

ESTUDO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DA LIGA DE INCONEL 718 FRESADA COM FERRAMENTA DE METAL DURO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE DESGASTE

André Rezende de Figueiredo Oliveira, UFU, arfoliveira@femec.ufu.br

Iago Carvalho Teixeira, UFU, iago_patrocinio@hotmail.com

Álison Rocha Machado, UFU, alissonm@mecanica.ufu.br

Resumo. A presença de tensões residuais em componentes de engenharia pode afetar significativamente a resistência à fratura, a vida em fadiga e a capacidade destes materiais de suportar carregamento. Uma vez que estas tensões residuais se sobrepõem à tensão aplicada ao equipamento elas podem aumentar ou reduzir a tensão efetiva aplicada, conforme a sua natureza trativa ou compressivas. As tensões residuais podem ser introduzidas deliberadamente ou de forma acidental durante os diversos processos de fabricação tais como: soldagem, tratamentos térmicos, operações de conformação mecânica, trefilação, laminação, dobramento e nos processos mecânicos de usinagem. Em usinagem de ligas de níquel com processo de fresamento, tensões residuais compressivas e trativas podem ser introduzidas na superfície do material aumentando ou diminuindo a vida em fadiga e a resistência à iniciação e à propagação de trincas. Para se avaliar tensões residuais, este estudo utilizou difração de Raios-X. Foram realizados testes de fresamento de ligas de *Inconel 718* utilizando ferramenta de corte de metal duro. Os testes foram realizados em configurações de acabamento e desgaste, com ferramentas novas e usadas. De uma forma geral, obteve-se tensões compressivas para ferramentas novas e tensões residuais trativas para ferramentas próximas do fim de vida.

Palavras chave: *Inconel 718, Ferramenta de Metal Duro, Fresamento, Tensões Residuais.*

1. INTRODUÇÃO

As ligas a base de níquel constituem aproximadamente 45% do total de material utilizado na fabricação de motores para aviação, este fato se deve à sua excepcional resistência mecânica e alta resistência à oxidação em condições extremas de temperatura (EZUGWU, 1999). Ligas de níquel são também usadas em veículos espaciais, motores de foguete, aviões experimentais, reatores nucleares, equipamento petroquímico e em outras aplicações onde os materiais estão sujeitos a altas temperaturas. Pesquisas têm sido direcionadas no desenvolvimento de superligas de níquel, pois apresentam excelentes características como resistência mecânica associada à resistência à corrosão, tanto à temperatura ambiente como às temperaturas elevadas (ASM METALS HANDBOOK, 1990).

Segundo Ezugwu (2005), devido às boas propriedades mecânicas, as ligas de níquel são materiais de baixa usinabilidade. As superligas de níquel possuem afinidade com os materiais das ferramentas de corte, além de apresentarem baixa condutividade térmica. A grande dificuldade encontrada na usinagem das superligas a base de níquel estão relacionadas à geração de calor durante o processo de deformação e atrito entre o cavaco-ferramenta-peça.

Para Abkowitz (1995), a compreensão dos fatores que promovem e acumulam tensões residuais é muito significativa nos componentes mecânicos, pois essas tensões podem alterar a resistência à fratura, a vida em fadiga e a capacidade de suportar carregamento.

1.1 - Usinagem das ligas de níquel

Em termos gerais, os processos de usinagem das ligas de níquel envolvem grande adesão entre a ferramenta e a peça, resultando em maior desgaste da ferramenta e, conseqüentemente em menor vida útil da mesma. Segundo Reddy (2010), a indústria busca sempre maior eficiência de usinagem: melhor acabamento superficial e condições de corte mais severas. O processo é complexo, pois uma maior taxa de desgaste envolve, em geral, maior desgaste da ferramenta e baixos níveis de acabamentos superficiais.

Segundo Devillez e colaboradores (2011), os processos de usinagem em ligas a base de níquel inferem defeitos na microestrutura, na superfície e subsuperfície. Uma das formas de se minimizar os efeitos da usinagem sobre a integridade superficial das peças usinadas é a seleção de condições de corte, material da ferramenta, geometria e revestimento da ferramenta de forma ideal.

O estudo das tensões residuais inseridas em processos de usinagem em ligas de níquel se mostra como um tema de interesse científico e tecnológico atual em uma grande variedade de aplicações de engenharia, onde as aplicações e solicitações envolvem alta resistência à fratura, vida em fadiga e a alta capacidade de suporte em carregamento. Quando estes produtos têm severas exigências de qualidade e confiabilidade, exigem validação experimental. Nos setores que envolvem risco de morte e ambientais, como o de energia e o de transportes aéreo, a validação experimental é obrigatória por imposições de legislações específicas (Lodini, 2003).

1.2 - As tensões residuais

Tensões residuais são as tensões elásticas existentes em um corpo sem a existência de carregamentos externos ou gradientes de temperatura. Todo sistema de tensões residuais está em equilíbrio e o somatório das forças resultantes e dos momentos produzidos é zero. Assim, plotando-se uma curva das tensões trativas e compressivas presentes no material, a soma das áreas abaixo da curva será zero. Na prática, a determinação destas curvas é complexa, pois o estado de tensões apresentado no material é tridimensional. O valor máximo em módulo que as tensões residuais poderão chegar é o próprio limite de escoamento do material.

Segundo Abkowitz (1995), os valores de tensões acima do limite de escoamento do material irão ocasionar uma deformação plástica do material, havendo assim, uma redistribuição das tensões residuais. De forma geral, as tensões residuais têm caráter elástico e estas tensões se sobrepõem à tensão de serviço. Quando um componente com tensões trativas na superfície sofre carregamento de tração, este material será sobrecarregado localmente pelas tensões residuais trativas existentes na superfície do componente. O inverso ocorre quando um componente com tensões residuais compressivas na superfície sofre carregamento trativo, as tensões residuais compressivas irão subtrair as tensões trativas aumentando o desempenho deste componente em serviço. (Lodini, 2003)

Segundo Lodini (2003), as tensões residuais afetarão diretamente as propriedades do material em relação à resistência a fadiga, resistência à corrosão, resistência à ruptura.

Neste trabalho as tensões residuais induzidas pelo processo de usinagem por fresamento. O trabalho pretende investigar as relações entre a configuração de usinagem, desgaste da ferramenta e o grau de tensão residual inserido na superliga de níquel.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para este trabalho foi desenvolvido uma pesquisa experimental baseada em testes de caracterização e de usinagem das superligas a base de níquel (*Inconel 718*) envelhecida. Utilizou-se processo de fresamento, ferramenta de metal duro e fluido de corte aplicado sob pressão de jorro. Como ferramentas de corte foi utilizada uma ferramenta de metal duro (WC-Co) da classe “S”. O processo de fresamento foram realizado no Centro de Usinagem CNC, marca Romi, modelo Discovery 760. (Figura 1)



Figura 1. Centro de Usinagem CNC, marca Romi, modelo Discovery 760.

Para cada condição de usinagem (Tabela 1.) foram avaliadas as condições de tensão residual da rede por difração de raios-X, microdureza Vickers superficial com carga de 20 gf e rugosidade superficial. Para realização da caracterização topográfica, foi utilizado um rugosímetro Mitutoyo *SJ-201*. Este equipamento determina parâmetros de rugosidade R_a , R_q , R_t e R_z pelo perfil bidimensional obtido pela varredura linear da sonda e flexão de *cantilever* mediante a variação topográfica da peça.

Tabela 1. Planejamento Experimental para cada condição de corte.

Condição de Usinagem	Velocidade de Corte (Vc) [m/min.]	Profundidade de Corte (ap) [mm]	Avanço (f) [mm]
Acabamento	40	0,25	0,05
	30	0,50	0,10
Desbaste	25	1,00	0,20
	20	1,50	0,30

Para se avaliar a influência do desgaste da ferramenta no nível de tensão residual, o processo de fresamento foi realizado em condições de corte de acabamento e em condição de desbaste. Os desgastes de flanco iniciais foram produzidos via fresamento de aço VP20, após a usinagem foi medido o desgaste de flanco médio (VB_B). As condições de desgaste VB_B iniciais serão pré-definidas em quatro condições: VB_B 1 = 0,0 mm (ferramenta nova); VB_B 2 = 0,2 mm; VB_B 3 = VB_B 0,3 mm; VB_B 4 = 0,4 mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 mostra os resultados para os parâmetros de rugosidade (2D) para usinagem em condições de acabamento com ferramenta nova, onde foram plotados os parâmetros: Ra, Rz, Rq e Rt, todos com média de desvio padrão (DP).

Os resultados mostram que os resultados de rugosidade superficial são muito próximos, levando em consideração as condições de usinagem, ou seja, considerando a condição de desbaste os parâmetros apresentam magnitude 2 vezes maior do que para o parâmetro de acabamento. Os resultados para os parâmetros de rugosidade (2D) para usinagem em condições de acabamento mostram valores de Ra próximos de 0,18 μm , Rz próximos de 0,8 μm , Rq próximos de 0,19 μm e Rt na faixa de 1,0 μm . Observa-se que para as condições de desbaste os valores são praticamente o dobro, Ra próximos de 0,40 μm , Rz próximos de 2,0 μm , Rq próximos de 0,50 μm e Rt na faixa de 2,2 μm .

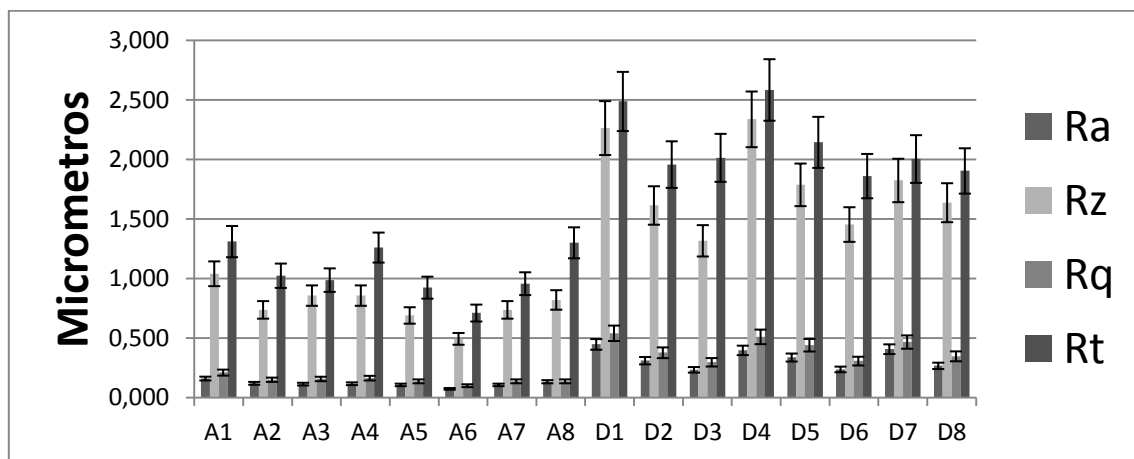


Figura 2. Parâmetros de rugosidade (Ra, Rz, Rq, Rt) para condições de usinagem de acabamento e desbaste com ferramenta nova.

A Figura 3 mostra os resultados para os parâmetros de rugosidade (2D) para usinagem em condições de desbaste com ferramenta nova e usada (desgastada).

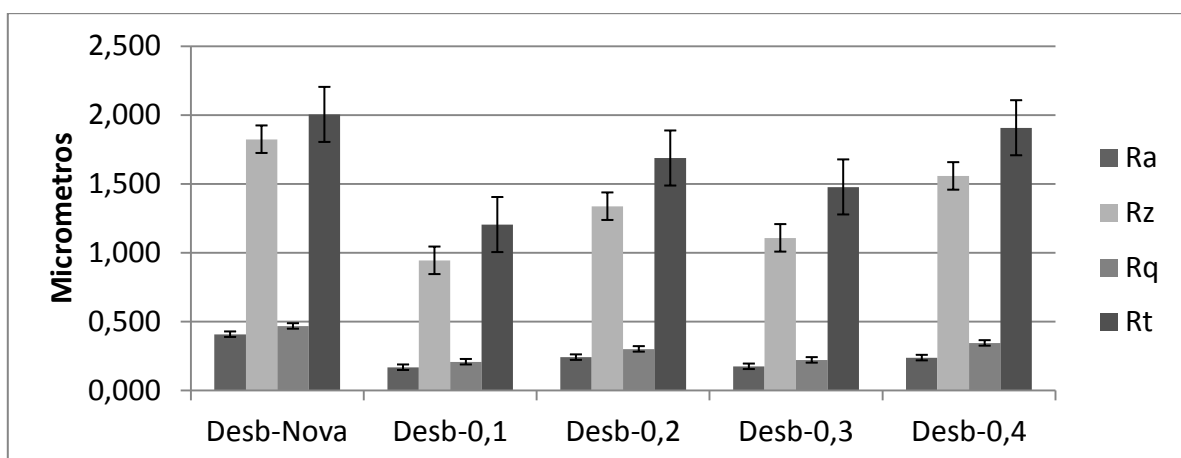


Figura 3. Parâmetros de rugosidade (Ra, Rz, Rq, Rt) para condições de usinagem de desbaste com ferramenta nova e usada.

A Figura 4 mostra os resultados para os parâmetros de rugosidade (2D) para usinagem em condições de acabamento com ferramenta nova e usada (desgastada).

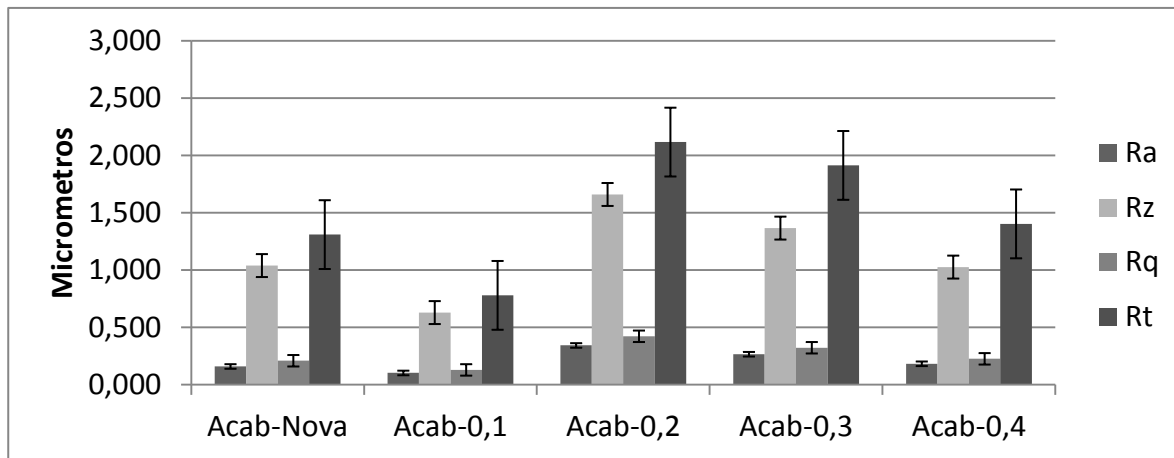


Figura 4. Parâmetros de rugosidade (Ra, Rz, Rq, Rt) para condições de usinagem de acabamento com ferramenta nova e usada.

Observa-se que com o desgaste de flanco da ferramenta, há uma redução dos parâmetros de rugosidade para usinagem de desbaste, isto pode ser explicado pelo arredondamento da ponta da ferramenta com o desgaste. Porém para usinagem em condição de acabamento, há um acréscimo dos valores dos parâmetros de rugosidade, ou seja, o acabamento superficial da peça aumenta com o desgaste da ferramenta. Para corroborar com os resultados de rugosidade e microdureza superficial, realizou-se medida de tensão residual via difração de raios-X (DRX).

A Figura 5 e 6 mostram os resultados para as medidas de tensão residual (tensões residuais transversais e longitudinais) para processos fresamento do Inconel 718 envelhecido, nas configurações de acabamento e desbaste.

Para todos os ensaio realizados utilizando ferramenta nova observou-se tensões residuais negativas, ou seja, tensões residuais compressivas. Lembrando que todos os ensaios foram realizados do fluido de corte.

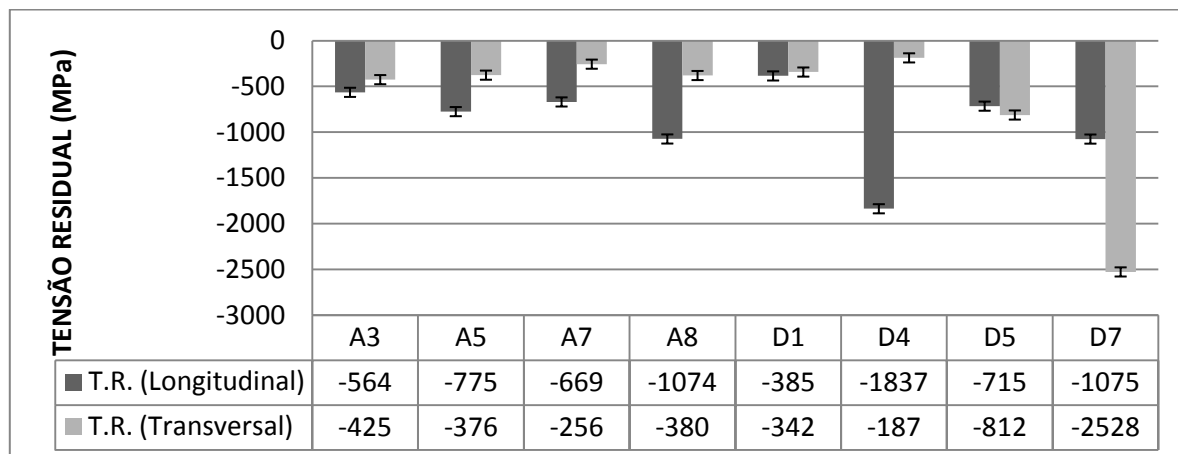


Figura 5. Resultados para tensões residuais, fresamento do Inconel 718 envelhecido nas configurações de acabamento e desbaste, ferramenta nova.

Para as ferramentas desgastadas, os resultados são diferentes. Para quase todos os ensaio realizados com ferramenta desgastada observou-se tensões residuais positivas, ou seja, tensões residuais trativas.

Os resultados mostram que tensões compressivas só aparecem com ferramenta nova ou com desgaste de flanco de 0,4 mm. Nesta ultima aparecem tensões compressivas somente para direção transversal; para direção longitudinal, ou seja, ao longo do eixo de usinagem, as tensões são trativas.

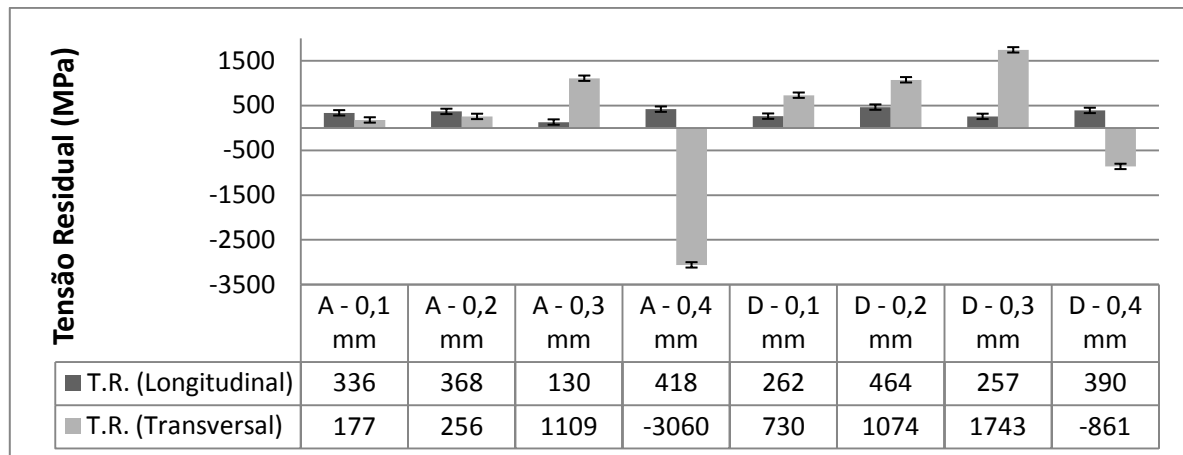


Figura 6. Resultados para tensões residuais, fresamento do Inconel 718 envelhecido nas configurações de acabamento e desgaste, ferramenta usada.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que os processos de usinagem em ligas a base de níquel (Inconel 718) inferem defeitos na microestrutura, na superfície e subsuperfície significativos e estes podem ser controlados pela configuração de usinagem e/ou pelo grau de desgaste de ferramenta do corte. De uma forma geral, obteve-se tensões compressivas para ferramentas novas e tensões residuais trativas para ferramentas próximas do fim de vida.

5. REFERÊNCIAS

- ABKOWITZ, S.; BURKE, J. J.; HILTZ Jr., R. H., 1995, Technology of Structural Titanium. D. Van Nostrand Company, pp.31-32.
- ASM METALS HANDBOOK, V.2, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, ASM International, USA, 1990.
- DEVILLEZ, A., LE COZ, G., DOMINIAK, S., DUDZINSKI, D., Dry machining of Inconel 718, workpiece surface integrity, Journal of Materials Processing Technology. 211, p. 1590– 1598, 2011.
- EZUGWU, E. O., Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45 (2005) 1353–1367.
- EZUGWU, E. O., WANG, Z. M., MACHADO, A. R. The Machinability of Nickel-Based Alloys: A Review. Journal of Materials Processing Technology, 86 (1999) p. 1–16.
- LODINI, A. “Analysis of Residual Stress by Diffraction using Neutron and Synchrotron Radiation”. Taylor & Francis, 2003, p-48.
- REDDY, N. S. K., NOUARI, M., YANG, M. Development of electrostatic solid lubrication system for improvement in machining process performance / International Journal of Machine Tools & Manufacture 50 (2010) 789–797.

6. AGRADECIMENTOS

À Capes, CNPq e FAPEMIG pelo auxílio financeiro aos pesquisadores.

7. ABSTRACT

The presence of residual stresses in engineering components can significantly affect the fracture strength, fatigue life and their ability to withstand loading materials. Residual stresses can be introduced deliberately or accidentally formed during the many manufacturing processes. In the nickel alloy machining process, the milling process, compressive and tensile residual stresses may be introduced into the surface of the material by increasing or decreasing the fatigue life and resistance to the initiation and propagation of cracks. To evaluate residual stresses, this study used X-ray diffraction. Milling tests were performed in *Inconel 718* using alloy carbide cutting tool. In general, there was obtained new tools for compressive stress and residual tensile stresses to use tools.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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