

**Os efeitos da taxa de resfriamento e tratamento criogênico sobre a tenacidade à
fratura do aço ferramenta ABNT D2**

Effects of cooling rate and cryogenic treatment on fracture toughness of tool steel ABNT D2

Mauro Francisco Castro Moscoso¹, Juliano Cantarelli Toniolo^{1*}

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS) -
Campus Caxias do Sul. Caxias do Sul, RS, Brasil.

*Orientador

Resumo

Aços utilizados em ferramentas de corte precisam ter uma ótima relação entre dureza e tenacidade para garantir um bom desempenho em trabalho. O controle sobre a morfologia e distribuição dos carbonetos, bem como as fases presentes após o tratamento térmico tem grande influência sobre a tenacidade. Como a taxa de resfriamento e a inserção do tratamento criogênico modificam estas características, o objetivo do trabalho é estudar a influência destes parâmetros sobre a microestrutura e a correspondente tenacidade. Avaliando o impacto destes fatores no ciclo de tratamento térmico do material ABNT D2 na faixa de dureza de 58-60 HRC. Para isso foram realizados ciclos de tratamentos térmicos em diferentes condições para análise das curvas de resfriamento, fases presentes e sua proporção através de difração de raios-X, tamanho e distribuição dos carbonetos através de metalografia e microscopia eletrônica de varredura (MEV), medição de dureza *Rockwell C* e ensaio de flexão para avaliação da tenacidade. Os resultados permitiram avaliar o impacto dos parâmetros sobre a tenacidade. O tratamento criogênico interferiu na quantidade de precipitados secundários na matriz do material estudado.

Palavras-chave: Aço ferramenta. Tenacidade à fratura. Tratamento criogênico. Tratamentos térmicos.

Abstract

Steels for cutting tools need to have a great relationship between hardness and toughness to ensure good performance in work. The morphology and carbides distribution control, and the create phases after heat treatment have a great influence on the toughness. How the cooling rate and cryogenic treatment addition modify these features, the goal is to study the parameters influence on the microstructure and toughness. Assessing the impact these factors over ABNT D2 hardening with a hardness around 58-60 HRC. For this, different heat treatment conditions was done, to analyze the cooling rate curves, phases and their ratio by X-rays diffraction, size and distribution of the carbides through metallographic and scanning electron microscope (SEM), Rockwell C hardness measurement and bending test for evaluation of toughness. The results will assess the impact of the parameters on the

toughness. The cryogenic treatment interferes on amount of secondary precipitates in the matrix of the studied material.

Keywords: Tool steel. Fracture toughness. Cryogenic treatment. Heat treatment.

Introdução

O setor metal-mecânico da região da serra gaúcha é um grande mercado consumidor de aço ferramenta, devido ao elevado número de indústrias metalúrgicas presentes na região. A necessidade crescente do aumento de produtividade motiva as empresas a investir cada vez mais no desenvolvimento de processos para suprir esta demanda.

Segundo (BLAZYNSKI, 1986) a fabricação de uma ferramenta deve combinar restrições financeiras e engenharia de projeto. Quando uma ferramenta falha não se deve levar em conta apenas o custo da ferramenta e sim todo o custo da interrupção de uma linha de produção. Desta forma a matéria-prima e suas propriedades devem ser bem selecionadas para o melhor rendimento da ferramenta.

Diversos estudos sobre a influência dos parâmetros de tratamento térmico nas propriedades metalúrgicas das ferramentas já foram realizados com o objetivo de aumentar a vida útil. A melhora da resistência mecânica, resistência ao desgaste e tenacidade é o foco principal dos pesquisadores (GILL et al., 2011). A temperatura de austenitização, tempo de encharque, resfriamento, tratamento criogênico e revenimento, são os parâmetros mais estudados (COLLINS, 1996).

O presente trabalho avaliou o efeito da taxa de resfriamento e do tratamento criogênico sobre a microestrutura e a correspondente tenacidade à fratura no aço ferramenta ABNT D2 temperado em forno a vácuo. Espera-se que exista uma condição de microestrutura que melhore a tenacidade à fratura, e como estes parâmetros têm influência sobre as características e morfologia das fases.

Materiais e Métodos

O material utilizado foi o ABNT D2 fornecido na condição de barra laminada descascada coalescida com dureza de 236 HB, diâmetro de 35 mm e comprimento de 1000

mm. Todos os corpos de prova foram retirados da mesma barra e a composição química do material em estudo pode ser visto na *Tabela 1*.

Tabela 1 - Composição Química das amostras.

ABNT	% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Cr	% Mo	% V
D2	1,54	0,32	0,023	0,001	0,35	11,67	0,75	0,93

No planejamento experimental foram definidos fatores constantes e fatores variáveis, como mostra a *Tabela 2*. Desta forma foi aplicado um projeto fatorial 2^2 com análise de variância, com três replicações de cada condição. Todos os tratamentos térmicos foram executados nos mesmos equipamentos a fim de restringir efeitos não esperados.

Tabela 2 - Fatores e níveis do projeto experimental.

Fatores variáveis	Níveis	Variação	Fatores constantes	Níveis	Valor
Pressão de resfriamento	2	1 ou 5 bar	Geometria dos CPs	1	-
Criogenia (-196°C)	2	sem/com	Temperatura de Austenitização	1	1030°C
			Tempo de encharque	1	30 minutos
			Temperatura de Revenimento	1	480°C
			Tempo de revenimento	1	120 minutos

O projeto de experimento foi elaborado a partir dos fatores variáveis para medição de três variáveis de resposta: dureza, porcentagem de austenita retida e tenacidade à fratura, as condições estudadas podem ser vistas na Tabela 3. Os ensaios para medir as variáveis de resposta foram aleatorizados para distribuição aleatória do erro experimental, desta forma permitindo a análise estatística por variância. O coeficiente de confiança definido para este estudo foi de 95%.

Tabela 3 - Projeto Experimental

Projeto	Pressão	Criogenia	Revenimento
Condição 1	1 bar ($\lambda=2,8$)	Sem	3 x 480°C
Condição 2	1 bar ($\lambda=2,8$)	Com	1 x 480°C
Condição 3	5 bar ($\lambda=1,8$)	Sem	3 x 480°C
Condição 4	5 bar ($\lambda=1,8$)	Com	1 x 480°C

Para análises foram produzidas amostras de todas as condições testadas em diferentes estágios do processo, a fim de verificar as mudanças causadas. Foram adotados procedimentos padrões de preparação das amostras para análise metalográfica. O ensaio de dureza foi realizado utilizando um durômetro de bancada na escala Rockwell C com 5 medições de dureza por amostra e as médias foram comparadas usando a análise de variância. Para determinação da quantidade de austenita retida presente nas amostras será aplicada a norma (ASTM E975-13, 2013), a análise qualitativa das fases presentes e carbonetos será realizada pela análise do espectro de difração de raios-X. A avaliação da tenacidade à fratura será realizada em corpos de prova com entalhe tipo Chevron pelo método de flexão em 3 pontos (DAS et al., 2010).

Resultados

Os resultados preliminares deste estudo mostram que a microestrutura sofre alteração quando o processo de criogenia é realizado, como mostra a Figura 1, utilizando o software ImageJ é possível verificar um aumento na quantidade de contornos de 3%. O comportamento da dureza nas condições testadas e os resultados da análise de variância são apresentados na Tabela 4. Onde é possível verificar que de forma isolada o fator criogenia tem influência significativa, e o fator taxa de resfriamento não tem influência significativa. No entanto, quando avaliado a interação entre os fatores é possível afirmar que a combinação destes causam modificação na dureza. A maior dureza obtida para as condições estudadas foi para taxa de resfriamento mais baixa ($\lambda=2,8$) com tratamento criogênico.

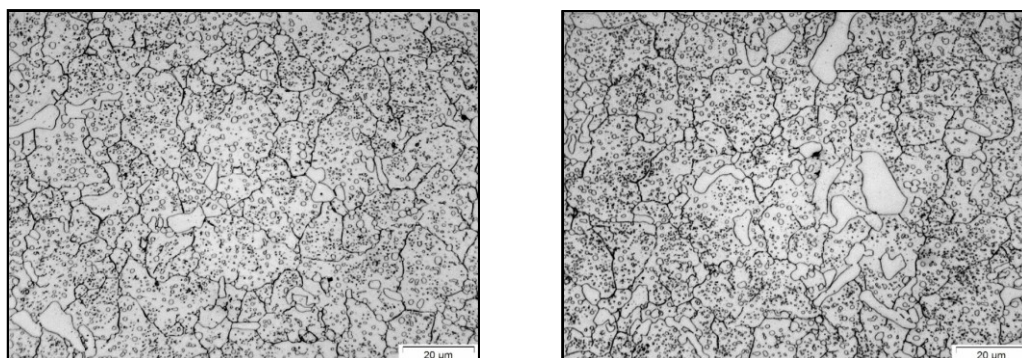


Figura 1 - Comparação entre microestruturas das amostras temperadas com pressão de resfriamento de 1 bar ($\lambda=2,8$), sem criogenia e com criogenia respectivamente, ambas sem revenimento, ataque Nital 3%.

Tabela 4 - Ciclos de tratamentos térmicos e durezas correspondentes.

Criogenia	Resfriamento	Replicações (HRC)		
		1	2	3
sem	1 Bar ($\lambda=2,8$)	58,4	58,4	57,9
com	1 Bar ($\lambda=2,8$)	58,8	59,2	59,3
sem	5 Bar ($\lambda=1,8$)	58,4	58,8	58,4
com	5 Bar ($\lambda=1,8$)	58,8	58,8	58,6

ANOVA						
Alfa	0,05					
Fonte de Variação	SS	DF	MS	F0	Ftab	P-Value
Criogenia	0,85	1	0,85	15,515	5,32	0,004
Taxa de Resfriamento	0,00	1	0,00	0,061	5,32	0,812
Interação	0,33	1	0,33	6,061	5,32	0,039
ERRO	0,44	8	0,06			
TOTAL	1,63	11				

Os resultados preliminares indicam que a criogenia de forma geral aumenta a dureza e a resistência ao desgaste, o que corrobora com estudos já realizados (COLLINS, 1996). No entanto, a combinação entre taxa de resfriamento e criogenia tem sido negligenciada pelos pesquisadores e deve ser levada em consideração.

Considerações finais

As análises e resultados restantes (difração de raios-X e tenacidade à fratura) irão permitir entender melhor como os fatores variáveis do projeto causam modificações nas propriedades estudadas, espera-se que exista uma condição que melhore a relação entre dureza e tenacidade à fratura.

Referências

ASTM E975-13. **Standard Practice for X-Ray Determination of Retained Austenite in Steel with Near Random Crystallographic Orientation.** West Conshohocken, PA: [s.n.]. Disponível em: <www.astm.org>.

BLAZYNSKI, T. Z. (ED.). **Design of Tools for Deformation Processes.** Dordrecht: Springer Netherlands, 1986.

COLLINS, D. N. Deep Cryogenic Treatment of Tool Steels : a Review. p. 40–42, 1996.

DAS, D. et al. Influence of sub-zero treatments on fracture toughness of AISI D2 steel. **Materials Science and Engineering: A**, v. 528, n. 2, p. 589–603, 2010.

GILL, S. S. et al. Metallurgical principles of cryogenically treated tool steels—a review on the current state of science. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 54, n. 1–4, p. 59–82, 17 abr. 2011.