

AVALIAÇÃO DO REVESTIMENTO EM FRESA DE TOPO NO PROCESSO DE FRESAMENTO LATERAL DO AÇO VF800

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Bruna Freitas Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br

Robson Rech, robsonrech@gmail.com

Vanderlei da Silva, vanderlei.da-silva@edu.sc.senai.br

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

E-mail: anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Resumo. Os revestimentos geralmente desempenham um papel importante em termos de comportamento e vida útil da ferramenta de usinagem. A necessidade permanente de melhor desempenho está induzindo novas composições em torno desses revestimentos, em função das indústrias de conformação mecânica deparar-se na dificuldade de usinar aços tratados termicamente. O tema em estudo busca uma alternativa para viabilizar economicamente a usinagem de materiais endurecidos, analisando se a reutilização de uma fresa com uma nova recobertura pode otimizar o seu desempenho. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo o estudo do revestimento em fresa de metal duro no processo de fresamento lateral do aço VF 800, tratamento termicamente. Para o desenvolvimento dos experimentos foram utilizados seis fresas de topo novas, e após uso, foram revestidas novamente, com filme de TiN (condição 1), nanocamadas de SiN₄ e AlCrN (condição 2) e filme em gradiente de SiN₄ e TiAlN (condição 3). Após realizado os primeiros experimentos, essas fresas foram reafiadas e recobertas, para repetir os experimentos. Por meio de um planejamento experimental, foi possível analisar quais os parâmetros que tiveram maior influência para aumentar o desgaste da ferramenta e interferir no acabamento superficial do corpo de prova. Resultados comprovaram que a condição experimental 2 apresentou melhor resultado na aplicação estudada, exibindo menor desgaste na ferramenta e com melhor qualidade superficial do aço VF800.

Palavras chave: Revestimento, fresamento de aço endurecido, metal duro

1. INTRODUÇÃO

A superfície da ferramenta está exposta a diferentes solicitações (mecânicas, químicas e tribológicas) e exige tratamentos de superfície para prolongar sua vida útil. Diferentes estratégias têm sido seguidas para melhorar as características superficiais dos metais, especialmente no campo de estruturas multicamadas e tratamentos termoquímicos.

Nesse sentido, as indústrias do setor metal mecânico vêm buscando por novas tecnologias, a fim de obter produtos de qualidade, baixo custo de produção e grande produtividade. Uma dessas tecnologias é a implementação de revestimentos em fresas de metal duro, pelo processo PVD, pois possibilita o aumento das velocidades de corte gerando uma alta produtividade sem afetar a qualidade do produto. Para Machado *et. al.*, (2009), os revestimentos em ferramentas de metal duro, podem garantir um desempenho superior a ferramenta não revestidas para usinagem de materiais ferrosos, tornando-se mais utilizados na indústria.

No campo das estruturas multicamadas, muitos estudos relataram características interessantes de revestimentos nanoestruturados à base de nitretos metálicos (BAYÓN *et.al.* 2009; ZENG *et. al.* 2003; Martinez *et. al.* 2003; HOLLECK *et. al.* 2000). TiN é o revestimento mais popular empregado na indústria, no entanto, nitreto de cromo é recomendado para produtos agressivos ambientes e onde a oxidação e a resistência ao desgaste precisam ser melhoradas (LOUSA *et. al.* 2001). O CrN é uma solução promissora para ambientes corrosivos devido à formação de uma camada de óxido em sua superfície que inibe futuras oxidações. O nitreto de alumínio (AlN) também apresenta boa estabilidade contra oxidação devido à formação de Al₂O₃ na superfície do revestimento.

Com o objetivo de combinar diferentes revestimentos de nitreto metálicos, pesquisas recentes em revestimentos ternários, como TiAlN, CrTiN e CrAlN, têm mostrado melhorias significativas nas propriedades mecânicas, térmicas e tribológicas, sendo expostos a temperaturas de até 700°C (TAM, *et. al.* 2008). Pesquisas recentes apontam que filmes cerâmicos em aços sinterizados contribuem significativamente na redução do coeficiente de atrito e taxa de desgaste em ensaios de deslizamento a seco (ZAPPELINO, *et. al.* 2020; ALMEIDA, *et.al.* 2018).

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo investigar qual a combinação de filmes cerâmicos pode otimizar o desempenho no fresamento do aço VF 800. Além disso, procura-se investigar qual a melhor alternativa em caso de reaproveitamento da ferramenta de corte, com a sua reafiação seguida da deposição de um novo filme.

2. METODOLOGIA

No presente trabalho foram realizados experimentos com três tipos de revestimento, no processo de fresamento lateral no aço VF800 endurecido alternando a velocidade de corte (v_c). De encontro a esse objetivo, três condições experimentais, com duas réplicas cada, foram analisadas:

Condição 1: VF 800, com filme de TiN;

Condição 2: VF 800, com estruturas nanocompostas de nitreto de silício (SiN_4) e nitreto de alumínio e cromo (AlCrN);

Condição 3: VF 800, filme em gradiente de concentração de nitreto de silício (SiN_4) e nitreto de alumínio e titânio (TiAlN).

Cada condição experimental foi exposta a duas velocidades de corte, 80m/min e 120m/min. As fresas escolhidas tem 10mm de diâmetro por 70mm de comprimento, com 30mm de área de corte. A Figura 1 mostra as fresas utilizadas com os diferentes revestimentos.

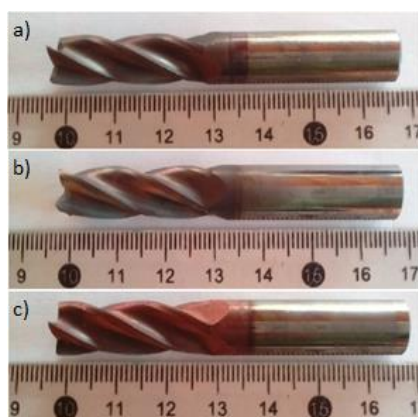


Figura 1 - Fresas Utilizada nos Experimentos, a) condição 1, b) condição 2 e c) condição 3 (Autores, 2021)

Tabela 1 demonstra as combinações de cada tratamento onde a aleatorização dos experimentos foi avaliada. Antes do início de qualquer experimentação é necessário estabelecer o planejamento dos ensaios, pois o processo necessita ser cuidadosamente monitorado durante os experimentos, garantindo que tudo seja executado conforme plano, pois erros experimentais podem invalidar a variável resposta a ser analisada.

Tabela 1 - Planejamento do experimento (Autores, 2021)

	Experimento	Condição Experimental	v_c (m/min)	f_z (mm)
Primeira Parte	1	2	120	0,08
	2	2	80	0,08
	3	3	80	0,08
	4	1	120	0,08
	5	3	120	0,08
	6	1	80	0,08
Segunda Parte	7	1	80	0,08
	8	3	120	0,08
	9	1	120	0,08
	10	2	80	0,08
	11	2	120	0,08
	12	3	80	0,08

Os ensaios foram conduzidos inicialmente com as fresas novas, executando o fresamento no aço VF 800 nas duas velocidades de corte já indicadas. Posteriormente, as ferramentas de corte foram reafiadas e encaminhadas para deposição dos filmes detalhados em cada condição experimental.

Os experimentos foram realizados na Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, utilizando um centro de usinagem vertical de fabricação da ROMI, modelo D600 comando FANUC. No experimento foi utilizado uma profundidade de corte de 25mm por 0.15mm de incremento lateral, sendo usinado um comprimento de 128mm, repetido 10 vezes esse processo. Os experimentos foram executados em condições de usinagem sem lubrificação. A Figura 2 mostra a fixação do corte de prova e da ferramenta.

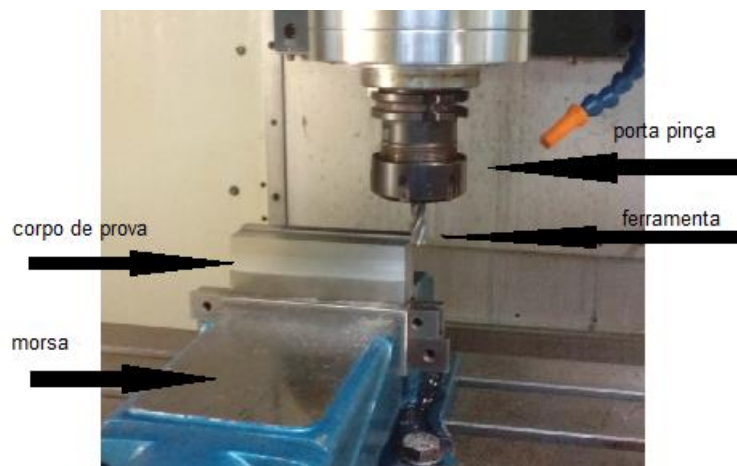


Figura 2 - Fixação dos corpos de prova (Autores, 2021)

Para efetuar a medição do desgaste das ferramentas o Instituto SENAI de Inovação (ISI) disponibilizou o microscópio estereoscópico do fabricante Olympus, modelo SZX7, com uma faixa de ampliação de 8 – 56 X, com máximo desempenho óptico.

O acabamento superficial foi mensurado através de um rugosímetro de fabricação da Mitutoyo modelo SJ-210, disponibilizado pela Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville. A medição foi realizada em três pontos da superfície de cada corpo de prova, os valores da rugosidade são apresentados com o valor médio. Foi utilizado o parâmetro de rugosidade Ra.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Avaliação do desgaste

Após a usinagem dos corpos de provas do aço VF800, medições na fresa foram efetuadas com intuito de avaliar o desgaste de ferramentas, em todas as condições experimentais e suas réplicas. Para uma maior confiabilidade do resultado, em cada aresta de corte foram efetuadas 3 medições.

Inicialmente, para avaliação da validade do procedimento experimental seguido, foi analisada a normalidade dos dados coletados. A Figura 3 mostra o gráfico de probabilidade normal dos resíduos, avaliando-se os resultados de desgaste e rugosidade. Como os resíduos se localizam aproximadamente ao longo de uma reta, não há suspeita de qualquer não normalidade grave dos dados. Não há, também, qualquer indicação de valores muito discrepantes o que possibilita a continuidade da análise. A observação dos resíduos deve ser automaticamente feita em qualquer análise de variância. O modelo está adequado quando os resíduos não conterem padrões óbvios. Por meio da análise de resíduos, muitos tipos de deficiências e violações do modelo podem ser descobertos (MONTGOMERY, 2013).

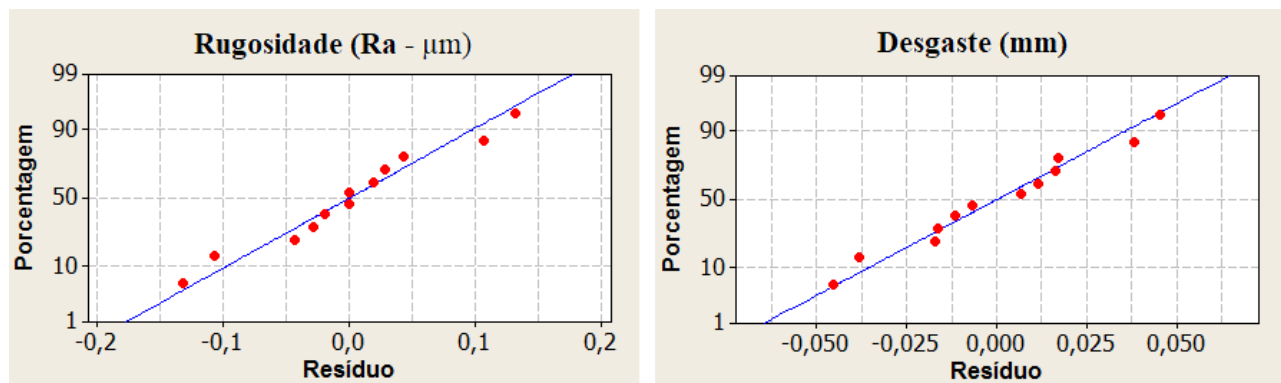


Figura 3 - Gráfico de probabilidade normal dos resíduos

Nas Figuras 4 e 5 estão os resultados das medições executadas nas arestas de corte. Na Figura 4 estão todos ensaios executados na velocidade de corte de 80m/min. Já na Figura 5 estão as réplicas de velocidade utilizando a velocidade de corte de 120m/min.

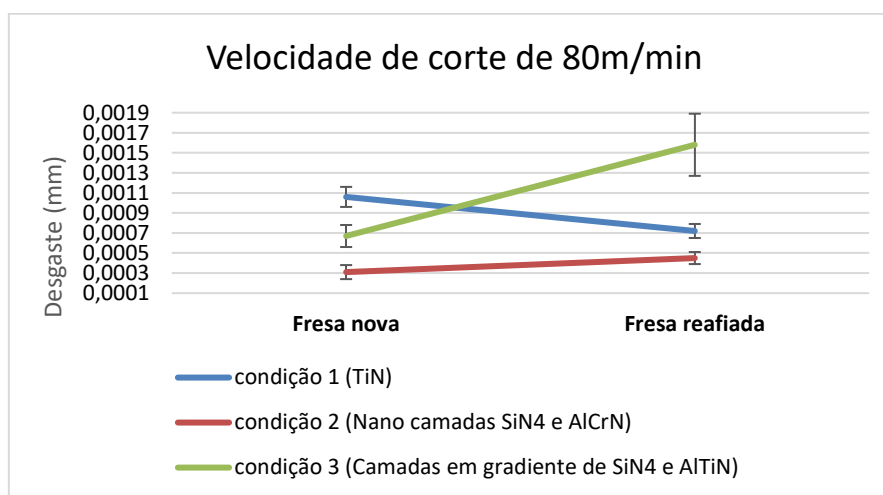


Figura 4 – Réplicas de ensaio utilizando velocidade de corte de 80m/min, nas condições nova e reafiada (Autores, 2021)

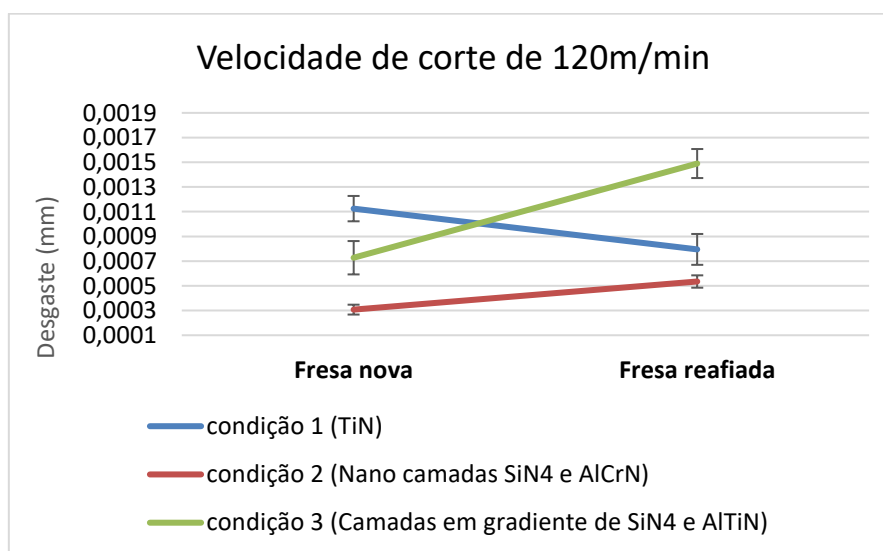


Figura 5 - Réplicas de ensaio utilizando velocidade de corte de 120m/min, nas condições nova e reafiada (Autores, 2021)

Comparando as condições experimentais 1, 2 e 3 observa-se que a única condição experimental em que o desgaste foi menor, mesmo após o processo de reafiação da ferramenta, foi a condição experimental 1. Esse comportamento manteve-se mesmo com o aumento da velocidade de corte.

Já para as condições experimentais 2 e 3, a condição de reafiamento, nas duas velocidades de corte aumentaram o desgaste da ferramenta. O aumento da velocidade de corte ocasiona no aumento da temperatura de usinagem, resultando com isso na diminuição da vida da ferramenta.

Considerando todas as condições experimentais estudadas, para a velocidade de corte de 80m/min, a condição experimental 2 obteve o menor desgaste, seguido da condição experimental 1 e 3. Para a velocidade de corte de 120m/min observa-se um comportamento semelhante.

De forma a entender quais variáveis podem influenciar no estudo e também para prever comportamentos futuros, gráficos de efeitos foram elaborados (Figura 6 e 7) para analisar o que efetivamente contribuiu, ou seja quais fatores mais influenciaram no desgaste das fresas e na rugosidade das amostras. “O efeito de um fator é definido como a variação na resposta produzida pela mudança no nível do fator.” (MONTGOMERY; RUNGER, 2003, p. 297).

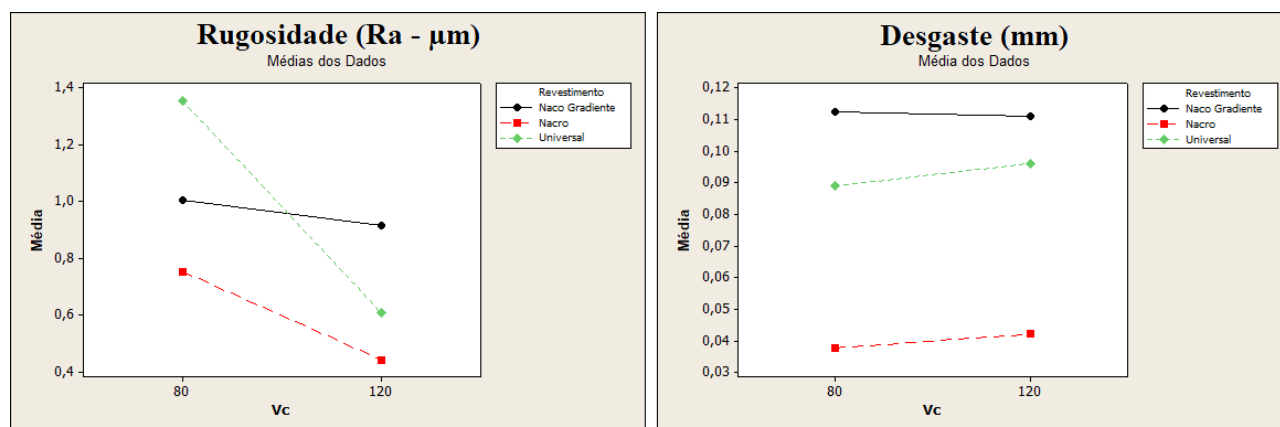


Figura 6 - Gráfico de interação para a rugosidade e desgaste (Autores, 2021)

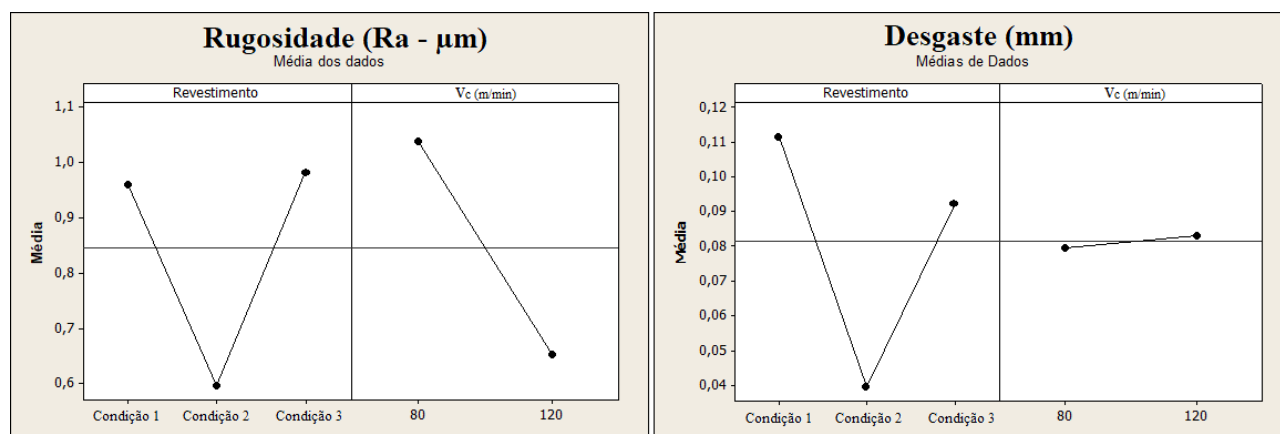


Figura 7 - Gráfico de efeitos principais para o desgaste e para a rugosidade (Autores, 2021)

A figura 6 demonstra que houve maior influência da velocidade de corte nas rugosidades das amostras fresadas do que no desgaste da fresa, pois quando o há troca de nível, seja (+ v_c) para (- v_c) ou vice-versa, existe uma grande variação na resposta. Com o aumento da velocidade de corte, percebe-se que o valor da rugosidade diminui, segundo Rodrigues *et. al.* (2011, p.72) “a maior velocidade de corte favorece o processo de formação de cavaco por meio de diminuição da espessura do cavaco e consequentemente o grau de recalque”. A condição experimental 2 foi a que favoreceu numa menor rugosidade do aço VF800.

Diniz, Marcondes e Coppini (2010, p.120) mencionam que “a velocidade de corte é o parâmetro que mais influencia no desgaste, pois com o aumento da mesma, aumenta a energia (calor) que é imputada ao processo”. Portanto, de forma a identificar se a velocidade de corte teve relevância no processo de desgaste da ferramenta, nota-se na Figura 7 que o aumento da velocidade de corte não contribuiu significativamente. Portanto, a estruturação dos filmes, assim como os elementos químicos dos filmes cerâmicos analisados foram o que mais contribuíram no processo de desgaste da fresa.

Dessa forma, observa-se dentre todas as condições experimentais avaliadas induzidas pelas variáveis de processo já mencionadas, a que obteve maior média de desgaste foi a condição experimental 3. Já a que obteve melhor desempenho foi a condição experimental 2, com nanocompostas de nitreto de silício (SiN_4) e nitreto de alumínio e cromo (AlCrN).

3.2. Microscopia óptica

Microscopias ópticas foram conduzidas em uma réplica de todas as condições experimentais, conforme Figura 8. Na Figura 8 é possível ver os desgastes das arestas de corte nas fresas na condição usinada com a velocidade de corte de 80m/min e 120m/min, onde as imagens “a” e “b” referem-se a condição 1 (nova e reafiada respectivamente), imagens “c” e “d” condição 2 (nova e reafiada respectivamente) e “e” e “f” condição 3 (nova e reafiada respectivamente).

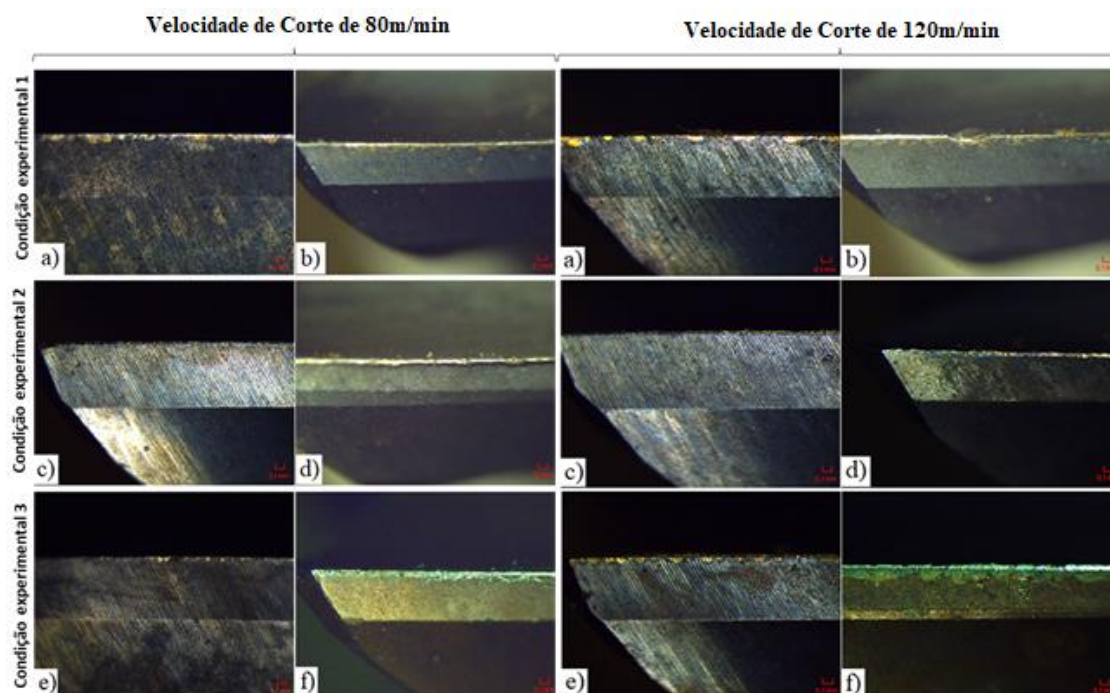


Figura 8 – Micrografias das arestas de corte com v_c de 80m/min, obtidas por microscopia óptica (Autores, 2021)

Nota-se nas imagens “a” e “b” que não ocorreu um desgaste de flanco, mais houve uma quebra de cobertura, isto pode ter ocorrido por alguns fatores como estratégia de usinagem, pressão de corte da ferramenta na entrada e/ou na saída do material, excesso de tensão de camada do revestimento no processo de deposição ou então no processo de fabricação e reafiação das fresas pode ter ficado micro rebarbas ou rugosidade muito alta, devido a granulação do rebolo utilizado. O desgaste médio ficou em 0,106mm para a fresa nova e 0,072mm para a fresa reafiada. É possível observar nas imagens “c” e “d” que não ocorreu à quebra de revestimento, em ambas as ferramentas. Neste caso as ferramentas tiveram um desgaste de flanco relativamente pequeno, onde a ferramenta nova (c) a média de desgaste foi de 0,031mm em quanto a ferramenta reafiada (d) teve um desgaste de 0,045mm. Uma hipótese desse resultado é que em sua composição química apresenta o elemento cromo. Já nas imagens “e” e “f” pode-se observar que a ferramenta nova (e) apresenta micro quebra de cobertura e a ferramenta reafiada (f) apresenta um deslocamento de cobertura. A ferramenta nova apresentou um desgaste 0,067mm e quanto a ferramenta reafiada o desgaste foi de 0,158mm.

Semelhante a condição da velocidade de corte de 80m/min, as fresas na condição experimental 1 e usando uma velocidade de corte de 120m/min sofreram uma quebra de cobertura seguido de um lascamento com a fresa reafiada (b). Com velocidades de corte maiores o desgaste da ferramenta nova (a) aumentou para 0,113mm e a ferramenta reafiada (b) teve um desgaste 0,072mm. Analisando as imagens “c” e “d”, referente a condição experimental 2, o desgaste apresentou a mesma tendência que no caso da velocidade de corte de 80m/min, onde as ferramentas novas (c) tiveram desgaste de 0,031mm e as ferramentas reafiadas (d) um desgaste médio de 0,053mm. Observando as imagens “e” e “f”, referente a condição experimental 3, nota-se que houve um aumento da quebra de revestimento da ferramenta nova (e) e um aumento do deslocamento da ferramenta reafiada (f), isto pode ter ocorrido devido ao aumento de calor gerado pela velocidade de corte maior.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos experimentos permitiram identificar diferenças de desgaste das ferramentas em estudo, pois o material utilizado nos experimentos foi tratado termicamente, dificultando a usinagem.

Por meio da microscopia óptica das imagens observou as condições experimentais 1 e 3 apresentaram várias quebras e deslocamento do revestimento, podendo ter ocorrido em função dos parâmetros de processo de usinagem, processo de reafiação ou de deposição do revestimento na ferramenta.

Baseado nos resultados apresentados, observa-se que a condição experimental 2 apresentou um resultado visivelmente superior na usinagem do aço VF 800 endurecido, garantindo um bom desempenho ao desgaste e bons resultados de acabamento superficial. Esse comportamento pode ser atribuído a presença do cromo no filme, oferecendo estabilidade térmica durante a operação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Platit pelo revestimento das fresas usadas nos experimentos, o Instituto SENAI de Inovação pela disponibilidade do microscópio e a Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville por disponibilizar equipamentos e infraestrutura para a realização do presente artigo.

6. REFERÊNCIAS

- ABCM, 2004. “Journal of the Brazilian Society of Engineering and Mechanical Sciences”. 1 Feb. 2007 <<http://www.abcm.org.br/journal/index.shtml>>.
- Almeida, E.A. dos S. de; KRELLING, A.P.; MILAN, J.C.G.; COSTA, C.e. da. Micro-abrasive wear mechanisms of P/M AISI M2 steel with different surface treatments. **Surface And Coatings Technology**, [S.L.], v. 333, p. 238-246, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.10.020>.
- Bayón, R., A. Igartua, X. Ferna, R. Martí, R.J. Rodri, J.A. Garcí, A. Frutos, M.A. Arenas, J. Damborenea, Corrosion-wear behaviour of PVD Cr / CrN multilayer coatings for gear applications, *Tribol. Int.* 42 (2009) 591–599. doi:10.1016/j.triboint.2008.06.015.
- Clark, J.A., 1986. *Comunicação pessoal*. University of Michigan, Ann Harbor.
- de Oliveira, L.P.R. e Melo, F.X., 2013. “TPA as a tool for the design of active noise control”. In *Proceedings of the International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics - DINAME2013*. Buzios, Brazil.
- Lee, Y.B., 2003. *Studies on the growth of the frost layer based on heat and mass transfer through porous media*. Tese de doutorado, Seoul National University, Seoul.
- Holleck, H., V. Schier, Multilayer PVD coatings for wear protection, *Surf. Coat. Technol.* 76–77 (2000) 328–336. doi:10.1016/0257-8972(95)02555-3.
- McConnell, K.G. e Varoto, P.S., 2008. *Vibration Testing: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New Jersey, 2ª edição.
- Martinez E., J. Romero, A. Lousa, J. Esteve, Wear behavior of nanometric CrN/Cr multilayers, *Surf. Coat. Technol.* 163–164 (2003) 571–577.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Design and Analysis of Experiments**. 8th ed. Arizona State University: John Wiley & Sons Inc., 2013.
- MLA, 2004. “How do I document sources from the web in my works-cited list?” Modern Language Association. 22 Feb. 2007 <<http://www.mla.org>>.
- Rodriguez, O.M.H., Mudde, R.F. e Oliemans, R.V.A., 2006. “Stability analysis of slightly-inclined stratified oil-water flow and intermediate wave theory”. In *Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering - ENCIT2006*. Curitiba, Brazil.
- Tam, P.L., Z.F. Zhou, P.W. Shum, K.Y. Li, Structural, mechanical, and tribological studies of Cr-Ti-Al-N coating with different chemical compositions, *Thin Solid Films*. 516 (2008) 5725–5731. doi:10.1016/j.tsf.2007.07.127
- Trindade, M.A. e Benjeddou, A., 2011a. “Finite element homogenization technique for the characterization of d15 shear piezoelectric macro-fibre composites”. *Smart Materials and Structures*, Vol. 20, p. 07-12.
- Trindade, M.A. e Benjeddou, A., 2011b. “Evaluation of effective material properties of thickness-shear piezoelectric macro-fibre composites”. In *Proceedings of the 21st International Congress of Mechanical Engineering - COBEM2011*. Natal, Brazil.
- Zappelino B, de Almeida E d S, Krelling A, da Costa C, Fontana L, Milan J. Tribological behavior of duplex-coating on Vanadis 10 cold work tool steel. *Wear*. 2020; **442-443**: 203133.
- Zeng, X.T. S. Zhang, C.Q. Sun, Y.C. Liu, Nanometric-layered CrN y TiN thin films : mechanical strength and thermal stability, *Thin Solid Films*. 424 (2003) 99–102.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

TOP MILL EVALUATION COATING IN THE STEEL VF800 MILLING PROCESS

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Bruna Freitas Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br

Robson Rech, robsonrechi@gmail.com

Vanderlei da Silva, vanderlei.da-silva@edu.sc.senai.br

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

E-mail: anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Abstract. Coatings generally play an important role in terms of machining tool behavior and life. The permanent need for better performance is inducing new compositions around these coatings, due to the mechanical forming industries facing the difficulty of machining heat-treated steels. The subject under study seeks an alternative to make the machining of hardened materials economically viable, analyzing whether the reuse of a cutter with a new coating can optimize its performance. In view of this, the present work aims to study the coating on carbide milling in the side milling process of VF 800 steel, heat treatment. For the development of the experiments, six new end mills were used, and after use, they were coated again with TiN film (condition 1), SiN₄ and AlCrN nanolayers (condition 2) and SiN₄ and TiAlN gradient film (condition 3). After carrying out the first experiments, these cutters were resharpened and covered to repeat the experiments. Through experimental planning, it was possible to analyze which parameters had the greatest influence to increase tool wear and interfere with the surface finish of the specimen. Results proved that experimental condition 2 presented a better result in the studied application, showing less wear on the tool and with better surface quality of VF800 steel.

Keywords: Coating, hardened steel milling, carbide

RESPONSIBILITY NOTICE

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