

# ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO DE BROCAS HELICOIDAIS REVESTIDAS COM TiAlN E AlCr NA FURAÇÃO DO AÇO SAE 4144 BENEFICIADO

Mozart Marcos Marmentini <sup>1</sup>, Paulo André de Camargo Beltrão <sup>2</sup>.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, PPGEM. (1) [mozartmm@pop.com.br](mailto:mozartmm@pop.com.br), (2) [beltrao@utfpr.edu.br](mailto:beltrao@utfpr.edu.br)  
Curitiba, PR, Brasil.

**Resumo.** Neste artigo são apresentados alguns estudos preliminares na comparação dos desempenhos dos revestimentos monocamada TiAlN e AlCr na furação do aço SAE 4144M beneficiado, desenvolvido exclusivamente para fabricação de componentes automotivos. Os revestimentos, ambos depositados pelo processo PVD (physical vapor deposition) em brocas de metal duro com diâmetro de 9,8 mm, foram inicialmente analisados através de testes de adesão e em seguida submetidos a ensaios de usinagem em um torno vertical. Durante os ensaios, os esforços de corte foram monitorados em função do comprimento usinado e os desgastes nas brocas foram analisados microscopicamente. Os resultados deste estudo preliminar mostram que o revestimento AlCr possui menor adesão sobre o substrato, porém apresenta maior resistência ao desgaste no flanco (VB).

**Palavras chave:** Furação, Aço de beneficiamento, Revestimentos, Comparação.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a utilização de máquinas-ferramenta mais modernas e com maior rigidez estrutural, potência disponível e velocidade de operação, permitem a utilização de condições de usinagem mais robustas, aumentando significativamente a produtividade dos processos de usinagem nelas desenvolvidos. Paralelamente houve nos últimos anos uma enorme evolução na qualidade das ferramentas de corte. Esta não é somente impulsionada pela necessidade de incremento das velocidades de corte, mas também pela aplicação da usinagem de materiais endurecidos e de novas ligas de materiais, permitindo melhoria no processo de corte e extensão da vida das ferramentas (MARCELINO *et al*, 2004). Esse fato, entretanto, submete as ferramentas de corte a esforços mecânicos elevados, aumentando a temperatura de trabalho e acelerando o processo de desgaste (STEMMER, 2001).

Particularmente o processo de furação possui a característica de formação do cavaco de forma oculta, dificultando a refrigeração na região de corte levando ao aumento da temperatura nesta região e propiciando o aparecimento dos fenômenos de oxidação e difusão no desgaste da ferramenta (SCHROETER; WEINGAERTNER, 2001).

Tais deficiências podem ser amenizadas ou até mesmo eliminadas com a utilização dos revestimentos superficiais, que reduzam o atrito entre o cavaco e a ferramenta, melhorando a resistência térmica e mecânica da ferramenta e contribuindo para o aumento da sua vida útil (SILVA *et al*, 2002).

Na furação do aço SAE 4144M beneficiado, as geometrias especiais da ferramenta e os revestimentos PVD – TiAlN, (atualmente o revestimento mais empregado na furação por apresentar elevada resistência à oxidação), não garantem uma performance satisfatória das brocas. Estas ferramentas apresentam desgaste excessivo nas quinas, deslocamento do revestimento nas guias e superfície de saída. Desta forma há uma redução na vida útil das mesmas implicando em elevado custo de manutenção do ferramental, principalmente devido aos sucessivos recondiçnamentos da ponta das brocas, necessários após cada reafiação.

Desta forma se faz necessário um estudo comparativo entre o desempenho dos revestimentos TiAlN e AlCr aplicados a brocas de metal duro na furação do aço SAE 4144M.

## 2. MATERIAL ANALISADO

O SAE 4144M é um aço fabricado exclusivamente para desenvolvimento de componentes automobilísticos. O material em estado tratado apresenta microestrutura martensítica revenida com dureza superficial de 40 HRC, ocasionando durante a sua furação cavacos em forma de fita com elevada resistência à quebra. Sua composição química e propriedades mecânicas são muito parecidas com a do aço comercial SAE 4140 (material que será comparado por possuir estudos na literatura). A tabela 1 apresenta a comparação da composição química entre os aços em questão.

Tabela 1 – Comparação entre os materiais SAE 4144M e 4140

Material	Qtde	C	Mn	P	S	Si	Cu	Cr	Ni	Mo
SAE 4144M	Min	0,42	0,90	-	0,01	0,20	-	1,15	-	0,25
	Máx	0,46	1,00	0,025	0,02	0,30	0,35	1,30	0,25	0,35
SAE 4140 *	Min	0,37	0,65	-	-	0,15	-	0,75	-	0,15
	Máx	0,44	1,10	0,035	0,04	0,30	-	1,20	-	0,30

\* Fonte: Villares S.A., (1998).

Segundo o fabricante, o aço 4140 é um material para beneficiamento com usinabilidade razoável, sendo utilizado para fabricação de peças que exigem elevada dureza, resistência e tenacidade, sendo utilizado principalmente na indústria automobilística, aeronáutica, bélica e petrolífera (VILLARES S.A., 1998).

## 3. REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS DAS FERRAMENTAS DE CORTE UTILIZADAS

Entre os revestimentos utilizados na atualidade, o TiAlN é o mais recomendado para operações que combinam elevadas temperaturas de corte com elevadas cargas mecânicas no material da ferramenta. Isso ocorre devido à formação de uma fina camada de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) na superfície da ferramenta, formada a partir de  $700^\circ C$ , funcionando como uma barreira protetora contra o oxigênio, protegendo o substrato contra a tribo-oxidação (CASTANHO *et al* 2003; NEVES *et al* 2004).

Recentemente foram desenvolvidos novos tipos de recobrimentos combinando Al e Cr, aplicados pelo processo PVD em brocas, com resultados promissores na furação do aço AISI 1045, como mostra a figura 1.

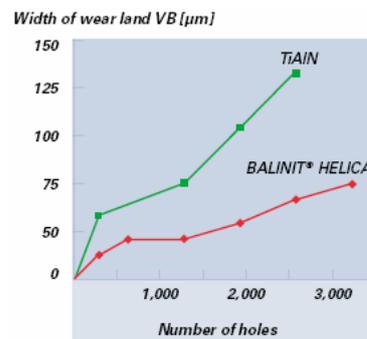


Figura 1 – Comparação de desgaste VB nas aplicações dos revestimentos TiAlN e AlCr (Balinit Helica) na furação do aço AISI 1045.  $V_c=120$  m/min,  $f=0,2$  mm/rot, broca helicoidal de metal duro de  $\varnothing 6,0$  mm e profundidade de  $5x$  d. (OERLIKON BALZERS, 2006)

Os revestimentos com base no AlCr são recomendados para a usinagem de aços baixa liga, ferros fundidos e alguns aços inoxidáveis. Esses recobrimentos possuem uma superfície muito lisa, promovendo o aumento da resistência à abrasão e melhoria no corte dos materiais usinados devido à facilitação da evacuação do cavaco (QUINTO, 2005).

A resistência à deformação é uma função da estrutura do revestimento. Com uma estrutura cúbica, o revestimento mantém resistência a temperaturas elevadas. Normalmente os revestimentos TiAlN e AlCr possuem estrutura cúbica, mantendo resistência à deformação até que se atinja a temperatura limítrofe. Para os revestimentos TiAlN a alteração de microestrutura ocorre entre 800 e 900° C, fazendo com que a sua estrutura altere-se para hexagonal, ocasionando uma drástica redução na dureza, comprometendo assim a integridade do revestimento. Para os revestimentos AlCr a mudança de microestrutura só ocorre em temperaturas superiores a 1100° C, protegendo o substrato contra oxidação até que essa temperatura seja avançada (QUINTO, 2005).

#### **4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

Ao todo foram utilizadas 10 ferramentas nos ensaios. Primeiramente as brocas tiveram os seus revestimentos originais removidos pelo processo de decapagem química. Isso foi necessário porque as brocas foram fornecidas anteriormente revestidas com TiAlN. Para eliminar a influência do processo de decapagem em parte das amostras, decidiu-se por decapar todas. Em seguida foram reafiadas e recobertas. Metade delas com o revestimento TiAlN e o restante com o revestimento AlCr.

Previamente aos ensaios de usinagem foram realizados ensaios de adesão Rockwell C para avaliar a adesão dos revestimentos aos substratos. O critério utilizado foi o da comparação das impressões obtidas com as morfologias de falhas de adesão típicas definidas por (HEINKE *et al*, 1995). As impressões foram realizadas em duas brocas para cada revestimento, nas regiões próximas da haste e da ponta das brocas.

Os parâmetros de corte utilizados foram: velocidade de corte de 80 m/min, avanço de 0,25 mm/rot, profundidade de corte de 52mm (5x d), utilização de refrigeração com pressão de 40 bar com emulsão concentrada a 12%. O equipamento utilizado foi um torno vertical Romi modelo VSC 205.

O comprimento total usinado com cada ferramenta foi de 15,6 m, pois com esta vida o revestimento TiAlN normalmente apresenta desgastes de flanco (VB) na faixa de 0,1 a 0,2 mm. O monitoramento dos esforços de corte com o sistema ARTIS ocorreu ao longo da vida das ferramentas. Esse sistema monitorou o esforço de corte no eixo Z, sendo ele o de sentido de avanço da broca, registrando o percentual do torque utilizado na operação em relação ao torque máximo nominal do eixo (10,3 N.m a 3000 rpm). Através dos valores percentuais de potência foi possível calcular o torque no eixo.

Após a conclusão dos ensaios de usinagem, os desgastes nos flancos, nas guias e nas superfícies de saída foram analisados microscopicamente. Para esta comparação foram utilizadas as duas ferramentas de cada revestimento que apresentaram os maiores desgastes. Os desgastes de flanco foram determinados sempre na mesma posição.

#### **5. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Após o ensaio de adesão Rockwell C realizado com a carga de 588 N, obtiveram-se as impressões indicadas na figura 2.

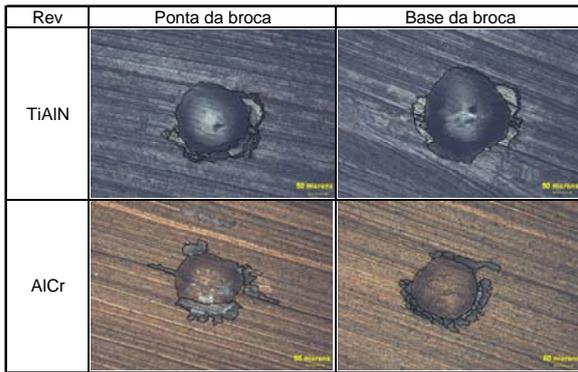


Figura 2 – Impressões do teste Rockwell C com carga de 588 N e ampliação de 200x.

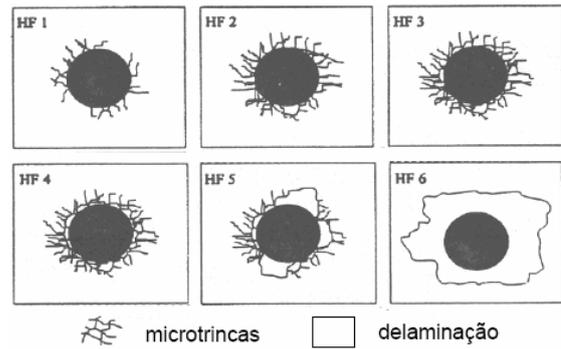


Figura 3 – morfologias de falhas obtidas no ensaio de adesão Rockwell C. (HEINKE *et al*, 1995)

Para facilitar a visualização das impressões os contornos foram reforçados. Percebe-se que o revestimento TiAlN apresentou menor área de destacamento, podendo ser observada em aproximadamente 50% dos perímetros das impressões, tanto na região da ponta quanto na base. O recobrimento de AlCr apresentou destacamento em aproximadamente 60% do perímetro da impressão na ponta e aproximadamente 80% na base. Segundo (HEINKE *et al*, 1995), a adesão de um revestimento sobre o substrato pode ser mensurada qualitativamente através da morfologia apresentada na figura 3.

As morfologias de HF1 a HF4 são adotadas como sendo de uma boa adesão do revestimento. Os recobrimentos analisados (figura 2) são considerados de boa adesão, sendo o TiAlN classificado no grupo HF2 e o revestimento AlCr classificado no grupo HF4, porém a região da ponta apresenta uma delaminação característica da classe HF5.

Durante os ensaios de usinagem o sistema ARTIS coletou valores de esforço de corte no eixo de sentido de avanço da ferramenta. Os valores obtidos estão apresentados na figura 4.

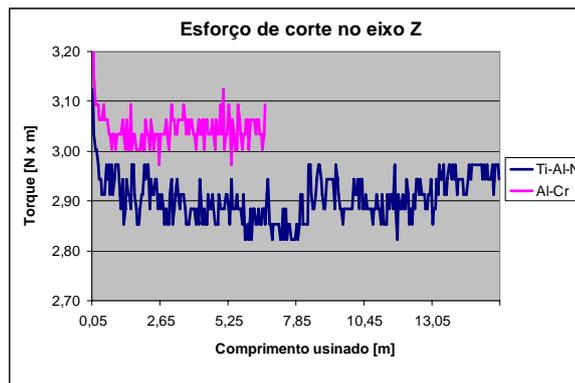


Figura 4 – Monitoramento dos esforços de corte no ensaio comparativo entre os revestimentos TiAlN e AlCr.

O monitoramento foi interrompido no revestimento AlCr quando se percebeu que o sistema não possuía sensibilidade adequada para detectar a influência do desgaste da ferramenta através nos valores de potência no eixo. Na curva do revestimento TiAlN, não foi possível detectar nenhuma tendência de aumento de esforço de corte ao longo da vida das brocas. Em ambas as ferramentas o desgaste de flanco (VB) foi de aproximadamente 0,2 mm. A causa para os diferentes patamares de esforço obtidos entre os revestimentos, provavelmente ocorreu devido à variação nas espessuras das camadas de recobrimento. Portanto, supõe-se que o revestimento AlCr apresentava uma camada mais espessa.

Após o término dos ensaios de corte, os desgastes nos flancos, nas guias e superfícies de saídas foram analisados microscopicamente. A figura 5 apresenta os desgastes de flanco.

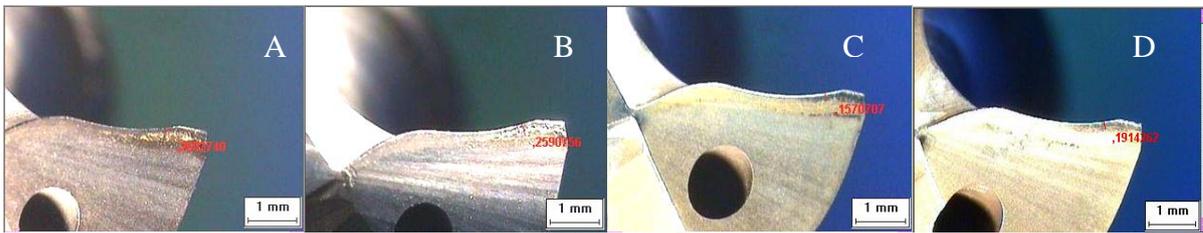


Figura 5 – Desgastes de flanco (VB). Posições A e B: revestimento TiAlN, posições: C e D: revestimento AlCr.

Os valores de VB foram determinados para os gumes que apresentaram maiores desgastes. O revestimento AlCr apresentou valores de 0,16 e 0,19 mm, enquanto que o revestimento TiAlN apresentou valores de 0,26 e 0,27 mm. Considerando a amostra analisada, o revestimento AlCr apresentou melhor resistência ao desgaste no flanco.

A figura 6 apresenta a comparação entre as guias e canais das brocas analisadas.

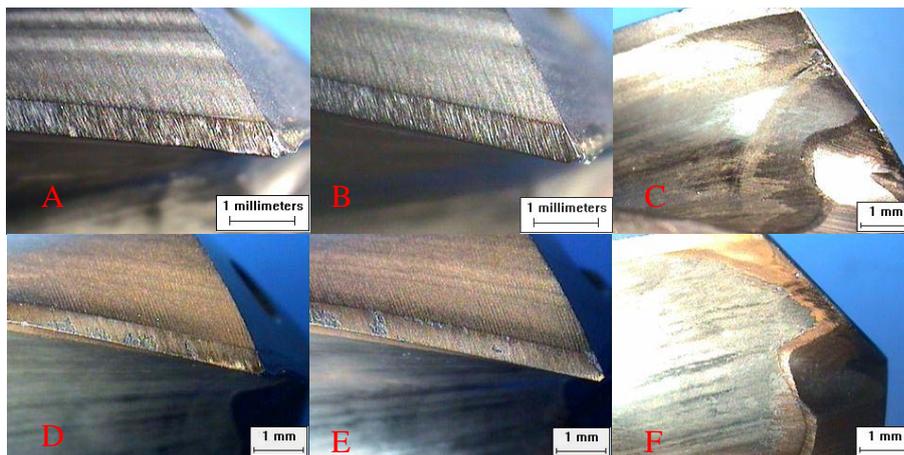


Figura 6 – Análise das guias das brocas. Posições A, B e C: revestimento TiAlN, posições: D, E e F; revestimento AlCr.

Analisando a figura 6, pode-se perceber que ocorreu destacamento apenas nas guias das brocas revestidas com o AlCr. Isso confirma os resultados dos testes preliminares de adesão, que indicaram uma menor adesão desse revestimento (figura 2). Tanto as ferramentas revestidas com TiAlN quanto com AlCr apresentaram remoção do revestimento no canal de escoamento. Esse fato demonstra a existência de uma sollicitação muito grande nos canais, provocada pelo atrito dos cavacos contínuos produzidos pelo aço nesse processo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível comprovar nas amostras ensaiadas que o revestimento AlCr possui menor adesão se comparado ao revestimento TiAlN sobre um substrato de metal duro. A força de adesão em processos PVD possui grande influência do processo de preparação da superfície antes da deposição. Neste estudo não foi avaliada a variabilidade do processo do fabricante dos revestimentos, pois as amostras ensaiadas partiram de um único lote. De qualquer maneira a baixa adesão no revestimento AlCr provocou o destacamento do filme nas guias das brocas.

Os sistemas de monitoramento de potência, não possuem sensibilidade adequada para detectar desgastes de VB da ordem de 0,1 a 0,2 mm. Nesses casos, recomenda-se a utilização de um sistema com sensoriamento piezoelétrico (por força, vibração ou emissão acústica).

Esse artigo teve como objetivo principal a realização de uma análise preliminar sobre o estudo comparativo entre esses revestimentos e até o momento os ensaios não foram muito conclusivos. Pretende-se com a seqüência dos estudos, realizar análises mais abrangentes, relacionando diferentes condições de corte, amostras mais significativas, ensaios de microdureza entre outros.

## REFERÊNCIAS

- CASTANHO, J. M.; VIEIRA, M. T. Effect of ductile layers in mechanical behaviour of TiAlN thin coatings. **Journal of Materials Processing Technology** 143-144, p.352-357, 2003.
- HEINKE, W.; LEYLAND, A.; MATTHEWS, A.; BERG, G.; FRIEDRICH, C. and ROSZEIT, E. Evaluation of PVD nitride coatings, using impact, scratch and Rockwell C adhesion tests, **Thin solid films** 270, p. 431 – 438, 1995.
- QUINTO, D. T. New generation of PVD films. **Cutting Tool Engineering Magazine**, October 2005, volume 57, number 10.
- MARCELINO, A. P.; PIERINI, H. M.; MOCHIZUKI, S. S.; SCHROETER, R. B. Análise do comportamento das ferramentas de cerâmica a base de Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> no processo de torneamento de ferro fundido cinzento. In: Congresso Regional de Engenharia Mecânica, 11, 2004, Rio de Janeiro. **Artigo**.
- NEVES, D.; ALVES, W. F.; DEONISIO, C. C. C.; NOVASKI, O. Avaliação da influencia dos parâmetros de corte e do revestimento da broca de metal duro na furação do aço 300 M endurecido. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004. **Artigo**.
- OERLIKON BALZERS COATING SERVICES. Folder do revestimento Balinit Helica. Disponível em: < [www.balzers.com](http://www.balzers.com) >. Acesso em 02 ago. 2006.
- SILVA, F. J.; SANTOS, S. C.; SILVA, W. M.; FRANCO, S. D.; SILVA, M. B. Caracterização tribológica de revestimentos aplicados a ferramentas de corte. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2, 2002, João Pessoa. **Artigo**.
- SCHROETER, R. B; WEINGAERTNER, W, L. Processos de usinagem e ferramentas de corte – Nível 1, vol 2. Florianópolis: UFSC, 2001. 213 p.
- STEMMER, G. E. Ferramentas de corte I. Florianópolis: UFSC, 2001 – Ed. 5. 249 p.
- Villares S.A. Aços para construção mecânica: aços para beneficiamento. Aços Villares S.A., São Paulo, 1998.

## ANALYSIS OF THE HELICOIDAL DRILLS COATED WITH TiAlN AND AlCr DURING MACHINING OF SAE 4144 TEMPERED STEEL

**Abstract:** *This article presents some preliminary studies in the comparison of performances drilling tools coated with monolayer coats of TiAlN and AlCr during the drilling of the steel SAE 4144M tempered, developed exclusively to manufacture automotive part's. Both coats were applied through PVD process (physical vapor deposition) in carbide drills with 9,8 mm diameter, and the tools were evaluated through adhesion test and before they were submitted to machining tests. During the tests, the cutting forces were monitored and the wear of the tools were evaluated with a microscope. The preliminary results show that the coat AlCr had less adhesion to the substrate, but presents better wear resistance in the flank (VB).*

**Key-words:** *Drilling, Tempered steel, Coats, Comparison.*