

CARACTERIZAÇÃO DA CAMADA USINADA EM INCONEL 625

Palavras-Chave: Fresamento, Ligas de Níquel, Microestrutura

Autores/as:

BEATRIZ DIAS LOPES DE PAULA [UNICAMP]

Prof. Dr. Daniel Iwao Suyama (orientador) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

Principalmente nos setores aeronáutico, aeroespacial e de óleo e gás, as chamadas superligas resistentes ao calor (Heat Resistant Super Alloys - HRSA) são aplicadas há tempos em situações nas quais tem-se altas temperaturas de serviço (na ordem de 1000°C). Suas propriedades em temperatura ambiente são boas, mas não excelentes (GROOVER, 2010), mesmo assim a produção de componentes desses materiais por usinagem é um desafio que sempre esteve presente.

Neste trabalho de Iniciação Científica será realizado o processo de usinar e, em seguida, analisar os impactos que este processo mecânico tem na superfície do material Inconel 625, uma superliga de níquel muito utilizado na indústria aeronáutica, indústria química e usinas elétricas, por possuir alta resistência mecânica e capacidade de manter suas propriedades mecânicas em altas temperaturas (MAGRI, 2015).

Tendo em vista as mudanças nas camadas superficiais que podem ser induzidas pela usinagem e a importância da caracterização dessas nas superligas à base de níquel, este projeto tem como objetivo:

- Caracterizar a integridade superficial da superliga de níquel Inconel 625.

Os objetivos secundários podem ser elencados da seguinte forma:

- Análise de alterações metalúrgicas sofridas após a usinagem;
- Análise das alterações de dureza em escala microscópica (microdureza);
- Análise do acabamento superficial.

A operação de usinagem a ser conduzida é o fresamento, com combinação de diferentes valores de velocidade de corte, avanço da ferramenta e profundidade de usinagem em uma matriz experimental fatorial completa.

METODOLOGIA:

Materiais e Equipamentos

O material a ser caracterizado neste projeto é a liga Ni-Cr-Fe com cerca de 60% de teor de níquel, conhecida comercialmente por Inconel 625. A composição química é apresentada na Tab. 1 a seguir.

Ni	Cr	Fe	Cu	Al	Mo	Ti	Nb
65,40	20,33	2,18	0,05	0,15	8,10	0,188	3,34

Tabela 1 - Composição química do Inconel 625 (Fonte: Certificado VILLARES METALS).

Os corpos de prova a serem confeccionados serão ajustados para análise metalográfica e terão formato cúbico, com dimensões de 9 x 14 x 14 mm.

Os ensaios de fresamento serão realizados no Laboratório de Manufatura da Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP) utilizando a fresadora ferramenteira Clark 4VMA.

A fresa a ser utilizada será a 2S440-1200-050-SD 1725 da Sandvik Coromant. Esta fresa de topo reto é inteiriça de metal duro (carbeto de tungstênio), com diâmetro de 12 mm, raio de ponta ($r\epsilon$) de 0,5 mm, afiação voltada para ligas de níquel e classe ISO S25.

Planejamento Experimental

A matriz experimental foi o primeiro estágio a ser considerado para a futura realização do fresamento, nessa etapa foram definidos que os testes serão realizados com um fatorial completo de 3 fatores em 2 níveis (2^3) considerando os parâmetros de usinagem: velocidade de corte (v_c), avanço por dente (f_z) e profundidade de usinagem (a_p). Cada condição de usinagem será realizada com, no mínimo, uma repetição para que seja feita a análise estatística dos resultados, além de uma variação de 20% sobre os valores recomendados pela fabricante das fresas.

A profundidade de usinagem foi escolhida de modo a se localizar abaixo e acima do valor do raio de ponta da ferramenta, fazendo com que o ângulo de posição se altere de acordo com a condição de usinagem adotada.

A penetração de trabalho (a_e) também será mantida constante em 9,0 mm (75,0% do valor do diâmetro efetivo). Este valor de penetração de trabalho garante que o centro da fresa está sobre a peça e minimiza as vibrações oriundas da usinagem.

Cada condição de usinagem será realizada com, no mínimo, uma repetição para que seja feita a análise estatística dos resultados.

Após a usinagem, os corpos de prova serão cortados no sentido longitudinal, próximo à linha de centro das marcas de avanço do fresamento em serra ou outro equipamento que não promova alterações na superfície ou sub-superfície. Em seguida, será realizada a identificação de cada amostra e seu embutimento para preparação metalográfica.

As amostras serão então lixadas (lixas d'água de granulometria de 180 a 600), observando-se a rotação de 90° entre cada uma delas, até que os riscos sejam eliminados. Após o lixamento, serão realizados polimentos com alumina 3 µm e ataque químico para revelar microestrutura.

Após a revelação da microestrutura, as seções longitudinais serão analisadas em microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura para análise de camada deformada.

As imagens de microscopia das seções longitudinais após a usinagem serão comparadas com as imagens das seções antes da usinagem para verificar alterações metalúrgicas. Caso se comprovem modificações, medições de microdureza podem ser conduzidas para quantificar as alterações e seus resultados serão analisados por meio de análise de variância (ANOVA) para identificar o efeitos dos parâmetros de usinagem (justificando a utilização de matriz fatorial completa).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O primeiro passo para a preparação dos corpos de prova, foi obter uma amostra do material a ser estudado, a superliga de níquel, Inconel 625.

A princípio, tinha-se um disco de Inconel 625, com diâmetro de 76mm e altura de 9mm e precisava-se obter nove amostras, com dimensões de 9 x 14 x 14 mm. Utilizando a plataforma Solid Edge, foi simulado uma marcação no disco para que pudesse ser cortado nove corpos de prova, considerando uma margem e 2 mm por lado, como apresentado na Fig. 1 abaixo.

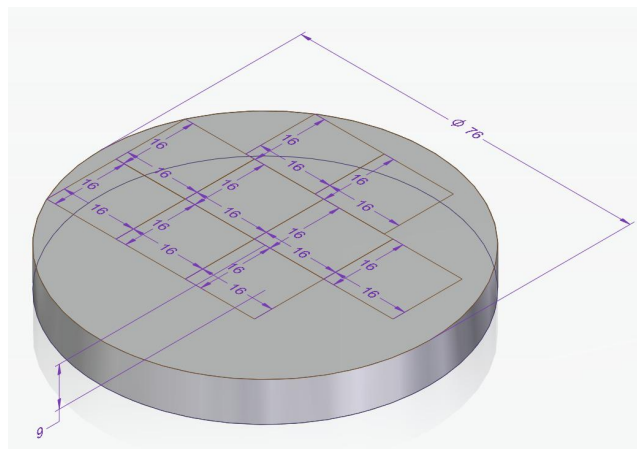


Figura 1 - Simulação de corte na amostra de Inconel 625 - fonte: Autoria própria, 2022.

No Laboratório de Manufatura da Faculdade de Ciências Aplicadas (FCA/UNICAMP), utilizando um disco abrasivo de corte, foi possível fazer grande parte dos cortes (Fig. 2), mas, por possuir baixa precisão, foi necessário levar as amostras para finalização do corte no Laboratório de Usinagem dos Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

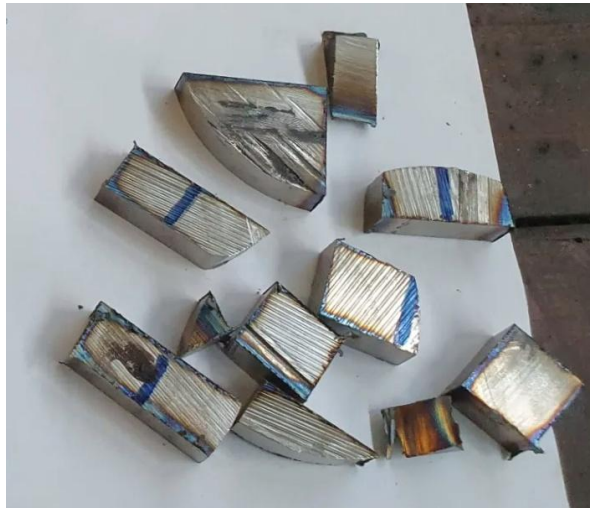


Figura 2 - Cortes da amostra de Inconel 625 - fonte: Autoria própria, 2022.

Enfim, com o objetivo de obter maior precisão nas dimensões dos corpos de prova, a fresadora ferramenta Clark 4VMa no Laboratório de Manufatura foi utilizada para obter as amostras finais, apresentados na Fig. 3. Utilizou-se a rotação de 700 RPM e uma fresa de diâmetro de 20 mm, profundidade de usinagem de 0,5 mm e um avanço baixo aplicado manualmente.

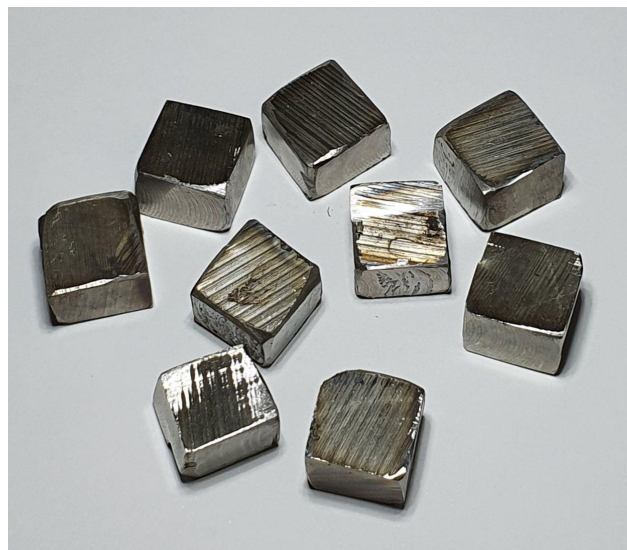


Figura 3 - Amostras finalizadas de Inconel 625 - fonte: Autoria própria, 2022.

Posteriormente, serão realizados ensaios de fresamento nos corpos de prova, com diferentes condições de usinagem, utilizando a mesma fresadora ferramenta. Os testes serão realizados com um fatorial completo de 3 fatores em 2 níveis (2^3) considerando os parâmetros de usinagem: velocidade de corte (v_c), avanço por dente (f_z) e profundidade de usinagem (a_p). Cada condição de usinagem será realizada com, no mínimo, uma repetição para que seja feita a análise estatística dos resultados.

Em seguida, os corpos de prova serão cortados no sentido longitudinal, próximo à linha de centro das marcas de avanço do fresamento em serra, preparados para a análise microscópica e, por

fim, as seções longitudinais serão analisadas em microscópio óptico e microscópio eletrônico de varredura para análise de camada deformada.

CONCLUSÕES:

Infelizmente, por causa do período de isolamento social durante a pandemia do COVID-19, não era permitida a utilização dos laboratórios durante uma grande parte da Iniciação Científica, de forma que não foi possível iniciar os experimentos até o momento atual, somente a preparação das amostras.

No entanto, será dada continuidade no projeto mesmo com a finalização da bolsa PIBIC e espera-se que, com a normalização das atividades nos campi da Universidade Estadual de Campinas, obtenha-se os resultados e análises do experimento rapidamente nos próximos meses.

BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13284: Preparação de corpos-de-prova para análise metalográfica - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6175: Usinagem - Processos Mecânicos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- FIELD, M., KAHLES, J.F., KOSTER, W.P. **Surface Finish and Surface Integrity**. In: AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Machining. Materials Park: ASM International, 1990. v. 16. p. 43-84.
- GROOVER, M.P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. 4th ed. Danvers: John Wiley & Sons, Inc., 2010. 1014 p.
- ARISTIDES, MAGRI. **Uma Contribuição ao Estudo do Torneamento da Liga 625**. Faculdade de Engenharia Mecânica - Unicamp, 2015.
- MANKINS, W.L., LAMB, S. Nickel and Nickel Alloys. In: AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Materials Park: ASM International, 1990. v. 2. p. 1362-1404.
- SANDVIK COROMANT. **Sistemas para Produção Submarina de Petróleo e Gás**. [2000-2018]. Disponível em:
<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/industrysolutions/oil-and-gas/pages/default.aspx>. Acesso em: 06 mar. 2021.
- ZHOU, J.M., BUSHLYA, V., PENG, R.L., JOHANSSON, S., AVDOVIC, P., STAHL, J-E. **Effects of Tool Wear on Subsurface Deformation of Nickel-based Superalloy**. Procedia Engineering, [s.l.], v. 19, p. 407-413, 2011.