

RELAÇÃO EXISTENTE ENTRE A MICROESTRUTURA DE ALGUNS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS, FORMAÇÃO DE CAVACO, FORÇA DE CORTE E O ACABAMENTO SUPERFICIAL NO PROCESSO DE TORNEAMENTO.

Izabel Fernanda Machado.

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: machadoi@usp.br

João Paulo Pereira Marcicano.

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: marcican@usp.br

Luciano Souza

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: lucianosz@maua.br

Amauri Hassui

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: ahassui@usp.br

Resumo. Os aços inoxidáveis são ligas a base de ferro que contém um teor mínimo de Cr (cerca de 12%). Eles são, em geral, classificados como: ferríticos, austeníticos, martensíticos, dúplex (ferríticos-austeníticos) e endurecíveis por precipitação. Cada um desses tipos de aços inoxidáveis tem composição química, microestrutura e propriedades mecânicas diferentes. Dentre eles, o mais usado é o austenítico. Os aços inoxidáveis austeníticos são considerados de baixa usinabilidade quando comparados aos aços baixo carbono. Isto está relacionado com a elevada ductilidade e tenacidade, elevada taxa de encruamento e baixa condutividade térmica. Além disso, estes aços inoxidáveis têm propensão à formação de martensitas induzidas por deformação. Este trabalho tem por objetivo comparar o comportamento na usinagem de três inoxidáveis austeníticos, quanto à formação de cavaco, à força de corte e ao acabamento superficial gerado no processo de torneamento. Foram utilizados os aços inoxidáveis austeníticos: AISI 303, 304 e 310. Estes aços foram usinados com um avanço definido e diferentes profundidades de corte. Os resultados mostraram diferenças nas forças de corte e na superfície usinada. Não foram observadas grandes diferenças com relação ao valor de rugosidade (R_a).

Palavra-chave: Torneamento, Força de corte, Aço inoxidável austenítico, Rugosidade.

1. INTRODUÇÃO

A produção dos aços inoxidáveis tem crescido significativamente nos últimos anos devido à grande aplicação dos mesmos na indústria química, de alimentos e farmacêutica⁽¹⁾. As propriedades mais importantes desses aços são suas resistências à corrosão e à oxidação. Os aços inoxidáveis são ligas a base de ferro que contém um teor mínimo de cromo (cerca de 12%). Eles são, em geral, classificados em função de sua estrutura cristalina e microestrutura, a saber: ferríticos, austeníticos, martensíticos, dúplex (ferríticos-austeníticos) e endurecíveis por precipitação⁽²⁾. Dentre esses tipos,

o mais utilizado é o austenítico (mais de dois terços da produção). Os aços inoxidáveis austeníticos têm também aplicação na indústria eletrônica por não apresentarem ferromagnetismo⁽³⁾.

Os aços inoxidáveis austeníticos incluem uma ampla gama de composições químicas. Os teores de cromo nesses aços variam de 15 a 26% e de níquel de 3,5 a 38% em massa. O manganês também tem efeito austenitizante e tem sido adicionado aos aços inoxidáveis como forma de diminuir os teores de níquel. No entanto, o manganês tem menor efeito austenitizante e não tem o mesmo efeito que o níquel na resistência à corrosão⁽²⁾. Os aços inoxidáveis austeníticos com maiores teores de níquel são requeridos onde há necessidade de melhores propriedades mecânicas e de resistência à oxidação. Existe também uma relação entre os elementos de liga, taxa de encruamento e a formação de martensitas induzidas por deformação^(4, 5). As quantidades de martensita formadas dependerão da quantidade de deformação e da taxa de deformação⁽⁶⁻⁹⁾. Essa fase é dura e apresenta magnetismo o que é prejudicial em aplicações na indústria eletrônica⁽³⁾. A Equação (1) mostra a relação entre a composição química e a temperatura de formação de martensita induzida (Md). Md 10/45(°C) é a temperatura onde ocorre 10% de formação de martensita, após uma deformação verdadeira de 45% em compressão^(8, 9). Essa relação é dada por:

$$\text{Md } 10/45(^{\circ}\text{C}) = 433 - 27,6\text{Ni} - 7,7\text{Cr} - 16,2\text{Mn} - 27,2\text{Si} - 11,3\text{Mo} - 170(\text{C}+\text{N}) \quad (1)$$

Os aços inoxidáveis austeníticos apresentam usinabilidade ruim comparada a outros tipos de aços^(3, 10, 11). No entanto, apresentam boa combinação entre suas propriedades mecânicas e elevada resistência à corrosão^(2, 9, 11). Os principais problemas relacionados com a usinabilidade dos aços inoxidáveis são desgaste de ferramenta, acabamento superficial ruim, cavacos longos e baixas velocidades de corte^(12, 13, 14). Esses problemas são causados pela alta taxa de encruamento, baixa condutividade térmica e modificações microestruturais na superfície nesses materiais, aumentando a força de corte entre outros fatores^(3, 10, 11). A usinabilidade desses aços pode ser melhorada pela adição de enxofre. O enxofre propicia a formação de inclusões de sulfeto de manganês, o que facilita a quebra do cavaco. O enxofre também atua como lubrificante⁽⁴⁾. No entanto, a adição de enxofre causa perda de propriedades mecânicas e de resistência a corrosão.

Este trabalho tem por objetivo comparar o comportamento na usinagem de três aços inoxidáveis austeníticos quanto à formação de cavaco, à força de corte e ao acabamento superficial no processo de torneamento. Foram utilizados os aços inoxidáveis austeníticos: AISI 303, 304 e 310. Estes aços foram usinados com um avanço definido e diferentes profundidades de corte.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Neste trabalho foram estudados três aços inoxidáveis austeníticos. Estes aços foram recebidos em barras redondas de aproximadamente 25,4 mm de diâmetro. As composições químicas e a dureza desses aços são apresentadas na Tabela 1. Todos os materiais foram recebidos solubilizados.

Tabela 1. Composição química (em massa) dos aços estudados.

| Aço | %Cr | %Ni | %C | %Mn | %Si | %S | %P | Dureza HV |
|-----|------|------|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| 303 | 17,2 | 8,21 | 0,050 | 1,88 | 0,48 | 0,200 | 0,036 | 177 |
| 304 | 18,1 | 8,54 | 0,055 | 1,80 | 0,58 | 0,030 | 0,037 | 170 |
| 310 | 24,2 | 19,6 | 0,069 | 2,00 | 0,62 | 0,019 | 0,036 | 156 |

Os corpos de prova foram feitos a partir das barras redondas com de diâmetro de 25,4 mm e 80 mm de comprimento, aproximadamente.

2.2 Procedimento Experimental

Para realização dos ensaios de usinagem foi feito o torneamento externo utilizando-se um torno universal. As amostras foram fixadas em placa sem utilização de contra-ponto. Não foi utilizado

fluido de corte durante a realização dos ensaios. A ferramenta utilizada foi de metal duro sem revestimento (ISO P35) foi do tipo TPGN 160308 (pastilha triangular, plana e sem quebra cavaco). O ângulo de posição utilizado foi de 90°, o ângulo de saída foi de +5°. Foi utilizado um porta ferramentas instrumentado com extensômetros (dinamômetro) para medição da força de corte. Para a aquisição dos dados foi utilizado o sistema ADS 2000 da Linx e um microcomputador para armazenamento e tratamento dos dados. Foi utilizado um filtro passa baixa de 5 Hz e ganho automático.

As amostras foram torneadas em diferentes condições. A velocidade de corte usada foi de aproximadamente 90 m/min e avanço de 0,2 mm/volta em todos os ensaios. As relações entre avanço e profundidade de corte usadas nos ensaios são apresentadas na Tabela 2. A utilização de diferentes relações entre o avanço e a profundidade de corte permite que sejam obtidos diferentes estados de tensões.

Tabela 2. Relações entre avanço (f, mm/volta) e profundidade de corte (d, mm) usadas nos ensaios de torneamento.

| d (mm) | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| d/f | 0,5 | 1 | 2 | 3 |

O dinamômetro utilizado nos ensaios de usinagem foi calibrado aplicando-se diferentes cargas conhecidas e observando-se o nível de tensão fornecido pelo mesmo. Durante os testes, a taxa de aquisição utilizada foi de 100 amostras/segundo e o tempo de aquisição 20 segundos (2000 pontos por teste).

A rugosidade média (Ra) foi avaliada na superfície torneada utilizando-se o rugosímetro Mitutoyo SJ-201P. O cut-off (lc) utilizado foi o recomendado na norma ASTM 95 (neste caso, 0,8 mm ou 2,5 mm, selecionado com base na rugosidade média observada). A rugosidade foi avaliada duas vezes em cada amostra. Foram também obtidos os perfis de rugosidade dos corpos de prova usinados.

A observação das superfícies usinadas foi feita utilizando um microscópio óptico Olympus. Para a observação dos cavacos resultantes do torneamento foi utilizado um microscópio estereoscópico.

3. RESULTADOS

3.1 Microscopia óptica

As Figuras 1 e 2 de (a) a (c) apresentam as superfícies usinadas dos corpos de prova dos aços AISI 303, 304, 310, respectivamente. Foi observada maior diferença nas superfícies dos corpos de prova do aço AISI 303. A Figura 1 apresenta as superfícies usinadas com profundidade de 0,1 mm e a Figura 2 apresenta as superfícies usinadas com profundidade de 0,6 mm dos aços AISI 303, 304 e 310.

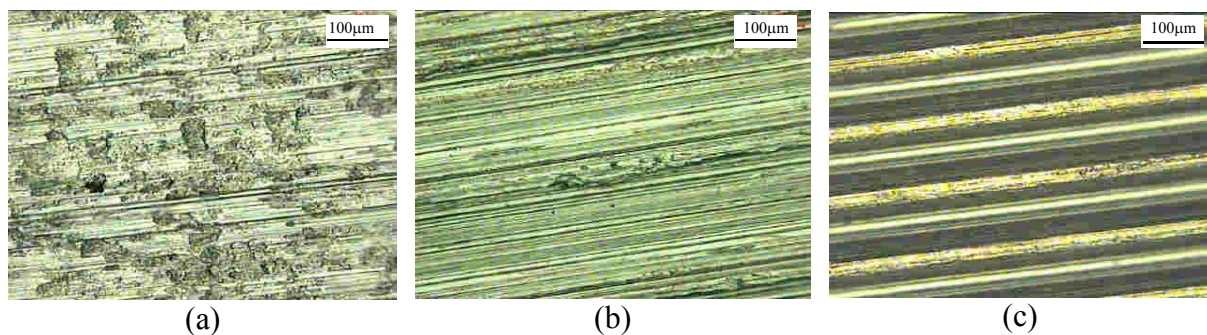


Figura 1. Superfícies usinadas com profundidade de corte de 0,1 mm dos aços (a) 303, (b) 304 e (c) 310. Microscopia óptica.

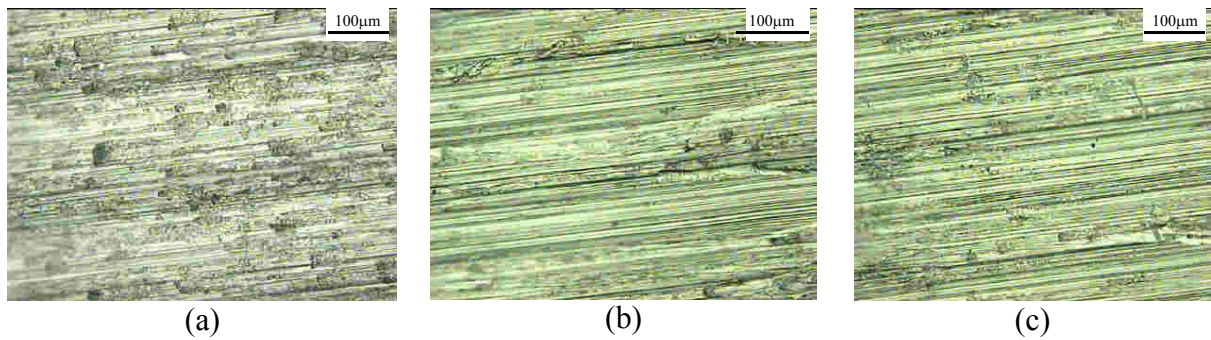


Figura 2. Superfícies usinadas com profundidade de corte de 0,6 mm dos aços (a) 303, (b) 304 e (c) 310. Microscopia óptica.

Os cavacos formados apresentaram-se sempre contínuos e serrilhados. A Figura 3 apresenta fotografias dos cavacos para os aços AISI 303, 304 e 310 para a profundidade de corte 0,4 mm. As fotos apresentadas na Figura 3 foram obtidas utilizando um microscópio estereoscópico.

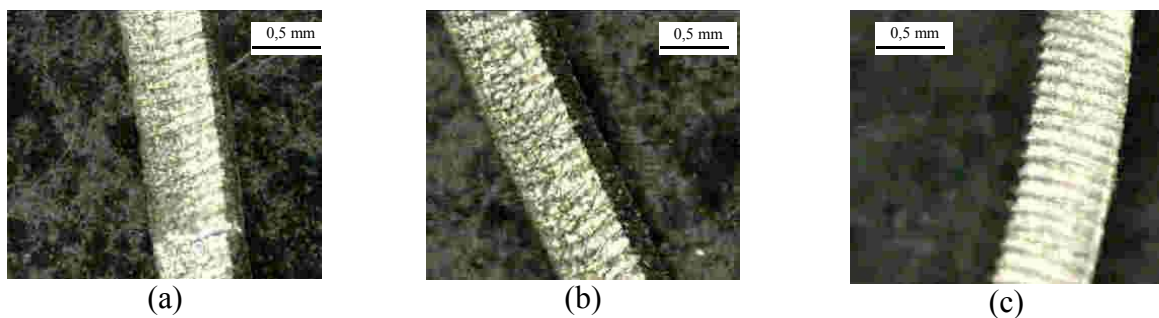


Figura 3. Cavacos dos aços (a) 303, (b) 304 e (c) 310. Profundidade de corte de 0,6 mm. Microscópio estereoscópico.

3.2 Rugosidade

Os resultados de rugosidade para os corpos de prova dos aços AISI 303, 304 e 310 com diferentes profundidades de corte são apresentados nas Figuras 4, 5 e 6.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos das rugosidades máximas R_t em função da profundidade de corte. Nos gráficos estão representadas linhas tracejadas que correspondem ao valor da rugosidade R_t gerada exclusivamente pela geometria da ferramenta. O valor de R_t geométrico foi estimado usando a expressão $f^2/8r^{(15)}$. O gráfico da rugosidade média R_a em função da profundidade de corte também é apresentado na Figura 4, no gráfico a linha pontilhada representa o valor de R_a geométrico, este valor foi estimado multiplicando-se o valor de R_t geométrico por 0,256⁽¹⁶⁾.

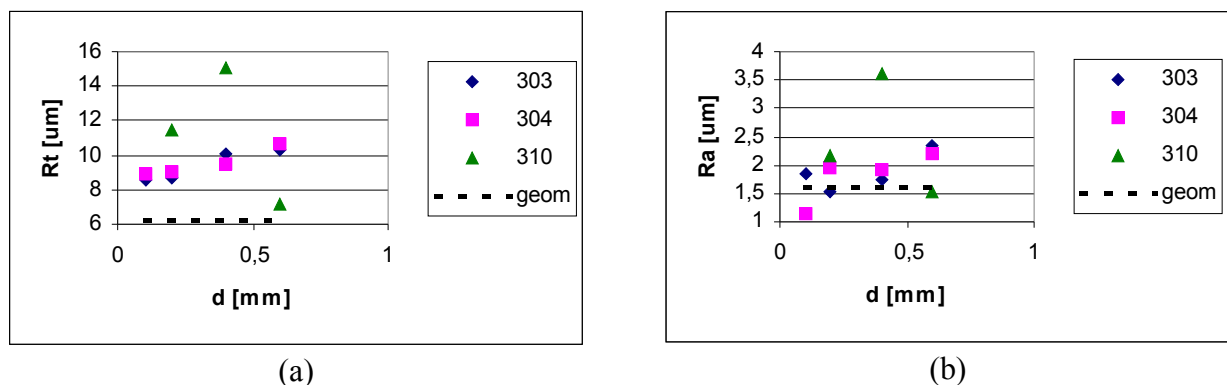


Figura 4. Rugosidades R_t e R_a em função da profundidade de corte. Linha tracejada corresponde ao valor das rugosidades geradas exclusivamente pela geometria da ferramenta (R_t).

Alguns perfis de rugosidade das superfícies usinadas são apresentados nas Figuras 5 e 6. Nessas figuras também são apresentadas as topografias dessas mesmas superfícies obtidas utilizando o programa SPIP (Scanning probe Image Processor).

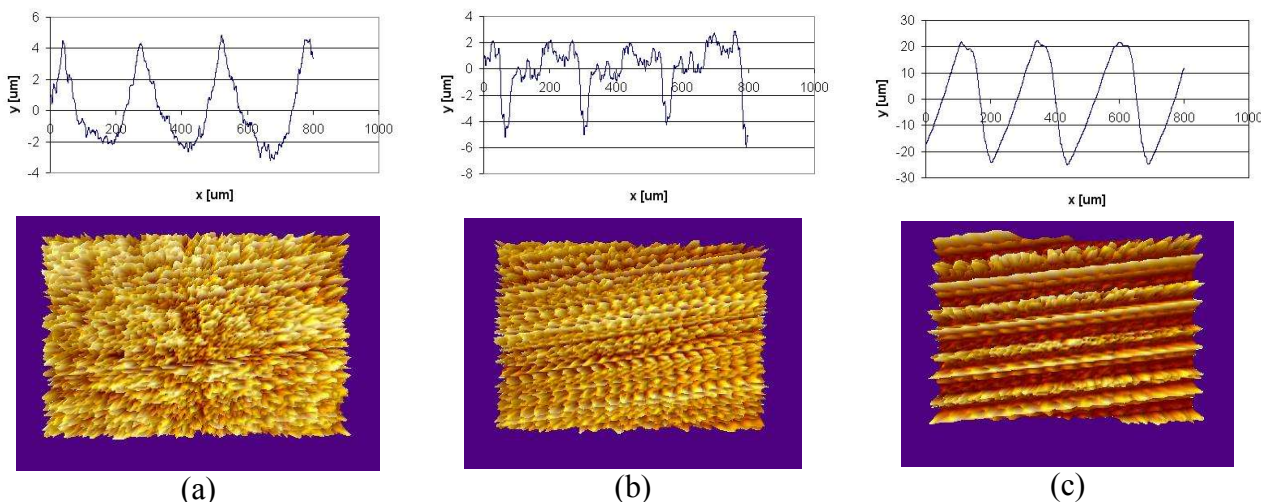


Figura 5. Perfil de rugosidade, avanço 0,2mm/volta e profundidade de corte de 0,1 mm, e as respectivas topografias dos aços (a) 303, (b) 304 e (c) 310.

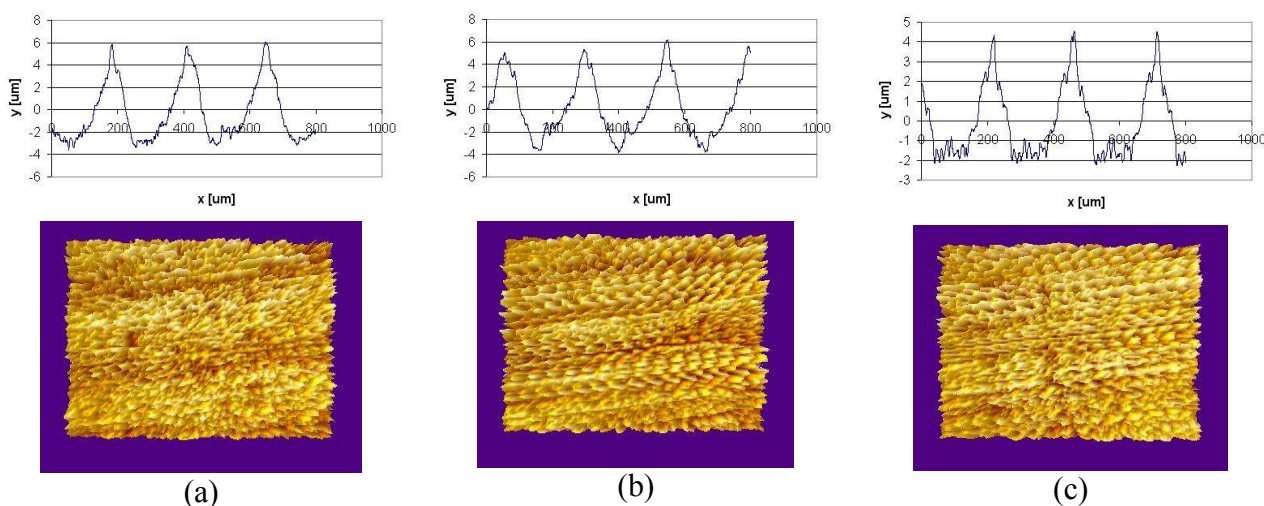


Figura 6. Perfil de rugosidade, avanço 0,6mm/volta e profundidade de corte de 0,2 mm, e as respectivas topografias dos aços (a) 303, (b) 304 e (c) 310.

3.3 Forças de corte

Os resultados de força de corte para os corpos de prova dos aços AISI 303, 304 e 310 com diferentes profundidades de corte são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados das forças de corte para os corpos de prova dos aços AISI 303, 304 e 310 com diferentes profundidades de corte (d) e avanço de 0,2 mm/volta.

| Aço | Força de Corte (N) | | | |
|-----|--------------------|------------|------------|------------|
| | d (0,1 mm) | d (0,2 mm) | d (0,4 mm) | d (0,6 mm) |
| 303 | 50 | 100 | 150 | 300 |
| 304 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| 310 | 50 | 200 | 250 | 350 |

3.3.1 Pressão específica de corte

A pressão específica de corte K_s foi calculada levando-se em conta a influência do raio de ponta da ferramenta r na geometria da seção de corte. A seção do cavaco na região do raio de ponta é

limitada pelo perímetro de dois arcos de circunferência de raio r e com distância entre centros igual ao avanço f (Figura 7). A Equação (2) proposta por Altintas⁽¹⁷⁾ permite determinar a variação da espessura do cavaco na região do raio de ponta. A Equação (2) serviu como base para deduzir as equações utilizadas para calcular a espessura média do cavaco h_m , Equação (3), e a área da seção do cavaco A_s com a Equação (4). Os limites de integração θ_i e θ_0 das Equações (3) e (4) são calculados respectivamente pelas Equações (5) e (6). O valor da pressão específica de corte é dado pela razão entre a força de corte e a área da seção transversal do cavaco. A Figura 8 mostra a forma da seção do cavaco formada nos ensaios de usinagem.

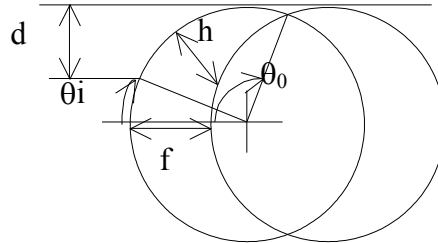


Figura 7. Seção do cavaco na região do raio de ponta limitada pelo perímetro de dois arcos de circunferência de raio r e com distância entre centros igual ao avanço f .

$$h(\theta) = r - \sqrt{f^2 + r^2 - 2fr \cos\left(\theta - \arcsen\left(\frac{f}{r} \sin(\theta)\right)\right)} \quad (2)$$

$$h_m = \frac{\int_{\theta_i}^{\theta_0} h(\theta) d\theta}{(\theta_0 - \theta_i)} \quad (3)$$

$$A_s = \int_{\theta_i}^{\theta_0} h(\theta) r d\theta \quad (4)$$

$$\theta_i = \arcsen\left(\frac{r-d}{d}\right) \quad (5)$$

$$\theta_0 = \pi - \arccos\left(\frac{f}{2r}\right) \quad (6)$$

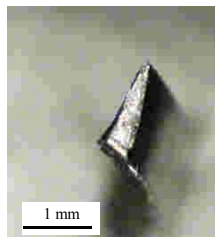


Figura 8. Forma da seção do cavaco.

Os valores da espessura média e da área da seção foram calculados por método numérico de integração do tipo trapezoidal com auxílio do programa Matlab porque não foi possível encontrar uma expressão integral para as Equações (3) e (4). Os valores da espessura de corte média, área da

seção do cavaco e pressão específica de corte para as diferentes condições de usinagem e materiais ensaiados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores da espessura de corte média, área da seção do cavaco e pressão específica de corte para as diferentes condições de usinagem e materiais ensaiados.

| d (mm) | h_m (mm) | A_s (mm ²) | 303 | 304 | 310 |
|--------|------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | | K_s (N/mm ²) | K_s (N/mm ²) | K_s (N/mm ²) |
| 0,1 | 0,072 | 0,032 | 2095 | 3543 | - |
| 0,2 | 0,092 | 0,055 | 2074 | 2165 | 2706 |
| 0,4 | 0,120 | 0,098 | 1846 | 2051 | 2359 |
| 0,6 | 0,130 | 0,138 | 1996 | - | 2395 |

A pressão específica de corte pode ser relacionada à espessura do cavaco usando a expressão empírica de Kienzle⁽¹⁸⁾. Neste modelo, a pressão específica de corte varia de forma exponencial com a espessura do cavaco. Os coeficientes K_{s1} e z do modelo de Kienzle foram determinados por regressão linear aplicada aos logaritmos de h_m e K_s . Na Figura 9 são apresentados os gráficos das curvas interpoladas ao lado do logaritmo dos pontos calculados apresentados na Tabela 4. Os valores de K_{s1} e z determinados por regressão dos três materiais ensaiados são apresentados na Tabela 5.

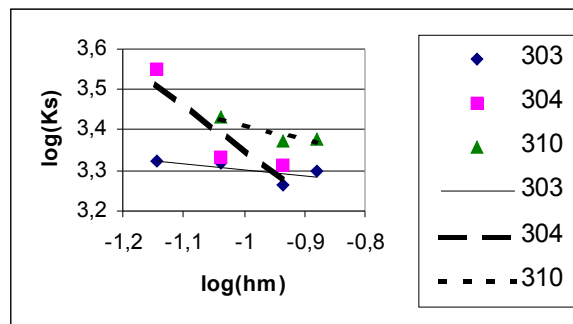


Figura 9. Logaritmo da pressão específica de corte (K_s) em função do logaritmo da espessura de corte (h_m).

Tabela 5. Coeficientes K_{s1} e z do modelo de Kienzle.

| Aço | K_{s1} (N/mm ²) | z |
|-----|-------------------------------|-------|
| 303 | 1439 | 0,143 |
| 304 | 164 | 1,140 |
| 310 | 1119 | 0,364 |

4. DISCUSSÃO

A discussão dos resultados será apresentada em uma seqüência próxima à utilizada no item 3. No entanto alguns comentários devem feitos antes dessa apresentação. É importante comentar que o torneamento dos corpos de prova dos aços AISI 303, 304 e 310 foram realizados com o raio de ponta da ferramenta. Essa é a condição que ocorre na prática para acabamento, onde são utilizadas pequenas profundidades de corte. Isso leva a uma dificuldade na avaliação da espessura do cavaco. A forma do cavaco que evidencia essa dificuldade foi apresentada na Figura 8.

4.1 Microscopia óptica

Os resultados apresentados na Figura 1 mostram características superficiais muito diferentes. Em especial, a superfície do aço AISI 310, obtida no ensaio usando profundidade de corte de 0,1 mm, apresentou uma condição bastante diferenciada, o mesmo não ocorreu em relação aos outros ensaios realizados. A hipótese feita é que isso pode ter sido causado por um efeito sinérgico entre a

pequena profundidade de corte, efeito do raio de ponta da ferramenta e do próprio comportamento mecânico do material, que apresenta elevada taxa de encruamento⁽¹⁹⁾. Para os demais ensaios o aço 303 foi o que apresentou características superficiais diferenciadas e aparentemente piores. Esse aço é o que apresenta maior teor de enxofre e é considerado de melhor usinabilidade. Essas características, provavelmente se devem à grande quantidade de sulfetos, que facilitam a quebra do cavaco, podendo ocorrer amassamento do mesmo junto à superfície e/ou arrancamento durante o processo de torneamento.

Nos demais ensaios as superfícies obtidas obedeceram a um padrão semelhante ao apresentado na Figura 2. Apenas o aço AISI 303 apresentou uma condição diferente em relação aos aços 304 e 310. Isso corrobora para estabelecer uma ligação entre os sulfetos e as características da superfície.

No que se refere aos cavacos, de um modo geral o tipo de cavaco formado foi de cisalhamento. A forma do cavaco, em especial no caso do aço 310, foi na forma de fita e helicoidal.

4.2 Rugosidade

Os valores de rugosidade obtidos, Ra e Rt, apresentaram valores crescentes com a profundidade de corte no caso dos aços AISI 303 e 304. Já o aço AISI 310 apresentou valores que não obedeceram a um padrão. A causa desse comportamento diferenciado não foi identificada, pois em princípio não deveria ocorrer. Os valores de Ra e Rt também ficaram acima do valor da rugosidade geométrica, como esperado. Esse comportamento só não foi observado no caso do aço AISI 304. Trabalho anterior⁽¹⁹⁾ utilizando esse mesmo aço, mostrou que para relações de avanço/profundidade de corte (f/d) em torno de 1 ocorrem grandes distorções devido ao estado de triaxial de tensões. Esse mesmo fenômeno deve ter ocorrido no ensaio realizado com profundidade de corte 0,1 mm.

No que se refere aos perfis de rugosidade apresentados nas Figuras 5 e 6, podemos fazer comentários semelhantes aos feitos no caso das superfícies apresentadas nas Figuras 2 e 3. Os ensaios realizados com profundidade de corte 0,1 mm apresentaram comportamento diferenciado em relação aos demais. A Figura 6 pode ser utilizada com um padrão de comportamento, mesmo para os ensaios realizados com profundidade de corte de 0,2 e 04 mm.

A utilização do software SPIP permitiu uma simulação da topografia do perfil de rugosidade medido, quando comparados com as superfícies usinadas. Essa simulação foi realizada com dados aproximados, mas complementa as informações dos resultados obtidos utilizando microscopia óptica e de rugosidade. Podem ser observadas as diferenças na topografia, em especial, nas superfícies usinadas do aço AISI 303, onde é mais difícil de ser observado o avanço.

4.3 Força de corte e pressão específica de corte.

Foi observado em todos os ensaios um aumento da força de corte com a profundidade de corte. Isso é esperado, pois houve um aumento na retirada de material. Outra observação importante é que deveria ser considerado o K_{s1} e z na integração para ser obtido um valor mais preciso.

Quanto ao diferente comportamento dos aços estudados: os aços inoxidáveis austeníticos apresentam elevado grau de encruamento, bem como podem apresentar a formação de martensitas induzida por deformação⁽⁶⁻⁹⁾. Esses fatores favorecem um pior acabamento superficial, entre outros problemas. O cálculo de Md 10/45 (°C), utilizando a Equação (1), mostra que o aço AISI 310 tem menor propensão à formação de martensita induzida por deformação que o aço 304 e por sua vez que o aço AISI 303. É importante comentar que o aço AISI 310 também apresenta teores bem mais elevados de elementos de liga, que afetam de forma significativa a movimentação e distribuição de discordâncias durante a deformação mecânica. Devido a esses fatores, mesmo apresentando valores iniciais de dureza muito próximos, os resultados de maiores forças de corte, no caso do aço AISI 310 podem ser explicados pelo seu elevado grau de encruamento. É importante mencionar, que as temperaturas nas regiões de deformação estão muito acima da temperatura ambiente. Além disso, os aços estudados são refratários. Deve haver um compromisso entre o tipo de aço, temperaturas alcançadas, encruamento e formação de martensita. As menores forças de corte medidas durante o torneamento do aço AISI 303 seriam explicadas pelo enxofre que propicia a formação de inclusões de sulfeto de manganês, o que facilita a quebra do cavaco, mesmo apresentando maior tendência à formação de martensitas induzidas por deformação. No caso do aço AISI 304, pode ser observado

na Figura 9 que o valor de z é muito negativo para o 304. Provavelmente, isso está ligado a mudança de comportamento identificada em trabalho anterior⁽¹⁹⁾. Para relações entre avanço e profundidade de corte (f/d) inferiores a 1 pode ser encontrado um estado triaxial de tensões.

5. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas baseadas nos resultados deste trabalho:

- Houve um aumento das forças de corte com a profundidade de corte para todos os aços estudados.
- O aço AISI 310 apresentou os maiores medidas de força de corte e o AISI 303 os menores.
- Embora os valores de rugosidade R_a e R_t não fossem muitos diferentes entre os aços AISI 303 e 304, o primeiro apresentou características muito diferentes na superfície usinada.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à FAPESP. Este trabalho foi realizado em grande parte com recursos de Projeto de Auxílio à Pesquisa FAPESP 03/05490. Os demais recursos e/ou equipamentos foram provenientes do LFS (Laboratório de Fenômenos de Superfície).

7. REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, M. S. et al. Formability evaluation of two austenitic stainless steels. **Mechanical Sciences and Engineering**, v. 26, n. 1, p. 47-55, 2004.
2. PECKENER, D. et al. **Handbook of Stainless Steels**. USA: McGraw Hill, 1977. Cap. 24.
3. AKASAWA, T et al. Effects of free-cutting additives on the machinability of austenitic stainless steel. **Journal of Materials Processing Technology**. v. 143, p. 66-71, 2003.
4. LACOMBE, P. et al. **Stainless Steels**. France: Les Editions de Physique Les Ulis, 1993.
5. PADILHA, A. F. Et al. **Aços inoxidáveis austeníticos microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1994.
6. HECKER, S. S Effects of strain state and strain rate on deformation-induced transformation in 304 stainless steel: Part I. Magnetic measurements and mechanical behavior. **Metallurgical Transactions**, v. 13, p.619-626, 1982.
7. HUANG, G.L. et al. Martensite formation, strain rate sensitivity, and deformation behavior of type 304 stainless steel sheet. **Metallurgical Transactions**, v. 20, p.1239-1246, 1989.
8. MURR, L.E. et al. Effects of strain state and strain rate on deformation-induced transformation in 304 stainless steel: Part I. Microstructural study. **Metallurgical Transactions**, v. 13, p.627-635, 1982.
9. KRAUSS, G. **Steels: heat treatment and processing principles**. USA: ASM International , 1989.
10. TEKINER, Z. et al. Investigation of cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel. **Materials & Design**. v. 25, p.507-513, 2004.
11. KORKUT, I et al. Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic stainless steel. **Materials & Design**. v. 25, p.303-305, 2004.
12. JANG, D. Y. et al. A. Study of the correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop on line roughness measuring technique in hard turning. **International Journal of Machine Tools & Manufacturing**, v. 36, p. 453-464. 1996.
13. M'SAOUBI, R. et al. Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steel. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 96, p. 225-233, 1990.
14. FANG, X. D. et al. An investigation of adhering layer formation during tool wear progression in turning of free-cutting stainless steels. **Wear**, v. 197, p. 169-178, 1996.

15. DINIZ A.E. et al. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: mm editora, 1999.pp.122.
16. HALEVI G. et al. **Principles of Process Planning**. London: Chapman &Hall, 1995, .p. 178.
17. ALTINTAS Y. **Manufacturing Automation**. USA: Cambridge Press, 2000, p. 30-33.
18. FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**.São Paulo: Edgard Blücher, 1977.
19. MACHADO, I. F. et al. An investigation of the effect of machining parameters on the strain induced martensite formation during turning in an austenitic stainless steel In: 17 th International Congress of Mechanical Engineering, 2003, São Paulo. **17 th International Congress of Mechanical Engineering: COBEM 2003 - São Paulo, 2003.**

THE RELATIONSHIP BETWEEN MICROSTRUCTURE, CHIP FORMATION, CUTTING FORCE AND ROUGHNESS IN THE TURNING PROCESS OF SOME AUSTENITIC STAINLESS STEELS.

Izabel Fernanda Machado.

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: machadoi@usp.br

João Paulo Pereira Marcicano.

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: marcican@usp.br

Luciano Souza

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: lucianosz@maua.br

Amauri Hassui

Departamento de Eng. Mecatrônica e Sistemas Mecânicos – EPUSP. Av. Prof. Melo Moraes, 2231 05508-900. Email: ahassui@usp.br

Abstract. *Stainless steels are iron-base alloys containing at least 12%wt of Chromium. They are classified as ferritic, austenitic, martensitic, duplex (ferritic-austenitic) and precipitation hardening. Each type of stainless steel has its own chemical composition, microstructure and mechanical properties. The most frequently used stainless steel consumption is the austenitic type. However austenitic stainless steels are considered to have low machinability as compared to low carbon steels. The low machinability of austenitic stainless steels is related to their high ductility and toughness, high work hardening rate and low thermal conductivity. Besides that, the formation of strain-induced martensite can occur during machining. The main objective of this work is to discuss the machining behavior of three different types of austenitic stainless steels as related to chip formation, cutting force and roughness. The three types of austenitic stainless steel used were: AISI 303, 304 e 310. These steels were turned with different cutting depths and the same feed. The results showed differences in cutting forces measurements and in the turned surface. On the other hand, the roughness was about the same for most of the tests.*

Key-words: *Turning, Cutting force, Austenitic stainless steel, Roughness.*