

DESEMPENHO DE BROCAS HELICOIDAIS DE AÇO-RÁPIDO TRATADAS POR CRIOGENIA NA FURAÇÃO DO AÇO ABNT 8640

Flávio J. da Silva, MSc

Álison R. Machado, PhD

Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Mecânica – LEPU, CEP 38.400-089, Uberlândia – MG - Brasil. E-mail: fjsilva@mecanica.ufu.br

Antônio M. de S. Júnior, Engenheiro Mecânico

FIAT Automóveis Br 381 Km 429, CEP 32.501-970, Betim - MG. - Brasil.

Resumo

Nos processos de usinagem, qualquer tentativa de aumentar a produção ou diminuir custos é importante. Neste sentido, as ferramentas de corte são os maiores alvos dos pesquisadores. Neste trabalho, uma técnica de tratamento térmico, denominada criogênico, foi aplicada à brocas de aço-rápido e suas performances investigadas. A finalidade do tratamento criogênico é aumentar a vida da ferramenta pelo aumento da resistência ao desgaste. Foram feitos testes de usinabilidade e análises microestruturais de brocas helicoidais de aço-rápido M2 submetidas a este tratamento e de brocas convencionais para comparação. Os resultados mostraram vantagens (aumento na vida das ferramentas tratadas criogenicamente em relação as não tratadas de 60 a 340%) indicando que esta técnica deve ser considerada na aplicação dessas ferramentas.

Palavras-chave: Aço rápido, Tratamento criogênico, Vida de ferramenta, Furação.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de usinagem capaz de gerar maior produtividade e qualidade com menor custo é cada vez mais requerida nos campos da manufatura. As ferramentas de corte, neste sentido, constituem objeto de estudo na busca para obter materiais cada vez mais resistentes e, assim, garantir maior produtividade.

O tratamento criogênico surge neste contexto como uma alternativa para o aumento da produtividade e redução dos custos, através da possibilidade do aumento da resistência e da vida da ferramenta. Dentre os processos de têmpera criogênica, um deles consiste de um tratamento térmico a seco no qual a ferramenta é resfriada suavemente a -196°C e mantida nesta temperatura de 20 a 60 horas. Após este período, a temperatura é elevada a $+196^{\circ}\text{C}$ e suavemente resfriada até a temperatura ambiente. Mudanças microestruturais no material da ferramenta são promovidas com este tratamento. A transformação da austenita retida, normalmente presente nos aços-ferramentas, em martensita e a precipitação de microcarbonetos são tidos como os principais mecanismos responsáveis pelo aumento da resistência das ferramentas tratadas criogenicamente, sendo o último considerado o de maior influência para o ganho de resistência ao desgaste (maior vida) pelas ferramentas de corte de aço-rápido.

As principais propriedades afetadas pelo tratamento criogênico apontadas na literatura são estabilidade dimensional, dureza, tenacidade e resistência ao desgaste. A mudança ou não de algumas destas propriedades irá depender das condições do material antes de ser submetido ao tratamento criogênico, isto é, sua composição química e tratamentos térmicos sofridos anteriormente. Normalmente, dois mecanismos irão proporcionar as seguintes alterações (Collins, 1996) :

1- transformação da austenita retida;

- ✓ aumento na dureza (quanto maior a quantidade de austenita transformada, maior o aumento na dureza);
- ✓ redução na tenacidade;
- ✓ um modesto aumento ou efeito desprezível na resistência ao desgaste;
- ✓ estabilidade dimensional.

2- Precipitação de finos carbonetos;

- ✓ aumento na resistência ao desgaste;
- ✓ aumento na tenacidade;
- ✓ pouco aumento ou efeito desprezível na dureza.

Apesar da dureza poder não ser afetada pela precipitação dos finos carbonetos, Yun et al (1998) reporta que a resistência mecânica e a dureza a quente são consideravelmente aumentadas.

Nos tratamentos criogênicos as temperaturas de austenitização dos tratamentos térmicos convencionais prévios são fundamentais. A escolha vai depender do principal objetivo do tratamento criogênico. Se a finalidade for maximizar a dureza, maiores temperaturas de austenitização são requeridas para garantir maior quantidade de austenita retida a ser transformada em martensita durante o tratamento criogênico. Este fator é o principal responsável pelo aumento de dureza. Por outro lado, se a finalidade é maximizar a resistência ao desgaste, menores temperaturas de austenitização são requeridas, diminuindo, assim, a austenita retida, portanto, maior quantidade de martensita irá garantir maior migração de carbono e precipitação de finos carbonetos durante o ciclo de tratamento criogênico. Estes carbonetos são considerados os principais responsáveis pelo aumento da resistência ao desgaste sem perda ou mesmo, com melhoria de tenacidade (Collins, 1996 e Collins e Dormer, 1997).

Assim antes de qualquer aplicação do tratamento criogênico, deve-se levar em consideração estes fatores. Dos mecanismo propostos, a precipitação dos finos carbonetos, considerando principal, precisa de maiores estudos. Um melhor entendimento das transformações na microestrutura dos materiais quando submetidos a baixas temperaturas e como estas mudanças se interagem para aumentar a resistência ao desgaste, ou qualquer outra propriedade tomada como objeto de estudo faz-se essencial para um perfeito domínio desta técnica. Enquanto nos EUA a criogenia já vem sendo usada por algumas empresas com resultados bastante satisfatórios, no Brasil muito pouco ou quase nada tem sido explorado sobre o assunto. Com o objetivo de iniciar pesquisas sobre este tema em nível nacional este trabalho verificou o desempenho de brocas helicoidais após o tratamento criogênico, comparando-se com brocas tratadas convencionalmente. Fez-se também a análise microestrutural das ferramentas para verificar as mudanças ocorridas com o tratamento.

2.PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas brocas helicoidais de aço-rápido SAE M2 fabricadas pela Twill com 8% de Co de 7.5 mm de diâmetros, tratadas e não tratadas criogenicamente. O ciclo de tratamento criogênico usado é representado na Figura 1. O tratamento aplicado às ferramentas foi feito pela Empresa Cryo Quality Ltda, o qual consistiu de um resfriamento a temperaturas que variaram de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ e três ciclos de aquecimento (revenimentos) a temperaturas médias de $+196\text{ }^{\circ}\text{C}$, resultando um total de 43 horas de tratamento.

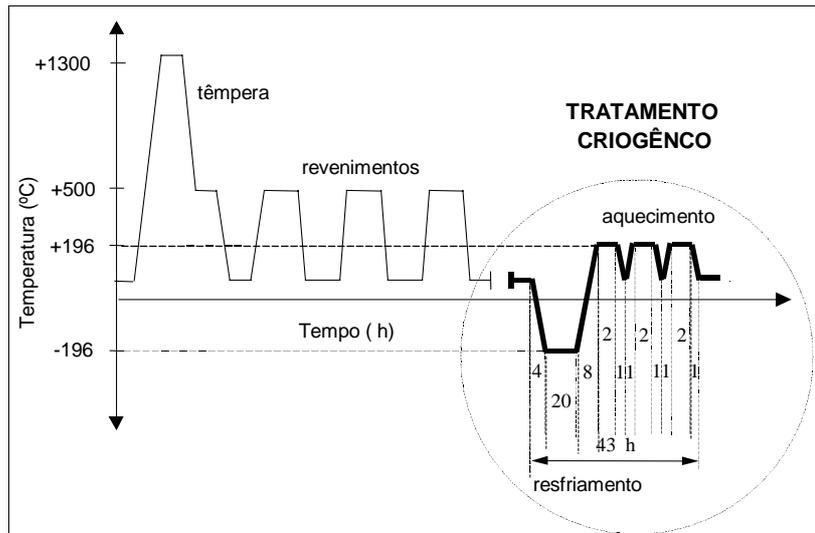


Figura 1. Diagrama representativo do ciclo térmico para o tratamento criogênico

- 1 - Resfriamento para $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (4 horas em média) $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 - 2 - Estabilização a frio $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20 horas em média)
 - 3 - Aquecimento para $+196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (8 horas em média)
 - 4 - Estabilização a quente $+196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 horas em média)
 - 5 - Resfriamento para temperatura ambiente (1 hora em média)
 - 6 - Aquecimento para $+196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 hora em média)
 - 7 - Estabilização a quente $+196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 horas em média)
- } 3 vezes

As ferramentas submetidas ao tratamento criogênico foram adquiridas prontas para o uso, isto é, já tinham sido tratadas por processos térmicos convencionais. O tratamento criogênico foi realizado então depois da têmpera e do revenido.

A análise microestrutural realizada teve como objetivo verificar as mudanças ocorridas na microestrutura das ferramentas submetidas ao tratamento térmico criogênico. Assim, foram tomadas duas amostras, sendo uma tratada e outra não tratada criogenicamente. A determinação da fração volumétrica de austenita retida das amostras foi feita por difração de raios-X em um equipamento Rigaku, modelo Strainflex MSF 2M, utilizando-se o método de comparação direta descrito por Cullity (1967). A medição da dureza Rc das ferramentas de corte foi feita em um durômetro da marca Wolpert, considerando-se a média de no mínimo oito indentações para cada amostra.

Os testes de usinabilidade foram feitos no processo de furação em uma máquina operatriz ROMI Interact IV equipada com CNC MACH 4, potência de 16 kW, variação contínua de rotação do eixo árvore (40 a 4000 rpm) e avanço rápido (0 a 4800 mm/min). O

material da peça de trabalho usado foi de aço ABNT NB 8640, com dureza média 290 HV. As barras foram cortadas e usinadas para uma dimensão final de 110 mm de seção quadrada e 500mm de comprimento.

As velocidades de corte foram de 30, 35 e 40 m/min e avanço fixo de 0.11 mm/rev. A relação L/D também manteve-se fixa em 3, onde $L = 22.5$ mm (furo cego). As brocas tinham uma afiação especial recomendada pelo fabricante para furação em aço (afiação para diminuir o ângulo de hélice na aresta de corte e a alma da broca na ponta para 1/10 do diâmetro). A afiação foi feita pela FIAT em uma máquina de afiação CNC, com a seguinte geometria $\chi_r = 67,5^\circ$ e $\epsilon_r = 112,5^\circ$. Usou-se como fluido de corte uma emulsão a base de óleo mineral com concentração 5 %, recomendado para todas as operações de corte. O sistema de aplicação foi forçado com vazão ajustada em 5 [l/min].

O critério de fim de vida adotado para o processo de furação foi a falha catastrófica. Este procedimento é recomendado pela norma *NORDTEST NT MECHE 038(1997)*. Segundo esta norma, a vida da ferramenta é determinada pelo número de furos usinados até imediatamente antes da falha ocorrer. Entretanto, para maior controle do comportamento, os desgastes de flanco médio e máximo foram frequentemente medidos. Isto permitiu determinar a vida das ferramentas em diferentes critérios, como por exemplo $VB_B=0.3$ mm e $VB_{B\text{máx}}=0.7$ mm. A frequência de medição do desgaste foi determinado em função da severidade da operação. Mediu-se o desgaste a cada 8 furos para a velocidades de 30m/min e a cada 4 furos para as velocidades de 35 e 40 m/min. O desgaste das ferramentas foi medido por meio de um microscópio ferramenteiro equipado com relógio comparador Mitutoyo, com resolução de 0.01 mm. Ao final da vida, as superfícies de saída e de flanco foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura. A potência consumida foi medida durante a furação como uma forma de monitoramento do desgaste e indicativo de aproximação da falha catastrófica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta os resultados de dureza e de austenita retida medidos. Estes valores de austenita retida encontrados são normais para ferramentas de aço-rápido que sofreram o tratamento de endurecimento secundário (têmpera e revenido) convencional. Observa-se maior quantidade de austenita retida para a ferramenta tratada criogenicamente quando comparadas com a outra do mesmo tipo sem o tratamento criogênico. Este resultado poderia levar a conclusão que o tratamento criogênico teria contribuído para aumentar o teor de austenita retida, o que na realidade não aconteceu. As amostras retiradas para análise não são de uma mesma ferramenta, respectivamente antes e depois do tratamento criogênico. Trata-se de uma amostra de ferramenta que sofreu o tratamento criogênico, e outra retirada de uma ferramenta similar distinta, que não foi submetida ao tratamento criogênico.

Tabela 1- Resultados da análise microestrutural na ferramenta de aço-rápido

Análise microestrutural	Com Trat. Criogênico	Sem Trat. Criogênico	Diferença
Percentual de austenita retida	7.4	4.5	+ 2.9
Dureza Rc média	53.7	53.6	+ 0.1

Levando-se em consideração a resolução do método de difração de raios X (± 2 %) e possíveis variações microestruturais entre ferramentas de um mesmo lote de fabricação, pode-se concluir que, neste caso o tratamento criogênico não foi eficiente na transformação da austenita retida em martensita. Todas as ferramentas testadas já haviam sido submetidas a ciclos de revenimento após a têmpera (endurecimento secundário) antes de serem tratadas

criogenicamente, o que garante a transformação de boa parte da austenita retida e a estabilização da austenita restante que não se transformou, impedindo que esta se transformasse com o tratamento criogênico. A estabilidade térmica da austenita retida é de alguma forma aumentada com o revenimento, isto é, torna-se mais difícil ocorrer a transformação da austenita retida em martensita quando o tratamento é feito após o revenimento do que quando este é feito diretamente depois do tratamento de têmpera (Yun et al., 1998). Além da possibilidade da estabilização da austenita pelos tratamentos térmicos prévios ao tratamento criogênico, o período de tempo entre estes tratamentos também pode influenciar nesta estabilização. Entretanto, necessita-se de maiores estudos para se determinar precisamente a contribuição destas variáveis na transformação da austenita retida em martensita submetida a subsequentes tratamentos criogênicos.

Observa-se que praticamente não houve mudança na dureza das amostras, portanto, o tratamento não teve influência nesta propriedade. Como cita a literatura, mudanças na dureza de materiais tratados criogenicamente são atribuídas principalmente à transformação da austenita retida em martensita, o que não foi observado. Em geral a dureza é uma propriedade que é pouco afetada pelo tratamento criogênico, geralmente em valores de 2 a 3 pontos na escala HRc. Barron (1974) não encontrou mudanças significativas na dureza após tratamento criogênico para o aço rápido M2, provavelmente a quantidade de austenita retida transformada pelo tratamento não foi suficiente para provocar alteração, como também foi observado nos resultados encontrados neste trabalho.

A Figura 2 apresenta o resumo dos resultados dos testes de vida considerando-se o número de furos imediatamente antes de ocorrer a falha catastrófica. Observa-se que o aumento da velocidade de corte diminuiu significativamente a vida da broca, tanto para a tratada como para a não tratada. Isto se deve ao aumento da temperatura de corte com o aumento da velocidade. Em todas as condições obteve-se valores de vida para a broca tratada superiores aqueles encontrados para as não tratadas criogenicamente.

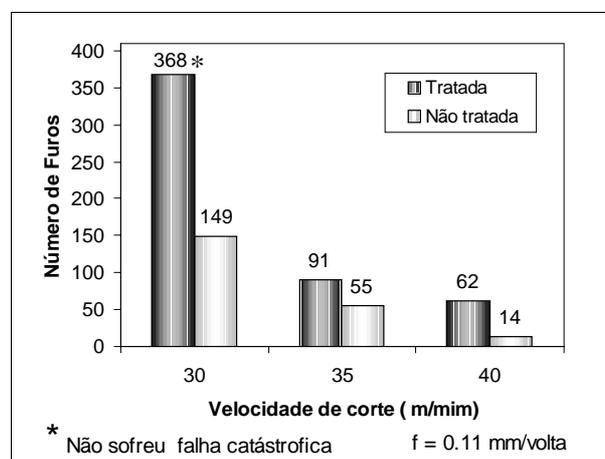


Figura 2 – Número de furos para critério de vida de falha catastrófica

Observado que a diferença entre o número de furos entre a broca tratada e a não tratada criogenicamente, é influenciada pelas condições de corte. Em termos percentuais a superioridade das brocas tratadas em relação a não tratada foi de 147%, 65%, 343% para as velocidades de 30, 35 e 40 [m/min] respectivamente. Adotando-se os outros critérios de fim de vida além da falha catastrófica, conforme a Tabela 2, obtemos valores diferentes daqueles observados no gráfico da Figura 2.

Tabela 2 – Número de furos para critério de vida $VB_B=0.3\text{mm}$, $VB_{B\text{máx}}=0.7\text{mm}$ e falha catastrófica.

v_c [m/min]	30		35		40	
Critério de fim de vida	Número de furos Usinados					
	NT	TR	NT	TR	NT	TR
$VB_B = 0.30 \text{ mm}$	120	*	*	*	12	26
$VB_{B\text{máx}} = 0.70 \text{ mm}$	*	208	*	88	*	*
Falha catastrófica	149	368	55	91	14	62

(*) Não atingiu o critério

NT – Não tratada criogenicamente; TR – Tratada criogenicamente

Considerando simultaneamente VB_B , $VB_{B\text{máx}}$ e a falha catastrófica, a vidas das ferramentas tratadas e não tratadas criogenicamente ficam modificadas para os valores apresentados no gráfico da Figura 3. Observa-se que, embora em percentuais menores, as brocas tratadas criogenicamente ainda tiveram um desempenho melhor que as não tratadas para todas as condições. Os percentuais foram 73%, 60%, 117% para as velocidades de corte de 30, 35 e 40 m/min respectivamente.

Os resultados de austenita retida (Tabela 1) apresentaram 7,4 % para as brocas tratadas criogenicamente e 4,5% para as não tratadas criogenicamente. Apesar da pequena diferença os resultados tendem a favorecer as ferramentas não tratadas, se apenas o mecanismo de transformação de austenita retida for considerado. Portanto, o melhor desempenho das brocas tratadas criogenicamente só pode ser creditado à precipitação de finos carbonetos durante o ciclo tratamento criogênico, que garante a maior resistência ao desgaste.

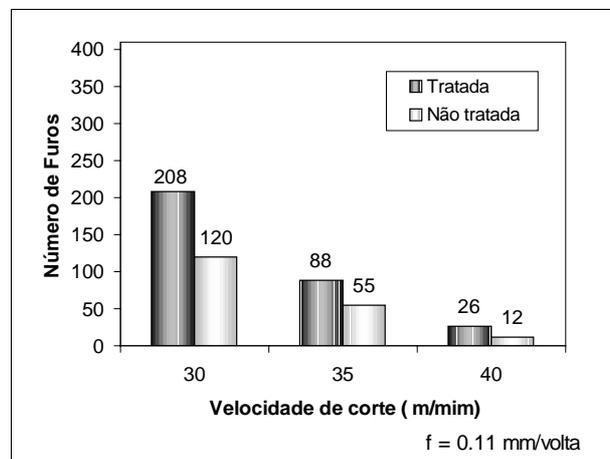
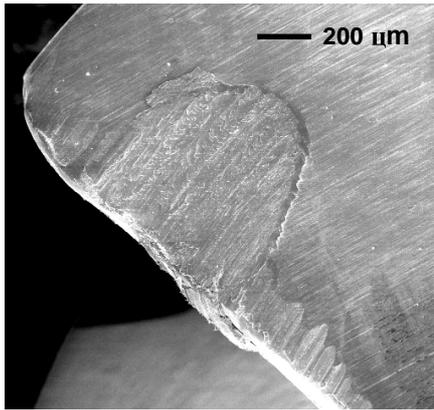
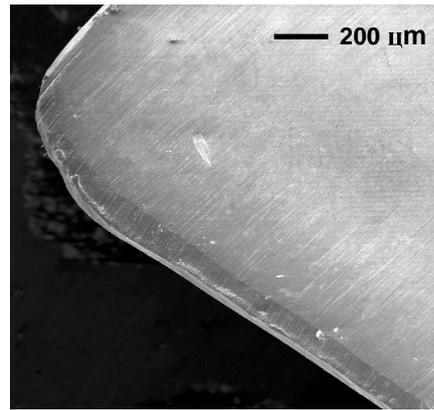


Figura 3 – Número de furos para critérios de vida de desgaste de flanco $VB_B=0.3 \text{ mm}$ $VB_{B\text{máx}} = 0.7 \text{ mm}$ e falha catastrófica.

A figura 4 ilustra isto, onde observa-se um maior desgaste da ferramenta não tratada criogenicamente (Figura 4a) após apenas 14 furos usinados contra 62 furos usinados pela ferramenta tratada criogenicamente (Figura 4b)



(a) Não tratada criogenicamente (14 furos)



(b) Tratada criogenicamente (62 furos)

Figura 3 – Desgaste da aresta de corte da broca 7.5 mm; $v_c=40$ [m/min]; $f=0.11$ [mm/rev].

4. CONCLUSÕES

- Não foi evidenciado transformação de austenita retida em martensita com tratamento criogênico nas ferramentas testadas.
- A dureza (HRC) não foi afetada significativamente pelo tratamento criogênico.
- O desempenho das brocas de aço-rápido depois do tratamento criogênico melhorou em relação as brocas não tratadas de 65% a 343% em diferentes condições de corte, adotando-se como critério de fim de vida a falha catastrófica.
- Considerando outros critérios de fim de vida além da falha catastrófica, tais como o desgaste de flanco médio e máximo, o desempenho das brocas tratadas criogenicamente foi superior àquelas sem o tratamento criogênico, variando de 60% a 117%.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Cryoqualit Ltda através do Engenheiro Edson Monteiro pela realização do tratamento criogênico; à Villares Metals S.A. na pessoa do Eng. Celso A. Barbosa, pela realização das análises microestruturais; à Capes pelo suporte financeiro por meio de bolsas de estudo e à Fiat Automóveis S.A. pelo suporte na realização da pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

- Barron, R. F. (1974), “Cryogenic Treatment Produces Cost Savings for Slitter knives”, Tappi Journal, May, Vol. 57, num. 5, 2 pp.
- Collins, D. N. (1996), “Deep Cryogenic Treatment of Tool Steels : a Review”, Heat Treatment of Metals. pp. 40-42.
- Collins, D. N. (1996), “Deep cryogenic Treatment of Tool Steels : a Review”, Heat Treatment of Metals, pp. 40-42.
- Collins, D. N. e Dormer, J. (1997), “Deep Cryogenic Treatment of a D2 Cold-work tool steel”, Heat Treatment of Metals. pp. 71-74.
- Cullity, B. D. (1967), “Elements of x-ray diffraction”, Addison Wesley, p. 388-396. Nordtest NT MECH 038 (1997), “Cutting Fluids for Drilling : Evaluation by Drill Life Test”, Nordtest Method, ISS 0283-7196, Proj. 1242-95/2.
- Nordtest NT MECH 038 (1997), “Cutting Fluids for Drilling : Evaluation by Drill Life Test”, Nordtest Method, ISS 0283-7196, Proj. 1242-95/2.
- Yun, D., Xiaoping, L. and Hongshen, X. (1998) “ Deep Cryogenic Treatment of High-speed Steel and its Mechanism”, Heat Treatment of Metals, pp. 55-59.