

EFEITOS DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO NA TENACIDADE À FRATURA DOS AÇOS AISI M2, AISI D2 E AÇO PARA TRABALHO A FRIO COM 8%CR ¹

Carlos Humberto Sartori ²

Shun Yoshida ³

Márcio Grieco Fagundes ⁴

Resumo

Foi avaliada a tenacidade à fratura (via ensaio de impacto em corpos de prova sem entalhe) de três aços ferramentas, similares a norma AISI D2 e M2, e um aço para trabalho a frio com 8% Cr. Foram utilizadas duas rotas de tratamento térmico à vacuo: têmpera e revenimento tradicional e têmpera por um processo criogênico especial, denominado CRYO®. Os resultados obtidos demonstraram que o processo criogênico utilizado produziu incrementos significativos na tenacidade para todos os aços investigados demonstrando o efeito positivo do tratamento CRYO®, corroborando com outros trabalhos disponíveis na literatura utilizando aços ferramentas similares e outros tratamentos criogênicos específicos.

Palavras-chaves: Tratamentos criogênicos; Aço ferramenta; Precipitação de carbonetos η ; Austenita retida.

EFFECTS OF THE CRYOGENIC TREATMENT IN THE FRACTURE TOUGHNESS OF THE AISI M2, AISI D2 AND A 8%Cr COLD WORK STEEL

Abstract

The fracture toughness (by impact test in unnotched samples) of three tool steels (AISI D2, M2 and a cold work 8% Cr tool steel) has been evaluated.

Two different vacuum heat treatment processes have been applied: conventional quench and tempering and a special cryogenic process called CRYO®. The obtained results show that the cryogenic process produced improvements in toughness of all tested steels. These results show the positive effects of the CRYO® process and are in accordance with the available literature of cryogenics processes in tool steels.

Key words: Cryogenic treatments; Tool steels; η -carbides precipitation; Retained austenite.

¹ *Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ*

² *Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia de Materiais pela EPUSP, Membro da ABM, Engenheiro de Aplicação da Brasimet Com. Ind. S/A.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Coordenador da Célula Ferramentas da Brasimet Com. Ind. S/A.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Engenheiro de Aplicação da Brasimet Com. Ind. S/A.*

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, muito interesse tem sido demonstrado a respeito dos efeitos de tratamentos a baixas temperaturas na performance de aços ferramenta.

A utilização de temperaturas abaixo de zero para a melhoria das propriedades do aço não é uma prática recente. Hoje, com o avanço tecnológico, este tipo de prática deixa de ser uma arte, e torna-se ciência.⁽¹⁾

Foram reportadas melhoras significativas em diversos ramos da ciência, desde aumento de precisão em canos de armas e bolas de golfe até aumento na resistência ao estiramento de fibras de polímeros usadas na fabricação de velas para barcos e veleiros.⁽²⁾

Já foi sugerido que o tratamento criogênico é capaz de “ordenar” a estrutura, eliminando lacunas e discordâncias, dificultando escorregamento de planos atômicos e com isso melhoraria as propriedades mecânicas de diversos materiais.

Muita confusão foi criada devido ao uso incorreto de termos técnicos e, portanto é muito importante distinguirmos o processo comum de subzero, conduzido a temperaturas da ordem de -80°C (usando metanol, gelo seco ou freon), do processo criogênico em si ou “deep cryogenic treatment” conduzido a temperaturas de -196°C (usando nitrogênio líquido) e que será tema deste trabalho.⁽³⁾

Outras dúvidas ainda existem em relação aos métodos de resfriamento, o resfriamento rápido para temperaturas criogênicas pode causar trincas e distorções devido ao choque térmico. Também existem dúvidas em relação ao tempo que deve ser gasto na etapa criogênica (em geral acima de 24 horas).

Os processos criogênicos funcionam na verdade como uma têmpera estendida, portanto muito diferente dos conceitos de um processo extra após os revenimentos.

Mesmo com tantos tipos diferentes de processos criogênicos, o fato é que todos eles reportam de um modo geral, aumentos na vida útil de ferramentas.

Resultados mostram que tratamentos criogênicos não somente transformam a austenita residual em martensita, mas também alteram a morfologia da martensita e precipitam carbonetos ultrafinos.⁽⁴⁾

Na literatura podemos conferir que as principais propriedades afetadas pelo tratamento criogênico são estabilidade dimensional, dureza, tenacidade e resistência ao desgaste.⁽⁵⁾ 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 sofridos.⁽⁶⁾

Este trabalho tem por objetivo comparar a tenacidade à fratura de 4 tipos de aços ferramenta tratados termicamente a vacuo utilizando duas rotas distintas : tempera e revenimento tradicional e tempera e revenimento em conjunto com o processo criogênico desenvolvido pela Brasimet e denominado comercialmente de processo CRYO®.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

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 50x25x1000mm. Os aços selecionados foram: D2, M2, um aço para trabalho a frio com 8% cuja composição química pode ser vista na Tabela 1:

Tabela 1. Composições químicas dos aços utilizados no estudo

Aço	%C	%Cr	%Mo	%V	%W	%Co	%Si	%Mn
D2	1,55	12,00	0,68	1,07	-	-	0,30	0,40
8%Cr	0,98	8,10	2,10	0,50	-	-	0,90	0,40
M2	0,90	4,20	4,50	1,85	6,40	-	-	-

Foram feitos 20 corpos de prova de cada tipo de aço, sendo que 10 corpos de prova foram tratados por processos convencionais e 10 corpos de prova foram tratados pelo Processo CRYO®. Optou-se por manter a mesma dureza em ambas as situações, de modo a isolar essa variável.

Tabela 2. Lista dos processos aplicados

AÇO	PROCESSO	CICLO APLICADO (Forno a vácuo VT12 Brasimet Com. e Ind. S/A)	DUREZA APÓS TRATAMENTO
D2	Convencional	Austenitização 1060°C - Resfriamento 5 bar Revenimentos para a dureza	Média: 60,2 HRC Desvio padrão: 0,16
	CRYO®	Austenitização 1060°C - Resfriamento 5 bar Processo Criogênico Revenimentos para a dureza	
Aço para trabalho frio com 8%Cr	Convencional	Austenitização 1030°C - Resfriamento 5 bar Revenimentos para a dureza	Média: 60,4 HRC Desvio padrão: 0,15
	CRYO®	Austenitização 1030°C - Resfriamento 5 bar Processo Criogênico Revenimentos para a dureza	
M2	Convencional	Austenitização 1200°C - Resfriamento 6 bar Revenimentos para a dureza	Média: 62,0 HRC Desvio padrão: 0,25
	CRYO®	Austenitização 1200°C - Resfriamento 6 bar Processo Criogênico Revenimentos para a dureza	

3 RESULTADOS

3.1 Testes de Impacto

Os testes foram conduzidos em máquina de impacto de 300 J, pertencente ao laboratório da FATEC em S.Paulo. Os resultados dos testes com e sem o processo CRYO® podem ser vistos nas Tabelas 3, 4 e 5:

Tabela 3. Ensaio de Impacto D2 (temperatura ambiente: 29°C)

D2 CONVENCIONAL – 60 HRC		D2 CRYO® – 60 HRC	
CP	Energia (J)	CP	Energia (J)
MÉDIA 10 CPs	35,8	MÉDIA 10 CPs	40,6
Desvio padrão	4,2	Desvio padrão	5,3

Tabela 4. Ensaio de Impacto M2 (temperatura ambiente: 29°C)

M2 CONVENCIONAL – 62 HRC		M2 CRYO® – 62 HRC	
CP	Energia (J)	CP	Energia (J)
MÉDIA	110,00	MÉDIA	232,96
Desvio padrão	13,7	Desvio padrão	24,1

Tabela 5. Ensaio de Impacto Aço TF 8%Cr (temperatura ambiente: 29°C)

Aço TF 8%C CONVENCIONAL – 60 HRC		Aço TF 8%C CRYO® – 60 HRC	
CP	Energia (J)	CP	Energia (J)
MÉDIA 10 CPs	110,88	MÉDIA 10 CPs	130,67
Desvio padrão	4,6	Desvio padrão	5,4

3.2 Fractografias



Figura 1. Fratografia de amostra de impacto em D2 tratada pelo processo convencional – 31,5 J



Figura 2. Fratografia de amostra de impacto em D2 tratada pelo processo Cryo® – 43,5 J



Figura 3. Fratografia de amostra de impacto em M2 tratada pelo processo convencional – 110,6 J



Figura 4. Fratografia de amostra de impacto em M2 tratada pelo processo Cryo® – 228,5 J

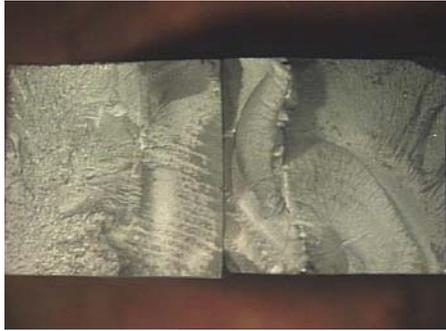


Figura 5. Fratografia de amostra de impacto em aço para trabalho a frio com 8%Cr tratada pelo processo convencional – 121,3 J



Figura 6. Fratografia de amostra de impacto em aço para trabalho a frio com 8%Cr tratada pelo processo Cryo® – 134,3 J

3.3 Micrografias Óticas (nital 3% - 500x)



Figura 7. Microestrutura da amostra em aço D2 tratada pelo processo convencional



Figura 8. Microestrutura da amostra em aço D2 tratada pelo processo Cryo®



Figura 9. Microestrutura da amostra em aço M2 tratada pelo processo convencional

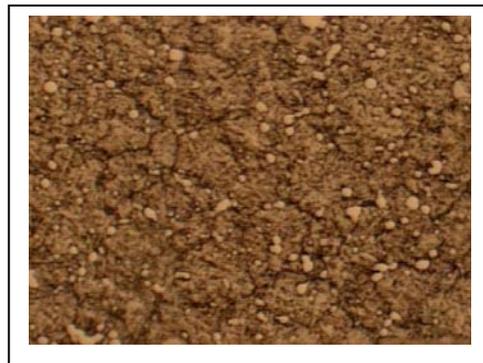


Figura 10. Microestrutura da amostra em aço M2 tratada pelo processo Cryo®



Figura 11. Microestrutura da amostra em aço para trabalho a frio com 8%Cr tratada pelo processo convencional

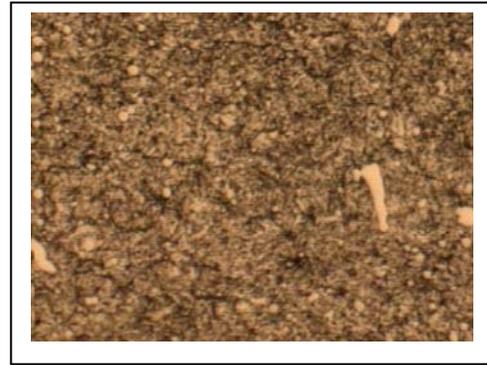


Figura 12. Microestrutura da amostra em aço para trabalho a frio com 8%Cr tratada pelo processo Cryo®

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

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que a tenacidade avaliada via ensaio de impacto sem entalhe para os aços ferramentas investigados e ciclos térmicos utilizados, foi sempre superior quando o tratamento criogênico CRYO® foi empregado. Os incrementos na tenacidade foram de aproximadamente 13% para o aço AISI D2, 18% para o aço com 8% de Cr, 112% para o aço rápido AISI M2 .. Os resultados positivos alcançados na tenacidade dos aços para trabalho a frio AISI D2 e 8%Cr e aço rápido AISI M2 com a utilização do processo CRYO®, corroboram com investigações disponíveis na literatura utilizando aços similares e tratamentos criogênicos específicos.

No caso do aço rápido AISI M2, o incremento na tenacidade após o processo CRYO® foi bastante significativo, i.e., superior a 100%. As causas desse aumento significativo assim como as melhorias encontradas com os outros aços investigados só poderão ser explicadas com a utilização de técnicas de análise microestrutural de resolução muito maior como microscopia eletrônica de transmissão em folhas finas ou difração de raios X e serão objeto de investigação complementar.

Em termos dos mecanismos atuantes durante os processos criogênicos dois tem tido respaldo na literatura.⁽⁴⁾ O primeiro mecanismo em ação é a transformação da austenita residual, desde que essa austenita não tenha se estabilizado antes por prolongada manutenção em temperatura ambiente após a têmpera.⁽⁷⁾ O processo criogênico transforma uma grande quantidade residual de austenita em martensita em temperaturas da ordem de 0 a -80°C , sendo que entre -80 e -196°C somente uma quantidade muito pequena de austenita obtém tal transformação.

O segundo mecanismo em ação é o condicionamento a baixas temperaturas da martensita. O resfriamento continuado da martensita abaixo da sua temperatura de formação (em nitrogênio líquido) e sua manutenção nessa temperatura por um tempo suficiente promove a formação de uma grande quantidade de carbonetos η muito finos durante a etapa subsequente que é o revenimento.⁽⁸⁾ Devido à contração volumétrica gerada pelas temperaturas criogênicas, o reticulado cristalino do aço tende a diminuir, assim a deformação cristalina da martensita na solução supersaturada tende a aumentar e esta fica num estado ainda mais

termodinamicamente instável. Como resultado a martensita se decompõem, precipitando átomos de carbono. Porém, devido à dificuldade de difusão de átomos de carbono em temperaturas tão baixas, a decomposição da martensita e a precipitação de carbonetos ultrafinos não vão acontecer por completo na temperatura de -196°C .⁽⁴⁾

A deformação do reticulado provavelmente converte o reticulado base tetragonal de corpo centrado da martensita em um reticulado de carboneto η ortorrômbico, através do reajuste de átomos de carbono ou substitucionais devido à contração ao longo das direções [110] e [110] da martensita e expansão ao longo da direção [001], sempre buscando sítios que alinhem os campos de deformação com a direção de origem da deformação promovida pelo resfriamento criogênico.⁽⁹⁾ É, portanto bem provável que essa conversão de reticulados dê origem a deformações adicionais anelásticas.⁽¹⁰⁾

A capacidade de difusão dos átomos de carbono aumenta conforme a temperatura retorna à temperatura ambiente, assim os átomos de carbono conseguem se mover a curta distância para segregarem-se nos sítios criados pelos “clusters” desenvolvidos na migração dos átomos de carbono a baixas temperaturas, formando carbonetos ultrafinos coerentes com diâmetro de 26 a 60 Å. Diferentemente dos processos convencionais de têmpera e revenimento (mesmo aqueles com etapas de subzero), o processo criogênico promove a formação preferencial de finos carbonetos η ao invés de carbonetos ϵ .⁽⁹⁾

O fato é que a precipitação de carbonetos nos processos criogênicos acontece pelo condicionamento da martensita primária e não do condicionamento da martensita com maior relação “c/a” transformada na primeira etapa do processo criogênico.

Finalmente, existe um consenso de que a maior contribuição na tenacidade dos aços ferramentas após os tratamentos criogênicos deve-se ao refino microestrutural e a precipitação mais abundante de carbonetos η durante o revenimento. Tal refinamento e precipitação alteram o campo de tensões e a direção das trincas, retardando o desenvolvimento delas e aumentando a tenacidade à fratura. A contribuição de eventuais diferenças ou diminuição no teor de austenita retida parece ser irrelevante, afinal com tratamentos sub-zeros tradicionais também consegue-se drástica redução no seu teor.

5 CONCLUSÕES

5.1) A tenacidade a fratura dos aços ferramentas similares a norma AISI D2, M2 e um aço para trabalho a frio com 8%Cr tratados termicamente a vácuo com e sem processo criogênico especial CRYO® foi avaliada em laboratório;

5.2) Os resultados de impacto em corpos de prova sem entalhe demonstraram que quando o processo criogênico CRYO® foi utilizado a tenacidade aumentou para todos os aços ferramentas investigados, corroborando com outros resultados da literatura utilizando aços similares e tratamentos criogênicos específicos;

5.3) O aumento na tenacidade alcançado com o processo criogênico CRYO® foi de aproximadamente 13%, 18% e 112% para os aços AISI D2, 8%Cr e AISI M2, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- 1 Silva, F.J. Influência do tratamento criogênico no desempenho de ferramentas de aço rápido, 1999. Dissertação Mestrado – Univ. Federal de Uberlândia, MG.
- 2 Stratton, P.F. Process Optimization for Deep Cold Treatment of Tool Steels. 1st International Conf. on HT and Surface Eng. of Tools and Dies, IFHTSE, 2005.
- 3 Collins, David N. Cryogenic Treatment of Tool Steels. Advanced Materials & Processes, págs. H23-H29, 1998.
- 4 Collins, David N. e Dormer, J. Deep Cryogenic treatment of a D2 cold work tool steel. Heat Treatment of Metals, págs. 40 a 42, 1996.
- 5 Yun, Dong / Xiaoping, Lin / Hongshen, Xiao. Deep Cryogenic Treatment of High-speed Steel and its Mechanism. Heat Treat. of Metals, págs.55-59, 1998.
- 6 Cohen, P. e Kamody, Dennis J. Cryogenics Goes Deeper. Cutting Tool Engineering and NU-Bit, Inc. Publication, 1998.
- 7 Roberts G.A e Cary. R.A. Tool Steels 4th Edition. Subzero Cooling of High Speed Steels, págs. 667 a 670. ASM International, 1992.
- 8 Yen, Pen-Li e Kamody, Dennis J. Formation of Fine Eta Carbides in Special Cryogenic and Tempering Process (Key to Improved Properties of Alloy Steels). Industrial Heating and NU-Bit, Inc Publication, 1997.
- 9 Meng, Fanju / Tagashira, Kohsuke / Azuma, Ryo / Sohma, Hideaki. Role of Eta-Carbide of Fe-12Cr-Mo-V-1,4C Tool Steel by cryogenic Treatment. ISIJ International, Vol.34, págs. 205-210, 1993.
- 10 Shewmon, P.G Diffusion in Solids. Anelasticity Due to Diffusion, págs.86 a 89. McGraw-Hill, 1963.