

EFEITO DO DESGASTE DA FERRAMENTA NA MORFOLOGIA DO CAVACO NO TORNEAMENTO DE AÇO INOXIDÁVEL ABNT 304

Flávia Cristina Sousa e Silva
flavia_cris11@hotmail.com

Daniel Silva Marobin
marobin@megaminas.com

Márcio Bacci da Silva
Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, LEPU, Universidade Federal de Uberlândia
Av. João Naves de Ávila, nº 2160, 38400-089, Uberlândia, MG – Brazil
mbacci@mecanica.ufu.br

Resumo: *Os aços inoxidáveis são materiais que apresentam em geral baixa usinabilidade devido principalmente à alta taxa de encruamento durante a usinagem e produção de cavacos longos que levam a um desgaste acelerado da ferramenta. Por isso, torna-se importante identificar a relação entre a evolução do desgaste e a morfologia do cavaco. Os ensaios de torneamento foram realizados em aço inoxidável AISI 304 utilizando ferramentas de metal duro. A cada passe foi monitorado o desgaste da ferramenta e recolhido cavacos correspondentes a cada estágio de desgaste. Para cada amostra de cavaco foi medida a sua espessura, da qual se calculou o grau de recalque e o ângulo de cisalhamento. Foi realizado também análise do tipo e da forma do cavaco. Em seguida foi feita a análise metalográfica. Os resultados mostram que é possível estabelecer uma relação entre os estágios do desgaste com a morfologia do cavaco.*

Palavras-chave: *Morfologia do Cavaco, Aço Inoxidável, Torneamento, Desgaste*

1. INTRODUÇÃO

As condições de corte, quando possível, são escolhidas a fim de se evitar ou minimizar a formação de cavacos de características indesejáveis e, portanto, prejudiciais. Conforme Machado e Da Silva⁽¹⁾, os aços inoxidáveis austeníticos apresentam, em geral, cavacos longos que levam a um desgaste acelerado da ferramenta. Sendo assim, estudos que tem como objetivo desenvolver métodos de controle do cavaco para minimizar problemas durante a usinagem se tornam interessantes.

A evolução do desgaste em ferramentas, principalmente na usinagem de aços inoxidáveis austeníticos é um fator inevitável, devido ao fato destes materiais serem considerados de difícil usinabilidade pela elevada capacidade de encruamento⁽²⁾. O contato entre cavaco e ferramenta possui uma extensa área, altas temperaturas são geradas, acelerando o processo de desgaste.

Poder determinar o nível de desgaste da ferramenta através de algum método que não necessitasse interromper o processo de corte seria uma alternativa para evitar custos adicionais e diminuição da produtividade.

Como todo o processo de formação do cavaco gera deformação e acréscimo de temperatura, que ocorrem diretamente na interface cavaco-ferramenta, o cavaco pode ser relacionado diretamente ao desgaste da ferramenta.

Este trabalho tem por objetivo determinar a relação entre a forma e o tipo dos cavacos produzidos no torneamento do aço inoxidável austenítico ABNT 304 com os diferentes níveis de desgaste em ferramenta de metal duro revestida.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304

O aço inoxidável austenítico ABNT 304, segundo Padilha e Guedes⁽³⁾, devido as suas propriedades como alta resistência à corrosão em meios oxidantes, boa conformabilidade, tenacidade e resistência a altas e baixas temperaturas, são amplamente utilizados na fabricação de componentes e equipamentos nas indústrias química, petroquímica, nuclear, automobilística, de alimentos e farmacêutica. Contudo, a usinabilidade do aço inoxidável ABNT 304 é dificultada por uma série de fatores.

Os aços inoxidáveis austeníticos possuem alta resistência a tração. Isso resulta na formação de cavacos mais longos e uma zona de aderência mais extensa. Há a necessidade de uma maior energia para a usinagem. A Figura 1 ilustra o valor de resistência a tração do aço inoxidável austenítico em comparação com o aço inoxidável ferrítico e o aço carbono ABNT 1045.

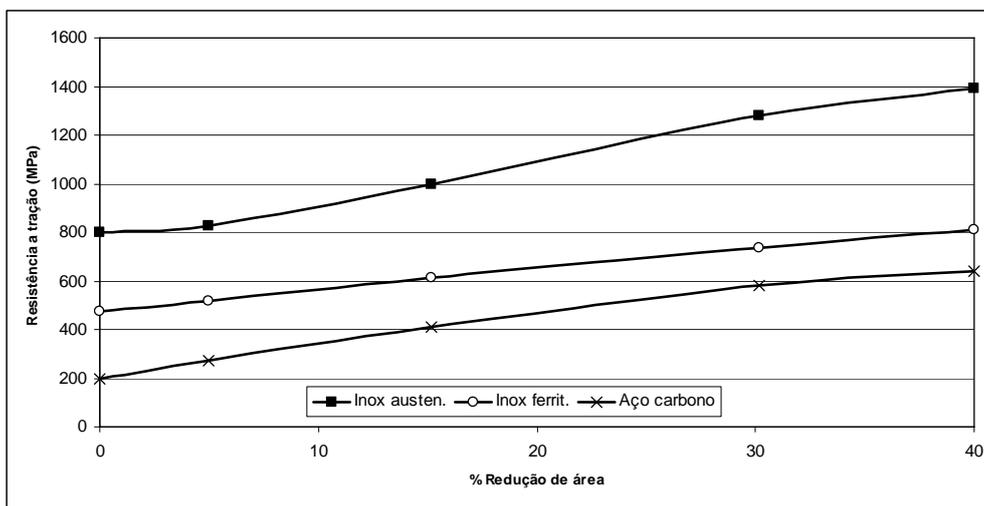


Figura 1. Comparação de valores de resistência a tração entre o aço inoxidável austenítico, inoxidável ferrítico e aço carbono – Metals Handbook⁽⁴⁾

Em geral, os aços inoxidáveis austeníticos possuem alto coeficiente de encruamento, que pode causar problemas na usinagem em passes subsequentes, conforme Machado e da Silva⁽¹⁾. Devido a esse fato, recomenda-se o uso de pequenos valores de avanço e evita-se a utilização de ferramentas desgastadas para diminuir os problemas causados.

A baixa condutividade térmica desse material gera uma grande concentração de calor na interface cavaco-ferramenta. Uma menor dissipação de calor resulta em altas temperaturas nesta região, o que também acelera o desgaste da ferramenta. A Figura 2 mostra uma comparação entre a condutividade térmica do aço inoxidável austenítico e outros dois materiais.

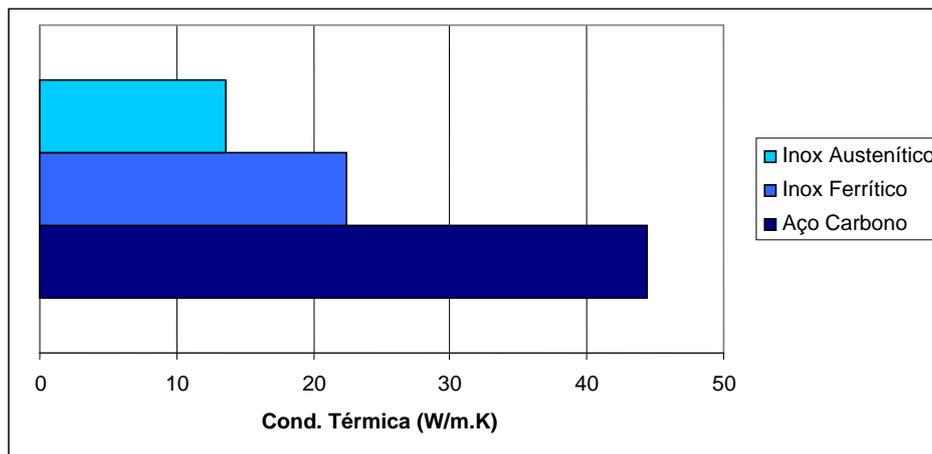


Figura 2. Comparação de valores de condutividade térmica entre aço inoxidável austenítico, inoxidável ferrítico e aço carbono – Metals Handbook⁽⁴⁾

2.2. Formação do Cavaco

O mecanismo de formação do cavaco é um fenômeno bastante conhecido. Sabe-se que a tensão normal no plano de cisalhamento primário é uma variável determinante para se saber se o cavaco será contínuo ou descontínuo, a mesma tensão normal que é influenciada pelo ângulo de cisalhamento (ϕ), e pela zona de cisalhamento secundária.

Na zona de cisalhamento primária, segundo Ferraresi⁽⁵⁾, as deformações plásticas continuam ocorrendo após o limite de escoamento ter sido vencido. Quando isto acontece, ou seja, o material entra no regime plástico, o avanço da ferramenta faz com que as tensões ultrapassem o limite de resistência promovendo trincas no material. A ductilidade ou fragilidade do material virá determinar a propagação da trinca e, conseqüentemente, determinar também o tipo de cavaco.

O ângulo de cisalhamento e o grau de recalque do cavaco são os indicadores de deformação da zona de cisalhamento primária. Para Lourenço⁽⁶⁾, altos valores do grau de recalque correspondem a baixos valores do ângulo de cisalhamento e isso indica grandes deformações na zona de cisalhamento primária

Após passar pela zona de cisalhamento primária, o cavaco movimenta-se sobre a superfície de saída da ferramenta, resultando uma lamela, e numa pequena região bem próxima à interface cavaco-ferramenta essa lamela do cavaco sofre intensas deformações plásticas. Esta é a zona de cisalhamento secundária. Tanto a zona de cisalhamento primária quanto a secundária podem ser vistas na Figura 3.

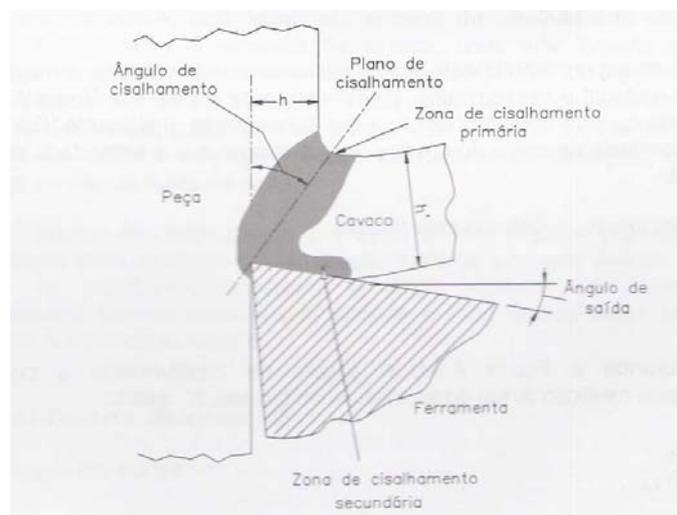


Figura 3. Esquema mostrando as zonas de cisalhamento primária e secundária – Machado e Da Silva⁽¹⁾

Como a zona de cisalhamento secundária oferece resistência ao escoamento do cavaco, nesta região é consumida maior energia. Para o aço inoxidável ABNT 304, segundo Fonseca⁽⁷⁾ que possui alta tenacidade e ductilidade, esses valores de energia são altos e a zona de cisalhamento secundária se apresenta em grande extensão. Desta forma, quando o cavaco sofre maior resistência ao seu movimento e o comprimento da zona de cisalhamento secundária é maior, tem-se um valor do ângulo de cisalhamento menor e o grau de recalque maior, sendo estes também indicadores da energia consumida pelo cavaco nesta região.

2.3. Tipos e Formas de Cavacos

Basicamente, existem três tipos de cavacos: cavaco contínuo, onde há apenas um deslizamento dos elementos do cavaco; descontínuo, onde o cavaco é um fragmento da peça usinada; e segmentado, no qual o cavaco cisalha, na região de cisalhamento, e posteriormente os segmentos permanecem conectados, de acordo com Ferraresi⁽⁵⁾. O que determina o tipo de cavaco é, principalmente, o material da peça, segundo Diniz et al⁽⁸⁾, que é o fator determinante na extensão da propagação da trinca no plano de cisalhamento primário. O aço inoxidável austenítico ABNT 304, de acordo com Lourenço⁽⁶⁾ comumente apresenta cavaco contínuo, pois apresenta estrutura austenítica. Porém, alguns aços inoxidáveis austeníticos, sob determinadas condições de corte de altos índices de deformação, podem produzir cavacos segmentados.

Quanto à forma, os cavacos recebem a seguinte classificação: cavaco em fita, helicoidal, espiral e em pedaços. O avanço e, principalmente, o material da peça, são os fatores que mais influenciam na forma do cavaco. Já a profundidade de corte é o parâmetro que menos influencia.

2.4. Desgaste na Ferramenta de Corte

Os aços inoxidáveis austeníticos são, geralmente, mais difíceis de usinar que os aços comuns ao carbono e aços de baixa liga. Eles têm uma tendência muito grande de se aderirem nas superfícies de saída das ferramentas, o que causa maior desgaste por “attrition”, e nos cortes interrompidos podem levar a falhas catastróficas. Segundo Trent⁽²⁾, em ferramentas de aço rápido ocorre a craterização na região de saída da ferramenta, local que atinge altas temperaturas. Fenômeno que ocorre por difusão e por deformação plástica superficial por cisalhamento. O desgaste de flanco na usinagem de aço inoxidável austenítico ocorre tanto para ferramentas de aço rápido e metal duro. Esse tipo de desgaste aumenta com o acréscimo da velocidade de corte.

3. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Neste ensaio foram utilizadas duas barras cilíndricas de aço inoxidável austenítico ABNT 304 de 100 milímetros de diâmetro e 500 milímetros de comprimento. As operações de desbaste foram realizadas no torno com variação contínua de velocidade, Revolution 220, da Deb`Maq, com 7,5 CV de potência. Utilizou-se insertos de metal duro revestido SNMG 120404 MF 431, da Sandvik Coromant. O suporte usado foi o PSSNR 2020 K12, também da Sandvik. Para a medição da espessura dos cavacos, foi utilizado um micrômetro Mitutoyo. O desgaste da ferramenta foi monitorado e medido utilizando-se estereó microscópio com o software de análise de imagem Image Pro. As fotometalografias também foram feitas pelo software de análise de imagem Image Pro através do microscópio metalográfico Olympus.

4. MÉTODOS

Para a coleta dos cavacos foi necessária a utilização de duas barras de aço inoxidável ABNT 304. Fixou-se os parâmetros de corte profundidade de corte (a_p) com o valor de 1 milímetro e o avanço (f_n) de 0,15 milímetros por revolução. Utilizou-se a velocidade de corte inicial de 125

metros por minuto, conforme a recomendação do fabricante da ferramenta. As demais velocidades utilizadas foram 130 m/min, 150 m/min, 160 m/min e 170 m/min.

As ferramentas utilizadas nos ensaios foram desgastadas previamente numa barra do próprio material, a fim de que não mudasse o seu mecanismo de desgaste. Usou-se, inicialmente, uma aresta nova, sem desgaste, para cada velocidade pré-determinada. Logo após, os testes foram realizados para cada velocidade de corte com desgastes diferentes, que variaram de 0,1 milímetros até 0,5 milímetros, com acréscimo de 0,1 milímetro a cada passe. Após o término do passe, retirava-se a ferramenta e monitorava-se o desgaste.

O passe inicial foi dado em 398 milímetros da barra. A cada novo passe, subtraía-se 1 milímetro, para que a ferramenta não tocasse no final de curso da barra.

Foram realizados 30 passes para coleta de cavacos, com velocidades de corte diferentes e diversos níveis de desgaste determinados.

Após os testes de torneamento, mediu-se a espessura dos cavacos (h') colhidos. Realizou-se uma média de cinco medidas para cada grupo de cavacos. Com os valores de h' , calculou-se o grau de recalque (R_c) dado pela equação 1:

$$R_c = h'/h \text{ (Equação 1),}$$

onde h = espessura de corte.

A espessura de corte é calculada através da equação 2:

$$h = f \times \text{sen } \chi_r \text{ (Equação 2),}$$

onde f = avanço e χ_r = ângulo de posição da aresta principal de corte.

O valor do ângulo de posição da aresta principal de corte, neste caso, é determinado pelo suporte da ferramenta, e vale 45° , e o avanço utilizado foi de 0,15 milímetros.

Calculou-se também o ângulo de cisalhamento para cada amostra de cavaco selecionada, conforme a Equação 3:

$$\text{tg } \phi = \cos \gamma_n / R_c - \text{sen } \gamma_n \text{ (Equação 3),}$$

sendo que ϕ = ângulo de cisalhamento e γ_n = ângulo de saída normal da ferramenta, e que para esta ferramenta utilizada vale 8° .

As amostras metalográficas foram feitas e foram atacadas com mistura de ácidos para revelação da microestrutura. As fotomicrografias foram feitas no microscópio metalográfico Olympus.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A tabela 1 mostra os valores de espessura dos cavacos recolhidos em cada passe.

Tabela 1. Espessura dos cavacos relacionados à velocidade de corte e desgaste da ferramenta

Desgaste da Ferramenta (mm)	Velocidade de Corte (m/min)				
	125	130	150	160	170
0,0	0,53	0,48	0,48	0,52	0,55
0,1	0,59	0,58	0,44	0,52	0,35
0,2	0,49	0,47	0,46	0,43	0,41
0,3	0,46	0,48	0,50	0,51	0,50
0,4	0,50	0,53	0,52	0,48	0,51
0,5	0,62	0,58	0,60	0,64	0,56

A Tabela 1 mostra que os valores de espessura do cavaco aumentaram principalmente para o maior valor de desgaste de 0,5 milímetros. Para o desgaste de 0,2 milímetros, a espessura do cavaco

diminuiu com o aumento da velocidade. Já para os demais valores de desgaste, não houve constância no acréscimo ou decréscimo da espessura do cavaco com o aumento da velocidade.

Os valores do grau de recalque e do ângulo de cisalhamento dos cavacos colhidos e medidos estão contidos na tabela 2.

Tabela 2. Grau de recalque e ângulo de cisalhamento das amostras de cavaco

Passo	Grau de Recalque	Ângulo de Cisalhamento (°)
1	4,996	11,52
2	5,562	10,34
3	4,619	12,46
4	4,337	13,27
5	4,714	12,21
6	5,845	9,84
7	4,525	12,72
8	5,468	10,52
9	4,431	12,98
10	4,525	12,72
11	4,996	11,52
12	5,468	10,52
13	4,525	12,72
14	4,148	13,87
15	4,337	13,27
16	4,714	12,21
17	4,903	11,74
18	5,656	10,17
19	4,903	11,74
20	4,903	11,74
21	4,054	14,19
22	4,808	11,97
23	4,525	12,72
24	6,034	9,53
25	5,185	11,10
26	3,300	17,39
27	3,866	14,87
28	4,714	12,21
29	4,808	11,97
30	5,279	10,90

O maior valor do grau de recalque foi do teste 24, realizado com velocidade de corte de 160m/min com uma ferramenta com desgaste de 0,5 milímetros, que foi de 6,034, e conseqüente menor valor para o ângulo de cisalhamento, que foi de 9,53°. O menor valor do grau de recalque foi de 3,300 no teste 26 e ângulo de cisalhamento maior de 17,39°. Neste teste a velocidade de corte foi de 170 m/min e desgaste de 0,1 milímetros. Ou seja, valores de velocidades altos e diferença nos valores de desgaste produziram valores extremos de grau de recalque e ângulo de cisalhamento. Com o maior valor de desgaste obteve-se o maior grau de recalque e menor ângulo de cisalhamento. Em contrapartida, com o menor valor de desgaste obteve-se o menor grau de recalque e maior ângulo de cisalhamento.

Os cavacos produzidos foram todos do tipo contínuo. Para condições de maior velocidade, os cavacos se apresentavam com aspecto mais distorcido, e com coloração diferente. Sendo que, em condições mais amenas de velocidade e desgaste os cavacos apresentavam coloração amarela, enquanto que para condições mais severas de desgaste e velocidade, os mesmos apresentavam coloração púrpura.

A forma dos cavacos oscilou entre cavacos em arco soltos e conectados. Exceções ocorreram para velocidades mais altas, onde se teve a ocorrência de cavaco helicoidal tipo arruela.

6. CONCLUSÕES

Comprovou-se que, em ferramentas mais desgastadas as deformações na zona de cisalhamento primária são maiores, que foi demonstrada com o maior valor do grau de recalque. Bem como, para um valor pequeno de desgaste obteve-se o menor valor do grau de recalque, ou seja, menos deformações ocorreram na zona de cisalhamento primário. A velocidade não foi significativa nesta caracterização.

Foi possível observar que pode-se obter relações entre o desgaste da ferramenta e a morfologia do cavaco. Porém, essa relação pode ser obtida de uma forma mais exata através de uma análise estatística dos dados, sendo esta uma atividade posterior.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer ao CNPq e ao Instituto Fábrica do Milênio pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem – LEPU, a Universidade Federal de Uberlândia, pelos recursos humanos e infra-estrutura disponíveis.

8. REFERÊNCIAS

1. MACHADO, A. R., DA SILVA, M. B., **Usinagem dos Metais**, Editora UFU, Universidade Federal de Uberlândia, 2004, 8ª Edição, 257 págs.
2. TRENT, E. M., WRIGHT, P.K., **Metal Cutting**, 4th Edition, 2000, Butterworth Heinemann, London, 446 págs.
3. PADILHA, A. F., GUEDES, L. C. **Aços Inoxidáveis Austeníticos**, Editora Hemus, 1994.
4. METALS HANDBOOK. **Machining**. 9ª ed., vol. 16, 1989.
5. FERRARESI, D., **Fundamentos da Usinagem dos Metais**, Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1977, 751págs.
6. LOURENÇO, C. J. A Usinabilidade do Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304. 1996. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1996.
7. FONSECA, M. A. A Usinabilidade do Aço Inoxidável Austenítico ABNT 304 na Operação de Torneamento. 2002. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
8. DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L., **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**, Artliber Editora, 2000, 2ª Edição.

EFFECT OF TOOL WEAR IN THE CHIP MORPHOLOGY IN THE TURNING OF STAINLESS STEEL ABNT 304

Flávia Cristina Sousa e Silva

flavia_cris11@hotmail.com

Daniel Silva Marobin

marobin@megaminas.com

Márcio Bacci da Silva

Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem, LEPU, Universidade Federal de Uberlândia

Av. João Naves de Ávila, nº 2160, 38400-089, Uberlândia, MG – Brazil

mbacci@mecanica.ufu.br

Abstract: *The stainless steels are materials that generally present low machinability due mainly the high ability to workharden during the turning and the production of long chips that lead to a speed up tool wear. Therefore, it is important to identify the relation between the evolution of the wear and the chip morphology. The turning experiments had been carried through in stainless steel ABNT 304 using hard metal tools. To each pass the tool wear was monitored and the chips were collected, corresponding to each period of wear. For each sample of chip its thickness was measured, of which were calculated the degree of upset and the shear angle. Analysis of the type and the form of the chip was also carried through. After that the metallographic analysis was made. The results show that it is possible to establish a relation between the periods of tool wear and the chip morphology.*

Keywords: *Chip Morphology, Stainless Steel, Turning, Wear.*