influência no custo dos processos das indústrias de conformação a frio. Além do custo do aço, muitos outros aspectos são importantes na produção das ferramentas. O aço ferramenta é a base, o ponto inicial, para um longo processo de agregação de valor. Este processo inicia-se no projeto da peça, passa pelas etapas de usinagem (que não raro são complexas) e termina com o tratamento térmico. Matrizes otimizadas, portanto, devem partir de aços ferramenta com qualidade metalúrgica e propriedades adequadas para a operação de conformação em questão.

O presente trabalho apresenta, portanto, dois materiais utilizados em ferramentas de trabalho a frio, que visam aumento da vida útil das matrizes. São mostradas as propriedades de um novo aço para trabalho a frio, com maior tenacidade que os aços convencionais. Este material é descrito na primeira parte do trabalho (Parte I).

Para ferramentas altamente solicitadas de trabalho a frio e de corte, podem ser empregados aços rápido. Esses possuem alta dureza e resistência ao desgaste, mas podem ser restringidos para certas aplicações devido à baixa tenacidade. Assim, este trabalho também mostra as principais propriedades dos aços rápido produzidos por metalurgia do pó – linha Sinter. Em opção aos aços rápido convencionais, os aços da linha Sinter possuem estrutura mais refinada e melhor tenacidade, como será mostrado na segunda parte do trabalho (Parte II).

2. PARTE I: Aços para Trabalho a Frio

2.1 Aços Convencionais e o VF800 AT

Em geral, dois tipos de aço ferramenta podem ser empregados em trabalho a frio, dependendo do tipo de solicitação e da resposta requerida das ferramentas. São utilizados aços tipicamente baixa liga, por exemplo ABNT O1 e S1 (VND e VW3), ou aços com maiores teores de elementos de liga, como o ABNT D2 e D6 (VD2 e

Tabela 1: Composição química dos aços convencionais aplicados em ferramentas de trabalho a frio.

	C	Mn	Cr	Mo	W	V	Outros
VND	0,95	1,25	0,50	-	0,50	0,12	
VW3	0,45	0,30	1,40	0,20	2,00	0,20	Si=1,0%
VD2	1,50	0,30	12,0	0,95	-	0,90	
VC131	2,10	0,30	11,5	-	0,70	0,20	

o VC131), conforme mostra a Tabela 1. Estes últimos são aplicados em ferramentas denominadas de alta solicitação, nas quais as solicitações quanto ao desgaste são intensas.

Além da resistência ao desgaste, a tenacidade constitui outra propriedade importante para ferramentas de trabalho a frio de alta sollicitação. Nas aplicações industriais, a tenacidade reflete na resistência do material a falhas que envolvam impacto, flexão ou cisalhamento. Por exemplo, retarda a falha prematura por ruptura catastrófica, trincamentos ou lascamentos.

Apesar da importância da tenacidade, os aços convencionais, VD2 e VC131, são aços tipicamente de baixa tenacidade. Consequentemente, muitas das falhas e término de vida de matrizes podem ocorrer pela falta desta propriedade.

Portanto, a necessidade de um material para ferramentas de trabalho a frio de alta sollicitação, com propriedades otimizadas, motivou o desenvolvimento ⁽¹⁾ de um novo aço, o VF800 AT.

Tabela 2: Composição química do aço VF800 AT.

	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb
VF800 AT	0,85	1,0	0,40	8,5	2,0	0,50	0,15

2.2 Composição Química e Tratamento Térmico

A composição química do VF800 AT, apresentada na Tabela 2, foi cuidadosamente balanceada ⁽¹⁾. A partir dela, buscou-se a obtenção de um aço com tenacidade otimizada, mas sem alteração nos custos de tratamento térmico e na resistência ao desgaste dos aços convencionais. Os teores de carbono e cromo foram ajustados para propiciar uma microestrutura mais refinada, adequada para o aumento da tenacidade. Outros elementos de liga, como molibdênio, silício, nióbio e vanádio, foram adicionados para conferir ao material maior temperabilidade e endurecimento secundário durante o revenimento.

A curva de revenimento do VF800 AT está apresentada na Figura 1, em comparação com o D2. A austenitização na temperatura de 1030 °C (próxima da temperatura usualmente aplicada ao D2) é adequada ao novo material, pois acarreta em níveis de dureza de até 61,5 HRC. A dureza alcançada é suficiente para grande parte das aplicações de trabalho a frio, pois as ferramentas são normalmente tratadas para durezas entre 58 e 61 HRC. Caso sejam necessárias durezas ainda mais elevadas, a austenitização do VF800 AT em temperaturas próximas a 1070°C aumenta a dureza, após revenimento, para até 63 HRC.

Como comentado, aços rápido são também utilizados em trabalho a frio quando as sollicitações mecânicas e de resistência ao desgaste são extremas. Embora sejam alcançadas melhorias de desempenho, o uso de aços rápido é limitado, devido ao elevado custo do material e do tratamento térmico. Nesse sentido, o VF800 AT mostra-se interessante, porque possui os custos de tratamento térmico próximos aos aços ferramenta convencionais.

O comportamento da curva de revenimento do aço D2 (Figura 1) é característico dos aços ferramenta para trabalho a frio convencionais. Apresenta endurecimento secundário pouco intenso e, para atingir os níveis de dureza necessários, deve ser revenido em baixa temperatura. Isto dificulta a realização de tratamentos de nitretação, devido à perda em dureza da matriz durante o tratamento. A nitretação pode ser importante para melhoria de desempenho das matrizes, pelo aumento da dureza superficial.

O VF800 AT, por outro lado, pode ser revenido em alta temperatura (acima de 500 °C) e, consequentemente, pode ser nitretado sem que hajam problemas quanto a diminuição da dureza da matriz. O revenimento em alta temperatura também contribui para o aumento da tenacidade, como já verificado em trabalhos anteriores ⁽²⁾, e deve ser sempre aplicado.

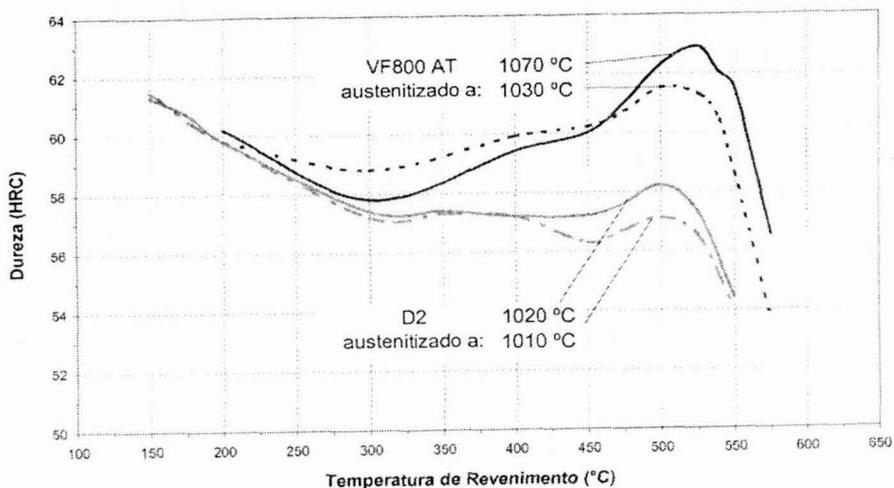


Figura 1: Dureza em função da temperatura de revenimento para os aços VF800 AT e ABNT D2. Resultados para várias temperaturas de austenitização.

A Tabela 3 resume as vantagens do tratamento térmico do VF800 AT em relação aos aços convencionais.

2.3 Tenacidade

A tenacidade do VF800 AT, do VD2 e do VWM2, avaliada pelo ensaio de flexão, está apresentada na Figura 2. A tenacidade, para aços ferramenta e aços rápido de dureza acima de 58 HRC, está diretamente relacionada à tensão de ruptura em flexão. Portanto, a Figura 2 indica que a tenacidade do VF800 AT é consideravelmente superior a dos aços VD2 e VWM2.

Os aços VD2 e VC131 são conhecidos como aços de alto teor de carbono e cromo. Após tratamento térmico, obtêm alta dureza e apresentam carbonetos primários grosseiros, o que lhes confere adequada resistência ao desgaste. Contudo, esse arranjo microestrutural diminui drasticamente a tenacidade. O aço VWM2 também possui elevada fração de carbonetos primários, que igualmente promove resistência ao desgaste, mas prejudica sua tenacidade.

Tabela 3: Vantagens do VF800 AT quanto ao tratamento térmico

Condições de Tratamento Térmico	Vantagens
Austenitização abaixo de 1050 °C	- Mesma condição do aço VD2 - Menor distorção e custo de tratamento térmico que os aços rápido.
Meio de Resfriamento: óleo, ar ou vácuo	- Menor distorção após têmpera.
Revenimento acima de 500 °C	- Maior estabilidade dimensional durante o trabalho. - Maior tenacidade da matriz microestrutural. - Nitretação possível sem alteração das propriedades.

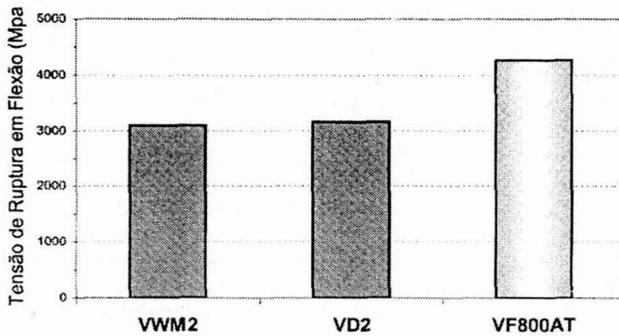


Figura 2: Comparação da tenacidade dos aços VWM2, VD2 e VF800 AT. Resultados para dureza de 60 HRC. Ensaio para direção longitudinal, em bitolas em torno de 60 mm.

A maior tenacidade do VF800 AT advém de uma microestrutura com carbonetos mais refinados e distribuídos. Esta fina distribuição resulta do projeto de liga, que balanceou a composição química priorizando a tenacidade⁽¹⁾.

Mesmo possuindo elevada tenacidade, o VF800 AT concilia elevada resistência ao desgaste. Em condições de desgaste adesivo (contato metal-metal), possui resistência ao desgaste comparável ao VD2.

A comparação esquemática de todas as propriedades aqui discutidas está ilustrada no diagrama tipo diamante da Figura 3. Apesar de manter a resistência ao desgaste e não gerar aumento no custo do tratamento térmico, o VF800 AT possui melhoria significativa na tenacidade e, também, aumenta os níveis de dureza alcançados após o revenimento em alta temperatura.

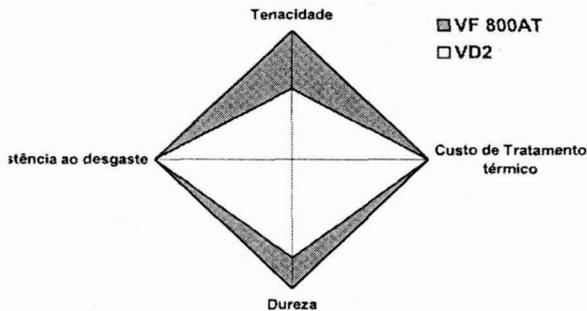


Figura 3: Representação esquemática das propriedades dos aços VF800 AT e VD2. A propriedade de dureza refere-se à condição após revenimento em alta temperatura, como observado na Figura 1.

2.4 Avaliação do Desempenho

Testes práticos de desempenho foram realizados em 36 aplicações que tradicionalmente utilizam os aços VD2, VC131 ou mesmo o VWM2. Os resultados estão apresentados na Figura 4. Foram escolhidas aplicações que tipicamente envolvem alta sollicitação das ferramentas e esforços de desgaste tipo adesivo (metal-metal), como: cilindros para laminação a frio, matrizes de cunhagem, matrizes

de corte, rolos laminadores de rosca, punções de corte e repuxo, facas e matrizes de estampagem.

Em todos os testes realizados, o aço VF800 AT resultou em prolongamento da vida útil da ferramenta. Até junho de 2001, em 8 das 36 aplicações testadas, o VF800 AT apresentou desempenho excepcional, gerando aumento na vida útil das ferramentas superior a 80%. Foram constatadas aplicações que, em relação aos aços convencionais, chegaram a aumento de vida útil em até 10 vezes.

A falta de tenacidade torna os aços convencionais susceptíveis a falhas prematuras e diminui consideravelmente a vida das ferramentas. Em muitos casos, se apenas considerado o desgaste sofrido, a ferramenta poderia ser usada por períodos mais longos. Porém, pela falta de tenacidade, ocorrem rupturas ou lascamentos que, inevitavelmente, interrompem sua utilização.

Em outros casos, a falta de tenacidade reflete, inclusive, no desgaste das ferramentas. Sob condições de desgaste adesivo intermitentes, mecanismos de desgaste por microlascamentos podem ocorrer⁽³⁾. Nestes, a tenacidade do aço ferramenta é especialmente importante para a diminuição da taxa de desgaste.

Conforme mostra a Figura 4, a maior tenacidade do VF800 AT é capaz de gerar considerável aumento no rendimento e produtividade das ferramentas. Isto ocorre de forma direta, se considerado o número de peças ou operações conseguidas antes da falha da matriz, ou de forma indireta, pois matrizes com maior vida útil reduzem o tempo de ajuste e início das operações (*set up*).

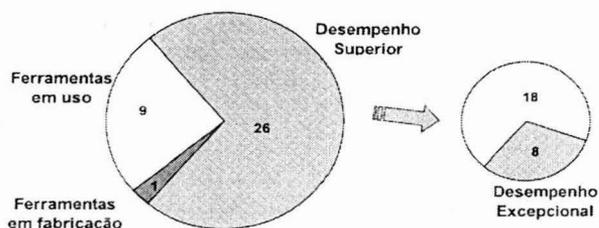


Figura 4: Resultados dos testes práticos de desempenho do aço VF800 AT, em relação aos aços VD2, VC131 e VWM2. O assinalado como desempenho excepcional corresponde a aumento de mais de 80% na vida útil das matrizes. Resultados até junho de 2001.

3. Aços Rápido Produzidos por Metalurgia do Pó

3.1 Descrição de Aplicações

Os aços rápido produzidos por metalurgia do pó são apresentados como importantes alternativas aos aços convencionais⁽⁴⁾, visto que conciliam propriedades, como elevada dureza e tenacidade, dificilmente atingidas por aços produzidos pela rota tradicional.

Os aços rápido da linha Sinter são produzidos a partir de atomização gasosa, seguida da prensagem isostática diretamente em barras nos diâmetros desejados, isto é, sem processos intermediários de conformação a quente⁽⁵⁾. Este fato confere aos materiais total homogeneidade de propriedades (isotropia).

Devido à ausência da segregação e descontinuidades internas, como inclusões não metálicas, os aços rápido da linha Sinter são especialmente adequados para ferramentas industriais altamente solicitadas, como fresas, ferramentas de corte e ferramentas de conformação a frio complexas. Os aços disponíveis estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Composição química dos aços da linha Sinter. Valores em porcentagem em massa e balanço em Fe

	C	Cr	Mo	W	V	Co
SINTER 23	1,28	4,2	5,0	6,3	3,0	--
SINTER 30	1,29	4,2	5,0	6,3	3,0	8,4
SINTER 60	2,30	4,2	7,0	6,5	6,5	10,5

Sinter 23 corresponde aos graus ASP 2023 CPM M 3:2, CPM M4 e outros aços rápido sem cobalto.

Sinter 30 corresponde aos graus ASP 2030, CPM 45, CPM T15 e à maioria dos aços rápido contendo cobalto.

Sinter 60 corresponde aos graus ASP 2060, CPM REX 76, S 390 e outros aços rápido contendo altos teores de carbono, vanádio e cobalto.

Os aços Sinter 23, Sinter 30 e Sinter 60 são disponíveis em barras a partir de 66 mm. As barras são fornecidas no estado recozido com uma dureza Brinell de no máximo 260 para o Sinter 23, máximo 300 para o Sinter 30 e máximo 340 para Sinter 60.

3.2 Usinabilidade

Os aços rápido sinterizados da linha Sinter, de um modo geral, devem ser usinados utilizando-se as mesmas condições de usinagem dos aços convencionais de composição aproximada. Devido à sua homogeneidade e microestrutura refinada (Fig. 5), em relação aos aços convencionais, os aços da linha Sinter apresentam uma melhor usinabilidade.

Pesadas operações de usinagem podem causar tensões residuais, as quais conduzem a alterações dimensionais após o tratamento térmico. Em tais situações é recomendada a realização de um alívio de tensões (cerca de 2 horas entre 600 e 700°C).

3.3 Microestrutura e Tratamento Térmico

A microestrutura fina e homogênea significa um risco de desvio mínimo para a dureza objetivada, bem como mínimos riscos de alteração dimensional e trincas. Após têmpera e revenimento, é composta de uma distribuição homogênea de carbonetos finos, divididos entre carbonetos tipo M_6C e carbonetos tipo MC, em uma matriz isenta de segregação. A Figura 5 mostra a sua microestrutura, comparando com o aço rápido convencional VWM2. Como são mais ligados, os aços da linha Sinter também geram durezas mais elevadas, como mostra comparativamente a Figura 6. Isto é importante, especificamente para melhoria da resistência ao desgaste que, como já comentado, é essencial para aplicações de trabalho a frio.

Como os aços da linha Sinter, acima de 66 mm, não são conformados a quente, a tendência a alterações dimensionais no diâmetro (excentricidade) durante o tratamento térmico é ainda menor do que nos outros aços rápido produzidos por metalurgia do pó.

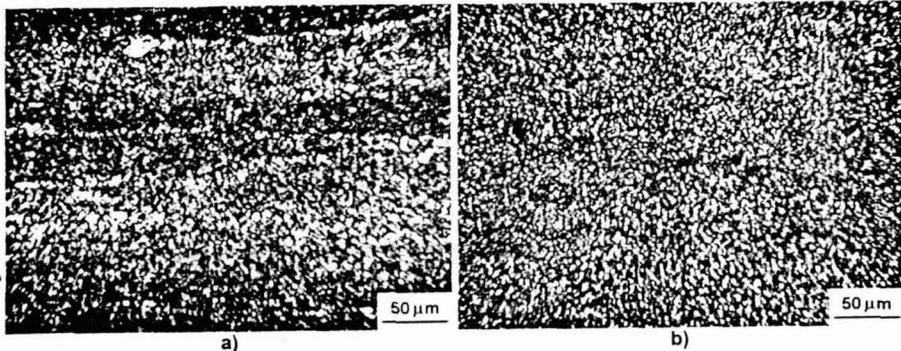


Figura 5: Microestruturas do aço a) VWM2 têmpera a 1180 °C e revenimento a 560 °C. b) SINTER 23 após têmpera a 1180 °C e revenimento a 560 °C. Resultados na direção longitudinal, após ataque com nital 4%, aumento 250 x. Resultados para bitolas em torno de 100 mm.

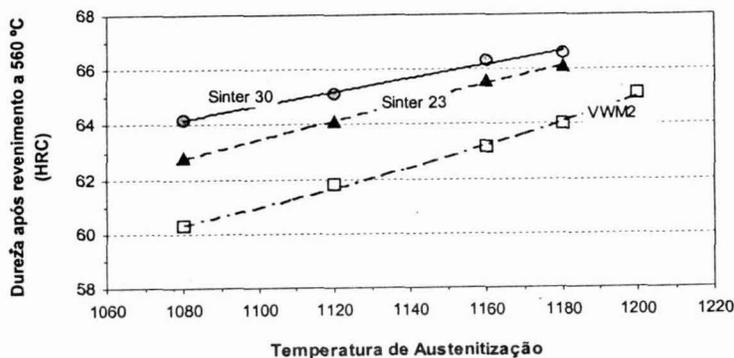


Figura 6: Dureza após revenimento a 560 °C, em função da temperatura de austenitização. Essas curvas relacionam-se a prática mais adequada de tratamento térmico, que é reduzir a temperatura de austenitização para durezas mais baixas, mantendo o revenimento fixo a aproximadamente 560 °C.

Nos aços da linha Sinter, as alterações de comprimento durante o tratamento térmico de ferramentas complexas, embora muito pequenas, são menores do que as dos outros aços rápido produzidos por metalurgia do pó conformados a quente, assim como o desvio dessas alterações.

3.4 Retífica e Recobrimento Superficial

Os aços rápido da linha Sinter são tão fáceis de retificar quanto os aços rápido produzidos por metalurgia do pó, de boa qualidade. São naturalmente conhecidos como aços rápido com melhores características de retífica do que os aços rápido altamente ligados produzidos pelo processo convencional.

Graças à sua combinação de microestrutura fina e homogênea, maior dureza e maior resistência, os aços rápido da linha Sinter são um substrato ideal para recobrimento por PVD e DLC (diamond like coating). Como sempre, a ferramenta submetida a esses tratamentos deve estar isenta de queima por retífica, apresentar um bom acabamento superficial, bem como ausência de graxas e superfície limpa.

3.5 Tenacidade

Como mostrado na Figura 5, aços rápidos produzidos por metalurgia do pó de boa qualidade apresentam microestrutura muito fina e homogênea. Assim, a tenacidade é consideravelmente mais elevada que o material produzido pela rota convencional, conforme mostra a Figura 2.

Além das vantagens inerentes ao processo de metalurgia do pó, a homogeneidade única dos aços da linha Sinter faz

com que a tenacidade do material seja uniforme em todas as direções de aplicação de esforço. Aços rápidos sinterizados produzidos por outros processos, que necessitam a conformação a quente, podem não apresentar o mesmo comportamento. Assim, tendo em vista que a falha da ferramenta ocorre na direção menos resistente, a comparação da direção longitudinal mostra que podem ser obtidos ganhos consideráveis com os aços Sinter 23 e Sinter 30.

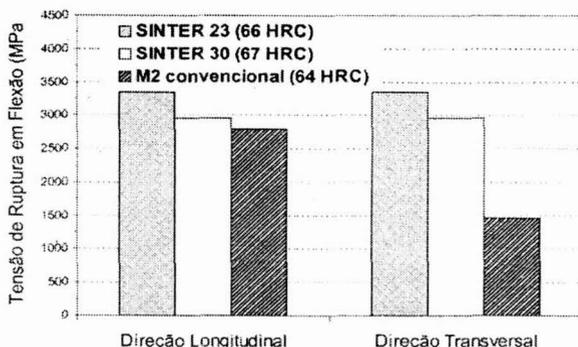


Figura 2: Resultados do Ensaio de Flexão. Dados para materiais de bítolas entre 80 e 100 mm. A constância de propriedades nas direções longitudinal e a transversal indica a isotropia dos materiais.

4. Conclusões

- Devido a sua maior tenacidade, o VF800 AT pode ser considerado como uma nova e importante alternativa para ferramentas de trabalho a frio de alta sollicitação, retardando falhas prematuras e aumentando a produtividade das matrizes.

- Para ferramentas de maior sollicitação, que necessitam de altíssima resistência ao desgaste, os aços rápidos da linha Sinter são também interessantes. Possuem tenacidade mais elevada, podem obter maior dureza, melhor usinabilidade e maior segurança no tratamento térmico que os aços rápidos convencionais, o que contribui para o aumento de vida útil e facilidade na fabricação das ferramentas.

5. Referências

- (1) Mesquita, R. A. e Barbosa, C. A. Desenvolvimento de Um Novo Aço para Trabalho a Frio de Alta Tenacidade. **Anais do 56º Congresso da ABM**, p. 71, Belo Horizonte-MG, Brasil, 2001.
- (2) Mesquita, R. A., Andrijauskas, P. S., França, L. C., Abreu, D. Q. e Barbosa, C. A. Um Novo Aço para Trabalho a Frio de Alta Tenacidade. **Anais da IV Conferência Nacional de Conformação de Chapas**, p. 72, Gramado-SP, Brasil, 2001.
- (3) Vingsbo, O. Wear of Steels in Fundamentals of Friction and Wear of Materials edited by Rigney, D. A., **ASM**, p. 385-389, 1980.
- (4) Mesquita, R. A. e Barbosa, C. A. Evaluation of As-HIPed PM High Speed Steel for Production of Large Diameters Cutting Tools. **Materials Science Forum**, Vols. 416-418, p. 235, 2003.
- (5) Hellman, P. As-HIPed APM High Speed Steels. **Metal Powder Report**, vol. 47, p. 25, June, 1992.

COLD WORK TOOL STEELS WITH IMPROVED TOUGHNESS

Rafael Agnelli Mesquita ⁽¹⁾
Celso Antonio Barbosa ⁽²⁾

In cold work tooling the main property is the wear resistance. However, die failure by cracks or microcracking wear can occur due to low toughness of conventional steels. Therefore, the present work presents the development of a new cold work tool steel with high toughness, named VF800 AT. It also evaluates the properties of two powder metallurgy high speed steels, as alternative materials to highly stressed tools. Toughness of both materials was analyzed through 4-point bend test. The VF800 AT steel was compared to high carbon high chromium ABNT D2 steel, as such materials are commonly employed in cold tooling. Tools made with those materials were also analyzed, regarding operation life. The PM high speed steels were compared to conventional high speed steels. For these, toughness was evaluated in transverse and longitudinal directions, aiming to determine the homogeneity in properties (isotropy). Toughness of VF800 AT was found to be 40 % higher than D2. This result from its refined microstructure, with lower ledeburitic carbides, and from a tougher martensitic matrix, due to the tempering in higher temperature. The comparison upon conventional and PM high speed steels also shows improvement in properties for PM steels, especially in transverse direction, leading to higher isotropy.

Key words: Cold Work Tool Steels, Toughness, Powder Metallurgy, VF800 AT, Sinter.

Technical contribution to be presented in the 1º Encontro da Cadeia Produtiva de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo, October 2003.

¹⁾ Materials Engineer and Master Science in Materials Engineering, ABM member, Researcher, Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brazil, e-mail: agnelli@villares.com.br.

²⁾ Metallurgical Engineer, ABM member, Technology Manager, Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brazil, e-mail: celsoa@villares.com.br.