

# FUSÃO DUPLEX CUBILÔ: FORNO ELÉTRICO <sup>(1)</sup>

TOMIO KITICE <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*O Autor, conhecido especialista, presta informações sobre o processo duplex cubilô: forno elétrico, aplicado com êxito na indústria automobilística. Mostra as vantagens do processo e salienta o contrôlo rigoroso que o mesmo, como os demais, exige para se obter uniformidade de características.*

## 1. INTRODUÇÃO

Até meados de 1959, a nossa firma produzia maleável de núcleo branco, por fundição direta de cubilô. Êste, apesar das inerentes dificuldades de usinagem, falta de uniformidade e dureza alta, satisfazia à indústria automobilística. Com solicitação crescente, as naturais exigências da indústria automobilística (fazendo questão que o suprimento fosse feito de acôrdo com a especificação SAE 32510) e com a usinagem em série, em máquinas especiais, tornou-se premente a necessidade de se produzir um maleável de características mais uniformes e de boa usinabilidade.

Para se conseguir a uniformidade, tornava-se necessário partir de um ferro fundido branco e de composição razoavelmente regular, o que excluía de início a fusão simples em cubilô. Dada a aparente simplicidade, a versatilidade e a fabricação no mercado nacional, procurámos estudar a possibilidade de trabalhar em duplex com um forno elétrico. Pairavam, no entanto, em nossa mente, certas dúvidas quanto as características do material obtido, devido a informações de insucessos com êste sistema de trabalho em outras firmas nacionais.

- 
- (1) Contribuição Técnica n.º 384. Apresentada na Reunião Aberta sobre «Produção de peças de ferro fundido de alta qualidade», do XV Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1960.
- (2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Consultor de Conexões de Ferro Foz S/A.; Docente da Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie; São Paulo, SP.

Julgamos de bom alvitre fazer uma experiência semi-industrial, o que fizemos com a colaboração da Usina Experimental do IPT, nas suas instalações na Cidade Universitária. A experiência deu resultado razoavelmente bom, considerando as improvisações e a nossa falta de experiência no assunto, tanto assim que firmámos o nosso ponto de vista quanto à utilização do sistema duplex cubilô-forno elétrico. Posteriormente, após a assinatura do contrato de assistência técnica com a *Albion Malleable Iron Co.*, solicitámos a opinião de seus técnicos sobre a viabilidade do processo. A resposta foi a mais encorajadora possível: “*Se tivermos de reorganizar a nossa fusão, fá-la-emos em duplex com forno elétrico*”.

## 2. FUSÃO DUPLEX

Num processo duplex, com o forno elétrico ou forno a ar, estes não têm função de alterar profundamente a composição do ferro mas, simplesmente, a de funcionar como homogeneizador e superaquecedor do ferro, com pequenas alterações de composição.

## 3. CUBILÔS

Projetados para uma capacidade nominal de 12 t/h, estão trabalhando com marcha reduzida; a vazão é controlada pelo volume de ar. Prevendo aumento de produção, os cubilôs foram construídos com refrigeração de água, o que permite um esfriamento rápido após o término da operação e possibilita reparações na mesma noite, após o término da fundição. Desta maneira a nossa capacidade de fusão pode ser elevada até 24 t/h.

*Vazamento do cubilô* — O vazamento é contínuo, entrando o ferro diretamente no forno elétrico. A escorificação é contínua e feita pela calha em bico de chaleira, sendo retirada por meio de carrinhos manuais.

*Carregamento* — A carga, composta de sucata e complementada por gusa, canais e refugos de maleável, é pesada em carro-balança. A caçamba (de descarga pelo fundo) é elevada à altura da bôca de carregamento e, em seguida, o “carro-lança” o transporta até o suporte de ferro fundido, onde, assentando pelas abas, permite a descarga pelo fundo. O coque, de

baixo enxôfre e baixa reatividade, é carregado na proporção de 1:10,5.

*Ventiladores* — O ar é fornecido por dois ventiladores, que trabalham alternadamente. Sua capacidade nominal é de 5.750 pés cúbicos/minuto, à pressão de 32 oz; estão acoplados a motores de 80 HP, 3.550 r. p. m..

#### 4. FORNO ELÉTRICO

O forno elétrico, de arco direto, trifásico e com a capacidade de 4,5 t nominais, está equipado com transformadores de 2.500 kVA e eletrodos de 9" de diâmetro com comando eletro-mecânico. A sola do forno é revestida com duas camadas de tijolos sílico-aluminosos (com 13 cm total) e duas camadas de tijolos de sílica (22 cm), recobertos com 20 cm de pedregulho fino e areia sinterizados.

As paredes são de tijolos de sílica com 34 cm de espessura e 2,5 cm de amianto entre a chapa e os tijolos. A abóbada de tijolos de sílica possui 3 aberturas para a entrada dos eletrodos. As folgas entre as aberturas e os eletrodos são cobertas por camisas de refrigeração a água. O arco e os laterais da porta, os porta-eletrodos, o anel de suporte da abóbada também são refrigerados a água.

A entrada do ferro no forno é feita continuamente por uma bica localizada no munhão do eixo de basculamento. O basculamento do forno é feito por meio hidráulico e o ferro vazado em painéis de transferência de 700 kg.

#### 5. MATÉRIAS PRIMAS

O efeito das matérias primas sobre as características do metal são tão pronunciadas que, com a mesma composição, pode-se obter metal de diferentes propriedades. É portanto de suma importância conhecer o comportamento específico dos diversos componentes da carga.

*Coque* — O coque é a matéria prima mais importante carregada no cubilô, para obtenção do ferro fundido de baixo carbono. Além das características normais de especificação (carbono fixo, voláteis, cinzas, enxôfre, dimensões, esmagamento, etc.) o coque deve ser pouco poroso e de baixa reatividade e baixa combustibilidade, o que de certa maneira evita demasiada absor-

ção de carbono e aumenta a temperatura do ferro. Estas características dependem essencialmente das qualidades específicas dos carvões usados na mistura a ser coqueificada e da temperatura de coqueificação. A regularidade das dimensões e homogeneidade do coque é importante, pois a sua variação altera a altura da cama, produzindo flutuações no teor de carbono, silício e manganês.

*Gusa* — As experiências em produção das fundições têm mostrado que existem certas características hereditárias transmitidas pelo gusa. Morrison <sup>(1)</sup> cita o caso de certas dificuldades encontradas no recosimento, sem aparente razão, com o ferro fundido de determinado gusa. Os grandes produtores de maleável têm mostrado a sua preferência pelo “*silvery pig iron*” com 10% a 15% de Si, em vez do gusa para maleável comum, baseados na observação de que quanto menores as dimensões e as quantidades dos veios de grafite, menor a tendência de mesclar.

*Sucata* — A sucata destinada ao cubilô deve ser a mais limpa possível, especialmente pouco oxidada, pois, óxidos escoriificam o refratário, tornam a escória viscosa e aumentam a perda de silício e manganês. Uma vigilância constante deve ser mantida sobre o recebimento da sucata, separando as peças duvidosas, que possam ter elementos de liga, peças de bronze, alumínio, etc. Tratando-se de lote homogêneo, deve ser feita uma análise cuidadosa antes de remetê-lo a fusão.

## 6. OPERAÇÕES DO CUBILÔ E DO FORNO ELÉTRICO

A carga do cubilô é calculada para se obter composição aproximada da desejada, considerando os ganhos e perdas prováveis durante a fusão. O metal recebido do cubilô tem aproximadamente a composição desejada, funcionando o forno elétrico como homogeneizador e superaquecedor do ferro, como foi dito anteriormente. A variação de composição média entre o ferro do cubilô e o do forno elétrico é mínima. A perda de carbono e do silício é da ordem de 0,05%, excetuando anormalidades ocorridas no forno elétrico, como queda de eletrodos, levantamento da sola, parada prolongada, etc. As adições que porventura se tornarem necessárias, deverão ser feitas com critério, pois o efeito inoculante é muito maior do que se poderia supor pela simples verificação da análise química.

*Contrôles* — O êxito da fusão duplex para obtenção do ferro fundido maleável reside no eficaz e contínuo controle do metal. Para tal, tomamos as seguintes precauções:

- 1 — Medida de temperatura.
- 2 — Tarugos para verificação da tendência de mesclamento de 10 em 10 minutos.
- 3 — Espiral de fluidez de 3 em 3 horas.
- 4 — Corpo de prova para dobramento de 3 em 3 horas.
- 5 — Amostras para micrografia de 3 em 3 horas.
- 6 — Análise química.
- 7 — Após o recosimento, as peças são examinadas pelo ensaio de dureza Brinell.

*Temperatura* — A temperatura é medida com um pirômetro ótico, de desaparecimento de ponto. Mede-se a temperatura do forno elétrico de 10 em 10 minutos e a do cubilô de hora em hora. A temperatura de vazamento do forno elétrico é de 1.570°C a 1.580°C e a do cubilô de 1.440°C a 1.460°C. A tomada de temperatura do cubilô é feita na calha de vazamento do ferro, após escorificação; a do forno elétrico na bica, quando está sendo vazado na panela de transferência. Para evitar-se erros de leitura, os fumos são dispersos com jato de ar durante a tomada da temperatura.

*Tarugos para teste de fratura* — Os tarugos são cilíndricos, de 2" de diâmetro e 8" de altura. Êste ensaio pode indicar certas anormalidades, mesmo antes de se ter o resultado da análise química. O aparecimento de tarugos mesclados é imediatamente comunicado ao vazamento; as peças fundidas no período de mais ou menos 10 minutos daquele em que as anormalias apareceram, são separadas, para observação cuidadosa durante a quebra dos canais. As peças que apresentarem pequenos indícios de mesclamento nos canais ou massalotes são imediatamente refugadas. Os tarugos podem dar indicações da composição química: o aparecimento da coquilha invertida indica teor de carbono muito alto. O mesclamento é ocasionado pelo teor excessivo de carbono mais silício ou simplesmente por efeito inoculante. A fratura muito branca indica condições oxidantes, com Si + C ou Si muito baixo.

*Espiral de fluidez* — A espiral, as amostras para micrografia e os corpos de prova de dobramento, estão colocados numa mesma placa e são moldados em areia normal da fundição, como mostra a figura 1. De acôrdo com as nossas observações, fixa-

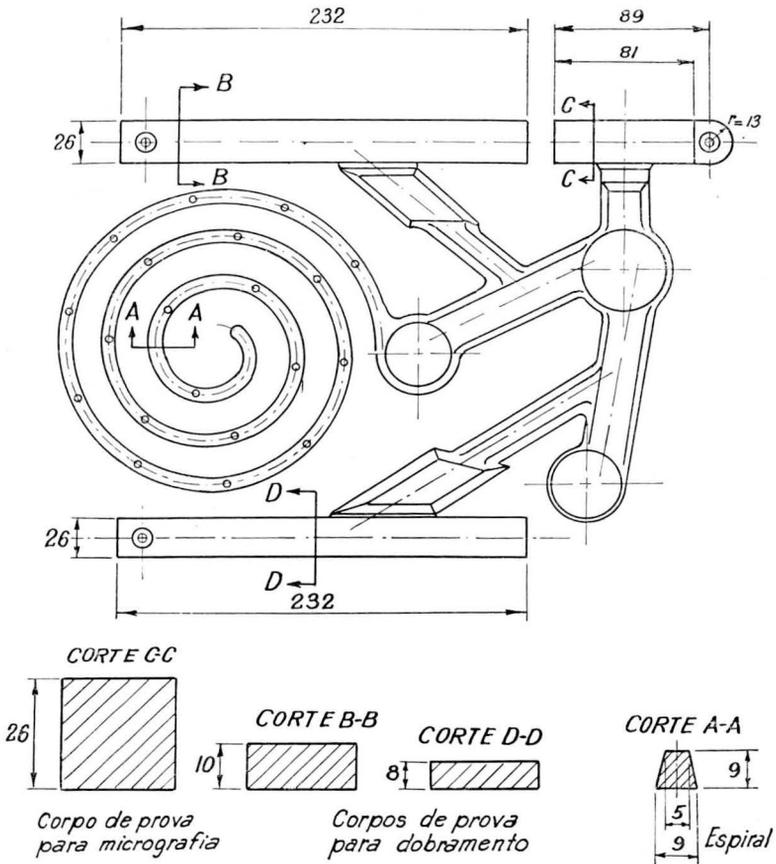


Fig. 1 — Distribuição no molde, da espiral, das barras de dobramento e dos corpos de prova para micrografia.

mos o comprimento mínimo da espiral em 45 cm, para se evitar o mau enchimento. Evidentemente, êste é função da temperatura do ferro (e de sua composição) e da granulometria, umidade e aglomerantes contidos na areia.

*Dobramento* — Êste ensaio nos dá uma idéia da maleabilidade após o recozimento. Consideramos 90° um ângulo satisfatório quando dobrado por flexão.

*Micrografia* — Além das micrografias regulares, tiramos amostras esparsas da fundição. Tôdas as peças que apresentem dureza fora da faixa especificada, são também examinadas

micrográficamente, para corrigir as causas prováveis. Este controle é importantíssimo, pois que com a mesma composição pode-se obter características completamente diferentes, conforme o aspecto micrográfico. São as influências das matérias primas, das condições de fusão, inoculações e elementos residuais.

*Composição química* — Para se ter a melhor uniformidade possível, analisamos o ferro do cubilô e do forno elétrico de meia em meia hora. A amostra do cubilô é retirada na bica de corrida; a amostra do forno elétrico é retirada das painéis de vazamento.

Para atender à presteza das análises, o laboratório químico teve de ser remodelado e os métodos de análises mudados. Um analista determina o C, Si e Mn das amostras do cubilô e forno elétrico de meia em meia hora. O enxôfre e cromo, assim como as análises das matérias primas (coque, gusa, sucata e calcário), são feitas por outro operador, que ainda é responsável por análises da escória do cubilô.

## 7. CONCLUSÃO

A produção de ferro fundido maleável em duplex cubilô-forno elétrico é bastante atraente, pois possibilita grandes produções com uniformidade de composições. Como em qualquer outro sistema de fusão, no entanto, exige um controle rigoroso e atenção constante dos responsáveis pela operação. O forno elétrico na fusão duplex, não tem por finalidade acertar as composições propriamente ditas, mas homogeneizar e apurar as características do ferro, assim como aumentar a sua temperatura.

## BIBLIOGRAFIA

1. MORRISSON, CHARLES — *Cupola-electric furnace duplexing of malleable iron*. AFA — Symposium on Malleable Melting Reprint, 43, 37.