

TORNEAMENTO DE UM AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX FUNDIDO – VIDA DA FERRAMENTA, EQUAÇÃO DE KIENZLE E RUGOSIDADE

Janaina Geisler Corrêa, janainageisler@hotmail.com¹

Daniel Slongo Gonzales, dani.slgonzalez@gmail.com¹

Emílio Rudolfo Wrasse, emilio_wrasse@hotmail.com¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

Álison Rocha Machado, alisson.machado@ufu.br^{2,3}

¹UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), CEP: 88040-900, Florianópolis/SC, Brasil

²UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Laboratório de Ensino e Pesquisas em Usinagem (LEPU), CEP 38400-902, Uberlândia/MG, Brasil

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), CEP 80215-901, Curitiba/PR, Brasil

Resumo: Os aços inoxidáveis duplex são materiais de difícil usinagem, devido a sua baixa condutividade térmica, elevado grau de encruamento e alta tensão de ruptura. Portanto, estudar a usinabilidade desses materiais é importante para quem necessita processá-los. Assim, o objetivo deste trabalho é levantar a usinabilidade do aço inoxidável duplex H91 fundido, através do levantamento da vida da ferramenta, dos coeficientes da equação de Kienzle e do perfil de rugosidade da peça durante o processo de torneamento com ferramentas de metal-duro triplo revestida por CVD ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$), na condição a seco. Para o teste de vida, o avanço (f) e a profundidade de corte (a_p) foram mantidos constantes em 0,3 e 0,5mm, respectivamente, enquanto que a velocidade de corte (v_c) variou (100, 150 e 200m/min). Os coeficientes de Kienzle foram determinados após a medição das componentes da força de usinagem através de uma plataforma piezelétrica. Nestes testes, os parâmetros de corte a_p e v_c foram mantidos fixos em 0,5mm e 100m/min, respectivamente, enquanto o avanço variou (0,2; 0,25; 0,35, 0,40 e 0,45mm). A rugosidade da superfície da peça foi mensurada nestes ensaios. A vida da ferramenta foi curta em todas as v_c estudadas, sendo predominante o desgaste abrasivo na ferramenta de corte. Os coeficientes da equação de Kienzle encontrados foram: $k_{cl,1}(\text{N/mm}^2)=1673$ e $1-mc=0,74$. Conforme esperado, a rugosidade apresentou crescimento com o aumento do avanço, porém como a ferramenta possuía aresta alisadora (wiper) os valores médios de R_a foram relativamente baixos, entre 0,55 e 1,30 μm , para o menor e maior avanço, respectivamente.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Duplex, Vida da Ferramenta, Equação de Kienzle, Rugosidade, Torneamento.

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis foram desenvolvidos durante as primeiras décadas do século XX no Reino Unido e Alemanha, sendo os primeiros tipos os austeníticos e ferríticos. A primeira referência aos aços inoxidáveis duplex apareceu em 1927, quando Bain e Griffith publicaram dados a respeito de uma microestrutura ferrítica-austenítica. A partir de então, os estudos acerca desse material foram sendo impulsionados principalmente pela forma com que este aço resiste a corrosão e suas características mecânicas superiores (Gunn, 2003).

Os aços inoxidáveis duplex ou ferrítico-austenítico possuem essas duas fases, sendo a ferrita cúbica de corpo centrado (CCC) e a austenita cúbica de face centrada (CFC) (Chen *et al.*, 2012). Esses aços são caracterizados por uma combinação favorável das propriedades dos aços inoxidáveis ferríticos e austeníticos, como elevada resistência mecânica, boa tenacidade, resistência a corrosão em diversos meios e excelente resistência à corrosão sob tensão e à fadiga (Silva e Mei, 2010).

Esse aço está sendo cada vez mais utilizado na indústria, com aplicações na área de construção, indústria marinha e de processos, química, de óleo e de energia (Weibull, 1987; Olsson; Snis, 2007; Nomani *et al.*, 2013). Entretanto, os aços inoxidáveis duplex ainda necessitam de estudos quanto ao comportamento na usinagem, pelo fato de suas aplicações serem relativamente novas. Sabe-se que características, como altos limite de escoamento e taxa de encruamento e baixa condutividade térmica, os tornam materiais com baixa usinabilidade (IMOA, 2012). Portanto, é importante ensaiar os aços inoxidáveis duplex (independente da classe), em diferentes condições de corte, utilizando diferentes classes de ferramentas, a fim de que se levantem dados suficientes para permitir estimar parâmetros de processo que possam maximizar desempenho na usinagem.

Com isso, o presente trabalho tem como objetivo principal contribuir para o ramo de manufatura do aço inoxidável duplex, por meio de ensaios de usinagem do aço inoxidável duplex H91 fundido, muito utilizado no setor de óleo e gás, com ferramenta de metal-duro triplo-revestida por CVD ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$), com geometria de aresta wiper, no torneamento a seco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura (1) mostra a microestrutura do aço inoxidável duplex H91 após ataque com reagente glicerrégia. A microestrutura foi analisada em um estéreo microscópio LEICA BS-3300. De acordo com a figura, percebe-se claramente a matriz de ferrita (branca) com grãos de austenita em cor escura.

A dureza do material foi medida em um microdurômetro SHIMADZU, modelo HVM 2000, através de 10 indentações. O material apresentou uma dureza Vickers média de 256 HV.

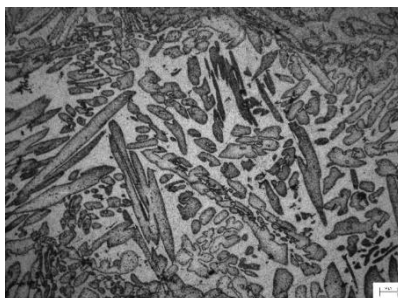


Figura 1. Microestrutura dos aços inoxidáveis duplex H91.

Tanto os testes de medição de força de usinagem quanto os ensaios de vida da ferramenta foram desenvolvidos no torno CNC de modelo Heynumat 10U, do fabricante Heyligenstaed, disponível na UFSC. A ferramenta utilizada para os testes foi uma CNMX 120708-M4MW IC6025 (classe ISO M15-M35), com revestimentos CVD (TiCN+Al₂O₃+TiN), com geometria de aresta *wiper*. O suporte usado foi de geometria PCLNR 2525M - 12X. Ambos, ferramenta e suporte, foram fabricados pela ISCAR.

As condições de corte para o ensaio de vida e o ensaio de medição das componentes da força de usinagem estão dispostos na Tab. (1), sendo que para ambos não houve qualquer meio de lubri-refrigeração. A realização dos ensaios a seco foi utilizada para acelerar os testes, devido a limitação de material disponível. O material foi ensaiado na condição com e sem rechupe (ver item 2.1).

Tabela 1. Condição de corte para os ensaios

Ensaio	Condição	v_c (m/min)	f (mm)	a_p (mm)
Vida da ferramenta	Com rechupe	100	0,30	0,50
		150		
		200		
	Sem rechupe	100		
		150		
		200		
Medição de Força	Sem rechupe	100	0,20	0,50
			0,25	
			0,30	
			0,35	
			0,40	
			0,45	

2.1. Ensaio de Vida da Ferramenta e Caracterização do Desgaste

O ensaio de vida da ferramenta foi realizado em duas baterias de testes nas mesmas condições de corte, conforme Tab. (1). A primeira bateria de testes foi realizada com o material contendo rechupe proveniente do processo de fundição, simulando um corte intermitente. Como o processo de corte se mostrou bastante agressivo à ferramenta de corte, o critério de fim de vida utilizado foi a falha catastrófica da ferramenta e foram feitas uma réplica para cada condição. Para a segunda bateria, todo o comprimento contendo o rechupe foi removido e os testes repetidos. Nesse caso foi utilizado como critério de fim de vida um volume de material removido de 20.000mm³ e não foi feita réplica. Vale ressaltar que esse valor de volume foi estipulado baixo por não haver material suficiente para a realização de mais ensaios. A Figura 2 mostra o material com o rechupe, que foi usinado conforme as condições de corte estipuladas na Tab. (1).

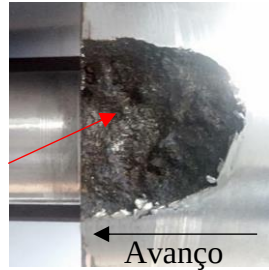


Figura 2. Foto do rechupe presente no material de teste.

Para caracterização dos mecanismos de desgaste foram utilizados dois modelos de microscópio. Para medir o desgaste durante o teste de vida foi empregado o estereomicroscópio óptico modelo STEMI SV8, fabricado pela Zeiss, com sistema de aquisição de imagens Leica DFC-280. O outro foi o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo TM3030 fabricado pela HITACHI, com capacidade de ampliação de até 30.000x e equipado com EDS para microanálise e mapeamento de elementos químicos. O MEV foi empregado para auxiliar na determinação dos mecanismos que estavam presentes e na medição, com precisão da altura do desgaste de flanco.

2.2. Ensaio de Medição das Componentes da Força de Usinagem

O ensaio de medição das componentes de força de usinagem em função da variação do avanço foi feito com o objetivo de determinar os coeficientes de *Kienzle*. A aquisição dos sinais de força foi realizada por meio de um sistema composto por uma plataforma piezelétrica da marca *Kistler Instrument AG* modelo 9257A, a qual possui sensores para medir as três componentes ortogonais de força, F_x , F_y e F_z . Amplificadores *Kistler 5011* foram utilizados para viabilizar a leitura da variação de tensão fornecida pelos cristais piezelétricos. Para a conversão dos sinais analógicos vindos dos amplificadores foi utilizada uma placa de aquisição *National Instruments PCI-MIO-16E-1*, um microcomputador e um software de aquisição de dados, armazenando os sinais obtidos e possibilitando sua posterior análise e tratamento. Com o auxílio de uma planilha Excel, os dados foram tratados, gerando gráficos que permitiram determinar os coeficientes de *Kienzle*.

2.3. Medição da Rugosidade e Caracterização do Desgaste

A medição da rugosidade foi feita considerando a superfície da peça utilizada nos ensaios de medição das componentes de força da usinagem. Foi utilizado o Perfilômetro Taylor Hobson Surtronic S-116. Foram efetuadas 3 medições para cada uma das seis condições de teste (ver Tab. [1]) num total de 18 medições. Os parâmetros utilizados para análise foram: R_a , R_z e R_t . Para efeito de comparação do R_a de uma ferramenta com aresta alisadora com uma ferramenta convencional, foi utilizada a fórmula descrita em Machado *et al.* (2011) do R_a teórico para o processo de torneamento quando o avanço é menor que o raio de quina (r_e) conforme Eq. (1):

$$R_a = f^2 / (31,2 * r_e) \quad (1)$$

Sendo que:

R_a = Desvio médio aritmético do perfil de rugosidade; f = avanço (mm); r_e = raio de quina da ferramenta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Vida da Ferramenta

A Figura (3a) mostra a evolução do desgaste VB_B em relação ao volume de material removido durante a usinagem da peça com a presença de rechupe. Pode-se observar que para um pequeno volume de material o desgaste inicial é acima de 0,30mm para as velocidades de corte de 100 e 200m/min. As retas que representam as velocidades de 100 e 150m/min apresentam praticamente a mesma inclinação, e esta é maior do que para 200m/min, ou seja, a maior velocidade de corte testada possui uma menor progressão de desgaste. A Figura (3b) mostra o VB_B quando o volume de material removido foi mantido fixo em 30.000mm³, uma medida comum a todas as velocidades de corte avaliadas. De acordo com o gráfico as velocidades de 150 e 200m/min apresentam valores de VB_B bem próximos, porém com uma discrepância maior em relação à menor velocidade de corte. Isto evidencia que na usinagem a seco deste material é mais favorável trabalhar em velocidades de corte mais elevadas, pois quanto maior a velocidade, maior é o calor gerado na zona de corte e menor a resistência de cisalhamento do material (Klocke, 2011).

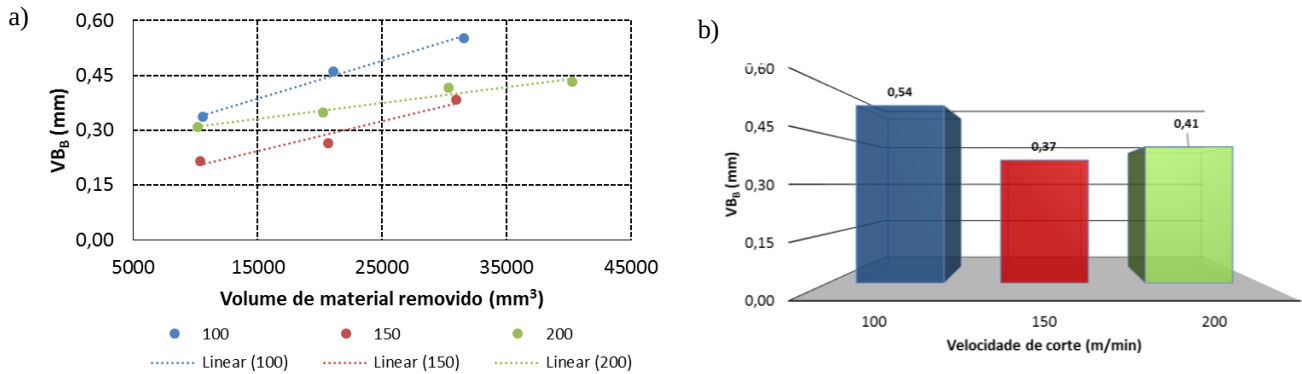


Figura 3. Em a) Evolução do desgaste VB_B pelo volume de material removido para o ensaio do material com rechupe. Em b) VB_B para um volume de material removido de 30.000 mm^3 .

A Figura (4a) mostra a evolução do desgaste VB_B em relação ao volume de material removido durante a usinagem da peça sem a presença de rechupe. Pode-se verificar um comportamento de evolução de desgaste similar ao da Fig. (3a), ocorrendo um VB_B maior quando a velocidade de corte foi de 100m/min. Além disso, a reta da velocidade de 150m/min apresenta inicialmente o menor desgaste e posteriormente se cruza com a reta de 200m/min, em uma progressão maior de desgaste, porém, com resultados bastante próximos. A Figura (4b) mostra o VB_B para um volume de material removido de 20.000 mm^3 comum a todas as velocidades analisadas. Este VB_B foi medido com auxílio do MEV para se ter uma maior confiabilidade dos valores medidos. A figura mostra que o VB_B para as velocidades de 150 e 200m/min são bem próximos, enquanto que, em relação ao VB_B do ensaio com velocidade de 100m/min, apresentam uma diferença maior. O mesmo comportamento foi encontrado quando foi usinada a peça com rechupe.

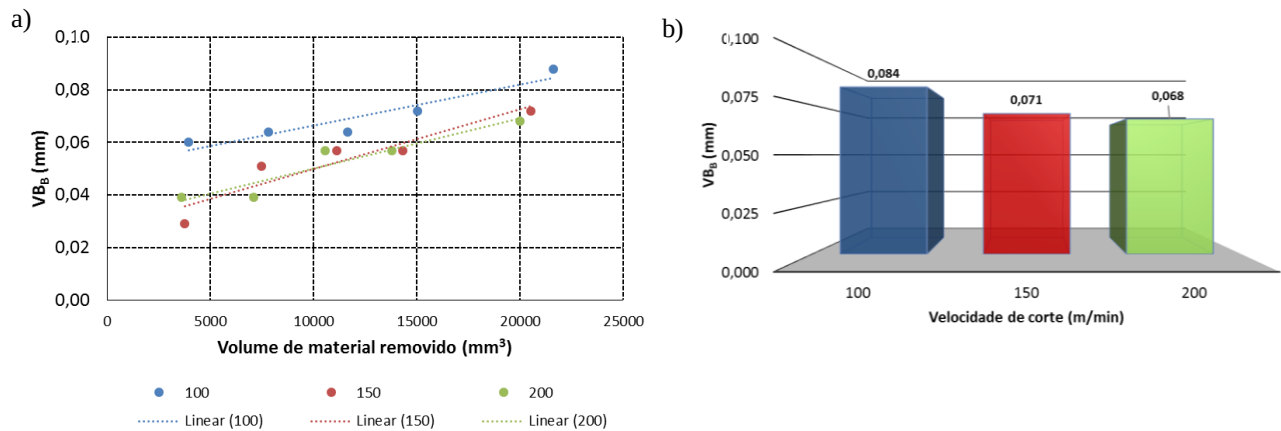


Figura 4. Em a) Evolução do desgaste VB_B pelo volume de material removido sem a presença do rechupe. Em b) VB_B para um volume de material removido de 20.000 mm^3 .

A Figura (5) mostra o comparativo de desgaste (VB_B) para os ensaios com e sem a presença de rechupe na peça, para um volume de material removido de 20.000 mm^3 , comum a todos os ensaios. De acordo com a figura, em todas as velocidades de corte analisadas, o desgaste foi severo para a ferramenta quando esta usinou a peça com rechupe.

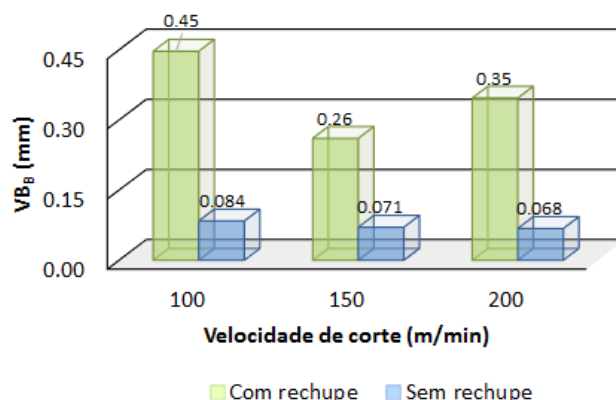


Figura 5. Comparativo de desgaste VB_B na usinagem da peça com e sem rechupe, para um volume de material removido de 20.000mm^3 .

A Figura (6) apresenta os mecanismos de desgaste presentes nas ferramentas de corte que usinaram o material com e sem rechupe. As ferramentas que usinaram o material com rechupe tiveram a mesma característica de desgaste, com grandes lascamentos, desgaste adesivo próximo à borda (seta amarela), desgaste difusivo no substrato (seta azul) e desgaste abrasivo no revestimento (seta branca) na figura. Na ferramenta sem rechupe, que usinou na velocidade de 100m/min, verifica-se a presença do desgaste abrasivo no revestimento, e adesivo no substrato. O mesmo pode ser observado na ferramenta que usinou a 200m/min, porém há uma área lisa entre a região com desgaste adesivo e a região do revestimento com desgaste abrasivo. Esta área lisa é característica do mecanismo de desgaste por difusão, encontrado geralmente em velocidades de corte maiores, devido às maiores temperaturas geradas. Esses mecanismos foram encontrados por outros autores, como Selvaraj *et al.* (2014), que encontraram a presença de desgaste abrasivo quando usinaram um aço inoxidável Duplex 4^A, com ferramenta de metal-duro revestido com TiC/TiCN. Koyee *et al.* (2014), ao usinar um aço inoxidável Duplex EN1.4462, relataram a presença de desgaste adesivo, utilizando uma ferramenta de metal-duro revestido com TiCN- Al_2O_3 -TiN.

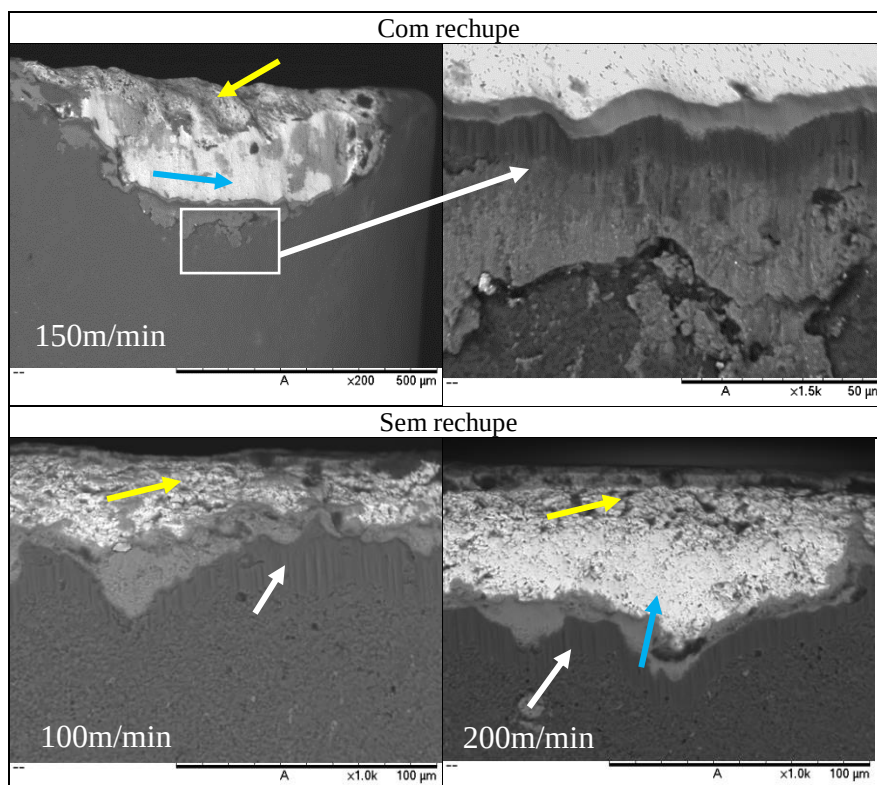


Figura 6. Detalhes das superfícies desgastadas das ferramentas que usinaram o material com e sem rechupe, que permitem identificar os mecanismos presentes.

3.2. Componentes da Força de Usinagem e Coeficientes de Kienzle

A Figura (7) mostra o comportamento das componentes da força de usinagem com a variação do avanço. Pode-se observar que quanto maior o avanço maiores são as forças de corte e de avanço. Isso porque com o aumento da área da seção de corte ocorre um aumento quase linear na força de corte (Kone *et al.*, 2013; Wagh *et al.*, 2013; Di; Zhuang, 2010; Corrêa, 2014). Já a força passiva quase não se altera em relação ao aumento do avanço, se for considerado o desvio padrão da mesma. Ainda analisando a força de corte e força de avanço, cabe salientar que, apesar da força de corte ser maior do que a força de avanço em todas as condições testadas, considerando os desvios padrões, estas alcançaram valores bem próximos. Provavelmente o maior contato causado pela aresta alisadora com a superfície da peça possa ter acarretado um aumento nas forças de avanço.

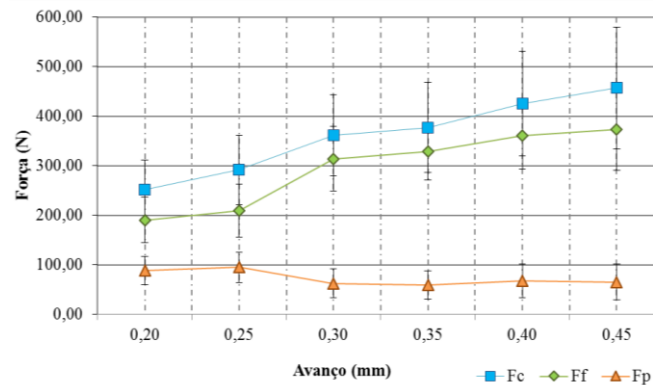


Figura 7. Em a) Componentes da força de usinagem com a variação do avanço.

A Figura (8a) mostra o gráfico bi-logaritmo construído para obtenção dos coeficientes de Kienzle. De acordo com a equação da reta gerada, quando $x=0$ o $k_{c1.1} = 1673$ e $1-mc = 0,74$. Com isso a equação de Kienzle fica definida como a Eq. (2) :

$$F_c = 1673 * b * h^{0,74} \quad (2)$$

Sendo que:

F_c = Força de corte (N); b = largura de corte (mm); h = espessura de corte (mm)

Com esta fórmula foi possível calcular a força de corte, sendo representada na Fig. (8b) pela reta em vermelho , enquanto que a reta em azul é a força mensurada, mostrando que a fórmula se mostra eficiente para o cálculo da força quando se utilizam parâmetros de corte próximos aos utilizados nos ensaios.

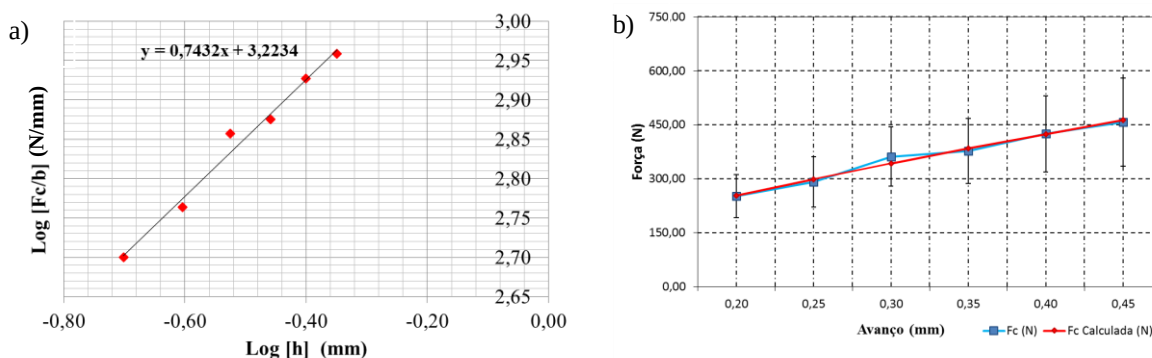


Figura 8. Em a) Gráfico do cálculo dos coeficientes de Kienzle. Em b) Força de corte calculada versus força de corte medida.

3.3. Rugosidade

A Figura (9a) mostra o parâmetro de rugosidade R_a medido versus o R_a calculado teoricamente (considerando somente o raio de 0,8, sem aresta alisadora). De acordo com a figura a aresta alisadora é muito eficiente em diminuir a

rugosidade da superfície, visto que está abaixo do valor calculado para uma ferramenta sem aresta alisadora. Conforme aumentou o avanço, aumentaram também os valores de R_a , porém em uma proporção bem menor do que os teóricos, que apresentam um aumento em torno de 500% se comparado o avanço de 0,20mm com o de 0,40mm. Já com a aresta *wiper* o aumento foi em torno de 230%, comparando-se os valores de rugosidade para os mesmos avanços de 0,20mm e 0,40mm. Além disso, se forem comparados o valor teórico da aresta convencional com o valor medido da aresta alisadora, no menor avanço (0,20mm) e no maior avanço (0,45mm), observa-se um valor maior para a rugosidade teórica convencional de aproximadamente 280% e 630%, respectivamente, para a rugosidade teórica convencional. Estes resultados mostram que com a aresta alisadora é possível se trabalhar a uma taxa maior de remoção de material através do aumento do avanço, sem afetar consideravelmente o acabamento da superfície.

A Figura (9b) mostra o comportamento de R_t e R_z conforme o aumento do avanço. Pode-se verificar que a partir do avanço de 0,30mm os valores de ambos parâmetros de rugosidade se tornam elevados.

D'Addona e Raykar (2016) realizaram o torneamento de materiais endurecidos utilizando insertos WNMG 06 04 08 MT, WNMG 06 04 12 MT convencionais e com geometria *wiper* nos avanços 0,08; 0,15 e 0,20mm e obtiveram resultados de rugosidade aproximadamente 30% menores para os insertos *wiper*. Já Zhang e Liu (2016) constatarem que no torneamento de titânio com inserto CNMG 12 04 08, para avanços entre 0,3mm e 0,5mm a utilização de um inserto *wiper* acarretou em diminuição do R_a e R_z para menos da metade do que quando utilizaram um inserto convencional.

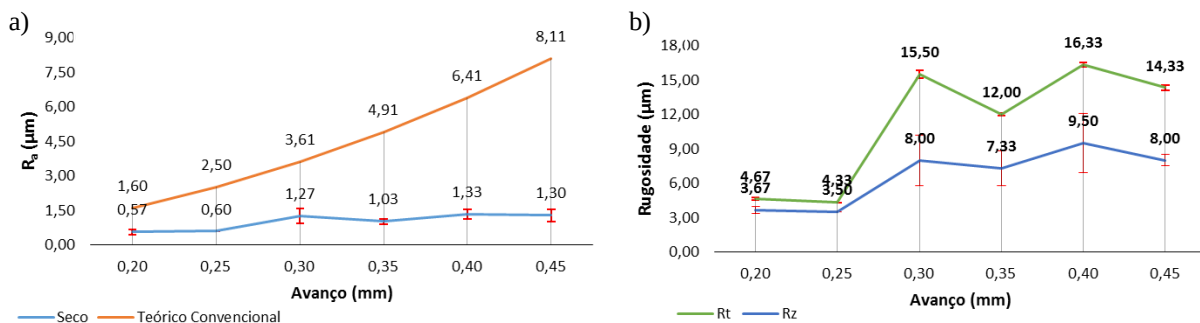


Figura 9. Em a) Gráfico do R_a medido versus o calculado em relação ao avanço. Em b) Gráfico de R_t e R_z em relação ao avanço.

4. CONCLUSÕES

A condição de corte que apresentou o maior volume de corte usinado com o menor VB_B foi quando usinou a peça sem rechupe, nas maiores condições de corte delineadas neste estudo ($v_c = 200\text{m/min}$, $a_p = 0,5\text{mm}$, $f = 0,30\text{mm}$). Porém para se ter uma maior certeza acerca dos resultados, seriam necessários mais testes visto que a falta de material impediu a realização do ensaio até o critério e fim de vida estabelecido para o torneamento da peça na condição sem rechupe.

Em todas as condições de corte, quando a usinagem da peça com rechupe resultou em maiores VB_B por volume de corte em comparação com a peça sem rechupe.

Os mecanismos de desgaste predominantes em todas as condições de corte foram o desgaste abrasivo e adesivo. Na maior velocidade de corte a difusão também se fez presente.

Os coeficientes de equação de Kienzle foram definidos como $k_{c1.1} = 1673$ e $1 - m_c = 0,74$, para uma profundidade de corte de 0,5mm e uma velocidade de corte de 100m/min.

A aresta alisadora se mostrou eficiente em diminuir a rugosidade da superfície, mesmo com avanços elevados. Para um avanço de 0,20mm o R_a obtido foi de 0,57 μm e para o avanço de 0,40 foi de 1,33 μm , o R_t foi de 4,67 μm e 14,33 μm , e o R_z foi de 3,67 μm e 8,00 μm , respectivamente para o menor e maior avanço.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes empresas e instituições: Metalúrgica Spillere LTDA, ISCAR Brasil, CNPq, CAPES, LMP – UFSC, CERMAT – UFSC, LCM – UFSC, pelo suporte técnico e financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- Chen, L., Yuan, F. P., Jiang, P., Wu, X. L., 2012, “ Mechanical properties and nanostructures in a duplex stainless steel subjected to equal channel angular pressing”, Materials Science and Engineering A, Vol. 551, pp. 154-159.
- Corrêa, J. G., 2014, “Usinabilidade de aços inoxidáveis martensíticos aplicados na indústria de petróleo”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

- D'addona, D. M., Raykar, S. J., 2016, "Analysis of surface roughness in hard turning using wiper insert geometry", 48th CIRP Conference on MANUFACTURING SYSTEMS, Naples, Italy, pp. 841-846.
- Di, W. U., Zhuang, L. I., 2010, "A new PH-free machinable austenitic stainless steel", Journal of Iron and Steel Research International, Vol. 17, pp. 59-63.
- Gunn, R. N., 1997, "Duplex stainless steel: microstructure, properties and applications", 1º ed., Abington Publishing, Cambridge, pp. 205.
- Internacional Molybdenum Association, 2012, "Practical guidelines for the fabrication of duplex stainless steel", 1º ed., IMOA, Londres, pp. 64.
- Klocke, F., 2011, "Manufacturing Processes 1: Cutting", Editora Springer, Londres, pp. 504.
- Kone, F., Czarnota, C., Haddag, B., Nouari, M., 2013, "Modeling of velocity-dependent chip flow angle and experimental analysis when machining 304L austenitic stainless steel with groove coated-carbide tools", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 213, pp. 1166-1178.
- Koyee, R. D., Eisseler, R., Schmauder, S., 2014, "Application of Taguchi coupled fuzzy multi attribute decision making (FMADM) for optimizing surface quality in turning austenitic and duplex stainless steel", Measurement, Vol. 58, pp. 375-386.
- Machado, A.L., Abrão, A.M., Coelho, R. T., Silva, M. B., 2011, "Teoria da usinagem dos metais", 2 ed., Editora Edgard Blucher, São Paulo, pp. 371.
- Nomani, J., Pramanik, A., Hilditch, T., Littlefair, G., 2013, "Machinability study of first generation duplex (2205), second generation duplex (2507) and austenite stainless steel during drilling process", Wear, Vol. 304, pp. 20-28.
- Olsson, J., Snis, M., 2007, "Duplex – A new generation of stainless steels for desalination plants", Desalination, Vol. 205, pp. 104-113.
- Selvaraj, D.P., Chandramohan, P., Mohanraj, M., 2014, "Optimization of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry turning process using Taguchi method", Measurement, Vol. 49, pp. 205-215.
- Silva, A. L. V. C.; Mei, P. R., 2010, "Aços e ligas especiais", 3 ed., Editora Blucher, São Paulo, pp. 646.
- Wagh, S. S., Kulkarni, A. P., Sargade, V. G., 2013, "Machining studies of austenitic stainless steel (AISI 304) using PVD cathodic arc evaporation (CAE) system deposited AlCrN/TiAlN coated inserts", Procedia Engineering, Vol. 64, pp. 907-914.
- Weibull, I., 1987, "Duplex stainless steel and their application, particularly in centrifugal separators-Parte A: History & Development", Materials & Design, Vol. 8, n. 01, pp. 35-40.
- Zhang, P., Liu, Z., 2016, "Modeling and prediction for 3D surface topography in finish turning with conventional and wiper inserts", Measurement, vol. 94, pp.37-45.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

TURNING DUPLEX STAINLESS STEEL CAST – TOOL LIFE, KIENZLE EQUATION AND SURFACE ROUGHNESS

Janaina Geisler Corrêa, janainageisler@hotmail.com¹

Daniel Slongo Gonzales, dani.slgonzalez@gmail.com¹

Emílio Rudolfo Wrasse, emilio_wrasse@hotmail.com¹

Rolf Bertrand Schroeter, rolf.schroeter@ufsc.br¹

Álisson Rocha Machado, alisson.machado@ufu.br^{2,3}

¹UFSC, Federal University of Santa Catarina, CEP: 88040-900, Florianópolis/SC, Brazil

²UFU, Federal University of Uberlândia, CEP 38400-902, Uberlândia/MG, Brazil

³ PUC-PR, Pontifical Catholic University of Paraná, CEP 80215-901, Curitiba/PR, Brazil

Abstract: Duplex stainless steels are difficult to machining materials because of their low thermal conductivity, high workhardening degree and high tensile stress. Therefore, studying the machinability of these materials is important for those that regularly use them. The objective of this work is to raise the machinability of the duplex stainless steel cast H91 through the tool life test, Kienzle coefficients and the workpiece surface roughness in turning process with CVD triple-coated carbide tools ($\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$), in dry condition. For the tool life tests, the feed rate and the depth of cut were kept constant in 0.3 e 0.5mm, respectively, while the cutting speed varied (100, 150 e 200m/min), and the maximum cutting length being set at 85 mm. The Kienzle coefficients were determined after the measurement of the components of the machining force by a piezoelectric platform. In these tests, the depth of cut and the cutting speed were kept constant in 0.5mm and 100m/min, respectively, while the feed rate was varied (0.20; 0.25; 0.30;0.40 e and 0.45mm). The surface roughness of the workpiece was measured in these tests. The tool life was short at all cutting speeds studied and abrasion was the main wear mechanism prevailing at the flank surface of the tools. The coefficients of the Kienzle equation were: $k_{c1.1}(\text{N/mm}^2)=1673$ and $1-mc=0.74$. As expected, the surface roughness increased when the feed rate was increased, but as the tool edge has the wiper geometry the mean values were relatively low, between 0.55 and 1.30 μm , for the smallest and largest feed rate, respectively.

Keywords: Duplex Stainless Steel, Tool Life, Kienzle Equation, Surface roughness, Turning