



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE E TEXTURA DA SUPERFÍCIE DE DIFERENTES METAIS APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE ALUMINA

Nome do primeiro autor, e-mail¹

Nome do segundo autor, e-mail¹

Nome do terceiro autor, e-mail¹

Nome do quarto autor, e-mail¹

Nome do quinto autor, e-mail¹

¹Nome da instituição, endereço para correspondência,

Resumo: A retificação é destinada à obtenção da combinação de superfícies de melhor acabamento com menores desvios dimensionais que aqueles normalmente obtidos por processos convencionais com ferramenta de geometria definida. Mas para isso, é importante conhecer o processo de formação do cavaco que apresenta peculiaridades para materiais dúcteis e materiais frágeis, definir parâmetros de corte e realizar ensaios experimentais a fim de observar como o acabamento e desvios dimensionais respondem a variação destes parâmetros de corte e também em função de cada material usinado. Neste sentido, este trabalho visa contribuir para o setor metal mecânico apresentando os resultados de acabamento superficial e de imagens das superfícies retificadas dos seguintes materiais: aço VP Atlas, Ferro Fundido Cinzento e das superligas, Inconel 718 e Ti-6Al-4V, após retificação plana tangencial com rebolo de alumina. Foram empregadas duas diferentes penetrações de trabalho ($15\ \mu\text{m}$ e $30\ \mu\text{m}$), enquanto que a velocidade de corte ($37,6\ \text{m/s}$) e a velocidade longitudinal da mesa ($10,2\ \text{m/min}$) foram mantidas constantes. Os ensaios foram realizados com fluido de corte aplicado pela técnica de aplicação convencional a uma vazão de $540\ \text{l/h}$. As variáveis de saída analisadas foram os parâmetros de rugosidade da superfície (R_a e R_z). Além disso, foram obtidas as imagens das superfícies retificadas via MEV para poder entender os mecanismos de corte envolvidos e analisar a resposta de cada material em relação à textura superficial com o rebolo empregado. Os resultados mostraram que os valores de rugosidade aumentaram com a penetração de trabalho; e que os valores de R_a situaram-se abaixo de $0,48\ \mu\text{m}$ para todos os materiais testados. Em relação a textura as superfícies retificadas, apenas para as amostras de ferro fundido cinzento e liga de titânio foram observadas trincas superficiais perpendiculares a direção de corte, indicando que estes dois materiais possuem pobre usinabilidade nas condições investigadas. Além disso, não foi observada queima de aspecto visual nas superfícies das amostras nas condições investigadas.

Palavras-chave: retificação, rebolo de óxido de alumínio; aço VP Atlas; ferro fundido cinzento; Inconel 718; Ti-6Al-4V, rugosidade, textura superficial, trincas..

1. INTRODUÇÃO

Retificação é nome comum dado a processos de usinagem que utilizam partículas abrasivas duras, não metálicas, como meio de corte, sendo considerada uma operação de acabamento para a produção de componentes que necessitam de superfícies com ótimo acabamento e tolerâncias mais estreitas (Malkin, 1989). Na retificação a ferramenta de corte é um rebolo abrasivo em trabalho em alta rotação para remover o material de determinada superfície com uma dureza inferior.

Segundo Machado *et al.* (2009), a retificação merece destaque entre os processos abrasivos pela sua importância para a indústria metal mecânica, uma vez que ela é capaz de assegurar a produção de componentes com tolerâncias dimensionais e geométricas mais estreitas (IT4-IT6) que aquelas obtidas em operações que utilizam ferramentas de corte com geometria definida, como por exemplo o torneamento e o fresamento.

Na retificação plana tangencial o eixo do rebolo é paralelo à superfície retificada. A mesa executa um movimento de avanço alternativo e um movimento de avanço transversal, enquanto o rebolo executa o movimento em profundidade. Este tipo de retificação plana é usado para retificação de peças grandes de baixa produção (Diniz,

Marcondes e Coppini, 2006). Na Fig. 1 é ilustrada a operação de retificação plana tangencial, assim como as principais grandezas físicas envolvidas no processo.

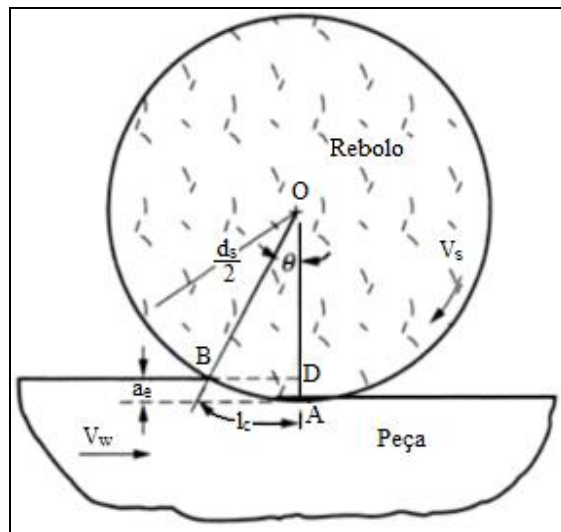


Figura 1. Retificação plana tangencial (adaptado de Malkin, 1989).

V_s = velocidade periférica do rebolo (m/s);
 V_w = velocidade periférica da peça (m/min);
 a_e = penetração de trabalho (mm);
 l_c = comprimento de contato rebolo-peça (mm);
 d_s = diâmetro do rebolo (mm).

De acordo com Machado *et al.* (2009), a profundidade de usinagem normalmente é selecionada em função da largura do rebolo, sendo recomendado que o valor dessa profundidade varie de 1/4 a 4/5 do valor da largura do rebolo. A penetração de trabalho pode variar de décimos a milésimos de milímetros, dependendo do material da peça, do tamanho do grão abrasivo e processo de retificação. Esses baixos valores de penetração de trabalho contribuem para o bom acabamento ($\leq 1,6 \mu\text{m}$) e obtenção de tolerâncias estreitas. Por outro lado, as velocidades de corte são bem superiores aquelas empregadas para processos como fresamento e torneamento. Segundo Agostinho, Rodrigues e Lirani (1986), à medida que são exigidas tolerâncias mais estreitas (maior exatidão das medidas), aumenta a necessidade da análise do acabamento superficial, que é medido através da rugosidade a partir de parâmetros que avaliam os perfis efetivos da superfície. A rugosidade média (R_a) é usualmente definida como o valor médio dos desvios de um perfil em referência a uma linha média, sobre um comprimento amostrado. Porém, por se tratar de valores médios, pode não apontar pontos extremos, não caracterizando a distinção entre picos e vales.

De acordo com Mitutoyo (2014), a rugosidade R_z é descrita como a média aritmética dos cinco maiores valores de distância entre pico e vale dentro de um comprimento de amostragem. O parâmetro R_z , em algumas situações, pode responder melhor com relação às alterações de rugosidade de perfil, pois analisam os cinco desvios máximos e não a média de toda a superfície. Contudo, o parâmetro mais usual para avaliar superfícies usinadas em laboratórios na maioria das empresas do setor metal mecânico é o R_a .

Com a necessidade de atender ao acabamento especificado em projetos, é necessário selecionar a operação de abrasão e abrasivos adequados. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é executar ensaios de retificação plana tangencial utilizando um rebolo de óxido de alumínio branco em diferentes tipos de materiais metálicos de engenharia. Como variáveis de saída foram avaliados os parâmetros de rugosidades (R_a , R_z) e qualidade das superfícies usinadas pela análise visual das imagens obtidas microscopia eletrônica de varredura (MEV).

2. METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios foram utilizados quatro diferentes tipos de materiais: aço ABNT VP Atlas, Inconel 718, Ferro Fundido Cinzento FC 250 e Ti-6Al-4V, cujas dimensões e propriedades mecânicas são apresentadas na Tab. 1.

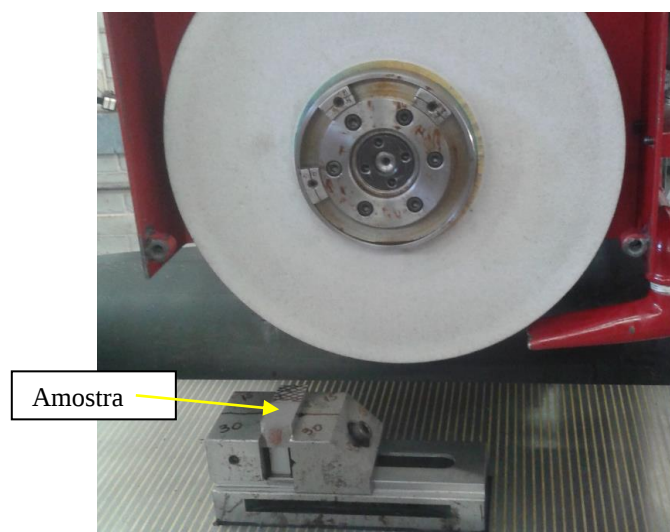
Tabela 1. Dimensões e propriedade mecânicas. [1] Tecnoalloy (2016); [2] Villares (2016); [3] Goodfellow (2016); [4] Ott (1999); [5]ASM (2016).

Material	Dimensões (mm)	Densidade (g/cm ³)	Dureza (HB)	Condutividade térmica (W/m.k) ^[1]	Limite de escoamento (MPa)	Limite de Ruptura (MPa)	Along. A5 (%)
Aço VP Atlas	19 x 15 x 48	6,8 - 7,6	350 - 390	-	1087 ^[2]	1246 ^[2]	10 ^[2]
Inconel 718	19 x 15 x 30	8,2 - 8,9	250 - 410	11,4	1186 ^[3]	1435 ^[3]	< 15 ^[3]
Ferro fundido cinzento	19 x 15 x 30	6,8 - 7,6	150 - 187	49	-	100-400 ^[4]	-
Ti-6Al-4V	15 x 15 x 36	3,8 - 4,2	334 - 353	7,2	880 ^[5]	950 ^[5]	14 ^[5]

Os ensaios de retificação foram realizados em uma retificadora plana tangencial, modelo P36, Mello, potência de 3 HP e rotação máxima de 2400 rpm.

Foram realizados oito ensaios de retificação, 2 ensaios por amostra. Cada amostra foi retificada com dois valores de penetração de trabalho diferentes em cada uma de suas faces opostas.

Cada amostra foi fixada em uma morsa de precisão do fabricante Gin Chan Machinery, modelo VS30, devidamente posicionada sobre a mesa magnética da retificadora, de modo que o comprimento foi posicionado paralelamente ao eixo do rebolo, conforme ilustrado na Fig. 2. As condições de corte são as seguintes: velocidade de corte (V_s) igual a 37,6 m/s, velocidade da mesa (V_w) igual a 10,16 m/min, profundidade de corte (a_p) igual a 20 mm e sem avanço lateral da mesa. Foram empregadas duas penetrações de trabalho (a_e) diferentes (15 μ m e 30 μ m) – sendo que para o primeiro a_e foram realizados 2 ciclos de retificação enquanto que para o segundo, a_e = 30 μ m, foi realizado apenas um ciclo.

**Figura 2. Posicionamento da peça em relação ao rebolo.**

A ferramenta abrasiva utilizada foi um rebolo de óxido de alumínio branco, de especificação AA60K6V, com as seguintes dimensões: 299 mm x 25 mm x 76 mm. A sigla AA indica o tipo de grão utilizado (óxido de alumínio branco), 60 a granulação *mesh* (grossa com tamanho de grão médio em torno de 280 μ m), a letra K a dureza do rebolo (dureza média) e o valor 6 indica o espaçamento entre os grãos abrasivos (estrutura), enquanto que a letra V indica a liga ou aglutinante do rebolo, no caso vitrificado.

A espessura de corte equivalente (H_{eq}) é definida como sendo a espessura da camada de material arrancado pelo rebolo, calculada através da Eq. (1) (Machado *et al.*, 2009). Este parâmetro é característico de processos de retificação e bastante utilizado para expressar a relação entre as principais grandezas de retificação, em vez de apenas citar a penetração de trabalho. O aumento de H_{eq} , quer seja pelo aumento de a_e ou de V_w , ou pela diminuição de V_s , causa aumento dos esforços de corte e da rugosidade da peça e diminuição da vida do rebolo (Diniz, Marcondes e Coppini, 2006). Da Eq. (1), para os valores de a_e iguais a 15 μ m e 30 μ m, os valores de espessura de corte equivalente são respectivamente iguais a 0,07 μ m e 0,14 μ m.

$$H_{eq} = V_w \left(\frac{a_e}{V_s} \right) (\text{mm}) \quad (1)$$

Nos ensaios foi utilizado o fluido de corte semissintético de base vegetal, Vasco 7000, do fabricante Blaser Swissslube, com diluição de 1:19, que foi aplicado à zona de corte pela técnica convencional (jorro) a uma vazão de 540 l/h, com o objetivo principal de resfriar a região de corte e auxiliar no transporte dos cavacos.

Antes da retificação de cada amostra, foi realizada operação de dressagem do rebolo com um dressador do tipo ponta única de diamante sintético, com grau de recobrimento do rebolo (U_d) igual 3 e na presença de fluido de corte (Fig. 3). Segundo Diniz, Marcondes e Coppini (2006), esta operação é necessária para reconstituir a camada exterior do rebolo e tornar as arestas dos grãos afiadas.



Figura 3. Sistema montado para a operação de dressagem.

Após os ensaios de usinagem, foram realizadas as medições dos parâmetros de rugosidades R_a e R_z das superfícies das amostras utilizando um rugosímetro portátil modelo SJ-201P, do fabricante Mitutoyo, e que tem resolução de 0,01 μm . O filtro *cut-off* utilizado foi de 0,25 mm. Cada superfície foi medida a partir de três pontos diferentes no plano de trabalho em sentido perpendicular à direção de avanço da ferramenta abrasiva, o comprimento de avaliação de cada medida foi 5,0 mm.

Após a medição de rugosidade, as amostras foram devidamente preparadas e limpas por imersão em acetona, utilizando equipamento de limpeza ultrassônica Cole Parmer 8848. Em seguida, as superfícies usinadas de cada uma das amostras foram observadas por meio de um microscópio eletrônico de varredura (MEV) modelo TM 3000, marca Hitachi.

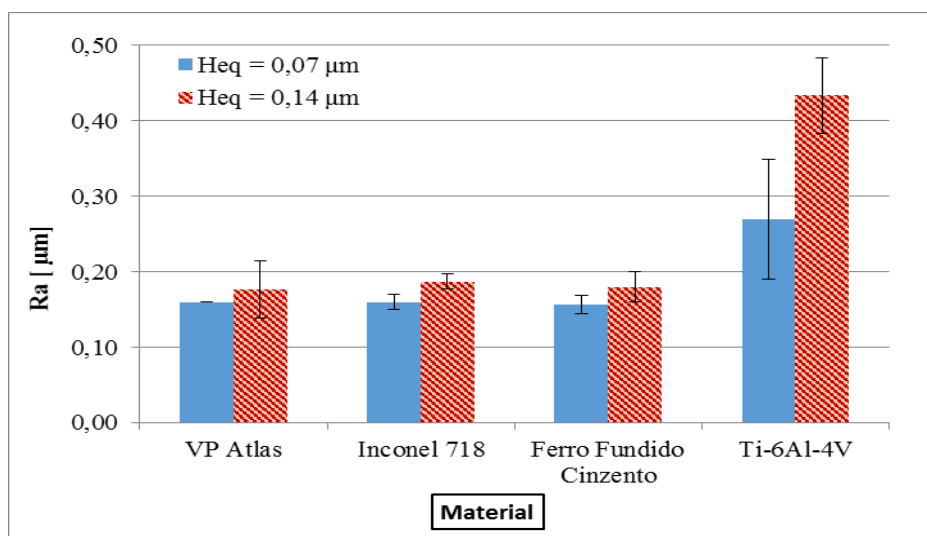
3. RESULTADOS

Nesta sessão serão apresentados os resultados de rugosidade em função da espessura de corte equivalente, como também as imagens das superfícies, obtidas após a retificação de todos os materiais.

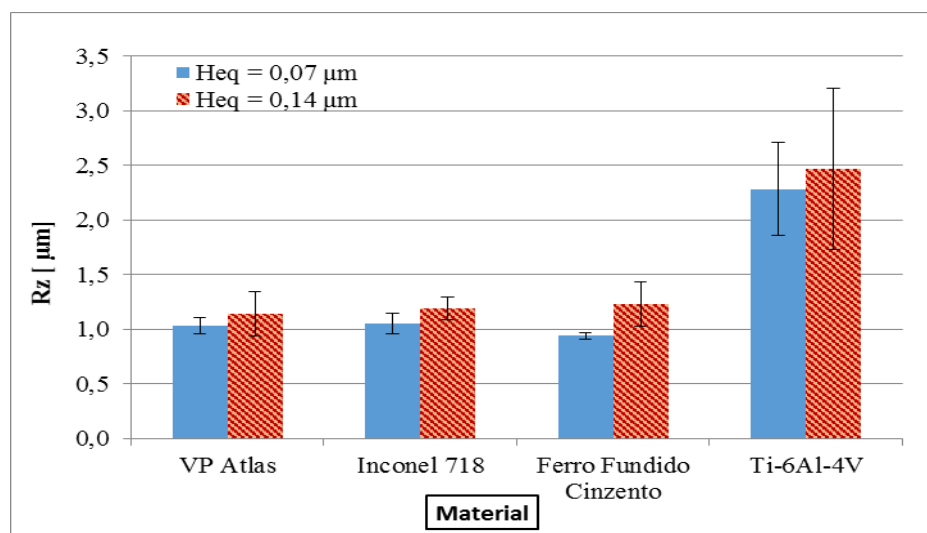
Os valores de rugosidade para os parâmetros R_a e R_z são apresentados na Tab. 2 em função da penetração de trabalho. Em seguida, foi calculada a espessura de corte equivalente (H_{eq}) e os parâmetros de R_a e R_z para cada material usinado foram plotados e apresentados Figs. 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2. Valores de Rugosidade medidos após a retificação (μm).

Material	ae	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Rz ₁	Rz ₂	Rz ₃
Aço VP Atlas	15	0,16	0,16	0,16	0,97	1,11	1,02
	30	0,22	0,16	0,15	1,37	1,06	0,99
Inconel 718	15	0,15	0,17	0,16	1,03	1,16	0,98
	30	0,18	0,19	0,19	1,18	1,30	1,09
Ferro Fundido Cinzento	15	0,17	0,15	0,15	0,94	0,97	0,91
	30	0,20	0,18	0,16	1,43	1,25	1,02
Ti-6Al-4V	15	0,36	0,21	0,24	2,50	2,56	1,80
	30	0,44	0,38	0,48	2,14	1,95	3,32

Figura 4. Média aritmética de R_a em função da espessura de corte equivalente.

Da Fig. 4 observa-se os valores de rugosidade R_a .

Figura 5. Média aritmética de R_z em função da espessura de corte equivalente.

Ao analisar os gráficos das Fig. 4 e Fig. 5, é possível observar que os valores médios de todos os parâmetros de rugosidade para a espessura de corte equivalente de 0,14 μm apresentam valores mais elevados de rugosidade em relação aos valores médios medidos para H_{eq} de 0,07 μm , conforme descrito por Diniz, Marcondes e Coppini (2006). À medida que a profundidade de corte aumenta e rebolo adentra mais na peça, aumenta-se o comprimento de contato e

também o número de grão ativos em contato com o material da peça. Bianchi *et al.* (1997) mostram que o aumento da penetração do rebolo na peça se relaciona com um maior tempo de permanência do grão abrasivo em contato na superfície da peça, o que aumenta a largura média do topo dos grãos, eleva a força tangencial de corte e, consequentemente, aumenta a geração de calor nesta área. A maior parcela de calor que vai para a peça eleva a temperatura e que por sua vez aumenta a quantidade de material deformado plasticamente na superfície. Dependendo das propriedades do material usinado, a evidência de deformação plástica severa na superfície é denotada por marcas interrompidas ou fluxo lateral de material excessivo. Destas figuras também é possível observar que o pior desempenho, em termos de acabamento, foi para o Ti-6Al-4V em relação aos outros materiais. Este material é considerado de pobre usinabilidade em processos de usinagem com ferramenta de geometria definida, por exemplo, em operação de torneamento, devido a fatores como elevada afinidade química com a maioria dos materiais de ferramentas de corte, principalmente com cerâmicas. Como neste trabalho foi utilizado o rebolo de óxido de alumínio, portanto cerâmico, pode ser observado que também no processo de retificação esta liga de titânio apresentou pobre usinabilidade. Em geral, são recomendados rebolos abrasivos a base de carbetto de silício (SiC) ou diamante sintético (superabrasivo) para a retificação desta liga. Mas neste trabalho, o rebolo de alumina foi selecionado intencionalmente para fins de pesquisa e de comparação para os outros materiais testados. Quanto aos outros materiais, aço VP Atlas, Ferro Fundido Cinzento e Inconel 718, pode-se afirmar que, com base nos valores médios e desvio padrão, não houve diferença entre o desempenho deles em termos de acabamento.

Pesquisas análogas em retificação plana foram realizadas com materiais semelhantes aos estudados neste trabalho e serão comentados a seguir.

Paiva *et al.* (2014), após realizarem ensaios de retificação do mesmo aço VP Atlas com um rebolo de óxido de alumínio branco em condições de corte bem próximas aquelas empregadas neste trabalho e encontraram valores de R_a que variaram entre 0,24 μm e 0,27 μm , e R_z de 2,00 μm a 2,50 μm para suas condições investigadas.

Oliveira *et al.* (2015) conduziram experimentos de retificação do Inconel 718 com o rebolo de óxido de alumínio branco e verificaram que os valores dos parâmetros de rugosidade (R_a e R_z) aumentaram com a penetração de trabalho e que no caso do parâmetro R_a , os valores situaram-se abaixo de 0,30 μm . Estes autores ainda relataram que não houve presença de trincas nas superfícies das peças retificadas.

Taborga, Taborga e Weingaertner (2003) também realizaram ensaios de retificação de ferro fundido nodular com rebolos de SiC e Al_2O_3 e analisaram a influência deles na rugosidade da superfície. Eles fizeram algumas observações sobre a usinabilidade deste material em função dos abrasivos empregados antes de apresentarem os resultados. Segundo eles, na retificação de aços de baixo teor de carbono a recomendação é utilizar o óxido de alumínio, embora o carbetto de silício tenha uma maior dureza, devido a um enfraquecimento das propriedades do grão (SiC) em decorrência da afinidade química entre o carbetto de silício e o carbono do material da peça. Ao final, eles observaram que os resultados de rugosidade (R_a) foram melhores quando rebolo de SiC foi empregado e que com este rebolo houve menor variação da rugosidade em função do volume removido.

Outro fator importante para avaliar a influência de parâmetros de corte na retificação de metais é a análise da qualidade da superfície gerada no processo de retificação. Uma análise minuciosa da superfície do material usinado permite constatar vários microdefeitos ou ainda trincas. Segundo Hecker e Liang (2003), os principais defeitos verificados são trincas ocasionadas por bruscas variações térmicas (comum em processo de retificação com rebolos abrasivos convencionais) e crateras provocadas pelas fraturas dos grãos abrasivos.

Nas Figuras 6, 7, 8 e 9 são apresentadas as imagens das superfícies retificadas em função da espessura de corte equivalente obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), ampliação de 1800 vezes para VP Atlas, Inconel 718, Ferro Fundido Cinzento e Ti-6Al-4V, respectivamente.

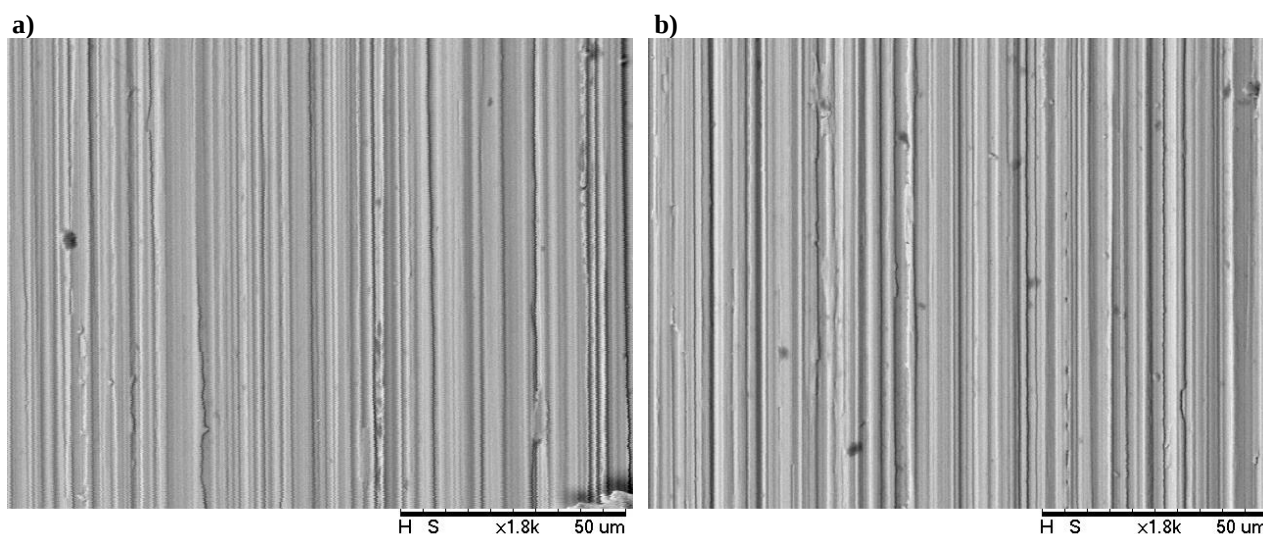


Figura 6. VP Atlas com H_{eq} : a) 0,07 μm e b) 0,14 μm .

Da Fig. 6 (a) e (b) é possível observar marcas deixadas pelos grãos abrasivos que passaram pela superfície da peça. Pode-se ainda ressaltar a presença de deformação plástica na superfície, que de acordo com Marinescu *et al.* (2007), isso ocorre devido à penetração dos grãos na peça e seu material é empurrado e colocado de lado pela aresta cortante (fluxo lateral de material), formando cavidades na superfície do material ou sulcos laterais, porém, sem remoção de material, ocorrendo apenas deformação plástica.

De forma análoga ao que ocorreu na superfície do aço VP Atlas após a retificação, para o Inconel 718 (Fig. 7 (a) e (b)) percebe-se também a evidência dos mecanismos de desgaste por microcorte e microsulcamento (deformação plástica) causados pelos grãos abrasivos. Contudo, observou-se que as marcas nas superfícies estão mais regulares que aquelas observadas para o aço VP Atlas, ao contrário do que era esperado. Segundo Tawakoli e Tavakkoli (1985), o Inconel 718 é um material classificado como sendo de difícil usinagem, devido à sua elevada dureza e facilidade de encruamento durante a usinagem que, por sua vez, dificulta o cisalhamento.

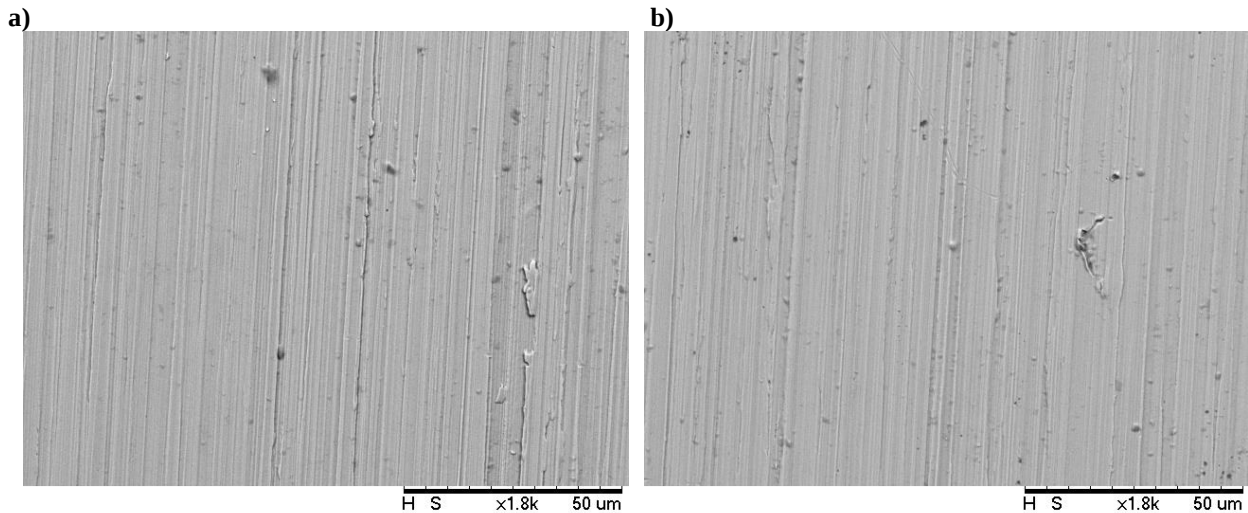


Figura 7. Inconel 718 com H_{eq} : a) 0,07 μm e b) 0,14 μm .

Na Fig. 8 (a) e (b) são mostradas as imagens das superfícies das amostras de ferro fundido cinzento após a retificação com diferentes valores de espessura de corte equivalente. Diferentemente do que foi observado para as amostras do aço VP Atlas e Inconel 718, usar o ferro fundido cinzento foi notada a presença de trincas e evidência de destacamento de material da superfície, independente da espessura de corte equivalente empregada. O ferro fundido cinzento é um material frágil e, por causa de sua baixa ductilidade, a região de deformação plástica é bem pequena. Assim, ao invés de, inicialmente, apenas se deformar com a penetração da aresta de corte do grão abrasivo, este material se fratura e se destaca da superfície (Marinescu *et al.*, 2007). Marinescu *et al.* (2004) relataram que a energia específica gerada no processo durante a retificação de ferro fundido cinzento com rebolo de alumina pode ser maior do que aquela para outros materiais de dureza semelhante nas mesmas condições de corte, tal como é o aço de médio carbono. Vale ressaltar que a literatura recomenda a utilização de rebolos de SiC também para a usinagem de ferros fundidos cinzentos, que possui baixa resistência à tração, demonstrando, portanto, que a seleção correta de um rebolo é essencial. Esta classe de rebolos em geral possui um formato mais afilado e de bordas mais cortantes que o óxido de alumínio, e assim com maior capacidade de penetrar no material e remover uma pequena quantidade deste através de cisalhamento.

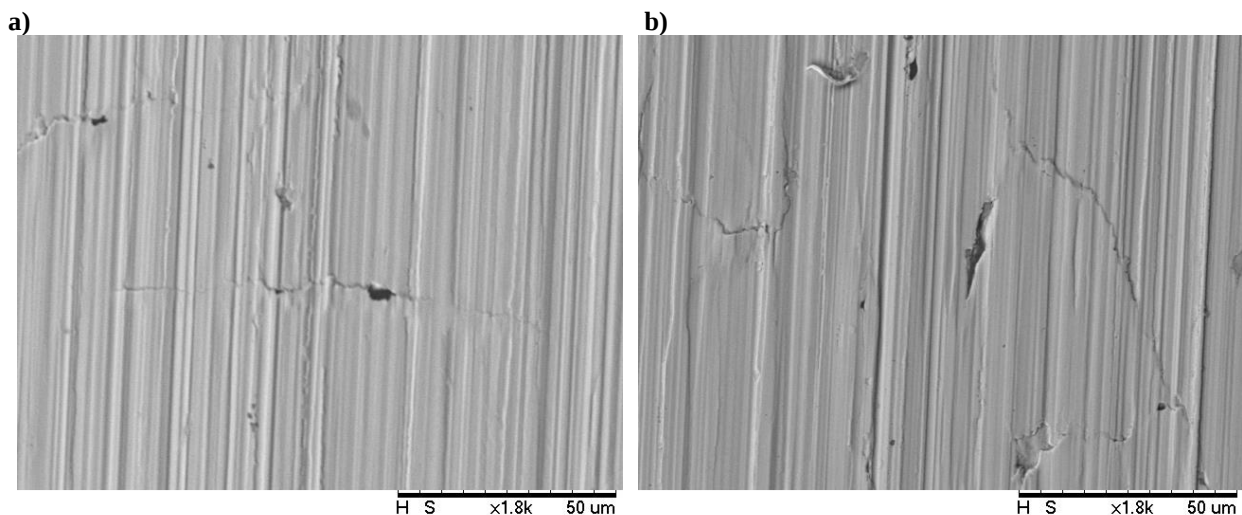


Figura 8. Ferro Fundido Cinzento com H_{eq} : a) 0,07 μm e b) 0,14 μm .

Como já comentado anteriormente, neste trabalho, em específico, a seleção do rebolo da alumina para todos os materiais objetivou somente determinar a usinabilidade entre os materiais ferros e não ferrosos e, portanto, apenas com caráter científico.

Na Fig. 9 (a) e (b) são mostradas as imagens das superfícies retificadas para o Ti-6Al-4V. Destas figuras observa-se que a qualidade da textura para este material é pior que aquela para os outros materiais, que as marcas dos grãos abrasivos não são tão evidentes como aquelas dos outros materiais. Além disso, a evidência de que houve severa deformação plástica na superfície é denotada pelo aspecto de material da peça com aspecto de que foi esmagado em vez de cisalhado. Este fenômeno refletiu negativamente nos valores mais elevados de rugosidade (R_a e R_z) em relação aos outros materiais (Figs. 4 e 5). A espessura de corte equivalente praticamente não influenciou na textura, mas sabe-se que o aumento da penetração de trabalho, que implica em maior H_{eq} , intensifica a deformação plástica térmica induzida pelo aumento da geração do calor e assim podendo elevar os níveis de tensão residual de tração na superfície retificada (Marinescu *et al.* (2007). Se a expansão térmica é suficiente para causar deformação plástica e o resfriamento subsequente promovido pelo fluido de corte conduz a uma contração na superfície da peça, esta resultará em uma tensão residual. Assim, a mudança na microestrutura do material provocará diferença de volume de arranjo cristalino que por sua vez irá gerar tensões de tração ou de compressão na superfície. Em casos extremos este fenômeno pode levar à formação de trincas na superfície da peça, conforme pode ser observado na Fig. 9b.

Mello *et al.* (2015) também observaram trincas na superfície de uma peça de Ti-6Al-4V após ser retificada com rebolo de óxido de alumínio branco e concluíram que elas podem estar relacionadas a fatores térmicos, mecânicos e químicos combinados no processo. As trincas, que podem ser vistas na Fig. 9b, também surgiram na superfície e na direção perpendicular ao sentido de corte dos abrasivos, semelhante aquelas relatadas por Mello *et al.* (2015), indicando, portanto, que suas causas podem ser atribuídas aquelas citadas por Mello *et al.* (2015). Outro ponto que merece atenção, é que o rebolo utilizado de óxido de alumínio branco nesta pesquisa não é o mais adequado para a retificação da liga de titânio. Desta forma, para uma possível melhoria da retificabilidade desta liga seria obtida com o emprego de um rebolo de carbetto de silício (SiC) ou de diamante.

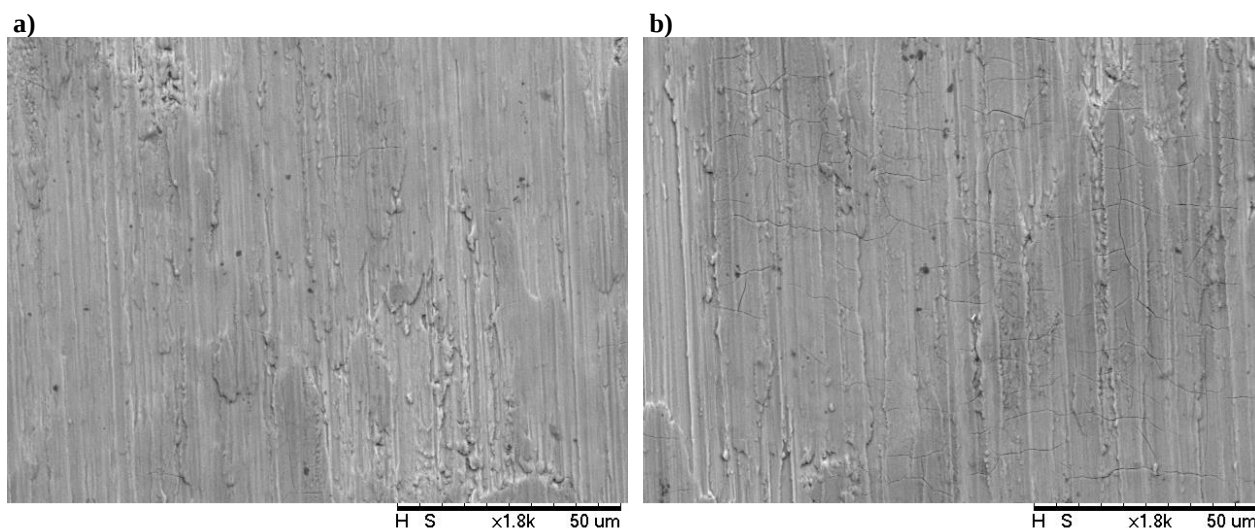


Figura 9. Ti-6Al-4V com H_{eq} : a) 0,07 µm e b) 0,14 µm.

4. CONCLUSÕES

- Os menores valores de rugosidade (R_a e R_z) foram obtidos após a retificação com o menor valor de espessura de corte equivalente (0,07 µm). Praticamente não houve diferença entre os menores valores de rugosidade R_a para o VP Atlas, Inconel 718 e Ferro Fundido Cinzento (0,16 µm), enquanto que o Ti-6Al-4V resultou nos valores mais elevados (0,27 µm);
- Em geral, os valores de rugosidade R_a situaram-se abaixo de 0,48 µm para todos os materiais testados;
- Ao analisar as superfícies retificadas através do MEV, observou-se que o Inconel 718 e o aço VP Atlas apresentaram marcas de retificação suaves e regulares;
- Para o ferro fundido cinzento observou-se a presença de fissuras, trincas e destacamento de material nas superfícies retificadas;
- O Ti-6Al-4V foi aquele que apresentou pior desempenho em termos de rugosidade e também em termos de superfície e textura de pobre qualidade, como também sofreu trincas na superfície, portanto sendo considerado o de pior usinabilidade nas condições apresentadas. Com isso, foi possível confirmar também que rebolos convencionais (cerâmicos), neste caso alumina, não são recomendados para a retificação deste material;

- Os parâmetros de corte empregados nesta pesquisa podem ser considerados adequados para a retificação do VP Atlas e do Inconel 718.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) por ter cedido equipamentos e máquinas necessárias à pesquisa, como também ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia pela concessão da bolsa de dois dos autores, à CAPES-PROEX, ao CNPq e à FAPEMIG pelo apoio financeiro. Por fim, eles agradecem a todos os integrantes do LEPU pelo apoio técnico e científico.

6. REFERÊNCIAS

- Agostinho, O.L., Rodrigues, A.C.S., Lirani, J., 1986 “Tolerâncias, Ajustes, Desvios e Análise de Dimensões”, 3ª ed., Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, Brazil, pp. 192-219.
- ASM, 2016, “TitaniumTi-6Al-4V (Grade 5), Annealed”. Disponível em: <<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MTP641>>. Acesso em: 06 abr. 2016.
- Bianchi, E.C., Fernandes, O.C., Mogami, O., Silva Jr, C.E., Valarelli, I.D., Aguiar, P.R., 1997, “Análise do comportamento de rebolos convencionais na retificação de aços frágeis e dúcteis”, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, v. 19, n. 3, Brazil, pp. 410-425.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C., Coppini, N.L., 2006, “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, 5ª ed., Editora Artliber, São Paulo, Brazil, pp 223-242.
- Goodfellow, 2016, “Inconel Alloy 718”. Disponível em: <<http://www.goodfellow.com/S/Inconel-alloy-718-Aleacion-Resistente-al-Calor.html>> Acesso em: 06 abr. 2016.
- Hecker, R. L., Liang S. Y., 2003, “Predictive modeling of surface roughness in grinding”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, pp. 755-761.
- Machado, A.R., Coelho, R.T, Abrão, A.M., Silva, M.B., 2009, “Teoria da Usinagem dos Materiais”, 1ª Ed., Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, Brazil, pp. 318-344.
- Malkin, S., 1989, “Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives”. Society of Manufacturing Engineers, Michigan, USA, pp 1-74.
- Marinescu, I.D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., Rowe, W.B., Inasaki I., 2007, “Handbook of machining with grinding wheels”, 1ª ed., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, pp. 1-44.
- Marinescu, I.D., Rowe, W.B., Dimitrov, B., Inasaki I., 2004, “Tribology of abrasive machining processes”, William Andrew Publishing, Norwich, USA, pp. 121-176.
- Mello, A.V., Silva, R.B., Guimarães, C., Paiva, R.L., Marques, A., 2015 “A contribution to grinding of titanium Ti-6Al-4V alloy with various coolant delivery techniques”, 23rd ABCM International Congress of Mechanical Engineering, Rio de Janeiro, Brazil, 6 p.
- Mitutoyo, 2014, “Manual de utilização rugosímetro SJ201, Nº 99MBB079A”. Disponível em: <<http://www.mitutoyo.com.br/site/download/manuais.html>> Acesso em 26 nov. 2014.
- Oliveira, D., De Castro, P.H.C., Silva, R.B., Guimarães, C., Marques, A., Freitas, F.M.C., 2015, “Influência da penetração de trabalho na rugosidade da liga de Inconel 718 após retificação”, XIX Colóquio de Usinagem, Natal, Brazil, 5 p.
- Ott, S. M., 1999, “Efeito do Molibdênio no comportamento em fadiga térmica de ferros fundidos vermiculares”. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil, 101 p.
- Paiva, R.L., Guimarães, C., Silva, R.B., Mello, A.V., 2014, “Influência do posicionamento do bocal e da vazão do fluido de corte na rugosidade superficial do aço VPAAtlas após retificação”, Simpósio do programa de pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil, 4 p.
- Taborga, A.R.M., Taborga, J.D.M., Weingaertner, W.L., 2003, “Análise da rugosidade obtida na retificação de ferro fundido nodular utilizando rebolos de SiC e Al₂O₃”, Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Uberlândia, Brazil, 10 p.
- Tawakoli, S. T., Tavakkoli, S. J., 1985, “High efficiency deep grinding (HEDG) of Inconel and other materials”. Wohleberg Superabrasives’85, Chicago, USA, pp. 4-67.
- Tecnoalloy, 2016, “Superligas”. Disponível em: < <http://www.tecnoalloy.com.br/superligas.htm> >. Acesso em: 06 abr. 2016.
- Villares, 2016, “Aço Para Moldes VP ATLAS”. Disponível em: < <http://www.villaresmetals.com.br/content/download/39395/452857/file/VPATLAS%202015.pdf>>. Acesso em: 06 abr. 2016.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

SURFACE ROUGHNESS AND SURFACE TEXTURE EVALUATION OF DIFFERENTS METALS AFTER GRINDING WITH ALUMINUM OXIDE GRINDING WHEEL

Nome do primeiro autor, e-mail¹

Nome do segundo autor, e-mail¹

Nome do terceiro autor, e-mail¹

Nome do quarto autor, e-mail¹

Nome do quinto autor, e-mail¹

¹Nome da instituição, endereço para correspondência,

Abstract. Grinding is a machining process that provides better surface finishing combined with closer dimensional and geometrical deviations compared to the traditional machining process with defined tool's geometry. To achieve that is important to understand the difference between chip formation process in grinding of ductile and fragile materials, to select the correct input parameters and finally to perform the machining trials. These stages are important to verify how the finishing and dimensional tolerances of each material are affected by input parameters. Into this context, this work aims to give a contribution to the metalworking industry by presenting the results of surface finishing and quality of the machined surfaces after grinding the following materials: VP Atlas steel grade, Gray Cast Iron and two superalloys, Inconel 718 and Ti-6Al-4V. An aluminum oxide grinding wheel, wheel speed (37.6 m/s) and longitudinal table speed (10.16 m/min) were the input parameters kept constant. Two radial depth of cut values (15 μm and 30 μm) were also employed. Tests were performed with cutting fluid applied by the conventional overhead technique at a flow rate of 540 l/h. The output variables analyzed were the surface roughness parameters (R_a and R_z) and texture of the surfaces. SEM images of the machined surfaces were captured to help understand cutting mechanisms and better texture analysis of the materials, especially with the abrasive wheel employed. The results show that the surface roughness increased with the radial depth of cut; R_a values kept below 0.48 μm for all materials tested. With regard to machined surface quality, some cracks perpendicular to the cutting direction were observed on the machined surface of the gray cast iron and Ti-6Al-4V materials, thereby indicating their relative poor machinability compared to VP Atlas steel and Inconel 718 under the conditions investigated. Furthermore, no burning of visual appearance in the machined surfaces of all the samples was observed.

Keywords: grinding, aluminum oxide grinding wheel; VP Atlas steel; gray cast iron; Inconel 718; Ti-6Al-4V, finishing, surface texture, cracks.