

ESTUDO DE FORÇA E PRESSÃO ESPECÍFICA DE CORTE NA USINAGEM DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 303.

Márcio Veríssimo Casagrande

Universidade Federal do Rio grande do Sul/DEMEC. Rua Sarmento Leite, 425, Porto Alegre, RS.

Ricardo G. Mombrú

SENAI/CETEMP – Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão. Br 116, 3585, São Leopoldo, RS.

Heraldo José de Amorim

Universidade Federal do Rio grande do Sul/DEMEC. Rua Sarmento Leite, 425, Porto Alegre, RS.
amorim@mecanica.ufrgs.br.

Resumo. Neste trabalho estuda-se a usinabilidade do aço inoxidável austenítico, tomando-se como parâmetros os comportamentos da força de e pressão específica de corte em relação ao avanço. É realizado um experimento onde se compara os resultados práticos com os esperado teoricamente e se questiona a validade das equações empíricas utilizadas atualmente para cálculos de esforços de corte para aços inoxidáveis austeníticos. Através dos ensaios realizados, observou-se que as formulações empíricas desenvolvidas para retratar o comportamento da força de corte em processos de usinagem são adequadas para prever o comportamento da força de corte, não provendo, porém, bons resultados em relação aos valores dessa força. Observou-se também a influência da velocidade de corte nos esforços para a faixa estudada, além da influência dos elementos de liga na usinabilidade do aço inoxidável estudado.

Palavras-chave: Usinabilidade, Aço Inoxidável Austenítico, Força de corte, Pressão específica de corte.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de usinagem são os mais importantes economicamente, respondendo, segundo diversos autores (Trent, 2000; Shaw, 1984), por parcelas consideráveis da economia mundial. Dentre os motivos de sua importância econômica, pode-se citar o fato de serem processos em sua maioria caros, e extremamente lentos quando comparados com outros processos de fabricação. Além disso, devido às suas vantagens, dificilmente a usinagem pode ser eliminada na fabricação de um componente mecânico.

Uma vez que tais processos possuem uma importância econômica tão elevada, é importante o conhecimento do comportamento dos materiais em usinagem. A característica que melhor representa este comportamento é chamada usinabilidade. Segundo Ferraresi, 1970, a usinabilidade pode ser definida como *uma grandeza tecnológica que expressa um conjunto de propriedades de usinagem de um material em comparação a outro tomado como padrão*. Esta grandeza pode ser avaliada através de diversos critérios, porém, os mais importantes, segundo diversos autores (Ferraresi, 1970; Stemmer, 1995; Diniz et. al., 1999), dizem respeito à vida de ferramenta, ao acabamento superficial dos componentes produzidos e aos esforços necessários para que seja realizado o corte.

Dentre os aços utilizados em construção mecânica não tratados termicamente, uma das classes que apresenta pior usinabilidade é a dos aços inoxidáveis austeníticos. A baixa usinabilidade destes aços se deve principalmente à sua elevada taxa de encruamento, e aos elevados esforços de corte devidos a esta.

Diversos fatores influenciam na usinabilidade dos materiais. Dentre estes, o mais importante é a sua composição química. Alguns materiais podem ser adicionados como elementos de liga em aços, com a função de melhorar alguma característica de usinagem destes. Estes materiais são chamados aditivos de corte fácil.

Apesar de pertencer ao grupo dos aços inoxidáveis austeníticos, o aço AISI 303 é considerado um aço de usinabilidade melhorada, devido ao fato de possuir grande quantidade de enxofre e fósforo, considerados aditivos de corte fácil, em sua composição química (Tab. 1).

Tabela 1 – Composição química do aço inoxidável AISI 303.

Aço	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 303	0,15máx	2,00máx	1,00máx	0,20máx	0,15 min	17-19	8-10	0,60máx

Neste trabalho foi realizada uma análise dos esforços envolvidos na usinagem do aço AISI 303. Esta análise baseia-se na equação de Kienzle para a determinação da pressão específica de corte K_s (Eq. 1), onde h é a largura do usinagem e os parâmetros K_{s1} e z são constantes determinadas para cada material.

$$K_s = \frac{K_{s1}}{h^z}, \quad (1)$$

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL:

Foram realizados ensaios para a determinação das constantes usadas no cálculo da pressão específica de corte segundo Kienzle, usando ferramentas de corte de aço rápido e metal duro.

O material utilizado para os ensaios é um aço AISI 303. Devido ao alto percentual de enxofre e fósforo, este aço é considerado de corte fácil, quando comparado a outros aços inoxidáveis. A composição química e algumas propriedades mecânicas do aço utilizado nos ensaios são mostradas nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Composição química do aço inoxidável AISI 303 utilizado.

AÇO AISI	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	O2
303	0,05	0,14	1,73	0,037	0,206	17,76	8,84	0,35	0,43	0,05	0,002	1,42

Tabela 3 – Propriedades mecânicas do aço inoxidável AISI 303 utilizado.

Dureza superficial	Resistencia à tração	Limite de escoamento
143 Hb	576 Mpa	274 Mpa

A tabela 4 mostra as ferramentas de corte utilizadas nos ensaios para a determinação das constantes da equação de Kienzle, bem como os parâmetros de corte adotados nestes.

Tabela 4 – Condições de usinagem usadas na determinação da equação de Kienzle.

Ferramenta	Aço rápido M2	TP300-WNMG060408-M3
Geometria da ferramenta	$\varphi_o = 6^\circ$; $\varphi_o = 6^\circ$; $\varphi = 90^\circ$.	$\varphi_o = 6^\circ$; $\varphi_{ef} = 9^\circ$; $\varphi = 95^\circ$; $r_\varphi = 0,8\text{mm}$.
Quebra-cavaco	Não possui.	Integral
Corte	Radial	Cilíndrico
Velocidade de corte (m/min)	50, 60 e 80	200
Avanço (mm/volta)	0,1; 0,15* 0,2; 0,25* 0,3.	0,1; 0,2; 0,3; 0,4.
Profundidade de corte (mm)	1,5 (Largura de corte)	1,5
Fluido de corte	seco	seco

*condições usadas apenas na velocidade de corte de 50 m/min.

2.1. Metodologia

Os ensaios com ferramenta de metal duro foram realizados à velocidade de corte de 200m/min, com profundidade de corte de 1.5mm e quatro avanços diferentes. Foram realizadas três repetições para cada avanço, com aquisição da força de corte em cada uma destas.

Devido à maior vida de ferramenta observada e ao menor número de repetições realizadas, os ensaios com ferramenta de metal duro foram realizados na operação de torneamento cilíndrico externo, com comprimentos de corte associados a um minuto de usinagem.

Para os ensaios com ferramenta de aço rápido foram utilizados como parâmetros as velocidades de corte de 50, 60 e 80m/min, largura de corte de 1.5mm e avanços de acordo cm a tabela 4, executando-se, para cada um parâmetro, três repetições. As velocidades de corte utilizadas nos ensaios com ferramenta de aço rápido foram limitadas pela avaliação de testes realizados previamente, onde observou-se que acima destas velocidades ocorre a queima da ferramenta.

O ensaio de torneamento transversal com aço rápido está representado na Figura 1 . Devido ao maior número de ensaios realizado, bem como à baixa vida da ferramenta nas velocidades de corte estudadas, optou-se por realizar estes ensaios na forma conhecida como corte ortogonal. Desse modo, o avanço se dá na direção do raio da peça, com a profundidade de corte sendo correspondida pela largura de usinagem (largura dos anéis usinados no corpo de prova). Este procedimento resulta em menor tempo de realização dos ensaios e maior aproveitamento de material, uma vez que todos os ensaios podem ser realizados em um único corpo de prova.

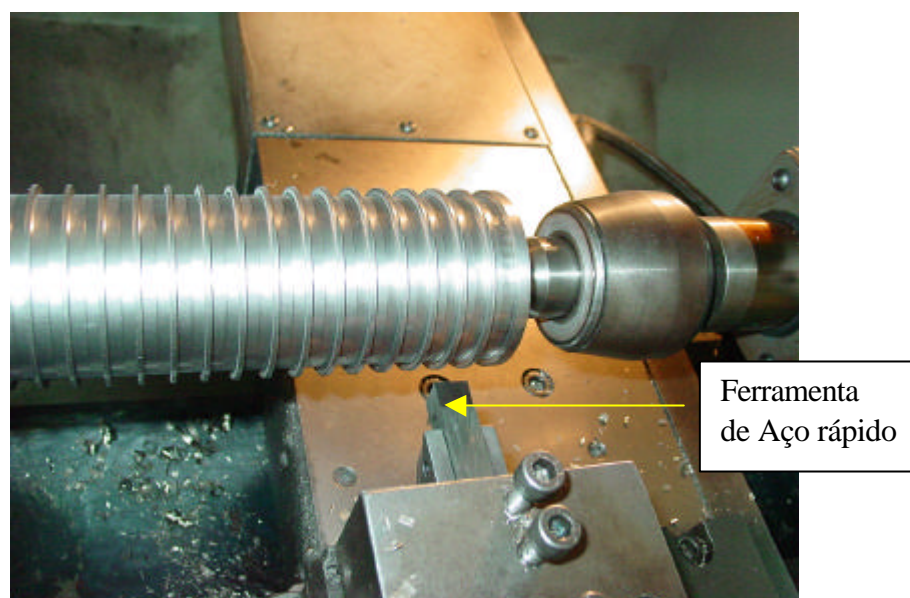


Figura 1 – Experimento realizado para a determinação das constantes de Kienzle com ferramenta de aço rápido.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS:

3.1. Resultados de força e pressão específica de corte

A Figura 2 mostra os resultados experimentais de força e pressão específica de corte para ferramenta de metal duro, em comparação com resultados teóricos. Pode-se ainda verificar o comportamento do aço AISI304, cuja composição difere do aço AISI303 por possuir menor teor de carbono, enxofre e molibdênio e maior teor de fósforo.

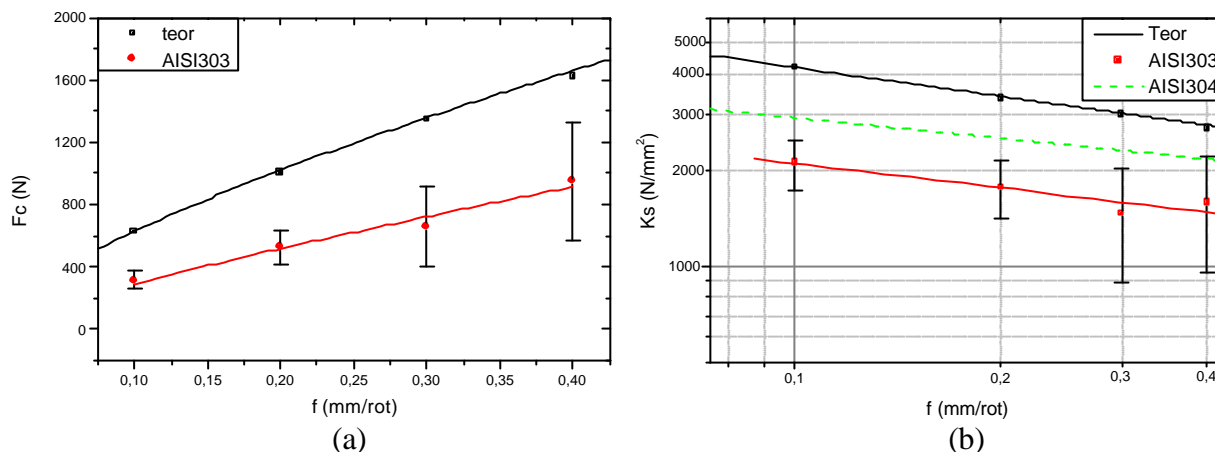


Figura 2 – Resultados de (a) força de corte e (b) pressão específica de corte versus avanço para ensaios realizados com ferramenta de metal duro.

Através da análise da figura 2, observa-se que o comportamento observado tanto de força quanto de pressão específica de corte é similar ao teórico, porém os valores encontrados são mais baixos que os valores calculados.

3.2. Resultados com ferramenta de aço rápido

A figura 3, mostram os resultados de força de corte e pressão específica de corte obtidos para os ensaios realizados com ferramenta de aço rápido. Pode-se observar que os resultados obtidos estão abaixo tanto dos resultados calculados através dos dados obtidos na bibliografia disponível quanto dos dados relativos ao aço AISI304, apesar do comportamento observado condizer com o esperado.

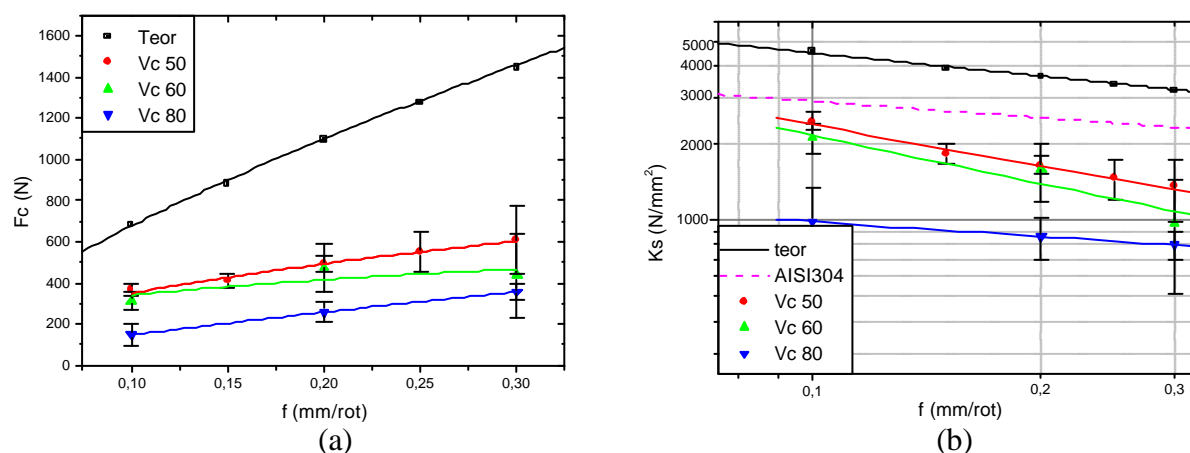


Figura 3 – Resultados de (a) força de corte e (b) pressão específica de corte versus avanço para ensaios realizados com ferramenta de aço rápido.

A tabela 5 mostra os valores das constantes da equação de Kienzle obtidos através da análise dos resultados de pressão específica de corte versus avanço.

Tabela 5 – Resultados de força e pressão específica de corte obtidos na usinagem com MD.

Vc	Ks1	X
50	689,75	0,53
60	506,83	0,63
80	628,28	0,19
200*	1170,84	0,25

*valor relativo ao ensaio com ferramenta de metal duro.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS:

4.1. Força e pressão específica de corte na usinagem com ferramenta de metal duro

Analisando-se os resultados, observa-se que o comportamento da força de corte e da pressão específica de corte é bastante similar ao previsto teoricamente. Fica claro, porém que os valores, tanto de força quanto de pressão de corte estão bem abaixo dos valores teóricos encontrados para aços similares. Algumas razões para estes valores são:

- ✍ Composição química - na composição do aço ensaiado está presente um percentual de enxofre maior que o presente no aço AISI 303 comum. O enxofre, quando na forma de sulfeto de manganês, facilita bastante o corte, diminuindo o atrito entre o material e a ferramenta e diminuindo a resistência ao cisalhamento do material.
- ✍ Características da ferramenta – a ferramenta de metal duro utilizada possui quebra cavaco. Esta característica geométrica faz com que o cavaco seja quebrado muito rapidamente, diminuindo o tempo de contato cavaco-ferramenta, o que diminui os esforços envolvidos na usinagem. Outra característica da ferramenta usada é a presença de um recobrimento de nitreto de titânio na superfície de saída. Esse recobrimento diminui o atrito facilitando o escoamento do cavaco. Estas duas características diminuem os esforços de corte. Por outro lado, resultados obtidos para o aço AISI 304 em condições de usinagem similares (recobrimento e TiN, quebra-cavaco) mostraram resultados substancialmente acima dos encontrados para o aço AISI 303.
- ✍ Características tecnológicas – é importante considerar a influencia que o desenvolvimento tecnológico possa ter nos esforços de corte. Quando Kienzle realizou seus ensaios, o panorama industrial (máquinas, ferramentas e até mesmo materiais) não possuíam características semelhantes às obtidas atualmente. Exemplos disso são materiais de ferramenta, que se desenvolveram bastante na última metade de século, (apresentando características aprimoradas através do uso de revestimentos) e máquinas operatrizes, que hoje possuem maior rigidez, rendimento e recursos como comando numérico.

4.2. Força e pressão específica de corte na usinagem com ferramenta de aço Rápido

Através da análise dos resultados obtidos para a obtenção de K_s com ferramenta de aço rápido, pode-se observar, de forma similar aos ensaios realizados com metal duro, que o comportamento em usinagem do aço condiz com a teoria, porém, com resultados significativamente mais baixos.

A análise da figura 5 mostra que, ao variar a velocidade de corte, ocorre a variação dos valores obtidos para a pressão específica de corte. A queda progressiva da pressão específica de corte com o aumento de V_c sugere a presença de aresta postiça de corte, que tende a diminuir conforme o aumento desta velocidade, como esperado. Diniz et. al., 1999, Diniz recomenda que para aços

dúcteis seja utilizada uma velocidade de corte acima de 150m/min, exatamente a fim de prevenir o aparecimento da aresta postiça de corte. Com a ocorrência APC, o ângulo de saída da ferramenta fica maior, o que facilita a remoção do material diminuindo assim a força e pressão específica de corte.

5. CONCLUSÕES:

Analisando os dados mostrados neste trabalho comprova-se a relação entre o avanço e força de corte, que quanto maior o avanço maior a força de corte, e entre avanço e pressão específica de corte, que quanto maior o avanço menor a pressão de corte.

Fica evidenciada a influência de elementos de liga na usinagem dos materiais, principalmente do enxofre, na forma sulfeto de manganês (*MnS*), atuando principalmente na diminuição da força e pressão específica de corte. Assim como os elementos de liga, a geometria da ferramenta com quebra cavaco e com recobrimento superficial de nitreto de titânio atuam na diminuição da força e pressão específica de corte.

Fica claro que as formulações empíricas desenvolvidas para retratar o comportamento da força de corte em processos de usinagem é bastante adequada para prever o comportamento da força de corte, porém não provém bons resultados em relação aos valores dessa força.

6. REFERÊNCIAS

- ASM, 1989, ‘Metals Handbook 9th Edition Volume 16; Machining’, Metals Park, Ohio, USA, 944 p.
- Ferraresi, D., 1970, ‘Fundamentos da Usinagem dos Metais’, Editora Edgar Blücher, S. Paulo, Brazil, 742 p.
- Chiaverini, V., 1990, ‘Aços e Ferros Fundidos: características gerais, tratamentos térmicos, principais tipos’, 7th Ed, ASM, São Paulo, Brazil, 599 p.
- Shaw, M.C., 1984, ‘Metal Cutting Principles’, Oxford University Press, U.K., 594 p.
- Trent, E.M.; Wright, P.K., 2000, ‘Metal Cutting’, 4th ed, Butter worth Heinemann, Birmingham, U.K, 462 p.
- Stemmer, C.E., 1995, ‘Ferramentas de Corte I’, 4ª ed, Editora da UFSC, Florianópolis, Brazil, 244 p.
- DINIZ, A.E. ; MARCONDES, F.C. ; COPPINI, N.L., 2000, ‘Tecnologia da Usinagem dos Materiais, 2nd ed, Artliber, São Paulo, Brazil, 248 p.

STUDY OF CUTTING FORCE AND SPECIFIC CUTTING PRESSURE ON THE MACHINING OF THE AISI 303 AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Márcio Veríssimo Casagrande

Federal University of Rio grande do Sul. 425 Sarmento Leite street, 425, Porto Alegre, RS.

Ricardo G. Mombrú

SENAI/CETEMP – Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão. 3585 Br 116 road, São Leopoldo, RS.

Heraldo José de Amorim

Federal University of Rio grande do Sul. 425 Sarmiento Leite street, 425, Porto Alegre, RS.
amorim@mecanica.ufrgs.br.

Abstract. *In this work the machinability of austenitic stainless steel is studied using as reference the behavior of the cutting force and the cutting pressure related to the feed rate. Practical experiments were done, and the results compared to the theory. The aplicability of the equations used to determine the cutting forces in austenitic stainless steels is investigated. Through the experiments done, there was observed that the empirical equations predict with good agreement the cutting force behavior, but with low accuracy. Also, there was observed the influence of cutting speed on the cutting forces on the studied conditions, and the influence of alloy elements on the studied stainless steel machinability.*

KEYWORDS: *machinability, austenitic stainless steel, cutting force, specific cutting pressure.*