



FRESAMENTO DOS AÇOS INOXIDÁVEIS ABNT 304 E ABNT 316 COM USINABILIDADE MELHORADA POR DESOXIDAÇÃO PELO CÁLCIO

Walter Gennari Jr.

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica
gennari@mecanica.ufu.br – Brasília, DF, Brasil

Álison Rocha Machado

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
alissonm@mecanica.ufu.br – Uberlândia, MG, Brasil

Celso Antônio Barbosa

Villares Metals SA, Departamento de Tecnologia
celsoa@villares.com.br – Sumaré, SP, Brasil

Resumo. Os aços inoxidáveis são largamente empregados na fabricação de peças e componentes usados em atmosferas severas, devido à combinação de propriedades mecânicas adequadas e elevada resistência à corrosão. Por causa de sua composição, esses materiais – especialmente os austeníticos – são facilmente encruados, o que resulta numa baixa usinabilidade com cavacos longos e dúteis, pobre acabamento superficial e redução da vida da ferramenta. Métodos tradicionais para melhoria de usinabilidade empregam a adição de diversos elementos como enxofre, manganês e chumbo. Entretanto, a simples adição de alguns elementos como o enxofre, por exemplo, acarreta um prejuízo significativo de outras propriedades desejáveis como a resistência à corrosão, a ductilidade, a tenacidade e a soldabilidade. Este trabalho apresenta alguns resultados obtidos do fresamento de aços inoxidáveis austeníticos ABNT 304 e ABNT 316, com usinabilidade melhorada pelo emprego de uma técnica que utiliza desoxidação do aço pelo cálcio, com menor prejuízo de suas propriedades. Melhor quebra do cavaco e aumento da vida da ferramenta são alguns dos resultados obtidos quando da usinagem desse tipo de material.

Palavras-Chave: Aços inoxidáveis, Usinabilidade, Tratamento ao cálcio

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis, em geral, são requeridos por possuírem boas propriedades de resistência mecânica e, principalmente, resistência à corrosão. Entretanto, esses materiais compreendem várias famílias de ligas com suas próprias características de microestrutura, elementos de liga e faixa de propriedades (Metals Handbook, 1989). Apesar dessa diversidade, em geral, os aços inoxidáveis apresentam baixa usinabilidade com forte aderência na ferramenta levando, em alguns casos, a quebras e lascamento da aresta (Trent, 1989). A baixa usinabilidade é ocasionada pela composição necessária para que apresentem propriedades de elevadas resistência mecânica e à corrosão, especialmente para os

austeníticos – grupo com melhores propriedades e, conseqüentemente, maior demanda. A presença de elementos como cromo, níquel e molibdênio causa altas deformações plásticas, determinando elevadas forças de atrito e de corte com prejuízos para a vida da ferramenta.

Os recursos mais tradicionais para melhoria de usinabilidade dos aços inoxidáveis se restringem, por muito tempo, à adição de elementos como o enxofre, o manganês, o chumbo e outros (Metals Handbook, 1989). Entretanto, a simples adição desses elementos, em geral, prejudica outras propriedades do material, como resistência à corrosão, ductilidade, tenacidade e soldabilidade. Atualmente, algumas técnicas de modificação de inclusões metálicas ou não-metálicas bem como o controle de tamanho de grão e controle da morfologia de inclusões têm sido benéficas quanto à usinabilidade (Tessler & Barbosa, 1995).

Este trabalho apresenta a melhoria de usinabilidade de dois tipos de aços inoxidáveis obtida por meio de métodos de desoxidação pelo cálcio.

2. MELHORIA DA USINABILIDADE

2.1. Conceito de usinabilidade

A usinabilidade dos aços inoxidáveis tem sido abordada por engenheiros de indústrias de uma forma muito mais genérica do que com base em ensaios de pesquisa. Qualquer discussão sobre usinabilidade deve partir do princípio de que este conceito não se refere a uma única propriedade do material, a qual pode ser claramente definida e mensurada. De uma forma mais ampla, a usinabilidade deve ser compreendida como um sistema de propriedades que dependem de interações complexas e dinâmicas entre os materiais da peça e da ferramenta, do fluido e das condições de corte. Dessa forma, uma melhoria da mesma é caracterizada por um dos seguintes fatores (Trent, 1989):

- aumento da vida da ferramenta;
- maior taxa de remoção de material;
- melhoria do acabamento superficial;
- melhor remoção do cavaco;
- diminuição das forças de corte.

2.2. Melhoria da usinabilidade

Existem diversos métodos de melhoria da usinabilidade de aços inoxidáveis (Gennari & Machado, 1999) sendo que o mais clássico tem sido a adição de enxofre, designando esses aços de resulfurados.

Adição de enxofre. O uso de enxofre para melhorar as características de usinagem dos aços inoxidáveis começou no início dos anos 30 e desde então tem sido o elemento primário usado para este fim. Em geral, são sulfetos de manganês contendo cromo e ferro (Kovach, 1968), sendo que a partir de um certo teor de manganês ocorre uma grande perda da resistência à corrosão (Fig. 1).

Alguns pesquisadores (Martin & Qcquidant, 1992) constataram a melhoria da usinabilidade de um aço inoxidável por meio da combinação de controle do nível de enxofre (entre 0,02 a 0,03%) e das inclusões de óxido.

Desoxidação pelo cálcio. Inclusões nos aços podem produzir efeitos indesejáveis nas ferramentas de corte. Por serem mais duras, as inclusões de óxidos são responsáveis pelo desgaste abrasivo, uma vez que o atrito entre essas partículas e a superfície da ferramenta determina um desgaste acelerado da mesma.

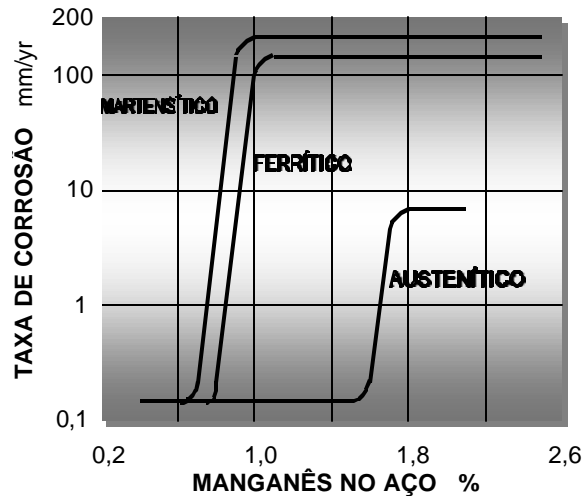


Fig. 1 – Efeito do teor de manganês na corrosão de aços inoxidáveis resulfurados (Kovach, 1968).

Por essa razão, os metais são frequentemente submetidos a processos de desoxidação durante a fabricação, empregando-se elementos como o silício e o alumínio que, em combinação com o oxigênio, produzem inclusões de silicatos e aluminatos, respectivamente. O cálcio, também usado para tratamento dos aços, proporciona uma melhora na usinabilidade, pelo controle adequado da morfologia de inclusões duras do tipo alumina e silicatos e da formação de uma camada protetora de óxido na interface cavaco-ferramenta durante a usinagem, diminuindo, assim, o desgaste da ferramenta a altas velocidades de corte (Yamane *et al.*, 1991).

A formação de uma camada protetora (Fig. 2) é observada quando se emprega ferramentas de metal duro revestidas com TiN (Tönshoff & Cassel, 1993), ferramentas a base de WC contendo alta quantidade de TiC ou com ferramentas de aço-rápido revestidas de TiN.

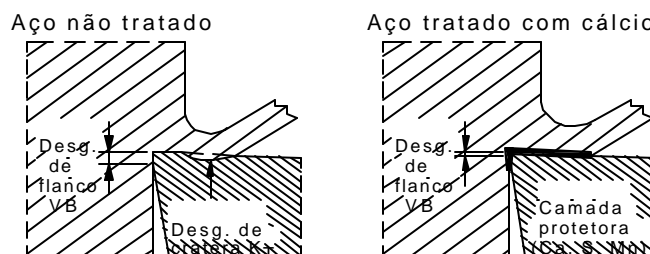


Figura 2 - Comparação dos tipos de desgaste (Tönshoff & Cassel, 1993).

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Equipamento

Foram executados testes de fresamento em uma fresadora ROMI CNC Interact 4 com potência de 16 kW, eixo vertical e controle variável de velocidade de 40 a 4000 rpm e avanço entre 0 e 4800 mm/min.

Um microscópio ferramenteiro Karl Zeiss com indicação por meio de um relógio comparador e aumento de 40 vezes foi utilizado para a medição do desgaste de flanco (VB_{max}) da ferramenta.

3.2 Material da peça

Os ensaios foram feitos com o objetivo de se investigar e comparar a usinabilidade de dois tipos diferentes de aços inoxidáveis austeníticos em duas versões de cada, a saber: convencionais (ABNT 304 e ABNT 316) e com usinabilidade melhorada (ABNT 304-UF e ABNT 316-UF). Esses últimos são aços inoxidáveis convencionais que foram submetidos à desoxidação pelo cálcio para melhoria de usinabilidade. A Tabela 1 apresenta a composição de cada uma desses materiais.

Tabela 1 – Composição (%) dos aços inoxidáveis austeníticos ABNT 304, 304-UF, 316 e 316-UF

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S	Ca
304	0,027	0,29	1,80	18,30	8,75	0,46	0,42	0,034	0,030	-
304UF	0,020	0,34	1,79	18,30	8,24	0,42	0,52	0,034	0,024	< 10 ppm
316	0,028	0,34	1,75	16,70	10,30	2,11	0,35	0,038	0,030	-
316UF	0,021	0,35	1,72	16,60	10,30	2,04	0,64	0,038	0,022	< 10 ppm

Todas as peças na forma de blocos possuíam, inicialmente, as medidas indicadas na Fig. 3 e foram usinadas na direção longitudinal.

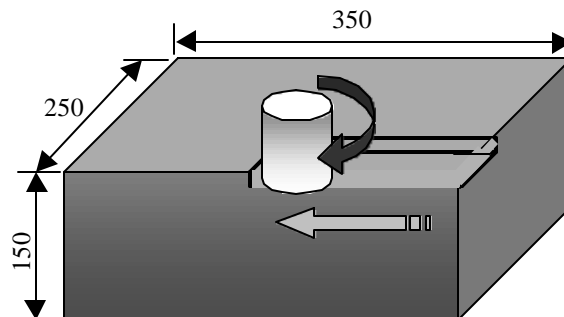


Fig. 3 – Representação esquemática da peça e das direções de corte e de avanço

3.3 Ferramenta de corte

Foram utilizadas pastilhas de metal duro revestido (TiN) especificação R245-12 T3 M-PM 4030 (P25) em um porta-ferramentas R245 063Q22-12M de cinco pastilhas e diâmetro de 63 mm.

3.4 Descrição dos ensaios

Foram executados ensaios de fresamento para a avaliação de usinabilidade por meio da medição de desgaste da ferramenta. Após cada passe na direção longitudinal mostrada na Fig. 3, foram feitas as medições do desgaste de flanco máximo ($VB_{máx}$) de cada uma das arestas de corte no microscópio ferramenteiro, sendo considerado o maior valor obtido.

A investigação considerou quatro diferentes condições de corte (Tabela 2) que foram aplicadas nos ensaios dos quatro materiais.

Tabela 2 – Condições de corte empregadas nos testes de usinabilidade.

Condições de Corte	Velocidade de Corte V_c (m/min)	Avanço por Dente f_z (mm/dente)	Profundidade de Corte a_p (mm)
1	80	0,25	2,0
2	280	0,11	2,0
3	70	0,30	1,2
4	244	0,20	1,0

4. RESULTADOS

As Figs. 4, 5, 6 e 7 representam o desgaste da ferramenta ($VB_{máx}$) medido após cada passe ao longo do tempo para as condições 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Essas figuras mostram a evolução do desgaste da ferramenta com o tempo e permitem avaliar a diferença de desempenho da ferramenta, quanto à vida, no fresamento de cada material.

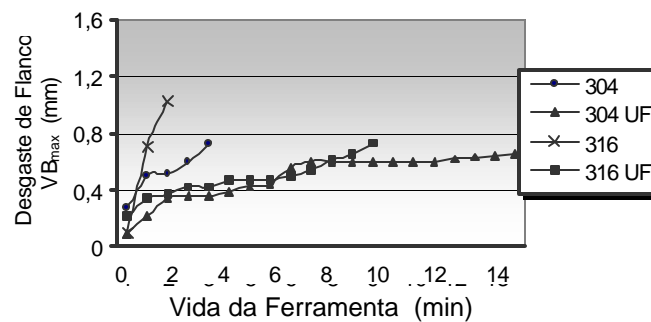


Figura 4 – Desgaste de flanco na condição 1: $V_c = 80$ m/min; $f_z = 0.25$ mm; $a_p = 2$ mm.

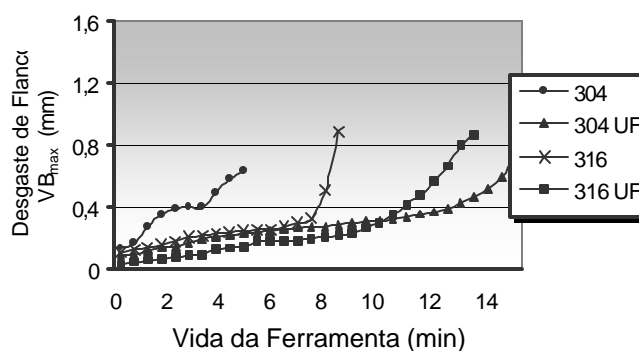


Figura 5 – Desgaste de flanco na condição 2: $V_c = 280$ m/min; $f_z = 0.11$ mm; $a_p = 2$ mm.

As Figs. 8 e 9 representam a vida da ferramenta em cada condição de corte para os aços ABNT 304/304-UF e ABNT 316/316-UF, respectivamente. Com relação ao material da peça, elas apresentam uma comparação entre o desempenho da ferramenta na usinagem do aço convencional e do tipo com usinabilidade melhorada em todas as condições.

Em todas as investigações, as formas de desgaste foram caracterizadas pela predominância de grande aderência do material da peça à ferramenta, bem como pela

evolução do desgaste de flanco inicial até o lascamento da aresta após algum tempo de usinagem.

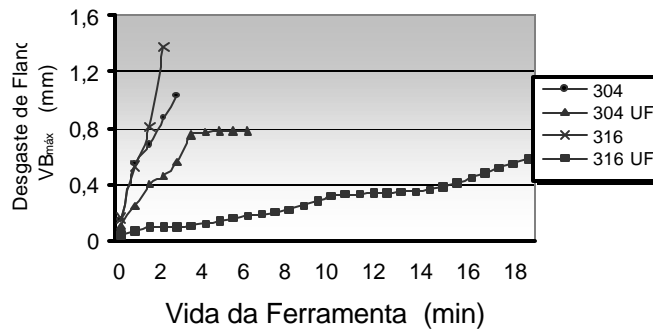


Figura 6 – Desgaste de flanco na condição 3: $V_c = 70$ m/min; $f_z = 0.30$ mm; $a_p = 1$ mm.

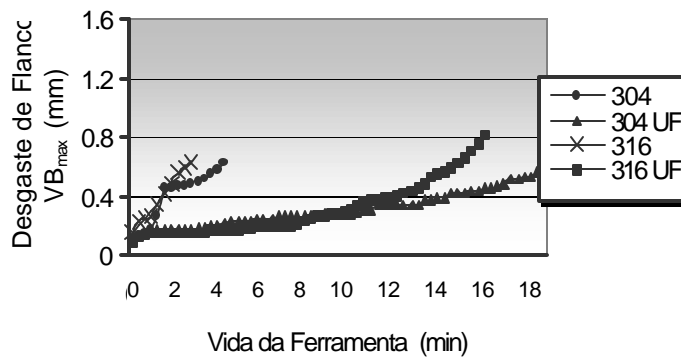


Figura 7 – Desgaste de flanco na condição 4: $V_c = 244$ m/min; $f_z = 0.20$ mm; $a_p = 1$ mm.

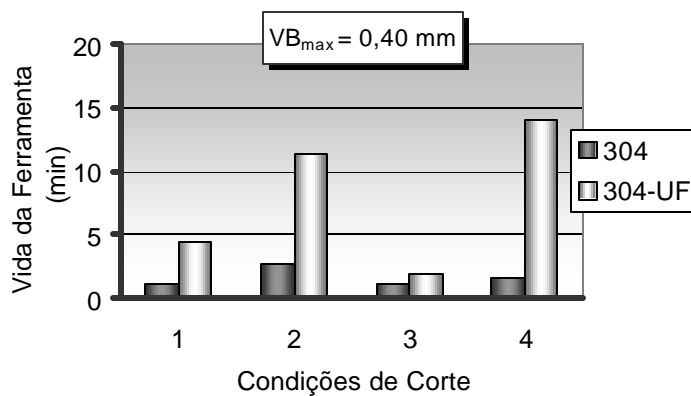


Figura 8 – Vida para o aço ABNT 304/304-UF e critério de vida $VB_{m\acute{a}x} = 0.40$ mm.

As Figs. 4, 5, 6 e 7 indicam um comportamento altamente satisfatório da ferramenta, quanto à vida, no fresamento do aço inoxidável do tipo 304-UF em comparação com o convencional.

Em todas as condições a taxa de desgaste foi bastante inferior na usinagem do aço com usinabilidade melhorada. O mesmo desempenho foi observado quando da usinagem do tipo 316/316-UF sendo que, em geral, esses últimos determinaram maiores taxas de desgaste da ferramenta do que os aços 304/304-UF.

O aço 304-UF apresentou uma melhora de até sete vezes (condição 4) quanto à vida da ferramenta em comparação com o 304 convencional (Fig. 8). A Fig. 9 mostra que o 316-UF

determinou aumento na vida da ferramenta em mais de dez vezes em relação à usinagem do aço convencional.

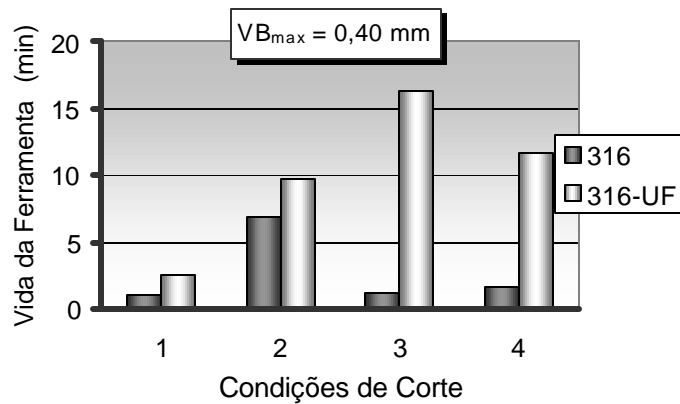


Figura 9 – Vida para o aço ABNT 316/316-UF e critério de vida $VB_{max} = 0.40$ mm.

5. DISCUSSÃO

O desgaste de flanco foi predominante, sendo que, após um certo tempo, desenvolveu-se lascamento da aresta de corte o qual, por várias vezes, evoluiu rapidamente até o colapso da ferramenta. A relativa baixa resistência da ferramenta – em comparação com uma P40, por exemplo – poderia explicar o lascamento severo que foi observado na aresta de corte, especialmente na usinagem do tipo 316. Gu *et al.* (1999) sugerem que um lascamento decorre de um micro-lascamento quando este é suficientemente extenso, o que é fortemente dependente da resistência da ferramenta e do seu revestimento.

O desempenho dos tipos 304-UF e 316-UF foi bastante satisfatório em termos de melhoria da usinabilidade, quando se considera a vida da ferramenta (Figs. 4, 5, 6 e 7), sendo que a diferença da taxa de desgaste em relação àquela produzida com os aços convencionais foi altamente significativa desde o início do processo. Milan *et al.* (2000) registraram um comportamento diferente no fresamento de aços para moldes, quando o melhor desempenho dos aços com melhoria de usinabilidade era mais evidente algum tempo depois do início da usinagem, sugerindo que a formação da camada de óxido ocorre após um certo tempo a partir do início do corte, quando a ferramenta atinge um nível de temperatura favorável a esse mecanismo. No caso dos aços inoxidáveis, sua baixa condutibilidade térmica pode ter favorecido um nível de temperatura mais elevado em menos tempo, destacando, desde o início, as características de melhoria de usinabilidade.

Para o critério de vida adotado ($VB_{max} = 0.40$ mm), ambas as formas com usinabilidade melhorada apresentaram um significativo aumento da vida da ferramenta, o que pode sugerir a formação satisfatória da camada de óxido como proteção da aresta de corte

6. CONCLUSÃO

A desoxidação pelo cálcio foi bastante positiva para a melhoria de usinabilidade de ambos os aços inoxidáveis em termos de vida da ferramenta, empregando-se pastilhas de metal duro revestido P25.

As formas de desgaste indicaram uma predominância do desgaste de flanco no início, desenvolvendo lascamento da aresta, dependendo de fatores como as condições de corte, a resistência da ferramenta e seu revestimento.

A formação de uma camada de óxido é, possivelmente, o principal fator responsável pela redução do desgaste da ferramenta e ela ocorre após um certo tempo do início do corte, quando o nível de temperatura é suficiente para ativar esse mecanismo de formação.

REFERÊNCIAS

- Gennari Jr., W. & Machado, A. R., Melhorias na usinabilidade dos aços inoxidáveis, 1999, Máquinas e Metais, Setembro, pp. 84-98.
- Gu, J., Barber, G., Tung, S. & Gu, R. J., 1999, Tool life and wear mechanism of uncoated and coated milling inserts, Wear, 225-229, pp. 273-284.
- Kovach, C. W., 1968, The sulfide phases in iron-chromium steels, Transactions of ASM, vol. 61, pp. 575-581.
- Martin, G. & Qcquidant, G., 1992, VALIMA stainless steel hollow bars with improved machinability, Applic. of Stainless Steel 92, June 9-11, Stockholm, vol. 1, pp. 176-186.
- Metals Handbook – Machining, 1989, Mach. of stainless steels, vol. 16, 9th ed, pp. 681-707.
- Milan, J. C. G., Machado, A. R. & Barbosa, C. A., 2000, Usinabilidade de aços utilizados em moldes para plásticos, Máquinas e Metais, Junho, pp. 52-61.
- Tessler, M. B. & Barbosa, C. A., 1985, Os aços inoxidáveis devem ser produzidos visando a usinabilidade, Máquinas e Metais, Julho, pp. 144-153.
- Tönshoff, H. K. & Cassel, C., 1993, Effects of non-metallic inclusions in quenched and tempered steel on the wear behavior of cermet cutting tools, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, vol. 49, January.
- Trent, E. M., 1989, Metal Cutting, 3rd ed., Butterworths, London.
- Yamane, Y., Hayashi, K. & Narutaki, N., 1991, Free cutting cast irons based on non-metallic inclusions, 2nd Intl. Conf. on the Behavior of Mat. in Machining, November.

MILLING OF AISI 304 AND AISI 316 STAINLESS STEELS WITH IMPROVED MACHINABILITY BY DEOXIDIZATION WITH CALCIUM

Abstract. *Stainless steels are widely employed in manufacturing of parts and components, which are required to work in heavy and severe atmospheres, for their good mechanical properties associated to high corrosion resistance. Because of their composition, these materials – specially the austenitic type – are easily hardened by work, which results in a very poor machinability with long and gummy chips, poor surface finish and reduced tool life. Traditional methods use the addition of varied free-machining elements as sulfur, manganese and lead to reach better machinability for stainless steels. The simple addition of some elements as sulfur, for example, generally determines a significant loss on other required properties like corrosion resistance, ductility, toughness, formability and weldability. This work presents some results obtained when milling AISI 304 and AISI 316 austenitic stainless steels, with improved machinability, employing a technique that uses deoxidization of steel by calcium, when compared to similar non-treated steels. Brittle chips and extended tool life, without losses in corrosion and mechanical resistance are the main results obtained when machining stainless steels with improved machinability.*

Keywords: *Stainless steels, Free-machining, Machinability, Calcium treated steels*