

INFLUÊNCIA DO GÁS ARGÔNIO NA VIDA DA FERRAMENTA DE METAL-DURO DURANTE O TORNEAMENTO DA SUPERLIGA VRC625

Valmor Schirmann Filho¹

André João de Souza²

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Sarmento Leite, nº425, Cidade Baixa, CEP 90050-170, Porto Alegre, RS

¹valmor.filho@hotmail.com; ²ajsouza@ufrgs.br

Resumo. Superligas à base de níquel possuem elevada resistência mecânica, aliada a uma baixa condutividade térmica. São recomendadas para aplicações em ambientes corrosivos e altas temperaturas como em componentes mecânicos para indústria aeroespacial, química e petrolífera. Entretanto, apresentam baixo índice de usinabilidade. Por isso, a elevada taxa do desgaste da ferramenta de corte e a busca por novas técnicas lubrificarrefrigerantes ambientalmente corretas, que minimizem os efeitos das altas temperaturas nas interfaces cavaco-ferramenta e ferramenta-peça, são um dos principais desafios dos pesquisadores na usinagem desses materiais. Assim, realizou-se a análise do desgaste da ferramenta de metal-duro com cobertura PVD durante o torneamento da superliga VRC625 utilizando o gás argônio como meio lubrificarrefrigerante e comparando-o com o corte a seco. Os resultados apresentaram aspectos favoráveis à utilização de gás argônio, pois promoveu um aumento de 10% na vida útil da ferramenta e redução de 42% no desgaste de entalhe.

Palavras chave: Torneamento da superliga VRC625, Refrigeração por gás argônio, Vida da ferramenta de metal-duro.

1. INTRODUÇÃO

Superligas à base de níquel são utilizadas principalmente na fabricação de componentes mecânicos dos setores aeroespacial e automotivo, que trabalham em temperaturas acima de 500°C, e requerem alta resistência mecânica, à corrosão, à fadiga e à fluência (Chan et al., 2017; Thakur and Gangopadhyay, 2016; Zhu et al., 2013).

Nesses materiais, a usinabilidade é prejudicada à medida que os teores de níquel (Ni), cromo (Cr) e molibdênio (Mo) aumentam. Tal dificuldade se deve principalmente às altas ductilidade e taxa de encruamento, e à baixa condutividade térmica dessas superligas. A camada encruada na sub superfície da peça apresenta alta resistência que dificulta o avanço da ferramenta. Isto, combinado com a alta ductilidade, provoca a formação de cavaco segmentado (Infomet, 2019). O cavaco “dente de serra” ocorre quando o efeito do amolecimento pelo aumento de temperatura supera o efeito do endurecimento a frio acima de uma certa velocidade (Machado et al., 2015). O atrito elevado nas interfaces cavaco/ferramenta e ferramenta/peça aquece bastante a região de corte, e a baixa condutibilidade térmica faz com que o calor gerado não se dissipe. Essas características contribuem para um aumento nas taxas de desgastes de flanco e entalhe, enquanto a presença de carbonetos abrasivos promove um desgaste prematuro da ferramenta de corte por abrasão. Devido às reações químicas que ocorrem em altas temperaturas, tem-se alta taxa de desgaste de cratera por difusão, além de adesão, *attrition* e oxidação – principal responsável pelo desgaste de entalhe (Cantero et al., 2013; D’addona et al., 2017; Lima et al., 2017; Tebassi et al., 2017).

Diferentes técnicas de lubrificarrefrigeração são comumente utilizadas para reduzir a taxa de desgaste e aumentar a vida da ferramenta na usinagem de superligas à base de níquel (Jahanbakhsh, 2018; Rahman et al., 2019; Yildirim et al., 2017). Por outro lado, a usinagem a seco e com refrigeração a gás são alternativas às técnicas com fluido de corte em abundância e em mínima quantidade de lubrificação (MQL), pois além de serem ambientalmente amigáveis, não causam nenhum dano à saúde do operador (Dixit et al., 2012; Shokrani et al., 2012). Entretanto, não são recomendadas para a usinagem de materiais de difícil corte pela baixa capacidade de refrigeração.

A utilização de refrigeração por gás argônio (AGC – *Argon-Gas Cooling*) mostrou-se eficiente em certos processos de torneamento de superligas resistentes ao calor e de titânio e suas ligas, em que diferentes autores verificaram um aumento na vida útil da ferramenta, com a redução do desgaste de entalhe VB_N principalmente pelo fato deste promover uma atmosfera inerte a área de corte, aliado a uma redução no coeficiente de atrito e uma maior facilidade na remoção de cavacos (Ezugwu et al., 2005; Kamata e Obikawa, 2007; Lima et al., 2017). Apesar disso, ainda são poucos os relatos e trabalhos científicos que apresentam uma análise comparativa do AGC em relação ao corte a seco aplicado à usinagem de superligas à base de níquel.

Assim, o objetivo-se investigar a influência da refrigeração por argônio na vida da ferramenta de metal-duro durante o torneamento da liga resistente à corrosão sob tensão por cloretos VRC625 em comparação ao corte a seco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

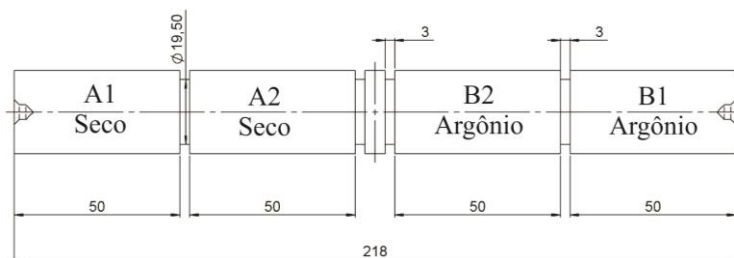
Realizou-se o torneamento longitudinal externo de uma barra cilíndrica da superliga à base de níquel VRC625 com diâmetro de 25 mm e comprimento de 218 mm no um torno CNC Mazak modelo QTN 100-II. A composição química do material (Tab. 1) foi determinada através do espectrômetro óptico Belec S3000. Os valores padrão foram fornecidos pela Villares Metals (2019).

Tabela 1. Composição química da superliga VRC625

Elemento	Ni	Cr	Mo	Fe	Nb	C	Mn	Si
%Massa	72,31	14,9	8,224	3,261	2,206	0,009	<0,001	<0,001
Padrão	72,0 mín.	21,0	8,5	5,0 máx.	3,3	0,05 máx.	0,15 máx.	0,30 máx.

O VCR625 é uma liga especial resistente à corrosão em diversos ambientes agressivos, com larga aplicação na indústria química e petroquímica, inclusive em aplicações criogênicas (Villares Metals, 2019).

A preparação do corpo de prova consistiu em operações de faceamento, confecção do furo de centro e subdivisão do corpo de prova em comprimentos iguais. A Figura 1a apresenta as dimensões reais do corpo de prova. A inserção dos furos de centro fez-se necessária para a fixação da peça junto ao contraponto durante a experimentação, visando aumentar a rigidez da fixação e eliminar eventuais vibrações que poderiam afetar os resultados. Foram utilizados insertos de metal-duro TaeguTec TNMG 160404-ML T5080 com grãos ultrafinos e revestimento PVD-TiAlN. Os parâmetros de corte foram mantidos constantes (velocidade de corte 120 m/min, avanço 0,12 mm/rev. e profundidade de corte 0,5 mm) nas condições de corte a seco e com refrigeração por gás argônio com pureza de 99,9%. A aplicação de gás argônio sobre a região de corte foi realizada a uma vazão de 25 l/min na região de corte. Para isso fez-se necessária a construção de um sistema de refrigeração gasosa, o qual consiste em um cilindro de gás, um manômetro calibrado e um bico aspersor. O bico aspersor foi fixado junto à torre porta-ferramentas do torno CNC e o bocal foi posicionado a uma distância de 30 mm perpendicular a ferramenta de corte conforme Figura 1b.



(a)



(b)

Figura 1- Detalhamento técnico do corpo de prova (a); posição do bico aspersor (b).

O ensaio de vida consistiu na realização de passes (amostras) com comprimento de 50 mm até atingir $VB \geq 0,3$ mm ou o lascamento da aresta de corte. Em cada amostra foram registrados os desgastes na ferramenta (máximo VB_{MAX} e entalhe VB_N). Os desgastes foram mensurados e as imagens registradas através do microscópio digital USB Dino-Lite AM413-ZT com resolução de 1024 x 768 e ampliação de 50x. Para um trabalho mais completo, a repetição dos ensaios seria muito importante. No entanto, a limitação de material impediu esta realização.

3. RESULTADOS

A Figura 2 mostra o crescimento dos desgastes VB_{MAX} e VB_N em função do tempo de usinagem para as condições de corte a seco e com gás argônio, e a Fig. 3 exemplos de imagens referentes à evolução dos desgastes nos insertos para as duas condições.

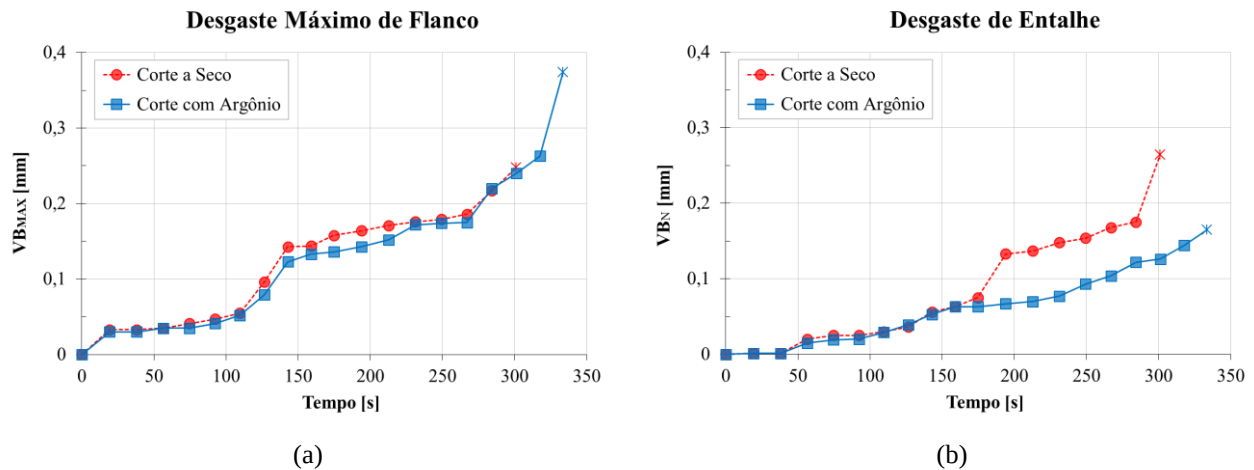


Figura 2. Evolução dos desgastes em função do tempo de corte: (a) VB_{MAX}; (b) VB_N

	Passe 5 (100 s)	Passe 10 (175 s)	Passe 17 (300 s)
Corte a seco			
Corte com argônio			

Figura 3. Exemplos de marcas de desgaste de flanco em função do tempo de corte

A evolução do desgaste máximo de flanco (VB_{MAX}) é representada pela Fig. 2a. Observam-se curvas com características semelhantes, não sendo possível visualizar nenhuma alteração significativa no comportamento dos desgastes dos insertos de metal-duro para as condições a seco e com argônio. Para a situação com gás argônio, o desgaste foi levemente inferior, garantindo um aumento da vida da ferramenta de 10%. Essa mesma semelhança foi observada por Lima et al. (2017) durante o estudo dos desgastes em insertos de cerâmica no torneamento do Inconel[®]751. Apesar de comportamentos semelhantes, obteve-se uma maior vida da ferramenta cerâmica para a situação onde foi utilizado gás argônio.

Referente ao desgaste de entalhe (VB_N), Fig. 2b, houve uma redução considerável deste para a condição de corte com o gás inerte, quando comparado ao corte a seco. O desgaste de entalhe manteve-se constante para ambas as situações até um tempo de usinagem de 2 min 50 s (170 s). Posteriormente visualiza-se um aumento de maior intensidade para a condição a seco, sendo que no último passe esse valor chegou a uma redução de 47%. Os resultados mostram que atmosferas ricas em argônio são capazes de reduzir o desgaste do entalhe e apresentando concordância com o estudo realizado por Ezugwu et al. (1999), o qual descreve que atmosferas inertes aumentam a vida da ferramenta de corte reduzindo a incidência de uma fratura.

O VB_N é um dos desgastes mais significativos na usinagem de superligas à base de níquel, oriundo do atrito do cavaco lamelar com a superfície de folga da ferramenta de corte (Zeng et al., 2018). Esse desgaste ocorre principalmente em materiais com alta ductibilidade e elevado grau de encruamento, na presença de altas temperaturas durante o corte (Cantero et al., 2013). Zhuang et al. (2014) citam ainda que a camada endurecida logo abaixo da superfície da peça é a principal causa do VB_N nas ferramentas de corte, pois o escoamento do cavaco lamelar remove a cobertura da ferramenta, expondo assim o substrato, acelerando o desgaste e influenciando diretamente na vida da ferramenta. Para complementar, Obikawa e Yamaguchi (2015) explicam que o oxigênio presente no ar favorece a formação de óxidos na presença de altas temperaturas na região de corte. Estes óxidos são removidos pelo fluxo de material adjacente junto com grãos de carbonetos de tungstênio (WC), acelerando o desgaste da ferramenta por atrito. Portanto, quando o desgaste do entalhe é principalmente governado por atrito, o oxigênio pode acelerar o desgaste do entalhe no final da profundidade do corte (profundidade máxima do corte).

A Figura 3 comprova a pequena influência da atmosfera da região de corte sob o desgaste da ferramenta referente ao desgaste máximo de flanco (VB_{MAX}). Para a condição de corte a seco, os valores de VB_{MAX} foram 6% superiores aos de VB_N , enquanto que para a situação de usinagem com gás argônio, a diferença foi bem mais expressiva, ou seja, o desgaste máximo de flanco foi 47% maior do que o desgaste de entalhe.

4. CONCLUSÃO

Levando em consideração a metodologia adotada e os resultados obtidos, as seguintes conclusões foram extraídas:

- A presença do gás argônio cria uma atmosfera inerte que promove um aumento da vida útil da ferramenta durante a usinagem de materiais de difícil corte como as superligas à base de níquel. A refrigeração proporcionou uma redução de 10% no desgaste máximo de flanco e de 42% no desgaste de entalhe.
- A utilização de gás argônio surge como uma alternativa ao corte a seco. Porém, faz-se necessária uma análise mais detalhada dos custos associados às ferramentas (insertos) e aos dispositivos adicionais que esta aplicação geraria.

5. AGRADECIMENTOS

À empresa Novalloy Aços e Ligas Especiais, pela doação do material; à empresa Taegu-Tec, pelos insertos utilizados nos testes; e ao Téc. LAUS Guilherme Vargas Schirmer e ao mestrando Everton Cristiano Feix, pelo auxílio na execução dos experimentos.

6. REFERÊNCIAS

- Cantero, J.L., Díaz-Álvarez, J., Miguélez, M.H. & Marín, N.C., 2013. "Analysis of tool wear patterns in finishing turning of Inconel 718". *Wear*, Vol. 297, No. 1-2, p. 885-894.
- Chan, L., Shyha, I., Dreyer, D., Hamilton, J. & Hackney, P., 2017. "Process optimisation for internal cylindrical rough turning of nickel alloy 625 weld overlay". *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, Vol. 11, No. 4, p. 310-314.
- D'addona, D.M., Raykar, S.J. & Narke, M.M., 2017. "High speed machining of Inconel 718: tool wear and surface roughness analysis". *Procedia CIRP*, Vol. 62, p. 269-274.
- Dixit, U.S., Sarma, D.K. & Davim, J.P., 2012. *Environmentally Friendly Machining*. SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Springer-Verlag, New York, 1st edition.
- Ezugwu, E.O., Silva, R.B., Bonney, J. & Machado, A.R., 2005. "The effect of argon-enriched environment in high-speed machining of titanium alloy". *Tribology Transactions*, Vol. 48, No. 1, p. 18-23.
- Ezugwu, E.O., Wang, Z.M & Machado, A.R., 1999. "The machinability of nickel-based alloys: a review". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 86, No. 1-3, p. 1-16.
- Infomet, 2019. "Usinabilidade dos aços inoxidáveis". *Biblioteca Infomet: Aços Resistentes à Corrosão* <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=114>>.
- Jahanbakhsh, M., Farid, A.A. & Lotfi, M. 2018. "Optimal flank wear in turning of Inconel 625 super-alloy using ceramic tool". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 232, No. 2, p. 208-216.
- Kamata, Y. & Obikawa, T., 2007. "High speed MQL finish turning of Inconel 718 with different coated tools". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 192-193, p. 281-286.
- Lima, F.F., Sales, W.F., Costa, E.S., Silva, F.J. & Machado, A.R., 2017. "Wear of ceramic tools when machining Inconel 751 using argon and oxygen as lubri-cooling atmospheres". *Ceramics International*, Vol. 43, No. 1-A, p. 677-685.
- Machado, A.R., Mendes, A.M., Coelho, R.T. & Silva, M.B., 2015. "Teoria da Usinagem dos Materiais". 3^a ed. São Paulo: Edgard Blucher.
- Obikawa, T. & Yamaguchi, M., 2015. "Suppression of notch wear of a whisker reinforced ceramic tool in air-jet-assisted high-speed machining of Inconel 718". *Precision Engineering*, Vol. 39, p. 143-151.

- Rahman, S. S., Ashraf, Z.I., Amin, AKMN., Bashar, M.S., Ashik, F.K.A & Kamruzzaman, M., 2019. "Tuning nanofluids for improved lubrication performance in turning biomedical grade titanium alloy". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 206, p. 180-196.
- Shokrani, A., Dhokia, V. & Newman, S.T., 2012. "Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 57, p. 83-101.
- Tebassi, H., Yallese, M.A., Belhadi, S., Girardin, F. & Mabrouki, T., 2017. "Quality-productivity decision making when turning of Inconel 718 aerospace alloy: A response surface methodology approach". *International Journal of Industrial Engineering Computations*, Vol. 8, No. 3, p. 347-362.
- Thakur, A. & Gangopadhyay, S., 2016. "State-of-the-art in surface integrity in machining of nickel-based superalloys". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 100, p. 25-54.
- Villares Metals, 2019. "VRC625 (Alloy 625 / UNS N06625): Liga especial resistente à corrosão" <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Ligas-Especiais/Resistentes-a-Corrosao/VRC625-Alloy-625-UNS-N06625>>.
- Yıldırım, Ç.V., Kivak, T., Sarıkaya, M. & Erzincanlı, F. 2017. "Determination of MQL parameters contributing to sustainable machining in the milling of nickel-base superalloy Waspaloy". *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 42, No. 11, p. 4667-4681.
- Zeng, H., Yan, R., Du, P., Zhang, M. & Peng, F., 2018. "Notch wear prediction model in high speed milling of AerMet100 steel with bull-nose tool considering the influence of stress concentration". *Wear*, Vol. 408-409, p. 228-237.
- Zhu, D.; Zhang, X. & Ding, H., 2013. "Tool wear characteristics in machining of nickel-based superalloys". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 64, p. 60-77.
- Zhuang, K., Zhu, D., Zhang, X. & Ding, H., 2014. "Notch wear prediction model in turning of Inconel 718 with ceramic tools considering the influence of work hardened layer". *Wear*, Vol. 313, No. 1-2, p. 63-74.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF ARGON-GAS COOLING ON CARBIDE TOOL LIFE IN TURNING OF NICKEL-BASED SUPERALLOY

Valmor Schirmann Filho¹

André João de Souza²

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica, Rua Sarmento Leite, nº425, Cidade Baixa, CEP 90050-170, Porto Alegre, RS

¹valmor.filho@hotmail.com; ²ajsouza@ufrgs.br

Abstract. Nickel-based superalloys have high mechanical strength combined with low thermal conductivity. They are recommended for applications in corrosive environments and high temperatures as in mechanical components for the aerospace, chemical and oil industry. However, they have low machinability index. Therefore, the high cutting tool wear rate and the search for new environmentally correct lubricooling techniques, which minimize the effects of high temperatures on the chip-tool and workpiece-tool interfaces, are one of the main challenges for researchers when machining these materials. Thus, the PVD-coated carbide tool wear was analyzed during turning of the VRC625 super alloy using argon-gas lubricooling condition in comparison to dry cutting. The results presented promising aspects to the use of argon gas, as it promoted a 10% increase in tool life and 47% reduction in notch wear.

Keywords: Nickel-based superalloy turning, Argon-gas cooling, Carbide tool life.

RESPONSIBILITY NOTICE

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