

EFEITO DO GRAU DE RECOBRIMENTO DO REBOLO SOBRE A QUALIDADE DA SUPERFÍCIE DA LIGA TI-6AL-4V APÓS RETIFICAÇÃO

Mayara Fernanda Pereira¹

Bruno Souza Abrão¹

Alisson Rocha Machado^{1,2}

Louriel Oliveira Vilarinho¹

Rosemar Batista da Silva¹

¹Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG

²Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUC-PR, R. Imaculada Conceição, 1155, Bairro Prado Velho, Curitiba, PR CEP 80215-901

mayarafernanda.mec@gmail.com

brunoabrao53@gmail.com

alisson.rocha@pucpr.br

vilarinho@ufu.br

rosemar.silva@ufu.br

Resumo. O desempenho do processo de retificação está diretamente relacionado à dressagem do rebolo, de forma que é fundamental a seleção correta dos parâmetros de dressagem para garantir um condicionamento do rebolo que vise a manutenção da integridade das peças. Esta seleção se torna ainda mais importante em especial na retificação de ligas de titânio, que são amplamente empregadas em componentes aeronáuticos de alta performance, e que a exigência por componentes livre de danos térmicos é um fator prioritário, como também desvios dimensionais e geométricos estreitos. Neste contexto, o presente trabalho teve por finalidade analisar os efeitos do grau de recobrimento ao dresser um rebolo de carbeto de silício sobre a qualidade da superfície da liga Ti-6Al-4V após a retificação. Como parâmetros de dressagem foram empregados dois graus de recobrimento (3 e 12) e uma profundidade de dressagem (20 μm). Foram mantidos constantes a velocidade de corte (32 m/s), a velocidade da peça (7 m/min) e a penetração de trabalho (10 μm). A qualidade da superfície foi avaliada em termos de rugosidade R_a e R_t e textura das superfícies retificadas. Os resultados mostraram o grau de recobrimento do rebolo (U_d) igual a 12 proporcionou os menores valores de rugosidade e superfícies com sulcos melhor orientados, como também menor quantidade de material que foi deslocado para a lateral resultante da passagem dos grãos abrasivos.

Palavras-chave: Retificação, Dressagem, Grau de recobrimento, Qualidade da superfície, liga Ti-6Al-4V.

1. INTRODUÇÃO

No decorrer do processo de retificação é natural que o ocorra o desgaste das partículas abrasivas que compõem o rebolo sendo, portanto, indispensável a realização da operação de dressagem no sentido de restabelecer o condicionamento da ferramenta de corte e assegurar a continuidade na remoção de material da peça sob a forma de cavacos com pequenas dimensões (Klocke, 2009).

Dessa forma, a dressagem pode ser definida como uma operação de afiação ou recondicionamento do rebolo desgastado, através da ação de uma ferramenta denominada dresser que atua no sentido de remover os abrasivos desgastados do rebolo expondo, por conseguinte, uma nova camada com partículas com arestas afiadas, sendo que são justamente essas partículas que atuam sobre a peça no sentido de remover material. Consequentemente, esse condicionamento ou textura gerada na superfície do rebolo dresser tende a ser reproduzido sobre a superfície da peça retificada, influenciando diretamente no seu acabamento, após a usinagem (Rowe, 2013; König, 1980 apud Fiocchi, 2014).

De acordo com De Oliveira (2001) como consequências da operação de dressagem são gerados dois efeitos na superfície de corte do rebolo: macroefeitos e microefeitos. Da combinação de movimentos entre o dresser e rebolo é gerado na sua superfície de corte do rebolo um perfil helicoidal ou de rosca, ou seja, os macroefeitos, mensurados matematicamente pela ondulação teórica W_t , definida em função do passo de dressagem S_d e do raio de ponta do dresser r_p , Eq. 1. Em contrapartida, como resultado da interação do dresser com o rebolo os abrasivos são fragmentados e/ou arrancados expondo novas arestas de corte afiadas. Ou seja, os macroefeitos referem-se ao perfil helicoidal gerado no rebolo e os microefeitos, as novas arestas dos abrasivos expostas.

$$W_t = \frac{s_d^2}{8.r_p} \quad (1)$$

Previamente à realização dos ensaios de dressagem é necessário definir os parâmetros de dressagem do rebolo, em especial o grau de recobrimento do rebolo U_d , posto ser esse o principal parâmetro desta operação por definir a agressividade do rebolo, ou seja, sua capacidade em remover material da peça. Quanto maior o grau de recobrimento, melhor será o acabamento gerado na peça. No entanto, quanto menor o grau de recobrimento, a retificação tenderá a uma condição de desbaste (Klocke, 2009; Rowe, 2013). O grau de recobrimento U_d é definido em função do passo de dressagem (S_d) e da largura de dressagem (b_d), segundo a Eq. 2.

$$U_d = \frac{b_d}{S_d} \quad (2)$$

De Oliveira (2001) ainda afirma que a dressagem grosseira ocorre quando o dressador remove ou fragmenta uma alta quantidade de partículas abrasivas do rebolo e isso ocorre quando são utilizados um baixo do grau de recobrimento (U_d) e um alto valor de profundidade de dressagem (a_d). Por outro lado, a dressagem fina ocorre quando a combinação entre um alto valor de grau de recobrimento (U_d) e um baixo valor de profundidade de dressagem (a_d) são adotados. Diante deste contexto, é fundamental a correta seleção dos parâmetros da operação de dressagem, em especial, no grau de recobrimento, que é o principal parâmetro desta operação, uma vez que ele define a agressividade do rebolo.

A retificação é um processo de usinagem por abrasão que é empregado em etapas finais da cadeia produtiva, na qual o rebolo atua sobre a superfície da peça a velocidades de corte elevadas (acima de 30 m/s) e baixos valores de penetração de trabalho, às vezes até 1000 vezes menores que aquelas empregadas em processos de usinagem com ferramentas de geometria definida, com por exemplo o fresamento. A partir dessa interação, é removido material da peça na forma de cavacos (Malkin e Guo, 2008).

Por sua vez, os componentes retificados apresentam tolerâncias de dimensionais e geométricas estreitas, sendo que a rugosidade média (R_a) varia entre 0,02 μm a 1,60 μm . O rebolo, composto por abrasivos, ligante e poros, não é substituído com a mesma frequência que a de uma ferramenta empregada em processos com ferramentas de geometria definida (ex: torneamento, fresamento, furação etc.) assim é fundamental que o rebolo seja submetido à dressagem com frequência, que dependerá do tipo de operação de retificação, material da peça e requisitos de projeto da peça, a fim de recondição-lo e expor uma nova camada de abrasivos com arestas afiadas que assegurem a remoção de material da peça (Klocke, 2009).

Na indústria metal mecânica diversos componentes são submetidos ao processo retificação, como por exemplo as palhetas e eixos de motores aeronáuticos, principalmente da parte do ventilador de admissão de ar na parte frontal, que são feitas da liga Ti-6Al-4V. Todavia, ligas de titânio são materiais que possuem pobre usinabilidade e retificabilidade em virtude da sua baixa condutividade térmica, alta resistência mecânica que é mantida em temperaturas elevadas e alta reatividade química com materiais de ferramentas comercialmente disponíveis, principalmente com os cerâmicos como os abrasivos do rebolo (Da Silva et al, 2005).

A maioria dos estudos desenvolvidos sobre retificação de ligas de titânio, como a liga Ti-6Al-4V, busca analisar os efeitos gerados por diferentes parâmetros de corte (velocidade de corte, velocidade da peça, penetração de trabalho, etc) e por diferentes técnicas de lubrificação (convencional, MQL, MQL com nanopartículas dissolvidas, etc) sobre a integridade superficial das amostras. Ainda são poucos os estudos que buscam averiguar os efeitos de diferentes condições de dressagem sobre ligas de titânio.

Em um estudo desenvolvido por De Mello et al. (2017) em retificação da liga Ti-6Al-4V com rebolo de carbeto de silício (39C46KVK), os autores buscaram avaliar os efeitos gerados por diferentes técnicas de aplicação de fluido de corte (convencional e Mínima Quantidade de Lubrificação (MQL)) sobre a qualidade superficial. Como parâmetros de saída foram analisadas a rugosidade das superfícies e imagens das superfícies por meio microscopia eletrônica de varredura (MEV). Os autores relataram uma diminuição nos valores de rugosidade com o aumento na penetração de trabalho após a retificação com a técnica convencional; todavia, sob a condição MQL, com o aumento na penetração de trabalho houve um aumento na rugosidade das superfícies. Eles mencionaram ainda que ao empregar a técnica MQL a uma penetração de trabalho $a_e = 10 \mu\text{m}$ foi alcançado o menor valor de rugosidade bem como a melhor textura (sucos mais definidos e regulares) em relação aquelas obtidas após a retificação com a técnica convencional. Contudo, a variação proporcionada por essas duas técnicas de lubrificação não foi muito significativa, ou seja, os valores de rugosidade gerados foram muito próximos. Além disso, as superfícies retificadas apresentaram uma textura muito parecida nas diferentes condições operacionais empregadas. De acordo com Rowe (2013) o aumento na penetração de trabalho resulta no aumento de comprimento de contato do rebolo na peça também e em uma maior quantidade de abrasivos do rebolo atuante sobre a peça, proporcionando uma maior taxa de remoção de material da peça, o que geralmente produz um acabamento inferior em relação à valores de penetração de trabalho menores.

No trabalho de Mello (2015) foi verificado que a redução na penetração de trabalho de 20 μm para 10 μm não resultou na melhoria do acabamento. Isso pode ser atribuído a alta afinidade química entre o rebolo de carbeto de silício (39C46KVK) e a peça que é intensificada ao empregar pequenas penetrações de trabalho, situação em que muitos grãos

abrasivos apenas atitam e não conseguem remover material. Com isso, ocorre elevada geração de calor, o que afeta a qualidade peça usinada.

Diante disso, testar diferentes parâmetros de dressagem surge como uma alternativa em relação a alteração nos valores de penetração de trabalho ou das velocidades da peça e do rebolo que não tem se mostrado eficientes na retificação de titânio com rebolos abrasivos convencionais. Nesse sentido, o presente trabalho tem por finalidade analisar os efeitos gerados por dois diferentes graus de recobrimento do rebolo sobre a rugosidade e a textura das superfícies da liga de titânio Ti-6Al-4V após a retificação plana tangencial com rebolo de carbetto de silício.

2. METODOLOGIA

Os ensaios experimentais de retificação foram realizados em uma máquina retificadora plana tangencial semiautomática, modelo P36, do fabricante MELLO S.A. A resolução do nônio do eixo que recebe o rebolo ou do movimento vertical do rebolo é igual a 0,005 mm, sendo que a rotação do eixo árvore do rebolo é igual a 2 400 rpm. Como ferramenta de corte selecionou-se um rebolo de carbetto de silício, de dimensões 254,00 mm X 25,40 mm X 76,00 mm, especificação 39C46K VGW e velocidade de corte igual a 32 m/s, por ser aquele recomendado para a retificação de materiais não ferrosos.

O material de trabalho foi a liga Ti-6Al-4V (381 HV) cuja composição química e propriedades encontram-se na Tab.1. Foram preparadas oito amostras que resultaram nas dimensões: 37 mm (comprimento) X 15 mm (de largura) X 15 mm (altura), sendo que cada amostra foi fixada a uma morsa de precisão e posicionada na mesa da máquina retificadora para a realização do ensaio, Fig. 1 (a). Os parâmetros penetração de trabalho (a_e) e velocidade da mesa/peça (V_w) foram mantidos constantes e iguais a 10 μ m e 7 m/min, respectivamente. Para cada condição de grau de recobrimento do rebolo, foram usinadas superfícies de quatro peças.

Tabela 1. Composição química e propriedades mecânicas da liga Ti-6Al-4V (Adaptado de Dutta e Froes, 2016).

Elementos químicos							
	Ti	Al	V	C	O	N	Fe
Composição química (% wt)	90	6	4	< 0,10	< 0,20	< 0,05	< 0,30
Propriedades mecânicas							
Densidade (g/cm ³)	Dureza (HV)	Condutividade térmica a 20 °C (W/m. K)		Resistência a tração (MPa)	Alongamento (%)	Ponto de fusão (°C)	
4	381	6,6		900 – 1 600	8	1 650	

Foi utilizado um fluido de corte semissintético de base vegetal, VASCO 7 000, diluído em água a uma proporção de 1:19, equivalente a um brix de 3,2 %, que foi aplicado pela técnica convencional, abundante, à uma vazão de 9 L/min (545 L/h). Nos ensaios avaliados manteve-se constante a penetração de trabalho

Previamente à cada ensaio de retificação, o rebolo foi submetido a operação de dressagem com um dressador estático do tipo *fliesen* que foi fixado junto a um suporte e este posicionado sobre a mesa da retificadora, a fim de se movimentar perpendicularmente à largura do rebolo, Fig. 1 (b). Assim, para a operação de dressagem empregou-se uma combinação de variáveis de entrada dois graus de recobrimento do rebolo U_d (3 e 12) e uma profundidade de dressagem a_d (20 μ m). Os parâmetros operacionais encontram-se representados na Tab. 2.

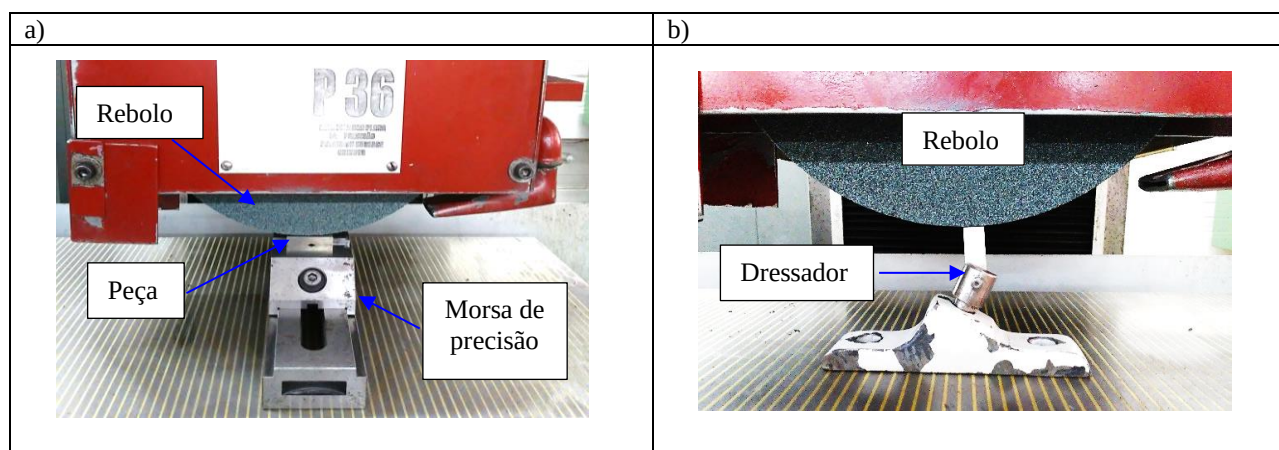


Figura 1. Configuração dos ensaios experimentais de retificação plana tangencial nas amostras de Ti-6Al-4V(a) e da operação de dressagem no rebolo de carbetto de silício (b).

Após os ensaios de retificação, cada amostra da peça foi levada ao Laboratório de Ensino em Metrologia e posicionadas sobre um desempenho para que fossem realizadas as medições de rugosidade nas superfícies retificadas, a uma temperatura controlada ($[21 \pm 1]^\circ\text{C}$). Com o auxílio de um rugosímetro portátil *Surtronic*, modelo S-100 Series (nº 010720), do fabricante Taylor Hobson, foram efetuadas as medições, com o apalpador de raio de ponta $2\text{ }\mu\text{m}$ posicionado de forma a avançar perpendicularmente a direção de retificação a fim de mensurar os valores de rugosidade R_a (desvio médio aritmético) e R_t (altura total do perfil). Ao todo, foram efetuadas medições em cinco regiões distintas e igualmente espaçadas nas superfícies retificadas de tal forma a se obter a média e o desvio padrão dos resultados.

Além disso, as superfícies de Ti-6Al-4V retificadas foram analisadas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo TM 3 000, do fabricante Hitachi, disponível no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU -UFU). As imagens foram obtidas a uma ampliação de 1 500 vezes a fim de visualizar os sulcos gerados em decorrência da retificação assim como detectar possíveis alterações na textura das superfícies das amostras.

Tabela 2. Parâmetros operacionais dos ensaios de retificação das amostras de Ti-6Al-4V.

Parâmetros de corte	
Velocidade de corte (V_s)	32 m/s
Velocidade da peça (V_w)	7 m/min
Penetração de trabalho (a_e)	10 μm
Vazão de fluido de corte (V_f)	9 L/min (545 L/h)
Parâmetros de dressagem	
Largura de atuação do dressador (b_d)	0,8 mm
Profundidade de dressagem (a_d)	20 μm
Grau de recobrimento (U_d)	3 e 12
Passo de dressagem (S_d)	0,27 mm/volta e 0,07 mm/volta
Velocidade de dressagem (V_d)	10,67 mm/s e 2,67 mm/s
Tempo de dressagem (t_d)	2,34 s e 9,38 s

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados de rugosidade (R_a e R_t) assim como imagens das superfícies retificadas obtidas através do MEV das amostras de Ti-6Al-4V após retificação plana tangencial com rebolo de SiC submetido a diferentes condições de dressagem.

3.1. Rugosidade das superfícies

Os resultados obtidos em termos de rugosidade das superfícies R_a e R_t encontram-se representados nas Fig. 2 (a) e (b) respectivamente. A partir dos gráficos é possível verificar que a mudança no grau de recobrimento do rebolo de $U_d = 3$ para $U_d = 12$ proporcionou uma queda acentuada nos parâmetros de rugosidade R_a e R_t sob a condição de profundidade de dressagem $a_d = 20\text{ }\mu\text{m}$. Neste caso, verificou-se que a mudança no grau de recobrimento $U_d = 3$ para $U_d = 12$, a rugosidade R_a reduziu de $[0,95 \pm 0,01]\text{ }\mu\text{m}$ para $[0,56 \pm 0,04]\text{ }\mu\text{m}$ (redução de 69,64 %) e a rugosidade R_t diminuiu de $[7,35 \pm 0,14]\text{ }\mu\text{m}$ para $[5,08 \pm 0,19]\text{ }\mu\text{m}$ (redução de 44,69 %).

A partir desses resultados foi possível verificar que, ao empregar o grau de recobrimento menor, $U_d = 3$, e mais grosseiro em relação a $U_d = 12$, foram obtidos os maiores valores de rugosidade R_a e R_t dentre todos os valores registrados. Não obstante, quando o mesmo rebolo de SiC foi submetido a uma condição de dressagem com maior U_d , ou seja, menos grosseira, ($U_d = 12$) as amostras de Ti-6Al-4V apresentaram os menores valores de rugosidade dentre todos os registrados.

De acordo com De Oliveira (2001) quando o rebolo abrasivo é submetido à dressagem com grau de recobrimento pequeno, ou seja, agressivo, o perfil helicoidal gerado na superfície de corte do rebolo tende a ser mais pronunciado, ou seja, o filete de rosca gerado é mais profundo, assegurando ao rebolo um condicionamento mais agressivo e, assim, uma maior capacidade em remover material da peça, em relação a um grau de recobrimento maior. Consequentemente, a superfície resultante na peça apresentará sulcos mais profundos, o que se traduz em altos valores de rugosidade.

Por outro lado, segundo De Oliveira (2001), ao submeter o rebolo a uma dressagem com um grau de recobrimento alto (menos agressivo) o perfil helicoidal gerado na superfície de corte do rebolo tende a ser raso ou pouco profundo, condicionando o rebolo a uma característica menos agressiva e que lhe assegura uma menor capacidade em remover material da peça. Por conseguinte, a superfície retificada possuirá sulcos pouco profundos, caracterizados por baixos valores de rugosidade, ou seja, melhor acabamento da peça.

Em um trabalho desenvolvido por Kadivar (2018) um comportamento semelhante foi observado. Os autores buscaram avaliar os efeitos gerados por diferentes parâmetros de dressagem, como o grau de recobrimento do rebolo, sobre a

qualidade superficial de amostras de Ti-6Al-4V após o processo de micro retificação com rebolo de diamante (D46C150V) de diâmetro igual a 2 mm. A partir dos resultados, os autores verificaram que o aumento no grau de recobrimento do rebolo de $U_d = 45$ a $U_d = 910$ proporcionou uma redução nos valores de rugosidade em torno de 60 %, o que segundo os autores deve-se ao fato de o rebolo adquirir uma micro topografia mais fina à medida que se aumenta o grau de recobrimento do rebolo, portanto, resultando em uma superfície com melhor acabamento superficial.

De posse dos resultados alcançados de rugosidade Ra e Rt em função do grau de recobrimento e da profundidade de dressagem empregados neste trabalho foi realizada uma análise da influência do grau de recobrimento sobre os valores de rugosidade mensurados, em termos do p-valor, obtido através da análise de variância (ANOVA), através do software Excel 2016. Os resultados obtidos encontram-se na Tab. 3. De acordo com uma confiabilidade de 95 % verificou-se que o grau de recobrimento U_d influenciou nos valores de rugosidade Ra e Rt alcançados, uma vez que os “p – valores” encontrados foram menores que $\alpha = 0,05$.

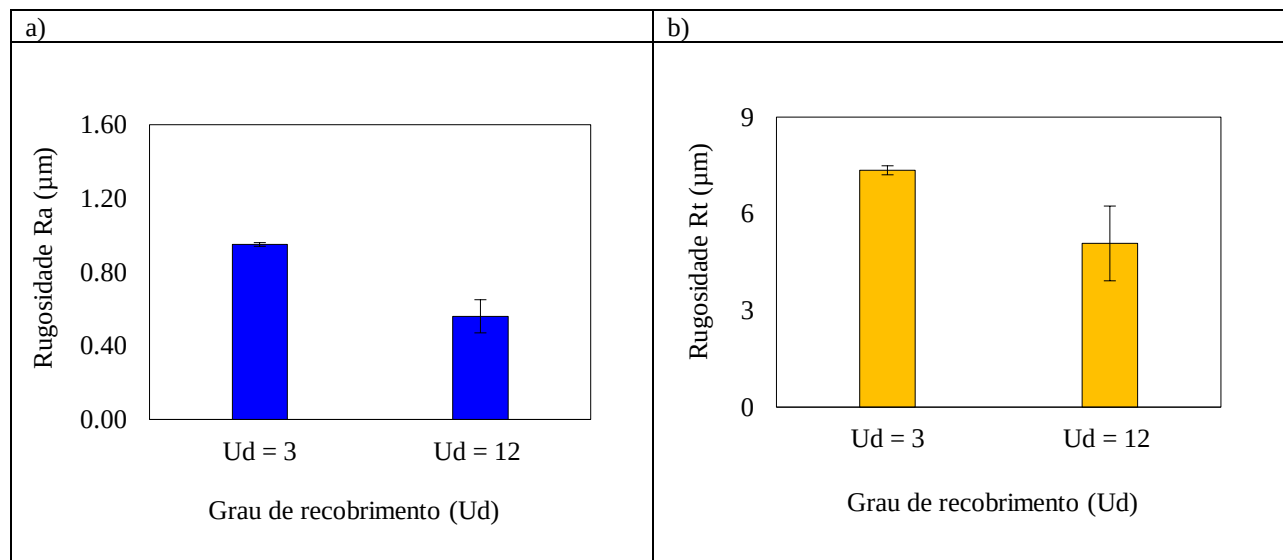


Figura 2. Valores de rugosidade Ra (a) e Rt (b) de Ti-6Al-4V em função do grau de recobrimento do rebolo de SiC.

Portanto, quando o rebolo de carbetto de silício foi dressado com um $U_d = 3$ (agressivo), foi gerada em sua superfície de corte uma ondulação teórica W_t da ordem de 2,22 µm, que implica em um perfil de rosca com uma profundidade maior que resultou em superfícies com os maiores valores de rugosidade de todos os ensaios de retificação Ra = $[0,95 \pm 0,01]$ µm e Rt = $[7,35 \pm 0,14]$ µm.

Por outro lado, quando esse mesmo rebolo foi dressado com $U_d = 12$ (fino), a ondulação teórica gerada na superfície de corte foi igual a $W_t = 0,14$ µm, o seu condicionamento mudou de tal forma que foram geradas superfícies das peças com os menores valores de rugosidade de todos os ensaios ($[0,56 \pm 0,04]$ µm e $[5,08 \pm 0,19]$ µm), considerando que este rebolo de carbetto de silício possui uma granulometria mesh #46, que é considerada grosseira. Ou seja, sem modificar a granulometria da ferramenta abrasiva e as condições operacionais de retificação, mas variando tão somente as condições de dressagem (grau de recobrimento e profundidade de dressagem), foi possível obter qualidades da superfície das amostras de Ti-6Al-4V muito diversas, em termos de rugosidade Ra e Rt.

Tabela 3 . P- valores obtidos mediante análise de variância (ANOVA) realizada nos valores de rugosidade Ra e Rt em função do grau de recobrimento do rebolo e da profundidade de dressagem.

Parâmetro	p-valor
	Grau de recobrimento (U_d)
Ra	0,010301
Rt	0,022648

3.2. Imagens de MEV das superfícies retificadas

Na Figura 3 encontram-se representadas as imagens das superfícies de Ti-6Al-4V retificadas com rebolo de SiC, em diferentes condições de dressagem obtidas após microscopia eletrônica de varredura. A partir das imagens é possível verificar que, quando o rebolo foi dressado com $U_d = 3$, as superfícies geradas apresentaram um acabamento superficial comprometido ou inferior, com sulcos mais profundos e evidência de maior intensidade de deformação plástica, bem

como delaminação da superfície, Fig. 3 (a). Todavia, ao submeter o mesmo rebolo a uma dressagem com um grau de recobrimento $U_d = 12$ foram geradas superfícies com melhor textura superficial, tendo em vista que os sulcos gerados pela usinagem foram majoritariamente bem orientados, com poucas evidências de ocorrência de deformações plásticas intensa, o que reduziu a quantidade de material deformado que foi deslocado para as laterais com a passagem dos grãos abrasivos, Fig. 3 (b). Assim sendo, de acordo com as imagens obtidas, verificou-se que ao mudar o condicionamento do rebolo de agressivo ($U_d = 3$), Fig. 3 (a), para um condicionamento fino ($U_d = 12$), Fig. 3 (b), foram geradas superfícies de melhor qualidade e textura.

Um comportamento similar foi obtido por Kadivar et al. (2018) ao realizarem ensaios de micro retificação em amostras de Ti-6Al-4V. De acordo com os autores, os resultados mostraram que o aumento no grau de recobrimento do rebolo de diamante, de $U_d = 45$ para $U_d = 910$ proporcionou uma melhora significativa nas superfícies retificadas, com sulcos mais uniformes e com poucas microtrincas transversais em relação ao sentido de avanço dos grãos abrasivos. Segundo os autores, estes resultados são atribuídos ao fato de que, ao submeter o rebolo a um condicionamento mais fino, a superfície de corte apresenta um perfil helicoidal mais suave, o que proporciona superfícies com melhor acabamento superficial, após o processo de retificação.

De acordo com De Oliveira (2001) quando um rebolo é submetido a uma dressagem com grau de recobrimento baixo ele tende a adquirir um condicionamento agressivo, com maior capacidade para remover material da peça, pois o filete de rosca gerado em sua superfície de corte é mais profundo e, ao longo da usinagem, essa textura gerada no rebolo pelo dressador tende a ser reproduzida sobre a peça. Como a ondulação teórica no caso da dressagem com $U_d = 3$ foi de $W_t = 2,22 \mu\text{m}$, uma maior quantidade de abrasivos entrou em contato com a peça, aumentou a área de contato, removendo material e gerando nas superfícies de Ti-6Al-4V sulcos profundos, deformações plásticas, destacamento e deslocamento lateral de material. O destacamento de material e a pobre textura podem ser consequência da grande afinidade química entre o material da peça (liga de titânio) com o abrasivo do rebolo que foi intensificada nestas condições de retificação.

Nesse sentido, a variação no grau de recobrimento do rebolo pode ser mais eficiente na geração de superfícies com boa textura superficial, em especial quando se retifica ligas de difícil usinabilidade com a liga Ti-6Al-4V, do que variar tão somente condições operacionais como penetração de trabalho, velocidade de corte e velocidade da peça. Em um estudo desenvolvido por De Mello et al. (2017) foram realizados ensaios de retificação plana tangencial com rebolo de carbeto de silício (39C46KVK) em amostras de Ti-6Al-4V sob diferentes condições operacionais. Como resultados, eles observaram que a redução na penetração de trabalho de $20 \mu\text{m}$ para $10 \mu\text{m}$ não foi eficaz a ponto de reduzir os danos principalmente os térmicos nas amostras, que por sua vez, apresentaram sulcos mais profundos e superfície com textura inferior, com aspecto de delaminação o destacamento de material.

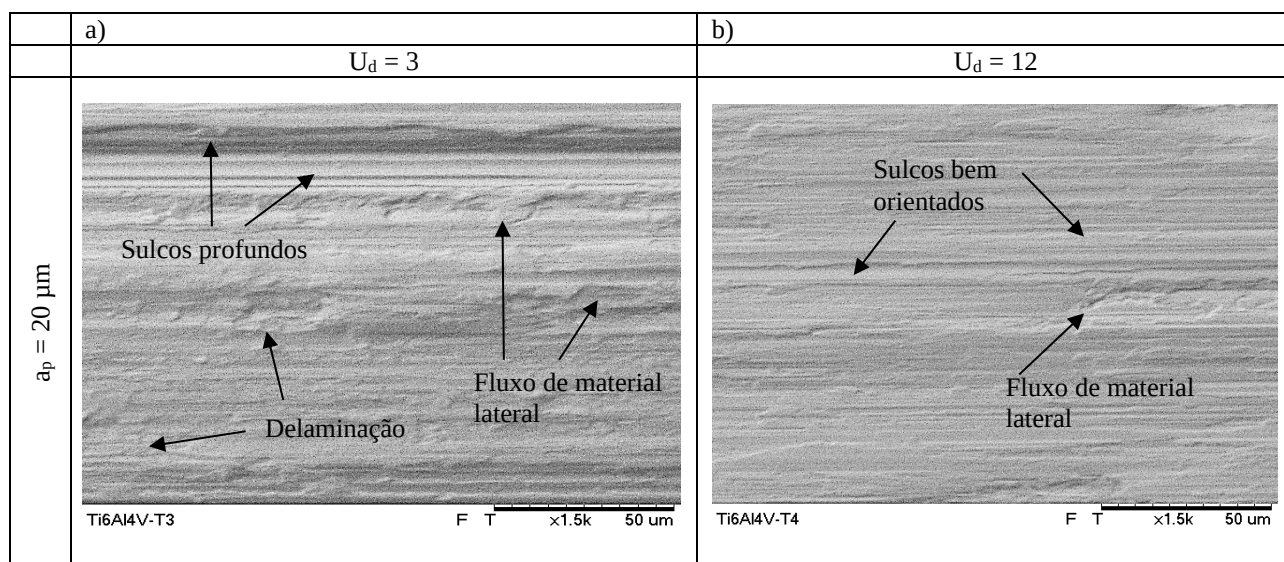


Figura 3. Imagens de das superfícies de Ti-6Al-4V após a retificação com diferentes condições de dressagem.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados e analisados após os ensaios de retificação nas amostras de Ti-6Al-4V, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

- Os menores valores de rugosidade foram registrados quando o rebolo foi submetido a um grau de recobrimento fino, $U_d = 12$.
- Em termos de textura das superfícies das peças, sulcos profundos, pouco orientados e com maior densidade de deformação plástica, bem como superfícies com delaminação, foram observadas após os ensaios com

dressagem do rebolo com um grau de recobrimento $U_d = 3$. Em contrapartida, ao submeter o mesmo rebolo a uma dressagem com um grau de recobrimento mais fino, $U_d = 12$, os sulcos gerados foram bem mais orientados e com menor quantidade de material que foi deslocado para a lateral.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas *Blaser Swisslube* e a *Saint-Gobain Abrasives* da América do Sul pelo fornecimento dos fluidos de corte e rebolos, respectivamente. Eles agradecem também a todos os integrantes do Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem e o Laboratório de Usinagem Convencional, ambos da FEMEC – Universidade Federal de Uberlândia. Os autores agradecem ainda a CAPES, a FAPEMIG e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU pelo apoio financeiro. Rosemar Silva agradece em especial ao CNPq pelo apoio por meio de bolsa de Produtividade em Pesquisa – PQ - Chamada CNPq N° 12/2016, processo nº. 311337/2016-3 e ainda processo 426018/2018-4 Chamada MCTIC/CNPq N° 28/2018 – Universal.

6. REFERÊNCIAS

- Da Silva, R. B., Machado, A. R., 2007. “Increasing productivity in high speed machining of Ti-6Al-4V alloy under high pressure coolant supply”. *International Journal of Machinability of Materials*. Vol. 2, p. 222 – 232.
- Da Silva, R. B., Machado, A.R., Ezugwu, E.O., Bonney, J., 2005. “Evaluation of the Machinability of Ti-6Al-4V alloy with (SiCw) Whisker Reinforced Alumina Ceramic Cutting Tool under various Cooling Environments”. In *8th. Brazilian National Conference of Manufacturing Engineering (Cobef)*. Salvador, Brazil.
- De Mello, A.V., Da Silva, R.B., Machado, A.R., Gelamo, R.V., Diniz, A.E., De Oliveira, R.F.M., 2017. “Surface grinding of Ti-6Al-4V alloy with SiC abrasive wheel at various cutting conditions”. *Procedia Manufacturing*, Vol. 10, p. 590 – 600.
- De Mello, A.V., 2015. *Retificação da liga Ti-6Al-4V com fluido de corte contendo partículas de grafeno*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- DUTTA, B., FROES, F. H., 2016. *Additive Manufacturing of Titanium Alloys – State of the art, challenges and opportunities*. Elsevier, 1ª edição.
- Fiocchi, A. A., 2014. *Ciência e tecnologia da manufatura de ultraprecisão de cerâmicas avançadas: Lapidoretificação de superfícies plana de zircônia tetragonal policristalina estabilizada com titânia*. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- Kadivar, M., Azarhoushang, B., Shamray, S., Krajnik, P., 2018. “The effect of dressing parameters on micro-grinding of titanium alloy”. *Precision Engineering*, Vol. 51, p. 176 – 185.
- Klocke, F., 2009. *Manufacturing Process 2: Grinding, Honing, Lapping*. Springer Science & Business Media, 1ª edição.
- König, W., 1980. *Tecnologia da Fabricação – Retificação brunimento e lapidação*. Tradução de Walter Lindolfo Weingaertner.
- König, W., 1979. “Applied research on the machinability of titanium and its alloys”. In *Proceedings of the 47th Meeting of AGARD – Structural and Materials Panel*, Florence, Italy.
- Malkin, S., Guo, C., 2008. *Grinding Technology: Theory and Application of Machining with Abrasives*. Industrial Press, 2ª edição.
- Rowe, W. B., 2013. *Principles of Modern Grinding Technology*. William Andrew, 2ª edição.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Effect of overlap ratio in Ti-6Al-4V alloy surface quality after grinding

Abstract. Grinding process performance is directly related to grinding wheel dressing, so the correct selection of dressing parameters is essential to ensure a conditioning of wheel aimed at maintaining of workpiece integrity. This selection becomes even more important especially when grinding titanium alloys, which are widely employed in high performance aeronautic components, where the requirement for components free from thermal damages is a priority factor, as well as close dimensional and geometric deviations. In this context, the present work aimed to analyze the effect of overlap ratio when dressing a grinding wheel on the surface quality of Ti-6Al-4V alloy after grinding. As dressing parameters two values of overlap ratio (3 and 12) and a dressing depth (20 μm) were tested. The cutting speed (32 m/s), workspeed (7 m/min) and radial depth of cut (10 μm) were kept constant. The surface quality was evaluated in terms of R_a and R_t roughness and texture of the ground surfaces. The results showed that overlap ratio U_d equals 12 provided the lowest values of roughness and well oriented grooves, as well as lower flow side material quantity as a result of the abrasive grits passage.

Keywords: *Grinding, Dressing, Overlap ratio, Surface quality, Ti-6Al-4V alloy.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.