

COMPORTAMENTO DE VÁRIOS PARÂMETROS DE RUGOSIDADE DE INCONEL 718 APÓS A RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE SIC

Marcus Vinícius de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
marcus1705.mv@gmail.com

Paulo Vinicius da Silva Resende

Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia, R. 75, nº46 - Centro, Goiânia – GO.
paulo.vinicius@ifg.edu.br

Alcione dos Reis

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
alcionereis@ufu.br

Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
rosemar.silva@ufu.br

Resumo: Vários componentes das industriais aeroespacial e petroquímicas utilizam materiais resistentes a processos e ambientes agressivos que requerem resistência mecânica em temperaturas, com destaque para as ligas de níquel, principalmente o Inconel 718, as quais materiais como aço e alumínio não atendem. Contudo, este material é bem conhecido dos profissionais de usinagem por sua baixa retificabilidade em virtude de diversos fatores, tais como a sua baixa condutividade térmica em relação aos aços, elevada taxa de encruamento, elevada resistência mecânica que dificulta o cisalhamento, fazendo com que grande parte do calor gerado durante a retificação com rebolos convencionais seja concentrada na região de corte, principalmente na superfície retificada, com prejuízo ao acabamento superficial. Além disso, a ocorrência de danos térmicos pode comprometer a funcionalidade do componente retificado. Desta forma, pesquisas são necessárias para entender como diferentes a variação dos parâmetros de corte durante a retificação influencia os parâmetros de rugosidade da superfície obtida, bem como outros parâmetros de integridade superficial. O objetivo deste trabalho é avaliar os parâmetros de rugosidade (R_a , R_b , R_z e R_q) da peça de Inconel 718 após a retificação plana tangencial com rebolo de Carbetto de Silício (SiC) de especificação 39C60KVK. As variáveis de entrada testadas foram a velocidade da peça (v_w) em dois níveis 2,5 e 7,5 m/min e a penetração de trabalho (a_e), também em dois níveis 20 e 40 μm . Os resultados indicaram que todos os parâmetros de rugosidade foram menores quando realizou-se a retificação com a combinação entre menor a_e e maior V_w . Em especial, os valores de rugosidade R_a situaram-se abaixo de 0,5 μm , indicando que os parâmetros de corte e o rebolo selecionados foram adequados para a retificação do Inconel 718, valor este cerca de 70% menor que aquele valor de 1,6 μm considerado o limite superior para operação de retificação de semi-acabamento.

Palavras-chave: Retificação; Inconel 718; Rugosidade; Velocidade da peça; Carbetto de Silício.

1. INTRODUÇÃO

Devido à sua excelente resistência mecânica a altas temperaturas, à fadiga e ao desgaste, o Inconel 718 tem sido amplamente utilizado nas indústrias aeroespacial e de energia, dentre outras (Sugahara *et al.* 2009). No entanto, o grande desempenho de resistência e a sua baixa condutividade térmica em relação a materiais como o aço inoxidável ABNT 316 e alumínio por exemplo, o tornam um material de difícil usinabilidade, já que impede que o calor gerado durante a retificação seja transferido para o centro da peça (Ezugwu, 2005). Por causa do calor que fica concentrado na superfície da peça, a peça estará mais susceptível a alterações na textura e deterioramento do acabamento, como também, dependendo do gradiente térmico poderá ocorrer danos térmicos (Malkin, 2009). Este problema tem sido motivação para o desenvolvimento de pesquisas para entender o comportamento principalmente da rugosidade e encontrar condições adequadas de corte para atender aos requisitos de projeto.

De acordo com Marinescu (2007) a retificação é um processo de usinagem por abrasão recomendado em aplicações que requerem um elevado nível de precisão dimensional (qualidade de Trabalho IT06-IT03) e melhor acabamento ($R_a \leq$

1,6 μm) de peças. O processo de retificação recebe influência individual ou em conjunto de diversos fatores, tais como o fluido de corte, rebolo, parâmetros de corte, dressagem, além da própria retificadora.

Segundo Hecker e Liang (2003), é muito importante no processo de retificação garantir a qualidade da superfície usinada. Garantir essa qualidade pode ser fundamental para a vida útil dos componentes, eficácia da lubrificação, entre outros fatores. Caso essa qualidade não seja atingida é possível notar crateras por conta da ruptura de grãos, falhas causadas por efeitos térmicos e material movidos para trás. Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, através dos parâmetros de rugosidade R_a (Desvio aritmético médio de rugosidade), R_t (Altura total do perfil), R_z (Altura máxima do perfil), R_q (Desvio médio quadrático) o acabamento superficial do Inconel 718. Os testes foram realizados variando-se apenas a velocidade de avanço da peça (v_w) e penetrações de trabalho (a_e) a fim de determinar a influência destes na superfície após retificação com rebolo de Carbeto de Silício (SiC).

2. METODOLOGIA

Para a realização dos ensaios foi necessário preparar amostras a partir de uma barra de Inconel 718 (40 HRc) com dimensões comprimento 150 mm x $\varnothing$ 15 mm com o auxílio do torno mecânico MAXI-II 520. Foram preparadas quatro amostras, tendo elas $\varnothing$ 15 mm x 25 mm de altura. Além disso, foi confeccionado, um suporte para auxiliar na fixação das peças durante o processo de retificação.

Para realização da retificação na superfície das amostras, foi utilizada uma retificadora plana tangencial do fabricante MELLO, modelo P-36, semiautomática, com rotação constante em 2400 rpm, potência nominal do motor que aciona o eixo-arvore de 2,25 kW e resolução de 5 μm no eixo Z (vertical). O rebolo utilizado nos ensaios foi o rebolo de Carbeto de Silício (SiC) com a especificação 39C60KVK, do fabricante NORTON – SAINT GOBAIN ABRASIVES, sendo o tamanho do grão abrasivo correspondente à grana “mesh” 60 igual a 0,250 mm de acordo com a Federação Europeia de Produtos Abrasivos (FEPA). O fluido de corte utilizado foi o semissintético emulsionável, Vasco 7000, de base vegetal da fabricante Blaser Swisslube. Ele foi preparado na proporção de 1:19 (partes de óleo em água) à vazão de aproximadamente 511 L/h. Por meio de um refratômetro N1, ATAGO, a concentração do fluido de corte foi controlada após cada ensaio considerando o BRIX $\approx$ 4%. Para a dressagem do rebolo, foi utilizado um dressador de diamante do tipo ponta única com penetração de dressagem (a_{ed}) de 25 μm , grau de recobrimento do rebolo (U_d) de 3 e velocidade de dressagem (V_d) de 140 mm/min, sendo que foram realizados 3 passes com estes valores para preparar o rebolo. Na Tabela 1 são apresentadas as condições de retificação utilizadas neste trabalho.

Tabela 1. Condições de retificação

Tipo de operação	Retificação Plana Tangencial
Corpos de Prova	Cilindros com 15 mm x 25 mm (diâmetro x altura) Inconel 718 - 40 HRc
Rebolo	SiC - 39C60KVK – 305 mm
Dressagem do rebolo	Dressador de diamante do tipo ponta única Raio de ponta do dressador 0,3 mm $V_d = 140 \text{ mm/min}$ $a_{ed} = 25 \mu\text{m}$ $U_d = 3$
Fluido de corte	Semissintético de base vegetal, emulsionável, Vasco 7000, proporção de 1:19, e vazão de 511 L/h

Após a dressagem, foram definidos 2 valores de penetração de trabalho (a_e) e 2 valores de velocidade da peça (v_w), mantendo a velocidade de corte (v_s) e profundidade de corte (a_p) constantes, para realizar o procedimento de retificação, de acordo com a Tab. 2.

Tabela 2. Parâmetros de corte utilizados

Parâmetro	Valor
Penetração de trabalho (a_e)	20 μm
	40 μm
Velocidade da peça (v_w)	2,5 m/min
	7,5 m/min
Velocidade de corte (v_s)	38 m/s
Profundidade de corte (a_p)	15 mm

Após preparação da superfície e definição de todos os parâmetros de usinagem, foram feitos os ensaios de retificação, de passagem. Na Figura 2.1 é apresentado a foto do setup do experimento, onde Fig. 2.1 (a), Fig. 2.1 (b) e Fig. 2.1 (c)

referem-se à amostra de Inconel 718 antes da retificação, peça durante a retificação e a medição da rugosidade das amostras, respectivamente.

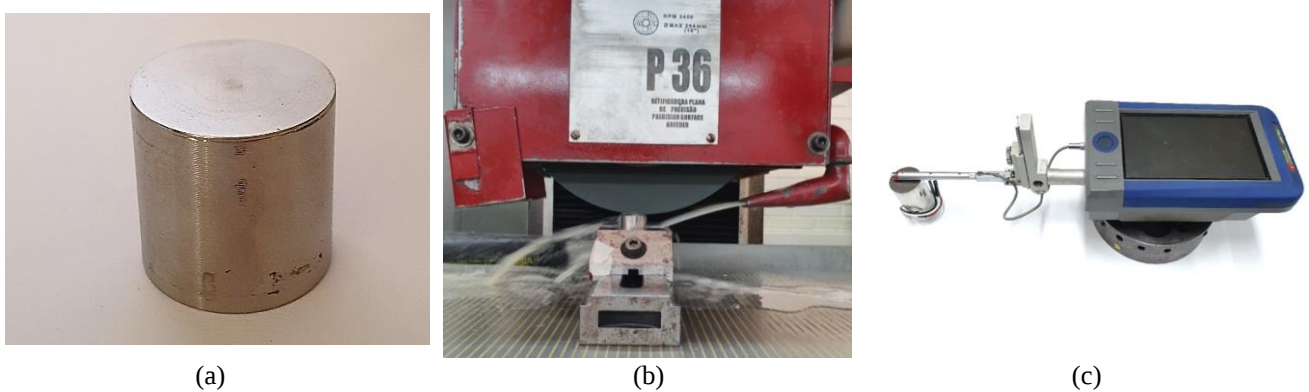


Figura 2.1 - Setup do experimento

Para obtenção dos valores de rugosidade superficial, foi utilizado um rugosímetro portátil modelo Surtronic S-100 do fabricante Taylor Hobson, empregando um cut-off de 0,8 mm, como mostrado na Fig.1 (c). Foram realizadas 3 medições em cada superfície das amostras, afim de obter os parâmetros R_a , R_t , R_z e R_q .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir nas Figuras 3.1 (a) e (b) estão apresentados os valores obtidos dos parâmetros de rugosidade média (R_a , R_t), já nas Fig.3.2 (a) e (b) estão os resultados de (R_z e R_q) obtidos após os ensaios de retificação do Inconel 718 com diferentes penetrações de trabalho e variação da velocidade da peça.

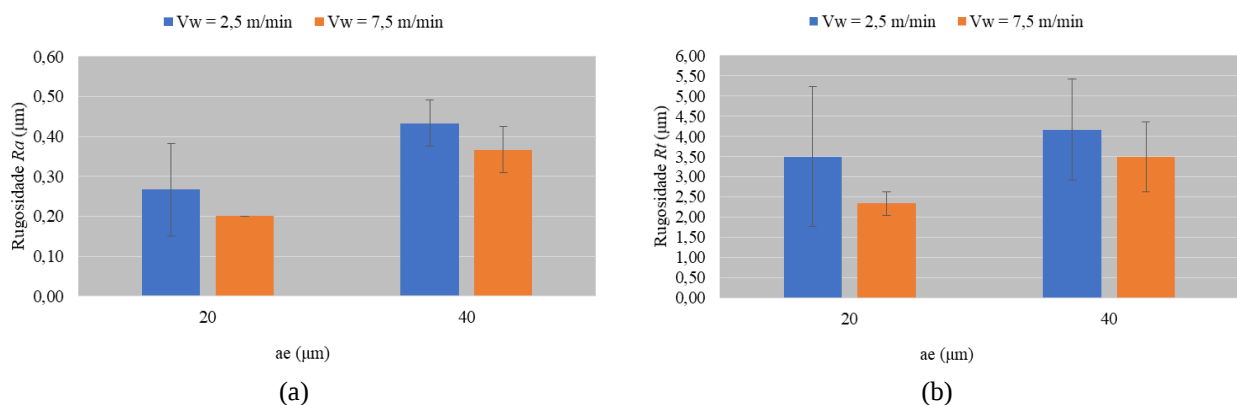


Figura 3.1. Rugosidade média do Inconel 718 em função da variação de penetração de trabalho (a_e) e velocidade da peça (v_w): (a) valores de rugosidade R_a (μm); (b) valores de rugosidade R_t (μm)

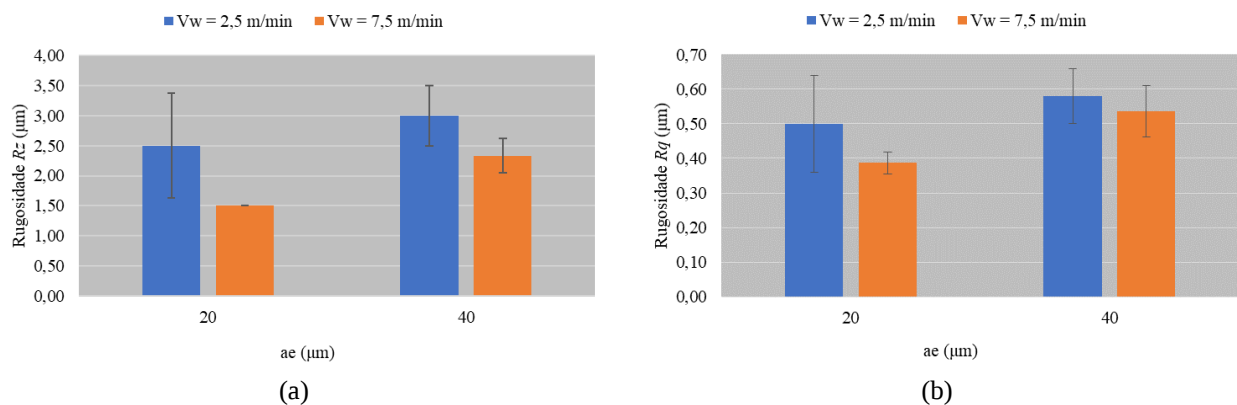


Figura 3.2. Rugosidade média do Inconel 718 em função da variação de penetração de trabalho (a_e) e velocidade da peça (v_w): (a) valores de rugosidade R_z (μm); (b) valores de rugosidade R_q (μm)

De acordo com as Figuras 3.1 (a) e (b) e 3.2 (a) e (b), pode ser observado um aumento nos valores de rugosidade quando a penetração de trabalho (a_e) foi igual a 40 μm , o que está de acordo com o que é retratado na literatura, ou seja, quanto maior a penetração de trabalho maior serão os valores de rugosidade (Machado *et al.* 2011).

Segundo Klocke (2009), o aumento da velocidade da peça promove aumento dos valores rugosidade, pois quando ocorre esse aumento por consequência é aumentada a taxa de remoção de material específica, o que contribui para uma maior espessura de corte equivalente e espessuras de cavaco não deformado, gerando assim maiores valores de rugosidade. Salienta-se, um outro aspecto também observado nas peças em relação as queimas superficiais geradas durante o processo de retificação, quando a penetração de trabalho utilizada $a_e = 20 \mu\text{m}$ as condições encontradas foram melhores do que as encontradas na penetração de trabalho $a_e = 40 \mu\text{m}$. Em recente trabalho Ruzzi *et al.* (2021), os autores registraram aos menores valores de rugosidade R_a após o emprego de menores penetração de trabalho (a_e).

Outro fator a ser considerado é a diminuição dos valores de rugosidade quando a velocidade da peça (v_w) foi aumentada, pois o rebolo torna-se mais duro quando se aumenta a velocidade de corte, dessa forma, as partículas abrasivas têm uma maior dificuldade para se desprenderem do rebolo, fazendo com que ocorra a redução das forças de corte, aumentando assim a vida do rebolo. Resultado semelhante foi observado por Marinescu *et al.* (2004), onde realizaram retificação do Inconel 718 com rebolo de CBN e quando utilizaram maiores velocidades de corte a rugosidade reduziu.

Segundo Marinescu *et al.* (2004), quando não acontece o que é normalmente retratado pela literatura, ou seja, aumento da rugosidade com a penetração de trabalho, inúmeras causas podem estar relacionadas a isso, como, por exemplo, o espaçamento irregular dos grãos, adesão entre o rebolo e a peça, deflexão do conjunto ligante e grãos, efeito da dressagem do rebolo na densidade dos grãos, diferentes profundidades dos grãos, tempo de centelhamento (spark-out) do rebolo. Além disso, no caso do Inconel 718 a formação de cavaco é imprevisível, pois a afinidade química com as cerâmicas (mesmo material do rebolo) é alta.

É importante destacar neste trabalho, especialmente para o parâmetro R_a , que é o mais popularmente utilizado para avaliar as superfícies usinadas, ele ficou abaixo de 0,5 μm , o que cerca de 70% inferior ao valor de referência, limite superior de rugosidade R_a igual a 1,6 μm para condições de retificação de semi-acabamento. Este resultado indica que condições de corte selecionadas neste trabalho foram bem adequadas, pois mesmo para a retificação de alguns aços endurecidos, que são considerados de melhor retificabilidade que as ligas de níquel, é um desafio alcançar valores de rugosidade R_a nesta faixa entre 0,3 μm e 0,5 μm .

4. CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser retiradas deste trabalho após a retificação do Inconel 718 com rebolo de SiC:

- Todos os valores de rugosidade para todos os parâmetros (R_a - Desvio aritmético médio de rugosidade, R_t - Altura total do perfil, R_z - Altura máxima do perfil e R_q - Desvio médio quadrático) foram menores ao empregar a combinação entre a menor penetração de trabalho ($a_e = 20 \mu\text{m}$) com a maior velocidade da peça, $V_w = 7,5 \text{ m/min}$.
- Especialmente o parâmetro R_a , ele ficou abaixo de 0,5 μm , independente da condição de corte testada, resultado este muito bom, pois é cerca 70% inferior ao valor de referência, limite superior de rugosidade R_a igual a 1,6 μm para condições de retificação de semi-acabamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Blaser® Swissslube e Saint-Gobain® Abrasivos por fornecer o fluido de corte e o rebolo, respectivamente. Os autores também agradecem à CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro. Agradecem também à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e aos Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) e Laboratório de Usinagem Convencional (LUC), ambos da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC). Eles agradecem ainda ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU. Rosemar Batista da Silva agradece ao CNPq pelo apoio via processos N° 311337/2016-3 e N° 426018/2018-4, e à FAPEMIG via processos N° PPM-00265-13, N° APQ-01119-16 e PPM Edital 002/2018 - Programa Pesquisador Mineiro, PPM XII - Processo N° PPM-00492-18. Marcus Vinícius de Oliveira agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica, processo N° 426018/2018-4.

6. REFERÊNCIAS

- Ezugwu, E. O., 2005. Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. v. 45, p. 1353–1367.
- Hecker, R. L. & Liang, S. Y., 2003. Predictive modeling of surface roughness in grinding. *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 43, no. 8, pp. 755–761.
- Klocke, F., 2009. *Manufacturing processes 2*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Machado, A.R., Abrão, A. M., Coelho, R. T., Da Silva, M. B., 2011. *Teoria da usinagem dos materiais*. 2.ed. São Paulo: Blucher. 371p.

- Malkin, S., 2007. *Grinding Mechanisms e Grinding Temperatures and Thermal Damage*, In: Malkin, S. *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*, ed. 1, Chichester, Ellis Horwood Limited, pp.108-171, 1989.
- Marinescu, I. D., Hitchiner, M., Uhlmann, E., et al., 2007. *Handbook of machining with grinding wheels*, Boca Raton, FL, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Marinescu, I. D., Rowe, W. B., Dimitrov, B., 2004. *Tribology of abrasive machining processes*. 1.ed. New York: Willian Andrew. 758p.
- Ruzzi, R. De S. De Paiva, R.L., Da Silva, L.R.R., Abrão A.M., Brandão L.C., Da Silva R.B., 2021. *Comprehensive study on Inconel 718 surface topography after grinding*. *Tribol Int*, 158, p. 106919. <<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2021.106919>>
- Sugahara T, Moura Neto C, Reis DAP, Hirschmann AO, Piorino Neto F., 2009. *Estudo do comportamento em fluência da superliga Inconel 718*. São José dos Campos: Encita.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS PARAMETERS OF INCONEL 718 AFTER TANGENTIAL GRINDING

Marcus Vinicius de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
marcus1705.mv@gmail.com

Paulo Vinicius da Silva Resende

Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia, R. 75, nº46 - Centro, Goiânia – GO.
paulo.vinicius@ifg.edu.br

Alcione dos Reis

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
alcionereis@ufu.br

Rosemar Batista da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Avenida João Naves de Ávila, 2121, Uberlândia, MG, 38400-89, Brasil - Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU)
rosemar.silva@ufu.br

Abstract. *Several components in the aerospace and petrochemical industries use materials resistant to aggressive processes and environments that require mechanical strength at high temperatures, like nickel alloys, especially Inconel 718, in which some materials such as steel and aluminum cannot provide. However, this material is well known by machining users for its low grindability due to several factors, such as its low thermal conductivity compared to steels, high strain hardening rate, high mechanical strength that shear stress, which makes that most of heat generated during grinding with conventional grinding wheels to be concentrated on the cutting region, especially on the ground surface. The heat generated will adversely affect the surface finish and lead to thermal damage which impair functionality of the ground component. Thus, research is need to understand how different variation in cutting parameters during grinding influences the roughness parameters of the machined surface and other surface integrity parameters. The objective of this work is to evaluate the roughness parameters (R_a , R_t , R_z and R_q) of Inconel 718 workpiece after peripheral surface grinding with Silicon Carbide (SiC), with designation 39C60KVK. The input variables tested were the workspeed (V_w) at two levels 2.5 and 75 m/min and the radial depth of cut (a_e), also at two levels 20 and 40 μm . The results indicated that the all roughness parameters were lower when grinding with a combination of the lowest a_e and the highest V_w . In special, the roughness values R_a were lower than 0.5 μm , indicating that the cutting parameters and grinding wheel selected were very suitable for grinding of Inconel 718, with values about 70% lower than that considered an upper limit for semi-finish grinding operation, which is 1.6 μm .*

Keywords: Grinding; Inconel 718; Roughness; Workspeed; Silicon Carbide.

RESPONSIBILITY NOTICE

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