

# ANÁLISE DE DESGASTE DE REVESTIMENTOS DE TiNAI UTILIZADOS SOBRE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO<sup>1</sup>

*Augusto Henrique Missner<sup>2</sup>  
Raniel Custódio Maciel<sup>2</sup>  
Leônidas Cayo Mamani<sup>2</sup>  
Marcos Antônio Rebello,  
Lilian Raquel Morett<sup>2</sup>  
Mônica de Mesquita Lacerda<sup>3</sup>*

## Resumo

Filmes de TiNAI com 2 $\mu$ m de espessura foram depositados por técnica de PVD sobre substrato de aço rápido com diferentes condições superficiais. Inicialmente, todas as amostras de aço foram tratadas termicamente por têmpera e revenimento. Depois, metade delas foi nitretada por plasma e a outra metade recebeu a camada de TiNAI. Do grupo de amostras nitretadas, metade, também, recebeu a camada de TiNAI. Assim, foi possível comparar o desempenho de aço rápido apenas tratado termicamente com o desempenho das amostras nitretadas e/ou revestidas. O estudo das propriedades superficiais é importante para que se possa avaliar o tempo da vida útil do ferramental de aço e para que se possa diminuir custos operacionais com, por exemplo, paradas de máquinas. Por estas razões, foram realizados ensaios do tipo pino sobre disco para que se pudesse investigar os mecanismos de desgaste das amostras. Também, microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada à técnica de espectroscopia de EDS (Energy Dispersive X-Ray) foram usadas para caracterizar a microestrutura na região de desgaste. Os melhores resultados foram obtidos para as amostras revestidas com TiNAI diretamente sobre o aço tratado termicamente. Seu coeficiente de desgaste foi o mais baixo comparado a todas as amostras analisadas, e os resultados de MEV-EDS mostraram que a camada de TiNAI não foi eliminada durante o procedimento de desgaste, embora tenha havido remoção preferencial de átomos de nitrogênio e formação de óxidos na superfície.

**Palavras-chave:** TiNAI; Desgaste; Nitretação iônica; PVD

---

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 4º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 2 a 5 de maio de 2006, Joinville, SC.

<sup>2</sup> Instituto Superior Tupy, SOCIESC.

<sup>3</sup> Instituto Superior Tupy, SOCIESC. R. Albano Schmidt 3333, Joinville, SC. [monica@sociesc.com.br](mailto:monica@sociesc.com.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à grande competitividade existente na indústria nacional, é de grande importância a redução de custos de fabricação de ferramental de aço utilizado no setor metal-mecânico. Por esta razão, a busca por materiais que possibilitem um aumento de sua vida útil é constante e, ao mesmo tempo, um fator que agrega valor ao produto final. Para a redução do desgaste e, conseqüentemente, dos custos de produção, em vez de se utilizar um material mais resistente, mais caro e mais difícil de ser usinado, pode se utilizar um revestimento ou um tratamento que melhore apenas as propriedades superficiais, visto que o desgaste é um fenômeno de superfície. Desta forma, é possível prolongar a vida de ferramentas de corte, de usinagem, de moldes e/ou matrizes com custos menores.

Atualmente, pelo menos a nível nacional, cerca de 90% do ferramental de aço sofre apenas o processo de nitretação, ou gasosa ou iônica, como forma de aumentar sua dureza superficial. Outros 10% já utilizam o revestimento a plasma para esta mesma finalidade, porém não sem antes passar pela nitretação. Este tipo de proteção é conhecida como camada duplex.<sup>(1,2)</sup> No entanto, a nitretação, seja a gás ou a plasma, requer longos tempos de processo, algo em torno de no mínimo 24 horas e na maioria dos casos feita com amônia, gás nocivo ao ser humano e ao meio-ambiente.

Sendo assim, a proposta deste trabalho é realizar ensaios de desgaste em corpos de prova recobertos com camada duplex e corpos de prova com apenas uma camada de TiAl diretamente depositadas sobre o aço tratado termicamente. A microestrutura das amostras foi analisada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) associada a técnica de EDX (energy dispersive x-ray). Esta associação permite avaliar tanto a topografia e composição química da superfície dos revestimentos quanto da região desgastada.

A escolha do TiAl deve-se as suas propriedades como revestimento protetor. Tipicamente, TiAl tem baixo coeficiente de atrito, alta dureza e resiste a temperaturas de até 800°C.<sup>(3,4)</sup> Estas 3 características são essenciais a ferramentas de corte sujeitas a condições severas de utilização.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado neste trabalho foi aço rápido do tipo M2. Este material foi avaliado em três condições distintas. Na primeira condição o material foi apenas tratado termicamente com têmpera e revenimento, denominado material A; na segunda condição o material recebeu o mesmo tratamento térmico e foi revestido com um filme fino de nitreto de titânio alumínio (TiAl) por plasma, denominado material B. Na terceira condição o material também recebeu o tratamento térmico e uma camada dúplex composta de camada nitretada e revestida com TiAl, denominado material C. 5 amostras de cada foram analisadas, perfazendo um total de 15.

Ensaio de microdureza Vickers foi realizado empregando-se uma carga de 10N sobre a superfície das amostras.

Para avaliação do desempenho destes materiais em relação ao desgaste, as amostras foram submetidas à ensaios do tipo pino sobre disco. Os pinos foram confeccionados de aço M2 e revestidos com filme fino de carbeto de tungstênio (WC) e possuíam ponta esférica de raio igual a 10 mm. Os ensaios foram realizados

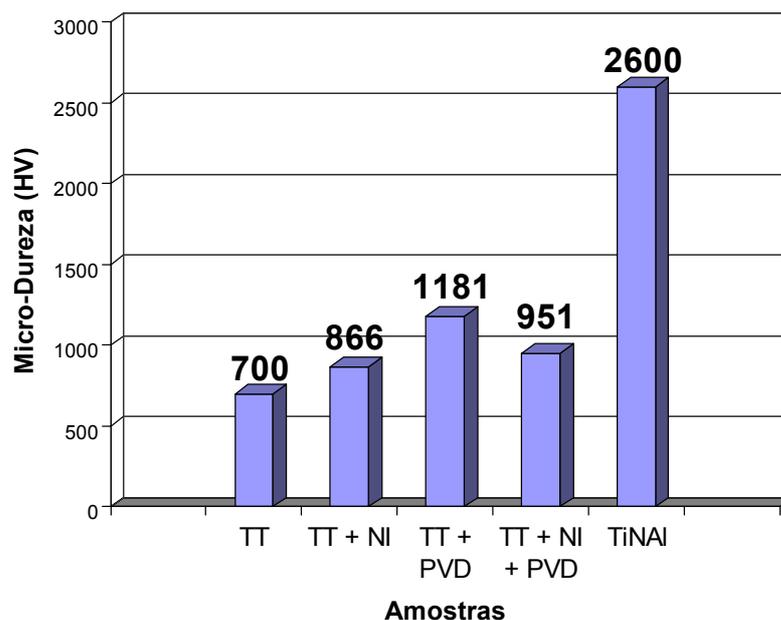
sob as seguintes condições: velocidade de rotação igual a 900 rpm, carga aplicada igual a 20 N e número de rotações fixado em 3180.

Os resultados foram avaliados principalmente de forma qualitativa através da observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV) associado à análise de composição por EDX. Esta associação permite avaliar tanto a topografia e composição química da superfície dos revestimentos quanto da região desgastada. Com isto foi possível avaliar a integridade da superfície após os ensaios. Microscopia ótica também foi utilizada para avaliar a região desgastada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

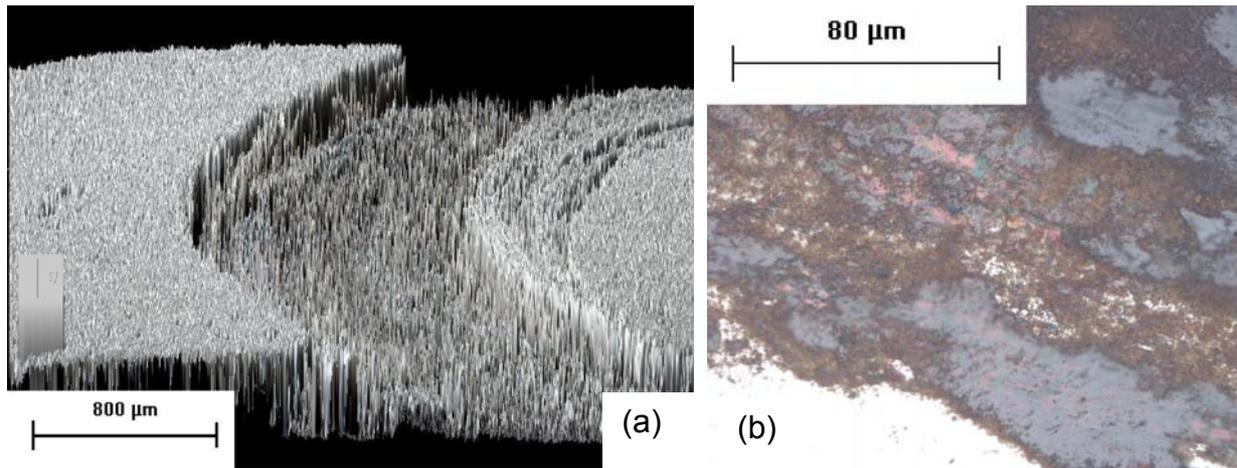
A Figura 1 mostra os resultados de microdureza vickers obtido para as amostras tratadas termicamente (TT), com TT e nitretação iônica (TT + NI), com TT mais camada de PVD (TT + PVD), com a combinação dos 3 processos (TT+NI+PVD) e apenas do revestimento de TiNAl. Este último é fornecido pela empresa BRASIMET como característica do produto por ela fornecido.

Pode-se notar que a combinação TT + PVD possui maior valor de microdureza, porém muito inferior ao valor da camada de TiNAl. A razão para este fato deve-se à forte influência do substrato na medida macroscópica, que pode ser minimizada diminuindo-se a carga aplicada no ensaio. A microdureza do pino revestido com WC, não inserida na Figura 1, é 870 HV.



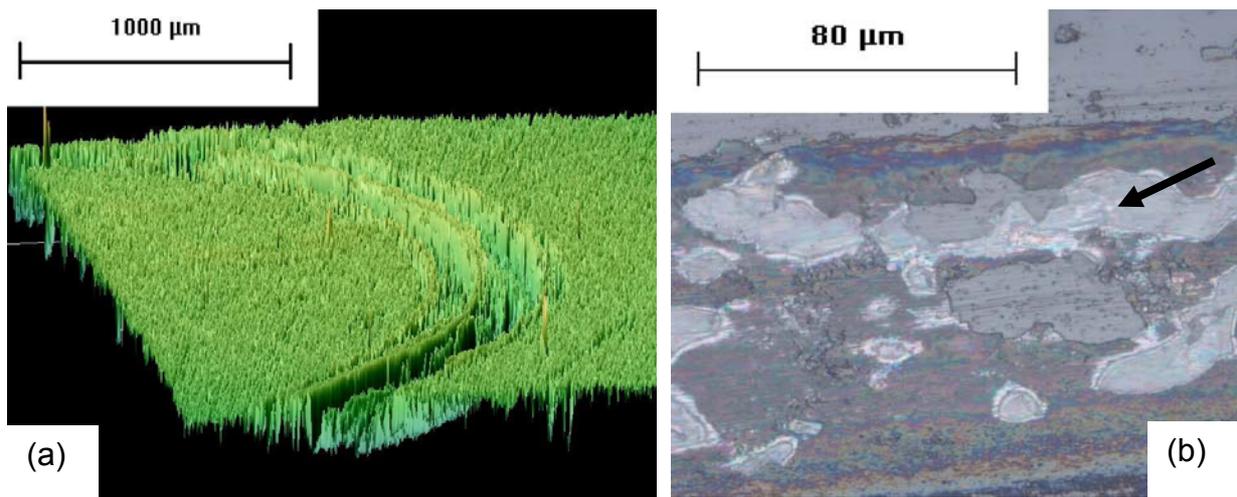
**Figura 1.** Microdureza Vickers das amostras analisadas no trabalho mais a microdureza de amostras tratadas termicamente e nitretadas.

As Figuras 2, 3 e 4 mostram, respectivamente, imagens ópticas, após o ensaio de desgaste, das amostras tratadas termicamente, dos corpos de prova que receberam o revestimento de TiNAl diretamente sobre o aço tratado e, também, das amostras duplex, ou seja, que possuem além do revestimento por PVD uma camada nitretada a plasma. A topografia dos corpos de prova pode ser vista nas Figuras 2a, 3a e 4a e foram obtidas através de um programa de análise de imagens chamado "Image pro plus". A Figura 2b mostra forte oxidação do aço (região marrom) provocada principalmente pelo aumento da temperatura no momento do ensaio.



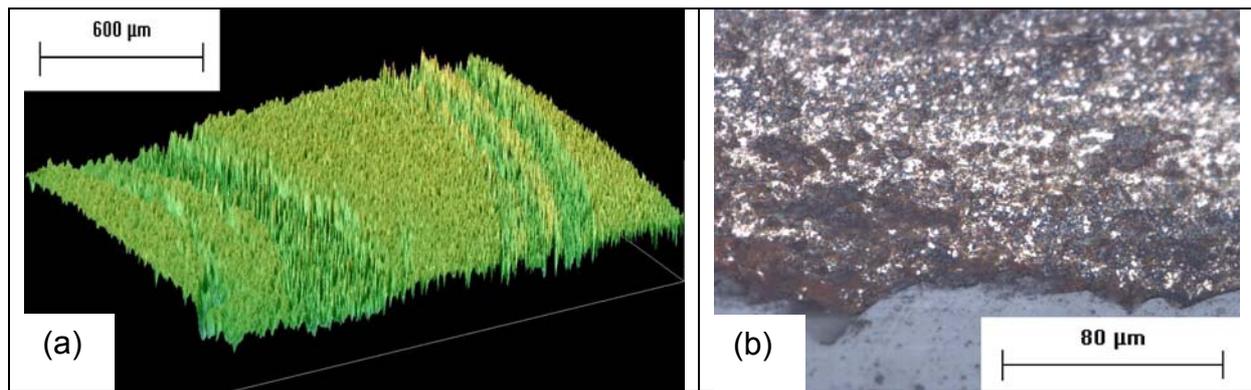
**Figura 2.** Microscopia óptica da amostra de A, (a) imagem da topografia em 3D e (b) imagem da superfície.

Já nos corpos de prova B, ou seja, aqueles revestidos com TiNAl, conforme Figura 3b, não se observa o mesmo grau de oxidação que aquele encontrado nas amostras apenas tratadas termicamente. Inclusive, pode-se notar parte não afetada do revestimento de TiNAl, região mais clara indicada na figura pela seta.



**Figura 3.** Microscopia óptica dos corpos de prova B, revestidos com TiNAl. (a) imagem da topografia em 3D e (b) imagem da superfície.

A Figura 4b, relativa ao corpo de prova C, por sua vez, mostra não apenas oxidação, mas total destruição do tratamento superficial (nitretação + TiNAl). Pode-se afirmar que a camada nitretada não influenciou e nem mesmo protegeu a superfície de aço, e que ainda permitiu deterioração mais rápida da camada de TiNAl.



**Figura 4.** Microscopia óptica da amostra C, nitretada a plasma e revestida com TiAl. (a) imagem da topografia em 3D e (b) imagem da superfície.

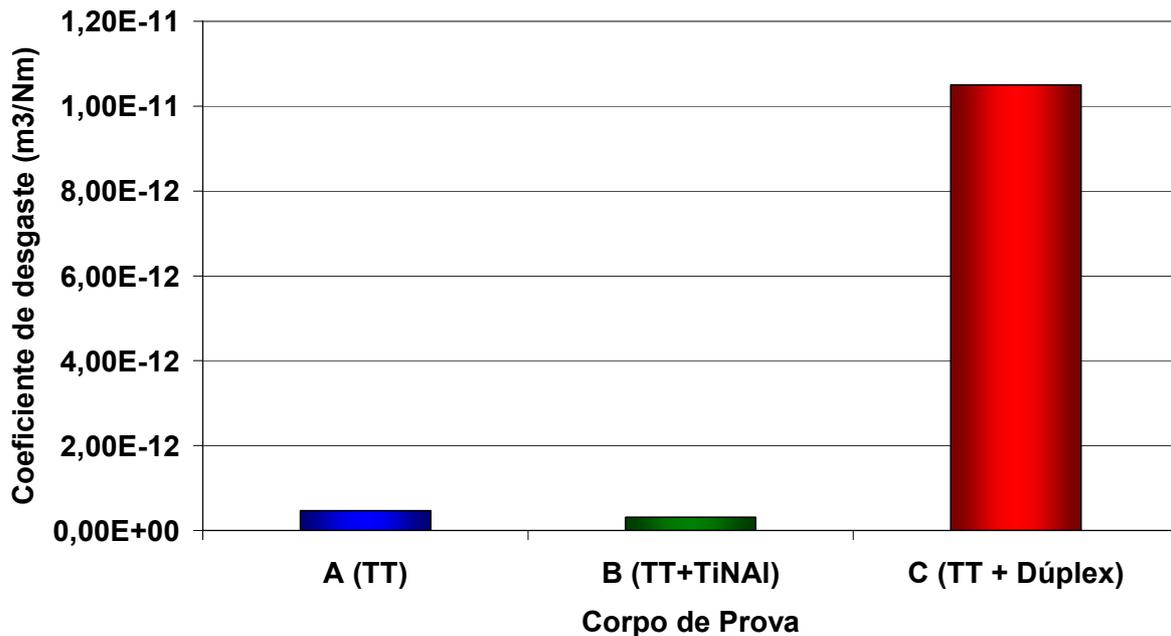
A técnica de deslizamento de pino sobre disco utiliza uma equação bastante simples para o cálculo do coeficiente de desgaste específico ( $k$ ) de superfícies, onde leva-se em conta a força aplicada ( $F$ ) pela ponta, o volume ( $V$ ) de material removido e o comprimento ( $L$ ) da distância de deslizamento na trilha de desgaste, tal que,

$$k = \frac{V}{F \cdot L} \quad (5)$$

A Tabela 1 mostra os valores obtidos para  $V$  (volume de material removido) e  $K$ , sabendo-se que a força normal aplicada pela ponta contra a superfície foi igual a  $F = 20$  N. Na Figura 5 pode se observar graficamente os valores obtidos para  $K$ , que não deixam dúvida, e mesmo confirmam as imagens ópticas. Chama a atenção o valor de  $K$  muito maior para o corpo de prova com camada dúplex em relação aos outros dois. A amostra de aço com TiAl possui o menor valor de  $K$  e, depois, que a amostra que recebeu a camada duplex sofreu maior desgaste do que qualquer outro conjunto analisado, tendo  $K$  duas ordens de grandeza maior do que os outros obtidos. Este resultado é uma surpresa, pois existem diversos trabalhos que dizem exatamente o contrário. <sup>(6)</sup>

**Tabela 1.** Valores do volume do material removido da amostra e do coeficiente específico de desgaste de corpos de prova de aço rápido tratado termicamente, revestido com TiAl e revestido com camada duplex.

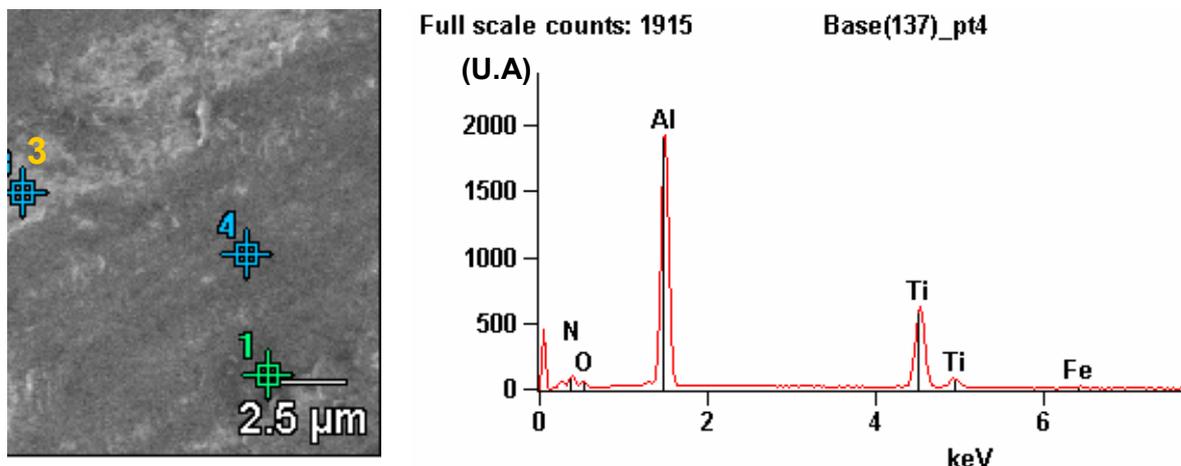
<b>Amostra</b>	<b><math>V(m^3)</math></b>	<b><math>K (m^3/Nm)</math></b>
<b>Aço tratado termicamente (TT)</b>	<b><math>4,08 \times 10^{-10}</math></b>	<b><math>4,69 \times 10^{-13}</math></b>
<b>Aço TT revestido com TiAl</b>	<b><math>2,72 \times 10^{-10}</math></b>	<b><math>3,13 \times 10^{-13}</math></b>
<b>Aço TT revestido com camada duplex</b>	<b><math>9,13 \times 10^{-10}</math></b>	<b><math>1,05 \times 10^{-11}</math></b>



**Figura 4.** Resultados de coeficiente específico de desgaste dos três tipos de corpo de prova após os ensaios de pino sobre disco.

Os resultados mostrados acima estão de acordo com aqueles encontrados na literatura para desgaste abrasivo em que mostram coeficientes de desgaste de TiN, TiCN, TiAl variando de  $0,5 \times 10^{-13}$  a  $5 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{N}$  (7).

A análise realizada acima pôde ser confirmada através dos resultados obtidos utilizando-se EDX associado a um microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde foi possível definir algumas regiões para análise da composição da superfície. A Figura 5 mostra uma imagem de MEV e o espectro de EDX correspondente a localização do ponto 4. A Tabela 2 mostra a composição deste ponto e dos outros dois assinalados nesta imagem. Pode se observar que para os três pontos analisados os espectros de EDX mostram, essencialmente, os componentes do filme de TiAl. Também mostra o aparecimento de óxidos na superfície do filme devido as condições agressivas do ensaio de desgaste.



**Figura 5.** Microscopia eletrônica de varredura da amostra M2/TiAl e o espectro EDX do ponto 4 localizado na imagem. Esta imagem foi obtida com uma ampliação de 7500x.

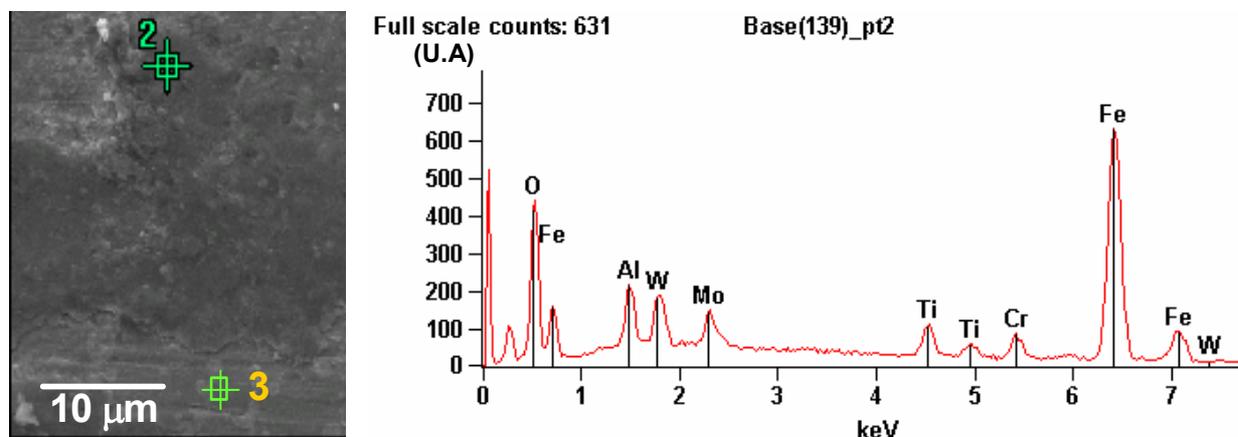
Este resultado pode ser entendido pensando-se que a ponta de carbeto de tungstênio removeu muito pouco material da superfície e ainda “conformou” o

revestimento ao próprio corpo de prova, pois não se observa nem trincas e nem fissuras ao longo da trilha de desgaste.

**Tabela 2.** Concentração atômica dos elementos mostrados na Figura 4.

	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>Fe</b>
<b>Base(137)_pt1</b>	8.49	10.38	46.63	33.56	0.95
<b>Base(137)_pt3</b>	15.21		49.88	34.91	
<b>Base(137)_pt4</b>	14.74	9.28	43.57	31.39	1.02

Ao contrário do que aconteceu na amostra discutida acima, a Figura 6 e a Tabela 3 mostram que a camada duplex foi praticamente removida da superfície do corpo de prova, restando apenas aço com ou sem oxidação. É possível observar a existência de alumínio e titânio ainda provenientes do filme de TiAl, porém não mais na forma de revestimento protetor.



**Figura 6.** Microscopia eletrônica de varredura da amostra M2/duplex e o espectro EDX do ponto 2 localizado na imagem. Esta imagem foi obtida com uma ampliação de 2500x

A linha de tungstênio que aparece no espectro de EDX da Figura 6 tem origem na ponteira de desgaste, mostrando que nesta condição a amostra ficou sujeita, também a desgaste adesivo, além daqueles já citados (abrasivo e de deslizamento).

**Tabela 3.** Concentração atômica dos elementos mostrados na Figura 5.

	<b>O</b>	<b>Al</b>	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Fe</b>	<b>Mo</b>	<b>W</b>
<b>Base(139)_pt2</b>	28.02	5.30	3.93		3.34	56.27	1.65	1.48
<b>Base(139)_pt3</b>		1.28		1.74	4.60	88.21	2.79	1.39

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados acima indicam que a escolha de TiAl como revestimento protetor é adequada para ferramentais de aço sujeitos a desgaste por deslizamento, desde que ele não esteja depositado sobre uma camada de nitretação para endurecimento da superfície do aço. Resultados de ensaios da vida útil de brocas de aço M2 (não mostrados), segundo as mesmas condições descritas no trabalho, mostraram que este tipo de ferramenta dura 3 vezes mais do que aquelas que possuem camada nitretada. Esta avaliação foi realizada sob condições mais severas do que as usuais, onde não houve a utilização de nenhum tipo de fluido refrigerante ou lubrificante. Este mesmo resultado pode ser encontrado em outros trabalhos.<sup>(8)</sup>

A análise de microestrutura confirma os resultados obtidos no ensaio de desgaste e determina a integridade do filme de TiAl depositado diretamente sobre o aço tratado termicamente.

Porém, demanda-se enorme carga de investigação para que seja possível afirmar que um tipo de revestimento a plasma possa ser utilizado para proteger a superfície de ferramenta de aço. Diversos aspectos ainda devem ser avaliados como, por exemplo, se o mesmo revestimento é aplicável a qualquer superfície. Se seu desempenho será diferente para diferentes tipos de material de desgaste. Também, qual será seu desempenho em condições industriais de operação? Todos estes aspectos estão em fase de avaliação e promoverão material suficiente para a geração de outros artigos.

Estes resultados são particularmente importantes do ponto de vista logístico de produção de ferramentas. Onde a diminuição no tempo do processo resulta na redução dos custos do produto tanto através da diminuição do número de horas homem quanto de horas máquina empregados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem a Brasimet-SP pelas deposições de TiAl, à Irwin do Brasil por ceder os corpos de prova e as brocas de aço rápido do tipo M2 e ao Sr. Silvio Correa pela realização da nitretação a plasma.

### REFERÊNCIAS

- 1 YUASA, G. T. **Efeito do campo magnético no processo de nitretação a plasma de aço inoxidável SAE 304**. São José dos Campos : Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2002.
- 2 ALVES JUNIOR, C. **Nitretação a plasma: fundamentos e aplicações**. EDUFPR
- 3 YUHARA, D. A.; VENCOSKY, P.K. **Aplicação de revestimento PVD em ferramentas de conformação de chapas**. Disponível em: <<http://www.brasimet.com.br/artigos/conformacao.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2006.
- 4 YUHARA, D. A. Aplicação de revestimento PVD em ferramentas de corte. Disponível em: <<http://www.brasimet.com.br/artigos/REVESTIMENTOS.pdf>>. Acesso em: 3 mar. 2006.
- 5 CHEN, Y. H.; POLONSKY, I.A.; CHUNG, Y.W.; KEER, L.M. Tribological properties and rolling-contact-fatigue lives of TiN/SiN<sub>x</sub> multilayer coatings. **Surface & Coatings technology**, v. 154, n.2-3, p. 152-161, May 2002.
- 6 FRANCO JUNIOR., A. R. **Obtenção de revestimento duplex por nitretação a plasma e PVD-TiN em aços ferramentas AISI D2 e AISI H13**. 2003. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- 7 SANTOS, S. C.; SALES, W.F.; SILVA, F.J.; FRANCO, S.D.; SILVA, M.B. Tribological characterisation of PVD coatings for cutting tools. **Surface & Coatings Technology**, v. 184, n.2-3, p. 141-148, 2004.
- 8 HARRIS, S.G.; DOYLE, E.D.; VLASVELD, A.C.; DOLDER, P. J. Dry cutting performance of partially filtered arc deposited titanium aluminium nitride coatings with various metal nitride base coatings. **Surface & Coatings Technology**, v.146-147, p.305-311, Sept./Oct. 2001.

# WEAR EVALUATION OF TiNAl COATINGS ON HIGH SPEED STEEL SUBSTRATES

*Augusto Henrique Missner  
Raniel Custódio Maciel  
Leônidas Cayo Mamani  
Marcos Antônio Rebello  
Lilian Raquel Morett  
Mônica de Mesquita Lacerda*

## **Abstract**

TiNAl films 2 $\mu$ m thick were deposited by PVD technique on high speed steel (HSS) substrates with different surface conditions. Prior, all HSS samples were tempered, then half of them were nitrided in plasma condition and the other half received TiNAl films. Half of ionic nitrided samples also received a TiNAl layer. Therefore, it was possible to compare performance of nitrided HSS, TiNAl film on nitrided HSS and TiNAl layer directly deposited on HSS samples. Their surface properties for cutting tools have been studied in order to improve tool life time and diminish operational costs. For this reason, pin-on-disk analysis was performed to characterize mechanisms of wear of the samples and Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDS) were used to characterize their local microstructure, i.e., on the wear location. The best result was obtained for samples with TiNAl film deposited directly to HSS thermal treated samples. The wear coefficient were the lowest compared to all studied samples and MEV-EDS results showed TiNAl layer was not eliminated during the wear procedure, although the nitrogen content was preferentially removed and oxidation took place.

**Key words:** TiNAl; Wear; Plasma nitride; PVD.