

# MELHORA NA VIDA DE FERRAMENTAS DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE ALUMÍNIO COM REVESTIMENTO PVD<sup>1</sup>

*Eros de Araújo Neto<sup>2</sup>*

## **Resumo**

O objetivo é ilustrar, através de casos, os ganhos conseguidos pelo revestimento dos moldes metálicos para a injeção de alumínio, sob pressão através do processo PVD (Physical Vapor Deposition) por PEMS (Plasma Enhanced Magnetron Sputtering). As melhoras não foram somente na vida das ferramentas, mas também na produtividade, pela diminuição da ocorrência de defeitos nas peças e nos moldes, beneficiando a qualidade e provocando menos paradas para manutenção. O trabalho também apresenta casos comparativos com outros tratamentos e revestimentos por PVD. São discriminadas as principais influências na vida dos moldes e como pode-se combater as causas.

**Palavras-chave:** Injeção de alumínio; Moldes; PVD; Revestimentos.

<sup>1</sup> Contribuição apresentada durante o 3<sup>o</sup> Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, promovido pela ABM, entre 10 e 12 de agosto de 2005, em São Paulo / SP.

<sup>2</sup> *Engenheiro metalurgista , Gerente Comercial da HEF do Brasil Industrial Ltda. – [eros@hef.com.br](mailto:eros@hef.com.br) - (11) 4056-4433*

## **1 INTRODUÇÃO**

O processo de fundição sob pressão de alumínio exige que o ferramental (moldes, matrizes e seus componentes) suporte enormes esforços, fazendo com que especial atenção seja dada à fabricação, para que a sua vida atinja com folga os valores estipulados e, muitas vezes, superá-los.

Os aspectos constantes da construção de uma ferramenta, todos eles de grande importância, são o projeto, o material, o processo de fabricação e os tratamentos térmicos e superficiais, baseados entre outros, no projeto da peça final, no processo de injeção e na vida esperada da ferramenta.

A vida da matriz ou molde de injeção é determinada pelo tempo de produção, em ritmo normal, de peças com ausência de defeitos, sejam eles superficiais, dimensionais, internos, estruturais ou decorrentes, como rebarbas, sobras de material, etc.

Seguindo o conceito acima, quando são necessárias alterações nos parâmetros do processo, como aumento da pressão de injeção (para compensar maior aderência do material na matriz), considera-se que o ritmo normal de produção foi alterado.

Outro ponto a destacar são as pequenas manutenções necessárias, como limpeza do material aderido a ferramenta, que prejudicam a produtividade, devido ao tempo parado.

Na realidade, o que as empresas buscam sempre é manter-se competitivas, aumentando a produção, por meio de:

- Diminuição dos tempos de ciclo de processo
- Aumento da vida útil das ferramentas
- Eliminação de paradas para correção de defeitos, limpeza ou substituições de componentes.
- Não utilização de desmoldantes, lubrificantes ou refrigerantes.
- Facilidades de troca, ajustes e manutenção.

Diante dessas considerações, a qualidade do molde ou matriz é de fundamental importância para ganhos de produtividade. Este deve suportar, pelo maior tempo possível, os esforços estruturais envolvidos pelas pressões de fechamento e de injeção, sob diferentes condições, os esforços físico-químicos devidos as agressões superficiais e as variações térmicas.

## **2 ANÁLISE DOS FATORES ENVOLVIDOS NOS MOLDES**

A resistência estrutural que o molde suportar é determinada pelo projeto, assegurado pelo aço utilizado e pelos tratamentos térmicos e/ou superficiais utilizados.

Para o processo de injeção de alumínio sob pressão, os fabricantes de aços tem desenvolvido, continuamente, melhores materiais, incrementando as propriedades

mecânicas, como a resistência (limite de escoamento), a ductilidade e a fluência, resistindo e absorvendo as tensões oriundas do processo (mecânicas e térmicas).

As tensões térmicas criadas na superfície do molde pela alternância de temperatura durante o ciclo de injeção dão origem às chamadas trincas térmicas, pois o material não consegue absorver essas tensões e, estas superando o limite de escoamento, na temperatura de trabalho, dão início às trincas.

Conforme citado anteriormente, os moldes também estão sujeitos a outras agressões e podemos citar como principais agressões sofridas por eles:

- O desgaste abrasivo entre o alumínio fundido e o molde, notadamente nos casos de ligas de alumínio com maior conteúdo de silício (> 13%);
- O desgaste adesivo, devido à “afinidade” do alumínio com o aço;
- O desgaste químico, devido à corrosão intergranular pela difusão de alumínio no aço;
- O desgaste das partes móveis do molde, devido ao contato metal / metal

Nos moldes, as regiões das cavidades em frente à entrada do metal líquido são aqueles que mais sofrem com os desgastes abrasivo e químico, tornando-se um ponto crítico na determinação da vida das ferramentas. Muitos projetos prevêm a colocação de insertos nessa zona para aumentar a vida do molde pela substituição somente desta parte.

As peças móveis, como gavetas e pinos estão sujeitas, além dos desgastes sofridos pelas outras áreas, ao desgaste metal / metal, abrasivo, adesivo e químico.

Além da consideração da vida útil do molde e seus componentes, afetados grandemente pelos mecanismos de fadiga, desgaste e corrosão, outros parâmetros têm também grande importância na parcela do desempenho do molde em serviço, visando a produtividade.

Assim por exemplo, a velocidade e taxa de escoamento de um material num molde são, geralmente, inversamente proporcionais ao valor do coeficiente de fricção observado entre o material do molde e a superfície da peça moldada. Uma das conseqüências deste parâmetro é evidente, pois condiciona diretamente a duração da fase de escoamento na moldagem, influenciando desta forma, no tempo da moldagem e agindo diretamente nos custos da operação de transformação.

Também muito importantes, são as interações físico-químicas eventuais entre a superfície da parte moldante e os materiais moldados. Estas interações podem ser responsáveis pelos fenômenos ditos de “incrustação”.

Sobre estes casos, a ocorrência de tais fenômenos de incrustação conduzem, não somente ao aumento dos esforços de desmoldagem, mas também a uma degradação na qualidade dos produtos moldados. Como também é sabida, esta incrustação necessita de limpezas periódicas das superfícies dos moldes, geralmente através da diluição química em um banho alcalino ou por meio mecânico como, por exemplo, micro-jateamento, impondo que:

- O material de construção do molde ou o revestimento sejam inertes quimicamente perante os materiais de limpeza utilizados, protegendo o molde.
- A superfície do molde seja suficientemente resistente (dura), para não se degradar com os meios abrasivos utilizados.

Tanto num caso como no outro, essas operações de manutenção necessitam de uma parada momentânea da produção, com repercussões diretas sobre os custos.

Frente ao relatado, as empresas buscaram nas tecnologias de tratamentos de superfície uma resposta essencial para resolver os problemas de desgaste e corrosão, para melhorar o escoamento do material no molde ou para facilitar a desmoldagem dos produtos transformados e, como consequência, para melhorar a qualidade dos produtos, diminuir os tempos de operação e de manutenção, e finalmente, para otimizar os custos de transformação dos materiais moldados.

Dentre os tratamentos mais tradicionalmente utilizados nos moldes para melhorar o desempenho das ferramentas e do processo, estão a nitretação, com camadas de características normais (camada de ligação e camada de difusão) e aquelas que privilegiam mais a difusão e a oxidação, ou não, após a nitretação.

### **3 PROCESSO DE REVESTIMENTO PVD PEMS (PLASMA ENHANCED MAGNETRON SPUTTERING)**

Para suplantar os ganhos conseguidos com os tratamentos superficiais, nos últimos anos assistimos ao emprego cada vez maior e mais generalizado de camadas duras, através da deposição pelos processos PVD (Physical Vapor Deposition – Deposição Física em Fase Vapor), primeiramente com o Nitreto de Titânio – TiN e, posteriormente com o Nitreto de Titânio Alumínio – TiAlN, sobre substratos nitretados ou não.

Eles tem, notadamente, a vantagem de conseguir microdurezas bastante altas, acima de 2.600 HV, de serem inertes quimicamente e de não modificarem o estado inicial da superfície do molde.

Porém, o processo de injeção sob pressão de alumínio envolve:

- Temperaturas acima dos 400 °C, que o nitreto de titânio não consegue suportar sem se degradar;
- A existência da afinidade remanescente entre o alumínio e o revestimento de nitreto de titânio-alumínio;

Outro ponto a ser considerado é que o molde é que deve absorver o calor do alumínio fundido, devendo ter o revestimento um coeficiente de transmissão de calor adequado para não prejudicar o ciclo e, como é sabido, o revestimento com nitreto de titânio-alumínio impõem uma barreira térmica, mesmo com camadas de apenas 5 micra.

Os fatos acima fizeram com que se continuasse a buscar alternativas melhores para os revestimentos por PVD, seja no processo ou na camada.

As tecnologias mais usuais de revestimento por PVD são através de arco voltaico e através de “sputtering” (pulverização). No processo a arco, os átomos de titânio, alumínio, cromo, etc., que irão compor a camada são fundidos e evaporados da fonte pela aplicação de alta energia através do arco, combinando-se com o nitrogênio insuflado na câmara, depositando-se na peça por diferença de potencial (voltagem).

No processo “sputtering” os átomos são arrancados da fonte pelo impacto de um átomo inerte de grande porte e peso (argônio), arremessado contra a fonte, e do mesmo modo combinado com o nitrogênio e depositado na peça, também pela diferença de potencial elétrico.

O caso da tecnologia a arco tem como vantagem a boa adesão da camada ao substrato, devido a alta energia envolvida no processo, porém tem as desvantagens (em relação ao processo “sputtering”) de atingir temperaturas de revestimentos mais altas e pior coeficiente de fricção. No processo a arco também existe a ocorrência de “gotas”, fazendo com que a camada apresente imperfeições e superfícies mais rugosas.

O processo “sputtering”, devido a baixa energia envolvida na tecnologia, tem as desvantagens (em relação ao processo a arco) de pior adesão da camada ao substrato e menor densidade da camada, porém com temperaturas de aplicação mais baixas e menor coeficiente de fricção.

Para manter as melhores características das camadas e do processo “sputtering”, e sanar as deficiências, foi desenvolvido e patenteado o “Processo PEMS” pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento do Groupe HEF, na França, no qual mais energia é colocada no processo, sem aumento da temperatura, conseguindo-se melhor adesão da camada ao substrato e uma maior densidade desta.

Outra vantagem do processo PEMS é que é possível o controle e o desenvolvimento de novas composições químicas das camadas, pois ao contrário do processo a arco, este não envolve fusão e evaporação de materiais que possuem diferentes características (temperaturas de fusão e de evaporação).

A partir do processo PEMS desenvolveu-se uma camada de nitreto de titânio-boro, com:

- Altíssima dureza (> 4.000 HV), conveniente para suportar os desgastes abrasivos;
- Capacidade de suportar temperaturas de até 800 °C;
- Nenhuma afinidade com o alumínio, evitando-se o desgaste adesivo;
- Resistência química, eliminando a corrosão intergranular;
- Conveniente temperatura de revestimento (250 a 300 graus);
- Baixo coeficiente de fricção;
- Alta densidade e homogeneidade.

As características acima mostraram-se extremamente atraentes para o revestimento de moldes e seus componentes para a utilização em injeção de alumínio sob pressão, que puderam ser comprovados no uso industrial, e que veremos nos exemplos a seguir.

## 4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

### 4.1 Injeção do Corpo do Atuador do Sistema de Direção Automotivo



**Figura 1.** Peça injetada e pino revestido.

Problema: Aderência do material no pino sem revestimento, dificultando a extração e por conseqüência gerando peças defeituosas.

Com o uso do revestimento de nitreto de titânio-boro por PEMS – Certess SD®, passou-se de 15.000 injeções para 100.000 injeções.

### 4.2 Injeção de Alumínio

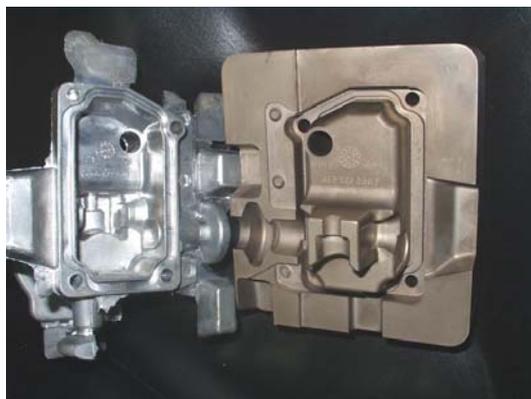
Problemas: Adesão do alumínio (“soldagem”) na ferramenta e desgaste.



**Figura 2.** Molde, macho e pinos revestidos

O revestimento do molde e de seus componentes proporcionou: adesão insignificante, alta resistência ao desgaste em temperatura e fez com que vida ferramenta fosse multiplicada por dez (x 10).

### 4.3 Injeção de Liga de Alumínio com 13% de Silício



**Figura 3.** Peça injetada e molde revestido.

Problemas: Desgastes abrasivo e adesivo.

Resultados:

- a) Nitretação: 13.000 peças + 1.000 peças, após reparo = 14.000 peças
- b) Revestimento de nitreto de titânio-alumínio por arco: 9.000 peças + 6.000 peças após 6 reparos = 15.000 peças
- c) Revestimento com nitreto de titânio-boro por PEMS: 15.000 peças sem reparos + 10.000 peças após 5 reparos = 25.000 peças.



**Figura 4.** Trincas no molde.

Problema: Trincas na região de selagem.

Resultados:

- a) Nitretação: 2.000 peças
- b) Revestimento com nitreto de titânio-alumínio por arco: 9.000 peças
- c) Revestimento com nitreto de titânio-boro por PEMS: 25.000 peças

#### **4.4 Melhor Acabamento Superficial da Peça Injetada**



**Figura 5.** Defeito na peça injetada.

Problema: Retirada do desmoldante impregnado no pino, que marca a superfície interna da peça injetada.

Com pino nitretado: limpeza diária com “Scotch Brite”

Com pino revestido: limpeza a cada três dias, com “Scotch Brite”

## 4.5 Comparativo entre os Revestimentos



Figura 6. Molde e macho de injeção revestidos.

Comparado ao revestimento com nitreto de titânio-alumínio, aplicado por PVD pelo processo a arco, o revestimento de nitreto titânio-boro, aplicado por PVD pelo processo PEMS (Certess SD) apresenta uma vida da ferramenta de 2 a 3 vezes maior.

## 5 CONCLUSÃO

Os exemplos mostram como o revestimento de nitreto de titânio-boro aplicado por PVD, pelo processo PEMS, pode aumentar significativamente a vida das ferramentas de injeção de alumínio sob pressão e proporcionar ganhos operacionais.

As análises econômicas tem mostrado que o investimento no revestimento por PEMS das ferramentas e seus componentes é superado pelos ganhos de produtividade e que as pessoas envolvidas diretamente na operação de injeção tem pleiteado a realização de tais revestimentos, pois minimizam as paradas de produção para reparos, trabalhando em melhor ritmo.

Um potencial a ser explorado é o revestimento chamado “duplex”, realizado numa mesma carga e câmara, e que consiste na nitretação a plasma, sem a formação de “camada branca”, seguida de revestimento de nitreto de titânio-boro através do processo PEMS. O equipamento e a tecnologia já estão disponíveis, mas necessita da comprovação econômica. Tecnicamente, tal sistema, com a camada nitretada de difusão, entre o aço base e o revestimento, favorece a adesão da camada e faria uma passagem mais contínua entre as partes com grande diferença de dureza (de > 4.000 para 1.000 HV).

Finalizando, esse tipo de revestimento é também é aplicado para ferramentas de corte de aço rápido ou metal duro para a usinagem de peças de alumínio, baseados nos mesmos princípios apresentados.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 Utilisation des couches PVD/PACVD dans la industries de transformation – A. Gaucher – Groupe HEF
- 2 Catálogo Certess – HEF do Brasil Industrial Ltda - 2003
- 3 Stahlschlüssel 2001 – Verlag Stahlschlüssel Wegst GMBH
- 4 Melhoria da produtividade em matrizes de fundição sob pressão – Horst Lindow – 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes – ABM / SP – Setembro 2004
- 5 Ganhos de produtividade com o revestimento de moldes por PVD – Eros de Araújo Neto e Hervé Delorme – 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes – ABM / SP – Setembro 2004.

# ALUMINIUM DIE CASTING TOOL LIFE IMPROVEMENT THROUGH PVD COATING <sup>1</sup>

*Eros de Araújo Neto* <sup>2</sup>

## **Abstract**

Aim of this paper is to show that aluminium die casting tooling life time can be improved by coating with a technique called PVD – PEMS (Plasma Vapor Deposition through Plasma Enhanced Magnetron Sputtering) and TiBN coating. Higher productivity numbers were achieved by reducing the production of faulty parts and tool maintenance works, reducing costs. This presentation covers the main influences affecting lifetime and performance of molds and dies, though some very interesting case studies.

**Key-words:** PVD; Die Casting; Coating; Aluminium Injection;

<sup>1</sup> Technical contribution presented in the 3<sup>o</sup> Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, by ABM, São Paulo / Brazil August 2005.

<sup>2</sup> Metallurgical Engineer, Commercial Manager, HEF do Brasil Industrial Ltda.