

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO GRÁFICO PARA SIMULAÇÃO DA RUGOSIDADE NA RETIFICAÇÃO PLANA TRANSVERSAL DE MERGULHO

Hugo Emanuel de Andrade Costa

Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, São Carlos, SP, 13565-905
hugocosta497@gmail.com

Aristóteles Guido Rodrigues

Escola SENAI Shunji Nishimura, Av. Shunji Nishimura 605, Pompéia, SP, 17580-000
aristotelesguido@gmail.com

Carlos Eiji Hirata Ventura

Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, São Carlos, SP, 13565-905
ventura@ufscar.br

Resumo. A rugosidade nas superfícies da ferramenta influencia significativamente seu comportamento e desempenho, sendo que menores valores implicam na redução do atrito entre a peça e a ferramenta, da temperatura do processo e do seu desgaste. Sendo assim, a escolha correta dos parâmetros de corte e das características do rebolo para o processo de acabamento de insertos de corte se torna fundamental. De modo a se evitar a realização de experimentos para determinação das condições que levem a valores ótimos de rugosidade, surge a necessidade de se desenvolver modelos de previsão. Assim, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo gráfico, em software de desenho assistido por computador, em inglês, Computer Aided Design (CAD), para a obtenção da rugosidade final R_z de insertos de metal duro acabados por retificação plana transversal de mergulho. Para isso, foi elaborado um modelo tridimensional da topografia de um trecho do rebolo, com concentração constante e posicionamento dos grãos abrasivos baseado na geração de matrizes de números aleatórios para as três coordenadas cartesianas. Duas protrusões diferentes (3 e 5 μm) foram empregadas para a determinação da rugosidade máxima R_z como variável de saída. Verificou-se que os erros encontrados (entre 25 % e 45 %) estão associados ao formato dos grãos abrasivos e deformação do material devido à possível ocorrência de sulcamento.

Palavras-chave: Usinagem; Integridade Superficial; Grãos Abrasivos; Topografia do Rebolo; Insertos de Metal Duro.

1. INTRODUÇÃO

O metal duro é um material compósito, formado pela combinação de carbonetos (de tungstênio, titânio, tântalo ou nióbio) de elevada dureza, tenacidade e resistência ao desgaste com um metal aglomerante, comumente o cobalto. Sua fabricação ocorre através da metalurgia do pó, com a moagem, mistura e compactação dos grãos metálicos. Posteriormente, realiza-se a sinterização, que é responsável pelo aquecimento e fundição do material, a fim de realizar a ligação das partículas e conferir resistência mecânica à peça, que, neste caso, é o inserto (Chiaverini, 1986; Ferraresi, 2018; Machado et al., 2015).

Após o processo de sinterização, insertos de corte são retificados com o intuito de se alcançar as dimensões finais e reduzir os defeitos superficiais, como o empenamento e os concentradores de tensão que podem aumentar a probabilidade de nucleação e propagação de trincas (Bergs et al., 2020; Ferraresi, 2018; Machado et al., 2015). A cinemática do processo de retificação consiste na movimentação de um rebolo contra a superfície do inserto de metal duro, sendo que à medida que os grãos penetram na superfície, o material que está em seu caminho é removido (Cheng, 2008).

As variáveis de processo e do rebolo influenciam significativamente a rugosidade superficial. De modo geral, o aumento da velocidade de corte, a redução da velocidade de avanço e, conseqüentemente, a redução da espessura do cavaco contribuem para a redução da rugosidade (Abdullah et al., 2007; Denkena e Biermann, 2014; Klocke et al., 2009). Em relação ao grão abrasivo, quanto menor seu diâmetro, menor a rugosidade superficial, já que, para uma mesma concentração de grãos no rebolo, mais grãos participam do processo de corte. Contudo, os esforços normais e tangenciais aumentam (Klocke, 2009). Denkena, Köhler e Ventura (2014a e 2014b) analisaram o processo de retificação plana transversal de mergulho de insertos de nitreto cúbico de boro policristalino, em inglês, *Polycrystalline Cubic Boron Nitride (PCBN)*, e verificaram que quando o diâmetro do grão de diamante era reduzido de D36 (diâmetro

de 36 μm) para D15, ocorria uma diminuição no lascamento da aresta de corte e a qualidade da superfície retificada aumentava. Entretanto, eles observaram que essa redução gerou forças normal e tangencial maiores, devido ao maior número de arestas ativas. Similarmente, na retificação plana tangencial, diferentes pesquisadores observaram que rebolos com maior diâmetro geram superfícies menos rugosas, devido à maior área de contato entre peça e ferramenta e, por consequência, à maior quantidade de grãos ativos, que gera menor espessura de cavaco por grão (Hecker e Liang, 2003; Wu et al., 2020).

Modelar o perfil de rugosidade antes da execução do processo de retificação é importante para prever a qualidade superficial da peça retificada, avaliar a eficiência da operação e, eventualmente, controlar os parâmetros em tempo real, a fim de reduzir os custos de produção. Para isso, modelos paramétricos da topografia do rebolo com a utilização de uma distribuição determinística e uniforme discreta foram desenvolvidos e investigados por Dittrich, Denkena e Wichmann (2021). Os autores notaram que rebolos compostos por uma distribuição determinística geraram uma superfície mais rugosa quando comparados a rebolos parametrizados com uma distribuição estocástica. Além disso, conforme Baidakova e Orlova (2017), grãos com diâmetros e formatos diferentes aumentam a habilidade de corte em cerca de 30-40 %, enquanto grãos regulares geram superfícies com menor rugosidade. Hecker e Liang (2003) e Wu et al. (2017) utilizaram grãos com vista seccional triangular para produzir um perfil de ranhura em superfícies, enquanto Agarwal et al. (2017) simularam grãos com formato parabólico.

Materiais frágeis, como o metal duro, apresentam comportamento de remoção dúctil e frágil durante a formação de cavaco. O comportamento frágil é caracterizado pela nucleação e propagação de trincas, enquanto o dúctil ocorre a partir de deformações elásticas e plásticas antes do cisalhamento. Os modos de remoção do cavaco estão relacionados à sua espessura, sendo que valores menores que uma dada espessura crítica de corte levam a uma remoção dúctil, devido à intensa compressão do material (Hecker e Liang, 2003; Klocke, 2009; Klocke et al., 2016). Wu et al. (2017) utilizaram a distribuição de Rayleigh para posicionar os grãos em relação à sua protrusão e obtiveram um erro absoluto de 3,33 % quando comparado com os resultados experimentais no modo de remoção dúctil.

De modo geral, os modelos encontrados na literatura, baseados em formulações matemáticas, têm apresentado resultados satisfatórios. A partir da simulação do processo, Ding et al. (2017), por exemplo, obtiveram uma redução na rugosidade R_a de 1,3 μm para 0,51 μm , o que ocorreu devido à redução da espessura do cavaco e do desgaste do rebolo, o que permitiu a geração de um maior número de arestas ativas.

A fim de se melhorar a visualização e aumentar a simplicidade da previsão da rugosidade superficial de insertos de corte retificados, o presente trabalho tem como principal objetivo o desenvolvimento de um modelo gráfico em *software CAD* que seja capaz de simular a geração de uma superfície obtida por retificação plana transversal de mergulho, de modo a prever sua rugosidade e melhor compreender os parâmetros de influência, principalmente relacionados às características da topografia do rebolo, como diâmetro, protrusão e distribuição dos grãos abrasivos.

2. MODELAGEM GRÁFICA DA SUPERFÍCIE RETIFICADA

2.1. Metodologia

A construção dos modelos gráficos para simulação do processo de retificação plana transversal de mergulho foi realizada no *software CAD*, *SolidWorks*, versão 2018. Através deste *software*, trechos da superfície do inserto e do rebolo com grãos abrasivos em diferentes posições foram gerados. Para posicionamento dos grãos na camada abrasiva, foram utilizadas distribuições aleatórias em todas as direções do sistema cartesiano, geradas por meio do *software Matlab*, versão 10. O *software Origin 8*, por sua vez, foi utilizado para a obtenção dos gráficos da rugosidade máxima R_z nas superfícies simuladas.

Optou-se por utilizar os grãos esféricos, pois além de ser uma geometria simples para representar a realidade, esses formatos de grão foram propostos por Malkin e Guo (1989), os quais obtiveram resultados representativos, mesmo o modelo constituído de esferas perfeitas introduzindo um erro. Com o objetivo de se avaliar a influência da protrusão dos grãos sobre a rugosidade R_z de insertos de metal duro, dois valores máximos foram considerados para um grão esférico (conforme indicado por Malkin e Guo (1989), Fig. 1) com diâmetro $d_g = 46 \mu\text{m}$: 3 μm e 5 μm . Tais valores foram extraídos do trabalho de Rodrigues (2021), que apresenta o comportamento do desgaste de rebolos diamantados após a retificação do metal duro e sua influência sobre a qualidade superficial. Nele, o parâmetro Spk (altura reduzida de pico em determinada área, obtida da curva de Abbott-Firestone) foi utilizado como medida da protrusão de grão.

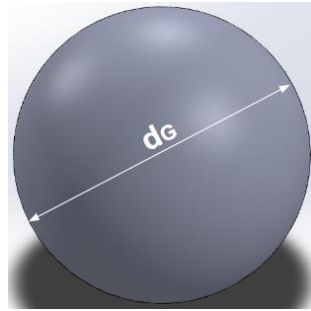


Figura 1. Geometria do grão utilizado para construção do rebolo

Para a geração das camadas abrasivas dos rebolos para simulação, grãos abrasivos foram posicionados nas direções x , y e z do sistema cartesiano (Fig. 2), de acordo com distribuições aleatórias, como já mencionado. A protrusão dos diferentes grãos foi variada na direção z , entre zero e seu valor máximo. Para calcular a quantidade de grãos sobre o ligante resinoide, foi considerada a concentração de um rebolo diamantado real, C100 (0,88 g/cm³), e a densidade teórica do diamante (3,52 g/cm³). Assim, para a área selecionada (0,1 mm²), fez-se necessário posicionar 23 grãos D46 sobre o rebolo. A localização de referência adotada para posicionamento dos grãos na superfície do rebolo foi no vértice superior esquerdo, como mostrado na Fig. 2.

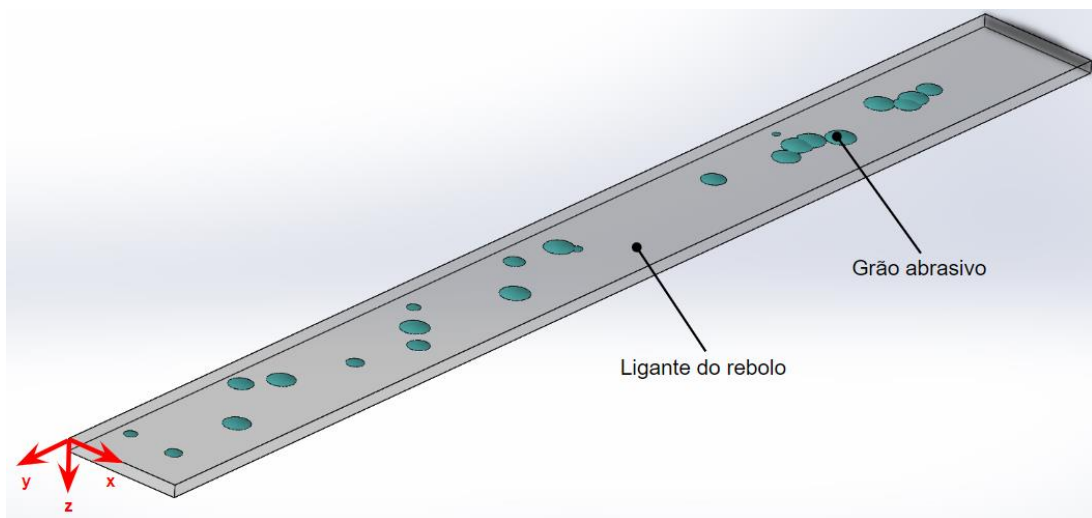


Figura 2. Trecho do rebolo com grãos abrasivos distribuídos

Também foi necessário modelar a superfície inicial do inserto, pois estes são submetidos ao processo de retificação com o intuito de reduzir sua rugosidade inicial. Em outras palavras, os insertos possuem rugosidade inicial diferente de zero. Assim, a superfície inicial do inserto (Fig. 3) foi modelada por um perfil de rugosidade triangular devido ao formato dos grãos do *blank* se aproximar mais de um triângulo quando analisado pelo microscópio. Entretanto, buscou-se simplificar a topografia da superfície a ser retificada, pois além de não se ter encontrado trabalhos que abordem a distribuição de picos e vales na superfície do inserto de modo a aproximar a peça de trabalho da realidade, o objetivo principal do trabalho foi limitado à modelagem da topografia do rebolo. O valor da rugosidade inicial R_z da superfície do inserto foi definida em 2 μm para a simulação, com base na medição de um *blank* que apresentou rugosidade inicial de 2,80 μm . Optou-se por utilizar um valor inferior, pois se entende que a rugosidade estabilizaria com uma quantidade menor de passes.

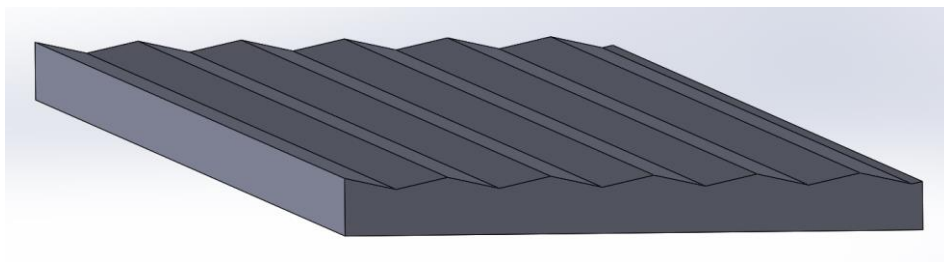


Figura 3. Superfície com perfil de rugosidade inicial triangular e $R_z = 2 \mu\text{m}$

Para as distribuições aleatórias do posicionamento dos grãos abrasivos sobre o ligante do rebolo, duas funções foram utilizadas: uma para geração desses números e a outra para limitação, conforme dimensões do trecho do rebolo e superfície de folga do inserto (x entre 0 e 0,1 mm, y = entre 0 e 1 mm e z = entre 0 e 3 ou 5 μm). O gráfico exemplificado (Fig. 4) indica pontos de coordenadas para representar que cada grão posicionado sobre o ligante ocupou uma protrusão diferente, variando de 0 a 3 μm . Gráficos similares ao apresentado abaixo foram construídos para posicionar os grãos nos outros eixos coordenados.

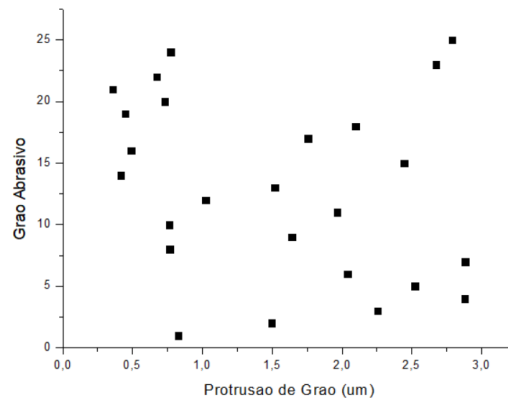


Figura 4. Exemplo de gráfico de grãos distribuídos aleatoriamente para posicioná-los em relação à protrusão

Tendo em vista a cinemática do processo de retificação plana transversal de mergulho (Fig. 5), no qual o rebolo copo, com velocidade de corte v_c constante, avança sua face plana contra a superfície de folga do inserto a ser retificado (conforme mostrado pela velocidade de avanço v_{fa} na Fig. 5), a simulação de remoção do material e obtenção da superfície é realizada a partir da subtração do sólido referente ao inserto pelos sólidos referentes aos grãos abrasivos em varredura na direção y (direção da velocidade de corte), conforme a Fig. 6a. Após cada passagem do trecho do rebolo criado sobre a superfície do inserto, o rebolo é deslocado na direção z (de avanço, conforme indicado pela seta vermelha na Fig. 6b) e uma nova passagem da camada abrasiva é realizada. Assim que o ligante do rebolo atinge a superfície do inserto ($z = 0$), inicia-se o processo novamente com uma nova topografia. Tal procedimento supõe que a camada abrasiva seja uniforme ao longo do perímetro do rebolo e que haja desgaste e aparecimento de novos grãos durante a operação de avanço. A rugosidade R_z é calculada após cada passagem da camada abrasiva sobre a superfície do inserto e a simulação é encerrada quando ocorre sua estabilização, ou seja, quando sua variação é menor que 15 %, valor definido arbitrariamente, compreendendo-se que, a partir deste ponto, a rugosidade máxima R_z da superfície simulada não deverá variar expressivamente, podendo-se, com isso, encerrar a simulação.

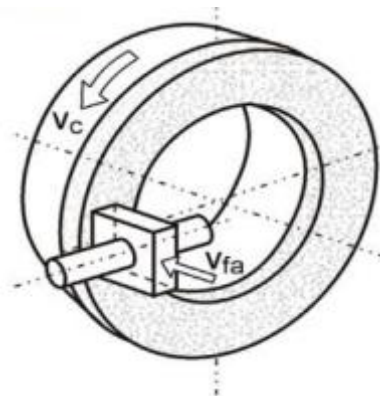


Figura 5. Cinemática do processo de retificação plana transversal de mergulho (adaptado de Denkena, Köhler e Ventura, 2014a)

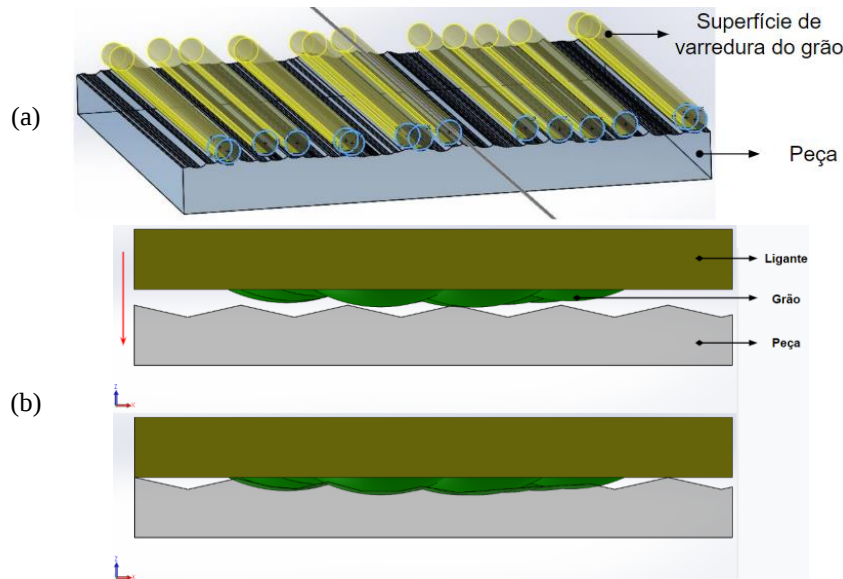


Figura 6. (a) Varredura e subtração da superfície retificada pelos grãos abrasivos e (b) direção de movimentação incremental do rebole em relação à peça (avanço do rebole contra o inserto)

Com base na velocidade de corte $v_c = 20$ m/s, no diâmetro do rebole, igual a 350 mm, e em sua velocidade de avanço axial $v_{fa} = 6$ mm/min, verificou-se que 20.000 trechos do rebole com comprimento de 1 mm deveriam passar pela superfície a ser retificada com incrementos de $0,1875 \mu\text{m}$ para a remoção de uma camada de $0,1$ mm. No entanto, observou-se uma estabilização da rugosidade máxima R_z antes, a partir da aproximação dos picos e vales através dos incrementos de avanço na direção axial. É importante e necessário utilizar os incrementos de avanço na direção axial sem aproximações ou arredondamentos, visto que seu cálculo foi realizado através da divisão entre a protrusão e o número de passes desejados. Em outras palavras, se houver aproximações ou arredondamentos, o avanço do rebole contra a peça retificada vai extrapolar seu valor ou não irá alcançar o valor desejado e afetará o valor de rugosidade.

Para se avaliar a qualidade superficial do inserto de corte, foi utilizada a rugosidade máxima R_z , mesmo sendo a rugosidade média R_a o parâmetro mais utilizado na maioria dos trabalhos. Entende-se que o R_z é mais representativo para representar a superfície, visto que ele considera os picos mais altos e os vales mais profundos para a caracterização do perfil de rugosidade, indicativos da ação dos diferentes grãos abrasivos.

As vantagens da utilização de modelos gráficos para simular a geração da superfície no processo de retificação correspondem à possibilidade de se visualizar o processo, bem como verificar, a priori, a quantidade de incrementos de avanço na direção axial para estabilização da superfície. Como limitações, ressalta-se que este é um modelo geométrico, que não leva em conta a deformação plástica ou a formação de trincas, ou seja, não é capaz de prever os efeitos da remoção dúctil e/ou frágil.

2.2. Resultados e discussão

A validação do modelo, assim como a quantidade de incrementos de avanço na direção axial em relação à estabilização da rugosidade na superfície do inserto, foi definida através dos dados experimentais apresentados no trabalho de Rodrigues (2021). Onde, para uma protrusão máxima de $3 \mu\text{m}$, Rodrigues (2021) encontrou uma rugosidade R_z experimental de aproximadamente $2,1 \mu\text{m}$. Enquanto que para uma protrusão máxima em torno de $5 \mu\text{m}$, o R_z experimental foi de aproximadamente $2,3 \mu\text{m}$. Os erros foram calculados com base nas diferenças entre os valores reais e simulados.

Rodrigues (2021) considera um *cut-off* de $800 \mu\text{m}$ em seus experimentos de retificação, que corresponde a um R_a de $0,1 \mu\text{m}$ a $2 \mu\text{m}$ (conforme indicado pela norma ABNT ISO 4288:2008) através da medição da rugosidade máxima R_z dos insertos no microscópio confocal Alicona Infinite Focus SL.

A utilização de rebolos constituídos de grãos com diferentes protrusões máximas, conforme as Figs. 7a e 7b, gerou curvas com tendências similares. Na Fig. 7a, é possível observar a redução da rugosidade máxima R_z , apesar de pequenas oscilações, enquanto na Fig. 7b o decréscimo é, de modo geral, constante. Nota-se em apenas um dos pontos redução seguida de rápido crescimento. Na Fig. 7a, as oscilações podem estar associadas a uma redução mais rápida da rugosidade causada pela maior quantidade de arestas ativas, gerada, por sua vez, pela menor protrusão de grão. Após atingir um valor mínimo, com uma superfície quase lisa, ocorre leve crescimento da rugosidade pela continuação do processo. Em seguida, a rugosidade alcançada é novamente reduzida, devido às características do rebole.

A rugosidade máxima R_z para o primeiro caso se estabilizou em um patamar menor, em torno de $1,1 \mu\text{m}$, enquanto no segundo caso, com a aplicação de um rebole com maior protrusão de grão, a rugosidade se estabilizou em

aproximadamente $1,5 \mu\text{m}$, o que condiz com o fato de um rebolo preparado com maior protrução de grãos gerar sulcos mais profundos na superfície da peça. No trabalho experimental, para cada protrução, foram obtidos valores de R_z aproximados de $2 \mu\text{m}$, o que gerou erros devido ao formato dos grãos abrasivos e deformação do material devido à possível ocorrência de sulcamento. Os erros percentuais foram de 47,6 %, para o modelo que utiliza grãos com $3 \mu\text{m}$ de protrução e de 34,8 %, para o modelo com grãos de $5 \mu\text{m}$ de protrução.

Salienta-se que a obtenção desses valores de rugosidade máxima R_z pode ser utilizada para comparação com outros modelos dispostos na literatura, de modo a se buscar uma maior compreensão acerca dos parâmetros que fazem os modelos se aproximarem ou se distanciarem da realidade.

Como mencionado, esses erros podem estar relacionados à diferença de geometria dos grãos abrasivos da topografia real, já que na simulação todos os grãos apresentavam mesmo formato e diâmetro. Mas também, à ocorrência de desgaste nos grãos ao longo do processo de retificação, enquanto que na simulação, esse desgaste não foi possível ser previsto. E devido ao modo de remoção dúctil e frágil, que ocorre no experimental, mas na simulação, apenas o cisalhamento é possível.

É importante salientar que o número de incrementos de avanço na direção axial foi o mesmo para as duas situações, tendo sido realizados 16 passes de retificação até que o ligante do rebolo alcançasse a superfície do inserto e sua topografia fosse alterada. Para melhor avaliação visual, foram simulados 36 passes, embora uma menor quantidade tenha sido necessária para estabilização da rugosidade R_z : 30 passes para o rebolo com menor protrução de grão e 25 passes para o rebolo com maior protrução.

Ao comparar o volume de material removido para a mesma quantidade de passes após a simulação, observou-se que para o rebolo com protrução de $3 \mu\text{m}$, o volume removido foi de, aproximadamente, $108000 \mu\text{m}^3$ e para o rebolo com protrução de $5 \mu\text{m}$, o volume removido foi em torno de $52000 \mu\text{m}^3$. Nota-se, assim, que, para estabilização da rugosidade, o primeiro rebolo teve que remover duas vezes mais material do que o segundo, o que pode ser justificado pelo maior número de arestas ativas no caso da menor protrução.

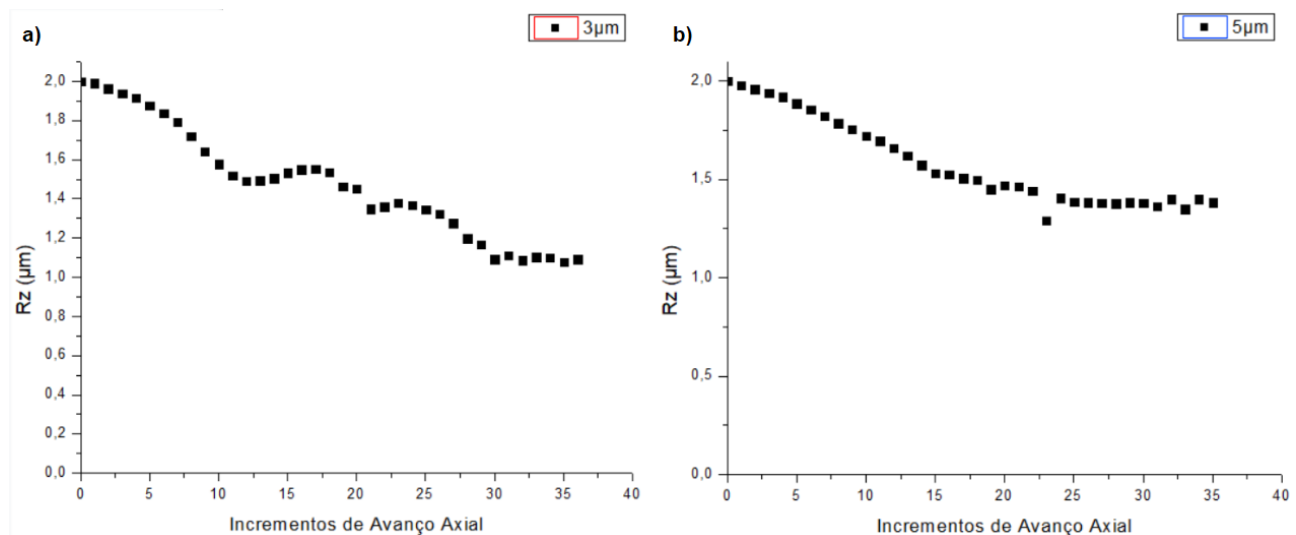


Figura 7. Variação da rugosidade R_z da superfície do inserto com o aumento do número de incrementos de avanço axial para protruções de grão de (a) $3 \mu\text{m}$ e (b) $5 \mu\text{m}$

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram desenvolvidos rebolos paramétricos e foram consideradas duas protruções de grãos ($3 \mu\text{m}$ e $5 \mu\text{m}$), com o intuito de avaliar seus efeitos na rugosidade máxima R_z do inserto. Através das simulações gráficas, conforme esperado, atingiu-se menor patamar de rugosidade com o rebolo de menor protrução de grão ($R_z = 1,1 \mu\text{m} < 1,5 \mu\text{m}$) e, devido ao seu maior número de arestas ativas, verificou-se um maior volume de material removido por ele para estabilização da rugosidade. Comparando-se os valores de rugosidade simulados para as diferentes protruções máximas, com os obtidos experimentalmente pelo trabalho de Rodrigues (2021), conforme descrito na seção anterior, observou-se erros associados de, aproximadamente, 47,6 %, para a protrução de $3 \mu\text{m}$, e em torno de 34,8 %, para a protrução de $5 \mu\text{m}$. Esses erros foram gerados devido à geometria dos grãos abrasivos, processo de desgaste do rebolo e deformação do material devido à possível ocorrência de sulcamento, que não é possível de ser previsto na simulação CAD.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Código de Financiamento 001) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Processos nº 2015/15622-2, 2017/12309-7, e 2017/12304-5).

5. REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. et al. Profile wear of resin-bonded nickel-coated diamond wheel and roughness in creep-feed grinding of cemented tungsten carbide. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 183, n. 2-3, p. 165-168, 2007.
- AGARWAL, S. et al. An analytical chip thickness model for performance assessment in silicon carbide grinding. *Procedia Manufacturing*, v. 10, p. 298- 306, 2017.
- ABNT. ABNT NBR ISO 4288:2008 Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. 2008.
- BAIDAKOVA, N. V.; ORLOVA, T. N. Influence of abrasive grain geometrical characteristics on the grinding quality. *Procedia Engineering*, v. 206, p. 194- 199, 2017.
- BERGS, T. et al. Tribological conditions in grinding of polycrystalline diamond. *Diamond and Related Materials*, v. 108, p. 107930, 2020.
- CHENG, K. (Ed.) *Machining dynamics: fundamentals, applications and practices*. Springer Science & Business Media, 2008.
- CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica Vol. II*. 2ª edição. Ed. 1986.
- DENKANA, B.; BIERMANN, D. Cutting edge geometries. *CIRP annals*, v. 63, n. 2, p. 631-653, 2014.
- DENKANA, B.; KÖHLER, J.; VENTURA, C. E. H. Grinding of PCBN cutting inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, v. 42, p. 91-96, 2014a.
- DENKANA, B.; KÖHLER, J.; VENTURA, C. E. H. Influence of grinding parameters on the quality of high content PCBN cutting inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, v. 214, n. 2, p. 276-284, 2014b.
- DING, W. et al. Grinding performance of textured monolayer CBN wheels: undeformed chip thickness nonuniformity modeling and ground surface topography prediction. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 122, p. 66-80, 2017.
- DITTRICH, M.-A.; DENKANA, B.; WICHMANN, M. Parametric grinding wheel model for material removal simulation of tool grinding processes. *Procedia CIRP*, v. 102, p. 381-386, 2021.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. Editora Blucher, 2018.
- HECKER, R. L.; LIANG, S. Y. Predictive modeling of surface roughness in grinding. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 43, n. 8, p. 755-761, 2003.
- KLOCKE, F. et al. Analysis of the material behavior of cemented carbides (WC-Co) in grinding by single grain cutting tests. *Procedia CIRP*, v. 46, p. 209- 213, 2016.
- KLOCKE, F. *Manufacturing processes 2: Grinding, Honing, Lapping*. Berlin: Springer, 2009.
- MACHADO, Á. R. et al. *Teoria da usinagem dos materiais*. Editora Blucher, 2015.
- MALKIN, S.; GUO, C. *Theory and applications of machining with abrasives*. University of Massachusetts, 1989.
- RODRIGUES, A. G. Caracterização do desgaste do rebolo na retificação de insertos de metal duro. 2021.
- WU, C. et al. Surface roughness modeling for grinding of silicon carbide ceramics considering co-existence of brittleness and ductility. *International Journal of Mechanical Sciences*, v. 133, p. 167-177, 2017.
- WU, J. et al. Research on predicting model of surface roughness in small scale grinding of brittle materials considering grinding tool topography. *International Journal of Mechanical Sciences*, v. 166, p. 105263, 2020.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

DEVELOPMENT AND ASSESSMENT OF A GRAPHIC MODEL FOR SIMULATION OF ROUGHNESS IN PLUNGE-FACE GRINDING

Hugo Emanuel de Andrade Costa

Federal University of São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, São Carlos, SP, 13565-905
hugocosta497@gmail.com

Aristóteles Guido Rodrigues

SENAI School Shunji Nishimura, Av. Shunji Nishimura 605, Pompéia, SP, 17580-000
aristotelesguido@gmail.com

Carlos Eiji Hirata Ventura

Federal University of São Carlos, Rodovia Washington Luís km 235, São Carlos, SP, 13565-905
ventura@ufscar.br

Abstract. *Surface roughness of the tool significantly influences its behavior and performance, with lower values implying a reduction in friction between tool and part, temperature and wear. Therefore, the correct choice of grinding parameters and wheel characteristics for the cutting insert finishing process becomes fundamental. In order to avoid carrying out experiments to determine the conditions that lead to optimal roughness values, there is a need to develop prediction models. Thus, this work aims to develop a graphic model, in CAD software, to obtain the final roughness R_z of cemented tungsten carbide inserts finished by plunge-face grinding. For this, a three-dimensional model of the topography of a section of the grinding wheel was generated, with constant concentration and aleatory positioning of the abrasive grains in the three Cartesian coordinates. Two different grain protrusions (3 and 5 μm) were used to determine the maximum roughness R_z as the output variable. It was verified that errors between simulated and experimental values (between 9 % and 45 %) are associated with the shape of the abrasive grains and deformation of the material due to the possible occurrence of plowing.*

Keywords: *Machining; Surface Integrity; Abrasive Grits; Grinding Wheel Topography; Cemented Carbide Inserts.*

RESPONSIBILITY NOTICE

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