

# O DESEMPENHO DE FERRAMENTAS DE METAL DURO REVESTIDAS COM Ti-N E Ti-C-N (PAPVD) NO FRESAMENTO DE FERRO FUNDIDO

## Renato Françoso de Ávila

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [rfavila1@yahoo.com.br](mailto:rfavila1@yahoo.com.br)

## Saulo Augusto de Lazari Santos

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901saulo [delazari@yahoo.com.br](mailto:delazari@yahoo.com.br)

## Alexandre Mendes Abrão

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [abrao@ufmg.br](mailto:abrao@ufmg.br)

**Resumo.** Neste trabalho são apresentados de forma comparativa os desempenhos de ferramentas de metal duro (WC-Co) revestidas com o monocamada Ti-N e o ternário Ti-Al-N, processados por PAPVD (Physical Vapour Deposition) na espessura de  $3\mu\text{m}$  no fresamento do ferro fundido nodular GGG40. Inicialmente foram investigados por técnicas específicas de caracterização a microdureza da ferramenta sem revestimento e conjugados (Microdureza Vickers) e a adesão dos revestimentos (Adesão Rockwell-C). Cumprido esta etapa foram gerados os desgastes em condições reais de usinagem: velocidade de corte de 250m/min, profundidade de usinagem de 2,0mm, penetração de trabalho de 0,9mm e avanço por dente de 0,15mm. O desgaste de flanco foi monitorado com os tempos de corte ajustados preliminarmente. Simultaneamente a estas medições foram monitorados também parâmetros bidimensionais de acabamento superficial da peça usinada. Os melhores desempenhos foram atribuídos as ferramentas revestidas se comparado á ferramenta sem revestimento, tomada como controle. Os melhores acabamentos superficiais foram atribuídos a ferramenta revestida com o ternário Ti-Al-N.

**Palavras-chave:** desgaste de flanco, fresamento, revestimentos monocamadas, adesão Rockwell

## 1. INTRODUÇÃO

A análise de desempenho de ferramentas revestidas (conjugados) em processos de usinagem por meio de indicadores de usinabilidade, tais como vida e desgaste de ferramenta, integridade superficial da peça usinada dentre outros correspondem à forma mais realística utilizada para constatação e verificação de tendências. Desta maneira são criadas bases de dados que posteriormente analisados de forma qualitativa e quantitativa, ainda que para processos e condições específicas de corte, oferece importantes informações técnico-científicas para tomadas de decisões, que podem otimizar tanto o processo de corte (escolha mais adequada de parâmetros de corte) quanto o tipo de revestimentos a serem adotados.

Nos tempos atuais muitas investigações estão sendo direcionadas, neste setor, para as seguintes abordagens: usinagem de alta velocidade (HSM), usinagem de materiais endurecidos e usinagem sem nenhuma ou com mínima utilização de fluidos de corte dentre estes estudos de Kopac et al<sup>(1)</sup>, Silva et al<sup>(2)</sup> e Maekawa et al<sup>(3)</sup>; Ávila e Abrão<sup>(4)</sup>, respectivamente. Satisfazendo-se assim os atuais

quesitos de produtividade, competitividade e qualidade além de mínima intrusão dos processos no meio ambiente amplamente requeridos pelas normas ISO 9000 e ISO 14000 citados por Valle<sup>(5)</sup>.

O contínuo sucesso da aplicação do Ti-N, constatado em diversos trabalhos propiciou o desenvolvimento da segunda e terceira gerações deste revestimento, conhecidos até então como “*revestimentos duros*”. Dentre eles os mais destacados além do Ti-N são Ti-C-N e Ti-Al-N que podem ser utilizados em camadas únicas ou múltiplas conforme apresentados por Holmberg and Mathews<sup>(6)</sup>. Tais revestimentos têm sido apontados para determinadas aplicações em função de propriedades específicas dos mesmos. O Ti-N é indicado para aplicações com necessidade de um baixo coeficiente de atrito e boa dureza. O Ti-C-N é indicado para aplicações onde o mecanismo de desgaste abrasivo é predominante, devido a sua alta dureza. E o Ti-Al-N é apontado como um revestimento para aplicações que envolvam altas temperaturas devido a sua resistência à oxidação, tendo o processo de início de oxidação a temperaturas acima de 700°C.

Este trabalho tem por objetivo apresentar de forma comparativa o desempenho de ferramentas de metal duro sem revestimento (WC-Co) e revestidas com Ti-N e Ti-Al-N (PAPVD – *Plasma-assisted physical vapour deposition*) quando submetidas a condições de usinagem na operação de fresamento do ferro fundido nodular GGG40.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As ferramentas de metal duro foram as de especificação ISO R390-11T308M-KM H13A. Os revestimentos foram produzidos pela BALZERS - SP, na espessura de 3,0µm em quantidades previamente determinadas em um planejamento preliminar de experimentos. O material peça foi o ferro fundido nodular GGG40, no estado bruto de fusão, preparado nas dimensões de 450mm x 260mm x 20mm.

Para a realização dos ensaios utilizou-se um centro de usinagem da marca ROMI modelo Discovery 560 equipado com comando numérico computadorizado (CNC), 12,5CV de potência e 7500rpm de rotação máxima.

Os valores de rugosidade foram medidos através de um rugosímetro portátil Mitutoyo SurfTest modelo 301 ajustado para um “*cut-off*” de 0,8mm. As medições do desgaste de flanco ( $VB_{B_{\max}}$ ) foram feitas no Microscópio Óptico da marca ASKANIA modelo GSZ2T.

Para determinação da microdureza foram realizadas seis medições na carga de 3N nas ferramentas sem revestimento e revestidas com Ti-N e Ti-Al-N (espessura de 3,0µm) em regiões aleatórias. O teste de adesão Rockwell-C foi realizado de forma a se avaliar de forma qualitativa e comparativa a adesão ao substrato dos revestimentos estudados. Foram utilizadas as cargas de 588N e 980N durante as indentações, com o indentador (padrão Rockwell), de acordo com V.D.I. guidelines<sup>(7)</sup>.

Para os testes foram utilizadas as ferramentas de metal duro sem revestimento (WC-Co), tomada como controle, e os conjugados, ou seja: ferramentas de metal duro revestidas com Nitreto de Titânio (WC-Co/Ti-N) e com Nitreto de Titânio e Alumínio (WC-Co/Ti-Al-N). Os testes foram executados sem uso de fluido de corte. Os parâmetros de corte utilizados foram: velocidade de corte ( $v_c$ ) = 250m/min ( $n$  = 3980 rpm), avanço por dente = 0,15mm/dente, penetração ( $a_e$ ) = 9,0mm e profundidade de corte ( $a_p$ ) = 2,0mm. A medição dos desgastes e rugosidade superficial ( $R_a$ ) foram realizadas nos tempos de corte de 6, 12, 18, 24 e 30 minutos. Foram realizados duas réplicas para cada monitoramento e considerado os valores médios.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de microdureza ( $HV_{3,0}$ ) medidos foram de 1720, 2140 e 3040 para a ferramenta sem revestimento (WC-Co), WC-Co/Ti-N e WC-Co/Ti-AlN, respectivamente. A princípio considerando-se a propriedade dureza como um forte indicativo de resistência ao desgaste, tem-se a maior probabilidade de melhor desempenho para o conjugado WC-Co/Ti-Al-N se comparado ao conjugado WC-Co/Ti-N e ambos mais resistentes se comparado ao substrato, salvo

na ocorrência de falha adesiva (delaminação). Desta forma passou-se à investigação da adesão de ambos os revestimentos estudados pelo teste de adesão Rockwell-C realizado nas cargas de 588N e 980N. A figura 1 mostra os padrões para a ocorrência de falha adesiva (delaminação) utilizadas por Heinke<sup>(8)</sup>. E a figura 2 as impressões de indentação obtidas neste teste.

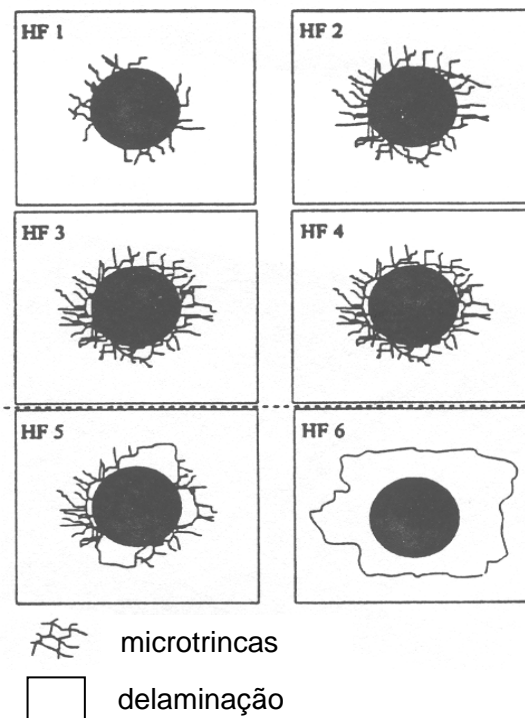


Figura 1. Morfologias de falhas obtidas no teste de adesão Rockwell C [8]

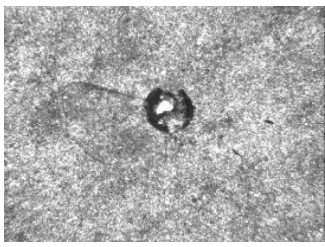
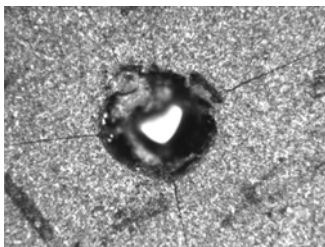
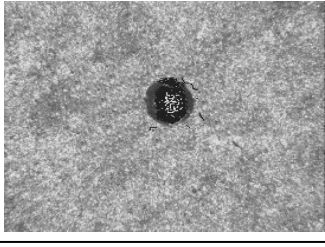
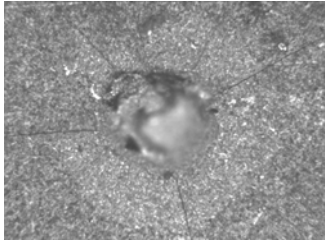
CONJUGADOS	588 N	980 N
WC-Co/Ti-N		
WC-Co/Ti-Al-N		

Figura 2 – Impressão de indentação obtidas no teste de adesão Rockwell para os revestimentos em estudo (200x)

Conforme apresentado, os revestimentos têm boa adesão ao substrato, fato este confirmado pela comparação das impressões de indentação (Figura 1), ou seja, ambos enquadrando-se nas morfologias de HF1 a HF4 típicas de boa adesão em ambas as cargas (Figura 2). Confirmado a boa

adesão de ambos os revestimentos sobre o substrato e ainda os maiores valores de dureza, propriedade esta tomada como um dos principais indicativos de resistência ao desgaste, de um modo geral, é esperado então que os melhores resultados de desempenho ocorram para a ferramenta revestida com Ti-Al-N seguida da ferramenta revestida com Ti-N, principalmente nos primeiros tempos de corte considerados para a geração dos desgastes, haja vista a presença significativa dos revestimentos na zona de corte. Hipótese que poderá ou não ser confirmada após a execução dos testes de usinagem. A Figura 3 mostra de forma comparativa o desgaste de flanco máximo (valores médios) obtido para cada tempo de corte.

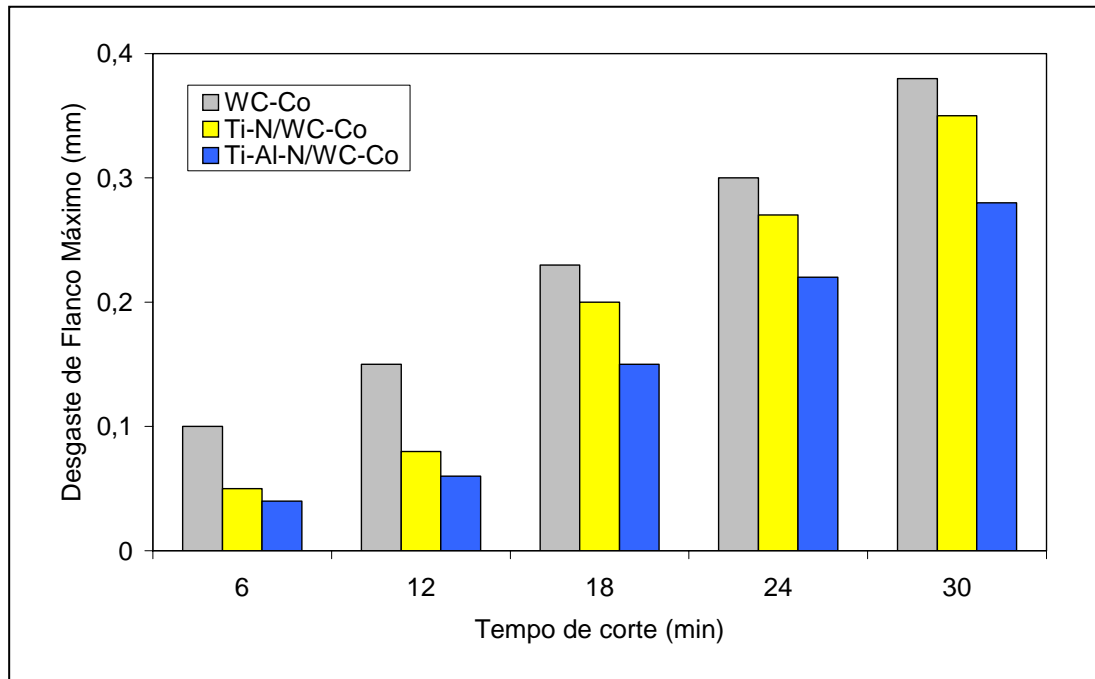


Figura 3. Desgaste de flanco máximo em função do tempo de corte

Observa-se de forma geral o melhor desempenho para ferramentas revestidas com Ti-Al-N e Ti-N se comparadas às ferramentas sem revestimento. Este fato confirma as hipóteses levantadas após a realização dos testes de caracterização, ou seja: o melhor desempenho para as ferramentas revestidas com Ti-Al-N, Ti-N e sem revestimento (WC-Co) nesta ordem.

Constatou-se também uma maior resistência ao desgaste monitorado nos primeiros tempos de corte monitorados, ou seja: 6 e 12 minutos. Ficando o mesmo mais acentuado nos tempos de corte posteriores, este fato sugere a presença de diferentes regimes de desgastes quando monitorado o desempenho de conjugados (revestimentos/substrato). Godoy et al<sup>(9)</sup> comprovaram via procedimentos especificamente elaborados por perfilometria e imagens de composição a existência de diferentes cinéticas desgastes em ferramentas de metal duro revestidas com Ti-N em operação de torneamento.

Em literatura, outros fatores e/ou propriedades são vinculados justificar o superior desempenho do revestimento ternário Ti-Al-N, dentre os quais: baixo coeficiente de atrito, baixa condutividade térmica, possibilidade de formação de uma dupla camada de passivação sobre o TiAlN apresentados por Su et al.<sup>(10)</sup>, Stappen et al<sup>(11)</sup> e Paldey and Deevi<sup>(12)</sup>; Hultman<sup>(13)</sup>, respectivamente. quando submetido a temperaturas típicas da interface no processo em estudo. Na figura 4 são apresentados os valores da rugosidade média aritmética ( $R_a$ ) agrupados para cada tempo de corte.

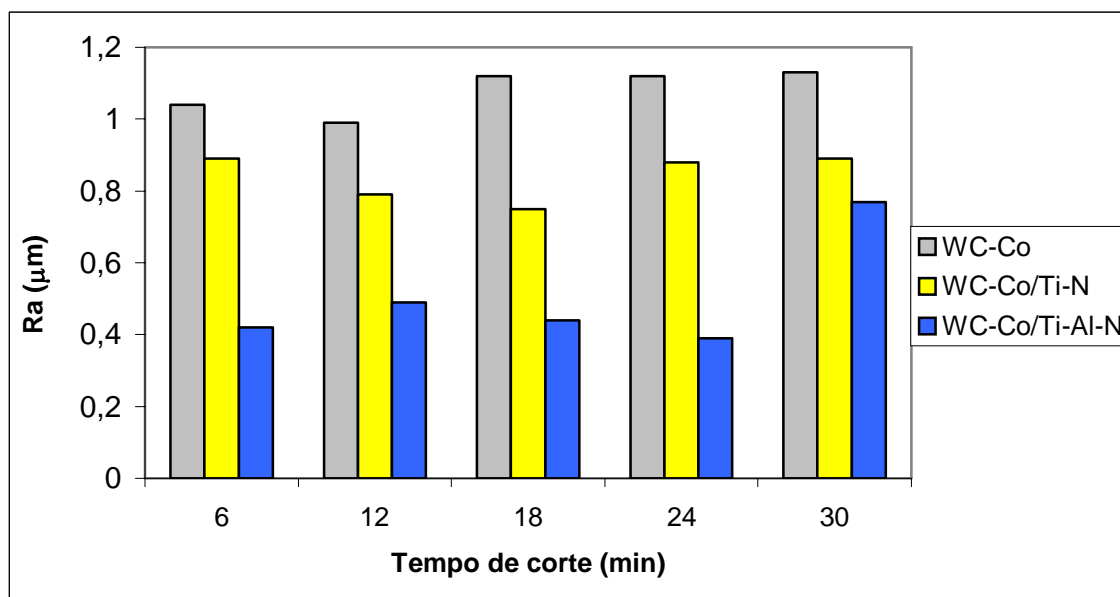


Figura 4. Rugosidade média aritmética ( $R_a$ )

De forma geral, observa-se que em todos os tempos de corte a ferramenta de metal duro sem revestimento apresentou os maiores valores de  $R_a$ , chegando a  $1,12\mu\text{m}$  em 18, 24 e 30 minutos. Os valores de  $R_a$  para a ferramenta revestida com Ti-Al-N foram os menores em todas as avaliações, chegando a seu valor mínimo em 24 minutos ( $0,39\mu\text{m}$ ) e máximo em 30 minutos com  $R_a=0,77\mu\text{m}$ .

#### 4. CONCLUSÕES

As principais conclusões desse trabalho são:

Para a condição de corte selecionada a ferramenta de metal duro sem revestimento apresentou maiores valores de desgaste de flanco máximo e de rugosidade superficial;

O melhor desempenho foi atribuído às ferramentas revestidas com Ti-Al-N e Ti-N e ferramenta sem revestimento, nesta ordem.

O melhor desempenho da ferramenta revestida com o ternário Ti-Al-N seguido do Ti-N confirmou as hipóteses preliminares levantadas após os testes de caracterização realizados, ou seja: microdureza e adesão Rockwell-C;

A possibilidade da existência de diferentes cinéticas de desgaste em ferramentas revestidas, observado por um acentuado aumento no desgaste de flanco máximo ocorrido após 18 minutos de corte (Figura 3).

Os menores valores de  $R_a$ , foram obtidos com a ferramenta revestida com TiAlN no tempo de corte de 24 minutos.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos Paulo e Bruno pertencentes ao grupo de pesquisa de usinagem e automação do Depto de Engenharia Mecânica da UFMG e ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

#### 6. REFERÊNCIAS

1. KOPAC, J.; SOKOVIC, M.; DOLINSEK, S., Tribology of coated tools in conventional and HSM machining, **Journal of Material Processing Technology**, v. 118, p. 377 – 384, 2001.
2. SILVA, L. R.; AVILA, R. F. e ABRAO, A. M., Torneamento e Retificação do aço ABNT 4340

- temperado , **V Congresso de Engenharia Mecânica Norte Nordeste**, 27 – 30 outubro, 1998, p. 423 – 428.
3. MAEKAWA, K.; OHSHIMA, I. and GOTOH, Y., **Are cutting fluids effective in continuous high speed machining?**, 4<sup>th</sup> International Conference on Behaviour of materials in machining, Stratford – UK, 1998, p. 90 – 99.
  4. AVILA, R. F. and ABRAO, A. M., **The effect of cutting fluid on the machining of hardened AISI 4340 steel**, Journal of Materials Processing Technology, v. 119, p. 21 – 26, 2001.
  5. VALLE, C. E., **Como se preparar para as normas ISO 14000 – Qualidade Ambiental – SP**, Editora Pioneira, 1995, 137p.
  6. HOLMBERG, K. and MATTHEWS, A., **Coatings Tribology: Properties, Technique and applications in surface Engineering**, 28 ed. D. Dowson – Elsevier, Tribology series, 1994, 442p.
  7. **V. D. I. Verein Deutscher Ingenieure**, Guidelines 3198, 1991.
  8. HEINKE, W.; LEYLAND, A.; MATTHEWS, A.; BERG, G.; FRIEDRICH, C. and BROSZEIT, E., Evaluation of PVD nitride coatings, using impact, scatch and Rockwell – C adhesion tests, **Thin solid films** 270, p. 431 – 438, 1995.
  9. GODOY, C.; AVILA, R. F.; MARINHO, F. C.; LIMA, M. M.; ABRÃO, A. M.; PAULA E SILVA, E. M., Análise topográfica por perfilometria do desgaste de cratera em ferramenta de metal duro revestida com TiN, **Revista Matéria**, v. 8 no 2, p. 145 – 154, 2003.
  10. SU, Y. L.; YAO, G. H.; WEI, C. S.; KAO, W. H.; WU, C. T., Design and Performance Analysis of TiCN – Coated Cemented Carbide Milling Cutters, **Journal of Materials Technology**, p. 82 – 89, 1997.
  11. STAPPEN V. M.; STALS, L. M.; KERKHOFS, M. and QUAEYHAEGENS, C., State of the art for the industrial use of ceramic PVD coatings, **Surface and coatings Technology** v. 74 –75, p.629 – 633, 1995.
  12. PALDEY, S. and DEEVI, S. C., Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al)N: a review, **Materials Science and Engineering A00**, p. 01 – 22, 2002.
  13. HULTMAN, L., Thermal stability of nitride thin films, **Vaccum** 57, p. 1 – 30, 2000.

## **THE PERFORMANCE OF TiN COATED CEMENTED CARBIDE TOOLS (PAPVD) WHEN MILLING GGG40 NODULAR CAST IRON**

**Renato Franoso de Ávila**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antnio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [rfavila1@yahoo.com.br](mailto:rfavila1@yahoo.com.br)

**Saulo Augusto de Lazari Santos**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecânica – Av. Pres. Antnio Carlos, 6627  
CEP 31270.901saulo [delazari@yahoo.com.br](mailto:delazari@yahoo.com.br)

**Alexandre Mendes Abrão**

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto Eng. Mecnica – Av. Pres. Antnio Carlos, 6627  
CEP 31270.901 [abrao@ufmg.br](mailto:abrao@ufmg.br)

**Abstract.** *This work is focused on the performance of coated cemented carbide inserts with 3 $\mu$ m thick Ti-N and Ti-Al-N films. For this purpose, maximum flank wear ( $VB_{Bmax}$ ) was evaluated in frontal milling of GGG40 nodular cast iron. The tests were carried out under the following machining condition: cutting speed of 250m/min, depth of cut of 2,0mm, wide of cut of 0,9mm and feed rate of 0,15mm/tooth. Simultaneously, bi-dimensional roughness parameters ( $R_a$ ,  $R_q$  and  $R_t$ ) were evaluated. The characterization of coated tools and films were evaluated by microhardness (Vickers) and Rockwell-C adhesion analyses. Ti-Al-N coated cutting tools presented highest wear*

*resistance and produced best finish surface on the workpiece, followed by Ti-N coated cutting tools and uncoated carbide.*

**Keywords.** *Flank, wear, milling, monolayer coatings, Rockwell-C adhesion*