

# APLICAÇÕES INDUSTRIAIS EM MOLDES E MATRIZES DA TECNOLOGIA DE RECOBRIMENTOS PaCVD<sup>1</sup>

ROBERT NÖBAUER<sup>2</sup>

## Resumo

O objetivo do presente trabalho é demonstrar o ganho obtido em produtividade com moldes e matrizes, recobertos (também: revestidos) através de processos efetuados em equipamento PaCVD (plasma-assisted chemical vapor deposition).

**Palavras-chave:** PaCVD, recobrimento, nitretação, ferramentas

<sup>1</sup> 4º ENCONTRO DA CADEIA DE FERRAMENTAS, MOLDES E MATRIZES, ABM 21 A 24 DE MARÇO 2006, JOINVILLE – SC

<sup>2</sup> ENGENHEIRO DE MATERIAIS, MESTRE, GERENTE DE RELAÇÕES TÉCNICAS COM CLIENTES DA FIRMA RÜBIG – WELS – AUSTRIA

## **1. INTRODUÇÃO**

Recobrimentos duros por deposição de camadas na superfície de ferramentas (também chamadas de revestimentos) se caracterizam pela sua excepcional dureza, excelente resistência química e baixo coeficiente de atrito. A utilização destas camadas tornou-se padrão ultimamente em diversos setores industriais. São largamente utilizadas para aumentar a vida útil de ferramentas de corte, estampagem e conformação de metais, bem como de moldes usados na indústria de injeção de alumínio e de plástico, entre outros. Estas camadas podem ser produzidas utilizando diferentes processos, como vemos:

### **CVD – CHEMICAL VAPOR DEPOSITION**

Neste processo convencional, a camada é formada pela dissociação de materiais gasosos sobre a superfície aquecida da peça a ser tratada. Este processo permite a produção de películas homogêneas, mesmo em peças de grande porte e com geometrias complexas. A temperatura de trabalho entretanto se situa entre 800 a 1200°C, bastante superior à temperatura de revenimento de aços ferramenta, tornando inviável sua utilização nestes casos. Esta temperatura se faz necessária pois a reação química ocorre quando o gás se dissocia em contato com a superfície da peça, gerando a camada desejada.

### **PVD – PHYSICAL VAPOR DEPOSITION**

Neste processo o elemento metálico necessário para a construção da camada, como por exemplo o Titânio, é colocado fisicamente dentro da câmara de recobrimento. Estas peças metálicas, também chamadas de targets, são posicionadas em lugares pré-determinados e são transformadas para o estado gasoso através do bombardeio por íons ou eletronicamente. Para obter um recobrimento homogêneo de camada se torna necessário movimentar, respectivamente rotar a peça dentro da câmara. O processo ocorre a temperaturas baixas, de até 400°C.

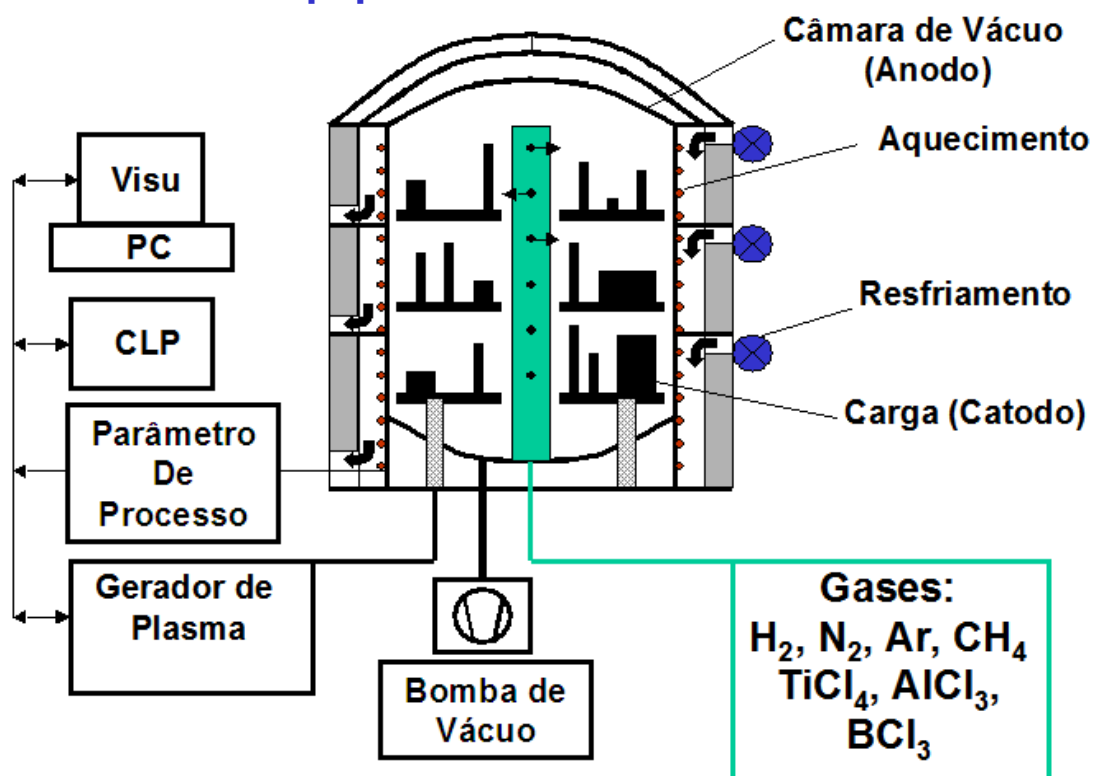
### **PaCVD – PLASMA-ASSISTED CHEMICAL VAPOR DEPOSITION**

Neste processo todos os elementos necessários para a obtenção da camada são introduzidas em forma gasosa no reator. Sob uma pressão de poucos mbar é iniciada a ignição do processo com plasma. Pela passagem da corrente elétrica no gás são deflagradas reações químicas sendo geradas partículas eletricamente carregadas (íons) que são atraídas para a ferramenta. Através de ajustes de parâmetros específicos no equipamento estas reações ocasionam a formação das camadas desejadas sobre a superfície da peça.

## **2. PROCESSO E EQUIPAMENTO DE RECOBRIMENTO PaCVD**

De certa forma o processo PaCVD combina as vantagens dos outros dois processos mencionados acima. O processo acontece em um equipamento como demonstrado esquematicamente na figura 1.

## Equipamento PaCVD



**FIGURA 1:** DESENHO ESQUEMÁTICO DE FORNO DE NITRETAÇÃO POR PLASMA E PROCESSO PaCVD

O equipamento consiste basicamente de um forno de nitretação por plasma pulsado. O aquecimento é efetuado através de resistências dispostas ao redor da câmara de carga. Também ao redor desta câmara estão instalados os ventiladores de resfriamento, que combinados com o sistema de aquecimento permitem obter variações muito pequenas de temperatura, ao redor de  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ . Todos os parâmetros de processo tais como fluxo de gás, aquecimento, voltagem, duração dos pulsos, pressão são controlados a um PLC que por sua vez é conectado a um PC-comercial em que são armazenados todos os dados de produção e/ou comunicação e aquisição de dados.

Em função da tecnologia “warm wall”, é obtida uma eficiência maior entre a transferência de calor com menor custo de energia.

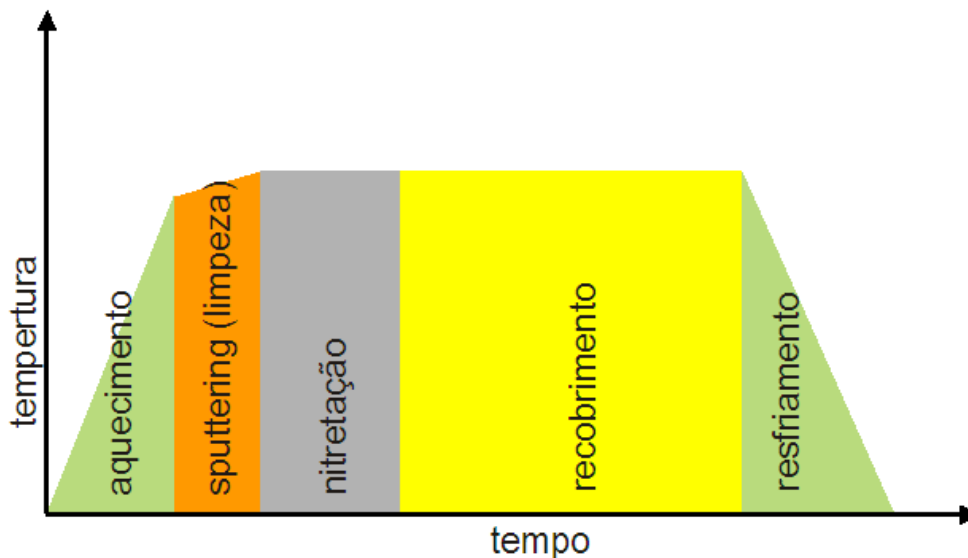
Com o plasma gerado na fase vapor, as temperaturas de processo giram ao redor de até  $500^{\circ}\text{C}$ . Isto significa que as microestruturas do material da carga permanecem intactas, podendo ser tratados aços dos mais diversos tipos sem provocar deformações ou distorções. O recobrimento das peças que compõe a carga é homogêneo mesmo nos casos de geometria complexa.

Em processo, a carga no equipamento PaCVD permanece estática, não necessitando ser rotada dentro do equipamento. Isto facilita assim seu

manuseio e possibilita o tratamento de peças de grande porte ou de geometria complexa.

Outra das vantagens deste processo é a possibilidade de proceder a limpeza da peça através de “sputtering” (vaporização) imediatamente antes do início do recobrimento. O resultado é a atomização dos resíduos, uma vez que a reação química do gás ativado transforma as impurezas em compostos voláteis.

Também a possibilidade de efetuar nitretação no mesmo equipamento deve ser mencionada, em processo denominado “Duplex”, conforme demonstrado na figura 2. Uma vez que as camadas de recobrimento em geral apresentam espessuras de apenas alguns microns, existe o perigo de ruptura caso forem depositadas em substratos relativamente moles. A nitretação difunde nitrogênio na superfície da peça aumentando a dureza. Com isto a camada de difusão com algumas centenas de microns de espessura concede suporte à fina camada dura do recobrimento.



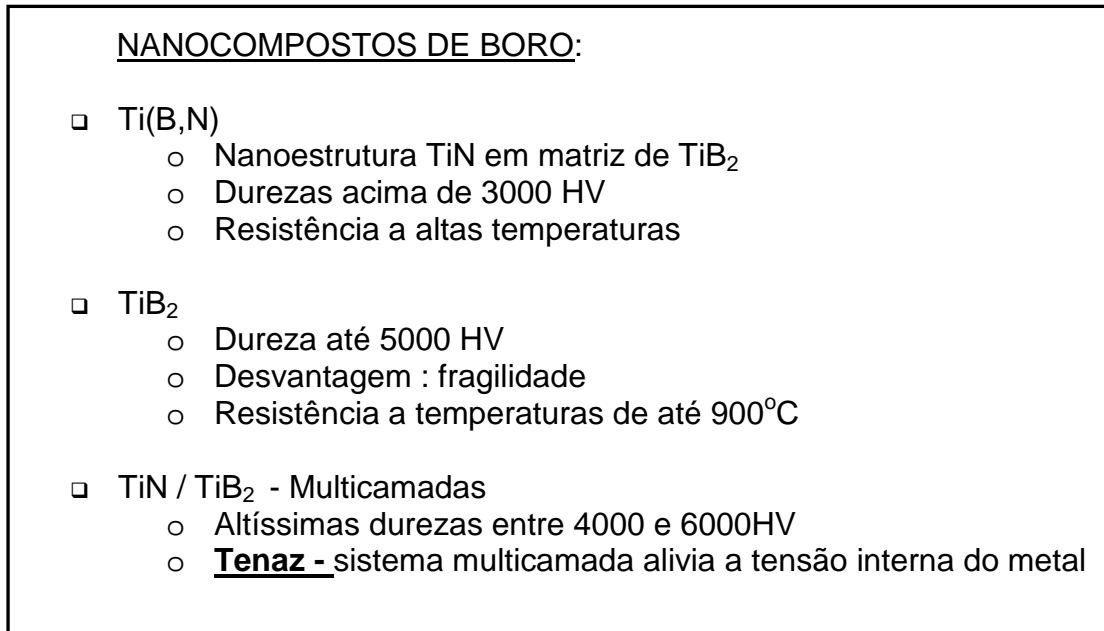
**FIGURA 2:** PROCESSO PaCVD DUPLEX COM LIMPEZA E NITRETAÇÃO  
*Fonte: Catálogo RÜBIG: PLASTIT, PaCVD PLANTS FOR HARD COATING (4)*

Através da mistura de gases introduzidas no equipamento PaCVD são obtidas as condicionantes para os diferentes tipos de camadas. Os gases utilizados nos processos de recobrimento e também de nitretação dentro do mesmo equipamento PaCVD podem ser:

- Na limpeza com plasma (sputtering) – Ar, N<sub>2</sub>,
- Na Nitretação com plasma – N<sub>2</sub>, Ar, H<sub>2</sub>
- No recobrimento PaCVD - Ar, TiCl<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, BCl<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, AlCl<sub>3</sub>, etc

Para obter as melhores características das camadas com o processo PaCVD, foi desenvolvido e patenteado o método “PLASTIT” pela Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa RÜBIG ENGINEERING, da Áustria.

Lugmair e outros (1) mencionam os atuais desenvolvimentos de aplicações PaCVD por parte de pesquisadores do MCL – Materials Center Leoben de Leoben / Áustria, do Department of Physycal Metallurgy and Materials Testing - University of Leoben / Áustria e de técnicos da empresa RÜBIG / Áustria obtendo resultados expressivos em novas tecnologias de recobrimento tais como mostrados na figura 3:



**FIGURA 3:** APLICAÇÕES PaCVD COM BORO E MULTICAMADA

O sistema multicamada é obtido em equipamento PaCVD pela variação da composição dos gases introduzidos no forno durante o período de realização de um único processo de recobrimento. Vantagens deste processo:

- Combinações das propriedades de cada camada aplicada
- Redução de rugosidade superficial
- Redução da tensão residual de origem térmica
- Aumento da dureza
- Aumento da resistência química

Recobrimentos em geral são candidatos promissores para limitações ou até substituições de lubrificantes com restrições quanto ao meio ambiente quando utilizados em ferramentas ou componentes de engenharia sujeitos a contato por deslizamento. Várias pesquisas com novos recobrimentos foram realizados nos últimos tempos, mas quase sempre aparecem restrições quanto à adesão, dureza ou em relação a fragilidade como cobertura protetiva. Por esta razão as pesquisas foram direcionadas no sentido de se obter coberturas que combinem fases auto-lubrificantes com materiais resistentes ao desgaste. Stoiber e outros (2) dizem que em pesquisas utilizando o processo PaCVD com coberturas T N os coeficientes de fricção caem para valores abaixo de 0.17, enquanto que no processo PVD as literaturas comerciais reportam valores entre 0.4 a 0.8.

### 3. APLICAÇÕES

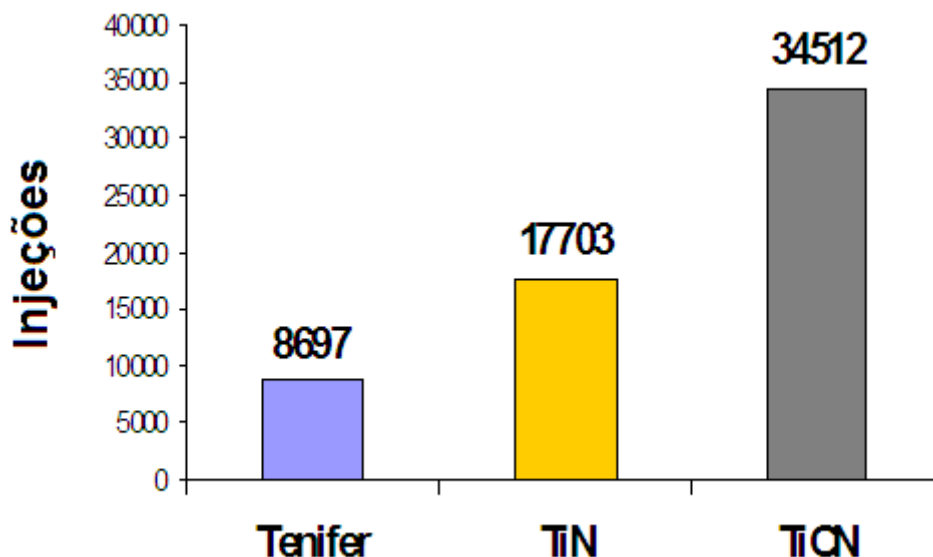
#### 3.1 MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

O processo de injeção de alumínio é atualmente empregado na fabricação de peças com grande número de unidades, nas indústrias dos mais diferentes setores dos quais queremos notadamente frisar o automobilístico.

Neste processo as tensões originadas pelas extremas alterações de temperatura levam a fadiga do material do molde e eventualmente à formação de trincas. Aliado a isto, ligas de alumínio quimicamente agressivas levam frequentemente à corrosão do ferramental.

Importante notar que no processo PaCVD a suscetibilidade de trincas pode ser substancialmente reduzida pela nitretação por plasma unicamente. A camada dura posteriormente aplicada em um sistema denominado duplex serve então como proteção adicional à corrosão. Um importante aspecto deste processo está no fato de que a estrutura de grãos finos particularmente densa das camadas obtidas no processo PaCVD, resultam numa eficiente proteção ao aço do molde.

A figura 4 resume os resultados obtidos em testes efetuados em centenas de núcleos de moldes de injeção de alumínio. Através do recobrimento foi possível obter um aumento do número de injeções de mais de 3 vezes sobre o resultado obtido com ferramentas unicamente nitretadas em banho de sal.

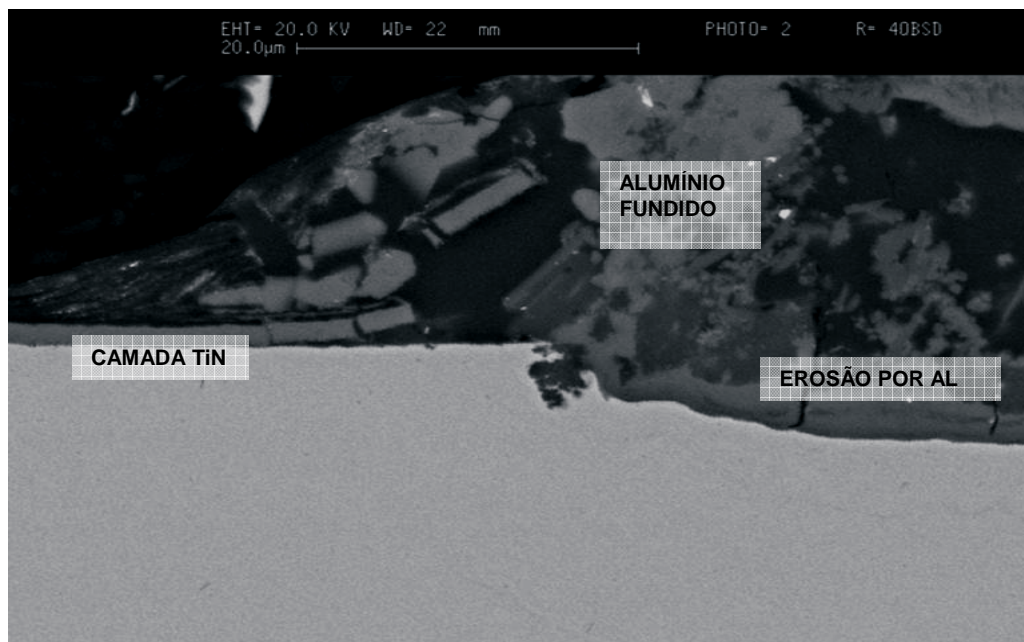


**FIGURA 4:** NUMERO DE INJEÇÕES COM RECOBRIMENTO PaCVD  
*Lugmair e outros (1) – PaCVD Hard Coatings for industrial applications*

Heim e outros (3) concluem que na utilização de moldes de injeção de alumínio tratados em PaCVD a vida útil é aumentada significativamente, sem indicação de soldagem de alumínio com a superfície do molde e sem erosão química na superfície recoberta. Mencionam que foram capazes de recobrir

moldes de 520 x 520 x 300 mm e de 200 kg de peso que foram recobertos com TiN homoganeamente.

No mesmo trabalho é apresentada a figura 5, que apresenta o corte de um núcleo de um pino que teve de ser descartado por apresentar adesão de alumínio na superfície. É fácil identificar no canto direito da figura que a camada dura se desprendeu, em função de fadiga do material base. Isto levou a uma formação de cavidade e adesão de alumínio. A camada de TiN no canto esquerdo da figura entretanto não apresenta sinais de corrosão, sendo que mesmo os fragmentos envolvidos no alumínio se apresentam intactas.



**FIGURA 5:** CORTE EM PINO DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO, DANIFICADO  
*Heim e outros (3) Hard Coatings produced by PaCVD applied to aluminium die casting*

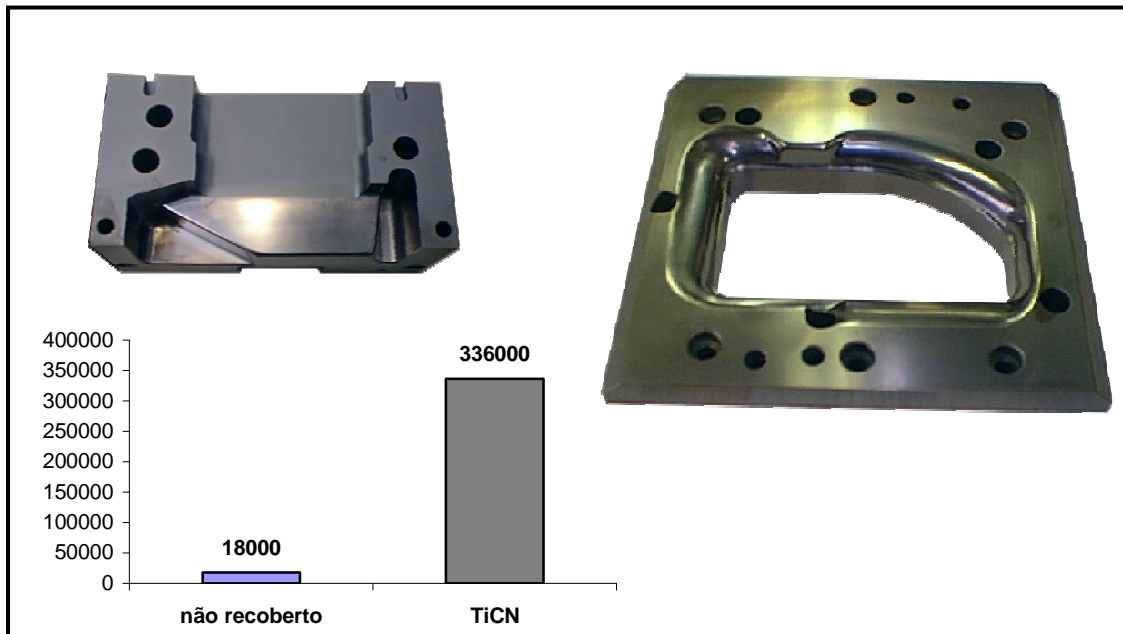
### 3.2 FERRAMENTAS DE CORTE E DOBRA DE FITAS METÁLICAS

Exemplo de caso prático, em produção obtida na empresa **MAGNA, Áustria** (figura 6):

Dados da ferramenta: Aço K110 (1.2379), temperado em 1070°C, revenido (3x) a 550°C. Superfície polida.

Material: fita metálica 2mm espessura

Antes do recobrimento: a cada 6 golpes era acionada a graxeira, com óleo USK 42. O punção produzia no máximo 18.000 peças antes de ser retrabalhado.



**FIGURA 6 : RECOBRIMENTO EM TiCN ATRAVÉS DE EQUIPAMENTO PaCVD**

Após o recobrimento com TiCN, em equipamento PaCVD: graxeira acionada a cada 13 golpes. O teste foi interrompido por término da produção em 336.000 peças. A ferramenta apresentava nos cantos pequeno desgaste, podendo ainda ser empregada em futuras produções. A utilização de lubrificantes caiu abaixo de 46%.

Lugmair e outros (1) mostram outro exemplo em seu trabalho “ PaCVD hard coatings for industrial applications, na figura 7:

**NÃO RECOBERTO:**

Lubrificação cada 20 golpes  
Polimento após 2000 golpes

**Recoberto em PaCVD Ti(C,N):  
(a 490° C ):**

Lubrificação cada 50 golpes  
Produção encerrada após 26.000 peças produzidas.

DIN 1.2379  
AISI D2

**FIGURA 7: FERRAMENTA DE CORTE E DOBRA**

Após o encerramento do teste a ferramenta da figura 5 foi novamente colocada em produção sendo produzidas no primeiro momento 20.000 e



posteriormente mais 43.000 peças, totalizando 89.000 peças sem manutenção no ferramental e sem necessidade de limpeza da prensa. Outros dados deste teste: Produção horária 500 a 520 peças. Cliente: COLOP / Áustria. Fita metálica 255 mm largura e 2mm de espessura, em rolos.

### 3.2 MOLDES E MATRIZES PARA A INDÚSTRIA DE PLÁSTICO

Exemplo: Molde de injeção de plástico da Firma ZIZALA para faróis de carros. (figura 8) Existiam problemas com formação de superfície opaca pela deposição de restos de plástico.

Molde não coberto: a cada terceiro turno era necessário desmontar e polir a ferramenta. Após recobrimento: aumento em até 7x a durabilidade da ferramenta sem necessidade de polimento.



FIGURA 8: MOLDE P/ PLÁSTICO

### 4. CONCLUSÃO

As pesquisas indicam que os recobrimentos efetuados em equipamentos PaCVD, seja pela

- ❑ baixa temperatura necessária para o processo,
- ❑ pela precipitação homogênea sobre a superfície,
- ❑ pela alta dureza e baixíssimo coeficiente de atrito apresentado,
- ❑ pela possibilidade de recobrir peças grandes e geometria complexa,
- ❑ pela possibilidade de recobrimentos duplex e multicamada,
- ❑ pela repetibilidade de processo e
- ❑ pela proteção ao meio ambiente que o processo oferece,

possibilitam afirmar que estão atualmente entre as possibilidades mais atraentes quanto a soluções feitas sob medida para aumentar a vida útil de ferramentas, moldes e matrizes.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lugmair,C.; Kullmer,R.; Nöbauer,R.; Müller,Th.; Mitterer,C.; Stoiber,M.; Badisch,E. – PaCVD Hard coatings for industrial applications, Surface & Coatings Technology, 2004
2. Stoiber,M.; Badish,E.; Lugmair,C.; Mitterer,C.; - Low-friction T N coatings deposited by PACVD , Surface & Coatings Technology, 2002
3. Heim,D.; Holler,F.; Mitterer,C. – Hard coatings produced by PaCVD applied to aluminium die casting - Surface & Coatings Technology, 1999
4. RÜBIG ENGINEERING, catálogo comercial: PLASTIT – PaCVD plants for hard coating