

# ESTUDO DO EFEITO DE TRATAMENTOS E REVESTIMENTOS SUPERFICIAIS NO DESGASTE DE FERRAMENTAS DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA À FRIO

*Cássio Aurélio Suski<sup>1</sup>  
Carlos Augusto Silva de Oliveira<sup>2</sup>*

## Resumo

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito do tratamento de nitretação por plasma e do revestimento de carbonitreto de titânio na resistência ao desgaste de matrizes de conformação mecânica de elementos especiais de fixação. O enfoque principal está centrado na taxa de desgaste por abrasão, caracterizado pelo atrito de elementos interfaciais entre as superfícies da matéria-prima e da matriz. Foram utilizadas três condições diferentes para uma matriz de aço VF 800AT. Somente temperada e revenida (condição padrão para comparação); nitretada a plasma e com carbonitreto de titânio por processo P.V.D. A microestrutura foi avaliada através de metalografia óptica e eletrônica de varredura, e o desgaste foi controlado por carta de Controle Estatístico de Processo – C.E.P. As ferramentas tratadas superficialmente apresentaram melhor comportamento do que sem tratamento. As ferramentas nitretadas a plasma (com camada branca bastante reduzida) apresentaram menor resistência ao desgaste (maior taxa de desgaste) quando comparados com as revestidas por carbonitreto de titânio. Isto foi atribuído a excelente dureza do carbonitreto de titânio, juntamente com sua boa aderência.

**Palavras-chave:** Nitretação a plasma; Carbonitreto de titânio; Aço VF 800AT; Camada branca.

*60º Congresso Anual da ABM – 25 a 28 de julho, em Belo Horizonte (MG).*

*<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*

*<sup>2</sup> Professor Adjunto - Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*

## INTRODUÇÃO

O desgaste do ferramental influencia diretamente a eficiência, acabamento e qualidade do produto. Portanto, este é o ponto crítico com relação a recuperação dos componentes da ferramenta, falhas e paradas indesejadas nas linhas de produção. Além disso, a tendência do mercado é o crescimento da velocidade de produção e a utilização de processos mais eficientes para a fabricação de produtos.

Um dos principais meios de desgaste destas ferramentas é o atrito de superfícies de contato por escorregamento relativo. Em geral, com algumas exceções como para frenagem, o coeficiente de atrito e a pressão devem ser tão baixo quanto possíveis para reduzir o desgaste do material da ferramenta.

A indústria de conformação mecânica tem trabalhado muito no desenvolvimento de materiais resistentes ao desgaste. Este fato ocasionou um relativo avanço na melhoria das propriedades dos materiais já existentes e desenvolvimento de novos materiais com melhor performance. Muitos destes novos materiais resistentes ao desgaste têm sido desenvolvidos e melhorados para diferentes aplicações, porém a pesquisa e desenvolvimento de novos aços têm um custo bastante elevado, além do risco envolvido no processo (Bressan et al, 1999; Edwards, 2002).

A melhoria da performance dos materiais pode ser obtida utilizando-se processos especiais de refusão e processamento, via de regra, entretanto, eleva o custo do material e, em muitos casos, piora a relação custo/benefício. Por outro lado, a engenharia de superfície tem sido utilizada como um método econômico alternativo para melhorar as propriedades tribológicas de materiais convencionais e especificamente elevar o desempenho de ferramentas de conformação mecânica (Oliveira et al, 2002).

Tratamentos superficiais como nitretação e revestimentos P.V.D. estão em uso ou em desenvolvimento. Estes processos são extensivamente empregados na modificação da resistência superficial de ferramentas.

Os tratamentos e revestimentos superficiais elevam a dureza da superfície, a resistência à fadiga, ao desgaste e a corrosão dos aços, melhorando a eficiência do processo de conformação, garantindo uma vida útil da ferramenta bastante superior e adquirindo um produto final de melhor qualidade e acabamento.

Estes tratamentos e revestimentos superficiais têm se mostrado um dos recursos mais promissores, tanto do ponto de vista tecnológico, quanto econômico. Em comparação com os materiais temperados e revenidos, sem revestimento ou tratamento superficial, por exemplo, os tratamentos superficiais de nitretação e revestimentos de carbonitreto de titânio podem fornecer melhores resultados, por conferirem alta dureza à superfície e introduzir tensões residuais compressivas, capazes de melhorar a tenacidade do material tratado termicamente (Michel, 1987; Esper et al, 1981).

Assim, embora a utilização destes processos também eleve os custos de produção dos componentes, as vantagens deles advindas podem melhorar muito a relação custo – benefício dos produtos, uma vez que ampliam consideravelmente a sua vida útil.

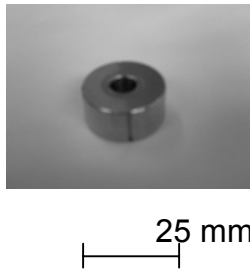
Neste trabalho estudou-se o efeito dos tratamentos e revestimentos no desgaste abrasivo de ferramentas de aço VF 800AT para conformação mecânica a frio de

elementos especiais de fixação, a fim de aumentar a vida útil destas ferramentas e reduzir o tempo ocioso de produção.

Para fins comparativos, utilizou-se três condições superficiais, uma somente temperada e revenida, uma com tratamento de nitretação à plasma e a última com revestimento de carbonitreto de titânio (TiCN) – P.V.D. (Physical Vapour Deposition).

## PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O estudo do efeito dos tratamentos ou revestimentos superficiais na vida útil de ferramentas de aço VF 800AT (0,85 % C; 0,90 % Si; 0,40 % Mn; 8,00 % Cr; 2,00 Mo; 0,50 % V) foi realizado em uma ferramenta com geometria cilíndrica, conforme mostrado na figura 1. Foram realizados três tratamentos diferentes, ou seja; um conjunto foi temperado e revenido, um outro conjunto após têmpera e revenido foi nitretado por plasma e um último conjunto foi revestido com carbonitreto de titânio.



**Figura 1.** Ferramenta utilizada neste estudo.

Esta ferramenta é utilizada em um processo de conformação mecânica a frio onde as reduções de diâmetros da matéria-prima são executadas sob pressão no ferramental em máquinas de 3 estágios (Marcas Yern Yao e Hilgeland).

A fim de obter um indicativo do desgaste abrasivo ocorrido nas matrizes de conformação mecânica a frio foram realizadas três medidas do diâmetro do corpo dos produtos através de micrômetros externos, a cada 20 minutos. A média aritmética destas medidas foi registrada pelo operador na carta de controle estatístico de processo – C.E.P. e então, fazia-se à análise dos dados registrados durante um período de tempo que variou entre 87 e 373 horas de trabalho efetivo (sem setup de máquina). O aumento do diâmetro do corpo dos produtos indicava um maior desgaste das ferramentas.

Os limites inferiores e superiores de dimensional permitido, ou seja; as variações dimensionais admitidas foram de 7,08 a 7,13 mm.

A preparação de amostras para metalografia fez-se através de procedimentos usuais para análise microestrutural. O ataque químico foi realizado utilizando-se Nital 5 % (95 % álcool etílico e 5 % ácido nítrico). As análises micrográficas foram realizadas por microscopia óptica, usando um microscópio modelo 84342 – Neomet Union; e por meio de microscópio eletrônico de varredura, modelo Philips XL 30.

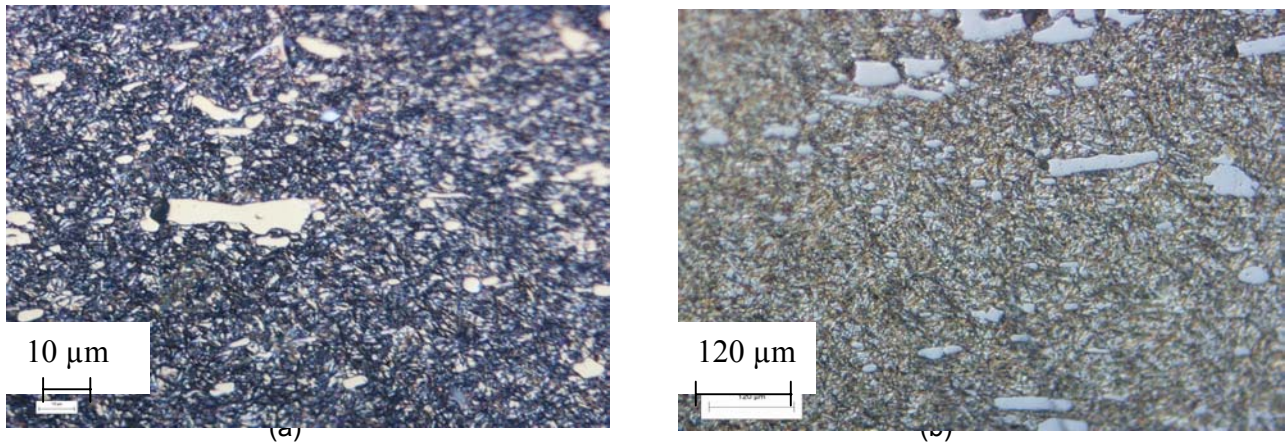
Estas análises objetivaram a verificação da microestrutura do substrato, das camadas de tratamento e revestimento superficial, onde se podem medir o tamanho destas camadas e comparar com os demais ensaios realizados.

Foram observadas as superfícies desgastadas das ferramentas, após o uso das mesmas, através de microscopia eletrônica de varredura.

## RESULTADOS

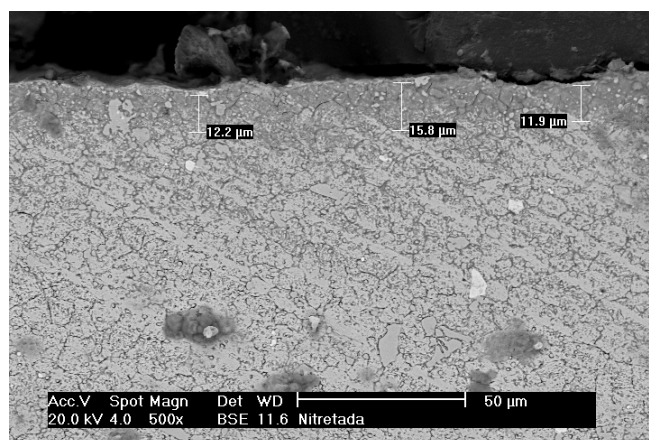
### Caracterização Microestrutural

Através da metalografia foi possível verificar tanto a microestrutura temperada e revenida do substrato, aço VF800 AT, como as camadas de tratamento ou revestimento superficial utilizadas para as ferramentas de conformação. A microestrutura do substrato mostra uma região martensítica com presença de carbonetos primários (Figura 2), microestrutura esta que se apresenta semelhante em todas as ferramentas. Como as microestruturas dos substratos das ferramentas têm aspectos semelhantes não devem apresentar variações de desgaste no metal de base.

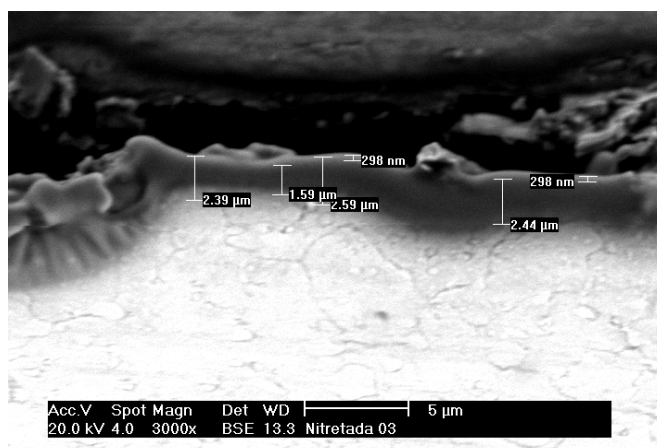


**Figura 2.** Micrografia (a) e (b) das ferramentas de aço VF 800AT com tratamento térmico de têmpera e revenido.

A análise metalográfica mostrou que na peça nitretada a plasma tem-se uma espessura de até 15 μm (nitretos + camada de difusão), conforme Figura 3 (a). A camada de nitretos tem aproximadamente 2,5 μm, a camada de difusão em torno de 12,5 μm, Figura 3 (b). A camada branca foi bastante reduzida pois, esta pode fragilizar o revestimento durante a extrusão do aço (Oliveira et al, 2002), porém, geralmente são utilizadas camadas de nitretos acima de 100 μm.



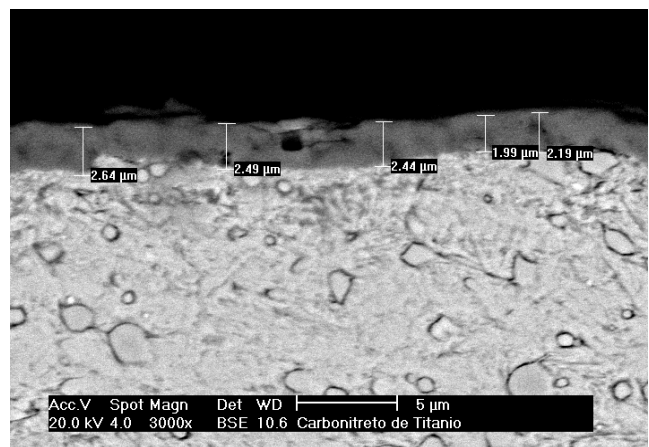
(a)



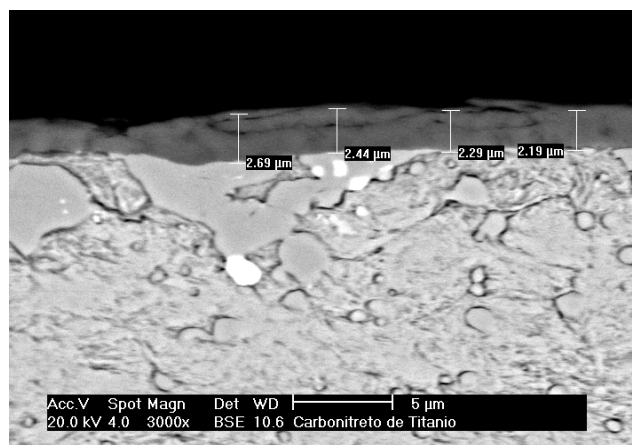
(b)

**Figura 3.** Micrografia das ferramentas de aço VF 800AT com tratamento superficial de nitretação a plasma. (a) – Espessura da camada de nitreto. (b) – Espessura da camada branca

Na ferramenta revestida com TiCN, a espessura da camada aplicada ao metal é bastante inferior à da ferramenta nitretada, apresentando uma faixa de 2 a 3  $\mu\text{m}$ , conforme Figuras 4 (a) e (b). Porém, esta pequena camada confere uma excelente resistência ao desgaste devido à alta resistência do carbonitreto de titânio (Brink, 1998).



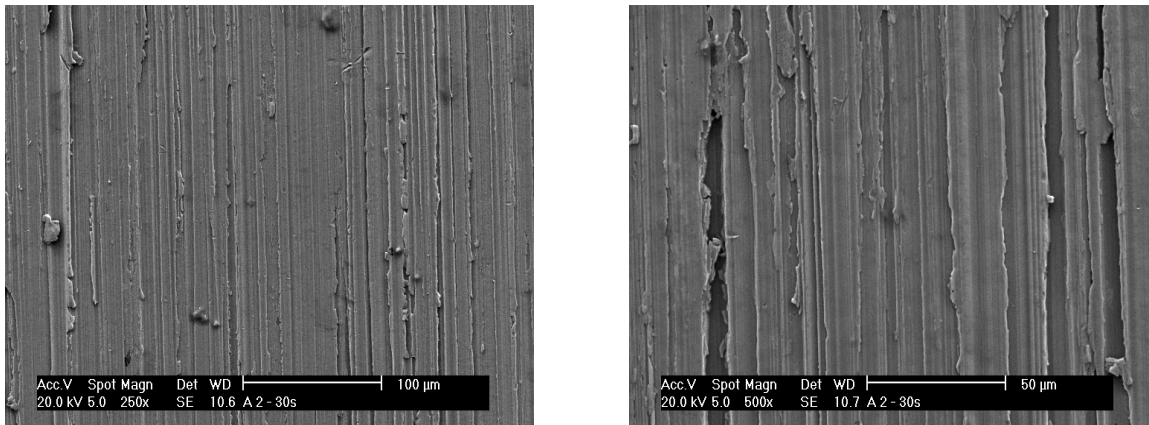
(a)



(b)

**Figura 4.** Micrografia (a) e (b) das ferramentas de aço VF 800AT com revestimento superficial de carbonitreto de titânio.

A análise da ferramenta após utilização mostrou que o mecanismo de desgaste abrasivo atuante tem aspecto de microsulcamento de material (Murray et all, 1979), Figura 5.



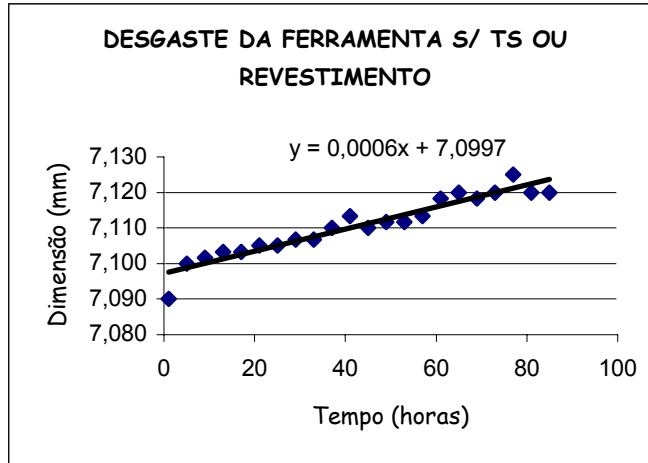
**Figura 5.** Micrografia eletrônica do microarrancamento de material das ferramentas de VF 800AT.

## TESTES DE DESGASTE NA INDÚSTRIA

Os testes industriais realizados nas ferramentas de conformação mecânica a frio de elementos especiais de fixação através de cartas de controle estatístico de processo mostraram um desgaste bastante acentuado das ferramentas somente temperadas e revenidas. Nestas, a taxa de desgaste média apresentou-se de forma linear e em torno de 0,0006 mm/h, conforme a Figura 6 e Tabela 1. Nas ferramentas nitretadas ou com TiCN, a taxa média foi de 0,0002 e 0,0001 mm/h, respectivamente, Figuras 7 e 8.

**Tabela 1.** Resultados do estudo de desgaste de matrizes de conformação mecânica a frio.

<i>FERRAMENTA</i>	<i>Taxa média de Desgaste ( mm / h)</i>	<i>N.de horas para o desg. no intervalo de tolerância.</i>	<i>Qtidade Prod. para o Intervalo de desg. (peças)</i>
<i>Temperada e revenida</i>	0,0006	87	675116
<i>Nitretada</i>	0,0002	251	1908606
<b><i>Variação (%)</i></b>		<b>288,5</b>	<b>282,7</b>
<i>Carbonitreto de titânio</i>	0,0001	373	2863998
<b><i>Variação (%)</i></b>		<b>428,7</b>	<b>424,2</b>

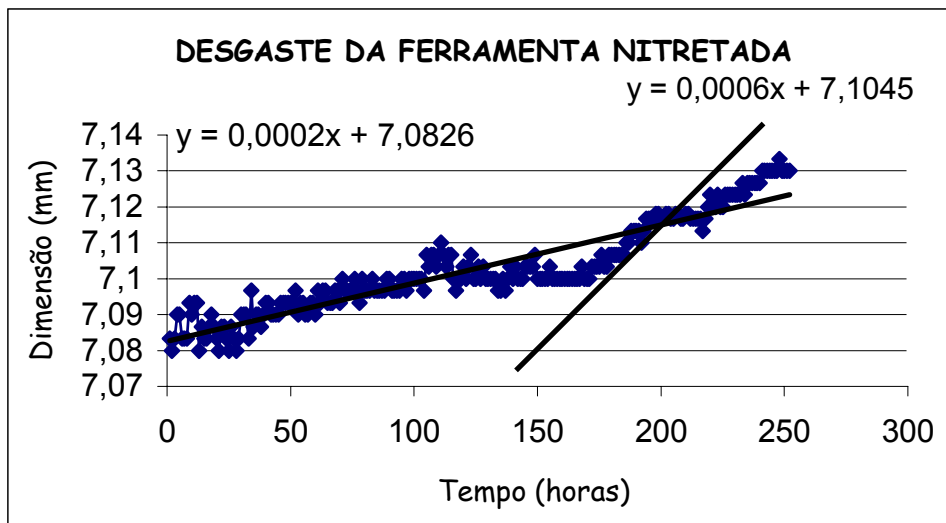


**Figura 6.** Comportamento do desgaste da ferramenta somente temperada e revenida.

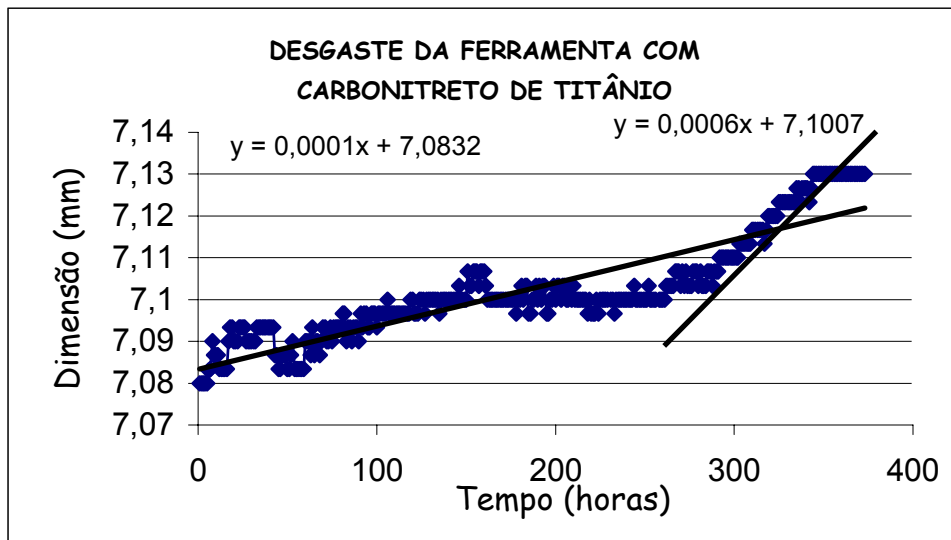
As curvas das ferramentas nitretadas e com TiCN apresentaram três comportamentos distintos. Nas primeiras 100 horas, aproximadamente a curva da ferramenta nitretada apresentou uma taxa de desgaste em torno de 0,0002 mm/h, em um segundo momento houve um decréscimo acentuado desta taxa e, finalmente, apresentou taxa de 0,0006 mm/h, conforme Figura 7, evidenciando o fim da camada de tratamento superficial, retornando a taxa de desgaste a valores da ordem da ferramenta somente temperada e revenida.

Na ferramenta com TiCN percebeu-se um desgaste de 0,0001 mm/h nas 150 horas iniciais, seguida de um desgaste mínimo e, então retornando a taxa de desgaste de 0,0006 mm/h, Figura 8.

Outros autores (Andrade et al, 2002; Bressan et al, 2001) também observaram comportamento semelhante em um aço rápido revestido ensaiado em disco sobre pino, ou seja; houve redução da taxa de desgaste depois de certo tempo.



**Figura 7.** Comportamento do desgaste da ferramenta nitretada.



**Figura 8.** Comportamento do desgaste da ferramenta revestida com TiCN.

Estes resultados mostram um decréscimo da taxa de desgaste das ferramentas nitretadas ou com TiCN, conforme a Tabela 1.

Percebe-se também que, há um excelente acréscimo da quantidade de horas trabalhadas entre as dimensões utilizáveis da ferramenta quando comparadas com as somente temperadas e revenidas, alcançando valores de aproximadamente três vezes para a ferramenta nitretada e quatro vezes superior para a com TiCN. Da mesma forma, a quantidade de peças produzidas chegou a valores em torno de três e quatro vezes para as respectivas ferramentas, conforme pode ser observado na Tabela 1. Estas variações de produtividade se devem a excelente eficiência das máquinas quando utilizam estas ferramentas nitretadas ou com TiCN, pois não necessitam de paradas para limpeza ou polimento das mesmas devido à alta resistência ao desgaste e ótimo acabamento superficial, além de poderem trabalhar com velocidades de produção mais altas.

Na Figura 7 pode-se observar que o início do intervalo no qual há pouca variação dimensional refere-se ao ponto onde há um desgaste de aproximadamente três centésimos de milímetro no diâmetro da ferramenta, ou seja, refere-se ao ponto de intersecção entre a zona de difusão e o início do substrato. Este fato se confirma através da observação da espessura da camada nitretada, que é em torno de 15  $\mu\text{m}$ , conforme se pode observar na Figura 3 (a).

Já para o caso das ferramentas com TiCN (figura 8), este intervalo comentado também é bastante visível, porém percebe-se que o mesmo ocorre para valores de desgaste de dois a quatro centésimos. No entanto, para estes valores de desgaste, as ferramentas apresentam-se com a camada praticamente eliminada, pois a mesma é de 2 a 3  $\mu\text{m}$ , conforme Figura 4.

Através destas observações, pode-se fazer algumas suposições, como por exemplo:

A maior taxa de desgaste, inicialmente, das ferramentas tratadas ou revestidas, pode estar relacionada a um ajuste dimensional das mesmas, ou seja, a maior



inclinação inicial que se pode observar nas Figuras 7 e 8, pode estar relacionada a imperfeições superficiais das ferramentas, que aumentam a pressão superficial nominal de contato devido a redução da área efetiva de contato (Andrade et al, 2002; Bressan et al, 2001).

A faixa de valores constantes que se pôde observar nas Figuras 7 e 8 pode apresentar certa relação com a zona de difusão dos tratamentos e revestimentos superficiais, nas quais as camadas podem apresentar composições favoráveis a resistência ao desgaste (Oliveira et al, 2002).

Supõe-se que a diferença de vida entre as ferramentas tratadas por nitretação a plasma e as revestidas com carbonitreto de titânio possa diminuir sensivelmente quando da utilização de camadas de nitretos acima de 100 µm. Porém, este acréscimo da camada poderá vir a fragilizar a camada, acentuando ainda mais o desgaste.

## **CONCLUSÕES**

As principais conclusões obtidas pelas análises realizadas são mostradas a seguir:

Os revestimentos com carbonitreto de titânio conferiram maior estabilidade de camada, obtendo uma maior resistência ao desgaste em comparação com o tratamento de nitretação a plasma.

O revestimento de carbonitreto de titânio adequou-se perfeitamente as ferramentas de conformação mecânica a frio, aumentando significativamente a vida das mesmas com relação às ferramentas sem tratamento ou revestimento e, até mesmo, com relação às ferramentas tratadas com nitretação por plasma.

Apesar da camada de nitretos ser bastante reduzida, o processo de nitretação por plasma mostrou ser viável no tratamento de ferramentas de conformação mecânica a frio. A vida das ferramentas nitretadas aumentou significativamente em relação às somente tratadas termicamente. No entanto, a vida das ferramentas apresentou valores menores com relação às ferramentas revestidas com carbonitreto de titânio.

Através da análise das microestruturas pode-se perceber a maior espessura de camada nas ferramentas nitretadas por plasma com relação às revestidas com carbonitreto de titânio. Além disso, como decorrência das condições de tratamento, obteve-se uma camada branca bastante reduzida na nitretação.

Pode-se perceber que estes tratamentos e revestimentos são de difícil aplicação em ferramentas (matrizes) com diâmetros internos que sofrem encarçamento sob pressão, pois este encarçamento pode resultar numa redução do diâmetro interno da ferramenta, necessitando de um polimento antes da utilização, podendo eliminar a camada de tratamento ou revestimento aplicada sobre as mesmas.

## **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro recebido da Blufix Ind. & Com. Ltda de Blumenau, Brasil e UFSC, Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANDRADE, J.P.; GILAPA, L.C.M.; BRESSAN, J.D.– Avaliação de desgaste em aços ferramenta para estampagem, Revista IST, 2002.
- 2 BRESSAN, J.D.; HESSE, R.; SILVA, E.M. – Wear Mechanisms of Electrical Steel Sheets, High Speed Steel and Hard Metal Pins Coated with TiAlN and TiCN, 1999.
- 3 BRESSAN, J.D.; HESSE, R.; SILVA, E.M. – Abrasive Wear of High Speed Steel and Hard Metal Pins Coated with TiAlN and TiCN, 2001.
- 4 BRINK, R. – “Revestimentos de Nitreto de Titânio Através do Processo P.V.D. e sua utilização em ferramentas”, Balzers, Liechtenstein, Apostila Brasimet, 1998.
- 5 DIN 50320: Verschleiß - Begriffe, Analyse von Verschleißvorgängen, Gliederung des Verschleißgebietes. Beuth Verlag, Berlin 1979.
- 6 EDWARDS, K. L. Linking materials and design: An assessment of purpose and progress. Elsevier Science Ltda. Materials and design v.23, p. 255-264, 2002.
- 7 ESPER, F. J.; LEUZE, G.; SONSINO, C. M. - Characteristic properties of powder-metallurgical materials relevant to fatigue design. *Powder Metallurgy International*, vol. 13, n. 4, p. 203-208, 1981.
- 8 MICHEL, H. – Nitration de surfaces métalliques. In: *Intéractions Plasmas Froids – Matériaux Journées d’Etudes*, Les Ulis Cedex, France: Les Editions de Physique, p. 465-486, 1987.
- 9 MURRAY, M.J., MUTTON, P.J. and WATSON, J.D.: Abrasive wear mechanisms in steels, in *Wear of Materials 1979*, K.C. Ludema et al., eds., ASME, New York, p. 257-265, 1979.
- 10 OLIVEIRA, S.D., Pinedo, C.E., Tschiptschin, A.P.- “Plasma”, *Revista Metal Mecânica*, N.42, p. 78-80, 2002.

# THE EFFECT OF NITRID AND CARBONITRID OF TITANIUM COATING ON WEARING COLD FORMING TOOLING

*Cássio Aurélio Suski<sup>1</sup>  
Carlos Augusto Silva de Oliveira<sup>2</sup>*

## **Abstract**

That research studies the effect of plasma-nitriding and titanium carbonitriding mixtures under the aspect of wearing resistance of mechanical conformation dies of special elements of fixation. The main focus is centered in the waste rate by abrasion, characterized by the friction of particles among the surface of the raw material and the die. Three different configurations were used for the VF 800AT steel die with showed waste excessive before of layers application of plasma-nitriding and titanium carbonitriding. Tests on the industry and laboratorial rehearsals were accomplished to confront the waste. The coated dies had better results in contrast with the others. The plasma-nitriding dies (with a small white layer) had the smaller wear resistance (bigger wear rate) when compared with the titanium carbonitriding. That was because of the excelent hardness of the titanium carbonitriding and the good adherence, in opposition of the fragility of the white layer of the plasma-nitriding.

**Key-words:** Nitriding; Carbonitriding; Steel VF 800AT; Wwhite layer.

*60º Congresso Anual da ABM - 25 a 28 de julho, em Belo Horizonte (MG).*

<sup>1</sup> *Doutorando em Engenharia – Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*

<sup>2</sup> *Professor Adjunto - Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Santa Catarina*