

## INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO NO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO

**Flávio J. da Silva**

**Sinésio D. Franco**

**Álison R. Machado**

Universidade Federal de Uberlândia

Departamento de Engenharia Mecânica - LEPU

CEP 38.400-902, Uberlândia - MG- Brasil

**Antônio M. de S. Júnior**

FIAT Automóveis Br 381 Km 429

CEP 32.501-970, Betim – MG - Brasil

**Resumo.** Ferramentas de aço rápido M2 após tratamento térmico convencional foram submetidas a um tratamento criogênico, que consiste na exposição da ferramenta em uma atmosfera de nitrogênio gasoso em temperaturas que variam de  $-184^{\circ}\text{C}$  a  $-190^{\circ}\text{C}$  durante um período que varia de 20 a 60 horas. Estudos feitos em aços tratados por criogenia mostram uma redução percentual de austenita retida e precipitação de finos carbonetos. Alguns pesquisadores concluem que este tratamento pode aumentar a vida da ferramenta. Existem controvérsias e dúvidas sobre o assunto. A necessidade de maiores esclarecimentos, principalmente sobre os efeitos e mecanismos envolvidos, motivou a realização deste trabalho. Foram feitos testes de usinabilidade (faceamento rápido) em ferramentas de aço rápido M2 para verificar a influência do tratamento. Em cada teste foi comparado o desempenho de uma ferramenta de corte não tratada com uma outra equivalente tratada criogenicamente. Foram analisadas a microestrutura, dureza e microdureza antes e depois do tratamento e realizados testes específicos de resistência ao desgaste abrasivo. Todos com o objetivo de comparar propriedades. Apesar dos testes de dureza e desgaste abrasivo não apresentarem diferenças significativas, as ferramentas tratadas criogenicamente superaram as não tratadas nos ensaios de faceamento rápido.

**Palavras-chave:** Aço rápido, tratamento criogênico, desgaste abrasivo, usinabilidade

### 1. INTRODUÇÃO

O desempenho e as características dos materiais de ferramentas de corte tiveram um gradual progresso desde o aço carbono e aço rápido (HSS) ao metal duro, cermets, cerâmicas, e ultraduros (CBN, PCBN, PCD). O contínuo desenvolvimento de materiais de ferramentas e a melhora das propriedades dos já existentes são extremamente importantes, devido aos avanços no desenvolvimento de novos materiais de alta resistência, o que na maioria das vezes implica em baixa usinabilidade. Assim ferramentas de corte cada vez mais resistentes e

que apresentem bom desempenho quanto a vida, garantindo qualidade dos produtos usinados são cada vez mais requeridas.

Apesar da existência de uma grande variedade de materiais ferramentas que possuem propriedades excelentes, o aço rápido ainda sobrevive, mesmo depois de um século de sua descoberta. O uso de ferramentas de aço rápido na indústria se constitui basicamente de brocas, fresas, cocinetes, brochas, matrizes e em algumas ferramentas de barras para aplicações em torneamento de peças de diâmetros reduzidos, cuja velocidade de corte conseguida é inferior à velocidade econômica de corte dos materiais de ferramentas mais resistentes (Machado e da Silva, 1998).

Desde o seu desenvolvimento em 1898 por Taylor e White, o aço rápido teve progressivo avanço nas suas propriedades, principalmente devido ao domínio e refinamento das técnicas de tratamento térmico e à perfeita combinação dos elementos de liga conferindo a este material excelentes propriedades de dureza e resistência ao desgaste, combinada com boa tenacidade.

A aplicação de temperaturas sub-zero em ferramentas de aço rápido para aumento da resistência ao desgaste durante os últimos 50 anos, mostrou-se eficiente no aumento da vida das ferramentas de corte. Apesar dos resultados, dúvidas e questionamentos sobre os efeitos e mecanismos envolvidos ainda são bastante freqüentes. A carência de estudos detalhados e a falta de conhecimento do assunto são responsáveis pelo aparente desinteresse e o não uso desta aplicação como uma prática comum.

A necessidade de maiores esclarecimentos do efeito da aplicação desta técnica sobre as propriedades das ferramentas de aço rápido foi a motivação para realização deste trabalho.

Ferramentas tratadas e não tratadas criogenicamente foram caracterizadas quanto à microdureza, dureza, microestrutura e resistência ao desgaste abrasivo. Depois utilizando-se a técnica do faceamento rápido (Ferraresi, 1972) estas ferramentas foram testadas na usinagem.

## **1.1 Aplicações e Efeitos dos tratamentos criogênicos**

A literatura de um modo geral diz que a transformação da austenita retida e a precipitação de carbonetos são os dois principais fatores responsáveis pela melhora do desempenho das ferramentas tratadas criogenicamente. A seguir, destacam-se em ordem cronológica as principais publicações encontradas sobre o assunto.

a) Testes realizados em 150 amostras de 5 tipos de material mostraram um aumento de 4 a 10 vezes na resistência da ferramenta de aço. Pouca ou quase nenhuma mudança foi observada na dureza. Os resultados foram atribuídos a transformação da austenita retida em martensita e adicional formação de microcarbonetos na matriz martensítica (Barron, 1973).

c) Segundo Sweeney (1986) a remoção da energia cinética dos átomos durante o tratamento criogênico aumenta a estabilidade do material

d) Resultados benéficos do tratamento também foram encontrados em ligas de cobre (eletrodos de solda), metal duro e alumínio para aplicações aeroespaciais. Foi sugerido que outros fatores desconhecidos além da transformação da austenita retida, estão contribuindo no mecanismo envolvido (Reasbeck, 1989).

g) Em outra aplicação entre oito ligas ferrosas tratadas criogenicamente apenas uma delas, a ferramentas de aço W1, mostrou significativo aumento na resistência ao desgaste abrasivo. A dureza de três ligas foi aumentada como resultado do tratamento criogênico (Thompson, 1992).

h) Paulin (1993) sugere que a precipitação de carbonetos é o fator chave do tratamento criogênico, reduzindo a tensão interna da martensita, o que minimiza a suscetibilidade de microtrincas. A maior e melhor distribuição de carbonetos finos e muito duros provenientes do tratamento criogênico aumenta a resistência ao desgaste.

b) Tipicamente uma ferramenta de aço pode ter entre 20 e 30% de austenita retida depois de submetida a tratamentos de têmpera e revenido convencionais. No tratamento criogênico a transformação da austenita retida em martensita é quase total. A dureza pode mudar dependendo da temperatura criogênica ou do tempo e taxa de resfriamento a temperaturas criogênicas (Moore e Collins, 1993).

f) A resistência ao desgaste de aços para manuais foi aumentada pelo tratamento criogênico. As razões para esta melhora pode ser explicada pela favorável distribuição de carbonetos e adequada recuperação da martensita, em lugar da remoção da austenita retida (Meng e Sohma, 1994).

i) O tratamento criogênico promove a precipitação de finos carbonetos  $\epsilon$  ( $\eta$ ) durante a fase de aquecimento. O mecanismo de formação deste carbonetos é suposto ser o seguinte: ferro ou átomos substitucionais se expandem e contraem, e átomos de carbono se movimentam rapidamente devido a deformação da rede, como resultado do tratamento criogênico. O aumento da resistência ao desgaste é devido a precipitação dos carbonetos, que aumentam a resistência e a dureza da matriz martensítica, em lugar da remoção de austenita retida (Meng et alii, 1994).

e) No Tratamento criogênico à  $-196^\circ\text{C}$ , a austenita retida é transformada em martensita, enquanto no aquecimento após ao ciclo de resfriamento a martensita é decomposta em carbonetos ultrafinos precipitados. O último é o fator de contribuição chave para o aumento da dureza a quente, resistência e dureza de ferramentas de aço rápido. O tratamento criogênico dobra o tempo de vida de ferramentas de aço rápido, segundo Yun et alii (1998).

Pode-se ver que muitas teorias são colocadas como explicação das melhorias do desempenho do material submetido ao tratamento criogênico e alguns resultados contraditórios na melhoria da vida da ferramenta têm sido obtidos em pesquisas com ferramentas tratadas criogenicamente.

## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Neste trabalho foram usadas ferramentas aço rápido M2 com dimensões 10mm X 10mm x 102mm, com 12% de cobalto disponíveis no mercado. Todas as ferramentas eram do mesmo lote de fabricação para evitar possíveis influências na diferença de propriedades devido ao processo de fabricação.

Parte das ferramentas foi submetida ao tratamento criogênico, que consistiu de um ciclo de resfriamento a temperaturas que variaram de  $-190^\circ\text{C}$  e três ciclos de aquecimento (revenimentos) à temperaturas médias de  $+190^\circ\text{C}$ , resultando um total de 53 horas de tratamento.

A medição da dureza Rc foi feita em três amostras tratadas e três amostras não tratadas em um mínimo de quatro testes para cada amostra. A Microdureza Vickers HV0.1 também foi feita em uma amostra tratada em comparação com outra não tratada, em um mínimo de dez testes para obtenção da média em microdurômetro Wolpert.

Determinou-se também o percentual de austenita retida por meio de difração de raios X utilizando-se a norma ASTM E 975-84 para as amostras não tratadas e tratadas criogenicamente. Na determinação da austenita retida levou-se em consideração o teor de carbonetos não dissolvidos durante a austenitização.

## 2.1 Teste de faceamento de Brandsma (1936)

O método de faceamento rápido de Brandsma é um ensaio de curta duração baseado na vida da ferramenta, o qual consiste em facear um disco com rotação e avanço constantes, do centro para periferia (Figura 1). Inicia-se com uma velocidade pequena  $v_{c1}$ , correspondente ao diâmetro do furo central do disco, e chega-se a uma velocidade bem maior, definida pelo aparecimento da queima da aresta cortante  $v_{c2}$  (Ferraresi, 1977).

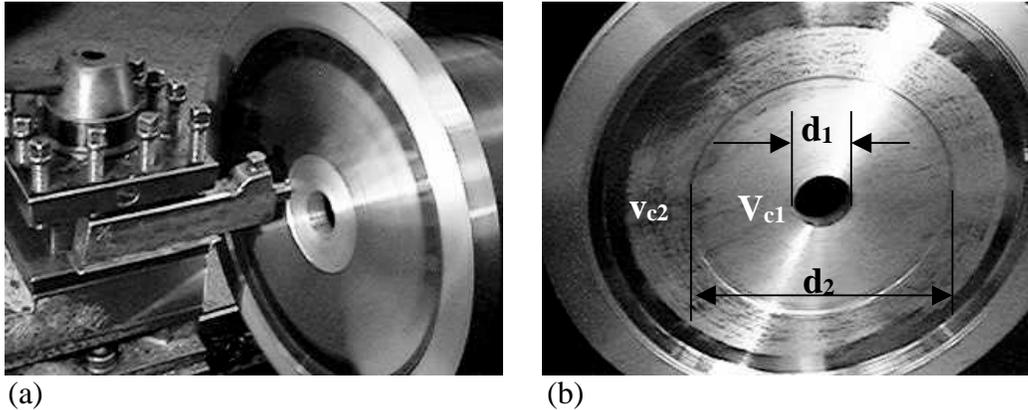


Figura 1- Detalhes do teste de Faceamento Rápido.

Pode-se tirar as seguintes relações da Fig.1 (b);

$$v_{c1} = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{1000}, \quad v_{c2} = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n}{1000}$$

onde :

$v_{c1}$  = velocidade inicial de ensaio (m/min);

$v_{c2}$  = velocidade final de ensaio, correspondente à destruição da aresta cortante (m/min);

$d_1$  e  $d_2$  = diâmetros da peça, correspondentes ao início e fim da operação (mm);

$n$  = rotação de ensaio (rpm)

Para testar a usinabilidade dos materiais ou o desempenho de ferramentas de corte por este método, pode-se usar a velocidade  $v_{c2}$  ou o diâmetro final  $d_2$  como parâmetro comparativo. A ferramenta (ou material) que apresentar maior  $v_{c2}$  (ou  $d_2$ ) possui maior desempenho ou usinabilidade.

Como grandeza comparativa deste método, utilizou-se o diâmetro usinado pela ferramenta até a perda de corte. O critério adotado para a perda de corte foi a destruição total da ferramenta em conjunto com a visível mudança do acabamento superficial.

Os testes foram realizados em um torno IMOR MAX-II-520, e o disco usado foi de aço ABNT 1020 de espessura de 25,4mm e diâmetro de 300 mm. Estas dimensões são suficientes para garantir a destruição de aresta de ferramenta para as condições de corte selecionadas nos ensaios. As condições de usinagem foram :

- geometria da ferramenta :  $\chi_r$ : 75°;  $\epsilon_r$ : 90°;  $\lambda_s$ : 0°;  $\gamma_o$ : 6° e  $\alpha_o$ : 10°
- profundidade de corte : 1 mm
- Avanço : 0,069 ; 0,109 e 0,157 mm/volta
- Rotação : 140; 180 e 224 RPM

Na primeira etapa dos testes o avanço foi fixado em 0,069mm/volta e variou-se a rotação em 140, 180 e 224 rpm. Na segunda etapa a rotação foi fixada em 140 rpm e o avanço variado em 0,069, 0,109 e 0,157 mm/volta. Ao final de cada teste, o disco era totalmente faceado com ferramentas específicas, e ao início de cada teste uma nova aresta de ferramentas distintas era usada.

## 2.2 Teste de desgaste abrasivo a dois corpos

O desgaste abrasivo é definido como sendo a remoção de material sólido de uma superfície pela ação do deslizamento unidirecional de partículas de outro material. (Moore, 1974). O processo de desgaste abrasivo é tradicionalmente dividido em dois grupos: desgaste abrasivo a dois corpos e desgaste abrasivo a três corpos. O primeiro ocorre quando uma superfície rugosa ou partículas abrasivas fixas deslizam em uma superfície removendo material, e o segundo, quando as partículas abrasivas estão soltas e podem mover-se e rotacionar-se enquanto deslizam sobre a superfície a ser desgastada (Misra e Finnie, 1981).

Durante o contato do abrasivo com a superfície podem ocorrer três processos: o microsulcamento, microcorte e microlascamento. O primeiro corresponde a formação de ranhuras impressas plasticamente, o qual não envolve em primeiro instante a remoção de material, enquanto os dois seguintes correspondem a separação de partículas de metal em forma de microcavacos. (Moore, 1974 )

Foram usadas amostras de aço rápido M2 de 4.9 mm de diâmetro por 20 mm de comprimento sem tratamento e com tratamento criogênico. As amostras foram retiradas de uma ferramenta de barra de aço rápido por eletroerosão e posteriormente torneadas com uma ferramenta de cerâmica para correção do diâmetro.

Os testes de abrasão a dois corpos foram realizados em um abrasômetro múltiplo pino-sobre-disco projetado e construído no LTM/UFU (Figura 2). O abrasômetro é composto de uma célula de carga e um microcomputador, os quais permitem a aquisição e o tratamento estatístico das forças tangenciais. Ao final de cada teste, pode-se obter a força tangencial média.

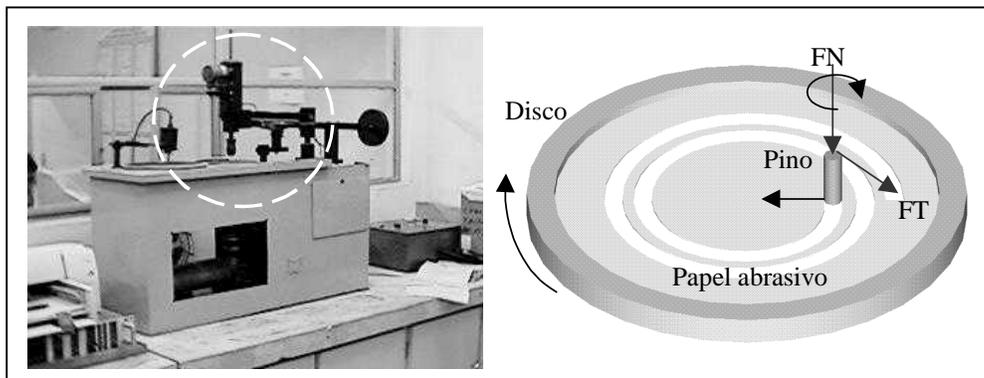


Figura 2 – abrasômetro e detalhe do teste

No abrasômetro a dois corpos, ao mesmo tempo em que o disco gira, o pino avança, descrevendo sobre o prato uma trajetória de uma espiral de Arquimedes, para garantir que o pino nunca passe no mesmo ponto mais de uma vez, tendo-se assim sempre a presença de abrasivos novos no contato superficial do pino com o disco. O comprimento de amostragem foi de 3220 mm . O sentido de rotação do pino e do disco no sentido horário foram mantidos constante em 25 rpm e a velocidade linear média do pino sobre o disco foi de 110 m/s.

Na primeira etapa dos testes usou-se o papel de abrasivo de alumina ( $Al_2O_3$  Norton T223) com granulometria de 600 mesh, e na segunda etapa variou-se apenas a granulometria do papel abrasivo para 80 mesh. A carga normal utilizada em todos os testes foi de 10 N.

Foram realizados no mínimo 5 pré-testes com o objetivo de se estabilizar a taxa de desgaste. Após esta estabilização foram realizados no mínimo cinco ensaios para cada amostra e condição. A quantificação da perda de massa foi feita em uma balança analítica com resolução de  $10^{-4}$  gramas, e a taxa de desgaste foi determinada pela divisão da perda de massa pela área da seção do pino e pelo comprimento de amostragem.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de difratometria de raios X mostraram uma diferença de austenita retida entre as amostras tratada e não tratada de cerca de 25 %, sendo a fração para a amostra tratada próximo de zero

Este resultado já era esperado, visto que os tratamentos térmicos convencionais não transformam toda austenita em martensita, justamente por não atingir a temperatura de fim de formação da martensita, que se encontra abaixo da temperatura ambiente. O tratamento criogênico chega a temperaturas bem abaixo da requerida para o fim de transformação martensítica o que diminui consideravelmente o teor de austenita retida.

A Tabela 1 apresenta os resultados de dureza para amostras tratadas e não tratadas criogenicamente. Observa-se que praticamente não houve mudança na dureza das amostras, portanto, o tratamento não teve influência neste propriedade.

Tabela 1-Resultado de dureza das ferramentas

Amostra Tratada	Dureza RC	Amostra Não Tratada	Dureza RC
A	65,50	D	66,00
B	65,25	E	65,00
C	65,75	F	65,50
Média	<b>65,50</b>	Média	<b>65,50</b>
Desvio padrão	0,25	Desvio padrão	0,50

Em relação a microdureza também não foram observadas diferenças entre as duas amostras. A amostra tratada apresentou valores médios de 820 HV0,1 enquanto que a não tratada 819 HV0,1. Barron (1973) não encontrou mudanças significativas após tratamento criogênico para o aço rápido M2, o que coincide com os resultados aqui apresentados.

A figura 3 apresenta os resultados encontrados no teste de usinabilidade de faceamento rápido. Nota-se que tanto o aumento de rotação como do avanço reduzem a vida da ferramenta, independentemente se ela sofreu o tratamento criogênico, ou não. Os resultados mostrados na Figura 3(a) indicam um aumento no diâmetro usinado para as ferramentas tratadas por criogenia de 12,5% 44%, e 21%, dependendo da rotação utilizada. A maior diferença percentual foi a 180 rpm com  $f=0,069$  mm/volta. Em todas as condições exceto para aquela onde foi usada uma rotação de 140 rpm e avanço de 0,157 mm/ volta a ferramenta tratada teve um desempenho maior que o da não tratada.

Este comportamento sugere que dependendo das condições de usinagem impostas, a diferença entre o desempenho de uma ferramenta tratada em relação a outra sem o tratamento pode mudar consideravelmente chegando a até eliminar esta diferença.

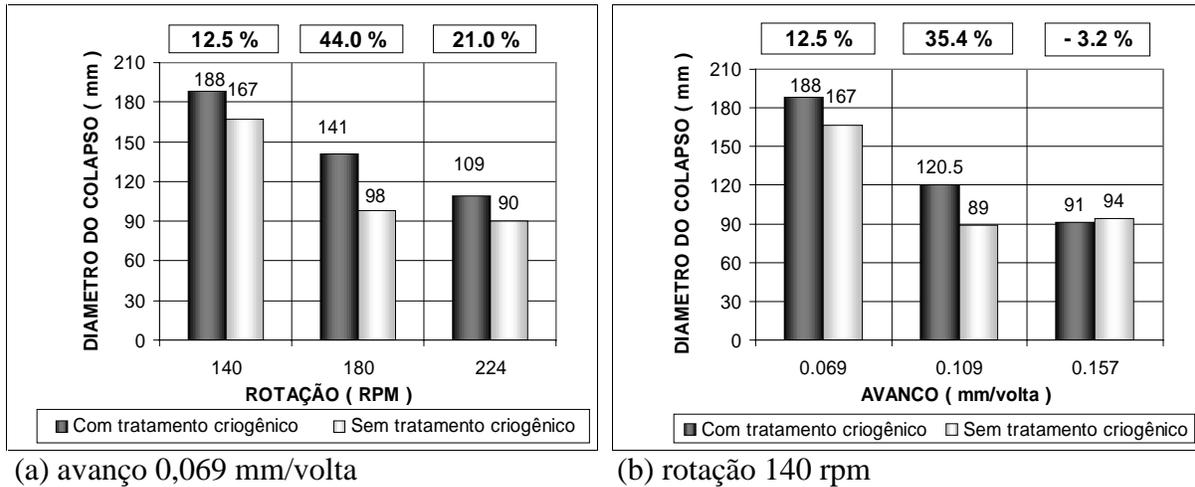


Figura 3 – Gráficos de resultado do teste de faceamento

A transformação quase total da austenita retida em martensita, uma estrutura mais dura, possivelmente foi um dos fatores que influenciaram na diferença de performance entre as ferramentas tratadas e não tratadas. Outro fator que pode estar presente é a decomposição da nova martensita formada e a precipitação de carbonetos ultrafinos durante o ciclo de revenimento subsequente ao ciclo de resfriamento.(Yun, et alli, 1998). Estes carbonetos promovem uma distribuição mais uniforme das deformações e uma redução na concentração de tensões na superfície entre a matriz e os carbonetos. Estes mecanismos garantiram o melhor desempenho das ferramentas tratadas criogenicamente em praticamente todas as condições testadas.

A Figura 4 apresenta os resultados de taxa de desgaste obtidos em ensaio de desgaste abrasivo a dois corpos utilizando-se lixa 600 e 80 mesh, com os respectivos desvios padrões. Com o aumento da granulometria do abrasivo nota-se um aumento da taxa de desgaste, como era de se esperar, pois nesse caso o diâmetro dos abrasivos passou de 15  $\mu\text{m}$  para 180  $\mu\text{m}$ .

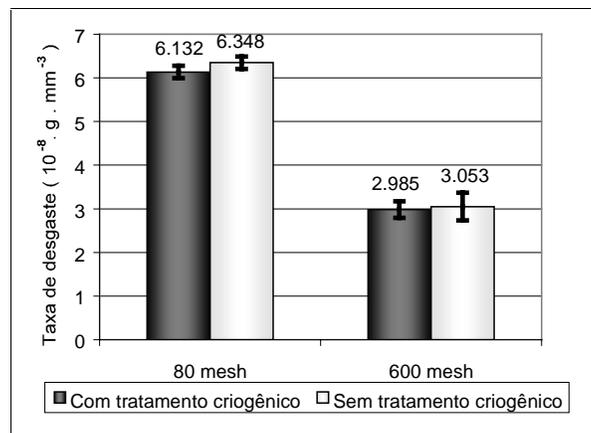


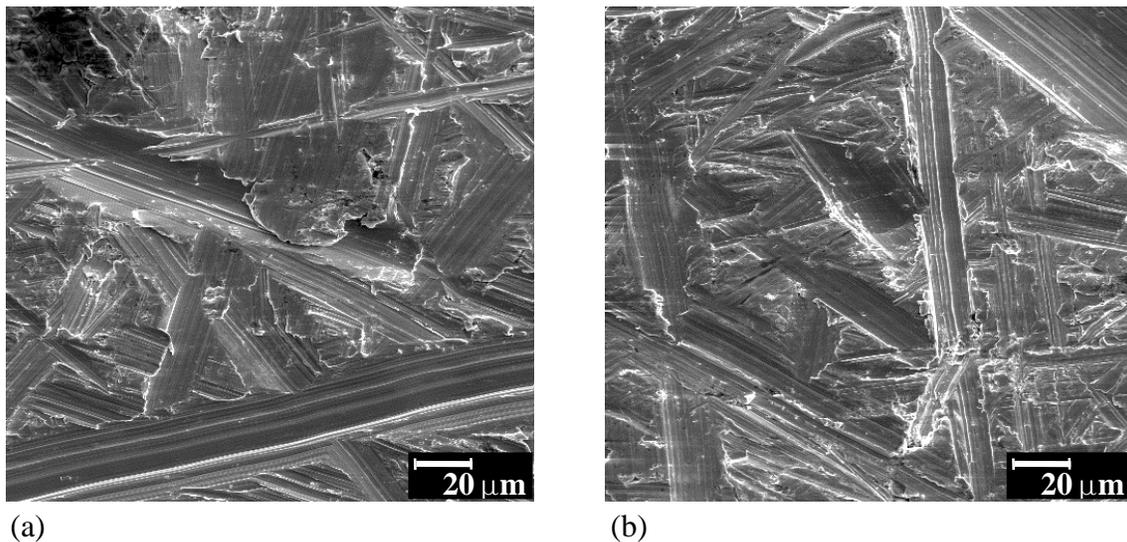
Figura 4 – Taxa de desgaste abrasivo a dois corpos com lixa 600 e 80 mesh de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  para as amostras tratada e não tratada.

A análise estatística de variância dos resultados para os ensaios com lixa 600 mesh, da amostra tratada e da não tratada, não mostrou nenhuma diferença entre as médias, com 95% de confiabilidade. Para os ensaios com lixa 80 mesh, ou seja, maior diâmetro de abrasivo, essa mesma análise mostra uma diferença entre as médias, tendo a amostra tratada

criogenicamente uma menor taxa de desgaste. Todavia, essa diferença nas taxas de desgaste é de apenas 3,3%, não sendo, portanto uma diferença significativa.

A transformação de cerca de 25% austenita retida em martensita através do tratamento criogênico não levou a alteração significativa na taxa de desgaste abrasivo a dois corpos nas condições testadas. Resultados da literatura mostram, que, dependendo dos parâmetros de teste, tais como: força normal de teste, diâmetro médio e tipo do abrasivo, quantidade e forma dos carbonetos, dentre outros, o aumento do teor de austenita retida pode levar, tanto a uma redução quanto a um aumento da taxa de desgaste abrasivo em ligas ferrosas (Zum Gahr, 1987). Esse comportamento está associado, basicamente, à capacidade da austenita endurecer-se durante a deformação plástica, tanto por encruamento quanto por transformação martensítica.

As superfícies de desgaste das amostras tratadas e não tratadas são apresentadas na Figura 5. Nota-se que os micromecanismos predominantes são o microsulcamento e o microcorte. Nenhuma diferença significativa pôde ser notada nessas superfícies com relação à proporção desses micromecanismos, sugerindo, portanto, um forte encruamento ou até mesmo a transformação da austenita em martensita na amostra não tratada, como verificado por Zum Gahr (1987) em amostras ensaiadas com abrasivos de SiC em diversos materiais ferrosos.



**Figura 5** – Superfícies de desgaste típicas das amostras, (a) tratada e (b) não tratada, após ensaios de desgaste abrasivo a dois corpos com lixa de  $Al_2O_3$ , 80 mesh.

Os testes de dureza e resistência ao desgaste abrasivo não mostraram resultados que pudessem justificar o melhor desempenho das ferramentas tratadas criogenicamente nos testes de usinabilidade. Durante a usinagem os fenômenos são muito específicos, com altas temperaturas na interface cavaco ferramenta, grandes tensões e interações entre o material da peça e a ferramenta. Nestas condições e para as ferramentas utilizadas (aço rápido), mecanismos de abrasão e principalmente attrition são os mais importantes (Trent, 1991). Provavelmente o tratamento criogênico nas ferramentas, através da transformação da austenita retida e precipitação de carbonetos, garante maior resistência perante a ação de tais mecanismo.

## 4. CONCLUSÕES

- A dureza e a microdureza das amostras não foram afetadas significativamente pelo tratamento criogênico.
- O tratamento criogênico transformou em martensita praticamente 25% da austenita retida observada nas amostras não tratadas, restando uma fração próximo de zero para a amostra tratada criogenicamente.
- Testes de faceamento rápido mostraram uma diferença significativa do desempenho entre as ferramentas tratadas e não tratadas, chegando a um aumento de até 44% no diâmetro usinado, favorável à ferramenta tratada, para uma determinada condição de usinagem
- A diferença de percentual de austenita entre as amostras após tratamento criogênico não alterou a taxa de desgaste abrasivo a dois corpos nas condições testadas. Isto se deve possivelmente à capacidade da austenita endurecer-se durante a deformação plástica, tanto por encruamento quanto por transformação martensítica.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica e ao Departamento de Ciências Físicas da Universidade Federal de Uberlândia pela disponibilização dos laboratórios, à Cryo Quality Ltda. através do Químico Industrial Edson Monteiro pela realização do tratamento criogênico, à Capes pelo suporte financeiro por meio de bolsas de estudo e à Fiat Automóveis pela parceria na realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- Barron, F. R., 1973, Yes, Cryogenic Treatments Can Save You Money! Here's Why, *Tapi*, vol 57, num 5, pp.35-40.
- Ferraresi, D., 1977, *Fundamentos da Usinagem dos Metais*, Editora Edgard Blucher Ltda, 751pp.
- Machado, A. R. e da Silva, M. B., 1998, *Usinagem dos Metais*, apostila, 3º versão, Editora da Universidade Federal de Uberlândia.
- Meng, F. K. T. e Sohma H., 1994, Wear Resistance and Microstructure of Cryogenic Treated Fe-1,4Cr-1C Bearing Steel, *Scripta Metallurgica et Materialia*, Vol 31, Num 7, pp.865-868
- Meng, F., Taggashira, K., Azuma, R. e Sohma, H., 1994, Role of Eta-carbide Precipitations in the Wear Resistance Improvements of Fe-12Cr-Mo-V-1,4C Tool Steel by Cryogenic Treatment, *ISIJ International*, vol 34, Num 2, pp.205-210.
- Misra, A. and Finnie, I., 1981, Some Observation on Two-Body Abrasive Wear, *Wear*, vol. 68, pp. 41-56.
- Moore, K. e Collins D. N., 1993, Cryogenic treatment of three heat-treated tool steels, *Key Engineering Materials*, Vol. 86-87, pp. 4754.
- Moore, M. A., 1974, A Review of Two –Body Abrasive Wear, *Wear*, vol. 27, pp. 1-17.
- Paulin, P., 1993, Frozen Gears, *Gear Technology*, pp. 26-28.
- Reasbeck, R. B., 1989, Improved Tool Life by the Cryotough Treatment, *Metallurgia*, April, pp.178-179.
- Sweeney, Jr. T. P., 1986, Deep cryogenics: the cold debate, *Heat Treating*, February, pp. 28-32

- Thompson, C. B. e Brown, K. A., 1992, Does liquid nitrogen immersion improve wear resistance of steel and cast iron?, Tappi Journal, March, pp.173-179.
- Trent, E.M., 1991, Metal Cutting; 3<sup>rd</sup> Edition, Butterworths – Heinemann Ltd, 273 pp., ISBN 0-7506-1068-9
- Yun, D., Xiaoping, L.e Hongshen, X., 1998, Deep Cryogenic Treatment of High-speed Steel and its Mechanism, Heat Treatment of Metals, March, pp. 55-59.
- Zum Gahr, K.H., 1987, Microstructure and Wear of Materials, Amsterdam, Elsevier, Sci. Publish Inc., 590pp.

## INFLUENCE OF CRYOGENIC TREATMENT ON THE PERFORMANCE OF HSS TOOLS

**Abstract:** *M2 High Speed Steel tools after conventional heat treatment were submitted to deep cryogenic treatment. It consists in submit the tools to evaporating liquid nitrogen atmosphere, at temperatures of the order of -190 °C during a period from 20 to 60 hours. Studies in cryogenic treated steels have shown a decrease in the amount of residual austenite and precipitation of ultrafine carbides. Some researchers have concluded that this treatment can increase tool life. There are some controversies and doubts about this subject, however. This has encouraged this work. Machinability tests in M2 HSS tools to verify the cryogenic treatment influence were carried out. In each test the performance of the conventional heat-treated tool was compared to the cryogenic treated one. Microstructure, hardness and microhardness before and after cryogenic treatment were determined and analyzed. Abrasive wear resistance at the tools in specific tests were also studied. All of them ad the objective to compare properties. Although hardness and abrasive wear tests did not showed conspicuous differences, the cryogenic treated tools out performed the non treated ones in machinability tests.*

**Key Words :** *High Speed Steels Tools, Cryogenic treatment, abrasive wear, Machinability.*