

# MOLDES DE VIDRO PRODUZIDOS EM PERFIS DE FERROS FUNDIDOS<sup>1</sup>

*Wilson Luiz Guessser<sup>2</sup>  
Dilço Carvalho Junior<sup>3</sup>  
Luciano Kluge.<sup>4</sup>*

## **Resumo**

É discutida a utilização de perfis de ferros fundidos, obtidos por fundição contínua, em moldes para a produção de objetos de vidro. Este tipo de aplicação impõe ao molde de ferro fundido solicitações de desgaste e de ciclagem térmica, além de se exigir excelente acabamento superficial da peça de vidro produzida. Para atender estas exigências, duas diferentes abordagens são utilizadas: moldes em ferro fundido nodular e moldes em ferro fundido cinzento com grafita tipo D, ambos podendo conter depósitos superficiais de cromo duro. As discussões são ilustradas com análises de moldes após utilização, verificando-se o comportamento superior de moldes produzidos em ferros fundidos nodulares.

**Palavras-chave:** Moldes de vidro; Ferros fundidos; Cinzento; Nodular.

## **GLASS MOULDS PRODUCED FROM CONTINUOUS CAST BARS OF GRAY AND DUCTILE IRON**

### **Abstracts**

It is discussed the use of continuous cast bars of gray and ductile iron for glass moulds. Some properties are requires from the cast Irons, like wear and thermal fatigue resistance, together with good surface finishing of the machined mould. Ductile iron and gray iron with D graphite are selected for glass moulds, in some cases associated with hard chromium surface treatments. Examinations of glass moulds at the end of the life show that ductile iron presents superior performance, concerning wear, surface finishing in service and oxidation resistance.

**Key words:** Glass moulds; Cast Irons; Ductile iron; Gray iron.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

<sup>2</sup> *Dr.Eng. – Tupy S.A. e UDESC.*

<sup>3</sup> *Tupy S.A.*

<sup>4</sup> *Engº - Tupy S.A.*

## 1 INTRODUÇÃO

Peças de vidro são usualmente fabricadas por fusão e moldagem, empregando-se moldes metálicos. Estes moldes são submetidos a intensas solicitações térmicas e mecânicas, e sua vida tem significado econômico importante. Dependendo do processo de moldagem do vidro (sopro, prensagem) e da geometria da peça de vidro, diferentes materiais do molde podem ser empregados, destacando-se os aços inoxidáveis martensíticos e os ferros fundidos, cinzentos e nodulares.

Discutem-se neste trabalho as solicitações a que são submetidos estes moldes para vidro. São ainda examinados alguns casos de moldes em final de vida, procurando-se identificar os mecanismos de falha destes moldes.

## 2 MOLDES PARA VIDRO – ASPECTOS DA LITERATURA

Os processos de moldagem de vidro podem ser divididos em sopro e prensagem. No processo de sopro (Figura 1), a gota de vidro ao ser introduzida no molde é soprada na forma de uma bolha, que se acomoda nas paredes do molde, resultando em peças ocas. Obtém-se em média 400.000 embalagens por molde.<sup>(1)</sup> Em alguns casos a vida do molde é determinada por locais mais solicitados termicamente. Assim, por exemplo, em garrafas ou frascos, a região do gargalo é a que está sujeita a um maior tempo de contato com o vidro, sendo portanto a região mais solicitada termicamente e, em alguns casos, é confeccionada por materiais com uma maior resistência à fadiga térmica que o material do corpo da garrafa, como por exemplo em bronze ao alumínio.<sup>(2)</sup>

A Figura 2 ilustra o processo de moldagem por prensagem, que consiste nas etapas de abastecimento do vidro, prensagem, manutenção da pressão e desmoldagem. Devido à aplicação da pressão desenvolvem-se tensões superficiais importantes, bem como altas temperaturas no molde (Figura 3), o que resulta em menor vida útil do molde (comparativamente ao sopro), ou seja, em torno de 75.000 peças por molde para formatos redondos e 35.000 peças para formas mais complexas.<sup>(1)</sup>

Em ambos os processos o principal mecanismo de dano do molde seria desgaste associado com oxidação.<sup>(4)</sup>

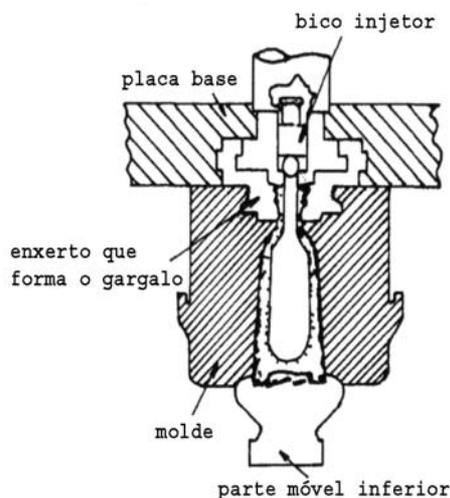
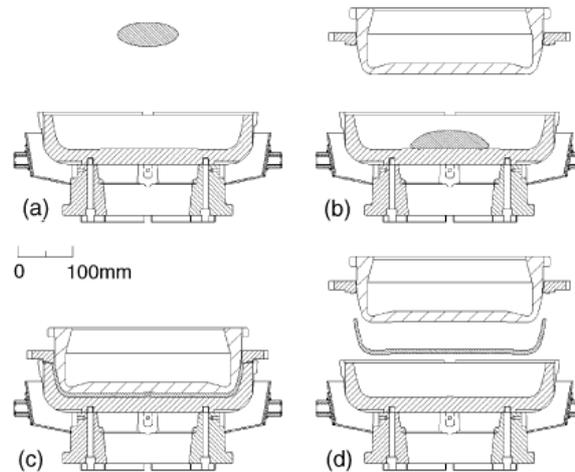
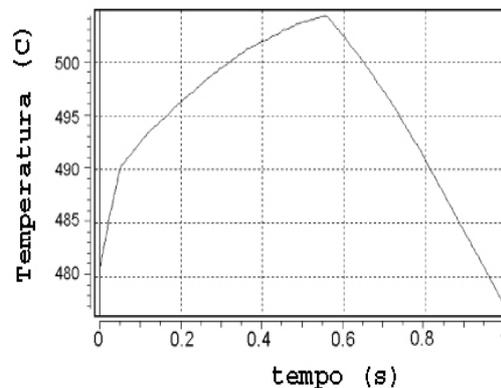


Figura 1. Processo de moldagem por sopro, de frascos e garrafas.<sup>(1)</sup>



**Figura 2.** Principais etapas do processo de moldagem de vidro com prensagem.<sup>(3)</sup> a) Abastecimento do vidro; b) Prensagem; c) Manutenção da pressão; d) Desmoldagem.



**Figura 3.** Evolução da temperatura da superfície do molde durante a prensagem do vidro.<sup>(3)</sup>

Ressalta-se ainda que a vida do molde tem sido considerada como um aspecto de grande importância na fabricação de vidros, tendo em vista que o custo do molde pode significar até 20% do preço do produto fabricado.<sup>(1)</sup> Entre outras variáveis que afetam a vida dos moldes, pode-se citar o uso adequado de materiais lubrificantes, assim como a grafite, o enxofre e o bissulfato de molibdênio,<sup>(5)</sup> bem como os cuidados que devem ser tomados na limpeza dos moldes, através do uso de decapagem com soda cáustica e ainda pelo emprego de jatos com microesferas de vidro.<sup>(6)</sup>

Na fabricação de vidros prensados os moldes são geralmente cromados, possuindo este revestimento uma durabilidade mínima de 72 horas. Para a recuperação desses moldes, a cromagem é retirada eletroliticamente, sendo o molde repolido e então submetido à aplicação de uma nova camada de cromo.<sup>(6)</sup> Experiências com moldes de aço não cromados mostraram uma grande tendência do vidro em aderir ao molde, uma maior oxidação, uma maior porosidade, e uma menor durabilidade que os moldes cromados.<sup>(6)</sup>

Convém ainda salientar que em algumas vidrarias é comum a recuperação apenas de regiões do molde que sofreram maior desgaste, através da metalização com pó atomizado.<sup>(6)</sup>

Com relação ao material do molde, de um modo geral pode-se citar os seguintes requisitos desejáveis:<sup>(7)</sup> elevado grau de acabamento superficial, boa usinabilidade, alta resistência à fadiga térmica, baixa tendência à expansão, alta resistência ao

desgaste, alta resistência à corrosão e à oxidação, pequena expansão por dilatação térmica, alta resistência ao empenamento e alta resistência à colagem com o vidro. São empregados principalmente ferros fundidos (cinzentos e nodulares) e aços (aços carbono e inox martensíticos), dependendo das solicitações do molde. Em muitos casos a usinabilidade é um aspecto crítico, representando 80% do custo de produção do molde. Nestes casos é selecionado um ferro fundido, cinzento ou nodular, de matriz ferrítica.<sup>(1)</sup> A Tabela 1 apresenta informações de desempenho de alguns moldes de ferros fundidos.<sup>(8)</sup>

Apresenta-se a seguir o trabalho experimental realizado, que consistiu no exame de moldes em final de vida, procurando-se caracterizar os mecanismos de falha de moldes produzidos em ferros fundidos, submetidos a diferentes processos de moldagem de vidro.

**Tabela 1** – Temperatura de trabalho e vida útil de moldes produzidos com ferros fundidos.<sup>(8)</sup>

Ferro fundido	Aplicação	Processo de moldagem	Temperatura média (°C)	N° peças por molde
Cinzento, grafita D, ferrita	Pré-moldes	Sopro	370	250.000
	Molde – perfumaria	Sopro	500	72-75.000
	Molde, remédios	Sopro	500	145-150.000
	Gargalo (neck ring)	Sopro	350	45-50.000
Nodular, ferrita	Macho para copo	Prensa	250	420.000
	Gargalo (neck ring)	Prensa-sopro	350-400	36.000
Nodular, perlita	Moldes	Sopro	500	145-150.000
	Molde para copo	Prensa	400	900.000

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram examinados cinco tipos de moldes empregados na fabricação de vidro, constando da Tabela 2 as características destes moldes e de sua utilização. Foram efetuadas análises metalográficas em regiões selecionadas, e, em alguns casos, observação da superfície desgastada em MEV.

**Tabela 2.** Moldes examinados.

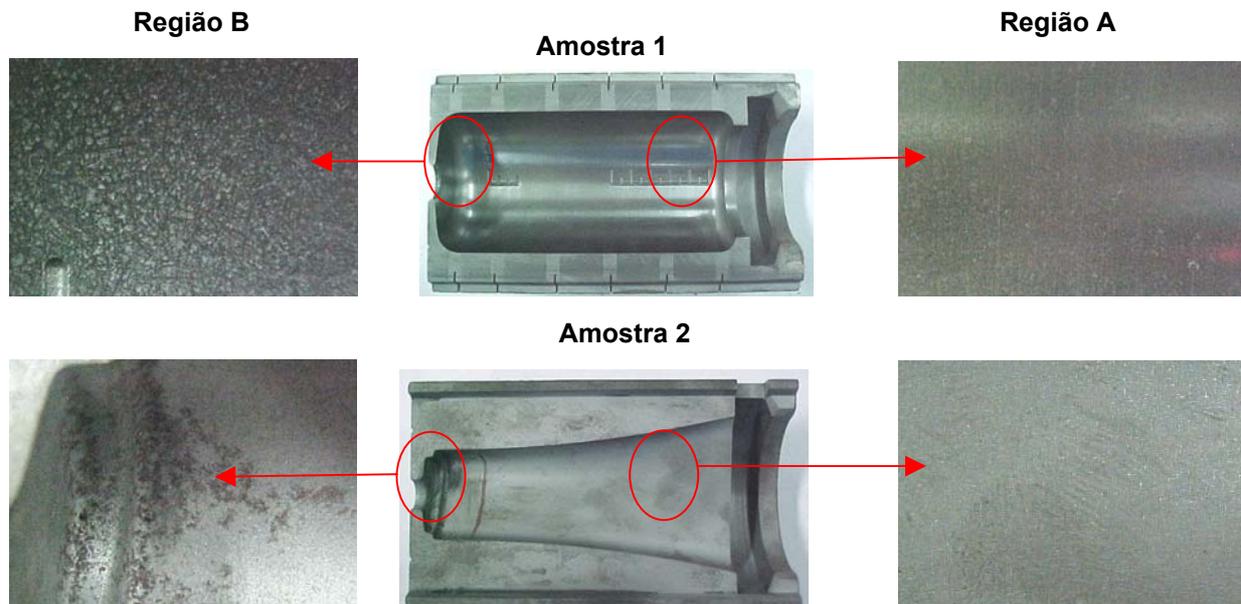
Caso	Processo de moldagem	Material do molde	Falha
1	Sopro	Ferro fundido cinzento (grafita tipo D, ferrita)	Rugosidade junto ao gargalo
2	Sopro	Ferros fundidos cinzentos (grafitas, tipos A, E e D, ferrita) e nodular (ferrita).	Oxidação no gargalo
3	Prensagem	Ferro fundido nodular (perlita). Revestimento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

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

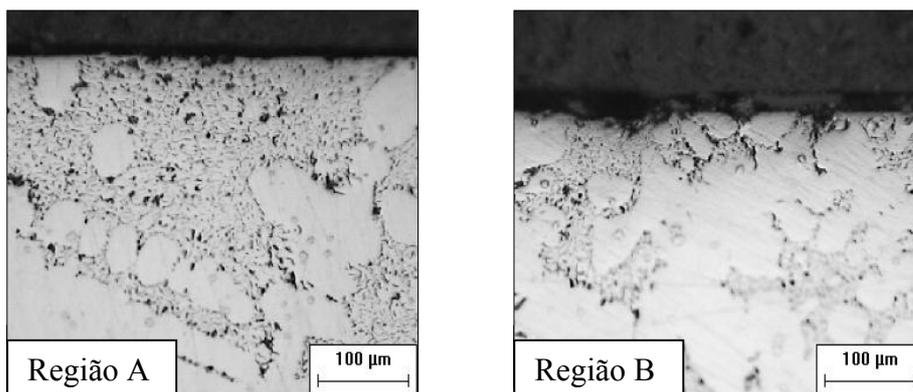
#### 4.1 Caso 1 – Moldes de Vidro Soprado – Rugosidades Superficiais

A Figura 4 mostra dois moldes de frascos, onde é empregado o processo de sopro. Estes moldes apresentam, em final de vida, imperfeições superficiais localizadas junto ao gargalo, região mais quente do molde (indicadas por B na Figura 4). As análises metalográficas de seções ortogonais das regiões A e B mostraram a presença de óxidos aderidos à superfície nos locais B, associados a oxidação da rede de grafita junto à superfície (Figura 5). Verifica-se assim que a rugosidade

superficial foi provocada por um processo de oxidação, que se propaga para dentro do material através da rede de grafita do ferro fundido cinzento.



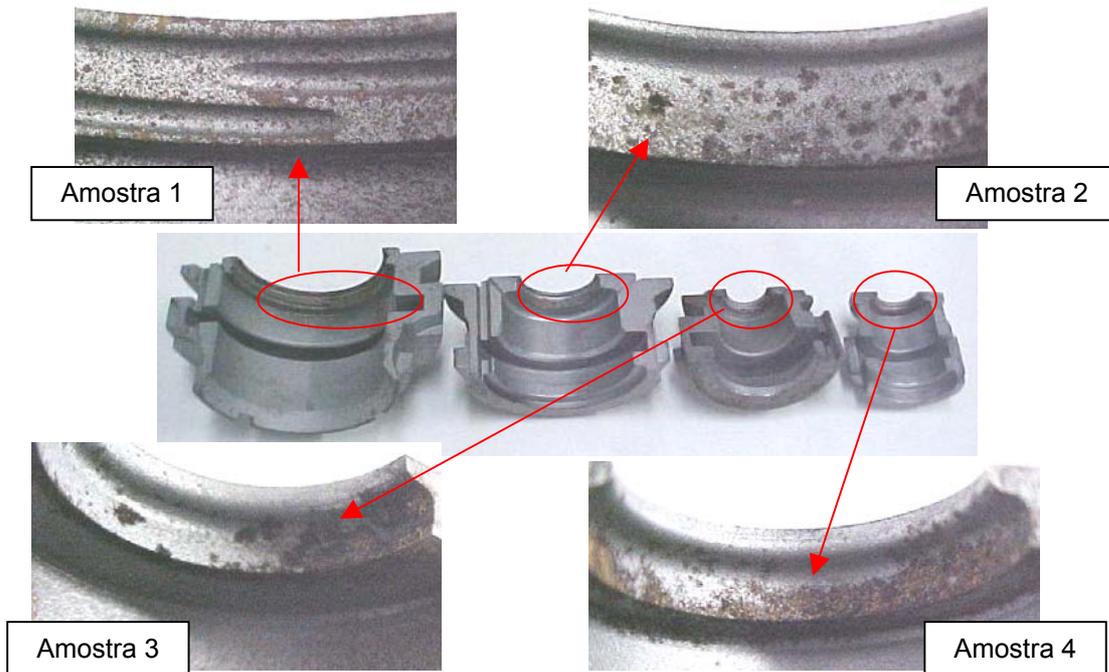
**Figura 4.** Caso 1 – Moldes de vidro soprado, com imperfeições superficiais localizadas (regiões B).



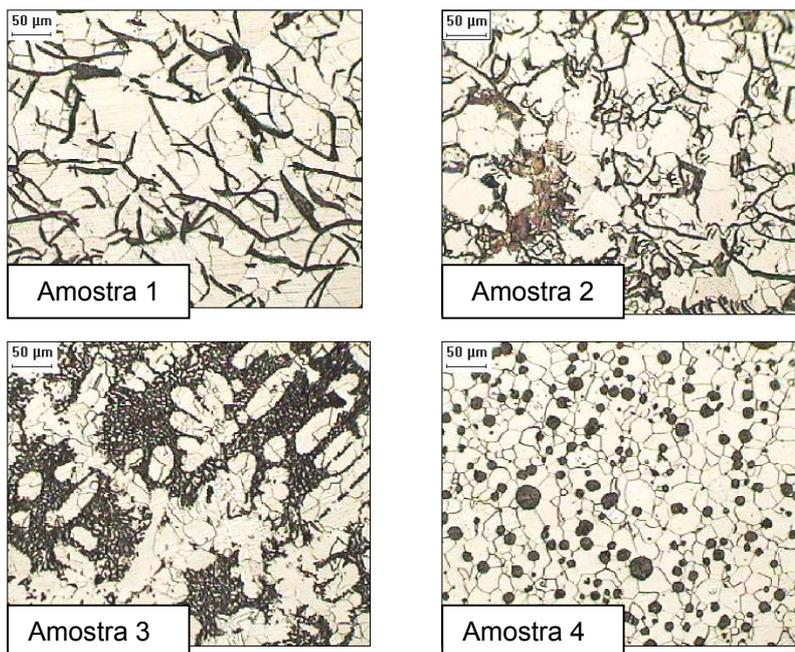
**Figura 5.** Seções ortogonais das regiões A e B da amostra 1. Grafita tipo D e matriz ferrítica. Verifica-se na região B a presença de óxidos superficiais e oxidação superficial da rede de grafita.

#### 4.2 Caso 2 – Moldes de Vidro Soprados – Oxidação no Gargalo

Moldes de frascos apresentaram oxidação na região do gargalo, como indicado na Figura 6. Foram examinados moldes de dois tipos de ferros fundidos cinzentos (grafita tipo A, grafita tipo D) e de ferro fundido nodular, todos de matriz ferrítica ou predominantemente ferrítica (Figura 7).



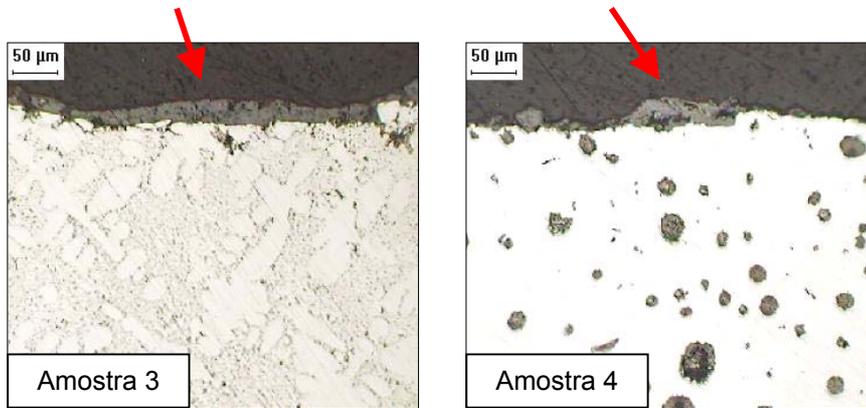
**Figura 6.** Caso 2 – Moldes soprados, com oxidação no gargalo.



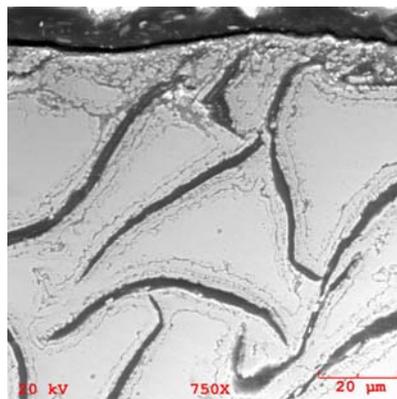
**Figura 7.** Microestrutura dos moldes do Caso 2. Ataque com nital. Amostra 1 – ferro fundido cinzento com grafita tipo A, matriz ferrítica; Amostra 2 – ferro fundido cinzento, grafita tipos A e E, matriz com 95% ferrita; Amostra 3 – ferro fundido cinzento com grafita tipo D, matriz ferrítica; Amostra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

Análises metalográficas da região do gargalo mostram a presença de óxidos na superfície, como ilustrado na Figura 8 para as amostras 3 e 4. Nos ferros fundidos cinzentos (amostras 1, 2 e 3) verifica-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, provavelmente na desmoldagem da peça de

vidro, causa depressões superficiais. Verificou-se oxidação superficial mesmo no molde de ferro fundido nodular, onde a forma da grafita não favorece a oxidação para dentro da peça. Isto mostra que, dependendo do ciclo térmico a que está submetido o molde, as condições de oxidação podem ser muito severas. De qualquer modo, a oxidação do ferro fundido nodular fica restrita à superfície, o que mostra as vantagens deste material nestas condições.



**Figura 8.** Presença de óxidos na superfície. Caso 2, região do gargalo dos moldes. Sem ataque.



**Figura 9.** Região do gargalo da amostra 1 do Caso 2. Oxidação superficial. Sem ataque.

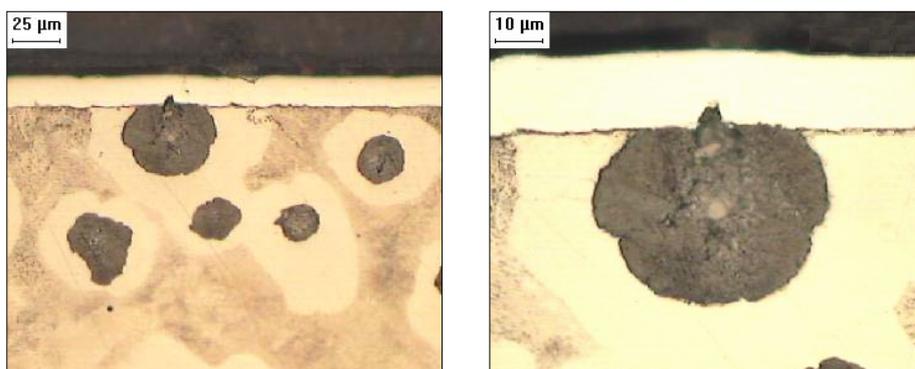
#### **4.3 Caso 3 – Molde de Vidro para Prensagem com Revestimento de Cromo**

A Figura 10 mostra um molde de vidro empregado para a fabricação de copos, com o processo de prensagem. Este molde tem a superfície de trabalho revestida por uma camada de cromo duro, para aumentar a sua resistência ao desgaste. Na Figura 11 observa-se que esta camada tem espessura de cerca de 20 µm, e que seu contato com a matriz de ferro fundido nodular não apresenta imperfeições, mesmo sobre o nódulo de grafita. Ao final de vida do molde esta camada é removida, procede-se a nova usinagem da figura do copo e aplica-se novamente a camada de cromo duro. Este processo é repetido por três vezes, quando então o molde é inutilizado.

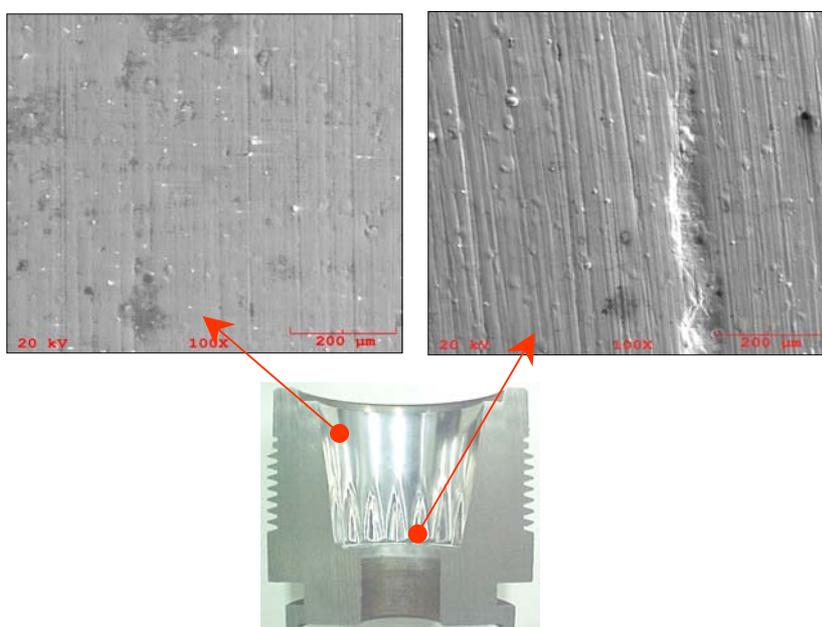
Exames das superfícies de desgaste estão apresentados na Figura 12. Em ambos os locais examinados é visível a presença de riscos, mostrando que a abrasão (a quente) é um mecanismo de desgaste importante. Além disso, na base do copo, verifica-se que o desgaste é mais acentuado, com a presença de grandes sulcos na superfície, representando áreas relativamente grandes de remoção da camada de cromo.



**Figura 10.** Molde de vidro – processo de prensagem – Caso 3.



**Figura 11.** Filme de cromo (espessura de cerca de 20 µm) na superfície do molde do Caso 3. Ferro fundido nodular com matriz de perlita com 40% ferrita. 240 HB. Ataque com nital.



**Figura 12.** Superfície desgastada do molde do Caso 3. Riscamento da camada de cromo e grandes sulcos (na região inferior).

#### 4.4 Caso 4 – Molde de Vidro Soprado - Frascos

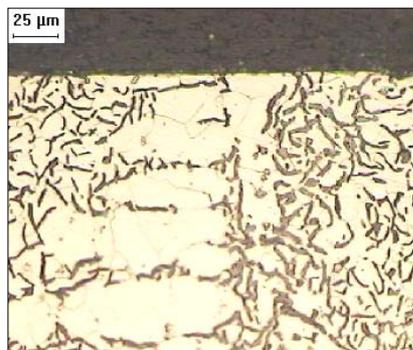
A Figura 13 mostra parte do molde de vidro soprado do caso 4. Trata-se de um molde para frascos. A parte examinada inclui o gargalo, região de maior temperatura do molde. É confeccionado em ferro fundido cinzento, com grafita tipo D e matriz

ferrítica (Figura 14). Este material apresenta excelente usinabilidade e ótimo acabamento superficial.

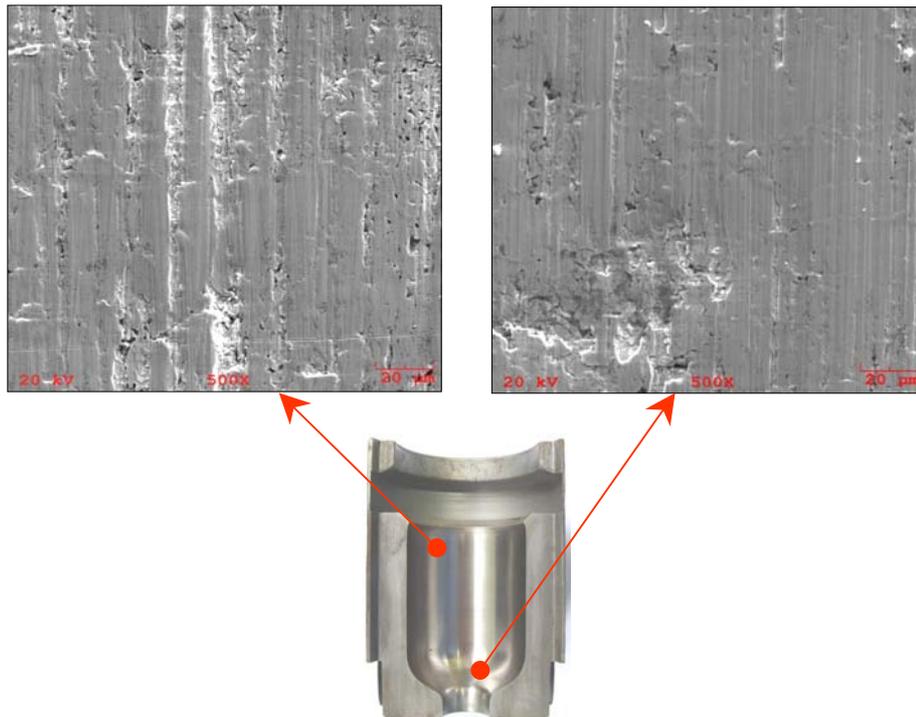


**Figura 13.** Molde de vidro – processo de sopro. Caso 4.

Exames da superfície de desgaste mostram, além dos riscamentos causados pela abrasão a quente, a presença de destacamentos na superfície do molde (Figura 15). Estes destacamentos devem ter ocorrido devido à baixa resistência provocada pela rede de grafita lamelar, resultando em deterioração da qualidade da superfície, com conseqüências sobre a qualidade da peça de vidro produzida.



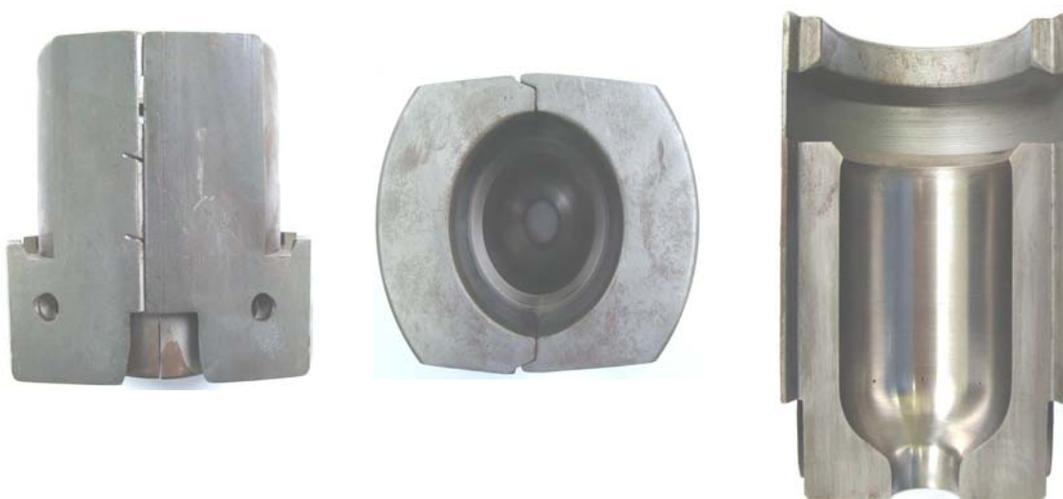
**Figura 14.** Microestrutura e superfície de trabalho de molde de vidro. Ferro fundido cinzento com grafita tipo D e matriz ferrítica. 163 HB. Ataque com nital.



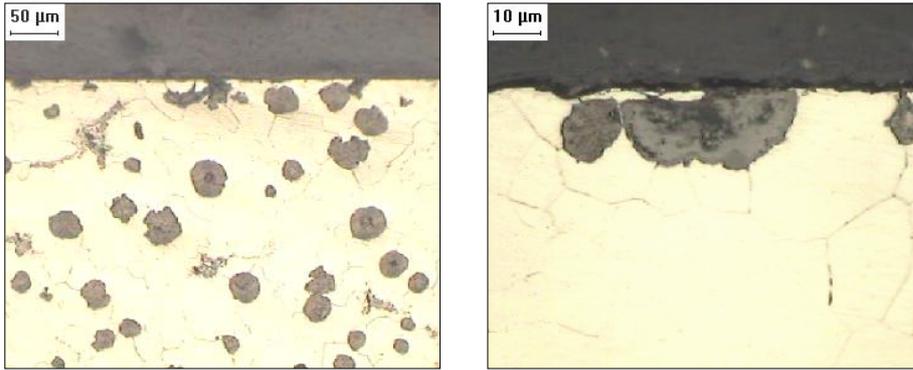
**Figura 15.** Superfícies de trabalho de molde de vidro, Caso 4. Observa-se a presença de destacamentos grosseiros na superfície do fundo do molde (à direita).

#### 4.5 Caso 5 – Molde de Vidro de Frasco – Processo de Sopro

A Figura 16 mostra o molde referente a este caso. Emprega-se aqui o processo de sopro para a confecção da peça de vidro. A vida média destes moldes é de cerca de 18.000 frascos, com 4 a 5 recuperações (por usinagem), totalizando então 70-90.000 frascos. O molde é confeccionado em ferro fundido nodular, de matriz ferrítica com algum residual de perlita. Exame da microestrutura junto à superfície de trabalho mostrou alguma oxidação ocorrendo junto à grafita, porém restrita à região superficial (Figura 17).

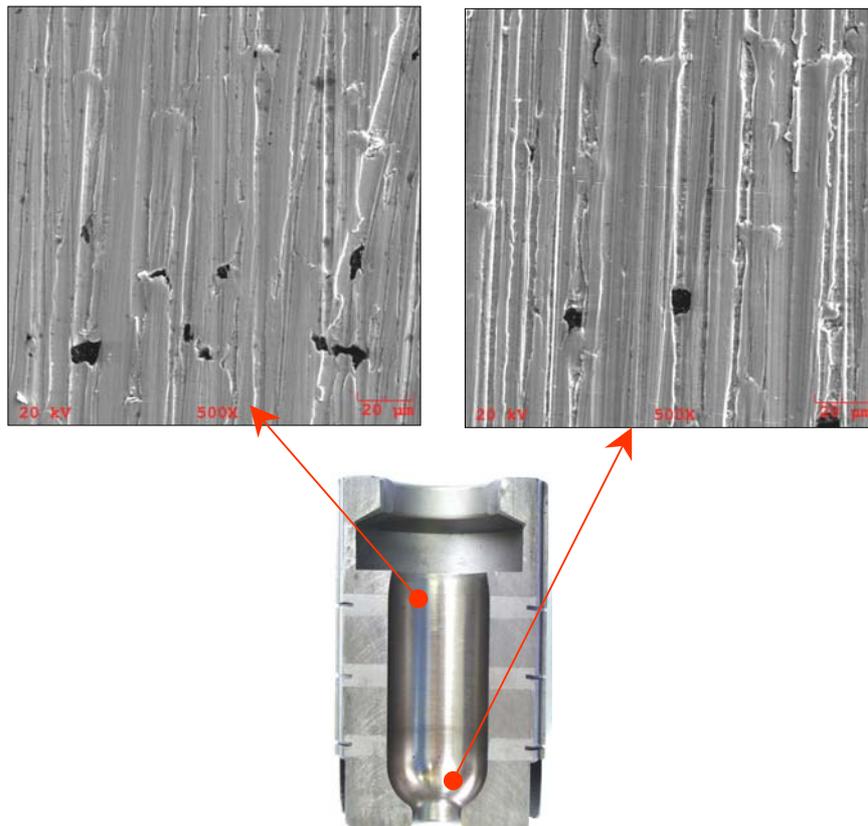


**Figura 16.** Molde de vidro – processo de sopro – Caso 5.



**Figura 17.** Superfície do molde do Caso 5. Oxidação de parte da grafita. Sulcos de desgaste. Ferro nodular ferrítico com restos de perlita na matriz. 180 HB. Ataque com nital.

A superfície de desgaste, examinada em microscópio eletrônico de varredura (Figura 18), mostrou a presença de riscos, pequenas escamas superficiais e pequenas porosidades. Estas escamas e porosidades estão associadas a nódulos de grafita. O mecanismo de desgaste predominante também aqui é a abrasão (a quente), com esforços que produzem pequenos destacamentos da matriz que recobre os nódulos de grafita. Comparando-se com o caso anterior (Figura 15), verifica-se a vantagem da utilização de ferro fundido nodular para estas aplicações, com redução do tamanho dos destacamentos da superfície desgastada.



**Figura 18.** Superfície de trabalho de molde de vidro. Caso 5.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os exames de moldes de vidro em final de vida mostraram que o mecanismo de desgaste predominante é a abrasão a quente, seja em processo de sopro como de prensagem. O desgaste conduz também a destacamentos da superfície, que deterioram a sua qualidade, com conseqüências para a qualidade das peças de vidro produzidas. O tamanho destes destacamentos é minimizado com o uso de ferro fundido nodular, em substituição a ferros fundidos cinzentos. Também a presença de rugosidades devido a oxidações superficiais é diminuída com o emprego de ferro fundido nodular, evitando-se assim a formação de rede de óxidos que acompanha a grafita lamelar do ferro fundido cinzento.

## REFERÊNCIAS

- 1 WOLLHEIM, F P. Os moldes para o vidro oco. In: 1º Simpósio Técnico sobre Fabricação de Vidro, S 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. Thermo-mechanical stresses in cast steel dies during glass pressing process. *Journal of Materials Processing Technology*, n° 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, n° 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.