

EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE TÊMPERA E REVENIMENTO NO AÇO FERRAMENTA TENAX300IM® *

Cristiane Sales Gonçalves¹
Eric Valmir Spósito²
Paulo de Tarso Rossi Haddad³

Resumo

O tratamento térmico é um processo que atua como fator-chave na vida útil de ferramentas fabricadas em aços ferramenta para trabalho a quente. Devido às suas aplicações, as principais propriedades metalúrgicas desejáveis a essa classe de material são a tenacidade e a resistência a quente, sem as quais as ferramentas podem sofrer falha prematura, podendo levar a aumentos no custo de produção de artigos fabricados com utilização dessas ferramentas [1,2]. Por isso, atenção especial deve ser dada aos tratamentos térmicos praticados nesses aços, cujas operações envolvem têmpera e revenimento. O presente trabalho estudou os efeitos das temperaturas de austenitização e de revenimento na condição microestrutural e nas propriedades de dureza e resistência ao impacto do TENAX300IM®, AISI H11 modificado com menor teor de silício. A dureza foi medida pelo método Rockwell, escala C; a resistência ao impacto foi avaliada por meio de ensaio de impacto Charpy-V, e a microestrutura para cada condição foi avaliada por microscopia óptica. Temperaturas de austenitização mais elevadas resultaram em aumento do tamanho de grão e da dureza; revenimentos mais altos resultaram em redução da dureza, sendo que para algumas condições de austenitização foram observados picos de endurecimento secundário. A resistência ao impacto apresentou comportamento inverso ao da dureza, mantendo-se inicialmente constante, até ~550°C de temperatura de revenimento, e posteriormente aumentando com a temperatura de revenimento. As microestruturas apresentaram grande dissimilaridade, devido principalmente à dissolução de carbono e elementos de liga na matriz.

Palavras-chave: Aço Ferramenta; Tratamento Térmico; H11; Microestrutura.

THE EFFECTS OF HEAT TREATMENT OF QUENCHING AND TEMPERING ON TENAX300IM TOOL STEEL

Abstract

The heat treatment is a process that acts as a key factor in the tool life of tools made with hot work tool steels. Due to their applications, the main desirable metallurgical properties of this material class are toughness and hot resistance, without which the tools may suffer premature failure, and may lead to increases in the cost of producing articles made using such tools [1, 2]. Therefore, special attention must be given to the heat treatments practiced in these steels, whose operations involve quenching and tempering. The present work carried out the effects of the austenitizing and tempering temperatures on the microstructural condition, hardness and impact properties of TENAX300IM®, modified AISI H11 with lower silicon content. Hardness was measured by the Rockwell method, C scale; the toughness was evaluated by the Charpy-V impact test; and the microstructure for each condition was evaluated by optic microscopy. It was shown that higher austenitization temperatures resulted in increased grain size and hardness; higher tempering temperatures resulted in reduction of hardness, and secondary hardening peaks were observed for some austenitization conditions. The impact resistance showed an inverse behavior to that of the hardness, remaining initially constant, up to ~ 550 ° C of tempering temperature, and then increasing with the tempering temperature. The microstructures presented great dissimilarity, mainly due to the dissolution of carbon and alloying elements in the matrix.

Keywords: Tool Steel; Heat Treatment; H11; Microstructure.

¹ Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Engenheira de Aplicação, Villares Metals S.A., Sumaré, SP, Brasil

² Graduando em Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil.

³ Mestre em Engenharia Metalúrgica, Especialista em Engenharia de Aplicação, Villares Metals S.A., Sumaré, SP, Brasil

1. INTRODUÇÃO

Aços ferramenta são ligas metálicas usualmente utilizados na confecção de ferramentas para corte e conformação de outros materiais, sejam eles cerâmicos, poliméricos ou metálicos. Alguns aços ferramenta foram desenvolvidos particularmente para operações de conformação em alta temperatura, sendo aplicados principalmente na fundição de ligas não ferrosas, matrizes de forjamento e extrusão, processos em que é necessário ter um equilíbrio entre tenacidade e resistência ao revenimento, pois os materiais estão sujeitos a repetidas exposições a altas temperaturas durante longos períodos. Estes materiais são conhecidos como aços ferramenta para trabalho a quente [1-4].

Dados os diversos empregos desses aços, principalmente em operações que envolvem exposição sob ciclagem térmica, como na fundição sob pressão de ligas de alumínio, é imprescindível que o material apresente alta dureza a quente e alta tenacidade, que podem ser alcançados via tratamento térmico adequado, conferindo ao material uma relação apropriada de propriedades mecânicas [1-4]. Para garantir um desempenho satisfatório nas aplicações mais exigentes, é necessário também que o aço possua um alto nível de isotropia, o que pode ser obtido por homogeneidade estrutural, baixos níveis de inclusões não metálicas e de segregação [2].

Saber escolher o tipo correto de aço, na qualidade adequada é fundamental para a obtenção dos resultados esperados. Mas o emprego de um aço de qualidade é apenas um dos fatores e isoladamente não poderá garantir a melhoria necessária de vida útil das ferramentas. São necessários outros cuidados que se estendem também às áreas de projeto, processo de fabricação das ferramentas, tratamento térmico, operação de produção e manuseio das ferramentas. Considerando o tratamento térmico como um fator-chave no bom desempenho da ferramenta, torna-se, então, interessante o estudo de diferentes condições de tratamentos térmicos e suas consequências nas propriedades finais dos aços ferramenta para trabalho a quente.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de diferentes temperaturas de austenitização e de revenimento na microestrutura, dureza e resistência ao impacto do aço TENAX300IM® (AISI H11 modificado).

1.1. TENAX300IM®

Visando atender a necessidade do mercado que demandava um maior tempo de vida útil das ferramentas industriais confeccionadas em aço ferramenta para trabalho a quente, foi desenvolvido o TENAX300IM® em meados de 2003. Suas propriedades superiores, em principal relacionada à maior tenacidade, são consequências do processamento especial aplicado durante sua manufatura, denominado ISOMAX®, e de sua composição química diferenciada [2, 3].

O processo ISOMAX® se refere a etapas de refino do material por refusão por escória eletrocondutora (ESR), homogeneização dos lingotes refundidos em altas temperaturas e recozimento especial. A composição química do TENAX300IM® tem como base o aço AISI H11, mas com redução nos teores de silício (Si) e fósforo (P), promovendo melhorias na tenacidade e na resistência ao revenido, sem comprometer os níveis de resistência a quente e resposta ao tratamento térmico encontrados nos tradicionais aços AISI H11 e H13 [2].

Para exemplificação, a Figura 1 apresenta um comparativo de resistência ao impacto entre aços comumente utilizados em moldes de fundição sob pressão de ligas não ferrosas. Por essa figura, é possível observar que a tenacidade do aço TENAX300IM® é superior ao do aço H13, mesmo considerando a versão refundida do mesmo.

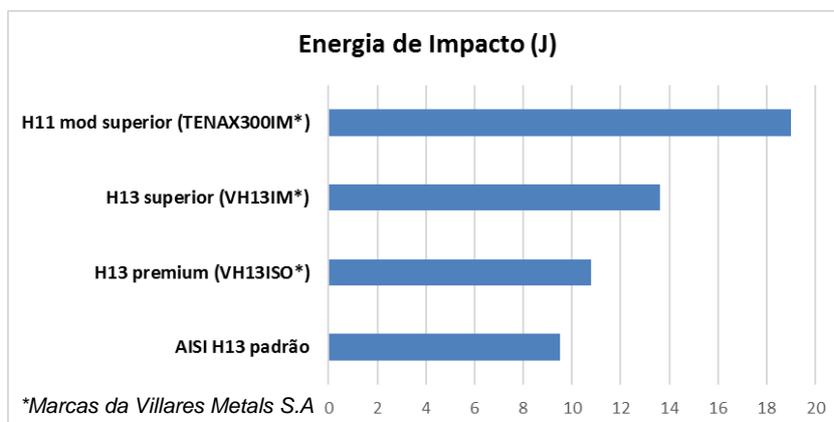


Figura 1 - Comparativo entre alguns aços ferramenta para trabalho a quente apresentando a energia absorvida no ensaio de impacto com corpo de prova com entalhe Charpy-V [2,6].

Essa maior tenacidade está atrelada à redução dos teores de Si e P na composição química do material. Na literatura, o Si é bastante conhecido por ser um elemento grafitizante em ferros fundidos e por ter forte influência sobre a tenacidade do aço. Este elemento favorece a segregação de elementos não metálicos residuais como o P e o S para interfaces presentes na microestrutura do material como os contornos de grão austeníticos prévios, criando caminhos preferenciais para a propagação de trincas. Além disso, teores mais elevados de Si podem facilitar a formação de carbonetos primários grosseiros, que, sendo insolúveis durante a etapa de austenitização, são deletérios à tenacidade do material, funcionando como amplificadores de tensão por meio da interface com a matriz. O P, por sua vez, considerado como impureza nas ligas ferrosas, é indesejável, pois é segregado facilmente para contornos de grão, fragilizando o material e facilitando a fratura intergranular. Como referência, alguns trabalhos já demonstraram que a redução de 0,025% para 0,007% no teor de P no aço AISI H11 promoveram aumento de até 30% na energia de impacto transversal [2-4].

1.2. Efeitos do tratamento térmico nos aços ferramenta para trabalho a quente

Em termos gerais, o desempenho de uma ferramenta em serviço depende de um projeto adequado do componente, operação de produção, manuseio da ferramenta, além da seleção do aço ferramenta mais adequado e tratamento térmico apropriado, de acordo com os níveis necessários de propriedades mecânicas para a dada aplicação.

O tratamento térmico aplicado deve promover combinações específicas de resistência ao desgaste, resistência à deformação, tenacidade e resistência à perda de dureza em elevadas temperaturas [1]. As operações básicas de tratamento térmico necessárias para promover o endurecimento dos aços ferramenta envolvem o aquecimento até uma temperatura suficientemente alta – conhecida como temperatura de austenitização, seguido de resfriamento a uma taxa elevada; porém, a martensita formada após processo de têmpera possui baixa tenacidade, sendo

necessário o revenimento do material, com o intuito principal de atenuar tensões residuais, pela realocação do carbono e formação de carbonetos, e reduzir frações volumétricas de austenita retida. Investigações prévias [5, 6] demonstraram que 70-80% das falhas em aços ferramenta são devidas a algum tratamento térmico deficiente; um tratamento térmico inadequado pode ser o responsável principal pela baixa vida útil do componente e, por isso, a análise de falha deve sempre considerar uma revisão das operações de tratamento térmico. Entretanto, muitas das falhas resultantes de tratamento térmico inadequado não possuem características visíveis ao olho nu e, devido a isso, ensaios mecânicos como medição da dureza e da resistência ao impacto e análise da microestrutura por microscopia frequentemente fornecem evidências que contribuem para a investigação.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado um bloco de TENAX300IM® inicialmente no estado recozido. A composição química do material está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química do aço estudado, em %p. Balanço em Fe.

Material	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	S	P
TENAX300IM®	0,34	0,25	0,25	4,95	1,35	0,40	≤ 0,001	0,005

As microestruturas das amostras foram caracterizadas utilizando microscopia óptica após preparação metalográfica e ataque químico com Nital 4% e Villela. Para uma melhor visualização dos contornos de grão e determinação do tamanho destes, optou-se pela utilização de uma variação da técnica de oxidação dos contornos, de acordo com a norma ASTM E112. As microestruturas, avaliadas na direção transversal, foram capturadas digitalmente em analisador de imagens Zeiss Observer Z1M com auxílio do software AxioCamMR3; os tamanhos médios de grão foram determinados pelo método dos interceptos.

Para levantamento das curvas de revenimento foram utilizados corpos de prova de 20 x 20 x 20 mm, tratados em diferentes ciclos térmicos, com tempo de encharque de 30 minutos em diversas temperaturas de austenização e posterior resfriamento em óleo com agitação. Também foi realizado duplo revenimento de 2 horas cada em diversas temperaturas, com resfriamento ao ar calmo. A tenacidade foi avaliada indiretamente via ensaio de impacto, tendo sido utilizados corpos de prova Charpy-V com dimensões finais 10 x 10 x 55 mm. As amostras foram austenitizadas a 1010 °C com tempo de encharque de 30 minutos, temperadas em óleo com agitação e então revenidas duplamente por 2 horas em diversas temperaturas, com resfriamento ao ar calmo. A Tabela 2 apresenta as temperaturas de austenitização e revenimento utilizadas para os corpos de prova deste estudo.

Tabela 2. Temperaturas utilizadas nas amostras utilizadas para a realização do trabalho. Considerar todas em °C.*

Austenitização	900	950	980	1000	1010	1020	1030	1050	1070		
Revenimento	200	300	400	450	500	525	550	575	600	620	650

*Para análise microestrutural e de tamanho de grão, as amostras foram submetidas a diferentes temperaturas de austenitização, mantendo-se fixa a temperatura de revenimento a 600°C. **Para todos os processos de revenimento, os materiais foram duplamente revenido, mantendo-se em temperatura por 2 horas cada.

Todos os materiais foram retirados do bloco inicial na direção transversal, conforme NADCA #207-2016 [7], e entalhados paralelamente à longitudinal.

3. DISCUSSÕES E RESULTADOS

A Figura 2 apresenta micrografias para o material no estado recozido. A microestrutura é constituída, basicamente, por carbonetos esferoidizados e homogeneamente distribuídos sobre uma matriz ferrítica, típica de um material esferoidizado.

A Figura 3 apresenta as microestruturas do TENAX300IM® tratado termicamente para diferentes temperaturas de austenitização. Em geral, as microestruturas são compostas predominantemente por martensita revenida e finos precipitados de carbonetos secundário de elementos de liga. É notório que o tamanho de grão aumenta conforme o aumento da temperatura de austenitização, conforme gráfico apresentado na Figura 4. A literatura [8,9] indica que a elevação da temperatura resulta em diminuição da quantidade de carbonetos secundários não dissolvidos na estrutura, confirmando que maiores volumes de carbonetos finamente distribuídos influenciam positivamente na resistência ao crescimento de grão.

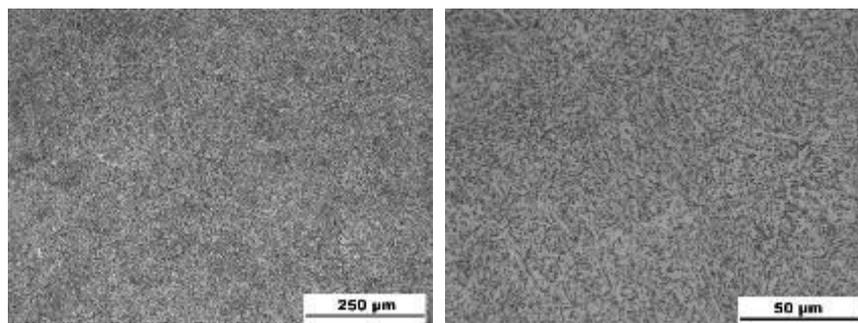


Figura 2. Microestruturas como recozidas. Ampliações originais de 100x e 500x. Ataque: Nital 4%.

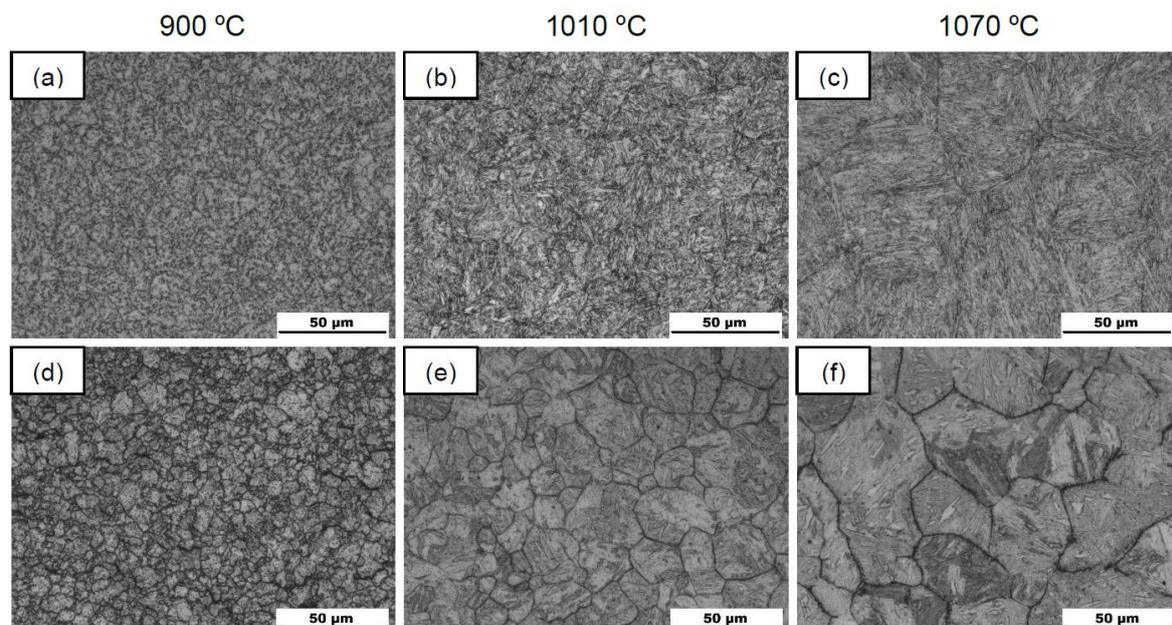


Figura 3. Microestruturas do aço TENAX300IM® austenitizado em diferentes temperaturas. Ampliações originais de 500X. (a), (b) e (c) amostras revenidas a 600°C 2x2h e atacadas com Nital 4%; (d), (e) e (f) amostras temperadas com contornos de grão evidenciados e atacadas com Villela.

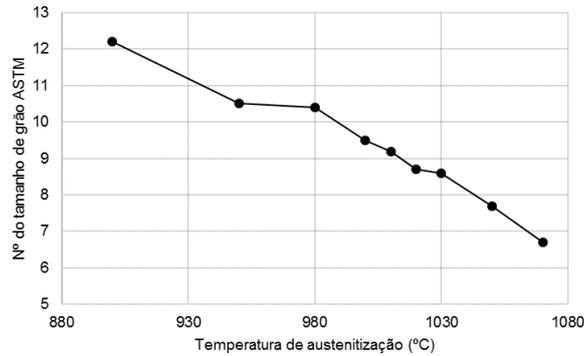


Figura 4. Tamanho de grão austenítico (escala ASTM) em função da temperatura de austenitização.

Na Figura 5 é possível inferir que a elevação da temperatura de austenitização, considerando a faixa de temperaturas estudadas, promove um acréscimo de dureza. Este efeito está diretamente relacionado com níveis mais elevados de elementos de liga dissolvidos na matriz martensítica [8,9,10], pois os diversos carbonetos presentes se tornam instáveis e são dissolvidos, contribuindo, assim, para um incremento no teor de carbono em solução com o ferro, o que produz uma martensita mais dura. Já na Figura 6 é possível depreender que, em decorrência de fenômenos de amaciamento termicamente ativados durante o revenimento (redistribuição de carbono na matriz) e nucleação de carbonetos mais finos e estáveis [8,9], a dureza sofre um decréscimo e a energia de absorção no impacto sofre um acréscimo, ou seja, existe um compromisso inverso entre a dureza e a resistência ao impacto do aço.

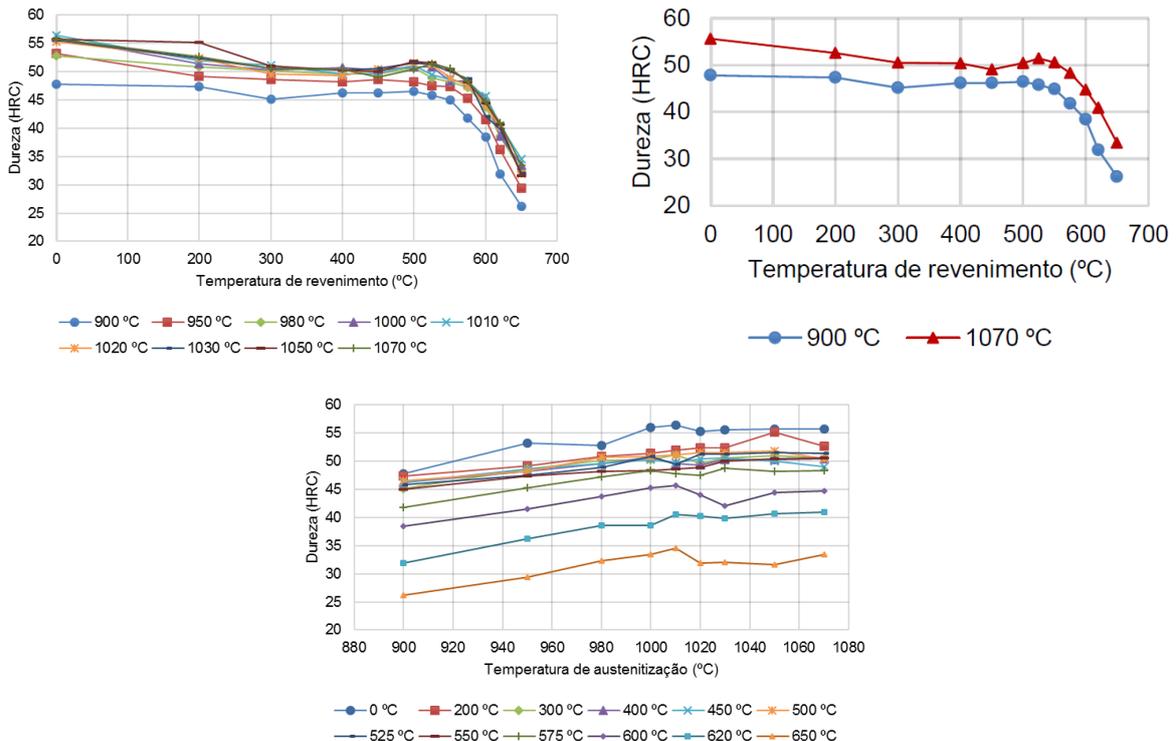


Figura 5. Curvas de revenimento para diferentes temperaturas de austenitização.

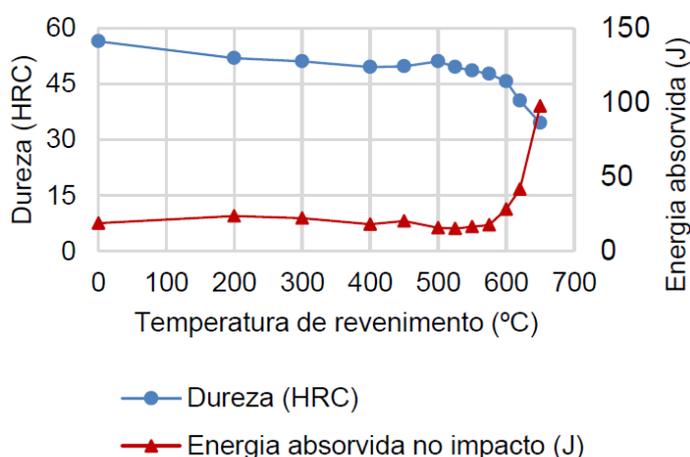


Figura 6. Dureza e energia absorvida no impacto em função da temperatura de revenimento. Materiais submetidos a temperatura de austenitização de 1010°C.

4. CONCLUSÃO

Os resultados permitiram concluir que austenitizações em temperaturas mais elevadas resultaram em maior dureza, porém a custo de aumento de tamanho de grão; para incremento do nível de resistência ao impacto (tenacidade), o revenimento do material deve ser realizado, visando temperaturas mais elevadas. Em decorrência disso, para uma maior vida útil da ferramenta confeccionada com esses materiais, além da escolha do aço com composição química e qualidade mais adequadas, também devem ser realizados tratamentos térmicos que possam equilibrar uma boa resistência mecânica, mensurada pela dureza do material, com boa tenacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Villares Metals S.A., pela disponibilização da matéria-prima e equipamentos utilizados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 ROBERTS, G.; KRAUSS, G.; KENNEDY, R. Tool Steels. 5. ed. Materials Park, Ohio: ASM International, 1998. pp. 1-123 e pp. 219-250.
- 2 MESQUITA, R. A.; FRANÇA, L. C; BARBOSA, C. A. Desenvolvimento de um Novo Aço Ferramenta para Trabalho a Quente com Tenacidade Otimizada. 57º Congresso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, julho 2002.
- 3 MESQUITA, R. A.; BARBOSA, C. A. Aços Ferramenta com Propriedades Otimizadas para Matrizes de Fundição de Metais não Ferrosos. Conaf 2003, Abifa, São Paulo, setembro 2003.
- 4 MESQUITA, R. A. et al. Efeito do Si e P na Tenacidade do Aço H11, Utilizado em Ferramentas de Trabalho a Quente. 61º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, julho 2006.
- 5 BETHLEHEM STEEL CORPORATION. The Tool Steel Trouble-Shooter – An Analysis of 107 Tool Failures. 1964.
- 6 CANALE, L. C. F.; MESQUITA, R. A.; TOTTEN, G. E. Failure Analysis of Heat Treated Steel Components. ASM International, 2008. pp. 311-350.

- 7 North American Die Casting Association. NADCA#207: Special Quality Die Steel & Heat Treatment Acceptance Criteria for Die Casting Dies. Wheeling, IL: NADCA, 2016. 40 p
- 8 OKORAFOR, O. E. Fracture Toughness of M2 and H13 Alloy Tool Steels. Materials Science and Technology, vol. 3, pp. 118-124, 1987.
- 9 SCHMIDT, M. L. Effect of Austenitizing Temperature on Laboratory Treated and Large Section Sizes of H-13 Tool Steels. Tool materials for Molds and Dies. Colorado: Colorado School of Mines Press, pp. 118-164, 1987.
- 10 OKUNO, T. Effect of Microstructure on the Toughness of Hot Work Tool Steels, AISI H10, H13 and H10. Transactions ISIJ, vol. 27, pp. 51-59, 1987.