

**Wilson Luiz Guesser,
Dilço Carvalho Jr. e
Luciano Kluge**

Este artigo reúne os resultados de um estudo realizado em moldes de ferro fundido, destinados à produção de peças em vidro (por sopro e prensagem). O objetivo era identificar e caracterizar os seus mecanismos de falha.

Os autores são da Fundação Tupy, de Joinville (SC). Este artigo foi publicado no 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, realizado em 2008. Reprodução autorizada pelos autores.

Moldes de ferro fundido para a produção de peças em vidro

Peças de vidro são normalmente fabricadas por fusão e moldagem, com o uso de moldes metálicos submetidos a intensas solicitações térmicas e mecânicas. Assim, a sua vida útil tem um importante significado econômico.

Dependendo do processo de moldagem do vidro (sopro ou prensagem) e da geometria da

peça a ser produzida, é possível utilizar diferentes materiais na construção do molde a ser empregado, destacando-se os aços inoxidáveis martensíticos e os ferros fundidos cinzento e nodular.

Este trabalho discute as solicitações a que estes moldes são submetidos. Também são examinados alguns moldes em final de

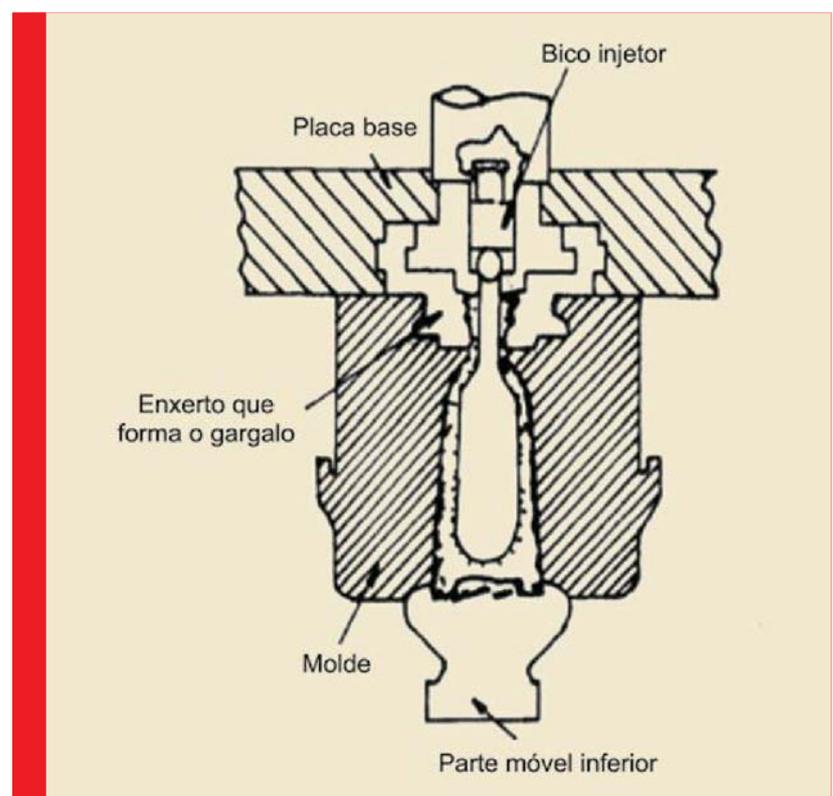


Fig. 1 – Processo de moldagem de frascos e garrafas por sopro^[1]

vida, com a finalidade de identificar seus mecanismos de falha.

Moldes para vidro – Aspectos da literatura

Os processos de moldagem de vidro podem ser divididos em sopro e prensagem. No primeiro caso (figura 1), a gota de vidro é soprada na forma de uma bolha no molde, acomodando-se em suas paredes. O resultado são peças ocas. Em geral, são obtidas 400 mil embalagens por molde, em média^[1].

Em alguns casos, a vida útil do molde é determinada pelos locais mais solicitados termicamente. Deste modo, em garrafas ou frascos, por exemplo, a região do gargalo é a que está sujeita a um maior tempo de contato com o vidro, sendo, portanto, a área mais solicitada termicamente. Muitas vezes, ela é confeccionada em materiais com maior resistência à fadiga térmica que o material do corpo da garrafa, como por exemplo, o bronze ao alumínio^[2].

A figura 2 ilustra o processo de moldagem por prensagem, que consiste nas etapas de abastecimento do vidro, prensagem, manutenção da pressão e desmoldagem.

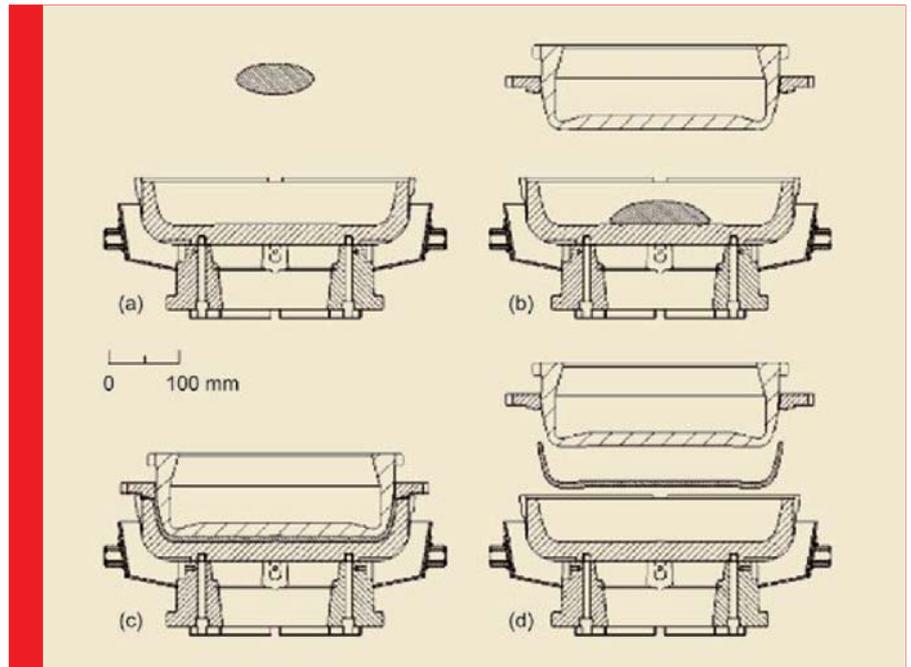


Fig. 2 – Principais etapas do processo de moldagem do vidro por prensagem^[3]: a) abastecimento do vidro; b) prensagem; c) manutenção da pressão; d) desmoldagem.

Devido à aplicação da pressão, são desenvolvidas tensões superficiais importantes, assim como altas temperaturas no molde (figura 3), o que resulta na redução da sua vida útil (comparativamente ao sopro). Neste caso, são produzidas cerca de 75 mil peças por molde, para for-

matos redondos, e 35 mil peças com formato mais complexo^[1]. Em ambos os processos, o principal mecanismo de dano do molde está associado à oxidação^[4].

A vida do molde tem sido considerada um aspecto de grande importância na fabricação de vidros, 

SAINT-GOBAIN
MATERIAIS CERÂMICOS

SIKA
Silicon Carbide



5 Valores chave

- Confiabilidade de fornecimento
- Qualidade consistente e comprovada
- Inovação em conjunto com os clientes
- Confidencialidade para cada cliente
- Presença local combinada com padrões mundiais de excelência

Carbeto de Silício
CARBETO DE SILÍCIO

Nossa Especialidade



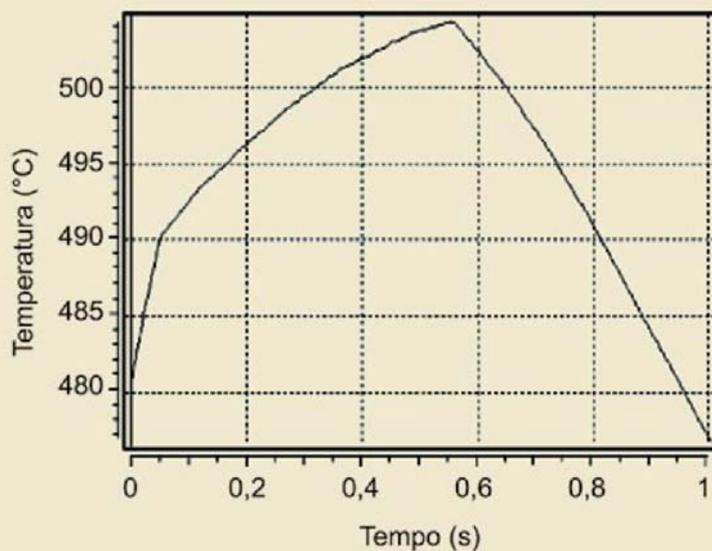


Fig. 3 – Evolução da temperatura na superfície do molde durante a prensagem do vidro^[3]

tendo em vista que o seu custo pode significar até 20% do preço do produto final^[1]. Entre outras variáveis que afetam a vida dos moldes, pode-se citar o uso adequado de materiais lubrificantes, assim como o grafite, o enxofre e o bissulfato de molibdênio^[5], os cuidados que devem ser tomados na sua limpeza, como o uso de decapagem com soda cáustica, e ainda o emprego de jatos com microesferas de vidro^[6].

No caso dos vidros prensados, os moldes são geralmente cromados. Este revestimento tem durabilidade mínima de 72 horas. Para a recuperação destes moldes, a cromagem é retirada eletroliticamente, o molde é repolido e, então, submetido à aplicação de uma nova camada de cromo^[6].

Tab. 1 – Temperatura de trabalho e vida útil de moldes produzidos com ferros fundidos^[8].

Ferro fundido	Aplicação	Processo de moldagem	Temperatura média (°C)	Nº de peças por molde
Cinzento, grafita do tipo D, ferrita	Pré-moldes	Sopro	370	250.000
	Molde para perfumaria	Sopro	500	72-75.000
	Molde para remédios	Sopro	500	145-150.000
	Gargalo (<i>neck ring</i>)	Sopro	350	45-50.000
Nodular, ferrita	Macho para copo	Prensa	250	420.000
	Gargalo	Prensa e sopro	350-400	36.000
Nodular, perlita	Moldes	Sopro	500	145-150.000
	Molde para copo	Prensa	400	900.000

Miano's

PRODUTOS PARA FUNDIÇÃO

Ferro Ligas

- FeSi 75%
- Inoculantes
- Ligas Nodularizantes
- Ferro Manganês
- Ferro Cromo

Linha para Fundição de Não Ferrosos

- Escorificantes
- Desgaseificantes
- Modificadores e refinadores de grãos
- Tintas

Produtos para Moldagem/Macharia

- Resinas e Desmoldantes
- Tintas e Colas
- Filtros e Luvas

Produtos Básicos

- Bentonita
- Cardif
- Carburantes
- Pó exotérmico
- Silicato



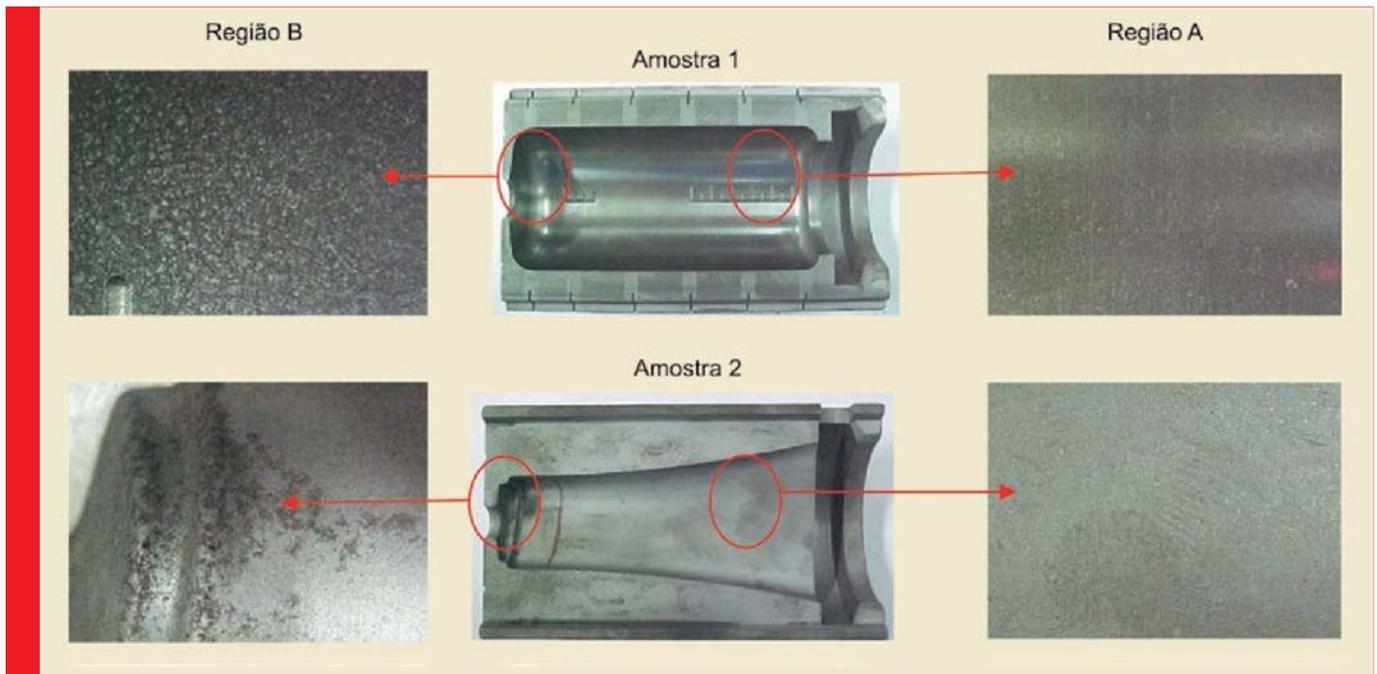


Fig. 4 – Moldes para sopro de vidro, com imperfeições superficiais localizadas (região B)

Experiências com moldes de aço não cromados revelaram uma grande tendência do vidro em aderir ao molde, além de uma maior oxidação, mais porosidades e uma menor durabilidade, em comparação com os moldes cromados^[6].

Convém ainda salientar que em algumas vidrarias é comum a recuperação apenas de regiões do

molde que sofreram maior desgaste, por meio da metalização com pó atomizado^[6].

O material utilizado na confecção do molde deve atender a alguns requisitos, como apresentar um elevado grau de acabamento superficial, boa usinabilidade, alta resistência à fadiga térmica, baixa tendência à expansão, alta re-

sistência ao desgaste, elevada resistência à corrosão e à oxidação, pequena expansão por dilatação térmica e alta resistência ao empenamento e à colagem com o vidro^[7].

Para tanto, são empregados principalmente os ferros fundidos (cinzento e nodular) e os aços (inox martensíticos e aços-carbono), dependendo das solicitações do molde.



Sistema para Quebra de Canais e Refugo



Benefícios

- ☑ Aumento na produção de metal líquido;
- ☑ Redução no consumo de refratário;
- ☑ Elimina problemas de engaiolamento;
- ☑ Redução custo de energia;
- ☑ Redução em até 3x no volume de canais e massalotes;
- ☑ Elimina 70% da areia da carga, reduzindo o volume de escória no banho;
- ☑ Ganho até 12% no tempo de fusão por carga.



WWW.ROSSIL.COM.BR Tel: (47) 3425-4333 E-mail: vendas@rossil.com.br

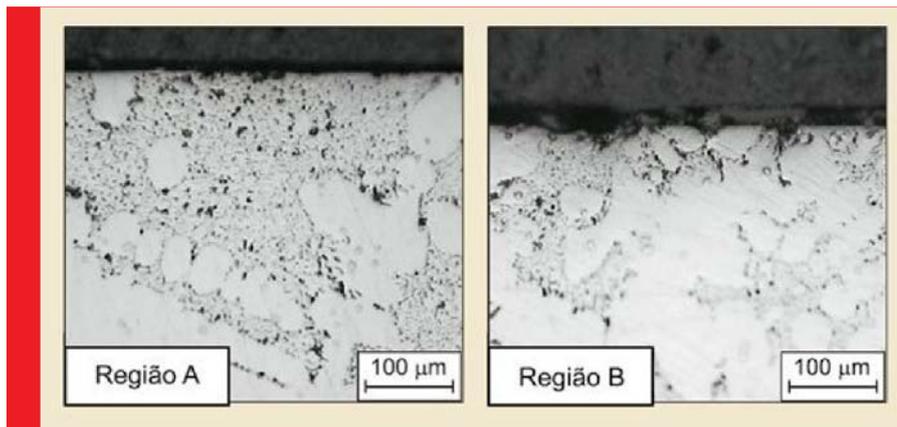


Fig. 5 – Seções ortogonais das regiões A e B da amostra 1. Grafita do tipo D e matriz ferrítica. Na região B, verifica-se a presença de óxidos superficiais e oxidação superficial da rede de grafita.

Em muitos casos, a usinabilidade é um aspecto crítico, representando 80% do custo de produção do molde. Nestas situações, opta-se pelo ferro fundido com matriz ferrítica^[1]. A tabela 1 traz informações sobre o desempenho de alguns moldes fabricados em ferro fundido^[6].

A seguir, é apresentado um trabalho experimental que consistiu no exame de moldes de ferro fundido em final de vida, com o objetivo de caracterizar os seus mecanismos de falha. Estes moldes foram submetidos a diferentes processos de moldagem de vidro.

Procedimento experimental

Foram examinados cinco tipos de moldes empregados na fabricação de vidro. A tabela 2 reúne as características destes moldes e a sua utilização.

As regiões selecionadas foram submetidas a análises metalográficas. Em alguns casos, também foi realizada a observação da superfície desgastada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Resultados e discussões

Rugosidades superficiais – Estudo de caso 1

A figura 4 mostra dois moldes de frascos, nos quais é empregado o processo de sopro. Eles apresentam imperfeições superficiais localizadas junto ao gargalo, que é a região mais quente do molde (região B).

SPICA ALUMINUM

FUNDIÇÃO EM LIGAS DE ALUMÍNIO

Fundição por gravidade (areia e coquilha)

Peças de alta tecnologia, destinadas aos segmentos:

- Automotivo,
- Metal-mecânico,
- Instalações e distribuição de energia elétrica

Qualidade reconhecida internacionalmente

Rua Engº Karlo Okretic, 955 Ala G - Sorocaba - SP

(15) 3238-2700

spica@spica.com.br / www.spica.com.br

SHIMADZU

INSTRUMENTOS ANALÍTICOS E EQUIPAMENTOS DE ENSAIO DE MATERIAIS

- Espectrômetro de Emissão Ótica
- Fluorescência de Raios x comprimento de onda (WDS), Fluorescência de Raios x energia dispersiva (EDS) e Fluorescência de fotoelétrons (XPS/ESCA)
- Difratorômetro de Raios x
- Microscópio: Eletrônico de Varredura (MEV) e Microanálise (EDX)
- Força Atômica (SPM) e Microsonda Eletrônica
- Máquinas de Ensaio de Materiais (Estáticas e Dinâmicas/Fadiga) e Reômetros
- Durômetros, Microdurômetros e Nanodurômetros
- Inspeção por Raios X

Matriz: Av. Marquês de São Vicente, 1771 - São Paulo / SP - (11) 2134-1588
Filial: Rua Riochão, 607 - Jaboatão dos Guararapes / PE - (81) 3117-3079
www.shimadzu.com.br - info@shimadzu.com.br

Certificado ISO 9001:2008

Produzindo **ferro gusa** com qualidade e respeito ao meio ambiente.

Ferro Gusa:
Aciaria, Fundição, Nodular

(31) 2106-5000 - (31) 8494-4136 | comercial@samasider.com.br
Rua João do Vale, 1360, São João, Sete Lagoas - MG
www.samasider.com.br

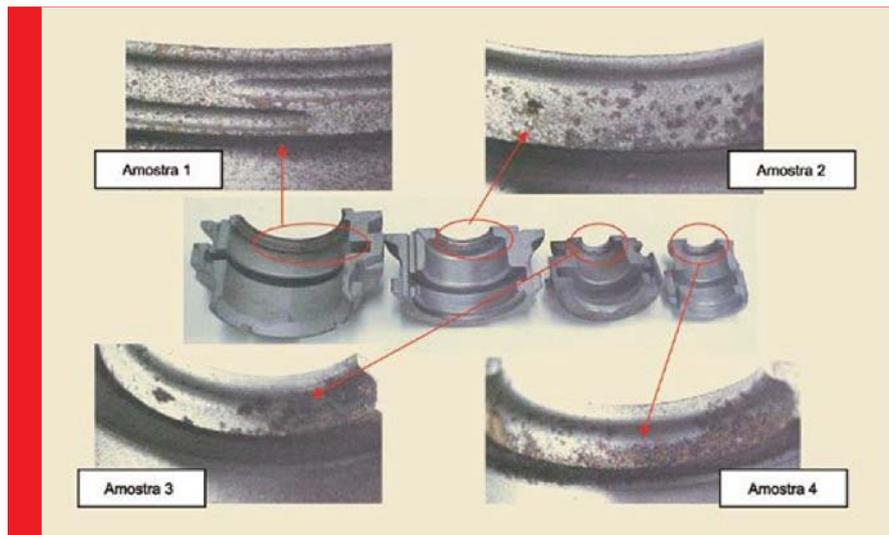


Fig. 6 – Moldes soprados, com oxidação no gargalo

Análises metalográficas de seções ortogonais das regiões A e B revelaram a presença de óxidos aderidos à superfície nos locais B, os quais estão associados à oxidação da rede de grafita junto à superfície (figura 5).

A rugosidade superficial foi provocada por um processo de oxidação, que se propagou para dentro do

material por meio da rede de grafita do ferro fundido cinzento.

Oxidação no gargalo – Estudo de caso 2

Moldes de frascos apresentaram oxidação na região do gargalo, conforme indicado na figura 6.

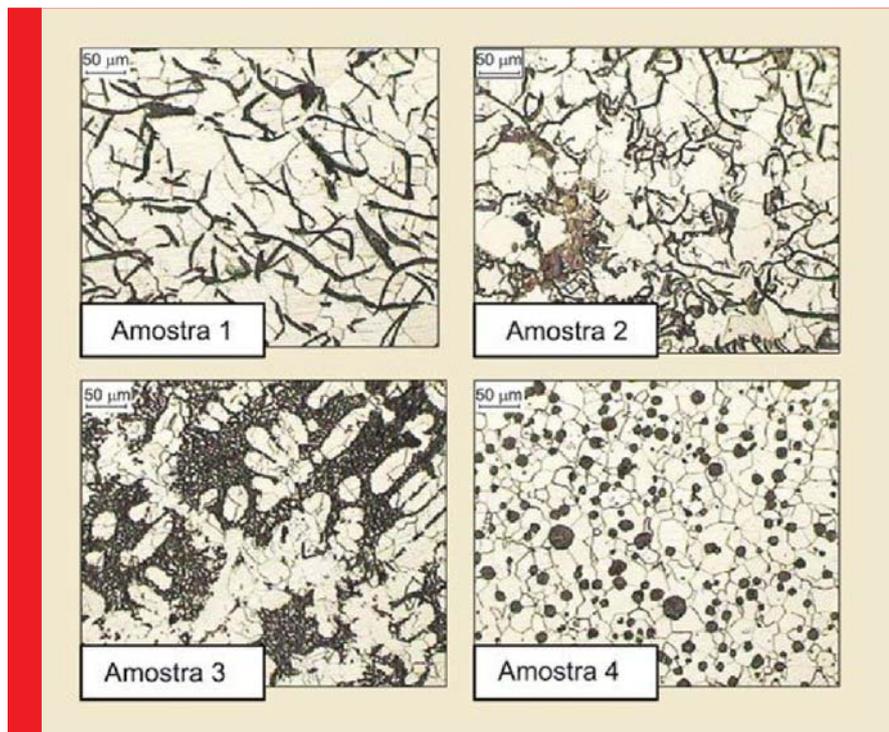


Fig. 7 – Microestrutura dos moldes com ataque de nital. Amostra 1 – ferro fundido cinzento com grafita do tipo A e matriz ferrítica; amostra 2 – ferro fundido cinzento com grafita dos tipos A e E, matriz com 95% de ferrita; amostra 3 – ferro fundido cinzento com grafita do tipo D e matriz ferrítica; amostra 4 – ferro fundido nodular com matriz ferrítica.



**Atuamos em vários
segmentos**



MICROCAST

Tel.: (11) 4056.6233

(11) 4057.4287

sac@microcast.com.br

www.microcast.com.br

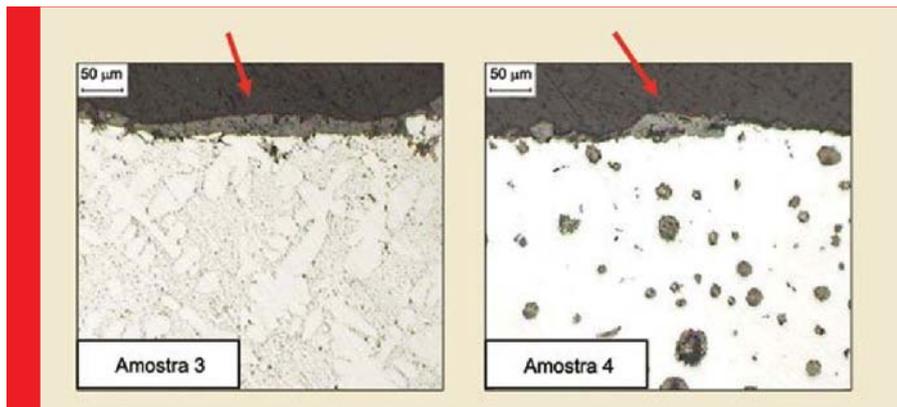


Fig. 8 – Presença de óxidos na superfície (sem ataque)

Foram examinados moldes confeccionados em dois tipos de ferro fundido cinzento (grafita dos tipos A e D) e ferro fundido nodular; todos com matriz ferrítica ou predominantemente ferrítica (figura 7).

Análises metalográficas da região do gargalo revelaram a presença de óxidos na superfície, como ilustrado na figura 8, referente às amostras 3 e 4.

Nos ferros fundidos cinzentos (amostras 1, 2 e 3), verificou-se que esta camada superficial de óxidos tem ramificações para dentro do molde, acompanhando a rede de grafita (figura 9). O destacamento destas regiões oxidadas, prova-

velmente na desmoldagem da peça de vidro, causa depressões superficiais.

A oxidação superficial foi verificada mesmo no molde de ferro fundido nodular, no qual a forma da

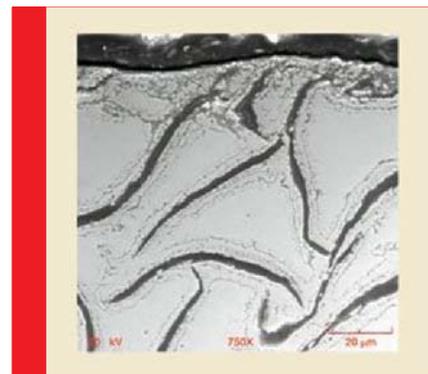


Fig. 9 – Região do gargalo da amostra 1, com oxidação superficial (sem ataque)

grafita não favorece a oxidação para dentro da peça. Isso mostra que, dependendo do ciclo térmico ao qual o molde é submetido, as condições de oxidação podem ser muito severas.



Fig. 10 – Molde para a produção de peças em vidro por prensagem

A Garantia de Qualidade em **FERRO LIGAS** para sua Fundição

- Molibdênio Metálico • Manganês Eletrolítico
- Silício Metálico • Ferro Titânio • Alumínio Granulado
- Cromo Metálico • Níquel Catodo • Cobalto Metálico

Certificação
ISO 9001/2008

Tel: (11) 2724-9222

comercial@mundiligas.com.br
www.mundiligas.com.br



Comércio de Ferro Ligas LTDA

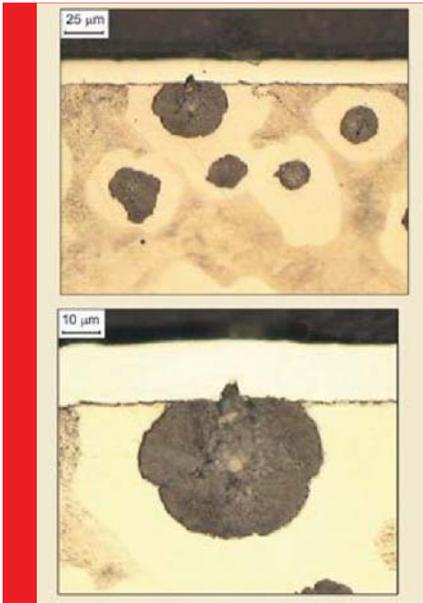


Fig. 11 – Filme de cromo com cerca de 20 µm de espessura, o qual foi colocado na superfície do molde de ferro fundido nodular com matriz de perlita e 40% de ferrita (240 HB; ataque com nital)

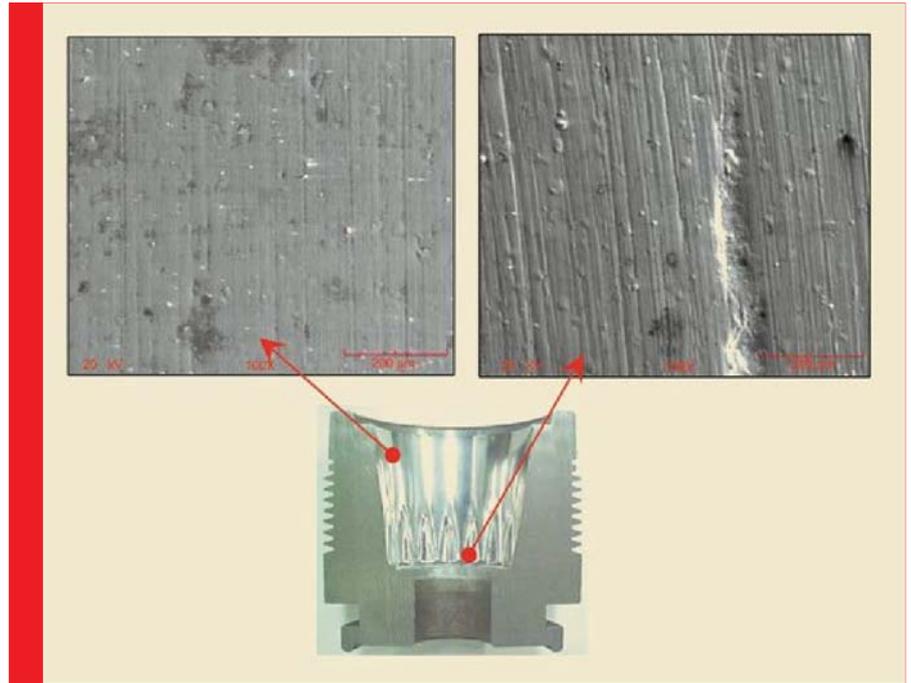


Fig. 12 – Molde com superfície desgastada (riscamento da camada de cromo e grandes sulcos na região inferior)

Tab. 2 – Moldes examinados.

Caso	Processo de moldagem	Material do molde	Falha
1	Sopro	Ferro fundido cinzento (grafita do tipo D e ferrita)	Rugosidade junto ao gargalo
2	Sopro	Ferro fundido cinzento (grafitas dos tipo A, E e D e ferrita) e nodular (ferrita)	Oxidação no gargalo
3	Prensagem	Ferro fundido nodular (perlita), revestimento de cromo duro	Desgaste, final de vida
4	Sopro	Ferro fundido cinzento (grafita do tipo D e ferrita)	Desgaste, final de vida
5	Sopro	Ferro fundido nodular (ferrita)	Desgaste, final de vida



CONCHAS PARA MÁQUINAS INJETORAS

• CONCHAS • SINOS • LINGOTEIRAS • ESCUMADEIRAS



ICM INDÚSTRIA E
COMÉRCIO DE METAIS LTDA

55 (11) 2941-6270

55 (11) 2293-7953

www.icmmetais.com.br

Sua satisfação é a nossa meta!

e-mail: icm.sp@terra.com.br



Fig. 13 – Molde para a produção de peças em vidro por sopra

De qualquer modo, a oxidação do ferro fundido nodular fica restrita à superfície, o que é uma vantagem deste material nestas condições.

Revestimento de cromo – Estudo de caso 3

A figura 10 mostra um molde de vidro empregado na fabricação de copos, pelo processo de prensagem.

Este molde tem superfície de trabalho revestida com uma camada de cromo duro, com a finalidade de aumentar a sua resistência ao desgaste. Na figura 11, observa-se que esta camada tem cerca de 20 μm de espessura e que seu contato com a matriz de ferro fundido nodular não apresenta imperfeições, mesmo sobre o nódulo de grafita.



Fig. 14 – Microestrutura e superfície de trabalho do molde de ferro fundido cinzento com grafita do tipo D e matriz ferrítica (163 HB; ataque com nital)

Ao final de vida do molde, esta camada é removida, uma nova usinagem da figura do copo é realizada e mais uma vez é aplicada uma camada de cromo duro. Este processo é repetido por três vezes, quando então o molde é inutilizado.

A figura 12 apresenta exames das superfícies de desgaste. Em ambos os locais examinados, é visível a



MG INJECT

Fundição sob Pressão
Alumínio - Zamak

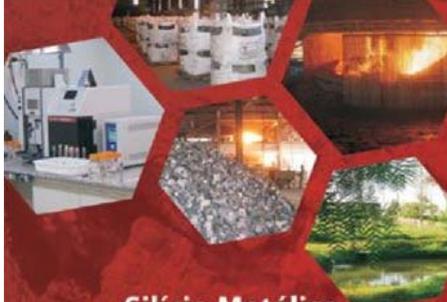
Ferramentaria própria
Acabamento e Rebarbação
Laboratório



Peças de 0,10 até 6Kg
Injetoras 100 a 480T

(11) 4648-5514

www.mginject.com.br / mg@mginject.com.br



Silício Metálico
Ferro Silício 75%
Escória de Silício
Briquetes de Silício
Ferro Silício Zircônio
Ligas Nodulizantes
Ligas Inoculantes



GRUPO Ligas Gerais

www.ligasgerais.com.br

MATOZINHOS | MG
55 31 3712-9300

SÃO JOÃO DEL REI | MG
55 32 3322-8000



Equipamentos para Fundição

Fundada em 1957

EQUIPAMENTOS PARA FUNDIÇÃO

- Painel de fundição
- Cesto de Carregamento
- Caixa para moldes



DESPOEIRAMENTO INDUSTRIAL

- Coletores de Mangas
- Cidones
- Exaustores



CALDERARIA INDUSTRIAL

- Execução de Projetos
- Montagens Industriais
- Usinagem

Rua José Pereira, 373 - Suzano - SP
(11) 4747-4885
www.spumeca.com.br / spumeca@spumeca.com.br

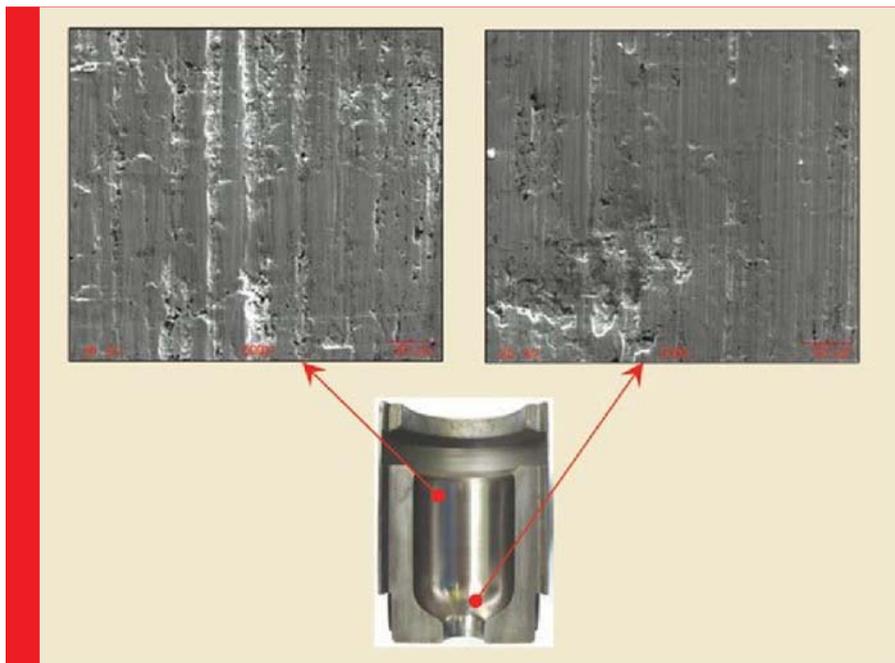


Fig. 15 – Superfície do molde, na qual são observados destacamentos grosseiros (fundo do molde, à direita)

presença de riscos, mostrando que a abrasão (a quente) é um mecanismo de desgaste importante. Além disso, na base do copo verifica-se que o desgaste é mais acentuado, com a presença de grandes sulcos na superfície, representando áreas relativamente grandes de remoção da camada de cromo.

Molde para vidros soprados – Estudo de caso 4

A figura 13 mostra parte de um molde para a produção de frascos (vidro soprado). A região examinada inclui o gargalo, a qual é a região de

maior temperatura do molde. Ele foi confeccionado em ferro fundido cinzento com grafita do tipo D e matriz ferrítica (figura 14). Este material apresenta excelente usinabilidade e ótimo acabamento superficial.

Exames da superfície de desgaste mostraram, além dos riscamentos causados pela abrasão a quente, a presença de destacamentos na superfície do molde (figura 15). Eles devem ter ocorrido devido à baixa resistência provocada pela rede de grafita lamelar, resultando na deterioração da qualidade da superfície e, portanto, da peça de vidro produzida.



Fig. 16 – Molde utilizado na produção de peças em vidro por sopro

AGORA VOCÊ PODE
ACESSAR A REVISTA
FUNDIÇÃO E SERVIÇOS
ONLINE

Basta um click para visualizar
todo o conteúdo!



acesse:

[www.arandanet.com.br/
fundicao_servicos](http://www.arandanet.com.br/fundicao_servicos)

- Fácil navegação;
- Acervo disponível para leitura;
- Consulte artigos e guias de produtos e serviços;
- Imprima as páginas de seu interesse.



aranda
EDITORA

Tel.: (11) 3824-5300
www.arandanet.com.br

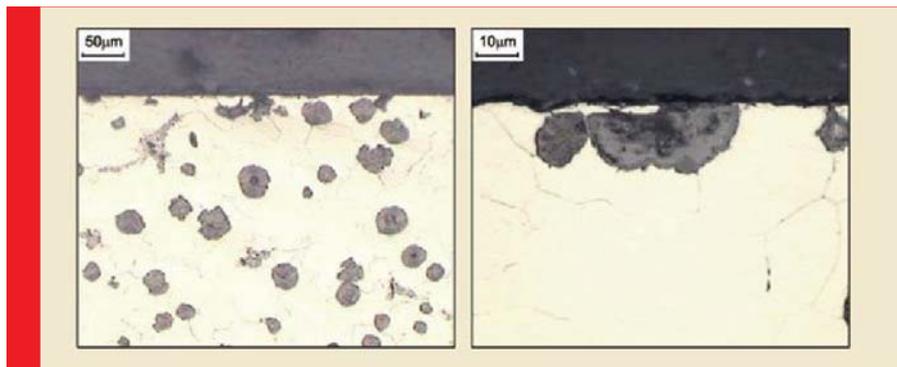


Fig. 17 – Superfície do molde de ferro fundido nodular ferrítico, com restos de perlita na matriz. Nela, é verificada a oxidação de parte da grafita e sulcos de desgaste (180 HB; ataque com nital).

Molde para a produção de frascos – Estudo de caso 5

Este caso também se refere a um molde utilizado no processo de sopro, para a confecção de peças de vidro (figura 16). A vida média destes moldes é de cerca de 18 mil frascos, com quatro a cinco recuperações (por usinagem), totalizando 70 mil a 90 mil frascos.

O molde em questão foi confeccionado em ferro fundido nodular com matriz ferrítica e algum residual de perlita. Exames da microestrutura próximos à superfície de trabalho mostraram alguma oxidação junto à grafita, mas restrita à região superficial (figura 17).

A superfície de desgaste examinada em microscópio eletrônico de

varredura (figura 18) continha riscos, pequenas escamas superficiais e porosidades. Estas escamas e porosidades estão associadas aos nódulos de grafita.

O mecanismo de desgaste predominante aqui também é a abrasão, com esforços que produzem pequenos destacamentos da matriz que recobre os nódulos de grafita. Em comparação com o caso anterior (figura 15), verifica-se a vantagem da utilização do ferro fundido nodular nestas aplicações, com a redução do tamanho dos destacamentos da superfície desgastada.

Conclusões

Os exames dos moldes para a produção de peças em vidro mostraram que o mecanismo de desgaste predominante nestes casos é a abrasão a quente, seja em processo de sopro ou prensagem.



FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO DE ZAMAC

Projetos e Ferramentaria própria




PEÇAS PARA:

- ▶ Automobilismo
- ▶ Iluminação
- ▶ Duas Rodas
- ▶ Telecomunicação
- ▶ Eletrodoméstico
- ▶ Brindes em geral
- ▶ Eletroeletrônicos
- ▶ Ferragens
- ▶ Informática

TEL.: (11) 2631-4749 | 2954-5542
 FAX: (11) 2967-6383
www.injetamak.com.br
injetamak@injetamak.com.br



KS Chapelins, soluções inteligentes em acessórios metálicos para a indústria de fundição.



Informações (47) 3121.6000
www.kschapelins.com.br



MATÉRIA PRIMA PARA FUNDIÇÃO



- Níquel Catodos
- Ferro Ligas
 - Cobre Moido e Picotado
 - Sucatas de Ligas Especiais

SAINTSTEEL COM INT DE METAIS LTDA

fone: 11 4613-9393
www.saintsteel.com.br

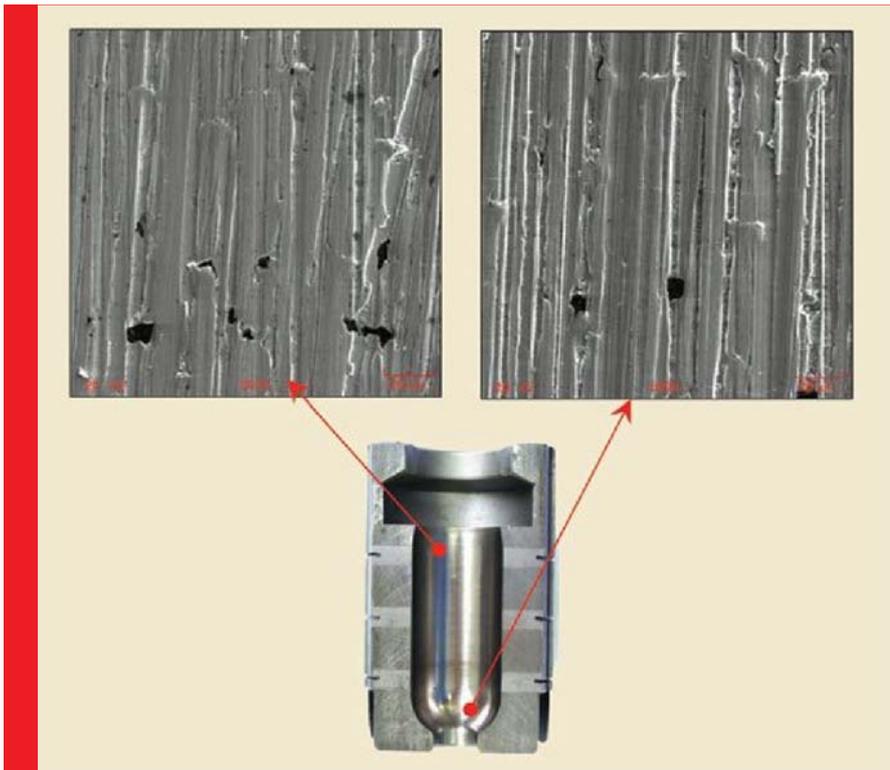


Fig. 18 – Superfície de trabalho de um molde para a produção de peças em vidro

O desgaste também conduz a destacamentos da superfície, que deterioram a sua qualidade, com consequências para a qualidade das peças de vidro produzidas. O tamanho destes destacamentos é reduzido com o uso do ferro fundido nodular, em

substituição aos ferros fundidos cinzentos.

A presença de rugosidades devido às oxidações superficiais é diminuída com o emprego do ferro fundido nodular, evitando-se assim a formação de uma rede de óxidos que acompanha a grafita lamelar do ferro fundido cinzento. 

BIBLIOGRAFIA

- 1] Wollheim, F P.: *Os moldes para o vidro oco*. In: 1º Simpósio Técnico sobre Fabricação de Vidro, São Paulo, Alaprovi, 1978.
- 2] Matthews, C.: *Mold equipment performance*. In: 1º Simpósio Técnico sobre Fabricação de Vidro, S Paulo, Alaprovi, 1978.
- 3] Dusserre, G; Schmidt, F; Dour, G; Berhart, G.: *Thermomechanical stresses in cast steel dies during glass pressing process*. Journal of Materials Processing Technology, nº 162-163, p. 484-491, 2005.
- 4] Cingi, M; Arisoy, F; Basman, G; Essen, K.: *The effects of metallurgical structures of different alloyed glass mold cast irons on the mold performance*. Materials Letters, vol. 55, nº 6, p. 360-363, 2002.
- 5] Toporcov, E. S.: *Como tratar e utilizar o molde*. In: 1º Simpósio Técnico sobre Fabricação de Vidro, S Paulo, Alaprovi, 1978.
- 6] Souza, F. F.: *Cuidados e técnicas de reparação do molde*. In: 1º Simpósio Técnico sobre Fabricação de Vidro, S Paulo, Alaprovi, 1978.
- 7] Beckert, E. A.: *Ferros fundidos cinzentos com grafita tipo D, empregados na confecção de moldes para a indústria vidreira*. Documento Técnico 518, Tupy Fundições, 1986.
- 8] Cruz, A. F.: *Aplicações dos ferros fundidos obtidos através do processo de fundição contínua nas vidrarias*. In: 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes. ABM, São Paulo, 2004.

Projetando e Construindo a Inovação em Equipamentos Analíticos

Espectrômetros de Emissão Óptica



ATLANTIS



SOLARIS
CCD Plus



SOLARIS
CCD-NF



ESAPORT
PORTATIL CCD

Venda de padrões primários e de referência para calibração •
Assistência técnica local e permanente •
Melhor custo benefício •

Tel: (11) 2028-7941 / 2965-6423
www.gnrbrasil.net • gnrbrasil@gnrbrasil.net



GNR BRASIL
Instrumentação Analítica