

SELEÇÃO DE PARÂMETROS PARA MICROFRESAMENTO DE INCONEL 718 ATRAVÉS DA METODOLOGIA INDUTIVA E ESTUDO DE CASO

Henrique Hansen Barros, henriquehbb@gmail.com¹

Lucival Malcher, malcher@unb.br¹

Déborah de Oliveira, oliveira.deborah@unb.br¹

¹Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília – DF, CEP 70910900.

Resumo: Suprindo a crescente demanda de miniaturização de componentes tecnológicos, os processos de fabricação vêm sendo inovados cada vez mais para atender tal necessidade a níveis de qualidade elevados. A microusinagem em si participa desse âmbito de evolução, e apesar de seu processo ser semelhante ao tradicional, ele não é apenas a sua simples redução. O motivo para esta diferença é o chamado efeito escala, caracterizado pelo aumento exponencial da energia específica de corte e que ocorre, pois, as dimensões da ferramenta são da mesma magnitude da microestrutura do material usinado. Assim, é necessário atentar-se aos parâmetros de corte para que seja possível a formação de cavaco, entende-se que para tal condição, a espessura de corte deve ser maior que o raio de aresta da ferramenta a fim de evitar a formação de fenômenos indesejados que resultem em uma usinagem de baixa qualidade. Dentre as ligas de interesse industrial, o Inconel 718 destaca-se devido às suas boas propriedades termomecânicas, no entanto é reconhecidamente uma liga de baixa usinabilidade. Tal fator se torna ainda mais crítico na microusinagem devido as altas taxas de desgaste da ferramenta e dificuldades na formação do cavaco, assim, poucas são as pesquisas e as discussões sobre o microfresamento desta liga existentes até o presente momento. Com isso, esse trabalho tem como objetivo o estudo teórico do microfresamento do Inconel 718 para obtenção de parâmetros de corte, seleção de microfresas e fluidos de corte, que possam favorecer e facilitar a aplicação do microfresamento da liga. Para isso será utilizada a metodologia indutiva e de estudos de caso, resultando na compreensão de como os fatores citados influenciam no acabamento das peças de Inconel 718 microfresadas e também no desgaste da ferramenta diante a variação de condições e parâmetros de corte. Por fim, pretende-se ainda sumarizar as principais características do microfresamento dessa liga de forma que esta pesquisa tenha característica aplicada e possa ser utilizada como base.

Palavras-chave: Miniaturização, Microfresamento, Efeito Escala, Parâmetros de Corte, Inconel 718.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, foi possível notar um expressivo avanço na tecnologia disponível para a microfabricação de componentes. A necessidade desses produtos cada vez mais compactos com devida precisão dimensional e geométrica vem impulsionando pesquisas e estudos na área. Os campos da indústria bioquímica, biotecnologia, aeroespacial e eletrônica destacam-se diante de tal situação. Ademais, a microfabricação também vem auxiliando na incrementação de características estruturais pequenas e complexas em peças grandes, aprimorando a funcionalidade das mesmas (Câmara, 2014).

A fabricação de microcomponentes é uma atividade que exige uma precisão altíssima. De forma que, tais mecanismos de produção devem atender a tolerâncias extremamente estreitas. Nesse contexto, a microusinagem tem sido apresentada como uma importante ferramenta. Tal processo é classificado como de alta ou ultra precisão, devido ao abrangimento da produção de componentes em escala micrométrica (Chae *et al.*, 2006).

Camara *et al.* (2012) definem o processo de microusinagem diante do tamanho da ferramenta utilizada. Com isso, para uma atividade receber tal classificação, a ferramenta deve possuir dimensões entre 1 μm e 1000 μm . Na “Fig. 1” é possível perceber o nível do detalhamento do microfresamento ao utilizar uma ferramenta de 300 μm de diâmetro. Os autores também complementam que o principal aspecto da microusinagem é o fato do raio de aresta de corte da ferramenta ter as dimensões próximas às da microestrutura do material e da espessura de corte. Dessa forma, conforme mencionado, as teorias desenvolvidas para a usinagem tradicional tornam-se inválidas para o processo em escala micro.

No processo de microusinagem, entende-se como o principal desafio a interação da ferramenta com a peça. A de-

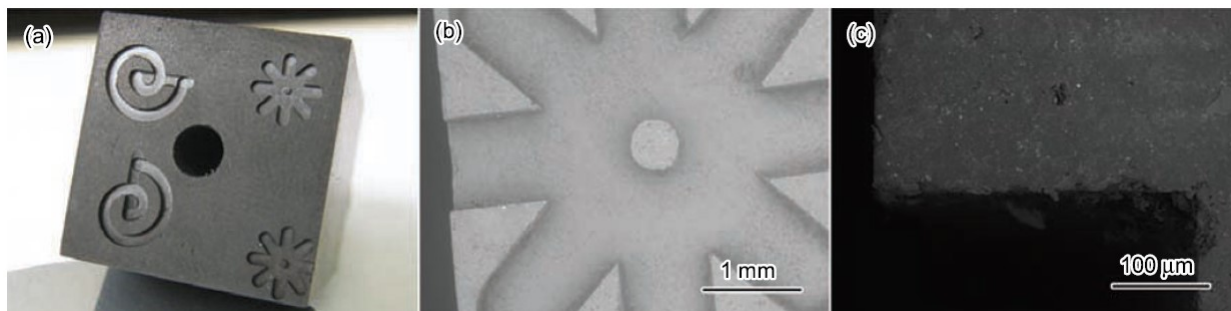


Figura 1: Análise microscópica do microfresamento em eletrodo de grafite (20 mm X 20 mm) utilizando uma ferramenta de 300 μm de diâmetro (Camara *et al.*, 2012).

pendência da espessura mínima de corte torna-se então fator crucial para a execução da atividade. De forma que, faz-se possível a não geração de cavaco diante do não alcance dessa espessura. Portanto, a geração de efeitos elásticos no material e não geração de cavaco pode ser resultado de uma espessura de corte inferior ao valor mínimo. Enquanto que ao superar o valor de tal espessura, espera-se a geração de efeitos plásticos, possibilitando então, a remoção de material (Chae *et al.*, 2006).

Dentre as diferentes ligas utilizadas no ramo da engenharia com possibilidade ser microfresadas, destaca-se o Inconel 718, um material conhecido por suas excelentes propriedades físicas relacionadas a alta resistência mecânica, resistência à fadiga e à fluência. Outra característica relevante nesse material é sua resistência a corrosão e sua aplicabilidade continua em ambientes de temperaturas elevadas. Entretanto, esse material também apresenta características desfavoráveis, como por exemplo, sua difícil usinabilidade ASM (1990).

Dentro do cenário atual, sabe-se que ainda existe uma grande demanda de estudos relacionados a microusinagem e principalmente ao microfresamento quando comparados aos mesmos processos em escala tradicional. Ademais, os estudos de ligas metálicas ainda se restringem consideravelmente aos elementos tradicionais ou de alta usinabilidade, como aço, alumínio e cobre. (De Oliveira, 2019) defende que até o ano de 2019, apenas 4% do plano de pesquisa de usinagem está voltado para o microfresamento. A autora acrescenta também que o Inconel 718 junto a algumas outras ligas metálicas somam cerca de 6% do universo de estudo das ligas metálicas estudadas em microfresamento. Com isso, conclui-se que o microfresamento de inconel abrange cerca de 0,24% de todo o ramo de pesquisa de usinagem.

Levando em consideração que ao reduzir o tamanho da ferramenta e do material retirado, também reduz-se o avanço por dente. Apesar desse acontecimento, tal fenômeno não ocorre com o tamanho do grão do material que está sendo usinado. Com isso, entende-se que a remoção de grãos no processo de microfresamento abrange uma quantidade menor quando comparado ao processo convencional. Acredita-se, que no processo micro, as remoções de grãos ocorram de forma unitária ou próxima disso (Bissacco *et al.*, 2005). Somado a isso, no processo de microfresamento, o raio de aresta da ferramenta de corte dispõe de maior responsabilidade no corte quando comparado ao processo convencional. De forma que, no regime macro a aresta de corte é considerada completamente afiada, enquanto no micro tais arestas possuem raio de 1 μm a 4 μm , sendo grandes em comparação às outras variáveis do processo Bissacco *et al.* (2005).

Na “Fig. 2” é possível observar em (a) um exemplo de quando a espessura de corte não é suficiente para a formação de cavaco devido a geração exclusiva de deformação elástica *rubbing*. Já em (b) é apresentado o caso em que a espessura é aproximadamente igual e já há a formação de cavaco e consequentemente ocorre a remoção de material da peça, mas também boa parte do material que entra em contato com a ferramenta sofre deformação elástica e permanece na peça *ploughing*. Agora em (c), pode-se observar que a espessura é suficiente para que não haja deformação elástica e praticamente todo o material que entra em contato com a ferramenta é retirado da peça.

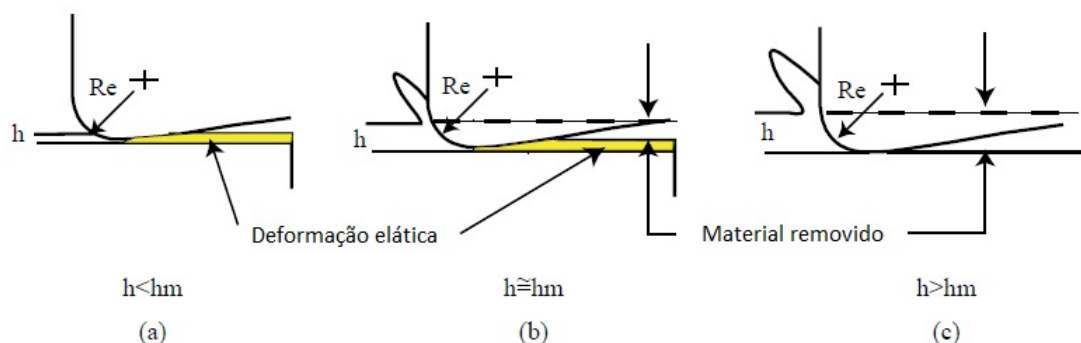


Figura 2: Espessura de corte referente ao raio de aresta da ferramenta (Adaptado de Chae *et al.* (2006)).

Cheng and Huo (2013) argumentam que a espessura do corte equivale a dimensão do material a ser usinado no

processo. Consequentemente, possuem crucial relevância na formação de cavacos em escala micro. Muitos pesquisadores vem realizando estudos com o objetivo de determinar uma espessura mínima de corte, uma vez que tal característica influencia na formação de cavaco e no acabamento superficial. Son *et al.* (2005) estudaram a influência do coeficiente de atrito sobre a espessura mínima de corte em processos de microusinagem.

Considerando esse conjunto de características, este trabalho tem como objetivo o levantamento e análise de trabalhos representativos para o microfresamento de Inconel 718. Tal investigação terá o propósito de acumular dados relevantes para a aplicações futuras levando em conta experiências prévias de outros autores com o microfresamento desse material. Assim, serão feitas recomendações e a definição de parâmetros de corte considerados ótimos para tal situação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo algumas classificações que podem ser aplicadas às pesquisas, inicialmente pode-se dividir em pesquisas puras e pesquisas aplicadas. A primeira busca conhecimento teórico e resolução de problemas, já a segunda tem como objetivo a resolução de problemas com abordagem prática.

Considerando esta definição, é possível observar que a seguinte pesquisa pode ser classificada como aplicada, uma vez que objetiva-se obter os melhores parâmetros para o microfresamento do Inconel 718, de forma que essa seleção possa ser utilizada por outros pesquisadores e a indústria.

Para que isto seja realizado, será adotado o método indutivo, de acordo com Zanella (2013) apud Lakatos and Marconi (1991) o método indutivo passa por três etapas. Inicialmente tem-se a observação dos fenômenos, com o objetivo de compreender o que causa cada um desses fenômenos, nesta pesquisa, entende-se por exemplo que ao observar as rebarbas formadas em uma peça, pode-se verificar causas de formação como: desgaste da ferramenta, falta de fluido de corte, parâmetros de corte insuficientes.

A segunda etapa consiste na correção entre os fenômenos, quando segundo Zanella (2013) “por meio da comparação, o investigador aproxima os fatos para descobrir a relação existente entre eles”. Desta forma, serão estudados os fatores que influenciaram de forma a tentar correlacioná-los com a qualidade final da peça de Inconel microfresada.

Por fim, a terceira etapa, propõe que sejam feitas generalizações Zanella (2013). Esta terceira etapa vai de encontro com os resultados esperados, onde pretende-se propor os melhores parâmetros, tipos de ferramentas e fluidos de corte para o microfresamento do Inconel 718.

3. RESULTADOS TEÓRICOS E DISCUSSÕES

Ucun *et al.* (2013) foram responsáveis pelo desenvolvimento de um estudo investigando o efeito do revestimento no desgaste da ferramenta durante o microfresamento de Inconel 718. Em tal estudo foi utilizado uma microfresa de 768 μm com raio de aresta de corte de 2 μm . Os revestimentos utilizados foram: TiAlN+AlCrN, DLC, AlTiN, TiAlN+WC/C e AlCrN. Foi estabelecida a velocidade de corte de 48 m/min, os avanços variaram entre os valores de: 1,25 $\mu\text{m}/\text{aresta}$, 2,50 $\mu\text{m}/\text{aresta}$, 3,75 $\mu\text{m}/\text{aresta}$ e 5,00 $\mu\text{m}/\text{aresta}$, já a profundidade de corte varia entre: 100 μm , 150 μm e 200 μm , e finalmente, o comprimento microfresado foi de 120 mm. Os autores encontraram como resultado um desgaste de flanco frequente devido ao desgaste abrasivo, ademais, encontrou-se fraturas locais nas arestas de corte e também nas arestas secundárias devido a fadiga e formação de aresta postiça de corte.

Os mesmo autores, observaram ainda uma expressiva redução na taxa de desgaste nas ferramentas revestidas em comparação as não revestidas. Outro fator positivo relatado referente ao revestimento foi a menor redução do diâmetro da aresta de corte. Além disso, na contramão do processo convencional, observou-se maiores desgastes para menores avanços e pequenas profundidades (Ucun *et al.*, 2013).

Ainda no mesmo trabalho, Ucun *et al.* (2013) levaram em consideração o uso de lubrificante para investigar o comportamento da usinagem. Foi utilizado o óleo vegetal Coolube 2210 através da via técnica MQL a uma vazão de 150 ml/h. Consequentemente, os autores mencionam o aumento da vida útil da ferramenta e redução na adesão de cavacos.

Outro trabalho sobre microfresamento de Inconel 718 que estudou o uso de fluido de corte foi desenvolvido por De Oliveira (2019). A ferramenta utilizado pela autora foi uma MS2MSD0040 (MITSUBISHI, 2018) de 400 μm de diâmetro feita de metal duro revestido de (Al, Ti)N. Foram realizados ensaios a seco e com fluido de corte para então estabelecer a melhor condição. Para a microusinagem a seco, foram realizados 6 ensaios onde a rotação variou de 20000, 40000 e 60000 rpm, a velocidade de corte de 25,1, 50,3 e 75,4 m/min, avanço de 0,1, 1,0 e 5,0 $\mu\text{m}/\text{dente}$ e profundidade de corte constante a 20 μm . Já para os ensaios utilizando fluido de corte, os parâmetros de corte dos 4 ensaios tiveram a rotação variando entre 11000, 20000, 40000 e 60000 rpm, velocidade de corte entre 13,8, 25,1, 50,3 e 75,4 m/min, um avanço constante de 5,0 $\mu\text{m}/\text{dente}$ e uma profundidade de corte também constante de 40 μm . Todos os canais usinados tiveram um comprimento de 15 mm.

Na usinagem a seco, observando na “Fig. 3”, De Oliveira (2019) constatou um elevado nível de desgaste das ferramentas, o que reflete diretamente no acabamento do canal usinado. Foi testemunhado a ocorrência do fenômeno de recuperação elástica do material usinado, acúmulo de material na ponta da microfresa, perda da aresta de corte e também perda de coesão do revestimento. Como já esperado, nesse estudo foi constatado uma redução nas rebarbas com o aumento da velocidade de corte.

Entretanto, no processo com fluido de corte De Oliveira (2019) constatou o resultado da transição de zonas com fluido de corte suficiente e não suficiente, como pode-se observar na “Fig. 4”. Percebeu-se uma melhora de qualidade na

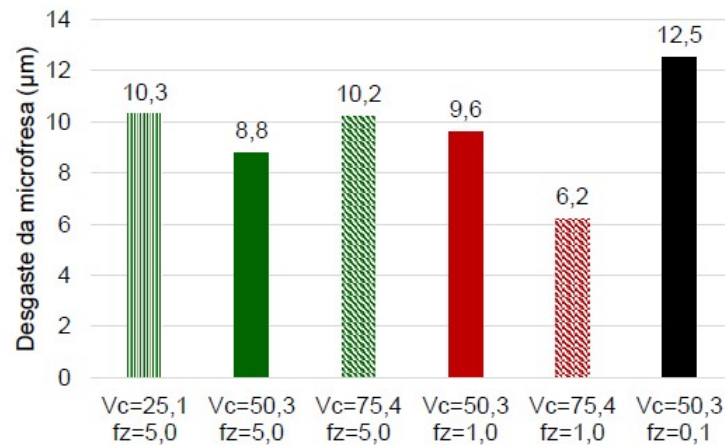


Figura 3: Valores de desgaste em função do diâmetro da ferramenta relacionados aos parâmetros de corte a seco (De Oliveira, 2019).

formação do canal de forma a não apresentar material aderido no fundo do canal, tampouco rebarbas no fundo e do lado discordante do canal e redução das marcas de avanço. A autora também confirmou a redução das forças de usinagem no processo com fluido de corte quando comparado com o a seco. Com isso, a autora reconheceu um ganho no comprimento usinado até o fim de vida quando a microusinagem é realizado com fluido de corte. Finalmente, De Oliveira (2019) conclui que os valores de rugosidade obtidos foram baixos, mas deu destaque para a velocidade de corte de 50,3 m/min. Também reafirma a não formação de rebarbas no fundo dos canais.

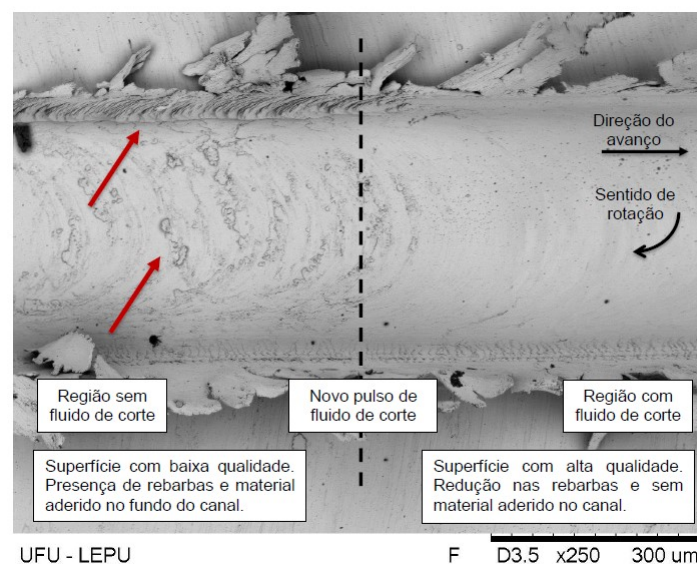


Figura 4: Transição de zona com fluido de corte insuficiente para zona com fluido de corte suficiente (De Oliveira, 2019).

Kiswanto *et al.* (2019) foram responsáveis por desenvolver um estudo referente a análise de superfície pós microfresamento em baixas velocidades de Inconel 718. Utilizando ferramentas revestidas de TiAlN de 1 mm de diâmetro, profundidade de corte constante de 10 μm e comprimento de usinagem também constante e com valor de 15mm, os autores variaram a velocidade de corte (9,43 m/min, 22,00 m/min e 31,43 m/min) e o avanço (0,5 mm/s, 1 mm/s e 2 mm/s). Resultando em um total de 9 variações de parâmetro.

Após a usinagem de todas as variações, a amostra que resultou com a maior rugosidade superficial foi onde se utilizou uma velocidade de corte de 9,43 m/min combinado a um avanço de 2 mm/s. Do contrario, o trecho microfresado com uma velocidade de corte de 31,43 m/min conjugado a um avanço de 0,5 mm/s resultou na menor rugosidade superficial (Kiswanto *et al.*, 2019). Os demais resultados obtidos na análise podem ser observados nas “Fig. 5” e “Fig. 6”.

Como conclusão do estudo, Kiswanto *et al.* (2019) depreenderam que altos avanços produzem altas rugosidades superficiais e altas velocidades de corte resultam em rugosidades superficiais pequenas. Tal fenômeno ocorre devido a redução ou aumento da força de corte diante da quantidade de material removida por cada dente durante o processo de microfresamento.

Ucun *et al.* (2015) executaram, também, um trabalho relacionado ao microfresamento de Inconel 718. Instrumentados com ferramentas sem revestimento e ferramentas com revestimento DLC (*Diamond Like Carbon*) de 760 μm de diâmetro,

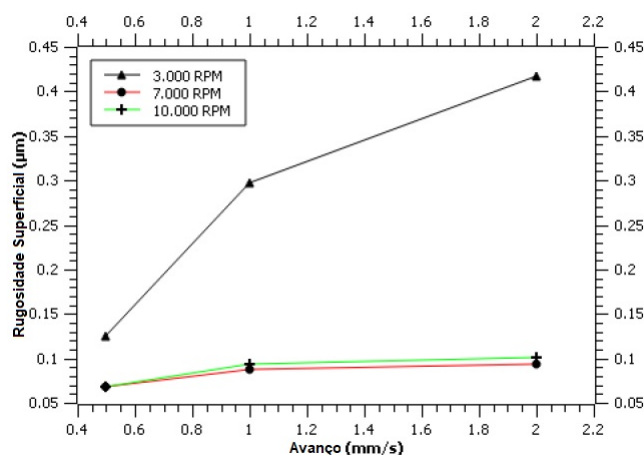


Figura 5: Influência do avanço na rugosidade superficial (Kiswanto *et al.*, 2019).

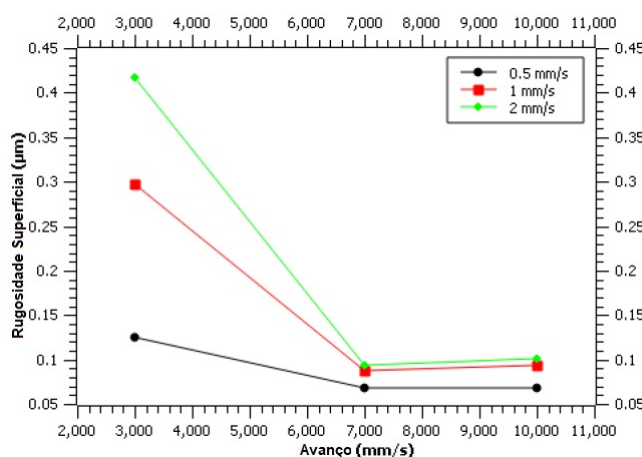


Figura 6: Influência da velocidade de corte na rugosidade superficial (Kiswanto *et al.*, 2019).

os autores microusinaram canais com um total de 120 mm de comprimento. Utilizando uma rotação constante de 20.000 rpm a seco, um avanço variante (1,25 μm , 2,5 μm , 3,75 μm e 5,0 μm por aresta) e uma profundidade de corte também variante (0,1 μm , 0,15 μm e 5,0 μm) como parâmetros de corte, foram microfresados um total de 12 amostras com parâmetros de corte distintos para cada modelo de ferramenta.

As análises posteriores à microusinagem dos canais se deram no âmbito da redução de diâmetro da ferramenta, rugosidade superficial e formação de rebarba. Ucin *et al.* (2015) relatam que para ferramentas sem revestimento e com revestimento DLC, o maior desgaste de constatado foi ao microfresar a amostra de 0,1 mm de profundidade de corte combinada com avanço de 1,25 μm por dente, como pode-se observar na “Fig. 7”. Tal fenômeno foi justificado pelos autores devido a espessura fresada ser inferior a espessura mínima de corte, resultando no aumento de temperatura do processo e também na formação de arestas postiças.

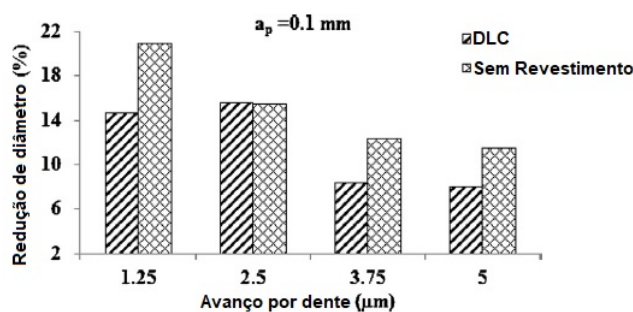


Figura 7: Variação de diâmetro de ferramenta de acordo com avanço (Ucin *et al.*, 2015).

A avaliação feita levando em conta a rugosidade superficial apresentou resultados peculiares e diferentes do esperado. Na “Fig. 8”, Ucin *et al.* (2015) destacam os valor da rugosidade superficial da ferramenta sem revestimento utilizando os avanços de 3,75 e 5,0 μm , onde o esperado era que o valor obtido para 5,0 μm fosse superior ao de 3,75 μm . Outro

resultado singular foi a rugosidades de canais de 10 mm de comprimento apresentem maiores irregularidades quando comparados à alguns de 120 mm, salientando o inesperado.

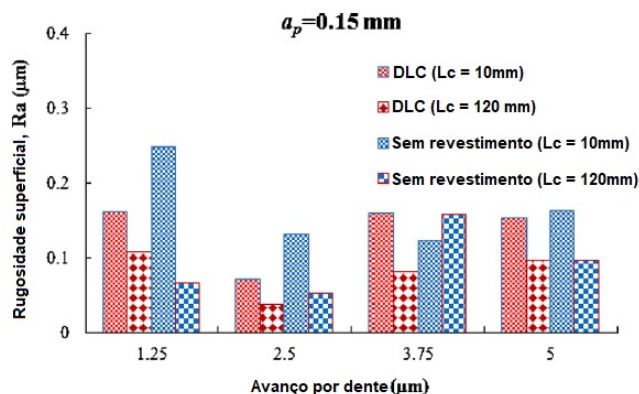


Figura 8: Rugosidade superficial de acordo com avanço (Ucun *et al.*, 2015).

Ao levar em consideração o aumento do raio da aresta de corte da ferramenta de acordo com o aumento do avanço, Ucun *et al.* (2015) testemunharam o já esperado, ou seja, maiores valores de avanço resultaram e mais arredondamento. A “Fig. 9” contém os resultados encontrados com uma espessura de corte de 10 mm e confirmam a ampliação do raio da aresta de corte de acordo com a variação progressiva do avanço.

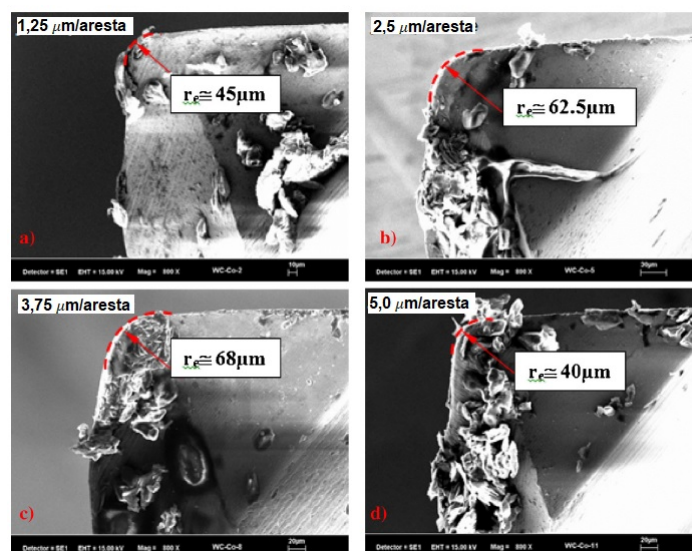


Figura 9: Variação do raio de aresta com taxa de avanço para ferramenta sem revestimento após processo de corte de 120 mm (Ferramenta sem revestimento) (Ucun *et al.*, 2015).

Dos Santos *et al.* (2021) foram idealizadores de um estudo discurrendo referente a formação de rebarba devido ao microfresamento do Inconel 718 e também do aço inoxidável duplex UNSS32205. Para a microusinagem de Inconel 718, os autores utilizaram uma microfresa de $381\text{ }\mu\text{m}$ de diâmetro revestida de TiN com raio de aresta de $1\text{ }\mu\text{m}$. Os ensaios realizados utilizaram 2 fluidos lubrificantes, Vasco 1000 e Óleo sintético Quimatic Superfluido 3, sob a condição de submersão, além da usinagem a seco. Os parâmetros de corte adotados para tais experimentos foram constantes afim de aferir a eficiência da lubrificação. Sendo a velocidade de corte de 36 m/min , o avanço de $1,5\text{ }\mu\text{m/aresta}$ e a profundidade de corte de $0,03\text{ mm}$.

Os resultados colhidos para o microfresamento de Inconel 718 referentes à formação de rebarba do lado concordante e discordante estão apresentados na “Fig. 10”. Os autores relatam que para todas as condições de corte obteve-se uma formação de rebarba menor do lado discordante quando comparados ao concordante independentemente das condições de corte. Dos Santos *et al.* (2021) complementam defendendo que a utilização do fluido de corte propiciou a menor formação de rebarba, de forma a atuar como lubrificante e reduzir o atrito durante o processo de remoção de material. Como conclusão, pôde-se averiguar no estudo a eficiência do método de lubrificação por submersão diante da considerável diferença entre o processo a seco e o submerso por fluido de corte.

Levando em consideração os estudos e análises de casos levantados, é possível constatar condições favoráveis para a realização do processo de microfresamento do Inconel 718, os fatores que se mostraram mais influentes nos trabalhos estudados foram o uso de fluido de corte e a variação no avanço. Também atestou-se as alterações de resultado diante da

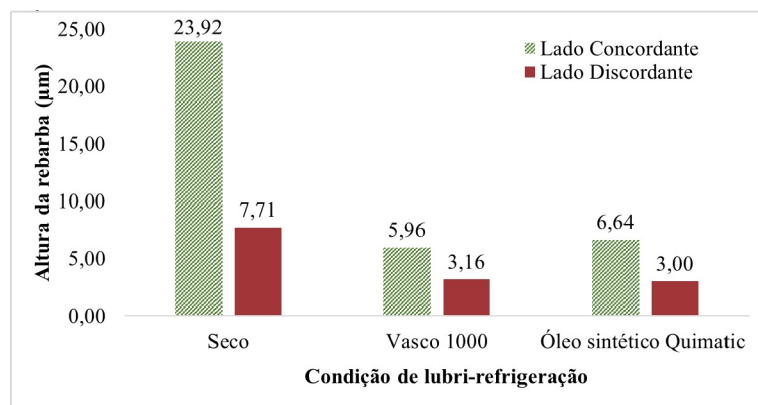


Figura 10: **Diferença entre a altura da rebarba na usinagem do INCONEL 718 a seco e nas condições de aplicação de fluido submersa utilizando-se Vasco 1000 e óleo sintético (Dos Santos *et al.*, 2021).**

variação de diferentes parâmetros de corte, possibilitando assim, a oportunidade futura de comparação entre as características que se deseja para a peça a ser fabricada e os estudos selecionados. Dessa forma, torna-se executável a definição de padrões iniciais de execução uma vez que tem-se conhecimento das prováveis consequências de cada ação.

Mais especificamente, percebe-se uma grande influência do fluido de corte, os autores reportaram menor formação de rebarba e melhor acabamento superficial, referente a rugosidade, o que é associado à capacidade de lubrificação do fluido, permitindo uma melhor formação de cavaco. Este fato ainda influenciou qualitativamente em superfícies com menor deformação e menos material aderido. Outro fator de influência do fluido de corte foi o menor desgaste de ferramenta, também associado à redução no atrito, o que foi comprovado através da redução nas forças de corte.

Além disso, nota-se uma melhor formação de cavaco, menor formação de rebarbas e menor desgaste de ferramenta em processos com valores de espessura de corte superiores à espessura mínima. Este fator é determinante para uma usinagem adequada, assim deve-se sempre selecionar os avanços por dente de forma a utilizar faixas que estejam acima deste valor. Somado a isto, o avanço mostrou ter influência na formação das rebarbas, com uma tendência de redução das rebarbas com o aumento do avanço.

Finalmente, observa-se ainda uma melhor formação de cavaco, redução na formação de rebarba e menor desgaste de ferramenta diante do aumento da velocidade de corte. Ressalta-se no entanto, que valores ótimos podem ser obtidos para cada conjunto de ferramenta e geometria que se deseja usar.

4. CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho as seguintes conclusões puderam ser obtidas:

- O uso de ferramentas revestidas deve ser priorizado em função da maior capacidade de corte e menores valores de desgaste.
- De forma geral o aumento da velocidade de corte influencia positivamente o processo, reduzindo o desgaste e as rebarbas e melhorando a superfície usinada.
- A correta seleção de parâmetros de avanço deve considerar a espessura mínima de forma a manter os valores de avanço por dente sempre acima desse valor, de forma a favorecer o corte e reduzir as deformações.
- O avanço se mostrou uma das propriedades de corte mais importantes, com seu aumento possuindo influência positiva na redução das rebarbas.
- O efeito direto do aumento do avanço no aumento da rugosidade nem sempre é observado em ensaios de microusinagem, devido aos outros efeitos que ocorrem.
- Considerando os trabalhos estudados, não se recomenda microfresar Inconel 718 sem a presença de fluido de corte. O corte a seco pode representar elevados desgastes da ferramenta e baixa qualidade da superfície da peça.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento da Engenharia Mecânica (ENM), à Faculdade de Tecnologia (FT), à Universidade de Brasília (UnB), ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG) e ao Decanato de Pesquisa e Inovação (DPI).

6. REFERÊNCIAS

ASM, 1990. *Properties and selection - Nonferrous alloys and special-purpose materials*. Handbook Vol.2. ASM International.

- Bissacco, G., Hansen, H.N. and Chiffre, L.D., 2005. "Micromilling of hardened tool steel for mould making applications". *International Journal of Materials Processing Technology*, pp. 201–207.
- Camara, M., Campos Rubio, J., Abraao, A. and Davim, J., 2012. "State of the art on micromilling of materials, a review". *Journal of Materials Science & Technology*, Vol. 28, No. 8, pp. 673–685.
- Chae, J., Park, S.S. and Freiheit, T., 2006. "Investigation of micro-cutting operations". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, , No. 3, pp. 313–332.
- Cheng, K. and Huo, D., 2013. *Micro-Cutting – Fundamentals and Applications*. Ed. Wiley, United Kingdom.
- Câmara, M.A., 2014. "fluência do efeito escala sobre a operação de microfresamento". *Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil*.
- De Oliveira, D., 2019. "Efeito escala e integridade superficial no microfresamento da liga de níquel inconel 718". *Tese (Doutorado) - Universidade de Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil*.
- Dos Santos, A.G., da Cunha, D., da Silva, M., Jackson, M. and Ziberov, M., 2021. "Evaluation of the cutting fluid influence in the burr formation when micro milling inconel 718 and uns s32205 duplex stainless steel". *Brazilian Journal of Development*, Vol. 7, No. 6, pp. 56931–56944.
- Kiswanto, G., Azmi, M. and Ko, T.J., 2019. "The effect of machining parameters to the surface roughness in low speed machining micro-milling inconel 718". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 654.
- Lakatos, E.M. and Marconi, M.d.A., 1991. *Metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 2nd edition.
- Son, S.M., Lim, H.S. and Ahn, J.H., 2005. "Effects of the friction coefficient on the minimum cutting thickness in micro cutting". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 45, pp. 529–535.
- Ucun, I., Aslantas, K. and Bedir, F., 2013. "An experimental investigation of the effect of coating material on tool wear in micro milling of inconel 718 super alloy." *Wear*, Vol. 300, ed. Elsevier, pp. 8–19.
- Ucun, I., Aslantas, K. and Bedir, F., 2015. "The performance of dlc-coated and uncoated ultra-fine carbide tools in micromilling of inconel 718". *Precision Engineering*, , No. 41, pp. 135–144.
- Zanella, L.C.H., 2013. *Metodologia de Pesquisa*. Universidade Federal de Santa Catarina / Sistema UAB, 2nd edition.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

SELECTION OF PARAMETERS FOR MICRO-MILLING OF INCONEL 718 THROUGH INDUCTIVE METHODOLOGY AND CASE STUDY

Henrique Hansen Barros, henriquehbb@gmail.com¹

Lucival Malcher, malcher@unb.br¹

Déborah de Oliveira, oliveira.deborah@unb.br¹

¹University of Brasilia, Faculty of Technology, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, Brasília-DF, Zip Code 70910900.

Abstract: Given the growing demand for miniaturization of technological components, manufacturing processes have been increasingly innovated to meet this need at high quality levels. Micromachining itself participates in this scope of evolution, and although its process is similar to the traditional one, it is not just its simple reduction. The reason for this difference is the so-called scale effect, characterized by the exponential increase in the specific cutting energy, which occurs because the dimensions of the tool are of the same magnitude as the microstructure of the machined material. Thus, it is necessary to pay attention to the cutting parameters so that chip formation is possible, it is understood that for such a condition, the cutting thickness must be greater than the tool edge radius in order to avoid the formation of this unwanted phenomenon that result in poor quality machining. Among the alloys of industrial interest, Inconel 718 stands out due to its good thermomechanical properties, however it is recognized as an alloy of low machinability. This factor becomes even more critical in micromachining due to high tool wear rates and difficulties in chip formation, thus, there are few researches and discussions about micromilling of this alloy that exist to date. Thus, this work aims to study the theoretical micromilling of Inconel 718 to obtain cutting parameters, selection of micromills and cutting fluids, which can favor and facilitate the application of micromilling of the alloy. For this, the inductive methodology and case studies will be used, resulting in the understanding of how the aforementioned factors influence the finish of micromilled Inconel 718 parts and also the wear of the tool in the face of changing conditions and cutting parameters. Finally, it is also intended to summarize the main characteristics of the micromilling of this alloy so that this research has an applied characteristic and can be used as a reference source.

Keywords: Miniaturization, Micromilling, Scale Effect, Cutting Parameters, Inconel 718.