



APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS PVD EM MOLDES DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Marcelo Dornelles Pimenta ; Paulo Konrad Vencovsky ; Daniel Atsuhito Yuhara
Setor de Revestimentos – Brasimet Comércio e Indústria S.A.

1. INTRODUÇÃO

No ramo de injeção de Al a vida dos moldes é de vital importância. Por um lado o custo de fabricação e reparo de moldes representa uma grande proporção dos custos totais e por outro lado os tempos relacionados às paradas para manutenção e substituição de moldes comprometem significativamente a produtividade dos processos de fabricação presentes nas fundições de alumínio.

Os revestimentos depositados via PVD podem trazer um aumento na vida de moldes e potencialmente melhorar a qualidade das peças produzidas diminuindo ainda a geração de sucata.

No presente trabalho discute-se a utilização de revestimentos de nitreto de titânio (TiN) e nitreto de cromo (CrN) em ferramentas de injeção de alumínio, relacionando os mecanismos de desgaste de moldes com as características das camadas. Para ilustrar os ganhos possíveis de se obter com o revestimento de ferramentas, são apresentados alguns exemplos retirados da prática industrial.

2. DESGASTE DE MOLDES

Os moldes de injeção de alumínio estão sujeitos a três tipos de mecanismo de desgaste [1, 2, 3, 4]: fadiga térmica, erosão e aderência da liga injetada ao molde. Estes mecanismos podem atuar isoladamente ou em conjunto, dependendo das variáveis de injeção, tais como: geometria da ferramenta, tipo de liga injetada, velocidade e temperatura de injeção, etc.

A fadiga térmica ocorre em função do molde estar sempre a uma temperatura significativamente inferior à da liga de Al que está sendo injetada, de maneira que a superfície de trabalho da ferramenta é submetida a cada ciclo de injeção a uma dilatação seguida de uma contração. Este trabalho mecânico induz ao surgimento e à propagação de trincas perpendiculares à superfície, conhecidas como trincas térmicas.

A erosão pode ser definida como a “progressiva perda de material da superfície sólida devido à interação mecânica entre a superfície e a colisão com o fluxo do metal líquido...”. Pode ter diversas causas: cavitação do alumínio no estado líquido durante o preenchimento do molde, choque de partículas de alumínio solidificado



contra a superfície do molde no início de cada ciclo de injeção e arraste mecânico de material da superfície da ferramenta devido a uma alta velocidade de injeção associada a uma temperatura também elevada. A erosão resulta na “lavagem” da superfície do molde, removendo o produto desmoldante aplicado e/ou do filme óxido protetivo, promovendo o contato direto entre o metal líquido e o substrato do molde.

Por último, a aderência da liga de Al ao molde decorre da interdifusão entre átomos do molde e da liga injetada, que resulta na formação de compostos intermetálicos de alumínio, ferro e elementos de liga. Estes compostos intermetálicos, que se formam na superfície do molde, funcionam como um substrato preferencial para a solidificação e formação de uma crosta de alumínio resultando em problemas de colagem e dificultando a remoção de peças.

3. CAMADAS PVD x INJEÇÃO DE ALUMÍNIO

Os desmoldantes convencionais e os óxidos naturais formados nas superfícies do aço e do alumínio são facilmente removidos pela ação da temperatura e pela ação mecânica do fluxo líquido não sendo uma proteção eficiente. Sugere-se então a criação de uma barreira entre a superfície do aço e a do alumínio líquido evitando o contato direto dos dois. Tal barreira deve possuir uma baixa reatividade química com o alumínio, alta resistência ao desgaste e às altas temperaturas envolvidas no processo.

O revestimento PVD é efetuado em uma câmara sob vácuo a uma temperatura inferior a 500°C. Tal temperatura propicia a realização do processo abaixo da temperatura de revenimento dos aços para trabalho a quente, que são tradicionalmente utilizados na confecção de moldes para injeção de alumínio. As ferramentas podem ser recobertas sem risco de alteração dimensional, pois além do processo PVD não comprometer o tratamento térmico deste material, as camadas depositadas têm apenas alguns μm de espessura.

Duas camadas aplicadas pelo processo PVD têm se destacado no revestimento de ferramentas de injeção de ligas de alumínio, são elas: o nitreto de titânio (TiN) e o nitreto de cromo (CrN) [4, 5]. Estas camadas são caracterizadas por uma alta dureza, excelente aderência, baixa porosidade, altas estabilidades química e térmica, coeficientes de expansão térmica e de transmissão de calor semelhantes ao do aço. Na tabela 1 encontram-se relacionadas algumas das propriedades destas camadas [5, 6, 7, 8, 9].

Camada	TiN	CrN
Dureza [HV0,05]	2500	2300
Espessura [μm]	2 a 3	3 a 6
Aderência * ¹ [N]	60	50
Estabilidade térmica [°C]	550	650

Coef. expansão térmica [$10E-6 / K$]	9	12
Coef. transmissão de calor [W/mK]	29	27
Tensão residual [GPa]	-10 a -5	-2
Cor	dourado	cinza met.

Tabela 1 - Propriedades selecionadas das camadas de TiN e CrN [5, 6, 7, 8, 9]

*¹ Aderência medida indiretamente através da determinação da carga crítica no ensaio de riscamento, utilizando aço rápido temperado como substrato.

Com este conjunto de propriedades, os revestimentos podem retardar significativamente os mecanismos de desgaste que atuam nos moldes de injeção de alumínio.

A elevada dureza das camadas associada à sua excelente aderência protege a superfície do molde contra a erosão. Já as características de alta estabilidade química e térmica, além da baixa porosidade das camadas de TiN e CrN, bloqueiam a difusão de átomos do molde para a liga de alumínio e vice-versa e portanto impedem a formação de compostos intermetálicos e como consequência minimizam a formação de crostas.

Quanto à fadiga térmica, a ação dos revestimentos PVD na prevenção de falhas têm algumas limitações. Devido às tensões residuais de compressão associadas às camadas de TiN e CrN, a abertura das trincas é menor na região do revestimento do que na região do substrato [5], conforme esquematizado na figura 1. Este efeito pode retardar a penetração da liga de alumínio fundido na trinca, mas apenas nos primeiros estágios da fadiga térmica, pois com o uso do molde, o tamanho das trincas tende a aumentar e sua propagação deixa de ser um fenômeno superficial e portanto não é mais passível de ser influenciado por uma camada PVD. Para um controle mais efetivo das trincas térmicas é necessária uma escolha adequada do aço e principalmente do tratamento térmico.

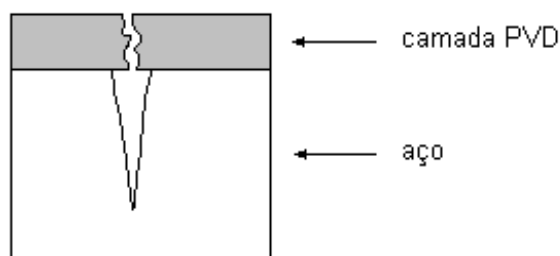


Figura 1 - Desenho esquemático para evidenciar a abertura menor de uma trinca na região do revestimento PVD nos estágios iniciais da fadiga térmica.

Entre o TiN e o CrN ainda não se chegou a uma conclusão a respeito de qual revestimento seria o melhor, ambos apresentam resultados positivos no campo da injeção de Al, conforme pode ser visto no tópico seguinte. O CrN permite que se trabalhe com espessuras maiores de camada devido a sua menor tensão residual, além disso ainda possui uma maior resistência à ação da alta temperatura e possui um coeficiente de dilatação térmica mais próximo aos de aços ferramenta, o que diminui a propensão ao deslocamento devido à ciclagem térmica. Por outro lado, o TiN é mais duro do que o CrN e portanto resiste melhor ao desgaste abrasivo. Por outro lado, provavelmente diferenças com relação à estabilidade química entre TiN e CrN frente a diferentes ligas de Al também podem influenciar significativamente a efetividade do revestimento.

4. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Exemplo 1 - Um conjunto de cavidades e machos para a produção de tampas de mancais de gerador em Al injetado [5], figura 2, foi testado em 2 condições diferentes: sem revestimento e com revestimento de TiN. Não se dispõe neste caso de informações sobre o tipo de liga de Al e nem sobre o material das ferramentas, mas a vida útil das cavidades praticamente dobrou e a dos machos quadruplicou conforme pode se visto na figura 3.

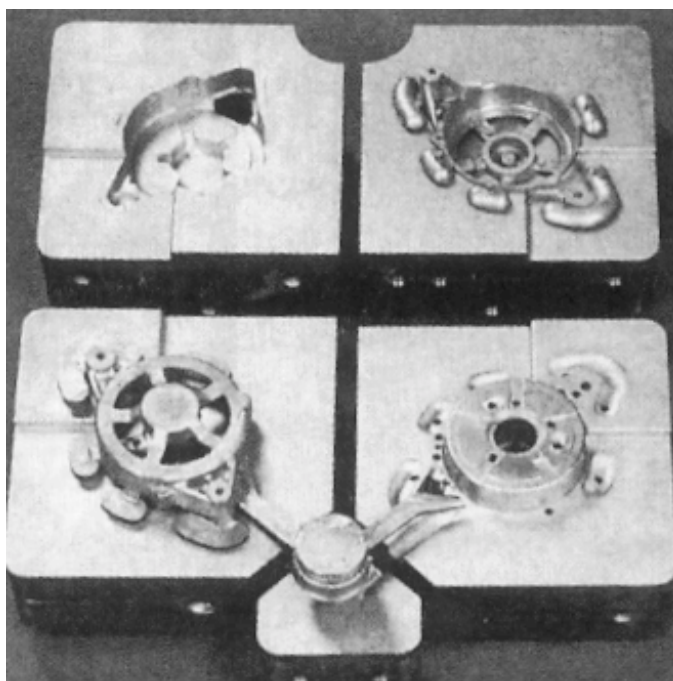


Figura 2 - Conjunto de cavidades e machos para injeção de mancais de gerados [5].

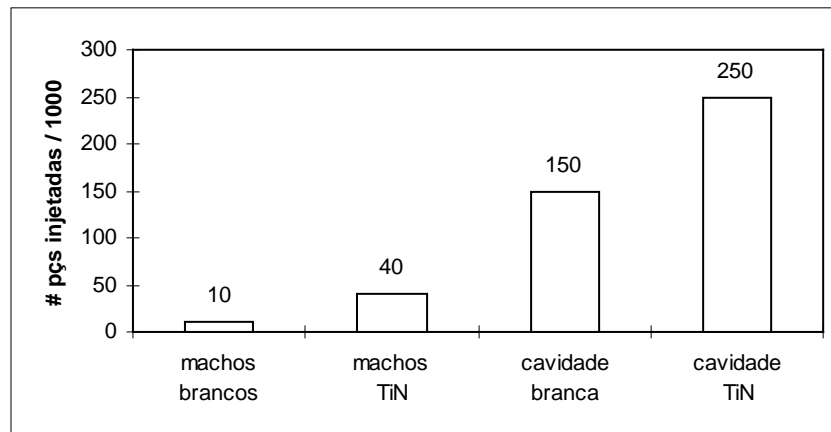


Figura 3 - Desempenho comparativo de ferramentas de injeção de Al nas seguintes situações: sem revestimento (branco) e com revestimento de TiN [5].

Exemplo 2 - Um conjunto de pinos em aço Maraging 18Ni(250) utilizado para a injeção da liga AlSi9Cu3 [5] foi testado em 3 condições diferentes: sem revestimento, nitretado pelo processo Tenifer e revestido com CrN. Conforme pode ser visto na figura 4, com o processo Tenifer conseguiu-se triplicar a vida dos pinos e com o CrN eles passaram a resistir praticamente 8 vezes mais. Reportou-se ainda que os pinos nitretados precisavam ser limpos a cada 2000 injeções, já com o CrN esta frequência passou para cada 8000 injeções.

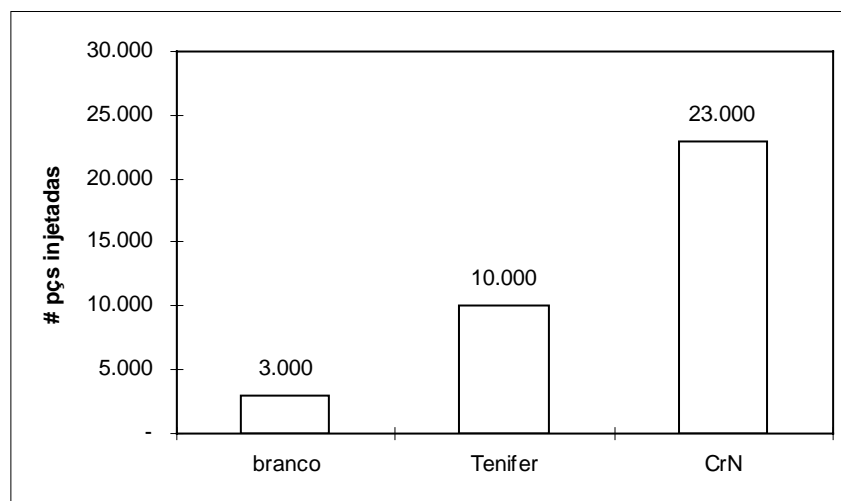


Figura 4 - Desempenho comparativo de um conjunto de pinos de aço Maraging 18Ni(250) utilizado para a injeção da liga AlSi9Cu3 nas seguintes situações: sem revestimento (branco), com Tenifer e com CrN [5].

Exemplo 3 - Um macho em aço H13 com cerca de 500 mm de comprimento e 30 mm de diâmetro na região da base, figura 5, utilizado na injeção da liga A390, foi avaliado em 2 condições: sem revestimento e com revestimento de TiN. Neste caso o revestimento aumentou em mais de 10 vezes a vida útil da ferramenta, figura 6.

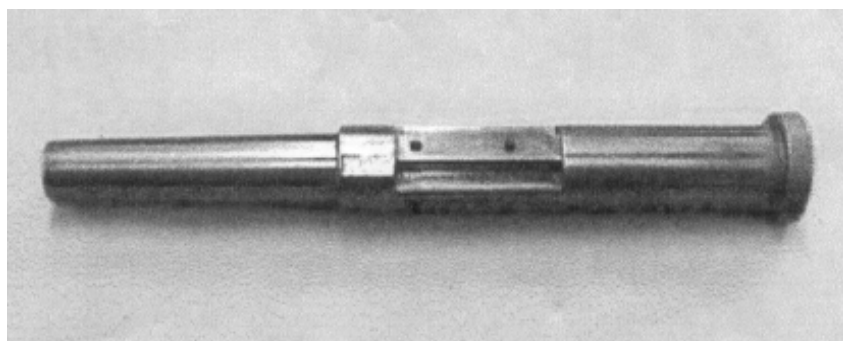


Figura 5 - Macho em aço H13 para injeção de A390 [Cortesia Magal Ind. Com. Ltda].

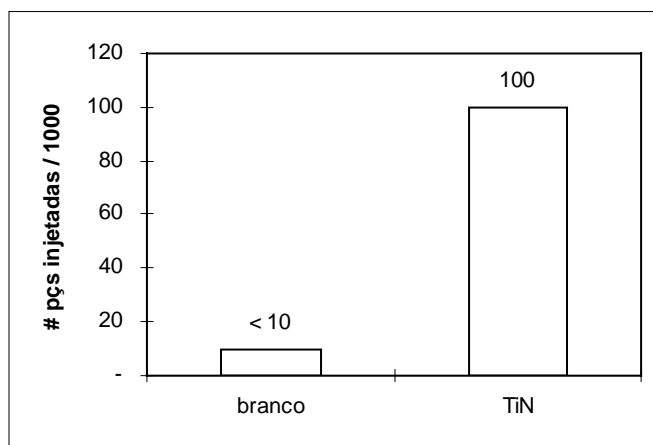
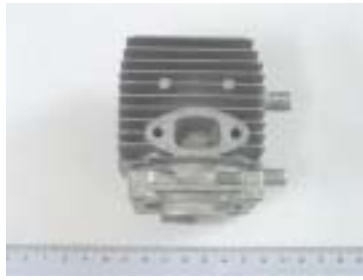


Figura 6 - Desempenho comparativo de um macho em aço H13 para injeção de A390 nas seguintes situações: sem revestimento (branco) e com TiN.

Exemplo 4 – Molde composto de 4 cavidades (matrizes) para fabricação do cilindro da moto-serra em Al injetado, figura 7, sendo testado em condições diferentes: sem revestimento, nitretado pelo processo Tenifer e diversos revestimentos PVD. Reportou-se que os diversos revestimentos PVD, os já consagrados bem como os experimentais tiveram praticamente o mesmo desempenho, optando-se assim pelo CrN.



(a)



(b)



(c)

Figura 7 – (a) cilindro da moto-serra; (b) cilindro: lado móvel; (c) cilindro: lado fixo. [Cortesia Andreas Stihl Moto Serras Ltda.]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Pb
8,0–11,0	0,8-1,2	2,0-3,5	0,1-0,5	-	1,2	0,15	0,3	0,2	1,0

Tabela 2 – Composição aproximada da liga de Al do cilindro

Dados complementares:

- Aço ferramenta: AISI H-13, temperado e revenido, dureza de 46 HRC.
- Temperatura do Al no forno: 680 – 720 °C
- Temperatura do Al na câmara de injeção: aproximadamente 620 °C
- Temperatura do molde: aproximadamente 220 °C
- Pressão específica de injeção: aproximadamente 1.100 Bar
- Produção: aproximadamente 25.000 cilindros/mês



Figura 8 – Aspecto superficial da cavidade lado fixo revestida com CrN quando da liberação do molde para produção. [Cortesia Andreas Stihl Moto Serras Ltda.]

Resultados:

Anteriormente, as cavidades (matrizes) lado fixo e lado móvel sem revestimento bem como nitretadas necessitavam de manutenção corretiva devido ao desgaste por erosão e limpeza por conta da adesão do Al a cada 200.000 cilindros injetados. Com o revestimento de CrN, houve um aumento de vida do molde superior a 20%, além da redução dessa manutenção em aproximadamente 50%

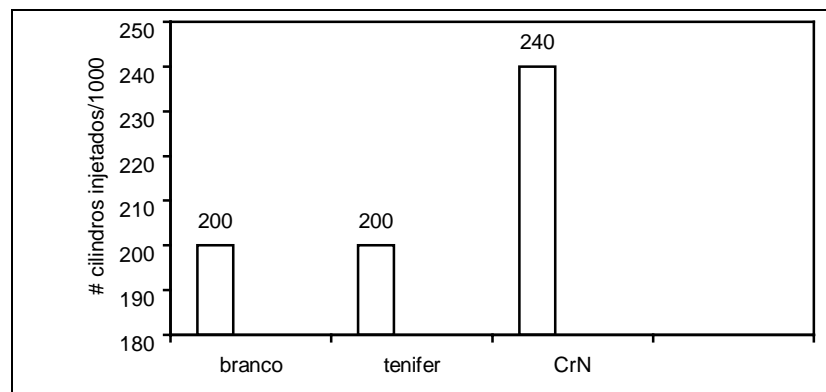


Figura 9 – Desempenho comparativo das cavidades lado fixo e móvel utilizado para injeção do cilindro da moto-serra em Al, nas seguintes situações: sem revestimento (branco), com Tenifer e com CrN

5. CONCLUSÃO

Revestimentos de TiN e CrN podem afetar significativamente a vida de machos e cavidades para injeção de Al. Estes revestimentos minimizam principalmente o desgaste por erosão e aderência da liga injetada ao molde, podendo aumentar a sua vida útil em mais de 10 vezes.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a colaboração recebida da Andreas Stihl e em especial ao Sr. Ednelson Borges da Silva – Analista de Processos da Fundação - pela cessão de dados e imagens.

7. REFERÊNCIAS

1. Knotek, O et al., "PVD coatings for diecasting moulds", Surface and Coatings Technology, 1993, vol.62, p.630-4.
2. Shivpuri, M et al., "A study of erosion in diecasting dies by multiple pin accelerated erosion test", Journal of Material Eng. and Performance, 1995, vol.4, p.145-53.
3. Yu, M et al., "Effects of molten aluminum on H13 dies and coatings", Journal of Material Eng. and Performance, 1995, vol.4, p.175-81.
4. Wang, Y, "A study of PVD coatings and die materials for extended diecasting die life", Surface and Coatings Technology, 1997, vol.94/95, p.60-3.
5. Wild, R, "Revestimento PVD prolonga a vida de moldes metálicos", Fundição e Serviços, outubro, 1996, outubro, p.34-41.
6. Perry, A J et al., "The architecture and performance of multilayer and compositionally gradient coatings made by cathodic arc evaporation", Surface and Coatings Technology, 1993, vol.61, p.209-14.
7. Vetter, J et al., "Hard coatings for lubrication reduction in metal forming", Surface and Coatings Technology, 1996, vol.86/87, p.739-47.
8. Lugscheider, E. et al., "Arc PVD coated cutting tools for modern machining applications", Surface and Coatings Technology, 1997, vol.94/95, p.641-46.
9. Vetter J et al., " $(Al_xTi_y)N$ - Schichten abgeschieden mittels der kathodischen Verdampfung", Metall, 1997, vol.51, p.336-41.