

EFEITO DAS ALTERAÇÕES NO TRATAMENTO TÉRMICO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS E VIDA ÚTIL DE PUNÇÕES PARA EXTRUSÃO REVERSA FABRICADOS EM AISI – M2¹

Carlos Henrique da Silva²
Leonardo Martins Kroetz³
Nilton Klann⁴
Thaís Elise Cunha⁵

Resumo

O aço rápido AISI M2 é normalmente austenitizado em 1.200°C e revenido a altas temperaturas. Este tratamento gera quantidade significativa de austenita retida que afeta diretamente as propriedades dos aços. Nos últimos anos tem sido feito uso extensivo de aço rápido para ferramentas em aplicações de conformação a frio, a fim de melhorar o desempenho em situações específicas. O trabalho apresenta as melhorias obtidas através das alterações do processo de tratamento térmico e o ciclo mais adequado a punções para extrusão reversa fabricados em AISI-M2, com a utilização da Criogenia.

Palavras-chave: AISI M2; Criogenia; Punções.

EFFECT OF CHANGES IN HEAT TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES AND LIFE OF EXTRUSION REVERSE PUNCH MANUFACTURED IN AISI - M2

Abstract

The AISI M2 steel is usually austeniting at 1200°C and tempering at high temperatures. This treatment generates significant amount of retained austenite that affects the properties of steels. In recent years has made extensive use of high-speed steel for application of conformation in the cold in order to improve performance in specific situations. The work presents the improvements made through changes in the process of heat treatment cycle and more suitable for punch to reverse extrusion manufactured in AISI-M2, with the use of cryogenics.

Key words: AISI M2; Cryogenics; Punch.

¹ *Contribuição técnica ao 7º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 15 e 16 de julho de 2009, São Paulo, SP.*

² *Engenheiro Metalurgista, Gerente da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S/A –Joinville – SC.*

³ *Técnico em Mecânica, Vendedor Técnico da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S/A – Joinville – SC.*

⁴ *Tecnólogo em processos Industriais Analista de Processos de Conformação da Zen S/A. – Brusque – SC.*

⁵ *Tecnóloga em Materiais, Supervisora da Qualidade da Bodycote Brasimet Processamento Térmico S/A – Joinville – SC.*

1 INTRODUÇÃO

Os aços rápidos recebem esta denominação devido a sua capacidade de reter elevadas durezas (65 HRC – 70 HRC) mesmo sendo utilizados em aplicações com altas variações de temperatura. Além de elevada dureza, outra importante característica destes aços é a capacidade de manter a dureza se submetidos a temperaturas de até 600°C. Esta característica abilita os aços rápidos como matéria-prima para fabricação de ferramentas de corte, além de matrizes de estampagem, prensagem e forjamento que necessitem de elevada resistência ao desgaste.

A microestrutura destes materiais é composta basicamente por carbonetos primários, cuja principal função é fornecer proteção contra desgaste abrasivo, e uma matriz de martensita revenida reforçada por carbonetos finamente dispersos (precipitados durante o revenimento, num processo onde ocorre endurecimento secundário).

O carboneto mais importante tem fórmula geral M_6C . Esse tipo de carboneto apresenta estrutura cúbica de face centrada complexa e pode apresentar fórmula química entre Fe_4Me_2C e Fe_3Me_3C , sendo Me tungstênio ou molibdênio. São estes os carbonetos que mais contribuem para a resistência a abrasão dos aços rápidos, devido a sua alta dureza. Muito estáveis, dissolvem-se apenas parcialmente durante austenitização em temperaturas acima de 980°C.

Já o vanádio forma carbonetos do tipo MC (ou M_4C_3), de estrutura cúbica de face centrada, capaz de dissolver tungstênio, molibdênio, ferro e cromo. O carboneto MC apresenta-se na estrutura bruta de fusão como glóbulos. Outro carboneto primário é o M_2C , onde M representa molibdênio e tungstênio, podendo dissolver outros elementos. De estrutura hexagonal e metaestável, tende a se decompor em uma mistura de M_6C e MC nas operações de fabricação e tratamentos térmicos subseqüentes. Nos aços da série M brutos de fusão podemos encontrar somente carbonetos tipo M_6C , ou somente do tipo M_2C , ou ainda uma mistura de ambos. Os carbonetos secundários podem ser formados em várias etapas. A ferrita β , que ocorre tanto na solidificação quanto no superaquecimento, pode decompor-se segundo uma reação eutetóide, formando ferrita ϵ e carbonetos, principalmente do tipo M_6C . No resfriamento da austenita durante a têmpera ocorre uma reduzida precipitação de carbonetos tipo MC, preferencialmente nos contornos de grão.

A composição química destes aços varia em faixas consideradas amplas, com níveis elevados de elementos de liga de alto valor, como molibdênio, vanádio, tungstênio e cobalto, sendo assim considerados materiais de custo elevado. A Tabela 1 apresenta a composição química nominal do aço AISI M2.

Tabela 1: Composição química do aço AISI M2 ⁽¹⁾

Elemento	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V
%	0,78– 0,88	0,15– 0,40	0,20– 0,45	3,75– 4,50	0,30 máx	4,50– 5,50	5,50– 6,75	1,75– 2,20

O tratamento térmico deste material tem sido alvo de muitos estudos e trabalhos que objetivam melhorar ainda mais as propriedades e vida útil de ferramentas que trabalham em condições agressivas de desgaste abrasivo, conformação e temperatura.

Um dos cuidados a ser observado no aço AISI M2 é a grande variação de austenita retida, que acarreta uma diminuição de propriedades mecânica. A transformação de austenita completa nesta classe de aço pode se dá com tratamentos a baixa temperatura.

Na década de 1930 estudos foram feitos para melhorar as propriedades dos aços por meio destes tratamentos a baixas temperaturas (sub-zero). Conduzidos a temperaturas até cerca de -80°C (usando Metanol, gelo seco ou FREON), o propósito do processo foi de transformar austenita residual, a fim de estabilizar a estrutura temperada.⁽²⁾

Em 1970, o desenvolvimento de outro tratamento foi realizado a -196°C usando Nitrogênio líquido. Mesmo com diversos tipos diferentes de processos criogênicos, todos eles apresentaram resultados significativos.

Embora os valores sejam por vezes variáveis, a vida útil das ferramentas como punções são duplicados. Muitos estudos já foram realizados para verificar o efeito do tratamento criogênico sobre a microestrutura de aços rápidos. Os resultados mostram que não só transforma a austenita retida em martensita, mas também modificam a morfologia da martensita e precipitam carbonetos ultrafinos.⁽³⁾ Quanto às propriedades que são afetadas pelo tratamento criogênico, as principais são a: estabilidade dimensional, dureza, tenacidade e a resistência ao desgaste. A mudança ou não dessas propriedades vai depender das condições do material antes de sofrer o processo criogênico, dentre elas, sua composição química e tratamentos térmicos anteriormente realizados.

Além das alterações que ocorrem durante o processo criogênico, nos revenimentos realizados também são observadas muitas transformações.

No estado temperado, encontra-se como micro constituinte dos aços rápidos martensita do tipo misto, ou seja, mistura de martensita, austenita retida e carbonetos não dissolvidos no aquecimento (particularmente os do tipo M_6C e MC). Entre 100°C e 250°C ocorre precipitação de carbonetos de ferro, usualmente apresentados como carboneto ϵ ; entre 250°C e 500°C , a precipitação de carbonetos de ferro continua havendo também a formação de cementita. A precipitação de carbonetos na austenita retida se inicia acima de 300°C – 350°C ; a quantidade de austenita se matem até aproximadamente 530°C , e transforma-se em martensita no resfriamento subsequente. Contudo, entre 400°C e 570°C a cementita é em parte dissolvida, havendo a precipitação de carbonetos do tipo M_2C e MC , tanto na martensita quanto na austenita retida. O fenômeno de dureza secundária, todavia, se manifesta de maneira mais acentuada na faixa dos 500°C aos 570°C , onde ocorre maior precipitação de carbonetos dos elementos de liga, preferencialmente na estrutura de discordâncias herdada da martensita. Devido à pequena velocidade de difusão dos elementos de liga substitucionais, os precipitados encontram-se finamente dispersos e apresentam-se menores que os precipitados de cementita. Na Figura 1, onde a dureza do aço ABNT M2 está representada em função da temperatura e do tempo de revenimento, pode-se constatar o fenômeno de endurecimento secundário. Na faixa de 570°C a 680°C , a matriz, agora ferrítica, empobrece-se ainda mais em elementos de liga, havendo também o coalescimento dos carbonetos. Entre 680°C e 760°C , o processo descrito acima continua, ocorrendo também a precipitação de carbonetos estáveis M_6C . No resfriamento subsequente ao revenimento parte da austenita, condicionada pelas reações que ocorreram durante o revenimento, transforma-se em martensita.⁽⁴⁾

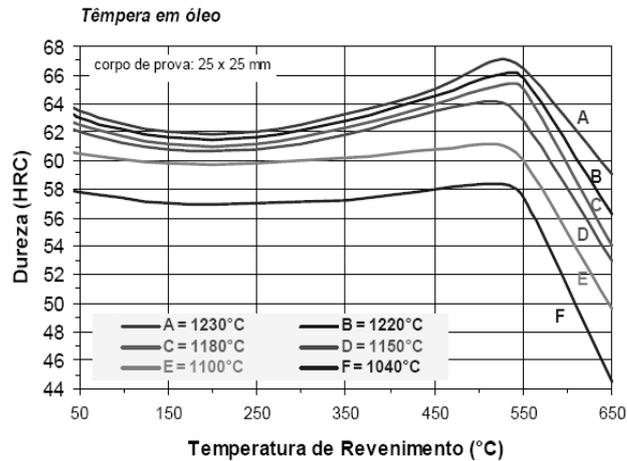


Figura 1: Curva de Revenimento do aço AISI M2.

Assim, novo ciclo se faz necessário com o intuito de revenir a martensita então formada (chamada martensita secundária). Como a quantidade de austenita retida após o primeiro ciclo de revenimento geralmente é alta, ter-se-á após o segundo ciclo quantidade apreciável de martensita não revenida (chamada agora de terciária). Tal fato levará a execução de novo ciclo de revenimento, mas o revenimento duplo em alguns casos é satisfatório no condicionamento da estrutura, o que pode ser constatado pelos dados descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Efeito de ciclo de revenimento simples e duplo nas propriedades mecânicas do aço AISI T1 (0,75C, 18W, 4Cr, 1V) ⁽⁵⁾

<i>Tempo nas temperaturas de revenimento</i>	<i>Dureza (HRC)</i>	<i>Resistência à flexão (MPa)</i>	<i>Energia absorvida sob impacto (J)</i>
Revenimento simples a 565°C			
6 minutos	65.1	2150	22
1 hora	65.7	1860	41
2,5 horas	65.0	2810	65
5 horas	64.5	2590	65
Revenimento duplo a 565°C			
2,5h + 2,5h	64.5	3130	85

Este trabalho tem por objetivo comparar os resultados obtidos nos ensaios realizados para identificar o ciclo mais adequado para tratar termicamente punções utilizados para extrusão reversa. O efeito do processo criogênico sobre as propriedades mecânicas dos aços também é descrito aqui.

Os punções de extrusão reversa falham por desgaste, escoriações e formação de fendas; além de falharem em consequência de fadiga da superfície. Muitas vezes também é constatada falha causada por rebaixamento ou aumento da forma da matriz. Devido às altas tensões encontradas na operação são preferidos aços com maior dureza nas superfícies de trabalho (geralmente em torno de 62 HRC). Alguns punções de conformação a frio sofrem grandes esforços de compressão e necessitam que a ferramenta tenha rigidez suficiente (baixa tenacidade) a fim de resistirem a estas tensões evitando as deformações plásticas na ferramenta (recalcamento). Um dos fatores que podem influenciar este defeito é a quantidade de austenita retida na estrutura do material.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para realização do trabalho foi aço selecionado é o AISI M2. A composição química do material utilizado no estudo é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição química do aço AISI M2 utilizado no estudo

Elementos	C	Mn	Si	Mo	V	W
%	0,85	0,25	4,00	5,10	2,15	6,30

Foram feitos 60 corpos de prova, sendo utilizados 10 corpos de prova para os seis ciclos estudados. A dureza se manteve a mesma em ambos os tratamentos, de modo a isolar essa variável.

Os ciclos utilizados no estudo estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4: Lista dos processos aplicados.

PROCESSO	CICLO APLICADO <i>(Forno a vácuo VT6 – Bodycote Brasimet Processamento Térmico S/A – Unidade Joinville)</i>	DUREZA APÓS TRATAMENTO
CICLO “A”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Processo criogênico com Nitrogênio Líquido a -196°C por 90 minutos. ♥ Revenimento simples por 60 minutos. 	62,5 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,16 HRC
CICLO “B”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 1190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Processo criogênico com Nitrogênio Líquido a -196°C por 90 minutos. ♥ Revenimento duplo por 60 minutos cada um. 	62,0 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,11 HRC
CICLO “C”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 1190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Processo criogênico com Nitrogênio Líquido a -196°C por 90 minutos. ♥ Revenimento triplo por 60 minutos cada um. 	62,2 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,17 HRC
CICLO “D”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 1190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Revenimento simples por 60 minutos. 	62,0 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,17 HRC
CICLO “E”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 1190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Revenimento duplo por 60 minutos cada um. 	62,0 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,11 HRC
CICLO “F”	<ul style="list-style-type: none"> ♥ Austenitização 1190°C – Resfriamento 5 bar. ♥ Revenimento triplo por 60 minutos cada um. 	62,3 HRC <u>Desvio Padrão:</u> 0,13 HRC

Após os ciclos de tratamento térmico os ensaios mecânicos foram realizados em temperatura ambiente.

A fração volumétrica de austenita retida foi determinada por análise de raio X com equipamento MSF3M – fabricante Rigaku.

As análises metalográficas foram feitas em um microscópio Union – Versamet com captação de imagem.

3 RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Fração Volumétrica de Austenita Retida

O gráfico da Figura 2 apresenta os resultados da média obtida após realização de 5 ensaios em 10 corpos de prova de cada ciclo utilizado. Os testes de austenita retida foram realizados no equipamento modelo MSF3M - Fabricante Rigaku.

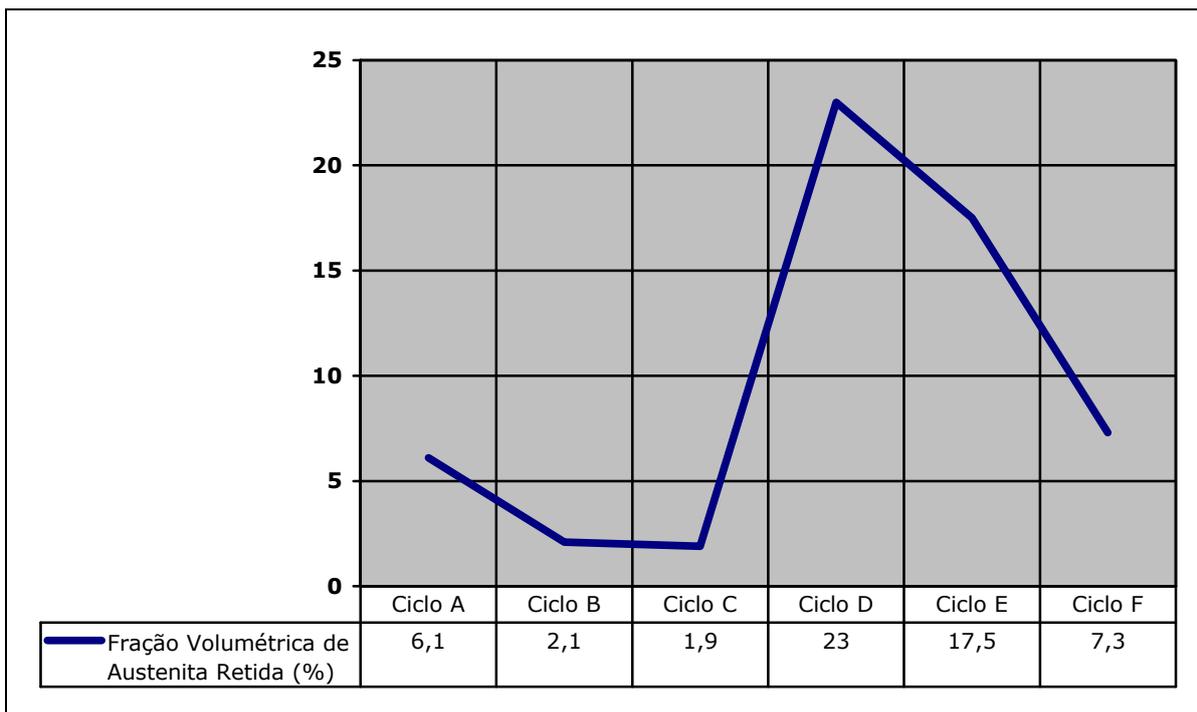


Figura 2: Fração Volumétrica de Austenita Retida

3.2 Testes de Impacto

Os testes foram conduzidos em máquina de impacto de 300J, pertencentes ao laboratório da SOCIESC em Joinville. Foram utilizados corpos de prova de impacto no padrão 10 x 10 x 55 mm, sem entalhe com acabamento retificado, retirados na direção de laminação de barras de 60 x 25 x 1.000 mm.

Os resultados dos testes podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos Ensaio de Impacto

Testes	Média 10 CP's	Desvio Padrão
	<u>Energia (J)</u>	
Ciclo A	200,96	23,7
Ciclo B	245,95	24,1
Ciclo C	251,00	25,1
Ciclo D	110,23	13,8
Ciclo E	125,02	20,4
Ciclo F	150,00	14,5

3.3 Micrografias Óticas (Nital 3% - 500x)

Obs.: Metalografias realizadas utilizando mesma iluminação e mesmo embutimento para facilitar comparação.

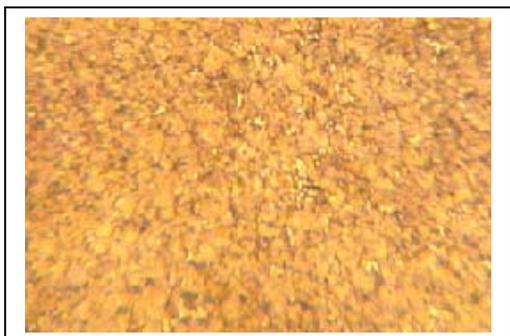


Figura 2 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico A.

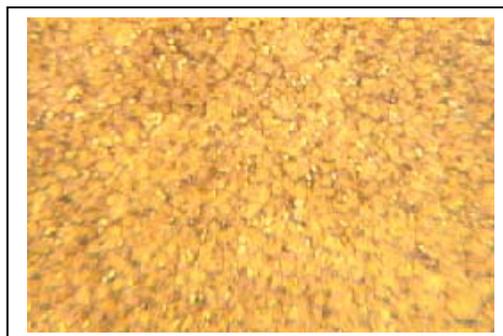


Figura 3 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico B.



Figura 4 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico C.

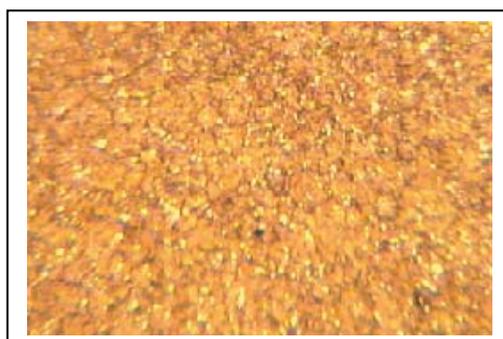


Figura 5 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico D.



Figura 6 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico E.



Figura 7 : Microestrutura da amostra em aço M2 obtida com o ciclo de tratamento térmico F.

Micrografias constituídas de martensita revenida.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a microestrutura obtida nos diferentes ciclos foi modificada devido ao número de revenimentos realizados. A fração volumétrica medida foi maior quando realizado apenas um revenimento e praticamente igual quando utilizado duplo ou triplo revenimento nos ciclos onde o processo criogênico foi realizado. As diferenças microestruturais só puderam ser observadas com os resultados obtidos no teste de fração volumétrica de austenita retida, já que nas micrografias, observadas nas Figuras 2 a 7 pode-se apenas observar matriz de martensita revenida com carbonetos comuns ao material.

O processo criogênico realizado em todos os ciclos de tratamento térmico estudados é responsável por dois mecanismos já estudados em outros trabalhos que influenciam na microestrutura e propriedades dos materiais.

O primeiro é a transformação de austenita retida. Este mecanismo é bastante conhecido, e é o resultado do arrefecimento próximo ou abaixo da linha Mf. A grande maioria da austenita retida na estrutura é transformada em martensita resultando em um aumento de dureza. A eliminação de austenita retida também estabiliza as dimensões da peça.^(6,7) Este fenômeno é em grande parte dos aços completo em temperaturas entre -80°C e -110°C, desde que a austenita não tenha sido estabilizada, por permanecer por longos tempos em temperatura ambiente ou acima, antes do processo criogênico.

O efeito deste tratamento é o aumento da dureza, (quanto maior for a quantidade de austenita retida na estrutura, maior será o aumento na dureza); a redução da tenacidade; o aumento de resistência ao desgaste e aumento na estabilidade dimensional.

O segundo mecanismo em ação é o condicionamento a baixa temperatura da martensita. O resfriamento continuado da martensita abaixo da sua temperatura de formação e sua manutenção nessa temperatura por tempo suficiente promove a formação de uma grande quantidade de carbonetos η muito finos durante a etapa subsequente que é o revenimento.⁽⁶⁾ Os resultados dos ensaios de impacto em corpos de prova sem entalhe mostraram que quando utilizado o processo criogênico nos ciclos aplicados se tem um aumento de tenacidade considerável.

Os resultados positivos alcançados utilizando o processo criogênico e múltiplos revenimentos reafirmam trabalhos disponíveis que apresentam estudos de tratamentos e materiais semelhantes.

5 CONCLUSÃO

Após a realização dos ensaios e resultados obtidos, pode-se concluir que a utilização do processo criogênico (com nitrogênio a -196°C) e duplo ou triplo revenimento promove uma microestrutura ideal para utilizações com exigência de alta estabilidade. Por isso os ciclos denominados no trabalho como “B” e “C” podem ser considerados as melhores escolhas para aplicar em punções de extrusão reversa.

Mudanças em outros parâmetros, tais como o número de revenimentos, mostraram que podem afetar as propriedades mecânicas e a estrutura do material AISI M2 também.

Com tratamentos criogênicos a -196°C, a tenacidade e resistência ao desgaste apresentaram-se melhores, devido principalmente a uma maior transformação da austenita.

REFERÊNCIAS

- 1 VILLARES METALS : Aço Rápido : AISI M2. Boletim Técnico, 2003.
- 2 Yun, Dong / Xiaoping, Lin / Hongshen, Xiao. Deep Cryogenic Treatment of High – Speed Steel and its Mechanism. Heat Treatment of Metals, págs. 55 – 59, 1998
- 3 YOSHIDA, Shun / SARTORI, Carlos. Efeitos do tratamento criogênico na tenacidade à fratura dos aços AISI M2, AISI D2 e aço para trabalho a frio com 8%Cr. 2006.
- 4 Chiaverini, Vicente : Aços e Ferros Fundidos. ABM, 1979.

- 5 Heat treating of specific classes of tool steels. ASM Handbook Metals Park : ASM, 1991.
- 6 H.C. Child, S.A. Plumb / S.A. Horton. Improved Heat Treatment for High-speed Steel M2. Heat Treatment of Metals, págs. 33 – 38, 1983
- 7 D.N. Collins. Deep Cryogenic Treatment of Tools Steels : A Review. Heat Treatment of Metals, págs 40 – 42, 1996.