

# PROCESSO DUPLEX PARA MOLDES E MATRIZES PARA TRABALHO A FRIO <sup>1</sup>

Shun Yoshida <sup>2</sup>  
Antonio Carlos Arruda <sup>3</sup>

## Resumo

Em moldes e ferramentas de conformação de aços a frio, existem situações em que, em função da espessura da chapa a ser conformada, sua qualidade superficial e também sua resistência mecânica, ocorre um forte desgaste de natureza abrasiva, levando a perda prematura da ferramenta, com conseqüente geração de peças defeituosas e/ou riscadas. Em situações desse tipo, camada formadas pelo processo PVD ou nitretações, não são, individualmente, suficientes para prolongar substancialmente a vida útil do ferramental, por apresentarem uma resistência mais baixa a desgaste em situações limite. O artigo descreve o processo DUPLEX, por definição um processo de camada dupla, combinando a Nitretação a Plasma com os revestimentos formados pelo processo PVD, compondo uma camada de resistência a desgaste mais elevada que as camadas tomadas individualmente.

**Palavras-chave:** Revestimentos PVD; Nitretação a plasma; Desgaste abrasivo.

<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> Eng. Metalurgista, Coordenador do Tratamento Térmico de Ferramentas e Matrizes da BRASIMET COM. IND. S.A.

<sup>3</sup> Tecnólogo de Materiais, M.Sc., Engenheiro de Produto da BRASIMET COM. IND. S.A.

## 1 INTRODUÇÃO

De um modo geral, ferramentas para conformação a frio de chapas de aço (Figura 1), sofrem desgaste através de um mecanismo de ADESÃO, no qual partículas ou partes dos revestimentos oriundos das chapas aderem na ferramenta durante a conformação.



**Figura 1.** Rolo para conformação a frio de rodas de aço.  
Aço: AISI D2 (BRASIMET)

As partículas aderidas, à medida que o trabalho de conformação prossegue, vão aumentando de tamanho, até que, à partir de um tamanho crítico, se “destacam”, ou são “arrancadas”, levando consigo parte do substrato. O resultado é o desgaste da ferramenta.

A partícula “arrancada” pode, e em geral é o que acontece, tornar-se uma partícula “abrasiva”, que contribui para provocar riscos na ferramenta, e também no produto.

Em condições ditas normais, ou seja, chapas relativamente finas, isentas de rebarbas nas bordas, e com área de contato elevada, significando uma baixa compressão específica, revestimentos do tipo formado pelo processo PVD (PHYSICAL VAPOUR DEPOSITION), são suficientes para fornecer uma boa proteção, seja pelo efeito de evitar que as partículas da chapa adiram à superfície da ferramenta (promovido pelo baixo coeficiente de atrito e pela natureza cerâmica desse tipo de camada), seja pela naturalmente elevada resistência à riscamento.

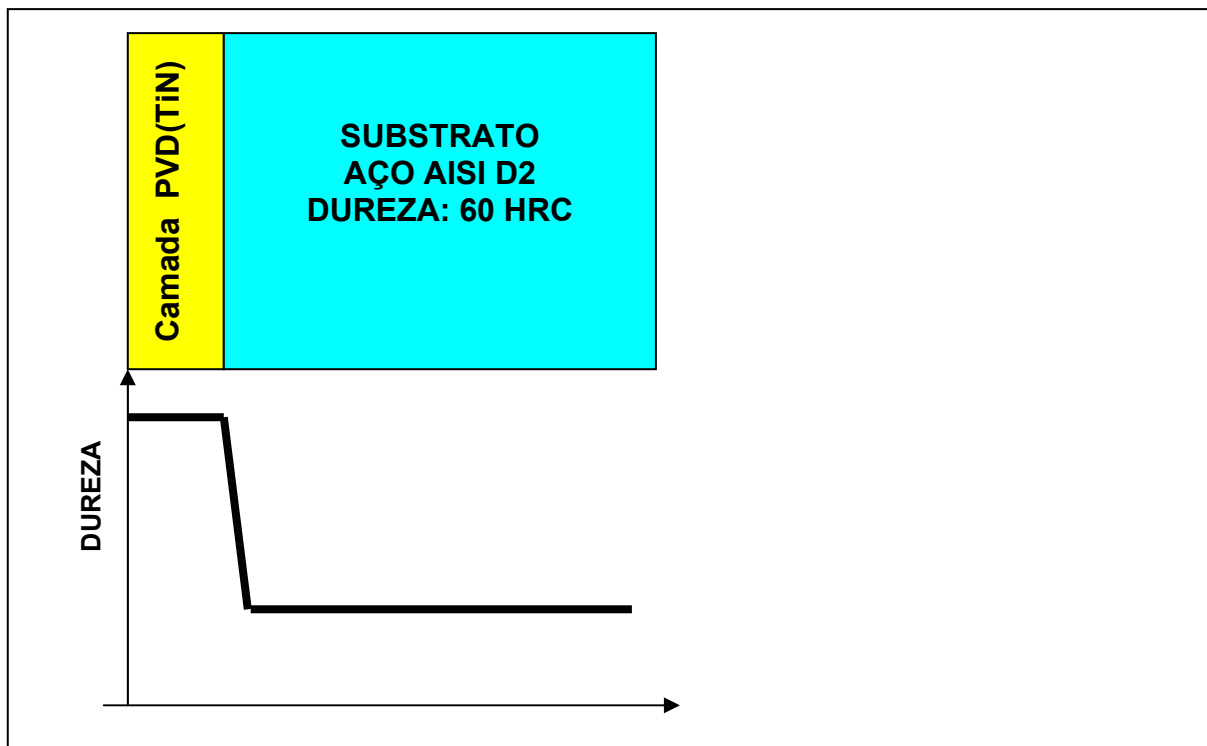
Em muitas situações, até mesmo os processo de nitretação, usualmente de menor resistência a desgaste que os filmes PVD tem tido sucesso prático.

Entretanto, nos casos mais críticos, em que o produto exige chapas grossas (acima de 7,0 mm), cargas elevadas (dobras de ângulo mais agudo), maior resistência mecânica (no caso de chapas para, por exemplo, rodas para caminhões e/ou tratores), e principalmente, quando a chapa apresenta rebarbas ou mesmo nos casos em que há impacto da borda da chapa diretamente na ferramenta, filmes finos como o proporcionado pelo PVD ou mesmo camadas nitretadas não são suficientes, via de regra sendo “arrancadas” logo no início do trabalho.

Uma das causas para a baixa eficiência de camadas simples nos casos citados, está na baixa dureza do substrato, gerando uma sustentação insuficiente para a camada superficial (dura e delgada). Assim, ao ser submetida à altas cargas de solicitação, o substrato deforma-se, levando consigo a camada superficial e causando o seu deslocamento.

Um outro fator importante é a própria dureza do substrato. Ao ser submetida a esforços elevados, a camada tende a ser arrancada. Um substrato com dureza insuficiente não “ancora” a camada facilitando assim, sua remoção, e conseqüente desgaste da ferramenta.

Em geral, para aplicações de conformação a frio de chapas de aço, o aço utilizado na ferramenta é o AISI D2 ou similar, temperado para durezas da ordem de 60 HRC. Uma camada de TiN formada por PVD tem durezas da ordem de 2500 HV, com espessuras não maiores que 2,0  $\mu\text{m}$  (Figura 2)



**Figura 2.** Representação esquemática de uma ferramenta com a camada e o substrato como indicados. Observe a queda abrupta da dureza.

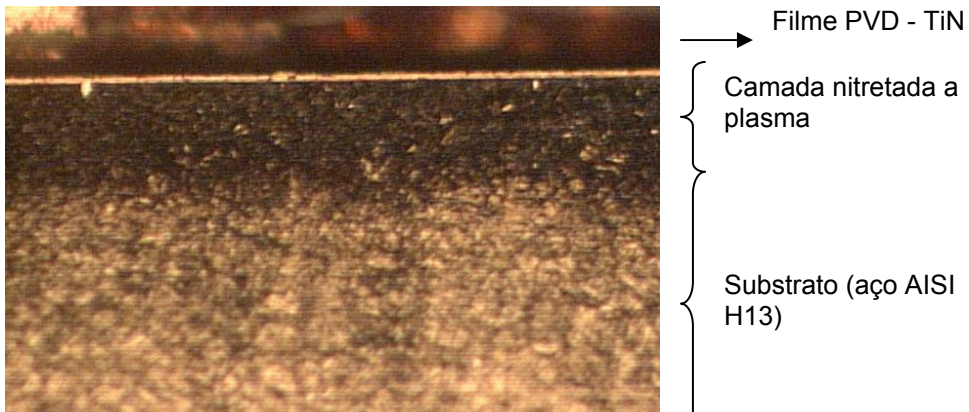
Um simples aumento da dureza do substrato, mecanicamente poderia ser a solução, mas na prática, se mostra impensável, uma vez que um aumento de dureza vem acompanhado de uma redução drástica na tenacidade do aço, favorecendo a formação de trincas e lascamentos.

## 2 PROCESSO DUPLEX

Uma vez que, simplesmente aumentar a dureza do substrato não é possível, a solução lógica é introduzir uma outra camada, que tenha dureza mais elevada que o substrato e, ao mesmo tempo, mais baixa que a camada PVD.

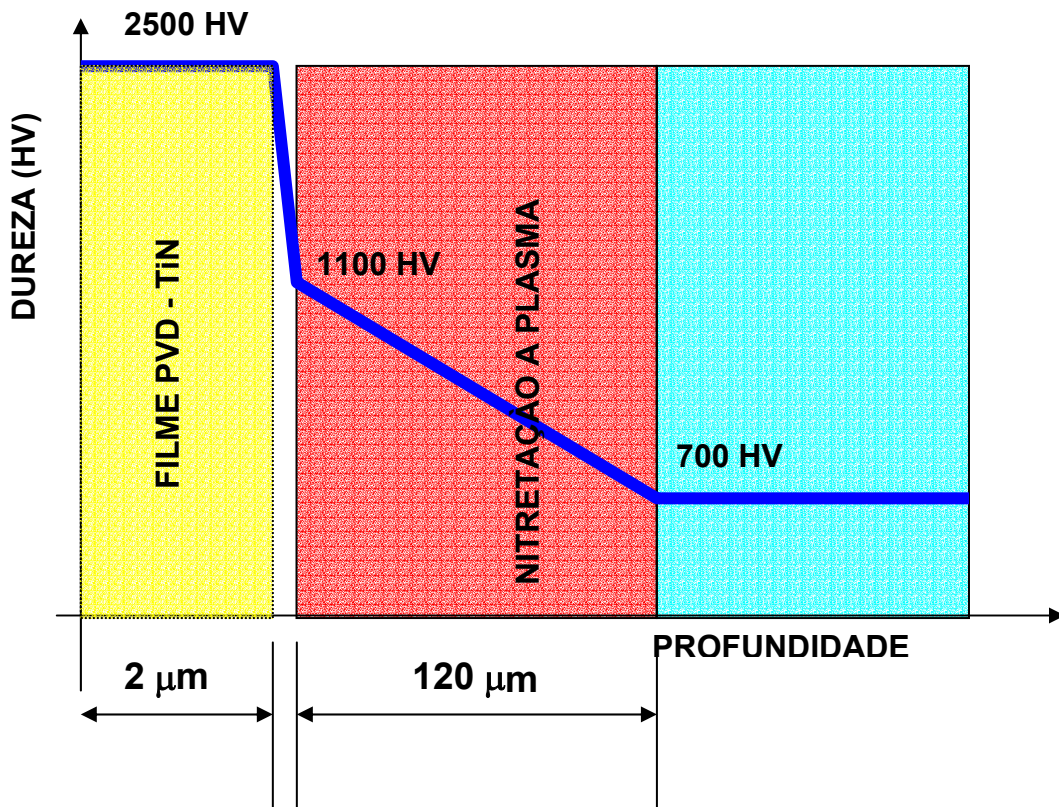
A melhor opção para essa camada, é a formada pela NITRETAÇÃO A PLASMA, por motivos que vão ser discutidos adiante.

A Figura 3 ilustra a micrografia da camada DUPLEX, constituída do substrato (no caso, um aço AISI H13), a camada nitretada, e, mais adjacente à superfície, a camada formada por PVD.



**Figura 3.** Micrografia da camada DUPLEX – filme PVD – TiN sobre camada nitretada.  
 Açó do substrato: AISI H13 temperado para 50 HRC  
 Camada nitretada – somente difusão – dureza máxima 1200 HV  
 Filme PVD – TiN – 2500 HV  
 (BRASIMET)

A Figura 4 ilustra, esquematicamente o perfil de durezas encontrado.



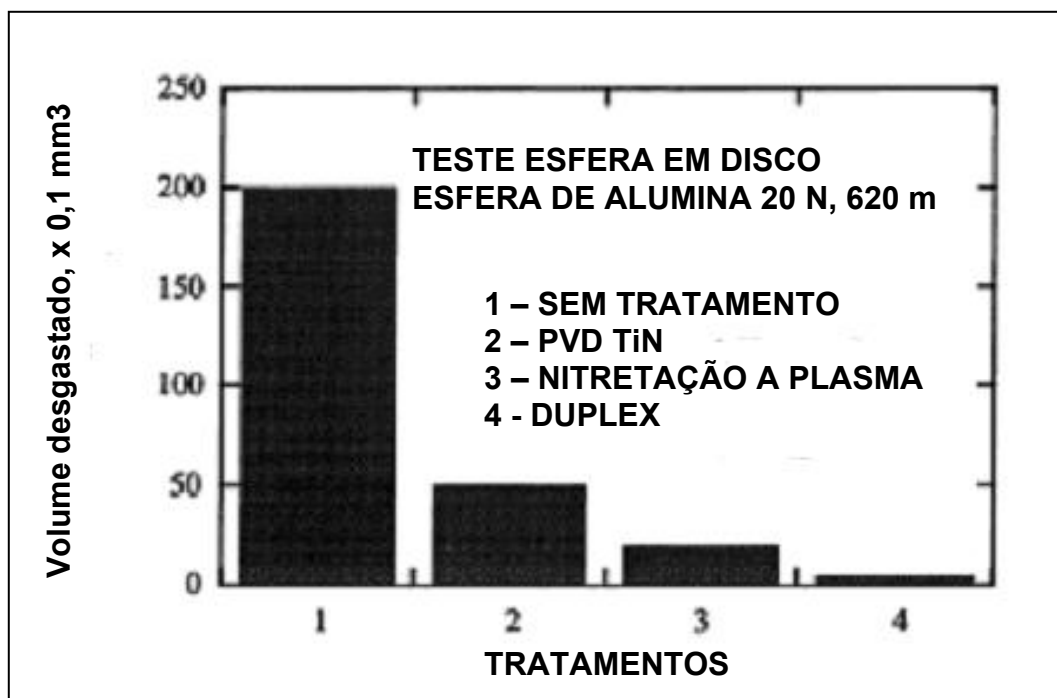
**Figura 4.** Representação esquemática do perfil de durezas encontrado na micrografia da fig 3 (BRASIMET)

Alguns destaques:

1. A camada de nitretação a plasma, proporciona uma queda mais suave da dureza do que na situação de camada simples (Figura 2);
2. A aderência do filme PVD é substancialmente maior nesse caso, devido à maior dureza do substrato adjacente.

Dong, Sun e Bell <sup>(1)</sup> realizaram um estudo no qual comparam o desgaste de um determinado componente (aço En40B). Este componente foi submetido às seguintes condições: 1) Sem tratamento, 2) Revestido com filme PVD de Nitreto de Titânio, 3) Nitretado a Plasma e 4) Submetido ao tratamento Duplex (Nitretação a Plasma mais revestimento PVD de TiN). Aqui puderam constatar que o tratamento duplex apresentou um desgaste menor (Figura 5) quando comparado com outros tratamentos sob mesmas condições.

Uma série de resultados experimentais <sup>(2)</sup> mostram que o endurecimento do substrato, obtido pela camada de difusão da nitretação, permite um maior suporte de carregamento do sistema, uma maior resistência a fadiga térmica, bem como uma melhor aderência do filme depositado posteriormente. Vale ressaltar que para que ocorra uma melhor aderência entre a camada nitretada e o filme depositado, é necessário que se tenha um bom controle de processo de nitretação a plasma, de modo que o processo de nitretação não favoreça a formação da camada de compostos. <sup>(2)</sup>



**Figura 5.** Resultados do ensaio de desgaste comparando quatro tipos de superfícies. <sup>(1)</sup>

Por ser frágil e não proporcionar boa aderência à camada PVD posterior, a camada de compostos, característica dos processos de nitretação, **NECESSÁRIAMENTE** deve ser eliminada.

Processos de nitretação a gás podem, a priori ser utilizados, mas devido às dificuldades em remover a camada de compostos, seja mecanicamente, seja termicamente, é altamente recomendável que seja utilizado o processo a

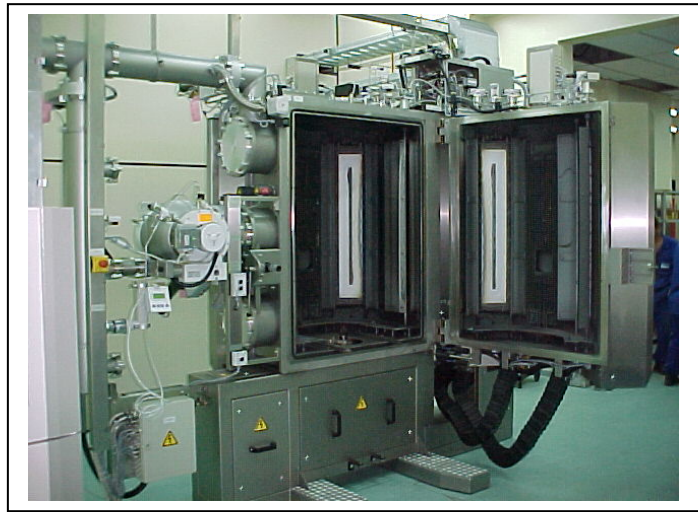
plasma, o qual, com parâmetros de processo devidamente controlados, resulta uma camada nitretada completamente isenta de camada de compostos.

Processos de nitretação em banho de sais fundidos devem ser evitados, não só devido às naturais dificuldades de eliminação da camada de compostos, mas também devido à introdução de porosidades na camada, as quais podem prejudicar a aderência da camada PVD posterior.

O filme PVD a ser aplicado, a priori, pode ser de qualquer tipo. Como exemplos, podem-se citar camadas TiN, CrN, TiCN, multi-camadas e quaisquer outras usualmente utilizadas para prevenir desgaste. A escolha da camada, deve ter como critério a aplicação da ferramenta. As Figuras 6 A e 6B ilustram alguns tipos de equipamentos utilizados no processo.



**Figura 6 A.** Equipamento de nitretação a plasma (BRASIMET)



**Figura 6B.** Equipamento para Revestimento PVD (BRASIMET)

### 3 CARACTERÍSTICAS DO PROCESSO

#### 3.1 Preparação do Substrato

- Ferramentas para conformação a frio de chapas, em geral usam aços ferramenta do tipo AISI D2 ou similares;
- O tratamento térmico de tempera deve ser tal que imponha o menor dano possível à superfície. Assim, banhos de sais fundidos devem ser evitados, principalmente por existir a possibilidade de deixarem resíduos de sais em áreas não retificadas posteriormente à tempera, os quais podem prejudicar os processos de nitretação a plasma e PVD posteriores. A dureza deve ser ajustada em função da aplicação da ferramenta;
- A resistência à desgaste de qualquer filme fino é grandemente influenciada pela qualidade da superfície. Recomenda-se alto polimento, particularmente na área de trabalho da ferramenta;

- Todos os cuidados usuais par aplicação de revestimentos PVD devem ser mantidos.

### **3.2 Nitretação**

- O processo de nitretação a plasma deve ter os parâmetros de processo cuidadosamente ajustados, de modo a resultar uma camada uniforme, sem variações de dureza na superfície e completamente ISENTA de camada de compostos, ao menos na área de trabalho;
- A superfície deve estar polida, e completamente limpa;
- O processo dura aproximadamente 12 a 14 horas, e é conduzido a temperaturas que variam de 480 °C a 520 °C, a depender do tipo de aço do substrato.

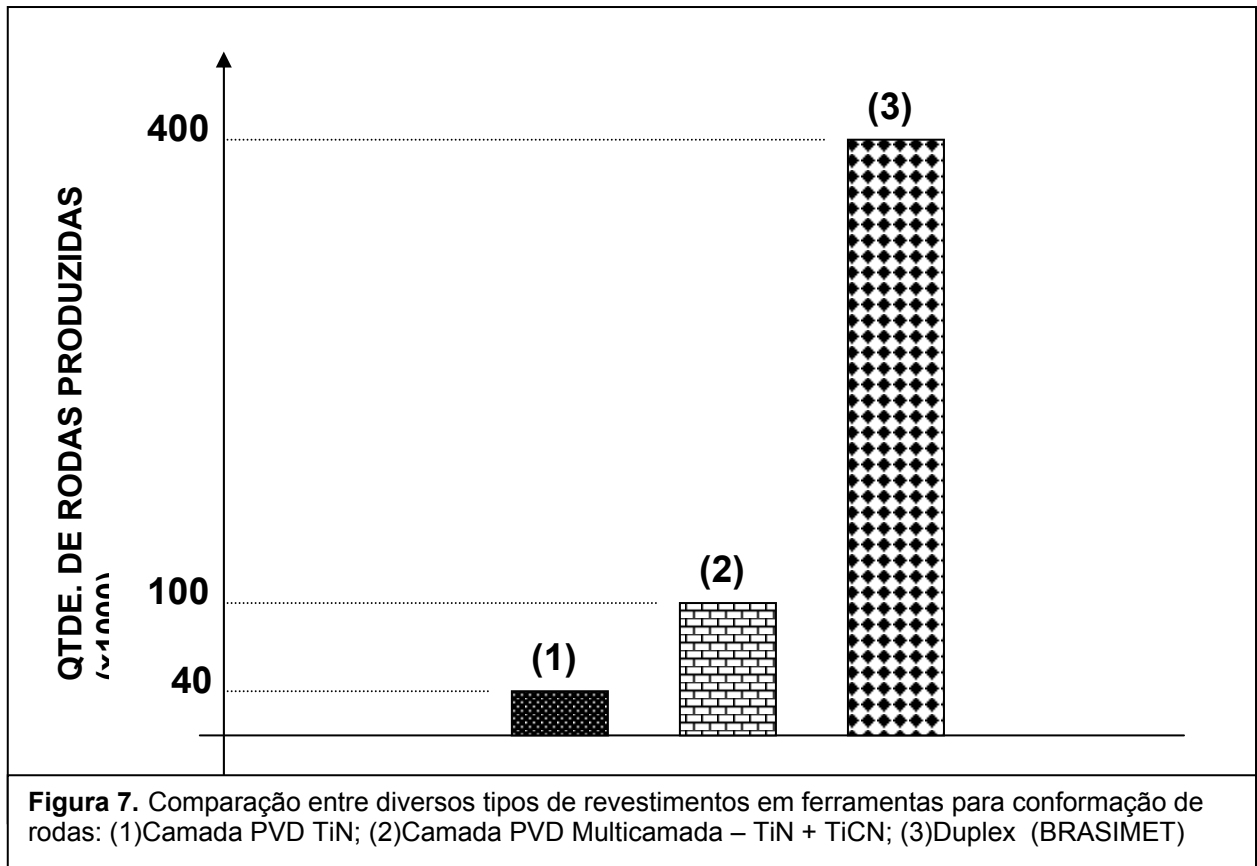
### **3.3 Revestimento PVD**

- O tratamento em geral é feito imediatamente após a nitretação a plasma;
- A superfície deve ser bem preparada, limpa e polida, visando a melhor aderência possível da camada PVD;
- O processo é conduzido à temperaturas em torno de 500 oC, por tempos que variam de 9 a 14 horas.

## **4 ESTUDO DE CASO**

- Tipo de Ferramenta: ANEL DE CONFORMAÇÃO DE RODAS DE AUTOMÓVEL.
- Aço: AISI D2
- Tempera: ferramenta temperada para dureza de 60/62 HRC, em forno a vácuo.
- Nitretação a Plasma: temperatura de 500 oC, camada resultante de 120 µm, com dureza superficial de 1100 HV completamente isenta de camada de compostos.
- Revestimento PVD: camada de TiCN, com 2 µm de espessura e dureza de 2800 HV.

A Figura 7 ilustra graficamente os resultados:



## 5 CONCLUSÃO

Além da conformação a frio de aços, o processo DUPLEX pode apresentar excelentes resultados em diversos outros tipos de processos industriais, como injeção de alumínio, compactação de pós e conformação a quente.

É importante observar o tipo de processo em questão, as solicitações envolvidas, e, principalmente, ter um histórico de uso de tratamentos de superfície diversos, para um comparativo de custo/benefício, uma vez que, por ser um processo complexo, que envolve, além de dois tipos distintos de tratamento de superfície, uma preparação extremamente cuidadosa, demanda maior tempo de processamento além de custos mais elevados.

## Agradecimentos

Os autores expressam agradecimentos à HAYES LEMMERTZ pela importante contribuição prática, e à Engenharia da Divisão PVD da BRASIMET COM.IND.S.A..

## REFERÊNCIAS

- 1 DONG, H., SUN, Y., BELL, T. Enhanced corrosion resistance of duplex coatings. **Surface & Coatings Technology**, v. 90, n.1-2, p. 91-101, Mar. 1997.
- 2 ARRUDA, A. C. São Paulo : Brasmet, 2003. (Publicação interna)



# DUPLEX PROCESSO FOR COLD WORK TOOS AND DIES<sup>1</sup>

Shun Yoshida<sup>2</sup>  
Antonio Carlos Arruda<sup>3</sup>

## Abstract

Cold work process, regarding work parts thickness, surface quality and mechanical resistance, can submit the tools and dies to high abrasive wear, and, consequently premature failure, and/or producing low quality parts. In such situation, thin films, made by PVD processes or nitriding process cannot be effective to avoid low life of the tools and dies due their low resistance under abrasive stresses. The present paper will discuss about DUPLEX process, defined like a double pack layer, with plasma nitrided core, and PVD coating, forming a higher abrasive wear resistance than single PVD or nitrided layers.

**Key words:** Plasma nitriding; PVD coatings; Abrasive wear.

<sup>1</sup> Paper presented at 4 th. TOOLS, MOLDS AND DIES PRODUCING CHAIN CONFERENCE, held in Joinville, MAI/2006.

<sup>2</sup> Metalúrgica Engineer, Coordinator of Tools and Dies Heat Treatment Shop, Brasimet Com. Ind. S.A.

<sup>3</sup> Materials Technologist, M.Sc., and Product Engineer, Brasimet Com. Ind. S.A.