

# DESENVOLVIMENTO DE UM NOVO AÇO FERRAMENTA COM SUPERIOR RESISTÊNCIA A QUENTE

*Rafael Agnelli Mesquita*<sup>1</sup>  
*Celso Antonio Barbosa*<sup>2</sup>

## **Resumo**

Os aços ferramenta para trabalho a quente são principalmente empregados em processos de conformação a quente de metais, em especial em matrizes de forjamento, extrusão e fundição sob pressão. Em tais aplicações, a resistência a quente do aço ferramenta é essencial, retardando falhas por desgaste e deformação plástica a quente. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo descrever o desenvolvimento de um novo aço ferramenta com melhoria desta propriedade. Durante o trabalho, as superfícies das matrizes de conformação a quente são submetidas a altas temperaturas, em que as reações de revenido voltam a ocorrer. Portanto, para promover melhoria da resistência a quente, estes fenômenos devem ser retardados e, assim, a resistência ao revenido torna-se fundamental. O novo material, denominado VHSUPER, foi desenvolvido focando a melhoria desta propriedade. Modificando principalmente os teores de Mo, Cr, Si e P, corridas em escala piloto foram produzidas e caracterizadas. Após a definição da melhor composição química, corridas industriais foram produzidas e testes de campo foram realizados. O ensaio de resistência à perda em dureza mostrou que o novo aço possui resistência ao revenido significativamente superior aos aços tradicionais, H11 e H13. A principal causa é o aumento no teor de Mo, formador de carbonetos estáveis no endurecimento secundário. Apesar da melhoria da resistência ao revenido, a tenacidade não foi prejudicada, como confirmado pelos ensaios de impacto. Os testes de campo, em matrizes de forjamento a quente de aços, mostraram que o novo material gera expressiva melhoria de vida útil, indicando sua adequação aos processos de conformação a quente mais solicitados.

**Palavras-chave:** Aço ferramenta para trabalho a quente; Resistência ao revenido; Tenacidade.

Contribuição técnica a ser apresentada no 60º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Bolo Horizonte, julho de 2005.

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

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

# 1 INTRODUÇÃO

As ferramentas de conformação a quente 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 ou a morno, moldes e matrizes para fundição de ligas não ferrosas e matrizes de extrusão de ligas não ferrosas (Erro! A origem da referência não foi encontrada.)

Nas aplicações em forjamento <sup>(2)</sup> destacam-se o forjamento a quente de aços, especialmente de aços para construção mecânica aplicados em peças automobilísticas. Em tais operações, o tarugo forjado possui temperaturas acima de 1100 °C. Durante a conformação, ele aquece a superfície da ferramenta, sendo a temperatura atingida tanto maior quanto maior o tempo de contato. E o tempo de contato, por sua vez, depende do processo aplicado. Em forjamento em prensa, por exemplo, os tempos de contato são tipicamente longos e maiores que no forjamento em martelo.

O aquecimento das regiões de contato da matriz, desta forma, requerem alta resistência a quente por parte do aço nelas empregado. O mecanismo de endurecimento dos aços para matrizes de conformação a quente é, principalmente, a precipitação de carbonetos finos. Destacam-se os carbonetos de Mo ou W, do tipo  $M_2C$ , ou carbonetos de V, tipo MC (Erro! A origem da referência não foi encontrada.). Apesar da alta estabilidade, esses carbonetos tendem a coalescer após longos tempos em altas temperaturas, tipicamente acima de 550 °C – condições facilmente atingidas nas regiões de trabalho da ferramenta (Erro! A origem da referência não foi encontrada.-Erro! A origem da referência não foi encontrada.). Como consequência, a dureza da região diminui, gerando desgaste ou deformação plástica a quente e causando a falha da ferramenta.

A melhoria da resistência do material à perda em dureza, ou resistência ao revenido, é assim desejável para o aumento do desempenho das ferramentas de forjamento. O mesmo ocorre para outras aplicações, como extrusão ou fundição de ligas não ferrosas. Em extrusão de alumínio <sup>(1,4)</sup>, por exemplo, a temperatura do tarugo é da ordem de 600 °C. O longo tempo de contato do tarugo com a ferramenta e o atrito constante também geram perda em dureza no aço e desgaste da ferramenta. Matrizes de fundição sob pressão <sup>(1, 5)</sup> o metal líquido é injetado em alta pressão e temperatura, também promovendo o aquecimento da superfície da matriz. Neste caso, a falha ocorre devido a trincas de fadiga térmica, devido ao sucessivo aquecimento e resfriamento da região de trabalho da matriz. Mas, também, a resistência ao revenido é importante para retardar a iniciação das trincas, por manter a dureza mais elevada por tempos mais longos.

O aumento da resistência a quente dos aços ferramenta é normalmente obtido via aumento do teor de elementos formadores carbonetos secundários ou por endurecimento por solução sólida, principalmente com Co <sup>(1,3,6)</sup>. Apesar de efetivos no aumento da resistência a quente, o excesso de tais elementos implica na redução da tenacidade ou expressivo aumento de custo do material <sup>(1,3,6)</sup>.

O presente trabalho, portanto, descreve o projeto de liga de um novo aço ferramenta, com melhoria da resistência a quente, mas com alta tenacidade e sem excesso de elementos de liga. Os resultados são descritos em termos das propriedades de resistência ao revenido e tenacidade em impacto, também abordando resultados de testes de campo em ferramentas de forjamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A composição proposta para o novo material foi produzida em escala piloto, e comparada com outros aços típicos desta linha ou outros aços modificados (ver Tabela 1). Os lingotes, com aproximadamente 50 kg e 140 mm de secção média, foram forjados até bitolas de secção 70 x 70 mm<sup>2</sup>, totalizando média de 4 vezes em redução em área. Previamente ao forjamento, os lingotes passaram por tratamentos de homogeneização em alta temperatura e, depois de forjados, por um recozimento especial. Esses tratamentos foram empregados para propiciar uma adequada microestrutura, sem microsegregação intensa e sem carbonetos primários agrupados. A rota aplicada é característica do processo ISO<sup>®</sup>, descrito em detalhe na referência (7).

**Tabela 1.** Composição química dos aços estudados e suas identificações. Porcentagem em massa e balanço em Fe.

	H11	H13	H11 MOD.	TENAX 300	DIN 1.2365	VHSUPER
<b>C</b>	0,36	0,40	0,35	0,35	0,31	0,35
<b>Si</b>	1,02	0,96	0,13	0,30	0,30	0,31
<b>Mn</b>	0,48	0,34	0,49	0,27	0,30	0,30
<b>P</b>	0,025	0,023	0,009	0,007	0,023	0,010
<b>S</b>	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	0,006
<b>Co</b>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
<b>Cr</b>	5,03	5,23	4,99	4,96	2,85	3,78
<b>Mo</b>	1,40	1,31	2,28	1,39	2,80	2,49
<b>V</b>	0,34	0,85	0,57	0,42	0,50	0,52
<b>W</b>	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Ti</b>	<0,005	0,018	0,005	<0,005	0,015	0,06
<b>Nb</b>	<0,010	0,020	0,010	<0,010	0,020	0,005
<b>Al</b>	<0,005	0,014	0,009	<0,005	0,019	0,005

### 2.1 Projeto de Liga

Primeiramente, o teor de C foi fixado em 0,35%, próximo ao utilizado usualmente para os aços H13 e H11. Teores mais elevados podem conferir maior dureza, porém também reduzem a tenacidade, muito importante para as aplicações de conformação a quente. O aço TENAX 300, também apresentado na Tabela para comparação, foi desenvolvido anteriormente <sup>(8)</sup>. Nos estudos para a determinação de sua composição química, identificou-se o efeito positivo da redução dos teores de Si e P na tenacidade. Assim, o aço VHSUPER mantém o teor de Si significativamente menor que no H13. Por outro lado, possui maior teor de Mo e menor teor de Cr.

O Mo é um forte formador de carbonetos nos aços. Durante o revenimento, forma carbonetos tipo M<sub>2</sub>C ou M<sub>6</sub>C, dependendo da temperatura ou tempo empregados <sup>(6,9)</sup>. O aumento do teor de Mo no novo material objetivou a melhoria da resistência a quente, dada a alta estabilidade dos carbonetos formados.

A redução do teor de Cr, por outro lado, visou inicialmente aumentar a condutividade térmica. Esta propriedade é importante para redução do dano por fadiga térmica em aços ferramenta, por facilitar o equilíbrio térmico entre a região de trabalho e o núcleo da ferramenta. Aços com baixo teor de Cr, como o DIN 1.2365, possuem teor de Cr ainda mais baixo que o VHSUPER. São, por isso, empregados em ferramentas submetidas a intensos choques térmicos, como forjamento em alta velocidade com refrigeração a água. Contudo, uma redução tão expressiva no teor de Cr pode prejudicar a temperabilidade do material <sup>(1,6)</sup>, limitando a aplicação em grandes matrizes.

## 2.2 Caracterização

A resposta ao tratamento térmico foi avaliada pelas curvas de revenimento. Todas as amostras foram austenitizadas a 1020 °C por 30 min e submetidas a revenimento duplo de 2h em temperaturas entre 350 e 650 °C. Para avaliar a resistência ao revenimento, as amostras foram submetidas à temperatura de 550 e 600 °C, por tempos de 3, 10, 30 e 100 horas, sendo medidas a dureza inicial e após o tratamento.

A tenacidade foi avaliada pelo ensaio de impacto, em corpos de prova com entalhe em "V" (*Charpy V*), conforme norma ASTM E 21, e em corpos de prova sem entalhe, com seção de 5 x 7 mm<sup>2</sup>, conforme norma NADCA<sup>(10)</sup>.

Os resultados de temperabilidade foram retirados das curvas TRC de cada material, obtidas por dilatometria. Para a análise da condutividade térmica, empregou-se o método flash de laser.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

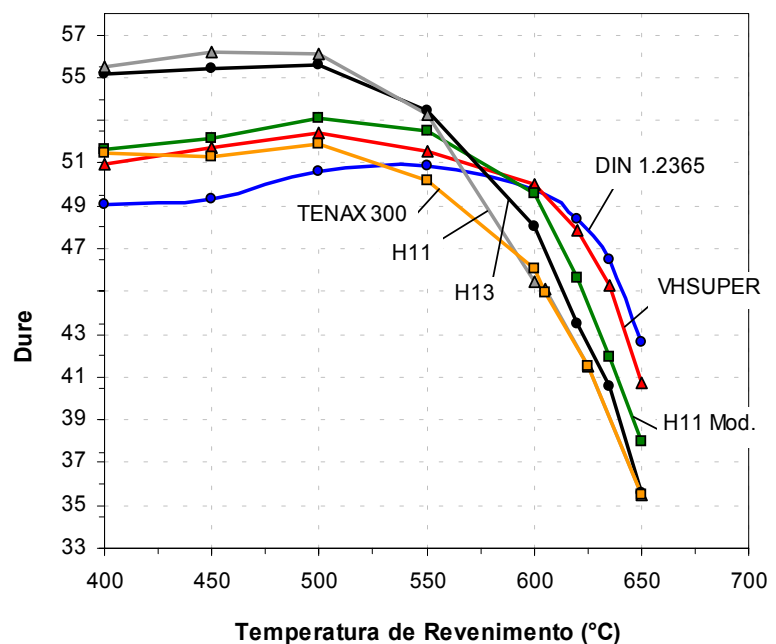
### 3.1 Resposta ao Tratamento Térmico

As curvas de revenimento dos materiais estudados são apresentadas na Figura 1. Como já identificado em trabalho anterior<sup>(8)</sup>, os aços com baixo teor de Si possuem dureza cerca de 4 HRC menor em baixa temperatura.

Contudo, esta diferença dificilmente tem relação com o desempenho do aço ferramenta. Primeiro, porque as matrizes dificilmente possuem dureza superior a 51 HRC. Segundo, e mais importante, porque nas aplicações de trabalho a quente o fator relevante não é a dureza inicial, mas a capacidade do material reter dureza em altas temperaturas. Na curva de revenimento, isto pode ser observado pela queda da curva com o aumento da temperatura.

Conseqüentemente, o patamar de dureza abaixo de 550 °C da curva de revenimento do aço ferramenta pouco ou nada influencia as situações reais de fim de vida das ferramentas, quando desgaste ou deformação a quente são os fatores fundamentais.

Analisando a região da curva acima de 550 °C, é observada uma diferença significativa nos materiais. Os aços VHSUPER e DIN 1.2365 apresentam dureza mais elevada para toda faixa acima de 600 °C, enquanto que os aços H11, H13 e mesmo o H11 modificado, com maior teor de Mo, apresentam queda em dureza



**Figura 1.** Curva de revenimento dos aços estudados, cuja composição química é apresentada na Tabela 1. Dados para amostras de 15 mm de seção, temperadas em óleo com austenitização a 1020 °C por 30 min em temperatura. O revenimento foi duplo de 2 horas para todas as temperaturas.

mais brusca. Assim, o comportamento dos dois primeiros já indica a maior susceptibilidade deles a conservar dureza em alta temperatura, indicando sua alta resistência ao revenido.

### 3.2 Resistência ao Revenido

A curva da Figura 2 apresenta a diminuição da dureza em função do tempo de exposição 600 °C para as composições estudadas. Nota-se a queda muito mais lenta na dureza dos aços VHSUPER e DIN 1.2365, indicando a alta resistência ao revenido. Por exemplo, para redução da dureza em 7 pontos, o tempo requerido a 600 °C para o aço

H13 é de 18h, enquanto que para o aço VHSUPER é de 40 horas. É, também, interessante notar que o aço TENAX 300, apesar de mesmo teor de Mo dos aços H11 e H13 e teor de V metade deste, apresenta superior resistência ao revenido. Este efeito deve estar relacionado ao menor teor de Si do material <sup>(8)</sup>.

Outra observação importante é a resistência ao revenido do aço VHSUPER ser substancialmente superior a do H11 Mod., quando o teor de Mo deles é muito próximo. O Mo e o V formam os carbonetos secundários mais desejáveis para a resistência ao revenido, tipo  $M_2C$  e MC respectivamente; por isso, não seria esperada variação sensível de resistência a quente entre os dois aços. Tal efeito deve estar relacionado à diminuição no teor de Cr. O objetivo principal desta modificação foi o aumento na condutividade térmica, como observado na Figura 3. Porém, também parece ter resultado em ganho de resistência ao revenido. Em aços ferramenta, o Cr promove a formação de carbonetos secundários tipo  $M_{23}C_6$ , que possuem Mo em solução sólida, em temperaturas inferiores à de precipitação dos carbonetos ricos em Mo (tipo  $M_2C$ ). Assim, é possível que o alto teor de Cr cause a redução do teor efetivo de Mo para formação dos carbonetos  $M_2C$  e, como conseqüência, a redução da resistência ao revenido observada na Figura 2.

Por outro lado, teores muito reduzidos de Cr, como do aço DIN 1.2365, não são interessantes, pela excessiva perda em temperabilidade

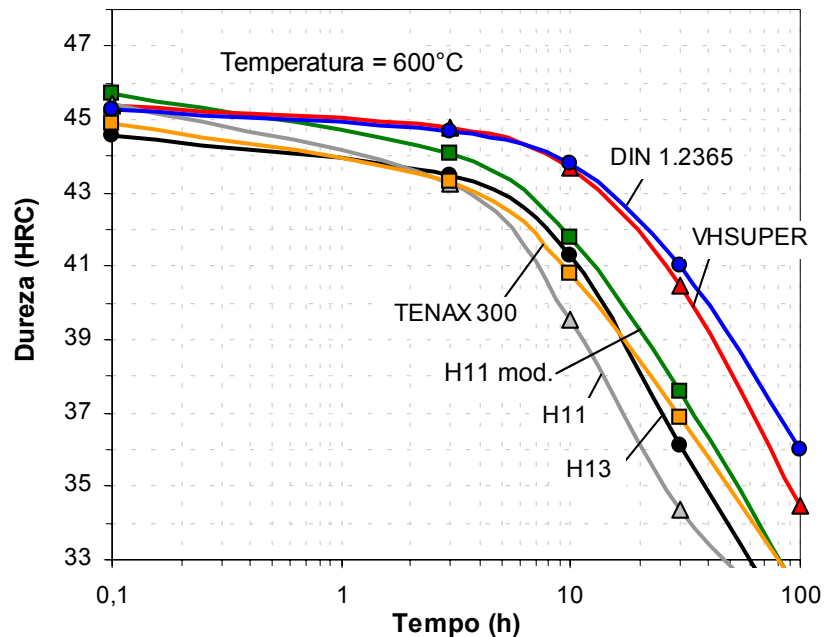


Figura 2. Dureza dos materiais, medida na temperatura ambiente, em função do tempo de exposição a 600 °C.

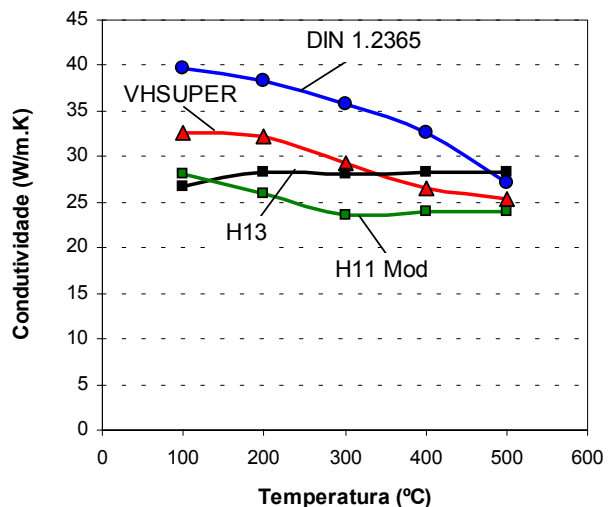


Figura 3. Condutividade térmica dos aços H13, H11 mod., VHSUPER e DIN 1.2365.

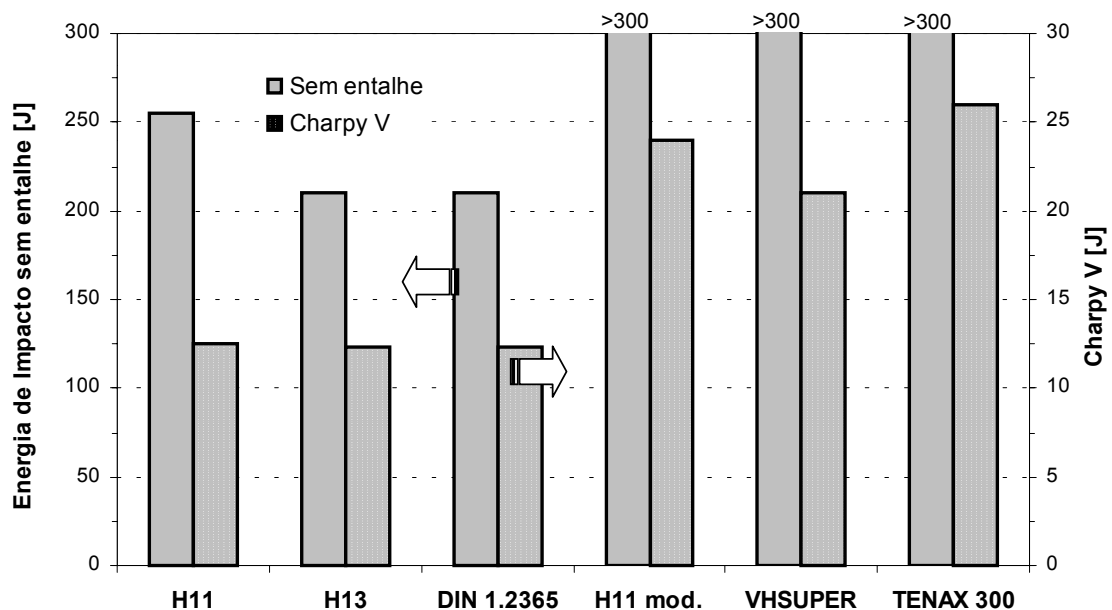
(ver Tabela 2). Por isso, são geralmente empregados em ferramentas de pequeno porte, como matrizes para prensas do tipo Hatebur. Portanto, o teor de Cr do aço VHSUPER possui uma combinação adequada em termos de resistência a quente e temperabilidade (ver Tab. 2). Apesar de menor teor de Cr que os aços H11 e H13, mas não tão baixo quanto o aço DIN 1.2365, possui também alto teor de Mo, compensando o efeito da redução do teor de Cr e garantindo adequada profundidade de têmpera.

**Tabela 2.** Resultados da curva TRC dos aços estudados, utilizados para avaliação da temperabilidade. Quanto menor a taxa crítica e maior a dureza obtida após resfriamento a 0,1 °C, maior a temperabilidade.

	H11	H13	TENAX 300	H11 mod.	VHSUPER	DIN 1.2365
Taxa crítica para início da formação de bainita (°C/s)	0,2	0,2	0,5	0,3	0,5	8,0
Dureza obtida após resfriamento a 0,1 °C/s (HV)	637	538	512	534	486	389

### 3.3 Tenacidade

Para aplicações de forjamento, extrusão e, principalmente, fundição sob pressão a tenacidade dos aços ferramenta é essencial. Nestas aplicações, falhas como trincas grosseiras, trincas catastróficas ou trincas por fadiga térmica podem acelerar o desgaste da ferramenta, chegando a inviabilizar seu uso. Assim, no desenvolvimento do novo material a tenacidade foi cuidadosamente considerada no projeto de liga.



**Figura 4.** Resultados de impacto sem entalhe e com entalhe em V, para os aços analisados. Todos com dureza de 45 ±0,5 HRC, usinados conforme NADCA<sup>(10)</sup>.

A Figura 4 apresenta os resultados de impacto, Charpy V e impacto sem entalhe segundo NADCA<sup>(10)</sup>. Nela, observa-se que os aços TENAX 300, H11 mod. e VHSUPER possuem tenacidade muito superior. Isto está principalmente relacionado ao efeito da redução dos teores de Si e P desses materiais. É conhecida a intensa redução da tenacidade dos aços ferramenta para trabalho a quente da série H, quando o revenimento em temperaturas próximas a 550 °C é aplicado<sup>(11-14)</sup>. Este

fenômeno está associado à segregação de elementos residuais nas interfaces, especialmente P, juntamente com o Si<sup>(13-14)</sup>. Contudo, a redução do teor de Si inibe tal segregação<sup>(13)</sup>, eliminando a fragilidade a 550 °C. Como a temperatura de revenimento aplicada para a dureza usual (em torno de 45 HRC) está próxima a 600 °C, os efeitos dessa fragilidade ainda são importantes nos aços com teores normais de Si e P. E, para os aços com baixo Si e P, este efeito diminui e a tenacidade torna-se superior.

### 3.4 Testes de Campo

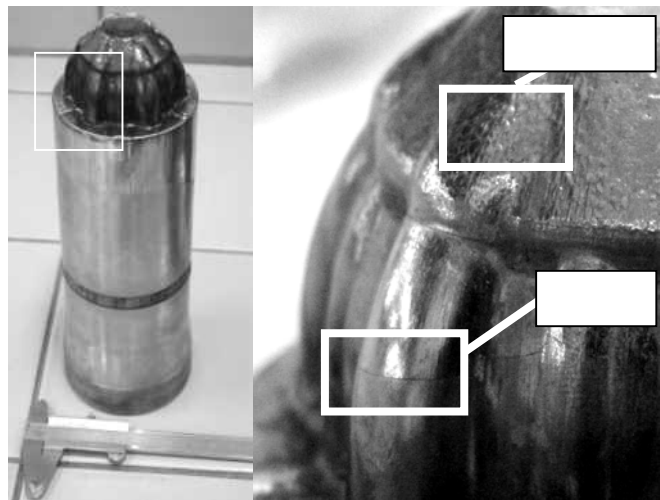
A seguir são apresentados dois casos, em que o novo aço, VHSUPER, foi comparado ao aço H13, em ferramentas de forjamento. Os resultados foram analisados baseando-se nos modos de falha e nas propriedades dos materiais.

#### a) Punção para Forjamento a Morno

O processo em questão trata de um forjamento a morno de alta velocidade. Apesar dos tarugos forjados terem menor temperatura que a usual de forjamento a quente, a alta velocidade do processo torna elevado o contato entre o tarugo aquecido e a matriz, aquecendo sua superfície. O processo também emprega elevada refrigeração, promovendo assim choque térmico na região superficial.

Dados do processo:

- Produto: ponta de eixo.
- Ferramenta: punção de forjamento a morno de precisão.
- Material forjado: aço SAE 1045 e 1050 modificados.
- Temperatura do tarugo: aproximadamente 900 °C.
- Refrigeração: elevada, com água.
- Velocidade de aplicação dos golpes: elevada.
- Aço ferramenta utilizado anteriormente: AISI H13.
- Aço testado: VHSUPER
- Ganho de vida útil obtido com a substituição: 56%.



**Figura 5.** a) Aspecto visual do punção analisado e, b) em detalhe, as regiões com desgaste a quente e

A Figura 5 mostra o punção analisado após fim de vida. Como este tipo de forjamento produz peças com alta precisão dimensional, desvios de décimos de milímetros comprometem a peça produzida. O fim de vida é causado por desgaste nas regiões salientes arredondadas e pelo surgimento de trincas térmicas (ver Fig. 5b).

Após fim de vida, a matriz foi destruída e analisada. A Figura 6 mostra os dados de dureza em função da distância da superfície de contato, observando-se sua diminuição para as regiões próximas à superfície. O desgaste está efetivamente relacionado a esta perda em dureza durante o trabalho, sendo pouco afetado pela dureza do núcleo. O surgimento das trincas térmicas também tem relação com a perda em dureza, pois regiões de menor dureza tornam-se mais sensíveis à iniciação de trincas térmicas<sup>(5)</sup>. O aumento da resistência ao revenimento do material torna-se, portanto, essencial para promover aumento na vida útil desta ferramenta.

O aço VHSUPER foi, então, testado e aprovado para a aplicação, promovendo aumento de 56% da vida útil das ferramentas. A análise comparativa das curvas de revenimento e da queda em dureza em função do tempo para os aços H13 e

VHSUPER, Figuras 1 e 2, permite entender bem o fenômeno. Em ambos existe perda em dureza quando o aço é submetido a altas temperaturas, tanto maior quanto maior o tempo e a temperatura empregada. Contudo, verifica-se uma maior estabilidade a alta temperatura do aço VHSUPER, como já discutido no item 3.2. Assim, durante o processo de forjamento, a falha ocorrerá após um maior número de golpes, produzindo o ganho de rendimento observado.

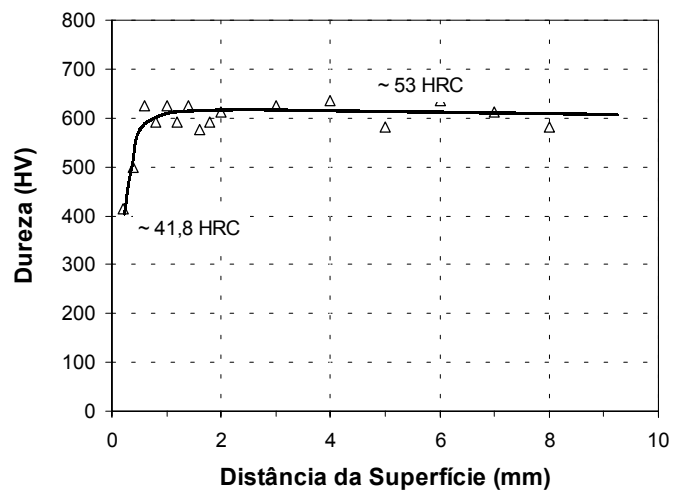
### b) Matrizes para Forjamento a Quente de Bielas

A maior resistência a quente do aço VHSUPER foi também avaliada em matriz de forjamento a quente para bielas, mostrada na Figura 7. Neste tipo de forjamento, as exigências dimensionais são menores que no forjamento descrito no item 3.1. Contudo o tempo de contato e a temperatura do tarugo forjado são sensivelmente maiores. Agrava-se, assim, a profundidade da região superficial da matriz afetada pelo calor do processo. Alguns dados indicaram que a região afetada é de cerca de 5 mm.

Dados do processo:

- Produto: biela forjada.
- Ferramenta: matrizes de pré-forma, para forjamento a quente.
- Material forjado: aço médio teor de carbono.
- Temperatura: aproximadamente 1250 °C.
- Velocidade de aplicação dos golpes: lenta, típica de forjamento em prensa.
- Aço ferramenta utilizado anteriormente: AISI H12 e H13.
- Aço testado: VHSUPER
- Ganho de vida útil obtido com a substituição: aproximadamente 50%.

O fim de vida das ferramentas é provocado por dois fatores: desgaste a quente associado à formação de trincas térmicas. Estas trincas possuem profundidades maiores que às observadas no punção de forjamento a morno (Fig. 5), dado o maior aquecimento e a maior temperatura dos tarugos forjados, que promovem maior choque térmico. A substituição dos aços AISI H12 e H13 pelo aço VHSUPER pode ser entendida baseando-se na análise comparativa da resistência ao revenido (Fig. 1 e 2) e tenacidade (Fig. 4). A melhoria de ambas as propriedades no VHSUPER promove assim a redução do desgaste a quente, pois maiores valores de dureza persistem após longos tempos de utilização. Também, diminuem as trincas térmicas,



**Figura 6.** Medidas de microdureza do punção da Figura 1, desde a superfície de trabalho até as regiões do núcleo.



**Figura 7.** Matriz para forjamento a quente de biela, analisada no caso 2, em que o aço VHSUPER foi testado.



porque o aumento da dureza a quente e da tenacidade contribuem ambos para tal fator<sup>1</sup>.

#### 4 CONCLUSÕES

- O aço VHSUPER possui resistência a quente muito superior à dos aços H11 e H13, devido a maior capacidade de retenção de dureza em alta temperatura (resistência ao revenido).
- A maior resistência ao revenido deve-se ao balanço da composição química do aço VHSUPER, especialmente em termos dos teores de Mo e Cr, que privilegia a formação dos carbonetos secundários estáveis tipo M<sub>2</sub>C.
- A redução dos elementos de Si e P melhora a tenacidade dos aços ferramenta para trabalho a quente. No caso do novo aço, ela é importante para que alta tenacidade seja obtida mesmo com o aumento do teor de Mo, que poderia gerar redução desta propriedade.
- O arranjo de propriedades como resistência a quente, tenacidade, temperabilidade e condutividade térmica do novo material proporcionou sensível melhoria nos testes de campo analisados. Tanto em matrizes de forjamento a morno quanto a quente, foram obtidos aumentos de vida útil de 50 a 60 %.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ROBERTS, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. **Tool Steels**. 5. ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 1998. p. 1-123 e p. 219-250.
- 2 BYRER, T. G.; SEMIATIN, A. L.; VOLLMER, D. C.; **Forging Handbook**. Metals Park, Ohio: ASM, 1985. p. 195-217.
- 3 OKUNO, T. Effect of Microstructure on the Toughness of Hot Work Tool Steels, AISI H13, H10 and H19. **ISIJ**, v. 27, n.1, 1987.
- 4 KALPAKJIAN, S.; **Tool and Die Failures Source Book**. Metals Park, Ohio: ASM International, 1982. 428 p.
- 5 BENEDYK, T. C.; MORACZ, D. J.; WALLACE, J. F. Thermal Fatigue Behaviour of Die Materials for Aluminum Die Casting, In: 6TH SDCE INTERNATIONAL DIE CASTING CONGRESS, 6., 1970, Cleveland, Ohio. **Proceedings...** Cleveland: The Society of Die Casting Engineers, Inc., 1970, Paper 111, p. 1-20.
- 6 SCHRUFF, I. Comparison of Properties and Characteristics of Hot-Work Tool Steels X 38 CrMoV 5 1 (Thyrotherm 2343), X 40 CrMoV 5 1 (Thyrotherm 2344), X 32 CrMoV 3 3 (Thyrotherm 2365) and X 38 CrMoV 5 3 (Thyrotherm 2367). **Thyssen Edelst. Tech. Ber.**, Special Issue, p. 32-44, May 1990.
- 7 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Aços Ferramenta de Alto Desempenho para Matrizes de Fundição sob Pressão, **Caderno tecnológico da revista Metalurgia & Materiais**, v. 59, n. 539, p. 17-22, Novembro 2003.
- 8 MESQUITA, R. A.; FRANÇA, L. C.; BARBOSA, C. A. Desenvolvimento de Um Novo Aço Ferramenta para Trabalho a Quente com Tenacidade Otimizada. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 57., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002. p. 444-453. 1 CD ROM.

---

<sup>1</sup> As trincas de fadiga térmica também estão relacionadas à condutividade térmica do aço – propriedade em que o aço VHSUPER é superior aos aços de alto Mo, como o H11 mod. ou o DIN 1.2367.

- 9 H. W. RAYSON.; Tool Steels. In: **Constitution and Properties of Steels**, F. B. PICKRING, VCH Publishing, ' . 581-640, 1992.
- 10 NADCA no 207/90 – **Premium Quality H13 Steel Acceptance Criteria for Pressure Die Casting**, Ed. North American Die Casting Association, Nov. 1990.
- 11 OLEFJORD, I.; Temper Embrittlement. **International Metals Reviews**, v. 23, n. 4, p.149-163, 1978.
- 12 BERNS, H. Strength and Toughness of Hot Working Tool Steels. In: KRAUSS, G.; NORDBERG, H.; **Tool Materials for Molds and Dies: Application and Performance**. Illinois, EUA: The Colorado School of Mines Press, 1987. p. 45-65.
- 13 GARRISON JR, W. M. Influence of Silicon on Strength and toughness of 5wt-%Cr Secondary Hardening Steel, **Materials Science and Technology**, v. 3, p. 256-259, April 1987.
- 14 ULE, B.; VODOPIVEC, F.; PRISTAVEC, M.; GRESOVNIK, F. Temper Embrittlement of Hot Work Die Steel. **Materials Science and Technology**, v. 6, n. 12, p. 1181-1185, December 1990.

# DEVELOPMENT OF A NEW HOT WORK TOOL STEEL WITH IMPROVED HOT RESISTANCE

Rafael Agnelli Mesquita<sup>1</sup>  
Celso Antonio Barbosa<sup>2</sup>

## Abstract

Hot work tool steels are mainly employed in hot metal forming processes, especially as dies for forging, extrusion or die casting. In such applications, tool steel hot resistance is essential. Consequently, the present work aimed to describe the development of a new hot work steel with enhanced hot resistance. In tooling operations, hot work dies are exposed to high temperatures, in which tempering reactions are able to occur. Therefore, increased hot resistance can only be attained if such reactions are retarded and thus tempering resistance becomes a crucial property. The new material, named VHSUPER, was developed focusing the increase in this property. By composition changes, in Mo, Cr, Si and P contents, pilot scale heats were produced and characterized. After establishing an ideal composition, industrial heats were produced and field testes were performed. The tempering resistance test showed the superior behavior of the new steel in comparison to H11 and H13 grades. This mainly results from the higher Mo content, which forms stables carbides during secondary hardening. In spite of the higher tempering resistance, impact tests showed that toughness was not reduced. The field testes, in hot forging dies, resulted in substantial increase in die life for the new material, indicating its potential for highly stressed hot forming tools.

**Key-words:** Hot work tool steels; Tempering resistance; Toughness.

*Technical contribution to be presented in the 60<sup>th</sup> Congress of Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte, July 2005.*

<sup>1)</sup> *Materials Engineer, ABM member, MSc in Materials Science and Engineering, Researcher from Villares Metals S. A. Sumaré, SP, Brazil, e-mail: rafael.mesquita@villaresmetals.com.br.*

<sup>2)</sup> *Metallurgical Engineer, ABM member, Technology Manager, Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brazil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br.*