

# PROCESSO OXY® – UM NOVO TRATAMENTO SUPERFICIAL PARA FERRAMENTAS DE FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE ALUMÍNIO <sup>1</sup>

*Carlos Humberto Sartori*<sup>2</sup>  
*Carolina Milek de Andrade*<sup>3</sup>

## Resumo

Processo OXY é o nome do novo tratamento superficial desenvolvido para ferramentas de fundição sob pressão de alumínio.

O agressivo ataque do alumínio devido à formação de compostos intermetálicos e o seu posterior destacamento do substrato da ferramenta, geram os prematuros desgastes freqüentemente observados na indústria.

Evitando-se o contato entre o aço ferramenta e o alumínio líquido através de um filme óxido com espessura variando entre 5 e 8 µm, conseguiu-se pelo Processo OXY um expressivo aumento na vida útil de ferramentas como matrizes, insertos e buchas.

O processo possibilita uma redução na aderência do alumínio, reduzindo assim o número de paradas para manutenção.

Este presente trabalho apresenta os primeiros resultados obtidos com o Processo OXY, juntamente com a caracterização da camada formada e a seqüência de tratamentos executados.

Palavras chave: fundição sob pressão de alumínio, ferramentas, Processo OXY.

---

(1) Trabalho a ser apresentado no 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, de 21 a 23 de setembro de 2004, São Paulo, SP, Brasil

(2) Engenheiro Metalurgista, Mestrando em Engenharia de Materiais pela EPUSP, Membro da ABM, Engenheiro de Aplicação da Brasimet Com. Ind. S/A.

(3) Estudante do Depto. de Engenharia de Materiais da EPUSP, Estagiária da Engenharia de Aplicação da Brasimet Com. Ind. S/A.

## 1 - Introdução

A fundição sob pressão de alumínio é um processo capaz de produzir peças relativamente complexas e com excelente acabamento superficial em elevado volume de produção.

Dentre os processos industriais de transformação de metais é um dos mais severos quanto à sollicitação sobre o ferramental, onde podemos verificar velocidades de fluxo de alumínio de 40 m/s e gradientes de temperatura de até de 1000°C/cm.

Como estas sollicitações muitas vezes são necessárias para se obter altas taxas de produção, elas também acabam limitando a vida útil das ferramentas.

O baixo rendimento e a perda do ferramental são assuntos extremamente significantes nesse setor da indústria, principalmente devido aos altos custos envolvidos na fabricação das ferramentas, desde as etapas de projeto, compra do aço, usinagem, tratamentos térmicos e manutenção.

Dentre os principais mecanismos que levam ao desgaste e perda do ferramental podemos destacar:

- Erosão: causada pelas altas velocidades com que o metal fundido colide com as cavidades da ferramenta, fazendo com que o aço da superfície seja “lavado” para fora com o metal fundido. As regiões da matriz que sofrem o primeiro contato com o alumínio (à máxima temperatura e velocidade) são as mais atacadas por esse efeito.
- Trincas Térmicas: causada pela fadiga térmica devida ao aquecimento e resfriamento alternado da superfície da ferramenta durante a fundição. O elevado gradiente térmico gerado faz com que a superfície fique sob compressão durante o aquecimento e sob tensão durante o resfriamento do ferramental. A evolução das trincas, em geral menores que 0,03 mm de comprimento, causa a separação dos grãos deixando “pits” na superfície que atuam como nucleadores de novas trincas. É sem dúvida a principal causa do baixo rendimento em ferramentas de fundição de alumínio.
- Adesão e corrosão: causada pela interação química provocada pela interdifusão de átomos da liga fundida e do aço da ferramenta durante o preenchimento e solidificação. Essa interação acaba provocando a formação de compostos intermetálicos de alumínio, ferro e elementos de liga, que geram um “agarramento” da peça durante a extração. Este problema produz fundidos defeituosos, manchas e corrosão da superfície da ferramenta. A composição da liga a ser fundida também influi no fenômeno de adesão e corrosão, isso é fácil de entender se lembrarmos que a difusão do ferro num metal puro é mais fácil do que numa liga que já tenha uma certa quantidade de ferro nela dissolvido.

É claro que estes mecanismos dificilmente ocorrem de maneira isolada, na verdade acabam atuando em conjunto, dependendo das variáveis do processo. Dentre as diversas soluções para estes problemas, de um modo geral elas acabam sempre combinando aço, tratamento térmico e tratamento de superfície.

O aço H13 qualidade Premium (conforme especificado pelo NADCA – North American Die Cast Association) temperado e revenido a vácuo para 44/46 ou 46/48 HRC atinge integralmente os requisitos necessários para a aplicação. A têmpera deve garantir uma homogeneidade máxima de propriedades entre o núcleo e a superfície, e uma velocidade de resfriamento suficiente para evitar excessiva precipitação de carbonetos em contorno de grão.

Grande parte dos tratamentos superficiais como a nitretação e revestimentos PVD geram elevada dureza superficial, que protegem a superfície do molde contra a erosão e retardam o surgimento de trincas térmicas, principalmente nas partes do ferramental que mais sofrem os efeitos da temperatura e ação mecânica do fluxo líquido.

Outro processo de tratamento superficial que foi muito utilizado no passado é a nitrocarbonetação em banhos ativados e ricos em enxofre, que introduz nitrogênio e sulfeto de ferro na superfície. O enxofre atua bem contra o fenômeno de adesão (reduzindo problemas de agarramento do alumínio), no entanto nunca houve uma grande preocupação quanto à formação da famosa “camada branca”. Essa camada formada basicamente de nitretos é extremamente frágil e sensível à fadiga térmica e acaba sendo severamente danificada antes de 15000 tiros.

A presença da camada branca deve ser evitada em todos os processos de nitretação através de técnicas especiais como o TF-1 Plus ou Ionit Plus.

Na verdade o principal objetivo do tratamento superficial em ferramentas de fundição de alumínio é evitar o contato metálico entre o aço da ferramenta e o metal fundido.

Essa barreira pode ser obtida pela presença de um filme óxido na superfície das ferramentas. Os efeitos benéficos da oxidação são bem conhecidos pelos fundidores:

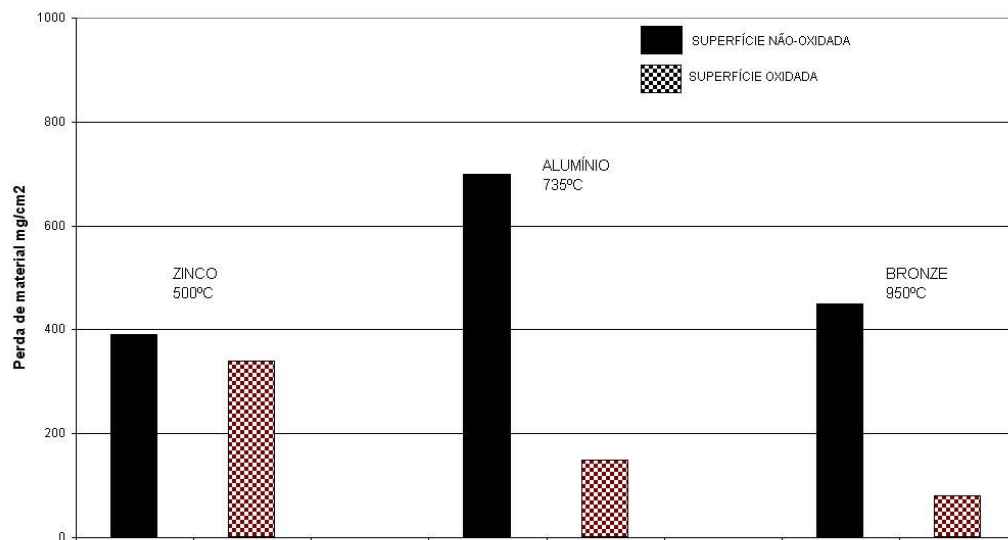


Figura 1 – Comparativo de perda de material entre ferramenta oxidada e não-oxidada na fundição de diversos não-ferrosos (L Iddeholm)

Experiências realizadas numa série de ferramentas para fundição de alumínio mostraram que a formação de um filme óxido pelo Processo OXY na superfície da ferramenta, gera uma melhora considerável em relação à aderência (pegada) do metal fundido ao aço, quando comparado aos tratamentos que eram aplicados anteriormente (nitretação e PVD).

O Processo OXY consiste na formação de um filme de óxido com espessura variando entre 5 a 8  $\mu\text{m}$ , pela aplicação de um produto a base de ceras hidrocarbonetadas e ácidos inorgânicos e posterior oxidação.

Através do Processo OXY é possível obter uma barreira química de caráter óxido com baixo coeficiente de atrito, o que facilita e muito a extração do fundido, um tratamento rápido, prático, limpo e de baixo custo que vem a somar como uma alternativa em diversas aplicações.

## 2 – Procedimento experimental

Para caracterizar o processo foram produzidos 10 corpos de prova (figura 2) retificados em aço AISI H13 com 32 mm de diâmetro e 11 mm de espessura, com a seguinte composição química:

Elementos	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
%	0,38	0,93	0,35	5,10	1,50	0,87

**Tabela 1** Porcentual em peso dos elementos químicos do material empregado.

Os corpos de prova foram austenitizados a 1030°C por 30 minutos em forno a vácuo e temperados sob alta pressão de nitrogênio.

Foram executados 3 revenimentos (540°C / 600°C / 600°C por 2 horas cada) e após isso os corpos de prova tiveram suas faces retificadas para serem submetidos ao Processo OXY.

Os corpos de prova receberam a aplicação de um produto a base de ceras hidrocarbonetadas e ácidos inorgânicos.

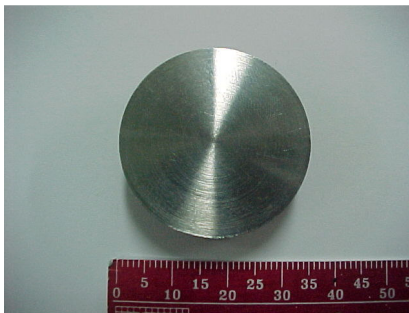


Figura 2: Detalhe do corpo de prova utilizado na caracterização

Após a aplicação do produto, os corpos de prova foram oxidados em fornos do tipo poço.

As amostras foram caracterizadas por ensaios de dureza, microscopia óptica e RBS (Rutherford Back Scattering Spectrometry)

### 3 – Resultados Experimentais

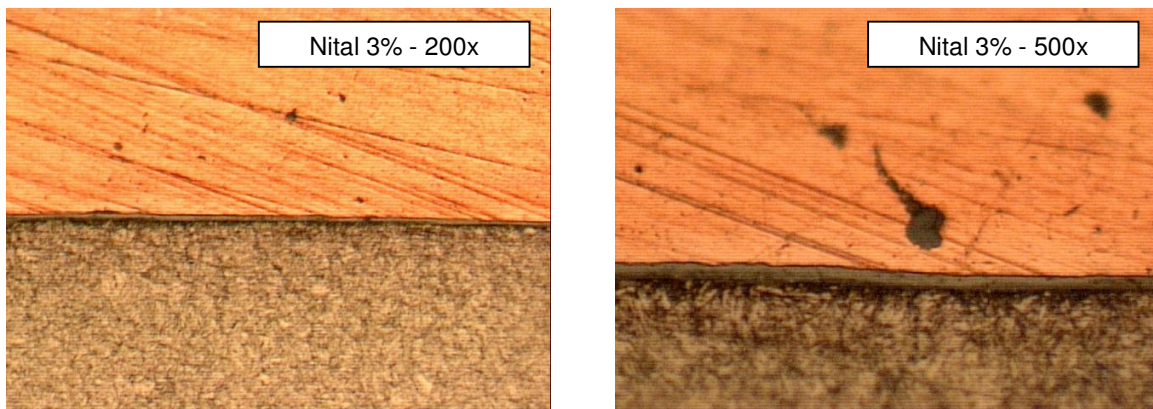
#### 3.1 – Metalografia

Para a observação da camada superficial oxidada pelo Processo OXY ao microscópio ótico, realizou-se a preparação metalográfica de uma secção transversal à superfície oxidada envolvida em folha de cobre.

Após a preparação metalográfica, as amostras foram levadas ao microscópio ótico para a medição da profundidade da camada de óxidos formada.

Nas figuras 3 e 4 podemos notar as microestruturas do aço H13 (típicas do estado temperado e revenido), constituídas de martensita revenida e carbonetos complexos.

Nota-se também a camada formada no Processo OXY, que para esta amostra apresentou espessura variando entre 5 a 6  $\mu\text{m}$ . A região amarelada acima da camada oxidada corresponde ao cobre utilizado no processo de embutimento.



Figuras 3 e 4: Microestruturas de amostra em aço H13 temperado e revenido e oxidado pelo Processo OXY.

#### 3.2 – Verificação de dureza

##### Dureza de núcleo:

Verificou-se valores de dureza de 46 a 47 HRC no núcleo da amostra

##### Dureza superficial:

Verificou-se valores médios de de 473 HV0,2 na superfície da amostra (aproximadamente 47 HRC)

### 3.3 – Determinação da composição da camada por RBS

Através da aplicação da técnica RBS, obteve-se o seguinte espectro da superfície da amostra, mostrando a distribuição dos elementos encontrados na camada obtida pelo Processo OXY:

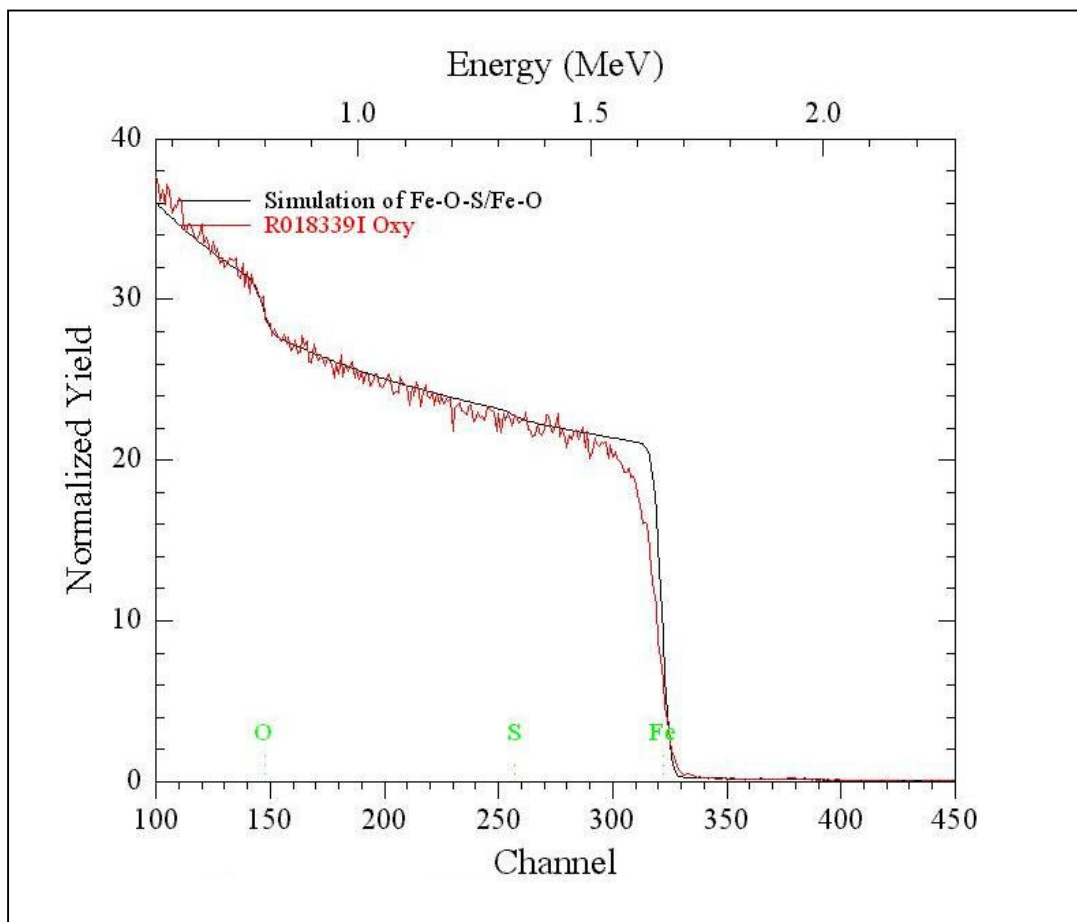


Figura 5 – Perfil RBS da amostra tratada pelo Processo OXY

O espectro representado na figura 5 mostra os picos observados nos canais dos elementos oxigênio, enxofre e ferro.

A curva em preto mostra uma simulação para o sistema Fe-O-S e a curva em vermelho mostra os resultados reais obtidos pelo espalhamento.

Através da análise verificou-se que a superfície da amostra oxidada pelo Processo OXY apresenta 40% de ferro, 58% de oxigênio e 2% de enxofre, o cotovelo deslocado da curva simulada em relação à real indica que existe uma camada de transição entre o filme óxido e o aço, possivelmente de estequiometria diferente da camada mais externa (porém também formada por oxigênio, ferro e enxofre).

## 4 – Resultados Práticos

Dentre diversos exemplos de aplicação podemos destacar:



**Exemplo 1** - Conjunto de machos e cursores em aço AISI H13.

Tratamento térmico: Têmpera e revenimento – 44/46 HRC  
Tratamento superficial: OXY

Em 5 meses de uso (66500 tiros) já tinha superado o rendimento de conjuntos tratados anteriormente com nitretação e PVD (em relação a aderência de material).



**Exemplo 2** - Machos em aço AISI H13.

Tratamento térmico: Têmpera e revenimento – 44/46 HRC  
Tratamento superficial: OXY

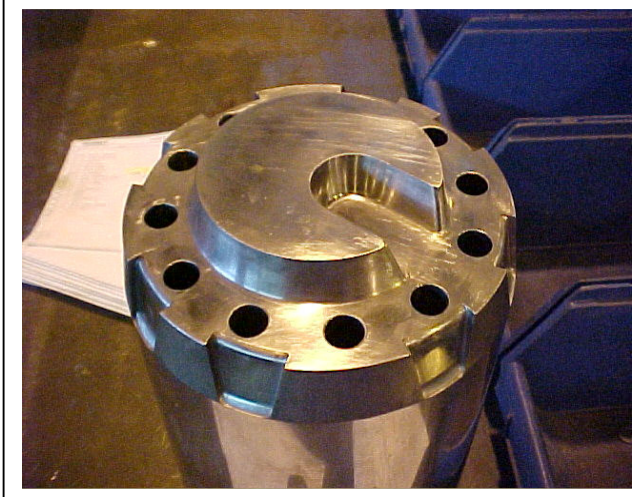
Em 5 meses de uso (67000 tiros) já tinha superado o rendimento de conjuntos tratados anteriormente com nitretação (em relação a aderência de material).



**Exemplo 3** - Suportes de bico de injeção de Zamac em aço AISI H12.

Tratamento térmico: Têmpera e revenimento – 44/46 HRC  
Tratamento superficial: OXY

O suporte que durava em média 20 dias (sem tratamento superficial) hoje trabalha mais de 60 dias em ótimas condições.



**Exemplo 4 - Machos em aço AISI H12.**

Tratamento térmico: Têmpera e revenimento – 44/46 HRC

Tratamento superficial: OXY

Em 4 meses de uso, a ferramenta ainda não tinha parado para manutenção. A mesma nitretada parava a cada 2 meses.

## 5 – Discussão

O filme óxido produzido pelo Processo OXY funciona como uma barreira que impede a interdifusão entre os átomos da ferramenta e os da liga fundida, evitando assim a formação de compostos intermetálicos que geram problemas de colagem e dificultam a extração do fundido.

A análise por RBS nos mostra que a camada é formada basicamente por oxigênio, ferro e enxofre, numa estequiometria que nos sugere a formação de um filme de  $\text{FeO}$ .  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que protege o aço do contato direto com alumínio.

A presença de compostos de enxofre (mesmo que em baixa quantidade) explica a boa redução do coeficiente de atrito na superfície das peças. Graças ao caráter lubrificante desses compostos, tanto o deslizamento do alumínio líquido como a extração do fundido fica facilitada.

Conforme os dados do ensaio de dureza, podemos perceber que a dureza superficial das ferramentas permanece inalterada.

Com base nessa constatação novos testes estão sendo realizados para caracterizar a aplicação do OXY sobre superfícies de ferramentas nitretadas. Com isso será possível combinar a elevada dureza da camada nitretada com a poderosa barreira química (de excelentes características deslizantes) do Processo OXY, lembrando sempre que a camada nitretada deve estar isenta das fases frágeis da camada branca.

Dados recolhidos nos testes práticos indicam uma melhora apreciável na resistência a fadiga térmica das ferramentas. Esse efeito ainda está sendo estudado junto aos usuários do Processo OXY.

## 6 – Conclusões

Após diversos resultados positivos em vários testes práticos, concluímos que o Processo OXY passa a ser mais uma alternativa para o aumento da vida útil de ferramentas de fundição de alumínio.

É um processo prático, rápido, limpo e de baixo custo que combina as vantagens da proteção química do filme óxido com as excelentes



características lubrificantes dos compostos de enxofre em ferramentas de fundição.

## **7 – Bibliografia**

S. YOSHIDA **Recomendações para aumento da vida útil em ferramentas para fundição sob pressão de alumínio.** Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, da ABM, de 12 a 17 de outubro de 1997 – São Paulo, SP.

M. YU, R. SHIVPURI e R.A.RAPP **Effects of Molten Aluminium on H13 Dies and Coatings.** Journal of Materials Engineering and Performance, 1995.

K. VENKATESAN e R. SHIVPURI **Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Process Parameters on the Erosive Wear of Die Castings Dies.** Journal of Materials Engineering and Performance, 1995.

R.BREITLER, A. SCHINDLER e W. KÜRBISCH **Nuevos desarrollos en el campo de Materiales de Herramientas para Moldes de Fundición a Presión.**

P. HAIRY e M. RICHARD **In-Plant Trials of Four Die Surface Coatings.** CTIF Centre Technique des Industries de la Fonderie, France.

NADCA Recommended Procedures – **Heat Treatment of H13 Die Casting Tool Steel,** 1988.

UDDEHOLM **Aplicacion de Acero Para Utillajes Acero y Encremento de Productividad en Moldes de Fundición Inyectada,** 2001.

## **Abstract**

The OXY Process is the name of a new surface treatment developed for aluminum die castings components.

The aluminum severe attack due the formation of intermetallic compounds and its detachment of the tool substrate, produces the well known wear phenomena at the tool surface.

Avoiding the contact between the tool steel and the melted aluminum with a 5-8  $\mu\text{m}$  oxide film, it's possible with the OXY Process to increase significantly the life of tools, such as dies, inserts and sleeves.

With the process it's possible to reduce the metal sticking (soldering), reducing with that the number maintenance stops.

This paper presents the first results obtained with the OXY Process, also presents the characterization of the OXY layer and the heat treatment of the samples.

**Keywords:** aluminum die casting, tools, OXY Process.