

## CASOS DE APLICAÇÃO DE NOVOS AÇOS FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE

Rafael Agnelli Mesquita <sup>(1)</sup>

Luiz Cesar França <sup>(2)</sup>

Celso Antonio Barbosa <sup>(3)</sup>

### Resumo

A vida útil de ferramentas para trabalho a quente depende de uma série de fatores. O projeto da ferramenta, as condições de operação, como lubrificação, pré-aquecimento das matrizes, aquecimento e refrigeração do processo, e o aço empregado, associado ao seu tratamento térmico, são as variáveis mais importantes. Este trabalho compara a vida útil de algumas aplicações, após a substituição de aços tradicionais pelos aços recentemente desenvolvidos, VHSUPER e TENAX 300. Dada a grande quantidade de variáveis, algumas ferramentas foram analisadas e as variáveis de operação e tratamento térmico foram mantidas, dentro do possível, de maneira constante. Assim, foi possível avaliar o efeito da substituição do aço ferramenta na vida útil. Nas ferramentas analisadas identificou-se aumento de vida útil, em maior ou menor grau, dependendo do mecanismo do fim de vida. As principais propriedades dos novos aços, ou seja, a tenacidade para o TENAX 300 e a resistência a quente para o VHSUPER foram empregadas para o entendimento dos ganhos de vida útil.

**Palavras-chave:** Aço ferramenta para trabalho a quente; VHSUPER; TENAX 300; Estudos de casos.

## Application Cases of New Hot Work Tool Steels

### Abstract

Tool life in hot working depends on several factors. The design of tools and dies, the working conditions, such as lubrication, dies pre-heating, process heating and cooling, and the employed steel, including its heat treating, are the main important variables. The present work compares tool life after the substitution of new tool steels for conventional grades. Due to the large number of variables, some tools were selected and the variables related to the process and heat treating were kept constant, as far as possible. The new tool steel effect on tool life was thus possible to be determined. In the analyzed cases, tool lives increased, with higher or lower rates, depending on the end-life mechanism. The new steel main properties, i.e. the toughness in TENAX 300 and tempering resistance in VHSUPER, were analyzed for understanding the performance gain.

**Key-words:** Hot work tool steels; VHSUPER; TENAX 300; cases.

### 1 INTRODUÇÃO

Ferramentas de conformação a quente são aplicadas 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 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.

Nas aplicações em forjamento destaca-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, a superfície da ferramenta é aquecida; a temperatura atingida é tanto maior quanto maior a temperatura do tarugo e o tempo de contato da peça com a ferramenta. Em relação ao tempo de contato, este é maior em forjamento em prensa e menor no caso de forjamento em martelo. Se as temperaturas da superfície da matriz atingem, por exemplo, mais de 550 °C, os mecanismos de revenimento voltam a ocorrer no aço ferramenta

<sup>(1)</sup> 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

<sup>(2)</sup> Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Assessor Técnico da Villares Metals S. A., Sumaré, SP, Brasil, e-mail: luiz.franca.t@villares.com.br

<sup>(3)</sup> Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Gerente de Tecnologia da Villares Metals S. A., Sumaré - SP, Brasil, e-mail: celso.barbosa@villaresmetals.com.br

promovendo perda da resistência mecânica em tais regiões. Assim, uma propriedade fundamental é a resistência ao revenimento (ou seja, à perda em dureza) do aço ferramenta.

Em extrusão de ligas de ligas não ferrosas, as temperaturas empregadas também são elevadas, porém o tarugo é menos aquecido que nas operações de forjamento. Em extrusão de alumínio, por exemplo, a temperatura do tarugo é da ordem de 600 °C. Contudo, o longo tempo de contato do tarugo com a ferramenta e o atrito constante também geram perda de dureza no aço ferramenta. Na extrusão de ligas de Cu a temperatura é superior à do alumínio, exigindo assim aços de alta resistência ao revenido. Em ambas as aplicações, freqüentemente empregam-se ferramentas nitretadas, justamente para aumento da resistência ao desgaste a quente. Porém, o longo tempo de aquecimento da ferramenta promove difusão da camada nitretada, necessitando de renitretação.

Tanto em forjamento como em extrusão, a tenacidade também é uma propriedade importante. Em locais de concentração de tensão, a falta de tenacidade pode gerar trincas grosseiras, que dependendo do tamanho implicam na suspensão da utilização da matriz. Em forjamento, tais trincas podem ser catastróficas, suspendendo imediatamente a operação, ou ter origem por fadiga mecânica. A tenacidade também é importante em operações de extrusão, nas partes das ferramentas auxiliares à matriz, que recebem o impacto do tarugo ou possuem as regiões de maior concentração de tensão.

Outra aplicação que exige alto desempenho da ferramenta e das propriedades do aço ferramenta empregado é a fundição de ligas não ferrosas, especialmente de ligas de alumínio. Especificamente no processo de fundição sob pressão, a principal solicitação aplicada às matrizes é a ciclagem térmica. Como conseqüência, o modo normal de fim de vida é a formação de uma malha de trincas térmicas (*heat-checking*) de tal modo severa que compromete a qualidade superficial da peça produzida.<sup>(1)</sup> A principal propriedade do aço ferramenta relacionada à formação e propagação de tais trincas é a tenacidade. Propriedades físicas como condutividade térmica e coeficiente de expansão térmica também são importantes, pois atuam de na homogeneização da temperatura entre superfície e núcleo da matriz e na expansão gerada pelo aquecimento, respectivamente. O aumento destas propriedades diminui, assim, as tensões de fadiga. Mas a variação dessas propriedades físicas é limitada nos aços ferramenta.

Portanto, a resistência a quente, mais especificamente, a resistência à perda em dureza (resistência ao revenido) e a tenacidade são as principais propriedades dos aços ferramenta utilizados em conformação a quente. Dependendo do processo de conformação empregado, uma ou outra propriedade, ou mesmo ambas, podem ser mais importantes. Outras propriedades, como as propriedades físicas de condutividade e expansão térmicas já comentadas, também podem ser importantes, mas em menor grau na maioria das aplicações. Ainda, existem situações em que a usinabilidade ou a redução de elementos de liga pode também ser

importante, como por exemplo matrizes de forjamento de grandes dimensões.

Cada aço ferramenta possui um arranjo de propriedades, dependendo da composição química e do processo de fabricação. Como mostrado em trabalhos anteriores,<sup>(2-4)</sup> a modificação do processo de fabricação do aço H13 promove aumento da energia de impacto sem entalhe de 60 para mais de 200J. Processos especiais, incluindo o refino por ESR (*electroslag-remelting*), podem promover melhoria ainda superior.

Assim, a seleção do melhor aço para cada aplicação deve envolver a análise conjunta de todas as propriedades descritas anteriormente e da influência do processo de fabricação. Para tal análise, é fundamental ter bom conhecimento da aplicação em questão, a fim de determinar o principal mecanismo de falha e a melhor estratégia para retardá-lo.

A utilização de novos aços também está relacionada a este fim. Através do conhecimento do modo de falha principal da ferramenta, pode-se selecionar o novo material a fim de atuar na causa desta falha. O presente trabalho mostra, portanto, análise de casos de aplicação de dois novos aços ferramenta em aplicações de conformação a quente. Os modos de falha são analisados e confrontados com as principais propriedades dos materiais, de modo a entender a melhoria de desempenho obtida.

## 2 PROPRIEDADES DOS AÇOS TENAX 300 E VHSUPER

Os dois novos materiais e as modificações que proporcionaram suas propriedades já foram descritos em trabalhos anteriores.<sup>(4-6)</sup>

Contudo, como o conhecimento de tais propriedades será importante nas discussões subsequentes, elas são resumidas nas Figuras 1a e 1b e comparadas ao aço AISI H13. Como mostra a Figura 1a, a principal melhoria do aço TENAX 300 é o aumento da tenacidade, caracterizada pela energia de impacto. Contudo, na Figura 1b observa-se também ligeira melhoria na resistência a quente do material. Na mesma Figura também se verifica a resistência a quente sensivelmente maior do aço VHSUPER. Nestes casos, a resistência a quente é avaliada pela resistência ao revenimento (ou resistência à

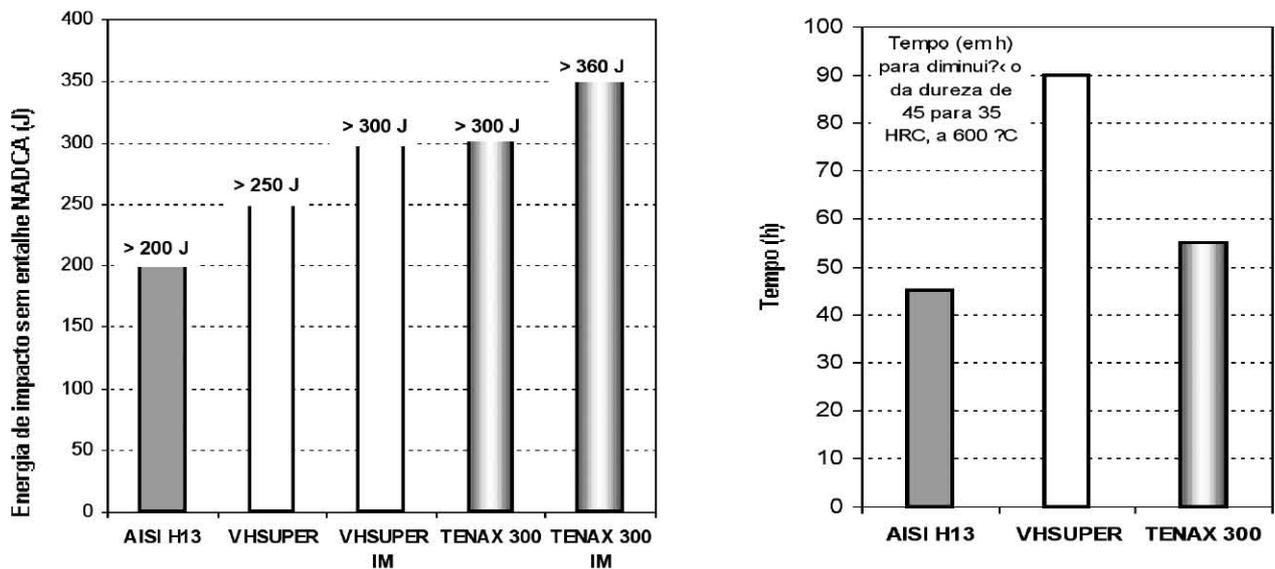


Figura 1. a) Tenacidade ao impacto em corpos de prova sem entalhe para os aços TENAX 300® e VHSUPER®, obtidos pelos processos ISO® (não indicado) e ISOMAX® (identificado pela sigla IM). A tenacidade do aço H13 produzido pelo processo ISO é indicada para comparação. Corpos de prova de 5 x 7 mm<sup>2</sup> de secção, usinados na transversal e tratados para 45 ± 1 HRC, conforme NADCA.

b) Resistência ao revenimento típica dos aços AISI H13, TENAX 300 e VHSUPER, caracterizada pelo tempo necessário para a queda da dureza de 45 para 35 HRC, quando os materiais são submetidos à temperatura de 600°C.

perda em dureza), fundamental nas aplicações de conformação a quente.

É importante ressaltar também que tais melhorias de propriedades, obtidas a partir de modificações de composição química, apenas tornam-se efetivas após a produção em condições adequadas. Como mostrado em trabalhos anteriores,<sup>(2-4)</sup> as rotas denominadas ISO® e ISOMAX® contêm importantes modificações de processo, a fim de produzir melhoria na isotropia e propriedades mecânicas dos aços ferramenta. No processo ISO®, as alterações referem-se ao refino secundário do aço líquido em forno panela, aos tempos de homogeneização e às condições de forjamento, associados ao recozimento especial, que evita precipitação de carbonetos em contornos de grão. No processo ISOMAX®, a todas essas alterações ainda acrescenta-se um refino por ESR (*electro-slag-remelting*), reduzindo intensamente a quantidade de inclusões e aumentando a isotropia de propriedades.

### 3 ANÁLISE DE CASOS

A seguir são apresentadas informações sobre quatro aplicações dos novos aços. Duas delas referem-se à utilização do aço VHSUPER em matrizes de forjamento e as outras ao uso do TENAX 300 em matriz forjamento ou em

fundição sob pressão. Além destes testes, outras aplicações foram analisadas. Contudo, os dados dos casos a seguir estão mais completos e, por essa razão, foram selecionados para a descrição no presente trabalho. Neles, as variáveis de processo e as condições de uso das ferramentas, inclusive a dureza destas, foram mantidos aproximadamente constantes. Assim, os resultados obtidos podem ser atribuídos à substituição do aço.

#### 3.1 Punção para Forjamento a Morno – Caso I

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 portanto a superfície desta. 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%.

A Figura 2 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. Assim, o fim de vida é causado por desgaste nas regiões salientes arredondadas e pelo surgimento de trincas térmicas (ver Fig. 2b).

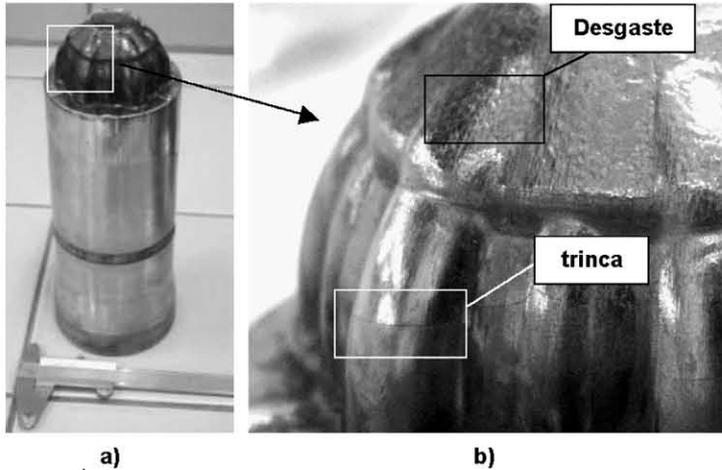


Figura 2. a) Aspecto visual do punção analisado e, b) em detalhe, as regiões com desgaste a quente e trincas.

A fim de obter mais dados do fim de vida, o punção foi cortado e foram conduzidas análises de microdureza na região mais desgastada. Esses dados foram plotados em função da distância da superfície de contato, como mostra a Figura 3. Observa-se que a dureza para profundidades maiores que 1 mm é praticamente uniforme, com o valor especificado para o material – 53 HRC. Contudo, nas regiões superficiais, onde especificamente ocorre o desgaste, a dureza diminui sensivelmente, atingindo cerca de 42 HRC. Assim, o desgaste está efetivamente relacionado à perda de dureza da ferramenta durante o trabalho, 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>(7)</sup>

Desta forma, o aumento da resistência ao revenimento do material torna-se essencial para promover aumento na vida útil desta ferramenta. Constatado este fato, o aço VHSUPER foi então testado e aprovado para a aplicação, promovendo aumento de 56% da vida útil das ferramentas.

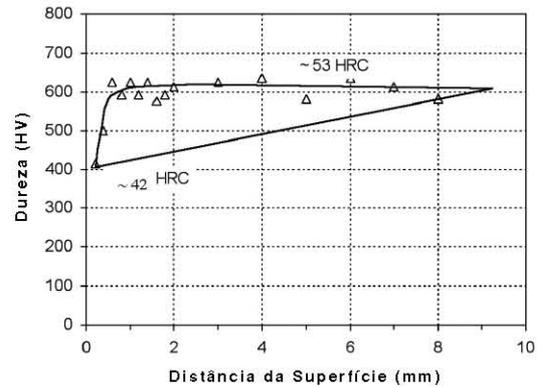


Figura 3. Medidas de microdureza do punção da Figura 1, desde a superfície de trabalho até as regiões do núcleo. O símbolo "~" indica o valor de dureza obtido após conversão de HV para HRC.

A análise comparativa das curvas de revenimento e da queda em dureza em função da temperatura e do tempo para os aços H13 e VHSUPER, Figura 4, permite entender bem o fenômeno. Em ambos os aços 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 nas Figuras 4a e 4b uma maior estabilidade a alta temperatura do aço VHSUPER, como já discutido no item 2. Assim, durante o processo de forjamento a falha ocorrerá após um maior número de golpes, produzindo o ganho de rendimento observado.

### 3.2 Matrizes para Forjamento a Quente de Bielas – Caso 2

A maior resistência a quente do aço VHSUPER foi também avaliada em matriz de

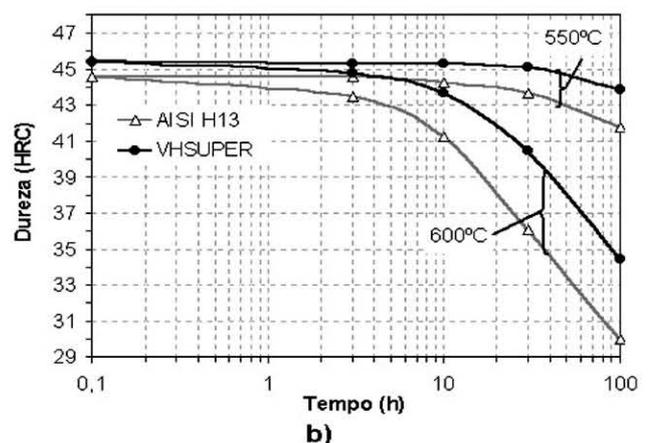
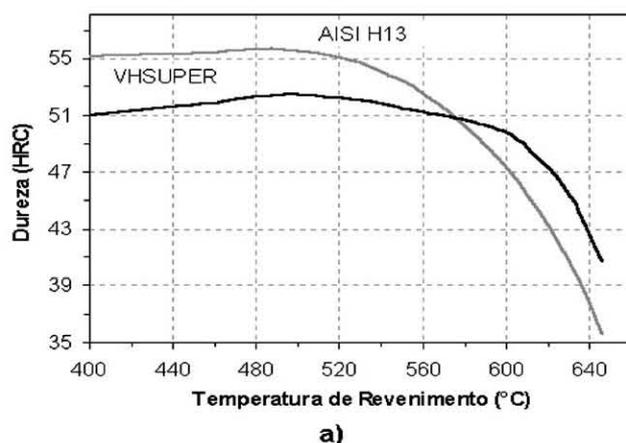


Figura 4. Comparativo de resistência ao revenido dos aços AISI H13 e VHSUPER. Em a) é mostrado o decaimento da dureza em função da temperatura, após revenimento duplo de 2 horas. Em b) em função do tempo, em escala logarítmica.

forjamento a quente para bielas, mostrada na Figura 5a. 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 e, assim como mostrado na Figura 3, a dureza da matriz é tanto menor quanto mais próximo da superfície.

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. 2b), dado o maior aquecimento e a maior temperatura dos tarugos forjados, que promovem choque térmico mais intenso. A substituição dos aços AISI H12 e H13 pelo aço VHSUPER pode ser entendida baseando-se na análise comparativa da resistência ao revenido (Fig. 4) e tenacidade (Fig. 1a). A melhoria de ambas 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, porque o aumento da dureza a quente e da tenacidade contribuem ambos para tal fator.<sup>1</sup>

### 3.3 Matriz para Forjamento a Quente com Geometria Complexa – Caso 3

O processo analisado neste caso é muito similar ao descrito no item 3.2. Contudo, o modo de falha é completamente diferente sendo proposta, portanto, uma solução distinta.

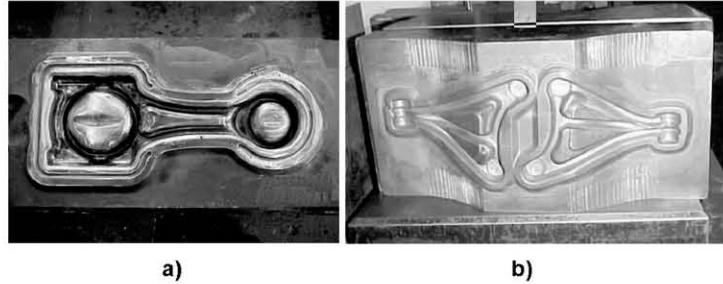


Figura 5. a) Matriz para forjamento a quente de biela, analisada no caso 2, em que o aço VHSUPER foi testado. b) matriz de forjamento de suporte de motor, em que testou-se o TENAX 300.

Trata-se também de forjamento a quente em prensa, cujos dados são descritos a seguir. Porém, a complexidade geométrica da matriz utilizada faz com que o modo de falha esteja associado a trincas, surgidas por fadiga mecânica nas regiões de concentração de tensão (ver Fig. 5b). A propriedade do aço ferramenta fundamental neste caso é a tenacidade, pois caracteriza a resistência do material à propagação de trincas quando submetido a um concentrador de tensão. Assim, a utilização de um aço de maior tenacidade está totalmente de acordo com a necessidade do modo falha.

Dados do processo: Produto: suporte de motor; Ferramenta: matriz de forjamento a quente; Material forjado: aço médio teor de C; Velocidade de aplicação dos golpes: lenta, típica de forjamento em prensa; Aço ferramenta utilizado anteriormente: AISI H13; Aço testado: TENAX 300; Ganho de vida útil obtido com a substituição: aproximadamente 40 %.

A aplicação do aço TENAX 300 nesta ferramenta foi sugerida, pela sua tenacidade sensivelmente superior à do aço H13, como mostrado na Figura 1a. Assim, um ganho de vida útil da ordem de 50% foi observado.

### 3.4 Matrizes de Fundição sob Pressão – Caso 4

O mecanismo de fim de vida de matrizes de fundição sob pressão é muito discutido na literatura,<sup>(1,4)</sup> estando associado à formação de trincas de fadiga térmica, como descrito no item 1.

A propriedade importante do aço ferramenta para esta aplicação é novamente a tenacidade. Estudos mostram que, para uma dada dureza, a resistência do material ao dano por fadiga térmica é tanto maior quanto maior a tenacidade, medida pelo ensaio de impacto em corpos de prova sem entalhe.<sup>(7)</sup>

Consequentemente, o aço TENAX 300 foi aplicado em uma matriz de fundição sob pressão de alumínio, cujo processo é descrito a seguir. O rendimento da matriz produzida com o aço H13 era baixo, porque a geometria e o processo de injeção traziam muitas trincas à matriz. Após a aplicação do aço TENAX 300 IM, houve aumento muito sensível (maior que 100%).

<sup>1</sup> As trincas de fadiga térmica também estão relacionadas à condutividade térmica do aço, mas esta propriedade é praticamente a mesma no aço VHSUPER e AISI H13 e H12.

Dados do processo: Produto: flange de motor; Ferramenta: cavidade de uma matriz de fundição sob pressão de Al; Processo: fundição sob pressão; Aço ferramenta utilizado anteriormente: AISI H13; Aço testado: TENAX 300; Ganho de vida útil obtido com a substituição: a produção de 80.000 tiros por matriz ultrapassou 200.000 tiros.

Para esta aplicação, o aço produzido com o processo ISOMAX foi empregado, devido à máxima tenacidade e isotropia de propriedades obtidas. Assim, a alta tenacidade do aço TENAX 300 IM, identificada pelos valores de energia de impacto superiores a 360J, pode ser considerada a principal propriedade responsável pelos excelentes resultados obtidos nesta aplicação.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise dos modos fundamentais de falha de ferramentas utilizadas em conformação a quente é essencial para a obtenção de

um rendimento superior.

Nos casos analisados no presente trabalho, o aço VHSUPER foi avaliado em ferramentas cuja falha está associada à resistência a quente do material. Em tais aplicações, os ganhos obtidos em relação ao aço AISI H13 foram da ordem de 50%.

Para aplicação em matrizes de forjamento com formas complexas, em que a falha é causada pelo surgimento de trincas, o aço TENAX 300 mostrou-se eficaz, promovendo aumento de vida útil da ordem de 50%.

Em cavidades de matrizes de fundição sob pressão, em que o fim de vida está associado a trincas térmicas, o caso analisado mostrou sensível aumento de rendimento com o uso do aço TENAX 300 ISOMAX.

#### REFERÊNCIAS

1. BENEDYK, T. C.; MORACZ, D. J.; WALLACE, J. F. Thermal fatigue behaviour of die materials for aluminum die casting. In: INTERNATIONAL DIE CASTING CONGRESS, 6., 1970, Cleveland, OH. **Proceedings...** Cleveland: The Society of Die Casting Engineers, 1970. Paper 111, p. 1-20, 1970.
2. COSTA NETO, A. F.; BARBOSA, C. A. Efeito da refusão ESR nas propriedades de um aço para trabalho a quente: qualidades ISO e ISOMAX. In: SENAFOR - SEMINÁRIO NACIONAL DE FORJAMENTO, 16., 1996, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS - Centro de Tecnologia, 1996. p. 40-50
3. ELIASSON, L.; SANDBERG, O. Effect of different parameter on heat-checking properties of hot-work tool steels. In: Berns, H.; Nordberg, H.; Fleischer, H.-J. **New materials and processes for tooling**. Bochum, Schurmann & Klagges, 1989. p. 1-7 *apud* ROBERTS, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. **Tool steels**. 5.ed. Metals Park, OH: ASM, 1998. p. 239.
4. MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Aços ferramenta de alto desempenho para matrizes de fundição sob pressão. **Caderno Tecnológico. Metalurgia de Não Ferrosos**, ABM, São Paulo, n.2, p. 17-22, nov. 2003.
5. PINEDO, C. E.; BARBOSA, C. A. Aços ferramenta para trabalho a quente com elevada tenacidade e isotropia. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 49., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 1994. p.517-530.
6. 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: ABM, 2002. p. 444-453.
7. MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Novos aços para trabalho a quente. In: ENCONTRO DE INTEGRANTES DA CADEIA PRODUTIVA DE FERRAMENTAS, MOLDES E MATRIZES, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 2003. p.131-140.

Recebido em:24/03/2005

Aceito em: 6/10/05

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