

APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE METAL DURO REVESTIDO COM AlCrN NANOESTRUTURADO EM PROCESSO DE FRESAMENTO DE FERRO FUNDIDO NODULAR

Eduardo Queirolo da Silva, eduardo.silva@boschrexroth.com.br
Milton Luiz Polli, polli@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Mecânica, Av. Sete de Setembro, 3165.
CEP 80230-901, Curitiba-PR – Brasil.

***Resumo:** O revestimento de Nitreto de Alumínio e Cromo nanoestruturado é obtido por uma nova tecnologia no processo PVD, a qual é denominada LARC. Este revestimento apresenta maior resistência à oxidação, suportando temperaturas mais altas, fatores que são encontrados na usinagem sem lubrificação e de corte interrompido. Neste trabalho ferramentas revestidas com AlCrN nanoestruturado e TiAlN foram avaliadas em uma aplicação prática em situação real de produção. Estas ferramentas foram testadas em uma operação de fresamento a seco do Ferro Fundido Nodular GGG50 tratado termicamente por Nitrocarburação. O desgaste de flanco das ferramentas e qualidade da superfície das peças foram levados em conta na análise. Os resultados mostraram que o revestimento de Nitreto de Alumínio e Cromo nanoestruturado aumenta consideravelmente a vida da ferramenta proporcionando uma redução dos custos de produção.*

***Palavras-chave:** Revestimento de Nitreto de Alumínio e Cromo nanoestruturado, usinagem, fresamento*

1. INTRODUÇÃO

A produção industrial nacional voltada para a exportação sofreu um revés nos últimos anos em função da variação cambial existente e esse cenário inviabilizou muitos investimentos, e os tornaram menos rentáveis. Esse panorama tornou-se um fator a incrementar ainda mais a busca das indústrias por reduções de custos, a fim de tornarem-se mais competitivas neste cenário econômico.

Entre diversas possibilidades de redução de custo em um processo de fabricação por usinagem, surge com grande força a melhoria no desempenho de ferramentas de corte. O custo direto da ferramenta representa pouco nos custos de produção de uma peça, quando comparado com matéria-prima, máquinas, mão de obra, entre outros. No entanto, a otimização do tempo de vida das ferramentas traz um grande impacto devido aos custos indiretos associados possibilitando a minimização de estoques e diminuição do tempo de parada de máquinas para troca de ferramentas.

Revestimentos são aplicados as ferramentas de corte a fim de explorar as vantagens de alguns materiais como elevada dureza e estabilidade química (Stemmer, 1993). Os processos de revestimento empregam princípios físicos ou químicos, sendo que estes envolvem maiores temperaturas e produzem camadas mais espessas, enquanto que aqueles são empregados para obter camadas menores, chegando à escala nanométrica (Weinert, K. et al., 2004). A tecnologia LARC (Lateral rotating arc cathodes) utiliza cátodos rotativos de arco de deposição física a vapor (PVD) para depositar multi-camadas de cobertura em equipamentos de dois cátodos bastante compactos. Utiliza um software para a dosagem de cada elemento e espessura, podendo com isso, obter milhões de combinações de cobertura específicas para cada processo. Segundo Cselle, et al. (2007) uma composição de revestimento depositado por este processo, quando comparado a mesma composição depositado pelo processo tradicional (Arc-PVD), apresenta rugosidade menor. Lin et al. (2008) descrevem que o desempenho de ferramentas de torneamento melhora drasticamente com a aplicação de revestimento de Nitreto de Cromo Alumínio (AlCrN) nanoestruturado, proporcionando aumento da vida da ferramenta, maiores velocidade de corte e redução dos custos de produção.

O presente trabalho pretende demonstrar as possibilidades de melhorias obtidas pela aplicação do revestimento de Nitreto de Cromo Alumínio (AlCrN) nanoestruturado em fresas de metal-duro. Para isso, foram obtidos os resultados práticos de vida útil e desgaste da ferramenta com o revestimento proposto, comparando-os com os resultados da ferramenta com o revestimento (TiAlN). A operação escolhida para o estudo foi o fresamento de acabamento na usinagem de uma peça em Ferro Fundido Nodular GGG50. Esta peça é montada em uma bomba de pistões axiais em uma empresa multinacional da área de automação industrial. Trata-se, portanto, de uma produção seriada destinada fundamentalmente à exportação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para observar os efeitos do revestimento de AlCrN nanoestruturado e compará-los com os efeitos do revestimento de TiAlN, optou-se pela escolha de um processo que possui uma maior facilidade de monitoramento. O processo escolhido trata-se de uma usinagem de acabamento realizada em uma máquina específica para esta operação, ficando com isso, com uma programação de produção independente dos demais processos do produto. Para as devidas comparações e análises dos dois revestimentos, foram mantidos os mesmos dados de corte, substrato e geometria da ferramenta.

2.1. Ferramentas

Para uma correta comparação dos efeitos do revestimento foram consideradas ferramentas com o mesmo material e geometria, já que o objeto de estudo é sobre o revestimento em si. As ferramentas empregadas foram fresas de metal duro, com três dentes, sem refrigeração interna e com revestimento (Fig. 1).

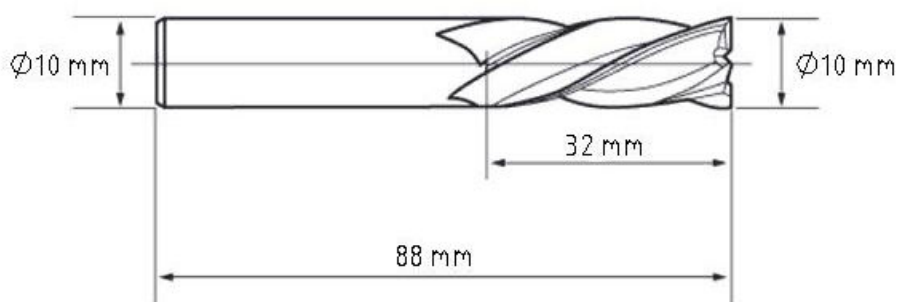


Figura 1. Croqui da Ferramenta.

A composição do metal duro das fresas e algumas propriedades são mostradas na Tab. (1).

Tabela 1. Composição e propriedades do metal duro.

Propriedades	Valores
CO (%)	10
Wc + Cr ₃ C ₂ + Vc (%)	90
Densidade (g/cm ³)	14,45
Dureza (Hv ₃₀)	1610
Diâmetro do grão de Wc (µm)	0,6

Foram analisadas ferramentas com o revestimento de Nitreto de Titânio Alumínio e Nitreto de Cromo Alumínio nanoestruturado pelo processo de revestimento LARC-PVD. A fim de facilitar a identificação das ferramentas em teste, as mesmas foram denominadas conforme a Tab. (2).

Tabela 2. Relação das fresas com seus respectivos revestimentos.

Fresa	Revestimento
Fresa 1	TiAlN
Fresa 2	TiAlN
Fresa 3	AlCrN nanoestruturado
Fresa 4	AlCrN nanoestruturado
Fresa 5	AlCrN nanoestruturado

As propriedades dos dois revestimentos podem ser vistas e teoricamente comparadas na Tab. (3).

Tabela 3. Propriedades dos revestimentos de corte.

Revestimento	Microdureza (HV 0,05)	Máxima Temperatura de Trabalho (°C)	Coefficiente de Atrito	Espessura da Camada (µm)
TiAlN	3300	900	0,5	1-4
AlCrN	4200	1100	0,35	1-7

2.2. Corpo de prova

A peça considerada como corpo de prova correspondia a um disco utilizado na produção de bombas hidráulicas com pistões axiais. O material desta peça é o Ferro Fundido Nodular GGG50 de grafita esfeirodal (DIN1693), cujas especificações e composição podem ser observadas na Tab. (4) e na Tab. (5). A peça sofre, ainda um tratamento térmico de Nitrocarburação. Este tratamento leva a peça a apresentar uma dureza de 420HV5 na superfície, formando uma camada de 0,13mm de deposição.

Tabela 4. Composição Química do Ferro Fundido Nodular GGG50.

%C	%Si	% Mn	%P	%S	%Cu
3,5-3,9	2,5-2,8	0,5 max	0,06 max	0,02 max	0,3-0,4

Tabela 5. Especificações do Ferro Fundido Nodular GGG50.

Resistência à Tração (Kgf/mm ²)	Alongamento (%min)	Resistência à flexão (Kgf/mm ²)	Resistência à compressão (Kgf/mm ²)	Dureza (HB30)	Mod. Elasticidade (Kgf/mm ²)
50	7	85	85	170-220	16-18,5

A peça pode ser visualizada na Fig. (2).



Figura 2. Peça fixada na máquina

2.3. Processo

O processo escolhido para o estudo foi o de usinagem de fresamento do ferro fundido a seco do disco basculante de bombas axiais, utilizando os mesmos dados de corte para as quatro fresas que foram monitoradas. Neste processo é feito o acabamento da peça denominada disco basculante. A operação destina-se a retirar as rebarbas das laterais indicadas na Fig. (3). A profundidade de corte é de cerca de 0,5 mm em cada detalhe.

Com o projetor de perfil Mitutoyo, modelo PH A14, pretende-se determinar com maior precisão a quantidade de material usinado por peça nesta operação. Não há nenhuma tolerância exigida no acabamento deste detalhe, bastando a retirada das rebarbas da peça, por isso somente é exigida a análise visual da peça.

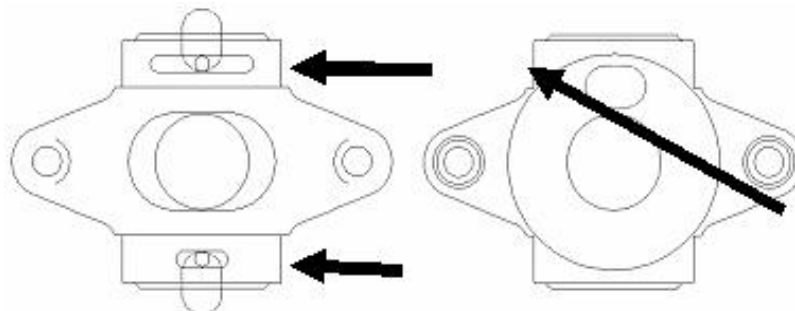


Figura 3. Indicação dos pontos usinados na operação

Os dados de corte utilizados no processo são: Rotação: 1600 rpm; Velocidade de Corte: 50,26 m/min; Avanço: 0,18 mm/rot; Velocidade de avanço: 300 mm/min; Profundidade de corte: 0,5mm e Taxa de remoção de material: 2,88cm³/min.

Na aplicação em estudo o fim da vida útil da fresa é determinado pela análise visual do acabamento da superfície usinada e desgaste apresentado pela ferramenta de corte. Para a realização do trabalho foram medidos os desgastes de flanco (Vb) das fresas monitoradas, assim como as formas de desgastes apresentados.

As medições do desgaste de flanco foram feitas no final de vida útil das fresas revestidas com TiAlN, a qual se dava após a usinagem de 800 peças. Quando estavam em uso as fresas revestidas com AlCrN, as medições foram efetuadas após estas usinarem 800, 1000,1200,1400 e 1600 peças. Depois de realizadas as medições, as fresas retornavam à máquina e prosseguia a contagem.

Para medir o desgaste de flanco foi utilizado um microscópio Olympus modelo SZ61, cuja ampliação é de 6,7 a 45 vezes, com uma razão de zoom de 6,7: 1. Este microscópio possui uma câmera acoplada Samsung SDC313, cuja resolução é de 480 linhas. Os resultados dos desgastes, de ambas as coberturas utilizadas no estudo, foram tabulados e comparados.

O desgaste de flanco da ferramenta atual foi medido após ela atingir o fim de vida útil considerado pela análise visual da peça, que é de 800 peças usinadas. Esse Vb foi adotado como critério de fim da vida útil da ferramenta em estudo. Isso garantiu com que se adotasse o mesmo critério para ambas as ferramentas. Somente dessa forma poderiam ser tiradas conclusões coerentes na comparação dos desempenhos.

Decidiu-se por analisar também, a rugosidade das fresas envolvidas, pois se trata de uma evidência que possibilita analisar de forma mais concreta os mecanismos de desgaste envolvidos. Para isso, foi utilizado o rugosímetro Mahr modelo Perthometer M1, e foi medida a rugosidade média (Ra) e a distância média dos picos e vales da superfície (Rz).

A máquina utilizada na operação é uma fresadora Hanson, modelo O.S. 219, a qual foi fabricada especialmente para esta operação, denominada bancada de fresar disco basculante do AK. Este equipamento utiliza um motor de 112 kW e 1000 rpm da Triaxis. O conjunto motor e eixo-árvore modelo D40150CA atinge rotação máxima de 1600 rpm. A pressão de rede de ar comprimido é de 6 bar. A máquina é composta de 4 eixos, sendo 3 eixos lineares e 1 rotativo. A peça é fixada em uma base móvel, denominada berço, e esta é movimentada conforme orientação do programa de usinagem. Não é utilizada refrigeração na operação, caracterizando uma usinagem a seco. A Fig. (4) mostra alguns detalhes desta máquina e da operação.



Figura 4. Detalhe da operação

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foi monitorado o desgaste de flanco (Vb) de duas fresas com a configuração atual, ou seja, com o revestimento TiAlN. O desgaste foi medido após cada uma alcançar o fim de vida útil que era de 800 peças produzidas. Além da medição do desgaste, foi avaliado com microscópio eletrônico, o aspecto das arestas laterais e seus respectivos desgastes.

Na primeira fresa (fresa 1), as arestas de dois dos três dentes estavam lascadas, enquanto que as arestas laterais apresentavam lascamentos e oxidação avançados (Fig. 5). Já a segunda fresa (fresa 2), também foram notados os mesmos tipos de desgaste, no entanto em menor grau e com a quebra de apenas um dos três dentes (Fig. 6). Em ambas as fresas observou-se que elas haviam sofrido desgaste por oxidação.

A vida útil de 800 peças foi definida em função do acabamento da peça produzida, o qual é feito através de análise visual. A fresa revestida com TiAlN produz imperfeições quando se produz além desta quantidade. No entanto, o desgaste de flanco (Vb) nunca havia sido medido. As medições feitas nas fresas 1 e 2, mostraram que o Vb atinge

0,3mm. Este V_b foi, então, tomado como base para considerar o fim de vida das fresas revestidas com AlCrN nanoestruturado.

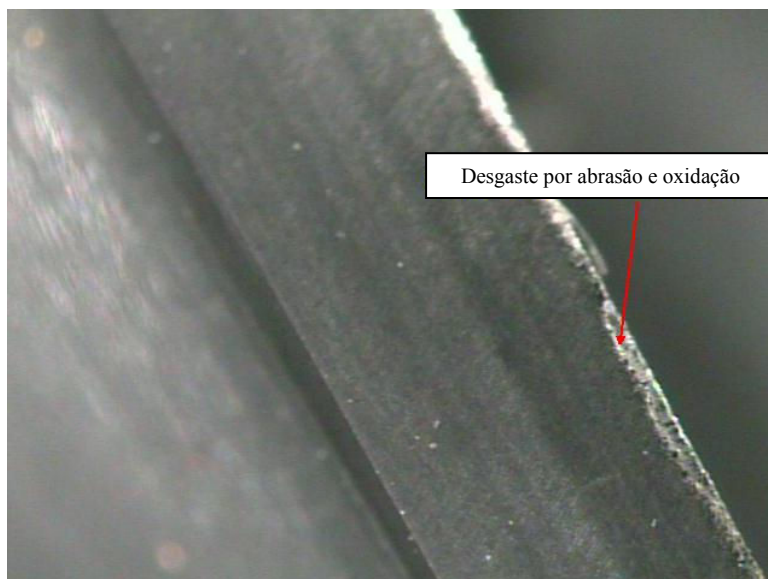


Figura 5. Desgaste da fresa 1 revestida com TiAlN.

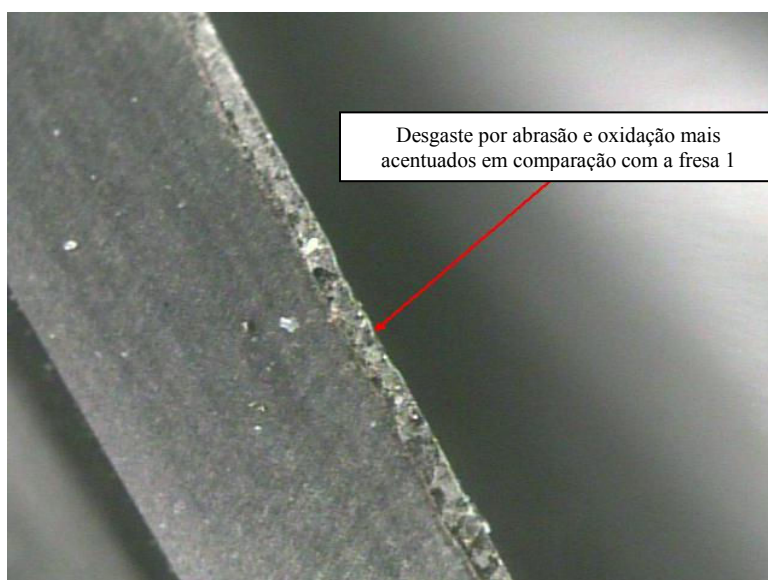


Figura 6. Desgaste da fresa 2 revestida com TiAlN.

A primeira fresa de metal duro revestida com AlCrN nanoestruturado (fresa 3) foi colocada na máquina e, após produzir 200 peças verificou-se que o desgaste foi inexpressivo. Portanto, optou-se pela primeira medição do desgaste de flanco (V_b), após a produção de aproximadamente 800 peças. A partir daí foi realizada a medição a cada 200 peças produzidas. Para isso foi ajustado o painel de controle da fresadora para enviar mensagem de troca de ferramenta a cada 200 peças. A ferramenta foi retirada e substituída por outra para que a produção não ficasse parada. As medições foram feitas na fresa e esta retornou à máquina, continuando a contagem.

Após a produção de 800 peças, a fresa 3 foi retirada da máquina para avaliação de seu desgaste. Não havia nenhum indício de lascamento ou cratera nas arestas laterais e no topo. O desgaste de flanco estava pouco abaixo de 0,1mm e, com isso, foi decidido que a fresa poderia voltar à máquina para continuar sua utilização, sendo que, neste momento já se evidenciava a superioridade no desempenho do revestimento de AlCrN nanoestruturado em relação ao revestimento TiAlN, como era de se esperar. A continuação da utilização da fresa evidenciaria ainda mais essa superioridade.

Com 1000 peças produzidas, a fresa 3 ainda possuía um V_b inferior, quase de 0,2mm e com a geometria mantida em boas condições. As peças produzidas apresentavam também, bom acabamento.

Quando se atingiu a produção de 1200 peças a fresa 3 foi avaliada e constatou-se que não havia nenhum tipo de desgaste de adesão, lascamento ou craterização nas arestas de corte laterais. No entanto, foi detectado que dois dentes desta fresa estavam quebrados. Isto ocorreu porque durante este lote, entre a 1000ª e 1200ª, houve um problema na

fixação da ferramenta. O parafuso de aperto da fresa não fixou a ferramenta adequadamente, acarretando em um aumento das vibrações, influenciando negativamente o resultado da ferramenta.

Contudo, apesar da quebra das arestas frontais, as arestas de corte laterais apresentavam integridade maior que as fresas com o revestimento TiAlN. Isto indicava a possibilidade de atingir uma vida útil ainda maior, mesmo já tendo atingido uma melhora de 50% na produtividade da ferramenta.

O problema na fixação foi corrigido com a troca do parafuso e, para não prejudicar a análise final dos testes e comprovar a eficácia real do novo revestimento, optou-se por empregar uma nova fresa com a cobertura de AlCrN nanoestruturada.

As fresas 4 e 5, revestidas com AlCrN nanoestruturado, foram colocadas na máquina para produção e análise. Estas ferramentas revestidas com o AlCrN nanoestruturado tiveram resultados semelhantes ao da fresa 3. No entanto, como não houve problema na fixação foi possível prolongar a utilização até o fim de vida determinado pelo desgaste de flanco de 0,3mm. A análise foi realizada após a produção de 800, 1000, 1200, 1400 e 1600 peças, ou seja, foi adotado o mesmo procedimento utilizado para medir e analisar a fresa 3. Na Tab. (6) estão registradas as medidas do desgaste de flanco de cada fresa.

Tabela 6. Resultados dos desgastes de flanco (Vb) em mm

Ferramenta	800 pçs	1000 pçs	1200 pçs	1400 pçs	1600 pçs
Fresa 1 - TiAlN	0,3mm	X	X	X	X
Fresa 2 - TiAlN	0,3mm	X	X	X	X
Fresa 4 - AlCrN nanoestruturado	0,08mm	0,1mm	0,1mm	0,2mm	0,3mm
Fresa 5 - AlCrN nanoestruturado	0,08mm	0,1mm	0,1mm	0,2mm	0,3mm

A vida útil alcançada pelas fresas 4 e 5 foi de 1600 peças produzidas, quando atingiram, o limite do desgaste de flanco de 0,3mm. Após esta quantidade, não foi recomendado a continuação do uso das fresas porque estas já apresentavam sinais de desgastes iniciais, podendo comprometer a qualidade do produto usinado. Foi notada a presença de desgaste de cratera pronunciado, o que prejudicaria o acabamento das peças em caso da continuação na utilização das mesmas. As formas de desgaste destas fresas 4 e 5 podem ser visualizadas nas Fig. (7) e Fig. (8) respectivamente.

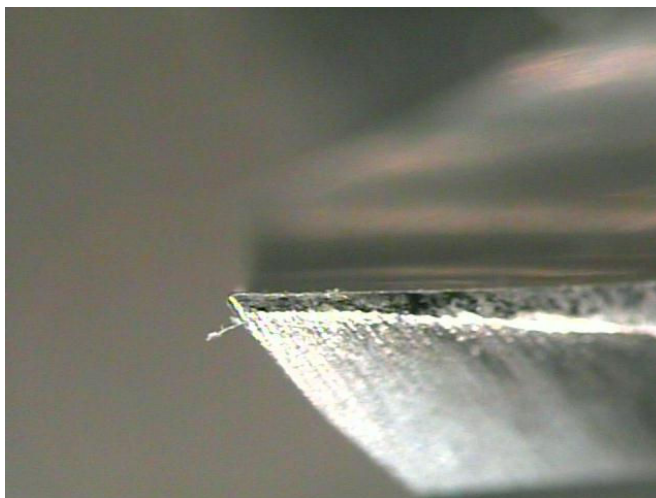


Figura 7. Desgaste da fresa 4 revestida com AlCrN

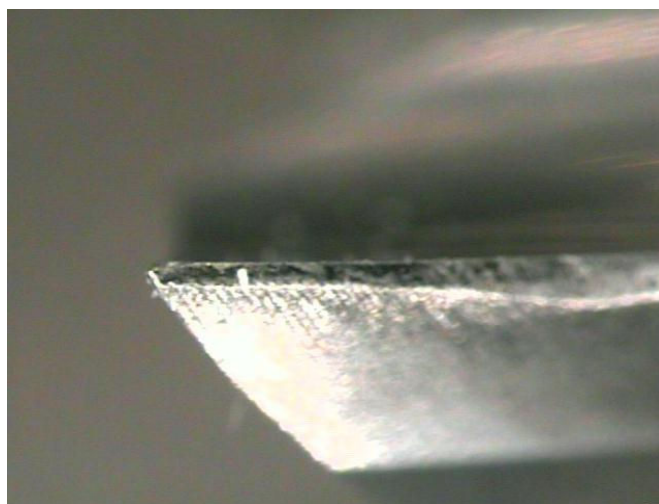


Figura 8. Desgaste da fresa 5 revestida com AlCrN

Na Fig. 9 pode ser visualizado o desgaste médio ocorrido ao longo da aresta de corte lateral da fresa 4, bem como o desgaste de cratera citado anteriormente e evidenciado na Fig. 10.

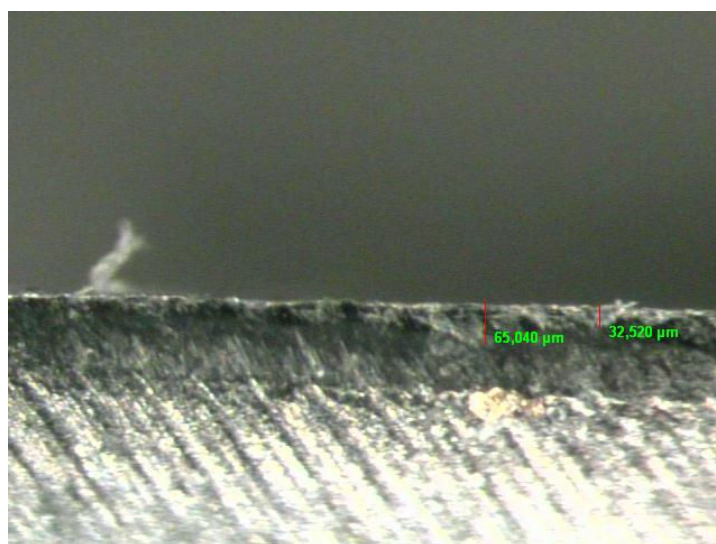


Figura 9. Medida dos desgastes da fresa 4 revestida com AlCrN

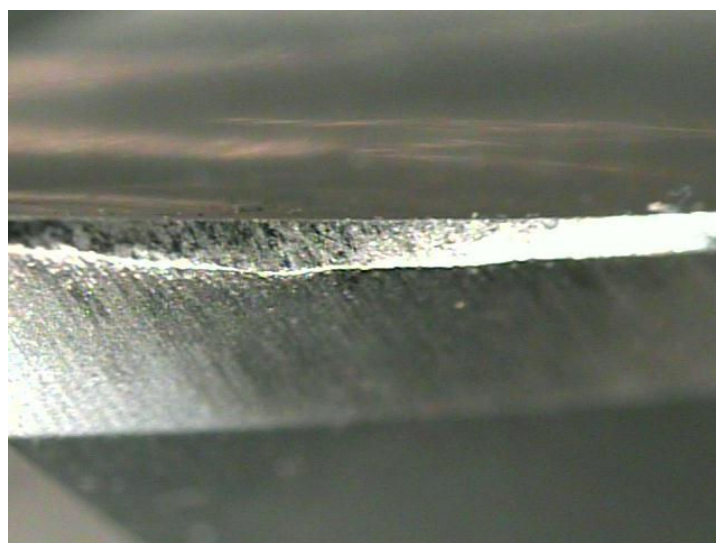


Figura 10. Desgaste de cratera da fresa 4 revestida com AlCrN

Portanto a alteração do revestimento representa uma melhora no desempenho da ordem de 100%, dobrando a vida útil da ferramenta de corte. Na Fig. (11) é mostrada graficamente a comparação da vida útil obtida pelos dois revestimentos.

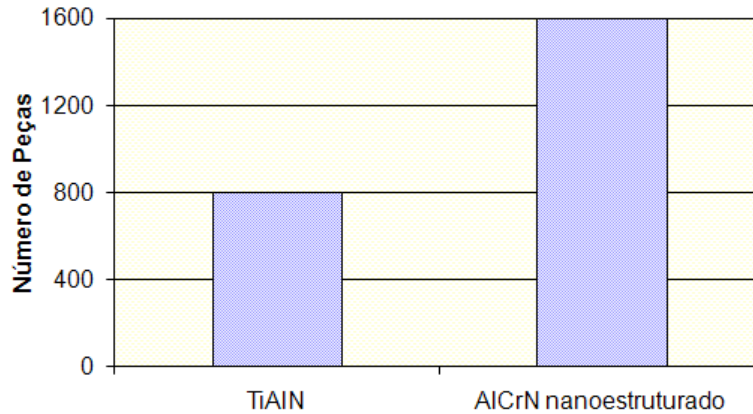


Figura 11. Vida útil da ferramenta em função do revestimento

Na Fig. (12) pode ser visualizada a evolução do desgaste de flanco (V_b) em função da vida útil das fresas.

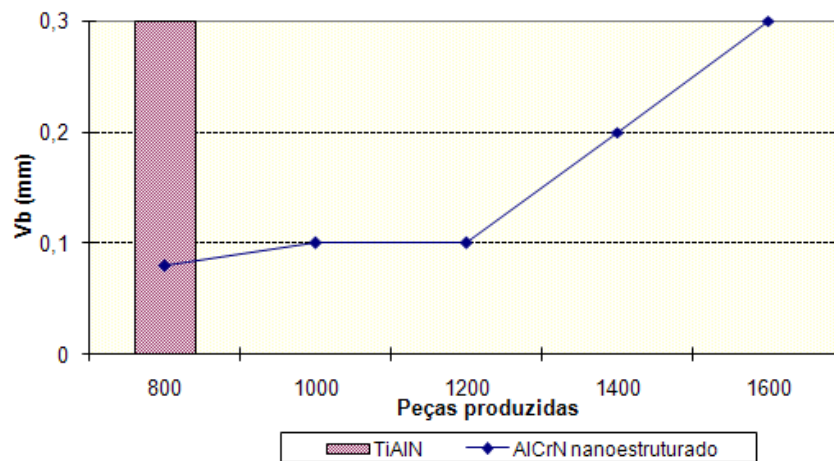


Figura 12. Evolução do desgaste de flanco em função da vida útil

As peças envolvidas no experimento foram submetidas à medição de suas respectivas rugosidades superficiais. Tentou-se inicialmente medir a rugosidade nas arestas de corte das fresas ou nos canais, mas em ambos os casos não foi possível devido a geometria das ferramentas. Não havia área plana o suficiente para o comprimento de traçado mínimo do rugosímetro, que é de 1,75mm. Então, foi realizada a medição nas hastes das fresas. Assim, pôde-se comparar as rugosidades de cada revestimento e tirar conclusões. As duas fresas revestidas com TiAlN por um processo PVD convencional, apresentaram um R_a em torno de $0,08\mu\text{m}$. Enquanto que, as duas fresas revestidas com AlCrN nanoestruturado por um processo LARC-PVD apresentaram um R_a em torno de $0,02\mu\text{m}$. As medições do R_a e R_z de cada amostra, estão registradas na Tab. (7).

Tabela 7. Rugosidade obtida nas fresas acompanhadas

Ferramenta	R_a (μm)	R_z (μm)
Fresa 1 - TiAlN	0,083	0,58
Fresa 2 - TiAlN	0,087	0,61
Fresa 4 - AlCrN nanoestruturado	0,021	0,23
Fresa 5 - AlCrN nanoestruturado	0,027	0,29

Foi comprovada a baixa rugosidade do revestimento AlCrN nanoestruturado em comparação ao revestimento TiAlN. Esperava-se que a rugosidade média (R_a) do revestimento gerado pelo processo LARC-PVD fosse bem menor

que o processo de deposição convencional. De fato, nas quatro amostras medidas, isto foi observado. Esta menor rugosidade melhorou o fluxo do cavaco protegendo a integridade do metal duro de desgastes por adesão, abrasão e deslocamentos da camada de cobertura. Com a rugosidade menor diminui o atrito entre o cavaco e a ferramenta e, como consequência, têm-se no processo, um fator a menos para elevação da temperatura de corte. A rugosidade é menor no processo de revestimento LARC-PVD, devido ao arranjo da nanoestrutura entre os elementos depositados.

Em todas as etapas do acompanhamento do desgaste foram visíveis as diferenças entre os desgastes dos dois tipos de revestimento. O principal motivo está associado ao fato da ferramenta revestida com AlCrN nanoestruturado possuir elevada dureza a quente. Além do desgaste por abrasão, o revestimento de TiAlN sofre oxidação por causa das altas temperaturas o que favorece o aparecimento de crateras e trincas, causando uma redução na vida útil usinada. As fresas com revestimento TiAlN tiveram desgastes de lascamentos e oxidação bastante evidentes no final da vida útil. Além disso, ocorreu quebra nas arestas frontais. Estes desgastes são próprios do processo de corte interrompido e sem refrigeração que se caracteriza por choques mecânicos e elevadas temperaturas.

Estes fenômenos ocorreram nas fresas com revestimento TiAlN, apesar de este tipo de cobertura proporcionar boa resistência à oxidação. O motivo é que o critério de fim de vida empregado fez com que as fresas atingissem um nível de desgaste onde a camada de revestimento já havia sido removida, expondo o substrato diretamente aos efeitos do processo.

Os lascamentos observados nas arestas laterais e do topo das ferramentas devem-se aos choques mecânicos e sobre-solicitações de origem térmica. Ao longo das arestas laterais percebeu-se a ocorrência de oxidação. Este mecanismo de desgaste é resultado das altas temperaturas atingidas no processo de fresamento a seco.

Os resultados observados nas fresas de AlCrN nanoestruturado permitem entender o porquê do excelente desempenho obtido. Em primeiro lugar, ao longo do acompanhamento das fresas com este revestimento, não foram notados indícios de lascamentos nas superfícies de corte das fresas. Isto até mesmo no fim de vida útil, a qual foi de duas vezes do revestimento de TiAlN. Demonstra-se com isto que, a cobertura estudada, realmente possui maior resistência ao desgaste que a cobertura de TiAlN. As fresas com os dois tipos de revestimentos foram expostas às mesmas condições e, apesar disso, as fresas revestidas com AlCrN nanoestruturados não apresentaram sinais de oxidação. Isto comprova que este revestimento tem maior resistência à oxidação. Como a oxidação é realçada pelas altas temperaturas, a capacidade de trabalho do revestimento de AlCrN nanoestruturado em temperaturas mais elevadas é a principal responsável pela não formação de película de óxido, bem como, seus seqüentes danos. Segundo Lin et al. (2008), este revestimento pode trabalhar em temperaturas de até 1100°C, mantendo a alta dureza e resistência mecânica. Além disso, o fato do coeficiente de atrito e da rugosidade serem menores, a utilização de fresas revestidas com AlCrN nanoestruturado resulta em temperaturas de corte mais baixas durante o processo.

A não ocorrência de lascamentos e desgastes abrasivos menos pronunciados é resultado fundamental da estrutura do revestimento. A estrutura nanoestruturada permite uma maior adesão entre os constituintes da camada de cobertura, assim como desta com a superfície da ferramenta.

4. CONCLUSÕES

A aplicação prática de duas fresas de metal duro revestidas com AlCrN nanoestruturado em produção seriada de ferro fundido nodular, possibilitou obter resultados e conclusões que comprovam seu excelente desempenho. Esta afirmação é baseada na comparação feita com o desempenho de fresas revestidas com TiAlN nas mesmas condições de usinagem. O revestimento de TiAlN, é reconhecido pela sua elevada eficiência no mercado de ferramentas de usinagem, sendo largamente empregado. Isto torna ainda mais relevante os resultados atingidos pelo revestimento com AlCrN nanoestruturado, já que este foi comparado com um revestimento de alto desempenho.

Devido à análise apresentada e os resultados mostrados, comprovou-se que o revestimento AlCrN nanoestruturado é, de fato, superior ao TiAlN no fresamento a seco de ferro fundido nodular. A superioridade mostrou-se tão saliente (100%), que se torna recomendável a utilização da cobertura de AlCrN nanoestruturado em aplicações similares a estudada neste trabalho.

O revestimento AlCrN nanoestruturado obteve um ganho significativo de 100% de rendimento na sua vida útil. Sendo que, ao longo dos testes o comportamento da ferramenta se manteve estável e com repetibilidade, isto é, os fenômenos de desgaste foram nos mesmos níveis e ocorreram de forma progressiva nas 3 fresas utilizadas para teste.

No cenário atual da usinagem, comentado na introdução deste trabalho, um aumento na produtividade de 100% de uma ferramenta e, seqüentemente redução do seu custo em 50%, são fatores muito relevantes para a escolha deste revestimento em uma determinada aplicação.

5. REFERÊNCIAS

- Stemmer, C. E., 1993, "Ferramentas de Corte". Ed. da UFSC, Florianópolis, Brasil, 249 p.
- Cselle, T., Morstein, M., Holubar, P., 2002, "Nanostructured coatings and processes on a industrial scale", Gorham Conference, Atlanta, GA, USA.
- Weinert, K., Inasaki, I., Sutherland, J.W., Wakabayashi, T., 2004, "Dry Machining and Minimum Quantity Lubrication", Annals of the CIRP, Vol. 53, No. 2, pp. 511-537.
- Lin, Y., Agrawal, A., Fang, Y., 2008, "Wear progressions and tool life enhancement with AlCrN coated inserts in high-speed dry and wet steel lathing", Wear Vol. 264, pp. 226-234.

6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

APPLICATION OF NANOSTRUCTURED AlCrN COATED TOOLS IN MILLING OF NODULAR CAST IRON

**Eduardo Queirolo da Silva, eduardo.silva@boschrexroth.com.br
Milton Luiz Polli, polli@utfpr.edu.br**

Federal University of Technology - Paraná, Mechanical Department, Av. Sete de Setembro, 3165. CEP 80230-901, Curitiba-PR – Brazil.

***Abstract.** Nanostructured Chrome and Aluminum Nitride coating is obtained by a new technology in PVD process denominated LARC. This coating presents higher oxidation and thermal resistances which are desired properties for tools used in non-lubricated machining and interrupted cutting. In this paper AlCrN and TiAlN coated tools were evaluated in a practical application and in a real production situation. These tools were tested in a dry milling operation of nodular cast iron GGG50 treated thermally by nitrocarburizing. Tools flank wear (VB) and workpiece surface finishing were taken in consider during the analysis. Results showed that AlCrN coating enhances tool capability for metal cutting and improves tool life and leads to reduction of production costs.*

***Keywords:** aluminum chromium nitride coating, machining, milling*