



EVOLUÇÃO DOS DESGASTES DE CRATERA E DE FLANCO EM FERRAMENTA REVESTIDA COM TiAlN-AA DURANTE O TORNEAMENTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR FE-45012

Theodoro Mendes Neto¹, Amanda Poliana Pereira Salles Thomassem¹, Rafael Drumond Mancosu¹, Renato Francoso de Ávila²

¹Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, Brasil
(tm.neto.2019@aluno.unila.edu.br)

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Juiz de Fora, Brasil

Resumo: Ferramentas revestidas com TiAlN são amplamente utilizadas em operações de usinagem devido à elevada resistência ao desgaste. Este trabalho avaliou a evolução dos desgastes de cratera e flanco de uma ferramenta revestida com TiAlN-AA durante o torneamento a seco de ferro fundido nodular FE-45012. As análises por microscopia óptica e ImageJ indicaram aumento progressivo dos desgastes ao longo do tempo de usinagem.

Palavras-chave: usinagem; TiAlN; desgaste de ferramenta.

INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos processos de fabricação mais utilizados na obtenção de componentes metálicos com elevada precisão dimensional e acabamento superficial. Durante o corte, a ferramenta é submetida a intensas solicitações mecânicas e térmicas, que podem resultar em diferentes mecanismos de desgaste e comprometer sua vida útil. Nesse contexto, a aplicação de revestimentos duros sobre substratos de metal duro constitui uma prática amplamente consolidada na indústria, sendo empregada para aumentar a resistência ao desgaste e melhorar o desempenho das ferramentas de corte (Diniz et al., 2013).

Entre os revestimentos utilizados industrialmente, os nitretos à base de titânio e alumínio (TiAlN) destacam-se pela elevada dureza, resistência ao desgaste e estabilidade térmica. Essas características tornam o TiAlN particularmente atrativo para operações realizadas em condições severas de usinagem, especialmente quando se busca reduzir ou eliminar o uso de fluidos de corte. Além dos revestimentos comerciais disponíveis no mercado, diferentes composições e teores de alumínio vêm sendo investigados com o objetivo de otimizar o comportamento tribológico e a resistência ao desgaste das ferramentas (Sousa et al., 2021).

Paralelamente, o ferro fundido nodular continua sendo amplamente empregado em componentes mecânicos devido à sua combinação de resistência mecânica, tenacidade e boa usinabilidade. Entretanto, a presença de grafita nodular e de constituintes da

matriz metálica pode promover mecanismos específicos de desgaste da ferramenta, tornando importante a avaliação do comportamento de novos revestimentos durante sua usinagem (Chiaverini, 2008; Diniz et al., 2013).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a evolução dos desgastes de cratera e de flanco de uma ferramenta revestida com TiAlN-AA durante o torneamento a seco de ferro fundido nodular FE-45012, por meio de análises realizadas em diferentes tempos de usinagem. Para isso, foram realizadas interrupções periódicas do processo de usinagem para acompanhamento da evolução dos desgastes de cratera e de flanco por microscopia óptica.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de usinagem foram realizados em corpos de prova de ferro fundido nodular FE-45012 utilizando ferramentas de metal duro classe K10 (WC-Co) revestidas com TiAlN-AA, revestimento desenvolvido para fins de pesquisa. O processo foi conduzido em condição de usinagem a seco, visando intensificar as solicitações térmicas e tribológicas na interface ferramenta-peça e acelerar os mecanismos de desgaste.

Os ensaios foram realizados em um torno mecânico Nardini, utilizando velocidade de corte de 150 m/min, avanço de 0,15 mm/volta e profundidade de corte de 1 mm. Os parâmetros de corte foram mantidos constantes durante todo o experimento,

permitindo avaliar a evolução do desgaste em função do tempo de usinagem.

Foi utilizada uma única aresta de corte nova durante todo o ensaio. Após cada intervalo de 2 minutos de usinagem, a ferramenta era removida do torno e encaminhada para análise por microscopia óptica. Em seguida, a mesma ferramenta era reposicionada cuidadosamente no porta-ferramenta, mantendo-se a mesma aresta de corte para a continuidade do ensaio. Esse procedimento permitiu acompanhar a evolução do desgaste da mesma região da ferramenta ao longo do tempo de usinagem.

A ferramenta foi submetida a interrupções periódicas a cada 2 minutos de usinagem, totalizando avaliações nos tempos de 0, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos. Após cada interrupção, as regiões de desgaste de cratera e de flanco foram analisadas por microscopia óptica utilizando um microscópio metalográfico Zeiss, com aumentos de 50× e 100×. As imagens obtidas foram utilizadas para acompanhar a evolução do desgaste da ferramenta ao longo do tempo de usinagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 1 e 2 apresentam a evolução dos desgastes de cratera e de flanco da ferramenta revestida com TiAlN-AA durante o torneamento a seco do ferro fundido nodular FE-45012. Em ambos os casos observa-se aumento progressivo das regiões desgastadas com o avanço do tempo de usinagem, evidenciando a degradação gradual da aresta de corte.

A Figura 3 apresenta um exemplo da delimitação das regiões desgastadas empregada para a quantificação das áreas por meio de análise digital de imagens. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4. Observa-se que a área de desgaste de cratera aumentou de $156,76 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ para $256,81 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ entre 2 e 10 min de usinagem, enquanto a área de desgaste de flanco evoluiu de $61,65 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ para $80,74 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ no mesmo intervalo. O crescimento mais pronunciado da cratera indica maior intensidade do desgaste na superfície de saída da ferramenta durante as condições de corte empregadas.

Estudos realizados por Ávila (2013) demonstraram que revestimentos TiAlN com diferentes teores de alumínio apresentam comportamentos distintos durante a usinagem de ferro fundido nodular, sendo a composição química do revestimento um fator relevante para sua resistência ao desgaste. O revestimento utilizado neste trabalho apresentou teor médio de alumínio de aproximadamente 21,8%, determinado previamente por MEV/EDS.

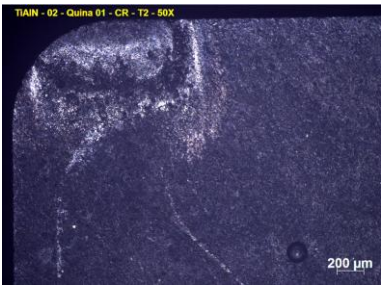
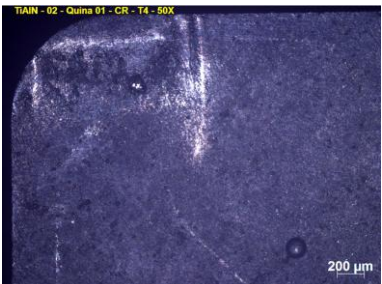
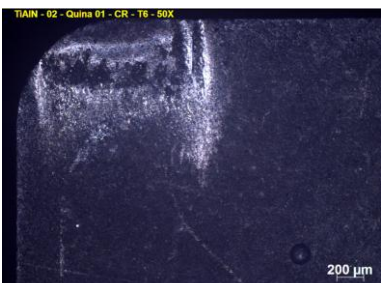
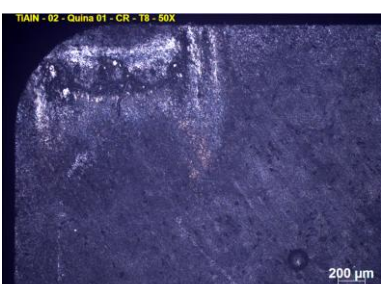
Tempo (min)	Aumento de 50X
2	 Micrograph showing the tool wear at 2 minutes. The image is labeled 'TiAlN - 02 - Quina 01 - CR - T2 - 50X' and includes a 200 μm scale bar.
4	 Micrograph showing the tool wear at 4 minutes. The image is labeled 'TiAlN - 02 - Quina 01 - CR - T4 - 50X' and includes a 200 μm scale bar.
6	 Micrograph showing the tool wear at 6 minutes. The image is labeled 'TiAlN - 02 - Quina 01 - CR - T6 - 50X' and includes a 200 μm scale bar.
8	 Micrograph showing the tool wear at 8 minutes. The image is labeled 'TiAlN - 02 - Quina 01 - CR - T8 - 50X' and includes a 200 μm scale bar.
10	 Micrograph showing the tool wear at 10 minutes. The image is labeled 'TiAlN - 02 - Quina 01 - CR - T10 - 50X' and includes a 200 μm scale bar.

Figura 1. Evolução dos desgastes de cratera.

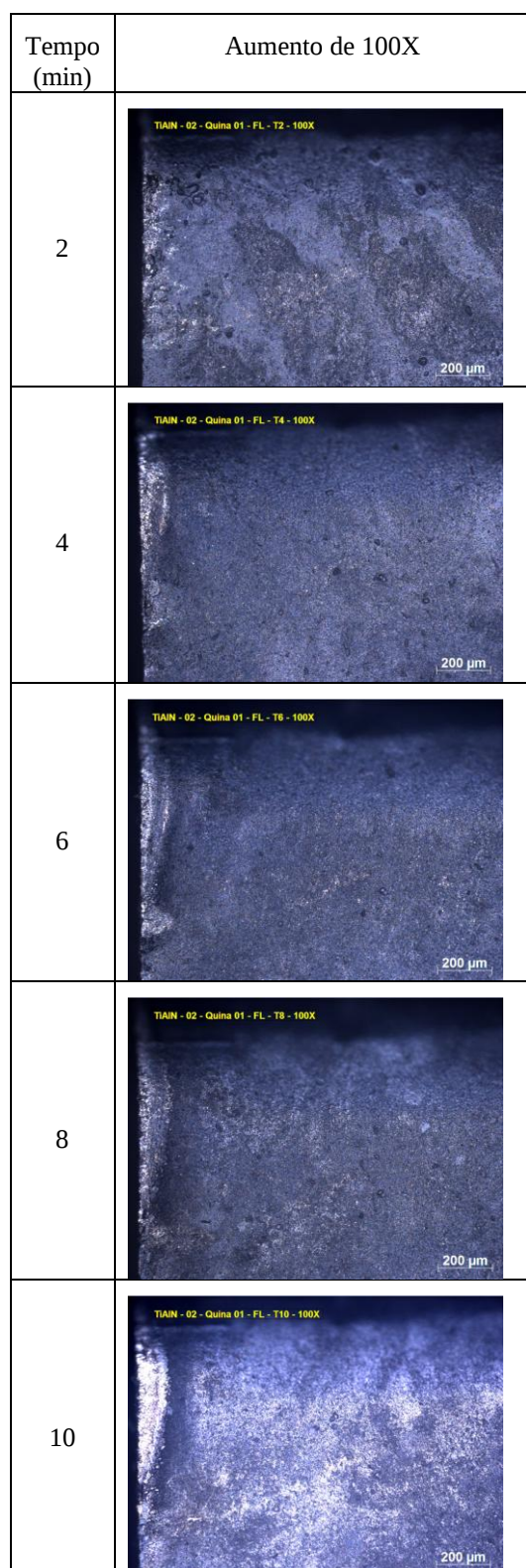


Figura 2. Evolução dos desgastes de flanco.

A Figura 5 apresenta a evolução dos parâmetros VB médio e VB máximo ao longo do ensaio. Observa-se que o VB máximo aumentou de 125,53 µm para 133,45 µm entre 2 e 10 min de usinagem, enquanto o VB médio apresentou pequenas oscilações,

permanecendo na faixa de 76 a 88 µm. As variações observadas foram compatíveis com a evolução gradual do desgaste de flanco identificada nas análises por microscopia óptica.

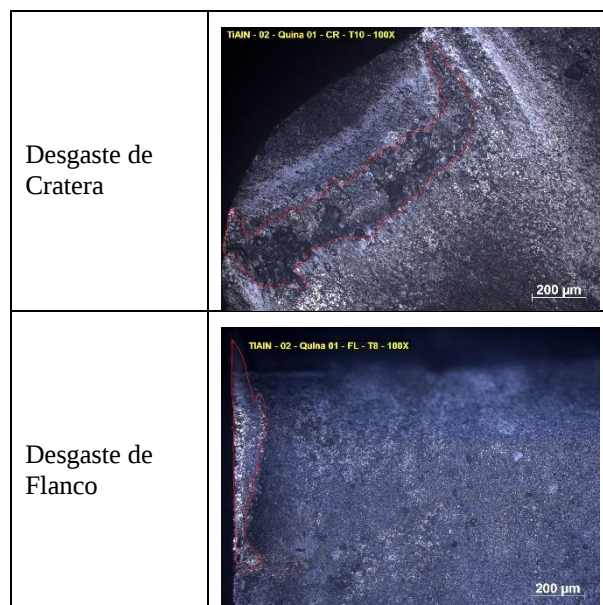


Figura 3. Delimitação das áreas de desgaste utilizadas na análise por ImageJ.

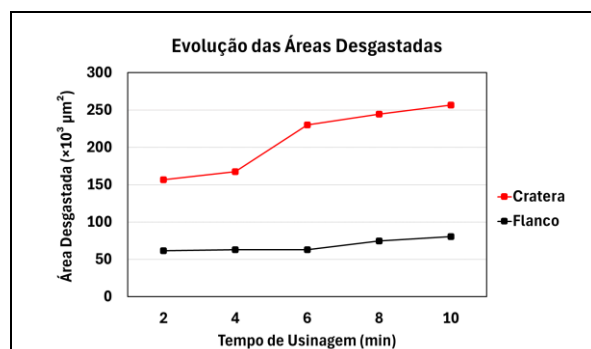


Figura 4. Evolução das áreas de desgaste.

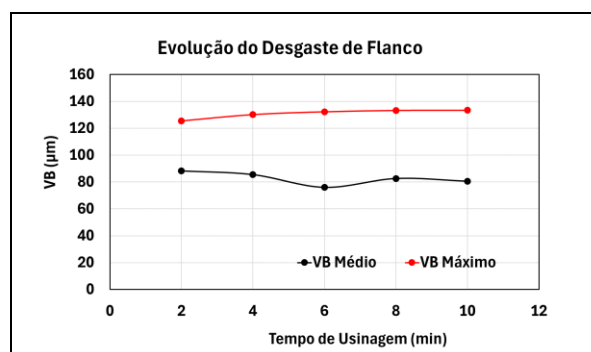


Figura 5. Evolução dos parâmetros VB médio e VB máximo.



CONCLUSÃO

Foi possível acompanhar a evolução dos desgastes de cratera e de flanco de uma ferramenta revestida com TiAlN-AA durante o torneamento a seco de ferro fundido nodular FE-45012 por meio de microscopia óptica e análise digital de imagens.

Os resultados mostraram aumento progressivo das áreas desgastadas ao longo do tempo de usinagem, sendo o crescimento do desgaste de cratera mais pronunciado quando comparado ao desgaste de flanco. Os parâmetros VB médio e VB máximo apresentaram pequenas variações ao longo do ensaio, sem alterações abruptas durante o período avaliado.

Nas condições estudadas, não foram observados indícios visuais de falha catastrófica da aresta de corte durante os 10 min de usinagem analisados. Os resultados obtidos contribuem para a compreensão da evolução do desgaste em ferramentas revestidas com TiAlN-AA e fornecem informações preliminares para estudos futuros envolvendo diferentes condições de corte e composições de revestimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Tupy S.A. pela doação do ferro fundido nodular FE-45012 utilizado neste trabalho e ao Eng. Cristiano Schaefer pelo apoio na disponibilização do material empregado nos ensaios.

Os autores agradecem à Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) pela infraestrutura laboratorial disponibilizada para a realização das atividades experimentais.

REFERÊNCIAS

- Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 8. ed. São Paulo: Artliber, 2013.
- Sousa, V. F. C., Da Silva, F. J. G., Pinto, G. F., Baptista, A., & Alexandre, R. (2021). Characteristics and Wear Mechanisms of TiAlN-Based Coatings for Machining Applications: A Comprehensive Review. *Metals*, 11(2), 260.
- Chiaverini, V. Tecnologia Mecânica: Materiais de Construção Mecânica. São Paulo: Pearson, 2008.
- ÁVILA, Renato Françoso de. Desempenho de ferramentas de metal duro revestidas com Ti-N, Ti-C-N e Ti-Al-N (PAPVD) no torneamento do aço ABNT 4340 temperado e revenido. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

ÁVILA, Renato Françoso de. Influência do teor de alumínio no desempenho de revestimentos TiAlN e CrAlN aplicados em ferramentas de corte durante a usinagem de ferro fundido nodular FE-45012. Relatório Final de Pós-Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.