

PROCESSOS E MATERIAIS DE MOLDAGEM ⁽¹⁾

CYRO GUIMARÃES ⁽²⁾

VICTOR LO RÉ ⁽³⁾

RESUMO

São apresentados os processos de moldagem, os materiais e os equipamentos empregados, dando-se uma idéia geral desses, desde a moldagem convencional em areia até os mais recentes e atualmente empregados em determinados campos da fundição. Na maioria dos casos é relatada a experiência dos autores na técnica e nos métodos de produção.

1 INTRODUÇÃO

A moldagem em areia, apesar de sua origem remota, constituiu-se ainda hoje no processo mais amplamente empregado para a obtenção de peças fundidas, devido à competição vitoriosa que mantém com os outros processos em uso. São característicos mais importantes desse processo: versatilidade e economia.

Esse processo vem sendo submetido a uma mecanização cada vez mais intensa com o fito de melhorar as condições econômicas de produção; tem sido substituído por outros métodos de moldagem apenas em campos mais específicos.

A escolha de um método apropriado depende de estudos comparativos, a fim de melhor satisfazer às exigências técnicas em confronto com as condições econômicas de cada fundição.

A razão de ser deste trabalho é portanto a de descrever e analisar os vários processos existentes, acrescidos da experiência obtida na usina experimental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Seus autores esperam estar assim dando a sua contribuição para a melhoria dos conhecimentos sobre o assunto.

(1) Contribuição Técnica n.º 401. Apresentada ao XV Congresso Anual da Associação Brasileira de Metais; São Paulo, julho-agosto de 1960.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Assistente da Seção de Ferro Fundido do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(3) Membro da ABM; Chefe da Seção de Areias de Moldagem do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

2. CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE MOLDAGEM

Os processos de moldagem mais conhecidos e usualmente empregados em fundição resumem-se nos seguintes¹:

2.1. *Fundição em areia*

- 2.1.1. Moldagem a verde
- 2.1.2. Moldes estufados
- 2.1.3. Moldagem no chão (grandes estruturas; em canteiro; em chapelona).
- 2.1.4. Operações de desmoldagem.
- 2.1.5. Moldagem em casca ("shell molding").
- 2.1.6. Moldagem com silicato de sódio e gás carbônico.
- 2.1.7. Moldagem aglomerada com cimento.

2.2. *Moldagem com moldes permanentes.*

2.3. *Fundição sob pressão ("Die casting").*

2.4. *Fundição centrifugada.*

2.5. *Fundição de precisão (ou da Cêra Perdida).*

2.6. *Moldagens especiais*

- 2.6.1. Moldagem em gesso.
- 2.6.2. Processo Antioch.
- 2.6.3. Moldes de grafita.
- 2.6.4. Miscelânea (com alumínio anodizado; com carbureto de silício; com moldes de cerâmica; machos e moldes congelados; etc.).

2.1. FUNDIÇÃO EM AREIA

Generalidades — A produção de peças de boa qualidade depende diretamente dos característicos da areia de moldagem dos moldes e machos.

Quando as areias se encontram na natureza, já contendo uma quantidade de argila, em maior ou menor proporção, que possibilite seu emprêgo direto para a moldagem, são denominadas *Areias Naturais*. Se forem feitas adições de uma quantidade de argila, ou outro componente, a essa areia, resultará no que se denomina uma *Areia Semi-sintética*. A mistura artificialmente feita pela adição de aglomerantes, minerais ou orgânicos, a uma areia base, pura, constituirá a chamada *Areia Sintética*.

As principais propriedades que se requer da areia de moldagem são: moldabilidade, durabilidade, granulometria adequada, permeabilidade, resistência e refratariedade. As areias em geral possuem essas propriedades em graus variados; por adições convenientes de certos materiais, podemos compô-las de maneira de se ter uma mistura com boas condições de trabalho.

Os principais elementos para compor uma areia de moldagem, ou de macho, são os seguintes: areia como elemento refratário ao calor; silicatos de alumínio ou argila, que representam os aglomerantes minerais; dextrina, que aumenta a resistência mecânica do material estufado; mogul (amido de milho gelatinizado), para elevar a resiliência (cujo índice é obtido pelo produto da resistência à compressão pela deformação); breu, para conferir alta colapsibilidade e menor higroscopicidade; querosene, para diminuir a umidade e facilitar a remoção dos modelos; serragem, para atenuar os efeitos de expansão-contracção e dar maior permeabilidade; pó de sílica, para maior resistência a quente; óleos vegetais, para dar grande resistência a sêco; moinha de carvão mineral ou vegetal, para melhoria do acabamento da peça, refratariedade e atenuar os efeitos de expansão-contracção.

A técnica de preparo dessas areias já foi convenientemente divulgada em trabalhos publicados por especialistas do I. P. T.^{2, 3}; em linhas gerais, pode-se lembrar que a mistura é feita de areia base, argila e água, além dos materiais mencionados, conforme o caso. A mistura é feita em duas fases: uma sêca e outra úmida, para melhor homogeneização dos componentes.

Os característicos físicos da areia de fundição são mantidos por constante correção da areia, aliados ao contróle por meio de ensaios de laboratório. Êstes são os seguintes: coleta e preparo das amostras para determinações de umidade, de resistência a verde e a sêco, deformação, de tração, de resistência em altas temperaturas, expansão-contracção, de permeabilidade, dureza e de escoabilidade também denominada fluxibilidade.

Os materiais que constituem os componentes da mistura são controlados por meio de ensaios de recepção. Assim, por exemplo, na areia base, realizam-se ensaios de teor de argila AFS, ensaios granulométricos e ponto de sinterização. Os ensaios em alta temperatura (tais como a determinação do ponto de sinterização, resistência, expansão-contracção e colapsibilidade), são de grande importância, pois que fornecem indicações de como a areia se comportará durante o vazamento. Os referidos ensaios poderão ser executados de acôrdo com os métodos elabo-

radados pela Secção de Especificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, correspondendo às numerações M-31 à M-46 e E-110.

A escolha dos materiais para se compor as areias, o seu preparo conveniente, a objetivação de certas propriedades, os meios de controlá-las, a sua recuperação, etc., obedecem a um critério de ordem econômica e tecnológica. É óbvio que para a obtenção de peças boas intervêm outros fatores, como a composição química do metal, a técnica de fundição, etc.; mas é certo que a areia, quando inadequada, contribui estatisticamente com a maioria dos defeitos finais nas peças produzidas.

2.1.1. *Moldagem a verde:*

Generalidades — A areia a verde tem características próprios; é preparada de tal maneira que possa suportar o vazamento do metal, mantendo a umidade original. A areia de moldagem comum possui normalmente teores de sílica variando em torno de 80%; de argila entre 4% e 20% e de água entre 3% e 6%.

A maior parte da água fica absorvida pela argila, a qual age como uma lama absorvente, formando um filme adesivo que envolve os grãos de areia, aglomerando-os. A obstrução dos vazios do sistema pela presença de partículas não umidificadas, determina baixa permeabilidade e baixa resistência. O mesmo acontece por adições excessivas de água.

Quando o metal líquido é vazado em molde extremamente úmido, dá-se alta produção de vapor de água, o que acarreta sérios danos às peças.

Em cada sistema argila-areia, há um certo teor ótimo de água, no qual a argila se apresenta com suas melhores propriedades aglomerantes; neste ponto, verifica-se a quase simultaneidade da melhor resistência com a maior permeabilidade do sistema.

A figura 1 apresenta as variações de resistência e permeabilidade de uma areia, em função de seu grau de umidade.

É indiscutível a influência do módulo de finura sobre a permeabilidade e resiliência da areia. No I. P. T., devido à diversidade de materiais fundidos, ferrosos e não-ferrosos, procurou-se unificar o sistema de areias e passou-se a empregar um só tipo de areia base, ou seja a areia de praia, de São

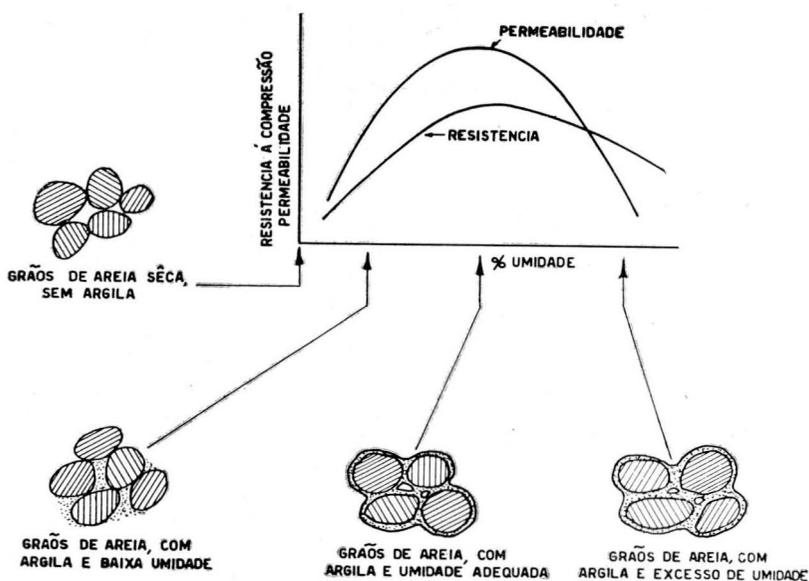


Fig. 1 — Efeito do grau de umidade sobre a resistência à compressão e permeabilidade de uma areia de moldagem.

Vicente, Estado de São Paulo, com módulo de finura entre 90-100 AFS. Conseqüentemente essas areias têm granulação mais fina, que se presta mais à fundição de metais não-ferrosos. Na fundição de ferrosos, onde se trabalha com metais de alto ponto de fusão, dá-se preferência, como é lógico, a areias de módulos mais baixos, como por exemplo, de 35 a 60 AFS. Neste caso, as areias sintéticas apresentam uma permeabilidade bem mais elevada.

O processo de moldagem a verde é empregado, geralmente, na produção de peças pequenas e, às vezes, também de peças médias e relativamente grandes. A tendência atual, por medidas econômicas, é moldar o máximo possível a verde. Em todos os casos, a moldagem a verde, prende-se à moldagem de peças que pelo seu dimensionamento, pêsos e desenho, não exijam uma resistência maior que a apresentada pela areia úmida. Economiza-se assim o tempo, o custo de estufagem e os elementos adicionais da areia estufada. A utilização da moldagem mecanizada torna-se vantajosa, por substancial economia de mão de obra, quando as condições de produção em grande quantidade, de um mesmo tipo de peça, autorize o investimento no equipamento mecânico.

Areias — As composições mais típicas de *areias a verde* para faceamento de ferrosos são as seguintes:

TABELA 1

Componentes	Designação da mistura N.º (*)		
	12	13	14-A
Areia nova kg	100	—	30
Areia usada kg	—	100	70
Mogul kg	1	0,5	1
Argila Jaçanã, em pó kg	10	variável	5
Água lt	3,5	5-5,5	4-4,5

(*) As designações das misturas são representadas por números de uso interno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

Na areia n.º 13, a quantidade de argila é variável, pois temos aí areia de enchimento proveniente da recirculação, que já continha de 1% a 4% de argila.

Como areia de enchimento em geral, aplica-se 100 quilos de areia usada, de 1% a 4% de argila e 5 litros de água, ou no caso de areia nova, 100 partes de areia de praia, módulo de finura 90-100 AFS, cerca de 14% de argila e a mesma quantidade de água.

Outro exemplo típico de areia é aquele empregado para a fundição de metais não-ferrosos, tal seja: areia nova, 30 quilos; areia usada, 50 quilos; pó de sílica, 20 quilos; argila em pó, 5 quilos; dextrina, 0,5 quilos; barrilha (carbonato de sódio e potássio anidro), 1 quilo; água, 5 litros. Esta areia é empregada na moldagem a verde.

As composições dadas referem-se a misturas preparadas com areia base de módulo 90-100 AFS e pureza de 99,6%. Quando o módulo utilizado fôr outro, deve-se alterar convenientemente a quantidade de aglomerantes. A composição correta pode ser obtida por ensaios de laboratório ou pela prática.

Modelos — Para a moldagem a verde, ou estufada, usam-se normalmente modelos livres ou soltos e os montados em placas, simples ou duplas. Esses modelos são feitos de madeira ou metal. As madeiras empregadas e as mais comuns são o cedro, pinho e a peroba. Os metais são as ligas de alumínio, o ferro fundido e o metal patente. Combinam-se a madeira com o metal, às vezes com vantagem, êste último aplicado nas secções mais finas e de maior precisão.

No caso do emprego de modelos soltos pode-se usar moldes dos canais já adrede preparados, o que significará maior rapidez de moldagem, pois então o moldador não terá que cortar esses canais com as suas ferramentas.

Devido que o metal apresenta contrações de solidificação e resfriamento, aumenta-se linearmente o modelo a fim de fazê-lo maior que a peça, para se prover o necessário para a contração final. Os exemplos seguintes dão os coeficientes de contração para alguns metais mais comuns: chumbo, 1,09%, bronze, 1,3%; latão, 1,56%; zinco, 1,25%; estanho, 0,78%; ferro fundido comum, 1,04%; aço 1.030-1.100, 2,4%.

Os modelos são também aumentados o necessário, no local certo, para previsão de usinagem, bem como, recebem uma inclinação adequada para que possam ser facilmente removidos dos moldes. Essa inclinação ($\cong 3^\circ$), diminui com o tamanho da peça a ser fundida, podendo até não existir praticamente. Leva-se ainda em consideração as tolerâncias nas dimensões das peças que serão fundidas, valor este representado pelos limites mínimos e máximos de qualquer dimensão especificada.

Os modelos são também construídos com linhas de repartição para a facilidade de moldagem e até, muitas vezes, subdivididos em várias partes para fácil remoção do molde. Quando, com vistas a um maior rendimento, empregam-se máquinas de moldar, podem os modelos ser montados em placas simples ou duplas, as quais possuem perfurações nas extremidades próprias, a fim de serem fixadas aos pinos das caixas para que não hajam movimentos que acarretariam desencontros finais nas peças. Essas placas podem ser aplicadas também em moldagem manual.

Antes da moldagem o modelo recebe uma pulverização superficial com pó de sílica, caulim, talco, etc., para facilitar a sua remoção do molde sem destacamento de areia.

Caixa de moldagem — Um dos moldes mais rudimentares é aquele em que a areia é acondicionada, em redor de um modelo, num recipiente de madeira ou metálico, que a contém. Esse recipiente é denominado “caixa de moldagem”, o qual pode ser empregado em duas ou mais secções, conforme a conveniência.

Normalmente a parte inferior, denominada fundo ou caixa de baixo, tem pinos laterais e fixos, que servem como guias para a perfeita correspondência entre as duas partes e a fim de evitar o desalinhamento do conjunto. Com a precisão dos pinos e da sua permanente verificação e calibragem é que se assegura a obtenção de peças sem desencontros.

Numa caixa de moldar, simples e típica, intervém ainda os seguintes elementos que contribuem para a precisão do conjunto e conseqüente obtenção de peças de boa qualidade: *buchas ou*

guias, fixadas à tampa e diretamente relacionadas aos pinos; *orelhas*, partes salientes que suportam os pinos ou buchas; *faces de contacto*, superfície onde a tampa e o fundo ficam em contacto quando são fechadas duas ou mais meias caixas; *reforços*, saliências, espessamentos ou peças soldadas que facilitam a suspensão das caixas; com guinchos, pontes, talhas, etc.; *cabos e alças*, prolongamentos para se levantar as caixas; *elementos acessórios*, tais como pesos, garras, grampos, presilhas, etc.⁴.

Na grande maioria das operações de moldagem de peças pequenas e médias, é suficiente uma caixa de duas partes.

Existem vários tipos de caixas de moldagem; cada uma apresenta suas particularidades de construção e aplicação. A mais rudimentar e vulgarizada das caixas de moldagem é a chamada "caixa de abrir, de madeira", que se apresenta com dispositivos diversos que permitem a abertura lateral da tampa e do fundo, o que possibilita a retirada integral do molde, o qual permanece no pátio de moldagem para ser agrupado nos chamados "canteiros".

Existem ainda as "caixas cônicas", de alumínio, magnésio e madeira; as caixas de aço fundido; as caixas inteiriças de aço laminado, etc.

Para a moldagem de não-ferrosos, as caixas que mais se recomendam são as inteiriças, com aberturas laterais que podem ser usadas também para o canal de vazamento. Essas caixas permitem a moldagem em uma posição e o vazamento em outra, quando assim fôr conveniente.

O emprêgo de caixas que acompanham o molde, como é o caso das caixas inteiriças de aço, obriga maior mão de obra para transporte das mesmas; em compensação estão menos sujeitas a dar desencontros, não querem o uso de pesos e camisas e sim de garras para fixação do fundo à tampa. A grande diferença entre as caixas inteiriças e as cônicas reside no custo total do equipamento. O investimento de capital é menor no caso das caixas cônicas.

"Tôda fundição que ainda não operou com máquinas de moldar, deveria começar com a utilização de caixas de abrir e placas. Depois de ter adquirido prática em moldagem dêste gênero, poderia passar a equipar-se com máquinas e caixas cônicas de alumínio e, por fim, com equipamentos de caixas inteiriças. As caixas de aço servem para qualquer tipo de moldagem mecânica ou manual".⁴

Máquinas de moldar — Na grande produção de peças feitas em série, em caráter econômico, empregam-se máquinas de moldar e areia verde. Existe uma grande variedade de máquinas, das quais destacamos as mais usualmente empregadas:

A) *Pancada e compressão* (“Jolt-Squeeser”) — Utilizam uma combinação de pancada e compressão para compactar a areia dentro da caixa. Existem máquinas móveis e estacionárias. São usadas com dispositivos de retirada do modelo e para placas simples ou duplas. O tipo empregado no I. P. T. tem as características: área da mesa, 17×26 polegadas; diâmetro do cilindro de compressão, 13 polegadas; capacidade de pancada a 80 libras; pressão de ar, 500 libras; diâmetro do tubo de admissão de ar. $\frac{3}{4}$ de polegada, portátil.

Com a placa entre a caixa de cima e a de baixo, molda-se a meia caixa superior por meio de pancada. Depois que a caixa é virada de 180° , em cima da mesa da máquina, molda-se a outra metade da caixa. As duas partes sofrem então compressão conjunta. O canal de vazamento é moldado por meio do estrado superior, o canal de descida cortado manualmente. Este método é talvez o mais simples e rápido para a moldagem de peças pequenas.

B) *Pancada, compressão, desmoldagem* (“Jolt-Squeese-Stripper”) — Emprega-se este tipo de máquinas quando se deseja aumentar a rapidez de operação por moldagem de meia caixa por máquina. Neste caso, um operador molda meia caixa, outro molda outra meia caixa e um terceiro retoca o molde, coloca os machos e fecha a caixa. Faz-se certas modificações na máquina em “A”, pela introdução de pinos suspensores, de desmoldadores, de vibradores, etc.

A limitação da moldagem reside no tamanho da mesa, na carga máxima de pancada, na capacidade de pressão, no tamanho da placa de compressão.

As pressões de moldagem mais indicadas para determinados metais são as seguintes: alumínio, latão = 1,40 — 1,80 kg/cm²; ferro fundido = 1,8 — 3,2 kg/cm²; aço = 2,5 — 5,3 kg/cm².

Muitas fundições operam com pressões muito mais elevadas. A pressão entretanto, não constitui o único fator decisivo na compressão, influenciando ainda o característico de escoabilidade da areia sob carga e pancada, o que certamente modifica a dureza do molde. Certos defeitos nas peças podem ser suprimidos pelo emprêgo de compressões mais baixas. Deve-se ainda considerar a profundidade do molde, que limita a retirada livre do modelo, sem defeitos, assim como o ajustamento dos pinos de desmoldagem, cuja linha de centro determina o mínimo e máximo tamanho das caixas.

C) *Pancada, compressão, virada e retirada* (“Jolt-Squeese-Rollover, Draw”) — Emprega-se esta máquina na moldagem de meia caixa quando se usam placas duplas. O mecanismo de vira-

gem permite a retirada do modelo, por abaixamento do molde que o separa daquele. Depois que o molde estiver cheio de areia, a mesa de pancada é elevada até atingir e engatar-se na mesa de virada, após o que se efetua o adensamento da areia por meio de pancada. Depois das batidas suficientes, o molde é cortado superficialmente, por meio de uma faca que executa um movimento de rotação lateral e que deixa uma altura conveniente de areia sobre a caixa. Esta faca é fixa à máquina, num de seus braços, em torno do qual gira. O estrado superior, que no caso dessa máquina serve também como estrado de compressão, é apoiado contra a areia, por meio de braçadeiras que fazem parte da mesa de viragem. A mesa e o molde são virados de 180° sobre seu eixo. O pistão compressor, em combinação com os demais mecanismos, comprime o molde contra a mesa de viragem. O modelo é retirado na última batida e volta do pistão, deixando-se o molde abaixar com o pistão. O efeito de compressão depende da quantidade extra de areia na caixa. Quanto maior essa quantidade de areia antes da compressão, tanto mais perto se chega das pressões máximas permissíveis para a carga de compressão.

O tamanho de caixa que pode ser comprimida e desmoldada é limitado pela capacidade de sustentação da máquina. Como estas máquinas são entretanto, usadas em produção específica, tais como blocos de motor, etc., pode-se escolhê-las de acordo com o tamanho de caixa a ser empregada.

D) *Moldagem por jato* ("Sand Slinger") — São máquinas de moldagem que projetam areia em alta velocidade, fazendo-a adensar-se, por impacto, contra o modelo contido na caixa. A areia é transportada para a cabeça da máquina, onde tem-se uma turbina equipada com pás que seguram a areia e a projetam contra o modelo. No início da moldagem emprega-se velocidade de cerca de 1.200 rpm, para se evitar danos ao modelo; depois aumenta-se para 1.800 rpm, que é velocidade máxima necessária na moldagem de enchimento. Existem diversos tipos de arremessadores, de grande versatilidade, adequados aos vários tipos de caixas a serem moldadas. Pode-se usar modelos livres ou placas.

A limitação dessas máquinas reside na distância máxima útil entre a cabeça de projeção e superfície de moldagem. É óbvio que, quanto mais longe da superfície estiver o arremessador, tanto maior será a distância que estará do molde, o que diminui a velocidade com que a areia vai atingir o modelo, fazendo com que não seja efetuada uma moldagem adequada. Quanto à compactação, os arremessadores são capazes de produzir moldes mais duros e compactos que os demais métodos de moldagem.

Acessórios de moldagem — Para complementação do trabalho de moldagem usam-se inúmeros utensílios com várias finalidades, tais como: *estrados e camisas*, para sustentação tanto da base quanto o lateral do molde (quando este não acompanha a caixa na fundição); *pesos*, para evitar que a pressão hidrostática dos metais levante a tampa ou caixa superior; *modelos de vários canais*, de madeira ou metal; *espátulas ou lancetas, trolhas, etc.*, para corrigir e melhorar o acabamento superficial do molde; *agulhas*, para perfuração de ventilação no molde; *parafusos suspensores*, para retirada dos modelos; *martelotes manuais ou a ar comprimido*, para socagem da areia; *chapelins*, para sustentação dos machos; *resfriadores*, para provocar solidificação direcional; *armações, peneiras, etc.*, todos com finalidade própria e já consagrados pela prática de fundição.

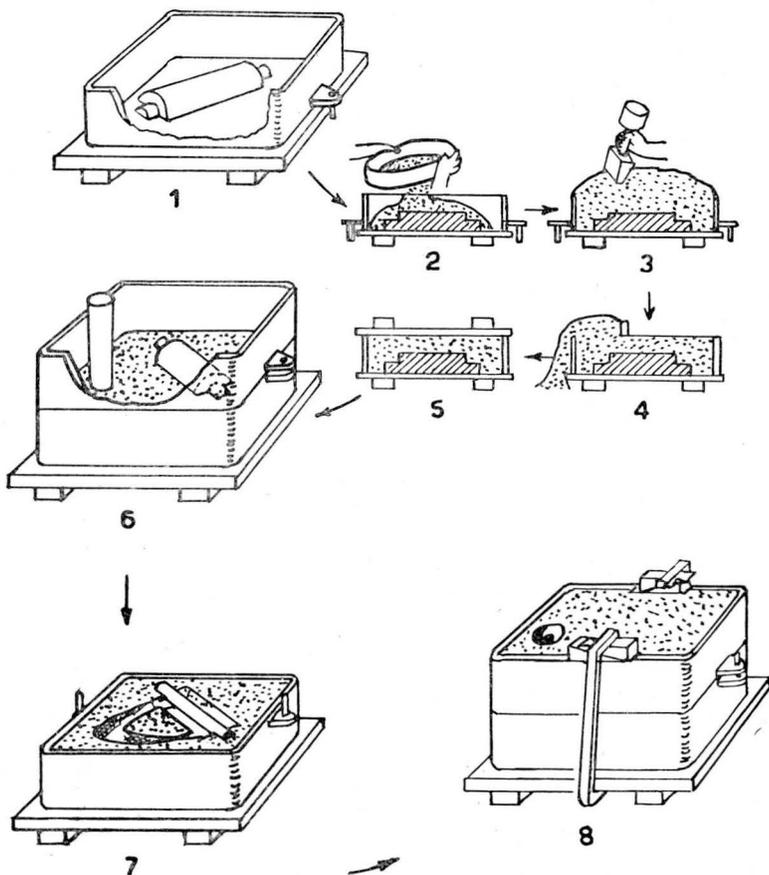


Fig. 2 — Moldagem manual (ref. n.º 9).

Técnica de moldagem — Apesar de que grande parte de moldes sejam feitos mecânicamente, a técnica de moldagem manual representa os fundamentos da moldagem e é aplicável aos problemas mais complexos, razão pela qual apresenta-se na figura 2 os principais passos para se obter um molde pronto para receber o vazamento de metal. A técnica de trabalho é a seguinte:

- a) Escolher o tipo de caixa adequada, de medidas tais que permitam conter o modelo, o sistema de canais de alimentação, além de restar um excesso de areia entre aquêles e as paredes da caixa, que a prática dita ser no mínimo de 3 cm.
- b) Colocar a meia caixa de baixo, invertida, sobre o estrado ou prancheta; situar o modelo sobre o estrado, em posição própria, deixando espaço suficiente para os canais de distribuição e de ataque (fig. 2-1).
- c) Cobrir o modelo, por pulverização, com talco, caolim, licopódio, etc.; peneirar uma quantidade de areia de faceamento de aproximadamente 2-3 cm de espessura (fig. 2-2).
- d) Acabar de encher a meia caixa com areia de enchimento e socá-la nos ângulos da caixa, prosseguindo a seguir o socamento moderado sobre o modelo. Adicionar maior quantidade de areia e socá-la até encher completamente a caixa. Retirar o excesso de areia, por meio de régua metálica (figs. 2-3 e 4).
- e) Depositar outro estrado na parte superior da meia caixa acabada de moldar; inverter o conjunto de 180° e retirar o estrado que passou para a parte superior (fig. 2-5).
- f) Superpor a outra meia caixa de cima sobre o conjunto e, se for o caso, colocar a outra metade do modelo exatamente sobre a metade moldada, para produzir a necessária cavidade na meia caixa. Colocar o modelo de canal de descida, em local adequado. Pulverizar os modelos conforme em "c" (fig. 2-6).
- g) Adicionar areia de faceamento peneirada e seguir o mesmo processo de moldagem como já descrito para a caixa de baixo.
- h) Separar as meias caixas. Retirar os modelos por meio de agulhas ou de parafusos suspensores, depois de afrouxá-los levemente no molde. Esta operação chama-se "abalar o modelo". Cortar o funil de vazamento (na meia caixa de cima) e os canais de distribuição e entrada (na meia caixa de baixo). Retocar qualquer imperfeição na superfície do molde; aplicar pintura se for o caso, por meio de pincel ou pulverizador; colocar os machos se necessário (fig. 2-7).
- i) Fechar o molde, justapondo as duas meias caixas e mantendo-as bem apertadas por meio de grampos, ajustados com cunhas (fig. 2-8).

A descrição sumária que se apresentou é um exemplo de moldagem relativamente simples. Existe um grande número de

modelos de maior complexidade, que requerem outros artifícios para serem moldados convenientemente. Um exemplo reside no caso de modelos que não têm uma superfície plana que possa ser facilmente apoiada em estrado. Neste caso, um dos métodos recomenda assentá-lo em escavação feita em meia caixa previamente cheia de areia socada, usando o moldador uma trolha e as lancetas convenientes. Pode-se então moldar a caixa de cima na qual se tem a divisão certa do modelo. A caixa que serviu de estrado pode ser desmoldada e novamente moldada pelo processo já descrito, dando assim, duas meias caixas de boa precisão, pois primitivamente o “estrado” havia servido apenas como assentamento do modelo e estava relativamente inexato.

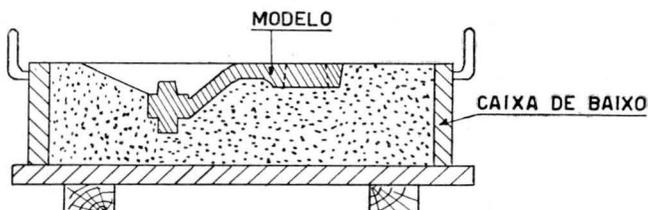


Fig. 3 — Assentamento e corte da linha de repartição de modelo com superfície irregular.

A figura 3 ilustra o primeiro assentamento do modelo, esclarecendo a idéia geral.

Quando o número de peças é muito grande, é mais econômico fazer-se um bêrço para o modelo, em areia estufada ou em gesso, a fim de se eliminar, ao máximo, variados cortes manuais da superfície de repartição.

2.1.2. *Moldagem estufada:*

Moldes — Os processos de moldagem estufada são praticamente os mesmos. Molda-se a verde, em areia que contenha óleos aglomerantes, resinas naturais e sintéticas, que modificando-se posteriormente por secagem em estufa, aumentam a resistência do conjunto⁵. Todo o molde é aquecido a temperaturas entre 160-350°C, cada aglomerante tendo a sua faixa determinada de estufagem⁵.

Quando na fundição não existe estufa, costuma-se secar o molde com chama branda de maçarico ou ar aquecido. Neste caso a secagem não é perfeita; a partir da superfície para o in-

terior do molde, a umidade aumenta até atingir a umidade original da areia verde, a uma certa profundidade, isto levando-se em consideração, como é óbvio, a espessura do molde.

Costuma-se ainda, na moldagem estufada, pintar os moldes (ou machos) com tintas próprias de faceamento, objetivando melhorar o acabamento superficial das peças, ou modificar a sua estrutura junto à superfície, ou ainda, impedir o aparecimento de defeitos de fundição³. No primeiro caso estão as tintas, geralmente em solução aquosa de materiais orgânicos como a dextrina, açúcares, resinas naturais ou sintéticas e, até inorgânicas, como as de silicato de sódio ou de óxido de ferro. Essas tintas conferem maior dureza superficial ao molde ou macho. O aprimoramento do acabamento superficial das peças é auxiliado pelo emprêgo de tintas refratárias, à base de grafita, pó de sílica ou mesmo zirconita, em suspensão aquosa. Para modificação da superfície da peça, que pode ser de natureza química ou estrutural³, empregam-se tintas à base de grafita ou à base de pós metálicos em suspensão de acetato de celulose dissolvido em acetona. Os pós metálicos variam de qualidade conforme o metal que se está fundindo.

Estufa de moldes — A estufa para caixa deve ser proporcional e suficiente para a produção programada. Daí, deduzem-se as medidas necessárias da câmara interna de secagem. O carro que suportará êsse número de caixas deve, pela mesma razão, ser estudado para receber determinada carga. Êsse carro está montado sôbre rodas que correm em trilhos, para facilidade de sua introdução e remoção da estufa. Existem entretanto, estufas mecanizadas e contínuas.

As estufas para caixas podem ser de aquecimento elétrico, com contrôle de temperatura apurado; normalmente são aquecidas por meio de maçarico à óleo Diesel, o que representa maior economia e permite também um contrôle térmico pleno. Essas estufas apresentam-se com câmara de combustão separada do compartimento onde as caixas são estufadas. A posição do altar, e portanto do maçarico, é facultativa e a estufagem se processa pela distribuição dos gases aquecidos dentro da câmara de estufagem. A posição do maçarico, fora da estufa, permite o seu fácil contrôle, tanto como da parte elétrica, térmica e de alimentação de óleo.

Machos e sua produção — A fabricação de machos refere-se à produção daquelas partes do molde que são feitas em fôrmas ou caixas especiais e independentes do molde. Além da função de estabelecer os furos nas peças, os machos são geralmente empregados para formar as suas partes internas e, eventualmente, também as suas partes externas.

Existe uma regra empírica, aplicável em certos casos, que estabelece que se a altura do macho não exceder seu diâmetro, é viável o uso de areia verde; em caso contrário é necessário o emprêgo de machos estufados.

Em resumo, as areias para machos devem ter suficiente resistência a verde que permita a sua moldagem e manuseio e suficiente resistência a sêco para admitir o trabalho na fundição e resistir as fôrças de erosão do metal quando o molde é vazado. Os machos devem ter suficiente permeabilidade a fim de facilitar o escape dos gases gerados pela ação do metal quente, e tenham conveniente colapsibilidade depois que se completa a fundição.

Areias para machos — A seguir são apresentados dois tipos de areias para machos, que são também areias de faceamento de fundição estufada:

TABELA 2

Componentes	Designação da mistura N.º	
	17 (ferrosos)	24 (não-ferrosos)
Areia base, nova kg	100	100
Argila Jaçanã, em pó ... kg	4	20
Mogul kg	1,5	—
Óleo de milho kg	2,0	—
Breu kg	—	4
Serragem kg	—	7
Água lt	5	variável

Conforme foi mencionado, a areia base representa a areia de praia, de finura 90-100 AFS, podendo ser alterada a critério do fundidor.

Na areia n.º 17, entra como componente o óleo de milho como aglomerante orgânico conforme determina a prática no I. P. T., não significado porém que êsse óleo não possa ser substituído por qualquer outro que preencha os requisitos tecnológicos adequados, bem como vantagens econômicas^{5, 6}. Atualmente já são encontrados no mercado nacional, ligadores especialmente preparados com a finalidade de substituir os óleos utilizados em seu estado puro.

Todos os fundidores devem, entretanto, estudar as condições de estufamento dos machos, tendo em vista o óleo ou ligador que estão empregando e esse estudo pode ser feito pelo diagrama tempo-temperatura aplicado a machos padrão e a estufa em uso. Com o diagrama, podem-se aquilatar a temperatura e o tempo de estufamento para o caso particular, além de se prever o ciclo de estufagem que trará a maior economia de energia ou combustível e de tempo⁷.

Caixas de machos e técnica de moldagem — Os machos são feitos em caixas próprias denominadas “caixas de macho”, construídas em madeira ou metal, com formas internas adequadas para se obter, por socamento da areia própria, o macho desejado. Via de regra, essa moldagem é manual, sendo que, quando as condições de produção e dimensões permitem, podem-se empregar máquinas de soprar machos, que serão descritas mais adiante.

Básicamente, tem-se dois tipos de caixas de machos: a caixa aberta ou monolítica e a caixa com superfície de repartição, conforme as figuras 4 e 5.

No primeiro caso, a areia é adicionada em porções adequadas que vão sendo socadas na caixa de machos até enchê-la completamente e adquirir a sua forma interna. A seguir se eli-

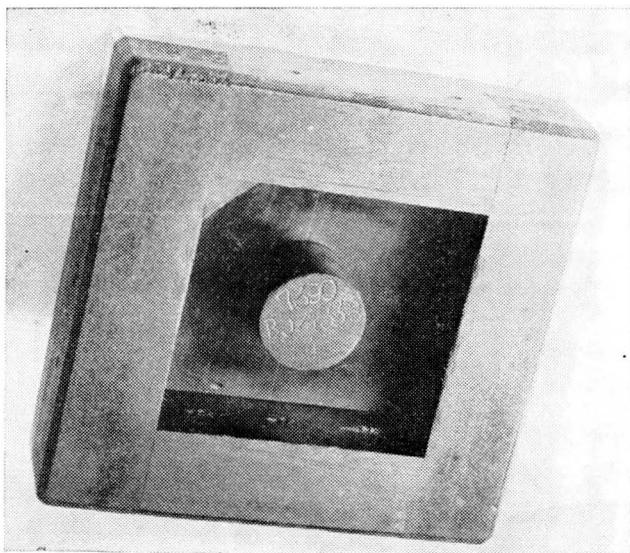


Fig. 4 — Caixa de macho inteira.

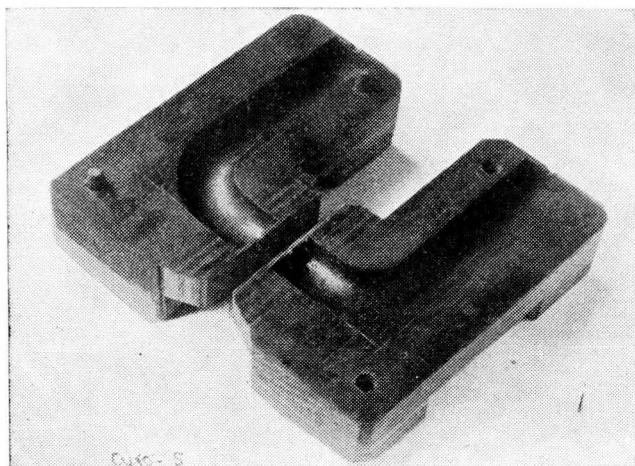


Fig. 5 — Caixa de macho com superfície de repartição.

mina o excesso de areia e se retoca manualmente qualquer imperfeição na superfície exposta. Quando se deseja um aumento de resistência adicional, costuma-se inserir armações no macho, feitas de arame ou barras finas. Depois de se superpor um estrado, geralmente metálico e perfurado para ventilação, vira-se o conjunto de 180°C e o macho é retirado por meio de percussão feita com martelo de cabeça de borracha ou de madeira. O macho fica assim depositado na chapa perfurada, com a qual vai para a estufa.

No caso de caixas com repartição, como por exemplo em uma caixa bi-partida longitudinalmente, a areia é socada separadamente em cada meia caixa, após o que as meias caixas são unidas, se realiza a percussão com o martelo e se remove a meia caixa, o que deixa o macho inteiro depositado na outra meia caixa. Dalí, o macho é removido e depositado em estrado metálico para a sua posterior estufagem. Um exemplo deste tipo de caixa de macho está ilustrado na figura 6, onde se molda um macho em brasa, na forma de “U”.

Está visto que num caso como este não se poderia socar a areia com a caixa fechada, pois a parte inferior da barra, ou seja na sua curvatura do “U”, não se teria um enchimento perfeito. Em contra-posição, no caso de machos cilíndricos, em barras, pode-se moldá-los com a caixa fechada inicialmente, após o que, abre-se a caixa e retira-se o macho como já indicado.

Existem ocasiões em que os machos não podem ser juntados das maneiras indicadas; nestes casos, devem eles ser cons-

truidos em duas metades e depois colados. Uma das colas mais usadas no I. P. T., tem sido a seguinte: Dextrina em pó, 5 quilos; pó de sílica, 2 quilos; água, variável até dar consistência adequada.

Naturalmente a maior complexidade de certas peças implica em maior complexidade das caixas de machos. Como exemplo, aliás não dos mais difíceis, ilustra-se na figura 7, um con-

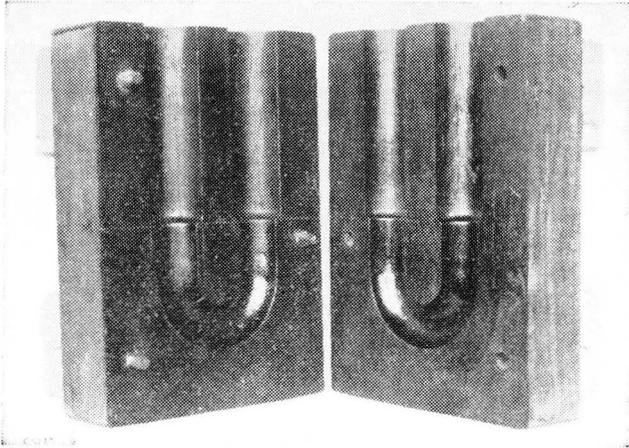


Fig. 6 — Caixa de macho bi-partida, para moldagem de barras em forma de «U».

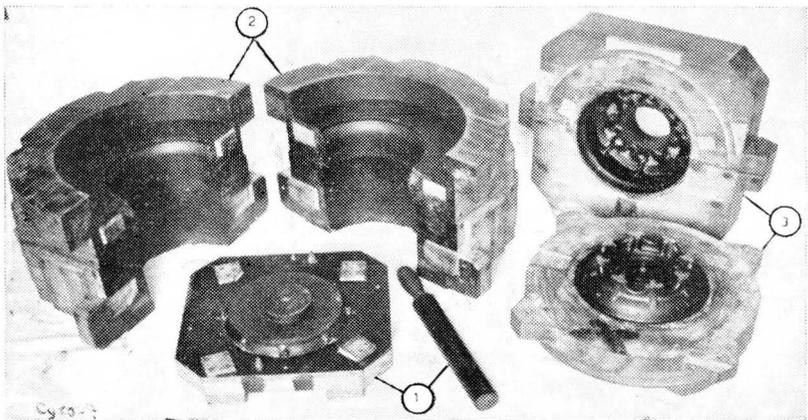


Fig. 7 — Caixas de macho para pistões de motor de locomotiva Diesel-elétrica. Os números 1, 2 e 3, indicam a base, o corpo e a cabeça dos machos, respectivamente.

junto de caixas de machos que servem na produção de machos para pistões de locomotiva Diesel-elétrica.

A figura 8 apresenta os machos correspondentes, depois de pintados e estufados. À esquerda da figura vêm-se duas partes do macho ainda desmontados e, à direita o macho pronto para o uso.

Os exemplos citados são relativamente simples, havendo casos em que temos empregado para a moldagem de uma só peça, cêrca de 20 ou mais machos.

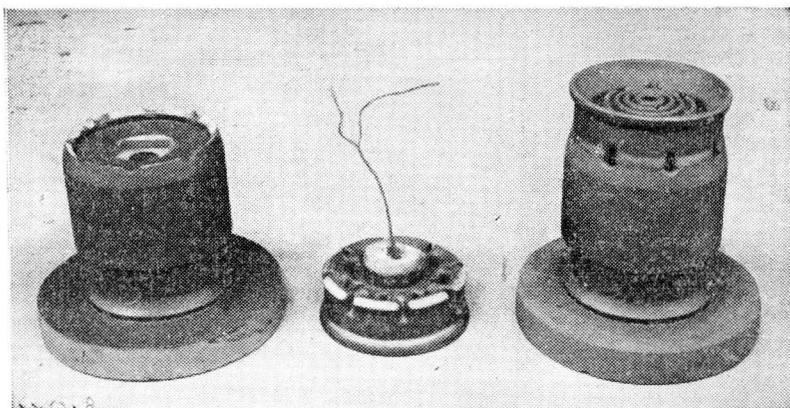


Fig. 8 — Machos para emprêgo em moldagem de pistões de locomotiva Diesel-elétrica.

Como os machos contêm ligadores orgânicos, ou outro materiais que ao ser aquecido desprende grande quantidade de gases, costuma-se fazer furos de ventilação que permitam a passagem dêsses gases. Quando os machos são feitos em duas ou mais secções, cortam-se canais de ventilação (respiro do macho) entre as superfícies a serem justapostas e antes que as mesmas sejam coladas ou ajuntadas.

Os machos que não possuem superfícies planas que possam servir de base de apoio, são depositados em berços de areia própria, montada em estrados, areia esta tendo suficiente ventilação. Êste berço serve para suportar o macho no momento da estufagem, sem que êste se deforme.

Costuma-se ainda, com finalidades variadas, facear os machos com tintas próprias, tais como as que foram mencionadas quando se descreveu a moldagem estufada.

Machos soprados — Em princípio, a máquina de soprar machos poderá ser utilizada desde que as condições de trabalho

permitam seu emprêgo por motivos de economia de operação. A máquina (pneumática) é utilizada para a produção de machos pequenos, médios e até grandes, sendo considerada como uma máquina de produção em série. Em fundições onde a variação de tipos de machos é muito grande, o que requer mudanças constantes dos implementos e acessórios da máquina, adequados a cada caso, e ainda mudança do tipo de areia, é uma questão a ser considerada a conveniência de sua aplicação para cada caso particular.

Na operação de sopramento dos machos, a caixa é enchida pela areia, suspensa em uma corrente de ar comprimido, que penetra pelos furos de sôpro da caixa com certa velocidade. O macho é compactado por detenção abrupta dos grãos de areia, enquanto que o ar flui livremente. A saída do ar se processa através de orifícios existentes na caixa de macho, de diâmetro variando entre 4,16 a 12,7 mm, em determinado número, e distribuídos de forma a reter a areia permitindo a passagem livre do ar.

Para se aplicar êstes princípios na prática, existem os seguintes fatores importantes a serem considerados: a máquina em si; a mistura de areia; o equipamento das caixas de machos; a disposição dos orifícios de entrada de ar-areia nas caixas de machos; a disposição dos orifícios de escape de ar para o exterior da caixa.

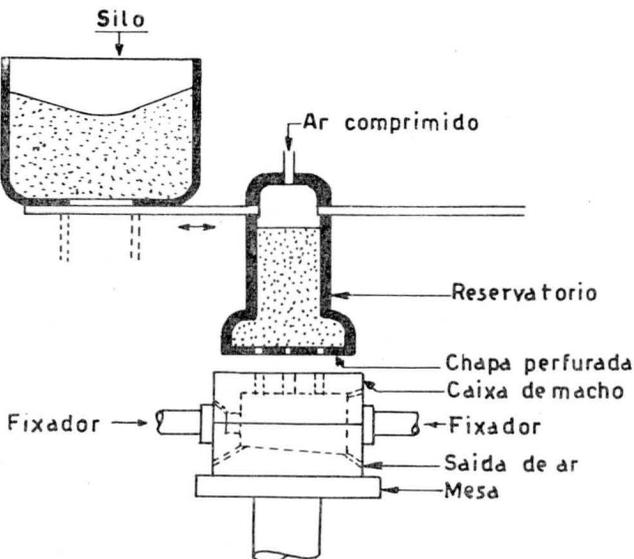


Fig. 9 — Esquema de conjunto de uma máquina de soprar machos.

A técnica de operação nestas máquinas está esquematizada na figura 9.

No exemplo dado, a máquina possui um silo alimentador que mantém cheio um reservatório durante a operação de sopragem. Este reservatório é mantido em posição de sopragem, imediatamente acima da caixa de macho que foi previamente adaptada e ajustada também à mesa da máquina. O reservatório possui uma base de chapa perfurada que permite a passagem de areia-ar que são pressionados e penetram na caixa de machos através dos furos próprios das caixas. Estes furos são localizados em pontos estratégicos na caixa de macho e permitem o enchimento completo da caixa. A pressão de ar varia entre 6 e 7 kg/cm², já se atingindo a máxima densidade dos machos com a pressão mais baixa. A operação de sopragem é rápida e demora de 1 a 2 minutos para se encher a caixa, mesmo aquelas de maior envergadura. Depois que o macho foi produzido, a caixa é removida, o macho retirado e estufado em temperatura conveniente.

A mistura de areia a ser utilizada não tem necessariamente que sofrer alterações e pode ser a que habitualmente se utiliza dos machos. Os requisitos essenciais são que a areia tenha livre percurso na operação de sopragem e apresente característicos de alta escoabilidade. A umidade deve ser a mais baixa possível, para impedir o empastamento na máquina, e a granulometria adequada para permitir bom acabamento no molde. Os ingredientes da mistura, tais como os aglomerados orgânicos (mogul, dextrina, óleo vegetal, etc.), devem ser adicionados em proporções corretas a fim de conferir uma resistência à verde compatível com manuseio do macho. A areia deve ser artificialmente secada, se necessário, para permitir um perfeito controle da umidade correta. A mistura deve ser feita em misturadores, utilizando-se a técnica já consagrada. Não é recomendável misturar-se com tempo excessivo e a boa prática recomenda no máximo 10 minutos.

Resumindo, devem-se tomar as seguintes precauções no preparo da areia:

- 1) A areia deverá ter baixa resistência a verde e alta escoabilidade.
- 2) A umidade deverá ser mantida em limites estreitos, não devendo ultrapassar de 1,5%, de forma a permitir melhor condição de operação.
- 3) A areia deverá estar bem misturada sem se ultrapassar o tempo adequado de mistura. Realmente, o tempo de mistura deverá ser fixado para cada tipo de equipamento empregado na operação.

- 4) Os óleos devem ser escolhidos evitando-se os que são pegajosos.
- 5) Em alguns casos de mistura aglomerantes com óleo, é conveniente a adição de óleo mineral (SAE 20), ou semelhante, na base de 1:20 do óleo vegetal empregado.

Estufa de machos — A estufa de machos deve ser proporcional à capacidade de produção. Os tipos de estufas são variados, seja quanto ao sistema e fonte de aquecimento, seja quanto à forma, seja quanto ao sistema de carregamento dos machos. Essas estufas vão desde as menores, tipos de gavetas, até às grandes estufas verticais contínuas. Ao fundidor compete escolher a que lhe fôr mais conveniente.

2.1.3. *Moldagem no chão*: Quando se deseja obter peças de grande envergadura é adotado êste processo que consiste em se construir, no chão, grandes poços onde posteriormente são montados os machos.

Com finalidades econômicas e para evitar o emprêgo de grande número de caixas, usa-se também, a *moldagem em canteiro*, já anteriormente mencionada. Neste caso, os moldes são agrupados, lada a lado, deixando-se um espaço entre êles que é depois cheio de areia, convenientemente socada, após o que se superpõe pesos necessários para evitar o levantamento da tampa.

No caso de peças que apresentem um eixo vertical de rotação, como é o caso de fundição de muitos cadinhos de ferro, emprega-se o processo entre nós chamado de "*moldagem de chapelona*"^s:

Neste sistema, o modelo é o gabarito do contôrno externo que é aparafusado a uma peça chamada "bandeira", que serve de guia e pode girar em torno de um eixo de rotação central. A secção inferior da caixa de moldagem é depositada num estrado que tem um eixo que passa pelo centro do conjunto e está firmemente preso ao solo. Socca-se a areia no fundo da caixa e constrói-se um bolo central, propositadamente maior que o cadinho, usando-se areias de faceamento e de enchimento. O molde é torneado com o gabarito, que retira o excesso de areia e dá o contorno externo da peça. O molde é então coberto com papel de embrulho comum, grudado com barro de argila e água, o que serve para impedir que a areia de moldagem que vai ser socada, grude na areia dêste molde. Coloca-se a caixa de cima e soca-se a parte superior do molde que deverá conter os canais de vazamento. Retira-se a caixa superior, o que deixa novamente a descoberto o primeiro bolo, destaca-se o papel grudado, introduz-se novamente o eixo da bandeira, com o gabarito da parte interna, que é então torneada. Concluída assim a parte inferior do molde, retira-se o eixo, enche-se com areia os furos deixados. Feito o canal de entrada e pintado o molde, êste é estufado. A vantagem dêsse processo é a economia do modelo.

Como a moldagem de chapelona é relativamente onerosa, pelo longo tempo que exige, e quando se deseja fundir um grande número de cadinhos, faz-se a primeira moldagem em chapelona e a primeira peça é fundida em alumínio que irá servir como modelo para as subseqüentes moldagens. No caso de cadinhos menores, pode-se moldar, com modelo e caixa de macho.

2.1.4 *Operações de desmoldagem:* A desmoldagem de peças que foram fundidas a verde é muito mais simples visto que a areia é facilmente removida. Nesse caso pode-se adotar o sistema de desmoldar no próprio local em que foram fundidas, retirando-as com os canais, etc. Outro sistema adotado, no caso de caixas pequenas e manuseáveis, é o da desmoldagem em que o conjunto é jogado dentro de um grande caixão de madeira de onde se retiram as peças, canais, armações, etc., o caixão é então removido do local e assim transporta, de maneira rápida e eficiente, a areia para onde vai ser recuperada. Este sistema de desmoldagem não é entretanto, viável sem ponte rolante.

A desmoldagem de caixas estufadas é sempre uma operação rude, pois obriga pancadas nas caixas para a retirada da areia, o que acarreta sempre uma porcentagem de caixas quebradas. Deste tipo de desmoldagem resultam dois inconvenientes principais: a necessidade de operários fortes, devido ao serviço penoso e até perigoso, e a perda sistemática de caixas por fratura.

A desmoldagem de caixas ou moldes de areia é feita em fundição mecanizada com equipamento do tipo "shake out". Essa máquina consiste num sistema de grades vibratórias, onde a caixa é depositada, sofrendo uma trepidação pela qual a areia se esborôa e se destaca, deixando sobre a grade a caixa vazia e a peça com seus canais, ferragens, armações, etc. A areia passa através da grade indo se depositar sobre esteiras transportadoras que a conduz para peneiras, concentradores magnéticos, etc. e, posteriormente, para silos de estocagem de onde a areia é retirada para ser preparada para novo uso. As adaptações do sistema são as mais variadas para satisfazer as conveniências de cada fundição, mas, de maneira geral, obedecem sempre o mesmo princípio: areia desmoldada conduzida para o local onde lhe é adicionada água, argila, etc., para regeneração de suas propriedades originais.

As fundições que não tem mecanização de areia, deverão no mínimo, ter em mente que a desmoldagem deve ser realizada de preferência num só local de onde a areia será removida para outro setor, onde será guardada para subseqüente preparo. Poder-se-á daí ir retirando a areia necessária ao uso e, a cada

quantidade retirada, dever-se-á adicionar os componentes regenerativos.

Se as condições econômicas forem mais favoráveis, dever-se-á ter um conjunto de peneiras, que poderão ser até vibratórias, um desintegrador-aerador e, se possível, um misturador onde a areia será preparada. Existem conjuntos relativamente pequenos, mas de boa produção, que executam o serviço de desagregação, peneiramento, concentração magnética, elevação e mistura, tudo circunscrito em cêrca de dois metros quadrados.

De qualquer maneira, deve-se procurar recuperar a areia do modo mais racional e compatível com as possibilidades de cada um, pois todo êsse cuidado reflete-se diretamente na qualidade das peças obtidas na fundição.

2.1.5. *Moldagem em casca* ("Sheel molding"): Representa um dos processos mais modernos utilizados em fundição, tendo as primeiras publicações a respeito de sua técnica surgido em 1947⁹. A sua aplicação desenvolveu-se com extrema rapidez em todos os setores onde seu emprêgo é considerado viável.

Em princípio, o processo consiste em se produzir uma casca de areia aglomerada por resinas sintéticas, em tórno dum modelo metálico ou matriz, da qual depois de receber um tratamento por calor, é destacada por meio de equipamento especial fornecendo um molde em condições de receber o vazamento do metal líquido. A escolha do tipo de máquina adequada depende da espécie e pêso das peças a serem produzidas. Sua aplicação se estende à produção de peças de inúmeros tipos e dimensões, como por exemplo na manufatura de peças para máquinas de escrever, de costura e, notadamente, na novel indústria de auto-peças¹⁰. Neste setor são fundidas por algumas indústrias inclusive virabrequins, árvores de comando de válvulas, etc., atingindo seu pêso, inclusive canais, a cêrca de 100 quilos por molde.

Areias e misturas — A areia base utilizada deve estar livre de impurezas, inclusive as orgânicas, as quais concorrem grandemente para abaixar a resistência dos moldes produzidos. Deve portanto, ser convenientemente lavada e sêca. A granulometria adequada ao processo varia de acôrdo com o acabamento que se deseje dar às peças, embora normalmente sejam utilizadas areias com módulo de finura de 100 AFS. Com referência à permeabilidade, nota-se que a granulometria não tem a mesma influência que exerce nos moldes de areia comumente empregados em fundição pois, em virtude da pequena espessura das cascas os gases têm livre passagem entre os grãos, mesmo

quando se utiliza caixas para suporte, com granalha de aço ("shots" e "grits").

As resinas empregadas são as do tipo fenol-formaldeído, em proporções que variam entre 3,5% a 10,0%, ou ainda qualquer tipo de resinas que apresente os característicos necessários ao bom andamento do processo. Estas resinas são encontradas no mercado interno para pronto fornecimento.

A mistura é preparada nos misturadores comumente empregados para o preparo de areias sintéticas ou qualquer tipo de misturador que processe uma boa homogeneização dos componentes. As proporções de resina variam dentro dos limites de 3,5% a 10,0% como já mencionado, dependendo do tipo de resina empregado, do módulo de finura da areia, do tipo e pêso da peça a ser fundida. Este aspecto é facilmente compreensível, pois é fato experimentalmente conhecido que as areias mais finas consomem mais aglomerante. Acresce ainda que existem peças que, conforme o seu dimensionamento e pêso, requerem uma maior ou menor resistência do molde. O tempo de mistura para um equipamento do tipo "Simpson", é de cerca de 5 minutos, aliás julgado suficiente para uma boa homogeneização. Naturalmente, este tempo poderá variar conforme a necessidade ditada pela prática. O teor de umidade, na mistura, não deve ultrapassar a 1%.

Modelos e técnica de moldagem — Os modelos empregados neste processo são metálicos. Obedecem a característicos próprios do processo. Em equipamento especial, constituídos de um só conjunto, do qual fazem parte a mesa, suportes e estufa elétrica com contróle de temperatura apurado, os modelos são previamente aquecidos a cerca de 200°C. A seguir recebem uma pintura normalmente constituída de silicone, e, para facilitar a extração da casca, a seguir, se faz a deposição da mistura de areia-resina sôbre o modelo. Após alguns minutos, o excesso de areia é removido novamente para o seu reservatório, ficando então em redor do modelo uma casca fina, de cerca de 0,5 cm, retida sôbre a matriz. Em operação conjugada, sempre executada no equipamento, o conjunto modelo-casca é transferido novamente à estufa de cozimento, para um tempo adequado de cura ou seja, para que numa determinada temperatura se processem as reações de polimerização da resina a fim de se obter resistência adequada do molde.

Experimentalmente, na fundição do I. P. T., foram produzidas cascas com areia de módulo 100 AFS, aglomeradas por resinas do tipo fenol-formaldeído, cujas proporções variaram de 3,5% a 6,0%, dando-se um tempo de cura de 1 minuto à temperatura de 400°C.

De um modo geral pode-se admitir que o tempo de cura varia também com as condições de operação e o tipo de aglomerante empregado, sendo porém sempre relativamente curto e não ultrapassando de alguns minutos.

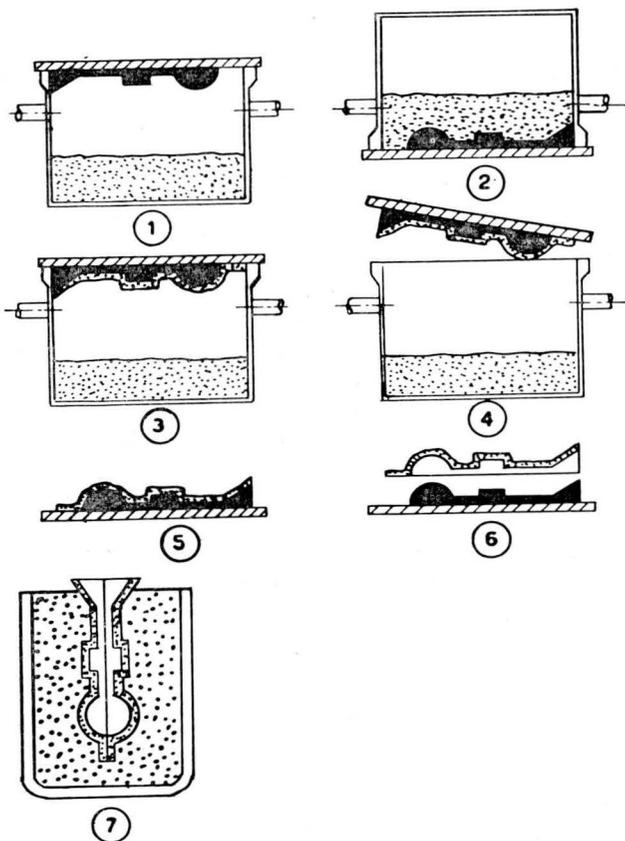


Fig. 10 — Seqüência do processo de moldagem em casca.

A técnica de operação fica melhor entendida através da descrição esquemática da figura 10. Os moldes assim preparados são bastante estáveis devido à formação da massa plástica que envolve os grãos de areia, resistindo um armazenamento por tempo bastante longo. Por outro lado, o emprêgo dos moldes pode ser imediato logo após seu preparo.

O mesmo princípio, utilizado para a confecção das cascas, é aplicado, em máquinas próprias, para a produção de machos.

Êstes, tanto podem ser utilizados como machos para o processo de casca, como nos moldes de areia comumente usados em fundição e em substituição aos machos convencionais. O equipamento para a produção de moldes em casca, encontra-se no mercado, em diversos tipos, e sua escolha dependerá do tipo da produção.

Os característicos das misturas produzidas são controlados por diversos ensaios preconizados pela AFS e são: o de permeabilidade, cuja medida é feita adaptando-se um acessório especial no permeâmetro Dietert; o ensaio de resistência à tração, determinado em corpos de prova próprios que são preparados em moldes especiais, acessório da máquina Universal Dietert, o mesmo ocorrendo com o ensaio de resistência à flexão, etc. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas desenvolveu um método próprio para a determinação de resistência à flexão que será objeto de uma publicação.

Vantagens do processo — Entre as principais vantagens do processo encontra-se o baixo custo de operação, em virtude da facilidade com que o equipamento é manobrado por mão de obra reduzida e não especializada. Além dêste aspecto, podem-se adicionar o do acabamento e o da boa precisão dimensional das peças, simplificando de muito as operações de usinagem. A figura 10 resume os principais passos para a obtenção da casca, que são os seguintes:

- 1 — O modelo aquecido é virado sôbre o reservatório que contém a mistura areia-resina, e fixado a êste.
- 2 — O reservatório é basculado de 180°C, a fim de que a mistura caia sôbre o modelo.
- 3 — Quando o reservatório volta à sua posição normal, deixa uma casca de areia-resina que permanece aderente ao modelo aquecido.
- 4 — O conjunto modelo-casca é retirado de cima do reservatório, voltando à posição inicial e, em seguida, estufado para a "cura" da casca.
- 5 — A casca tratada pelo calor é retirada da matriz por meio de um sistema de extratores.
- 6 — Duas meias cascas são juntadas por meio de grampos ou de adesivo. Quando fôr o caso, a casca é provida dos machos para formar as cavidades necessárias.

A figura 11 apresenta um esquema da máquina para produção de "Sheel" projetada e construída no I. P. T.

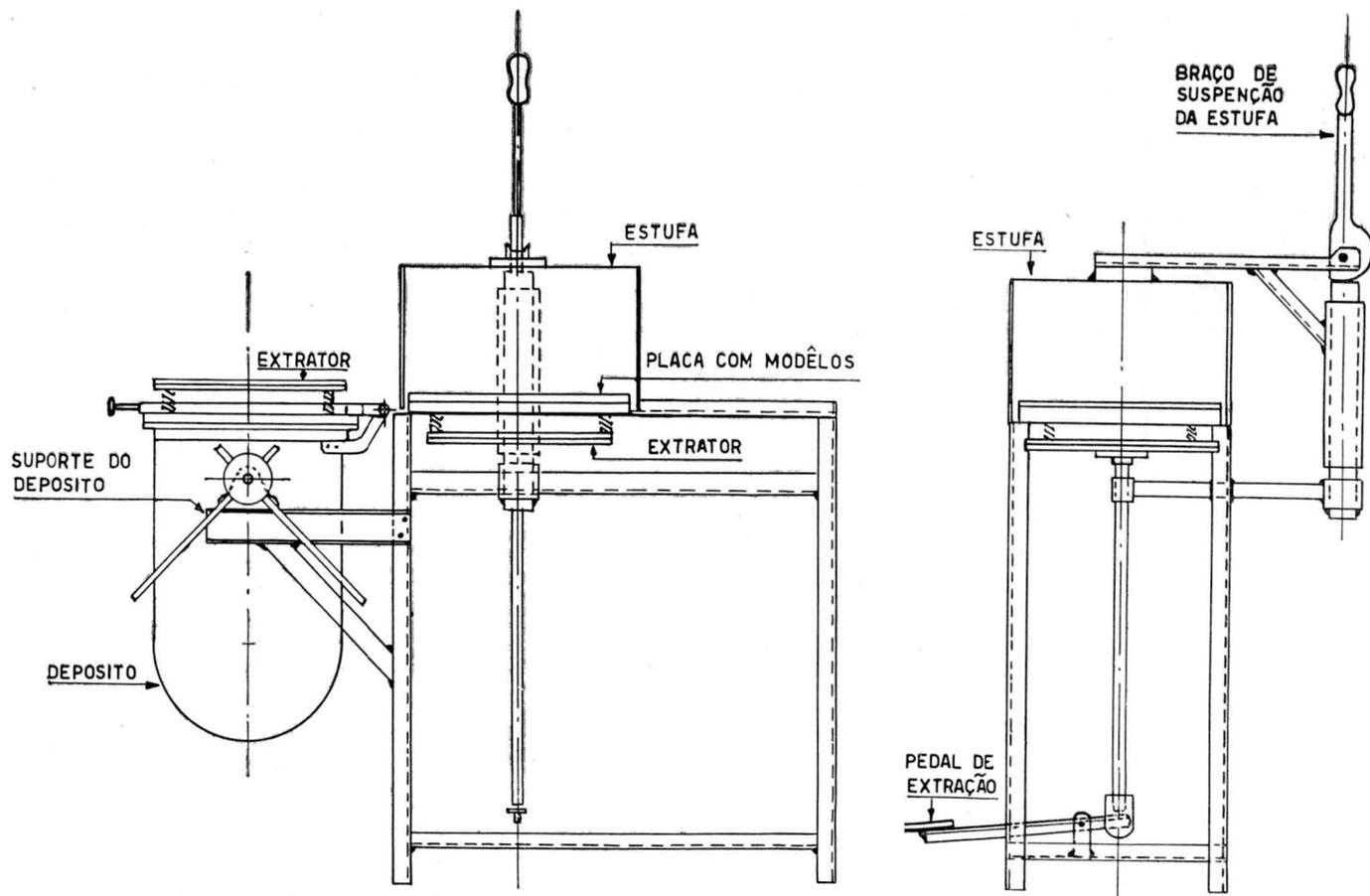


Fig. 11 — Esquema da máquina para moldagem em casca, projetada e construída no I.P.T.

2.1.6. *Moldagem pelo processo de silicato de sódio e gás carbônico*

Embora o processo remonte a uma patente inglesa de 1898, somente nos últimos anos logrou despertar interesse industrial. O silicato de sódio tem sido empregado como aglomerante de areias de fundição, apesar de persistirem objeções quanto ao seu emprêgo, principalmente em virtude da dificuldade na desmoldagem resultante da baixa colapsibilidade apresentada. Em parte êste defeito foi sanado aglomerando-se a areia com silicato de sódio anídrido ou hidratado e injetando-se na mistura anidrido carbônico, que constitui o moderno processo. Neste processo, da reação entre o silicato de sódio e o anidrido carbônico resulta a formação de sílica coloidal, a qual perde a sua função aglomerante em temperaturas elevadas, apresentando como consequência uma boa colapsibilidade, o que facilita a desmoldagem¹¹. A equação que rege o fenômeno é: $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Preparo da mistura — A mistura de areia base com silicato de sódio pode ser preparada em qualquer equipamento utilizado para o preparo de areia sintética^{2, 11}. A areia base deve estar sêca e o tempo de mistura mantido no mínimo de 4 minutos e máximo de 7, dependendo do módulo de finura da areia empregada e dos elementos adicionados, além do silicato de sódio. As experiências feitas no I. P. T., com o processo, demonstraram que a proporção adequada de silicato de sódio é da ordem de 3,5%, a fim de serem obtidos um máximo de resistência e dureza dentro das condições econômicas. Esta proporção é adequada para areia base de módulo de finura de 90-100 AFS, elevando-se à medida que se utiliza areia base mais fina e decrescendo para aquela mais grossa. Nas areias próprias para metais ferrosos, com módulo de 45-50 AFS, a proporção de silicato é de 2,5%. A fim de melhorar a colapsibilidade, no sentido de facilitar a desmoldagem, recomenda-se a adição de asfalto ou moinha de carvão vegetal, na proporção de 0,5% a 1,0%. A areia não deve ser exposta ao ar muito tempo depois de seu preparo, para evitar o seu endurecimento pela ação dêste.

Técnica de moldagem — A areia preparada com silicato de sódio é moldada normalmente nas caixas de fundição e de machos, empregando-se a técnica comum já descrita. A seguir, o gás carbônico é injetado diretamente nas caixas, durante cêrca de 30 segundos, sob uma pressão de mais ou menos 20 libras/dm². O gás empregado, é fornecido geralmente em torpedos, procedendo-se a ligação com tubulações flexíveis, normalmente de

borracha, a fim de facilitar a sua introdução nas caixas. A pressão e o tempo de insuflação são controlados por um manômetro. Na prática, para cada tipo de caixa deverá ser estudada uma forma própria de insuflação do gás. A forma de introdução do gás pode variar desde a montagem de uma tampa que estabelece uma espécie de camisa sobre o molde, para a distribuição uniforme do gás, até a injeção direta na superfície da areia, com bicos, sobre um apoio adequado.

Equipamento de moldagem — Podem ser utilizadas as caixas e modelos comuns, entretanto aconselhando-se de preferência as caixas desmontáveis como as mais adequadas. Os modelos e caixas com uma certa conicidade facilitam a operação. Os demais acessórios são os mesmos utilizados na moldagem comum de areia de fundição e já igualmente descritos.

Vantagens do processo — O processo de moldagem em questão apresenta as seguintes vantagens:

- 1.^a — É mais econômico que o das areias aglomeradas com óleo, pela eliminação das estufas de secagem.
- 2.^a — Rapidez da operação que permite reduzir a minutos as operações de horas.
- 3.^a — Redução da quantidade de caixas de moldagem necessárias para uma determinada produção, em virtude da rapidez de seu preparo e utilização.
- 4.^a — Redução da área ocupada para a produção, bem como para a estocagem de machos.
- 5.^a — Redução no transporte, desde que os moldes e machos são preparados no local de vazamento.

Desvantagens do processo — São as seguintes as desvantagens apresentadas:

- 1.^a — Técnica da introdução ou insuflação do gás que nem sempre é possível de ser estabelecida na forma simples e econômica.
- 2.^a — Apesar da melhor colapsibilidade, tomada em relação com o emprêgo do silicato de sódio simples, como aglomerante, e, apesar de elementos que facilitam a desmoldagem como o asfalto e carvão, nem sempre a colapsibilidade é boa, requerendo um constante apuro de técnica de trabalho.

2.1.7. *Moldagem aglomerada com cimento*: As areias aglomeradas com cimento Portland têm tido alguma aplicação particularmente em fundições que trabalham empregando a técnica de moldagem com barro. Essas areias foram preconizadas por Moldenke, porém somente em 1930, depois do desenvolvimento do processo Randupson, é que passaram a ser aplicadas em escala comercial ¹².

Os moldes de areia com cimento não são classificados nem como moldes permanentes, nem como semi-permanentes, desde que são empregados uma só vez em sua forma original.

A proporção usual de cimento-água é de 1:1, não ultrapassando em cerca de 10% de cada, na maioria dos empregos. A água é adicionada o suficiente para dar uma sub-hidratação do cimento, com o fim de proporcionar uma maior friabilidade à mistura.

As matérias primas são simplesmente homogeneizadas em misturadores, evitando-se moagem ou pulverização. O tempo máximo de mistura não excede de dois minutos.

A técnica de moldagem não requer tantos cuidados quanto os que são proporcionados a outras areias. O material é socado em volta dos modelos ou em caixas de machos, seguindo o método usual. Para as peças maiores usam-se embutir armações ou arames suspensores. As misturas de areia com cimento escoam mais facilmente que as areias comuns de fundição, o que é evidenciado quando se empregam barras como reforço, que podem ser usadas de maneira idêntica às do concreto armado, onde não se necessita comprimir a mistura em redor das armações.

Desde que a areia-cimento não apresenta apreciável resistência à verde, pode ser trabalhada da mesma maneira que o barro, mas obrigando sempre o alisamento e acabamento superficial do molde ou macho. Os canais ou outras cavidades podem ser cheios com areia de moldagem comum, para dar a devida sustentação durante a secagem. Depois de 3 a 5 horas de exposição ao ar, a mistura perde suas propriedades de moldabilidade, de modo que deve ser usada dentro deste período. Os moldes podem ser pintados e devem ser estocados por 18 a 48 horas, a fim de endurecer, dependendo este tempo do conteúdo de umidade, tamanho do molde e temperatura ambiente. Conforme o tamanho dos moldes o tempo pode ir de 24 horas (mol-des pequenos) até 72 horas (mol-des grandes).

Êstes tempos podem ser adotados, mesmo quando a temperatura ambiente cai até cerca de 10°C.

A moldagem com areia-cimento requer certa prática para a produção de moldes de boa qualidade, não sendo porém necessários moldadores especializados. O custo de moldagem é mais baixo que os outros processos, devido à rapidez e ao fato de que os moldes grandes podem ser executados por vários homens concomitantemente. A desmoldagem se processa pelo sistema comum. Eliminam-se os finos e a parte metálica; a areia é passada no misturador, após o que é novamente misturada com os componentes necessários.

A mistura seca já apresenta alta permeabilidade, o que demonstra que a granulometria da areia-cimento não representa

um ponto crítico. A boa prática entretanto recomenda que a mistura deve ser retida, na maioria, em peneira de 60 mesh.

A alta resistência dos moldes secos previne o perigo de trincas e distorções nas peças. A areia-cimento apresenta certas variações, mas de maneira geral pode ter a seguinte especificação, dada para uma mistura com 8% de umidade e 8% de cimento:

Resistência à compressão (em kg/cm ²)	10,55
Permeabilidade AFS	125
Resistência à tração (em kg/cm ²)	1,41

Não sendo necessário o emprêgo de caixas de moldar, a moldagem com areia-cimento representa suma utilidade no caso de fundição de peças de grande envergadura. Essas areias tem grande aplicação na produção de hélices para navios e em canais de alimentação de turbinas hidráulicas, geralmente de bronze ao manganês, bronzes de alumínio. O processo é também aplicado na fundição de lingoteiras, peças de aço, etc.

2.2. MOLDAGEM COM MOLDES PERMANENTES

Trata-se de um processo de fundição em que o metal é vazado em moldes metálicos (geralmente de ferro fundido, aço ou bronze), que são empregados inúmeras vezes; podem ser de dois tipos: os inteiramente permanentes, que são feitos de metal com machos metálicos, e os semi-permanentes, com moldes de metal e machos de areia. O emprêgo de machos de areia remove muitas limitações de produção impostas pelos machos de metal pelo alto custo de seu preparo e usinagem.

A solidificação rápida promove estruturas mais finas e as peças possuem propriedades mecânicas (tais como alta resistência e dureza), superiores às que são conseguidas na moldagem com areia.

Geralmente os moldes permanentes são fundidos com suas cavidades (internas) e seus canais, já com as suas dimensões aproximadas, após o que são usinados até suas medidas exatas.

As principais ligas fundidas neste sistema são as de alumínio, zinco, chumbo, cobre e ferro fundido. O desgaste do molde provocado pelas temperaturas extremamente altas, não aconselha seu emprêgo na fundição de peças de aço, com exceção do caso dos lingotes de aço, que não são propriamente peças fundidas.

As temperaturas de vazamento devem ser controladas em relação aos moldes empregados a fim de evitar caldeamento destes com o metal vazado. A tabela abaixo dá idéia das tem-

peraturas atingidas pelo molde, bem como de sua vida aproximada:

TABELA 3 (ref. n.º 1, pág. 32)

Met al	Varição de temperatura de vazamento (°C)	Vida aproximada do molde por fundição executada	Temperatura de operação do molde (°C)
Ferro fundido	1.260 — 1.480	5.000 — 20.000	310 — 430
Ligas de alumínio	700 — 760	> 100.000	340 — 430
Ligas de cobre	1.030 — 1.150	5.000 — 20.000	120 — 260
Ligas de magnésio	650 — 700	20.000 — 100.000	150 — 310
Ligas de zinco	390 — 430	> 100.000	200 — 260

O processo é limitado, usualmente, pelo seu ciclo, de produção contínua, de preparo dos moldes, vazamento e ejeção da peça. Esse conjunto de operações deve ser sincronizado a fim de se ter o molde na faixa de temperatura de operação adequada ao início do novo vazamento. A temperatura do molde constitui um dos pontos mais importantes para o êxito da fundição com moldes permanentes.

Para se ter maior duração dos moldes e maior facilidade de desmoldagem, usa-se revesti-los internamente com fuligem de carvão, obtida por meio de maçarico de acetileno. Empregam-se, também, revestimentos refratários em suspensão em determinados líquidos.

Deve-se tomar a especial precaução de aquecer os moldes antes do vazamento, para assim prevenir fervura do metal vazado.

O metal fundido é alimentado no molde por gravidade, mas, em certas ocasiões, o vazamento é feito sob pressão no canal de descida, variando essa de 0,21-0,70 kg/cm².

Pelo sistema de moldes permanentes pode-se atingir tolerâncias nas peças, iguais a 0,39 mm de uma dimensão dada, além de acabamento superior. Os furos feitos com machos podem ser localizados mais apuradamente que na moldagem em areia. Os projetos devem ser feitos com previsões adequadas para a saída fácil da peça do molde.

O preço dos moldes permanentes limita o processo às aplicações onde as vantagens mencionadas resultam em economia e em ganho técnico sobre a fundição em areia. As peças que se enquadram neste caso são carburadores, peças para compressores, cilindros para breques hidráulicos, bielas, engrenagens

para máquinas de lavar roupa e sua carcaça, corpos de bombas, peças para máquinas de escrever, cilindros para bombas de vácuo, virabrequins pequenos, corpos de válvulas, etc.

Como moldes permanentes incluem-se as “coquilhas”, utilizadas para finalidades específicas, quando se pretende obter determinados característicos do metal, como por exemplo, dureza superficial, etc.

2.3. FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO (“Die casting”)

Difere da moldagem com moldes permanentes no fato de que o metal fundido é forçado para dentro das cavidades do molde, geralmente sob altas pressões. Os moldes consistem em dois blocos de aço especial, um contendo o canal de entrada e outro os meios de ejeção da peça. Quando em uso, os dois blocos são firmemente mantidos juntos e o metal é injetado por meio da máquina. Depois da solidificação do metal, os moldes são abertos e a peça é ejetada.

Dois são os tipos de máquinas empregadas: as de “pistão” ou de “câmara quente” e a de “câmara fria”. Nestas últimas, o metal líquido é forçado dentro do molde sob pressão de cerca de 2.100 kg/cm^2 ⁽¹⁾ sendo elas utilizadas para fundir alumínio, magnésio, cobre e suas ligas, ou outras de mais baixo ponto de fusão. As de “câmara quente”, com pressões de 70 a 140 kg/cm^2 , são empregadas para a fundição de metais de relativo baixo ponto de fusão como: zinco, zamac, estanho, chumbo, etc. Os aços, como já referido em moldes permanentes, não são fundidos por este processo devido ao seu alto ponto de fusão. As temperaturas de fusão adotadas na fundição sob pressão são equivalentes às mencionadas no item referente aos moldes permanentes.

A produção de peças por fundição sob pressão apresenta determinadas vantagens que são as seguintes ¹:

- 1.^a — Capacidade de produzir de 150-250 “tiros” por hora com possibilidade de atingir até 500 por hora.
- 2.^a — Possibilidade de obter facilmente peças com tolerâncias comerciais variando de 0,001 a 0,003 de polegada.
- 3.^a — Devido à pressão: possibilidade de fundição de secções finas de cerca de 0,39 mm, em peças relativamente pequenas.
- 4.^a — Maior exatidão na colocação de machos, etc.
- 5.^a — Precisão de acabamento superficial e redução, ao máximo, das operações de usinagem.
- 6.^a — Devido à rápida solidificação, obtenção de peças, em muitas ligas, tais como as de zinco, com propriedades mecânicas superiores às fundidas por outros processos.

A diferença fundamental, ou limitação do processo, tomada como comparação com a fundição em areia, reside em que, na fundição com moldes permanentes, o projeto deve ser realizado tendo-se em vista que as cavidades do molde devem permitir a ejeção da peça.

2.4. FUNDIÇÃO CENTRIFUGADA

A fundição centrifugada não é um processo de moldagem e sim um processo de fundição direta de peças sem passar pela operação de moldagem. É empregada para a produção de diferentes tipos de peças, dos mais variados formatos, tais como: anéis de segmento e camisas para motores, discos de engrenagens, roldanas, blocos de cilindros, buchas, guarnições, etc. O processo de centrifugação é próprio para peças de secções mais delgadas, pois as forças desenvolvidas possibilitam ao metal correr em secções finas que seriam dificilmente obtidas por outro método. As aplicações têm sido múltiplas e demonstraram real valor econômico o que contribuiu para a persistência e ampliação do processo até nossos dias.

A fundição centrifugada apresenta a vantagem de um grande adensamento do metal, tanto como a do emprêgo de moldes permanentes. De outro lado, obriga a uma maior usinagem, além de um recozimento posterior da peça, o que encarece o processo.

As peças fundidas por centrifugação classificam-se em¹³:

- a) As obtidas por fundição centrifugada propriamente dita, como é o caso de buchas e blocos de cilindro, com uma só direção de solidificação.
- b) As de fundição semi-centrifugada, representadas por peças que giram em torno de um eixo passando pela peça e cujo resfriamento se dá ao mesmo tempo, em duas direções.
- c) As obtidas pelo "método da pressão centrifugada", onde as peças são colocadas próximas do centro de rotação, como se fossem os raios de uma roda.

Os equipamentos empregados no processo geral de fundição centrifugada, são representados por:

1. Máquinas que giram o molde em torno de um eixo vertical.
2. Máquinas que giram o molde em torno de um eixo horizontal.

As primeiras, são geralmente usadas quando o diâmetro da peça supera de muito o seu comprimento ou quando são empregados os métodos da semi-centrifugação ou "da pressão centrifugada". O rendimento peça-canal, neste caso, varia de 60-100%, dependendo do tipo de peça e da maior ou menor necessidade de canais.

As peças fundidas em máquinas com eixo horizontal de centrifugação têm comprimento maior que o diâmetro. Nestas máquinas chega-se a obter rendimentos de até 100%. Esta máquina, entretanto, só permite sua aplicação para fundição de peças de forma interna cilíndrica, sendo que seus contornos externos não têm de, necessariamente, possuir a mesma forma, mas apenas aproximar-se o mais possível dela, e isto para facilitar a moldagem. A peça obtida por centrifugação propriamente dita, é fundida sem emprêgo de machos e a solidificação do metal é direcional, de fora para dentro e em direção ao eixo de rotação.

Uma extensa discussão dos vários aspectos do processo de fundição centrifugada é apresentada pela American Foundrymen's Society, no seu "Symposium on Centrifugal Casting", publicação n.ºs 44-37, e no trabalho de W. A. Spindler, "Centrifugal Calculations and Feeding Pressures", publicados na American Foundrymen, volume n.º 57, de agosto de 1948.

2.5. FUNDIÇÃO DE PRECISÃO (ou da Cêra Perdida)

Trata-se de um processo muito empregado na fundição de obras de arte, por assegurar reprodução fiel dos seus detalhes. No fim do século passado, foi aplicado nos Estados Unidos, em prótese dentária. Mais tarde, a indústria de joalheria contribuiu com um terceiro estágio, na fabricação de anéis e outras jóias, onde se deu o desenvolvimento da técnica de moldes metálicos ou matrizes, para a fundição do modelo de cêra. A fundição de precisão ganhou grande impulso na segunda guerra mundial por ser o processo ideal para a obtenção de um pequeno número de peças, que normalmente seriam forjadas e usinadas. Um exemplo típico é o da fabricação de pás de turbinas para motores a jato, fundidas em ligas de alta dureza e não trabalháveis¹⁴. Sumariamente, pode o processo ser assim descrito:

1. Preparação de um modelo mestre, em material facilmente usinável, tal como latão ou madeira, com tôdas as previsões de contração com a da cêra, a da dilatação do refratário, do investimento e as do metal da peça.
2. Partindo do modelo mestre, preparação de um estampo ou matriz constituído por liga de baixo ponto de fusão, como bismuto-estanho, ou de borracha. Quando se tratar de produção de grande número de peças ou de peças de forma simples, pode-se suprimir os estágios acima e confeccionar a matriz em aço ou latão, usinando-a diretamente do bloco de metal. Quando o número de peças é restrito, pode-se fundir a matriz nas ligas mencionadas, passando por uma matriz intermediária em gesso, a qual por sua vez é obtida do modelo mestre. Muitas vezes, para a produção experimental ou para a fabricação de pequeno número de peças, pode-se fundir os modelos de cêra diretamente da matriz de gesso.

3. Com a matriz, são fundidos os modelos de cêra pela injeção direta da cêra nessa matriz. Os modelos de cêra para os necessários canais são feitos separadamente e de modo semelhante. As faces da matriz são cobertas com uma camada finíssima de silicato de etila, aplicada por meio de algodão e com o objetivo de impedir a adesão da cêra. A cêra é conservada na máquina de injeção a 85°C e por meio de um banho-maria cuja temperatura é cuidadosamente mantida e controlada. A pressão de injeção da cêra é de 3,5 kg/cm². No I. P. T., tem-se usado cêras com a seguinte composição: cêra de abelha, 55%; parafina, 35%; cêra de carnaúba, 15%. O requisito principal das cêras empregadas é o de não deixarem nenhum resíduo mineral fixo que não possa ser eliminado no aquecimento do molde.
4. Incorporação e junção dos canais e alimentadores, aos modelos, por meio de espátula, de preferência elêtricamente. Colocação do conjunto modelo-canais, em cima de uma placa de aço revestida de cêra. Aplicação de uma camada de refratário, realizada por imersão ou borrifamento. Secagem por 12 horas e nova aplicação.
5. Colocação de tubo de aço com diâmetro tal que envolva o conjunto; investimento (*) por meio de refratário suspenso em ligador líquido; aplicação de vácuo e vibração do conjunto por meio de mesa vibratória de cêra de 360 vibrações por minuto. Na indústria de joalheria e prótese dentária, os gessos especiais servem perfeitamente como material de investimento. Na fundição de precisão usa-se geralmente areia como material refratário e, como ligadores, o silicato de etila, o silicato de sódio, fosfatos ácidos e mesmo cimento hidráulico. Para ligas não-ferrosas, a refratariedade não é tão importante como para aços e ferro fundido. No caso extremo de fundição de peças de alto ponto de fusão, como as pás de turbina, recomenda-se o emprêgo, como ligador, de silicato de etila e como refratário o silicato de zircônio (zirconita)¹⁴.
6. Secagem do conjunto em estufa, a temperaturas de 35-45°C e por cêra de 48 horas. Depois de 12 horas, as chapas de fundo são retiradas para facilitar a evaporação.
7. Fusão dos modelos de cêra, de dentro dos moldes, seguido pelo aquecimento vagaroso dos moldes até uma temperatura que dependerá das complicações de forma das peças a serem produzidas e da temperatura de vazamento das ligas a serem empregadas. Geralmente os moldes são aquecidos a 200°C para fundir a cêra, por 2 horas, após o que são transferidos para outra estufa, mantida a 200°C, para a recuperação da cêra. A temperatura é então elevada até à necessária para o vazamento, variando de 850°C a 1.000°C. Este tratamento remove todos os vestígios de cêra da primeira fase, mas sua finalidade principal é a de elevar a temperatura do molde o suficiente para receber o vazamento. Usam-se fornos comuns ou contínuos, de funcionamento automático ou manual.

(*) Por investimento, entende-se, neste processo, a ação de revestir modelos de cêra com camada refratária. Assim também é denominado o próprio material refratário.

8. Vazamento do metal do forno de fusão, no molde quente. Quando a carga fundida está na temperatura suficiente, transfere-se o molde rapidamente da estufa, colocando-o em posição de receber o vazamento.
9. Retirada da peça fundida do molde, depois de frio, corte dos canais a esmeril e limpeza no jato de areia ou granalha. Exame para controle de defeitos.

Observações sobre o investimento e ligador — Quando se adiciona água ao tetra-etil-silicato, este sofre uma hidrólise e, conforme a quantidade de água adicionada, precipita-se sílica ou ácido silícico com a formação de álcool etílico e conforme as seguintes equações:



ou



Quando o refratário em pó é misturado com uma solução recente de silicato de etila e álcool etílico desnaturado pelo álcool metílico, a reação se dá no sentido em que o álcool se volatiliza e a sílica se precipita em torno das partículas de refratário, inicialmente como sílica gé. À medida que o gé se desidrata, a massa vai endurecendo e adquirindo grande resistência. A velocidade e intensidade da reação são influenciadas pela temperatura, pela presença de eletrólitos na solução, pelos componentes da mistura e pela granulometria do refratário. A solução "stock" de silicato de etila é composta da seguinte maneira: silicato de etila (contendo 40% de sílica), 75%; água, 7%; álcool etílico desnaturado, 18%. Pequena adição de ácido clorídrico age como acelerador da hidrólise do silicato de etila¹⁵.

Na literatura citada encontram-se várias composições para o investimento em pó. No I. P. T., as misturas do investimento são ainda objeto de estudos, desde que nem sempre é possível evitar-se certos defeitos, como por exemplo, trincas do investimento e que se transferem, como defeitos, às peças. A granulometria parece ter papel preponderante e os estudos estão verificando também este detalhe que com outros serão revelados na oportunidade.

2.6. MOLDAGENS ESPECIAIS

2.6.1. *Moldagem em gesso*: Há algum tempo vem se desenvolvendo o processo que emprega moldes de gesso, principalmente aplicado a metais que apresentam temperaturas de

fusão abaixo de 1.300°C, acima da qual o molde é rapidamente destruído.

A técnica de moldagem é semelhante à de areias comuns de moldagem, com variações necessárias. Os moldes são confeccionados em gesso calcinado ($\text{Ca SO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$), incorporado de silicato de magnésio que aumenta a resistência do conjunto, de talco, amianto e de pó de sílica que controlam os característicos de expansão-contracção da mistura e, outros mais, que têm como finalidade acelerar o endurecimento do gesso. Todos estes ingredientes são misturados com água até obter-se uma mistura adequada que, segundo Dalton⁶, é definida em “números de consistência”, representados por libras de água por 100 libras de gesso da mistura. A mistura é depositada sobre o modelo de metal, disposto numa caixa de moldar. Depois de permanecer o tempo necessário (cerca de 20-30 minutos) para o início do endurecimento, o modelo é removido e o molde transferido para um forno de secagem e cozimento, a temperaturas de cerca de 200°C. O gesso pode ser parcialmente desidratado em temperaturas mais altas e, em consequência, ter-se-á menor quantidade de vapor de água quando no vazamento das peças, sendo que, entretanto, a resistência do molde diminui. Quando se deseja obter permeabilidade da ordem de 130 AFS recomenda-se borbulhar ar na pasta, enquanto esta é movimentada por um misturador.

No período de endurecimento (cura), as reações químicas envolvem a água de cristalização. A reação que rege tais mudanças é inicialmente: $\text{Ca SO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2} \text{H}_2\text{O} = \text{Ca SO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} + \text{calor}$. Durante a secagem, o gesso hidratado volta ao estado primitivo e forma inúmeros cristais conglomerados, que possuem apreciável resistência e alta permeabilidade.

É óbvio que o tempo de cura requerido pelos moldes de gesso representa um fator negativo do processo, porém, devido à precisão de dimensões e de acabamento superficial conferidos às peças aplica-se o processo com vantagem, por exemplo, para moldes para pneu, para borracha porosa, para confecção de placas fundidas, etc.¹⁶

As peças fundidas nestes moldes resfriam-se mais lentamente devido a baixa condutividade térmica do material do molde, do que resultam estruturas de grana grossa, em detrimento das propriedades mecânicas.

As mais recentes modificações nesse processo deram lugar ao chamado “Processo Antioch”, descrito no item seguinte:

2.6.2. *Processo Antioch*: Trata-se de processo de moldagem no qual é utilizada uma mistura que consiste principalmente em areia, gesso e água. Os moldes obtidos são tratados

em autoclave. Foi desenvolvido por Morris Bean¹, encontrando logo aplicação nos setores de fundição onde seu emprêgo é considerado vantajoso pela precisão de dimensões das peças assim obtidas.

A areia representa a base e o gêsso o material aglomerante. A relação gêsso-areia-água é muito importante no processo, a fim de se conseguir condições ótimas de trabalho. Geralmente é recomendada a proporção de 50 partes de água para 100 partes de ingredientes secos. A areia utilizada deve ser de granulometria fina, acima de 100 AFS, a fim de ser obtido um bom acabamento. É de grande importância o tipo de gêsso empregado neste processo, pois que dêle depende, em parte muito grande, o sucesso da operação. O processo de obtenção do gêsso portanto, tem grande influência, devendo ser utilizado gêsso cujo preparo determinou a formação de cristais grandes, os quais permitirão obter, com maior facilidade uma boa permeabilidade do molde. Normalmente, o gêsso dêsse tipo é obtido por autoclavagem. Para se melhorar os característicos mecânicos do molde, a prática recomenda a adição de outros elementos como sejam: talco, até 8%; cimento Portland, óxido de magnésio e silicato de sódio. Êstes últimos elementos são adicionados em pequenas quantidades, em conjunto ou em separado, não ultrapassando contudo de 1% do total da mistura.

A mistura é preparada em recipientes ou frascos próprios de forma a serem totalmente cheios pela massa pastosa, de tal maneira que, durante o vazamento, não se produzam bôlhas de ar. A massa é então vazada nos moldes e em dêca de 5 minutos já se inicia o seu endurecimento, chegando a apresentar apreciável resistência. Para evitar o inconveniente da pega rápida demais, a qual não permite uma boa moldagem, é comum a adição de um retardador e, para tal fim, utiliza-se uma solução diluída de sulfato de potássio. A quantidade adicionada é regulada de acôrdo com a necessidade de tempo de operação. Uma vez completada a moldagem, para compensar o efeito retardador, adiciona-se um acelerador do endurecimento, usualmente constituído por uma solução de tetra-borato de sódio. Os modelos assim obtidos, repousam por dêca de 6 horas, sendo depois transferidos para uma autoclave, em ambiente de vapor, por um período que pode variar de 10 a 20 horas. Uma vez retirados os moldes da autoclave, são êles secados ao ar por mais ou menos 12 horas. Finalmente, é feita uma secagem na estufa por um período de 10-20 horas a uma temperatura de 220°C. A autoclavagem e o processo de secagem produzem, nestas condições, permeabilidade, nos moldes, de 25-50 AFS, ou até valores mais elevados.

Na fundição do I. P. T., para corpos de prova obtidos com mistura de 500 g de água, 500 g de gêsso e 500 g de areia

do mar (módulo = 95-100 AFS), e com os seguintes tempos de tratamento: descanso, 6 horas; autoclavagem a 2 atmosferas, 8 horas; secagem ao ar, 12 horas; secagem em estufa a 220°C, 15 horas; foram conseguidos os seguintes resultados: Permeabilidade, 20 AFS; resistência à compressão (em kg/cm²), 0,63. Para misturas com adição de 0,5% de silicato de sódio; 0,5% de cimento Portland; 6,0% de talco, foram obtidos, para os mesmos tempos, a mesma permeabilidade, porém com uma resistência um pouco mais elevada, ou seja, 0,7 kg/cm².

Para a primeira mistura, usando-se um tempo de autoclavagem de cerca de 18 horas, foi obtida uma permeabilidade de cerca de 100 AFS. A resistência, neste caso, ficou comprometida, pois revelou-se abaixo do mínimo necessário para o trabalho. É de se notar portanto, que este processo implica em uma observação minuciosa de várias condições, a partir dos componentes empregados para se obter um bom resultado.

Como se pode observar, o processo é trabalhoso e traduz-se num custo relativamente alto para o preparo dos moldes, porém, quando o custo das peças comportam este gasto, o seu uso fica aconselhado pelo bom acabamento dado às peças, bem como pela precisão de suas dimensões. Os exemplos mais típicos de sua aplicação encontram-se também na indústria automobilística, onde é aplicado na fabricação de moldes para pneus, conversores de torque hidráulico e nas demais peças que compõem as transmissões automáticas dos automóveis. Constitui um dos únicos processos de moldagem que permitem a execução de moldes sem necessidade de ângulos de saída e até de perfis reversos.

2.6.3. Moldes de grafita: São utilizados para a fundição de metais não ferrosos e ferro fundido; são obtidos usando-se blocos de grafita. O molde de grafita constitui uma variante dos moldes permanentes, porém com menor durabilidade. A grafita começa a oxidar-se acima de 400°C, quando se inicia o seu desgaste. Costuma-se dar uma pintura de silicato de etila, o qual ao depositar a sílica, por aquecimento, aumenta a resistência do molde permitindo um maior número de vazamentos.

As vastagens do processo residem na precisão de dimensões das peças assim obtidas, além de proporcionar uma atmosfera redutora, que evita a oxidação superficial do metal. No I. P. T., foram fundidas experimentalmente buchas de bronze, de pequena dimensão e massa, com aceitável resultado.

2.6.4. Outros moldes de uso mais restrito: Para peças fundidas em metais de baixo ponto de fusão, empregam-se moldes confeccionados em *alumínio*, que podem ser fundidos na sua forma bem próxima da definitiva, a fim de evitar, ao máximo, usinagem posterior. Pela anodização subsequente, pode-se con-

ferir ao molde uma maior resistência ao calor e oxidação. A capacidade que o alumínio tem de perder rapidamente calor, o faz bom material para fundir até peças de ferrosos, tendo entretanto, aplicação principal na fundição de ligas de baixo ponto de fusão.

O *carbureto de silício* é também empregado na confecção de moldes permanentes. Neste caso emprega-se o carbureto de silício granulado, misturado com argila e com carbonato de sódio hidratado. Essa mistura plástica pode ser moldada como areia de moldagem comum ou como gesso. Depois de pronto, o molde é aquecido a cerca de 810-820°C, o que o converte numa mistura estável e dura. Este molde tem um poder coagulante situado entre o das areias e o dos moldes metálicos. Trata-se de um processo de procedência inglesa, que não está suficientemente divulgado.

Um processo menos comum (utilizado em certos países, notadamente no Canadá e União Soviética), é o que emprega *moldes e machos congelados*. Embora o processo implique no uso de câmaras frigoríficas, apresenta como vantagem uma alta colapsibilidade nos machos e facilidade de desmoldagem. A explicação é óbvia, pois o molde em contacto com o calor propagado pelo metal vazado, perde a sua resistência, desde que o veículo aglomerante é a água. Evidentemente o processo apresenta restrições e seu emprego depende de se estabelecer condições adequadas de trabalho.

Existem ainda outros processos de moldagem, como o uso de moldes de cerâmica, etc., com aplicações mais específicas e que fogem ao interesse geral, razão pela qual deixa-se de os considerar no presente trabalho.

3. COMPARAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PROCESSOS DE MOLDAGEM

Devido aos inúmeros fatores que os vários processos envolvem, é muito difícil de se dizer qual o melhor método de fabricação para determinada peça. A tabela 4, a seguir, apresenta, a grosso modo, uma comparação entre os cinco principais processos de fundição descritos, e relacionando-se a certo número de fatores que influenciam o projetista na escolha. Desde que centenas de ligas são comercialmente fundidas, que variam desde os materiais de baixos característicos mecânicos e de baixos pontos de fusão (como os de chumbo e suas ligas), até os de alta resistência e alto ponto de fusão (como os aços) é difícil dar-se regras gerais que cubram todos os campos. Entretanto, as informações qualitativas da tabela, podem auxiliar a escolha em casos particulares¹⁷.

TABELA 4

Comparação entre os principais processos de moldagem

Histórico	Fundição em areia	Moldes permanentes	Fundição sob pressão	Fundição centrífuga	Fundição de precisão
Custo relativo (em quantidade)	Médio	Baixo	Baixíssimo	Alto	Altíssimo
Custo relativo para peq. ^o nº de peças	Baixíssimo	Alto	Altíssimo	Médio	Baixo
Peso de peça permissível	Ilimitado	45 kg	14 kg	Várias tons.	2,5 kg
Secção mais fina, permissível de se fundir (em pol)	1/8	1/8	1/32	1/2	0,005
Tolerâncias dimensionais típicas (pol)	1/16	0,003	0,01	1/16	0,01
Acabamento superficial relativo	Pobre	Bom	Melhor	Regular	Muito bom
Propriedades mecânicas relativas	Regular	Boas	Muito boas	Melhores	Regular
Facilidade relativa de fundição	Regular	Regular	Bom	Pobre	Melhor
Facilidade relativa de mudança de projeto, em produção	Melhor	Pobre	A mais pobre	Bom	Bom
Varição de ligas que podem ser fundidas	Ilimitada	Cobre e s/s ligas	Alumínio e s/s ligas de baixo ponto de fusão (de preferência)	Ilimitada	Ilimitada

BIBLIOGRAFIA

- HEINE, R. W. e ROSENTHAL, C. — *Principles of Metal Casting*. Mc Graw-Hill Company, Inc., N. Y., págs. 22, 32, 36, 42, 44 e 45, 1955.
- LO RÉ, VICTOR — *Prática do Preparo de Areias Sintéticas para Ferros Fundidos*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 16, n.º 58, págs. 177 a 185, 1960.
- BROCH, CARLOS DIAS — *Areias de Fundição*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Boletim n.º 44, págs. 44 a 55 e 122, 1952.
- MORAES, MANOEL A. — *Caixas de Moldagem para Produção Seriada*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 6, n.º 19, págs. 113 a 135, 1950.
- GUIMARÃES, CYRO e LO RÉ, VICTOR — *O Emprego do óleo de Oitica Simples ou em Mistura, em Areias de Fundição*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 15, n.º 54, págs. 117 a 145, 1959.

6. BRADASCHIA, CLOVIS — *Agglomerantes para Areias de Machos*. Boletim de Geologia e Metalurgia, n.º 3, 1946.
7. FAIRFIELD, HERBERT e BROSCH, CARLOS DIAS — *Métodos de Estudos da Operação de Estufagem dos Machos*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 4, n.º 10, 1948.
8. LACERDA SANTOS, LINO DE — *Cadinhos de Ferro Fundido*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 10, n.º 34, págs. 23 a 34, 1954.
9. BURTON, MALCON S. — *Applied Metallurgy for Engineers*. Mc Graw Hill Company, Inc., N. Y., pág. 161, 1956.
10. GRANT, H. C. — *Shell Molding Developments in the Automotive Industry*. Modern Casting, Nov., págs. 641 a 652, 1959.
11. LO RE, VICTOR — *Areias de Fundição Aglomeradas por Silicato de Sódio e Gás Carbônico*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 13, n.º 47, 1957.
12. MCINTYRE, J. B. — *Casting in Cement Bonded Sands*. Foundry, Dez., págs. 91 a 269, 1952.
13. JANCO, NATHAN — *Centrifugal Casting Methods*. Iron Age, March, 30, págs. 42 a 45, 1944.
14. LACERDA SANTOS, LINO A. DE — *Notas sobre a Fundição de Precisão*. ABM — Boletim da Associação Brasileira de Metais, vol. 12, n.º 43, págs. 105 a 114, 1956.
15. EVANS, A.; COTTON, P. S. e THEXTON, J. — *Precision Casting of High Nickel Alloys by Lost Wax or Investment Process*. Aircraft Production, Agosto, pág. 303, 1947.
16. DALTON, R. J. — *Some Practical Applications of Permeable Metal Casting Plaster*. Transactions of American Foundryman's Society, vol. 60, pág. 351, 1952.
17. GUY, ALBERT, G. — *Elements of Physical Metallurgy* — Addison Wesley Publishing Company, Inc. Reading — Massachusetts — USA, pág. 31, 1959.



DISCUSSÃO ⁽¹⁾

Mauricio Grimberg ⁽²⁾ — O trabalho que acaba de ser apresentado engloba fatos, dados e experiências acumuladas no I.P.T. de São Paulo sobre processos e materiais de moldagem. É contribuição de muita utilidade para as fundições, dada a autoridade dos Autores, que recapitularam longa serie de trabalhos esparsos e recapitularam experiência nossa, segundo mostra a bibliografia citada. A modestia dos Autores não permite que digam o que podemos dizer: — realmente, além da congregação desses dados todos, notamos, pelo resumo feito, que esse trabalho apresenta muitas originalidades, principalmente quando se refere a certos

(1) Contribuição Técnica n.º 401. Discutida na Comissão «H» do XV Congresso da ABM: São Paulo, julho de 1960.

(2) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Superintendente da Companhia Fabricadora de Peças «COFAP»; São Paulo, SP.

aspectos de processos materiais de moldagem, não muito comuns no nosso meio. Tenho a certeza de que isso servirá de consulta futura para todos os nossos colegas.

M. Menezes (3) — Desejaria perguntar o seguinte: em que pé está o IPT sobre a fundição de precisão? O que já foi feito, o que há de novo sobre o assunto? Digo sob o ponto de vista experimental.

C. Guimarães (4) (5) — Foram executados vários estudos no sentido de preparar modelos em gesso, de conhecer a técnica e as ligas para se obter as matrizes metálicas, os vários tipos de cera e, mesmo, foi executada fundição de vários tipos de materiais — se não me engano estelita e outros, fundidos em ligas especiais. Os resultados desses estudos foram publicados em trabalho do Eng. Lino Lacerda Santos (5).

Sei que atualmente o colega Isaac Berezin desenvolve a fundição de precisão e centraliza seu interesse na pesquisa sistemática dos investimentos. Ele está fazendo estudos, aplicando ligadores especiais e várias técnicas, porque parece ter transcendido de todo esse trabalho uma grande dificuldade na questão dos investimentos, principalmente com vistas à permeabilidade e determinadas características físicas da mistura. Neste ponto o Eng. Isaac Berezin, já atingiu um relativo desenvolvimento e já tem alcançado algum êxito. Sei que se tem processado a fundição, por este sistema, de pequenas hélices para a nossa Secção Náutica, para aplicação em protótipos de navios.

H. F. da Silva (6) — Desejo fazer uma pergunta: se estão atualmente no IPT fazendo operações com «shell-molding», com máquinas de projetar areia e com máquinas de fundir sob pressão.

C. Guimarães (7) — Sobre o «sell-molding», tiveram os senhores a exposição do colega Marco Manfredi. Conforme aqui foi explicado, trata-se de um campo em que temos muita coisa por fazer. Hoje mesmo surgiram sugestões para se desenvolver na forma de estudos dentro do IPT. Isto significa que a questão do «shell-molding» está ainda nesses primeiros passos dentro de nosso Instituto. Possivelmente agora vamos encontrar um terreno em que iremos desenvolver mais apuradamente as máquinas para «hell».

Quanto à fundição centrifugada ou os «sand-slingers», nada temos no IPT, porque não se poderia — devido a justo critério da administração — ter tôdas essas máquinas de soldar, como fator representativo, desde que corresponderiam a um grande empate de capital em maquinaria e instalações, que nem sempre os estudos nelas processados justificariam.

H. Poblete (8) — Felicito os autores do trabalho em discussão, pois considero a posição do IPT, reunindo técnicas já conhecidas em outros países, extremamente interessante.

Queria também dizer que sobre a areia de fundição não existe nenhum trabalho completo, tanto nos Estados Unidos, como em países da Europa. Nos Estados Unidos, os técnicos usam as especificações já existentes, que são resultado de experiências também já anotadas pelo próprio IPT. A literatura apresentada no presente trabalho, se estende

(3) Membro da ABM; Engenheiro; Belo Horizonte, MG.

(4) Membro da ABM; Engenheiro do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(5) Ver «Fundição de Precisão». «ABM-Boletim», vol. 12, pág. 105.

(6) Membro da ABM; Engenheiro da Fundação Becker Ltda.; Porto Alegre, RS.

(7) Ver em «ABM-Boletim»: «Notas sobre a moldagem em casca», trabalho apresentado ao mesmo Congresso. Ver também vol. 11, pág. 194, de «ABM-Boletim».

(8) Membro da ABM; Professor Chefe do Laboratório de Metais da Universidade Católica do Chile; do Instituto Chileno del Acero; Santiago, Chile.

às necessidades de outros países, o que considero de suma importância para a indústria em geral. Por isso, acho que este trabalho, por ser muito interessante, deveria ser dado ao conhecimento de outros países da América Latina que estão em etapa igual ou menos avançada que a do Brasil.

Esta é a observação e a sugestão que desejava fazer.

M. Grinberg — Ficará consignada a recomendação que o Eng. Hernan Poblete acaba de fazer, a qual será levada em consideração.

M. Moraes — Gostaria de fazer uma apreciação a respeito da moldagem com CO₂. Gostaria de saber se os Colegas poderiam esclarecer um pouco este ponto, dizendo quais os aparelhos utilizados e se foi desenvolvido algum trabalho no IPT nesse sentido.

Victor Lo Ré ⁽⁹⁾ ⁽¹⁰⁾ — No IPT fizemos experiências partindo do silicato de sódio, fornecido na ocasião pela Dupont-Duperial. Trabalhamos com proporções variáveis de 1 a 8%. Chegamos a conclusão de que valores de 3 a 3,5% de silicato de sódio, com injeção de gás carbônico de cerca de 30 segundos, sob pressão de 20 libras/dm², apresentavam valores de resistência perfeitamente satisfatórios.

Entretanto, havia um problema na prática e que persiste até hoje: o problema da injeção de gás quando se trata de fabricação em série. Se houver variações no dimensionamento das caixas, apresenta-se de imediato o problema de gás carbônico, o que representa um aspecto negativo. O segundo aspecto é que a mistura preparada, seja nas caixas ou nos machos, pode ser de uma dureza excepcional, o que oferece dificuldades na desmoldagem, bem como a da retirada dos machos das peças. Para corrigir esse defeito, tem sido adotadas uma série de adições, com carvão e asfalto, que são mais normalmente usados.

Geralmente, em algumas misturas americanas, faz-se a citação de produtos «XPTO», dos quais ninguém sabe a composição, provavelmente do tipo que estamos aplicando. Chegamos a fazer algumas experiências no I. P. T., com adições que variaram entre 0,5 a 1,0%, com carvão coque; verificamos que ficou muito facilitada a desmoldagem, a qual representa um dos maiores problemas do processo. Afora isso, encontramos valores compreendidos entre 3 a 3,5% de silicato de sódio, como os mais satisfatórios também. Além das provas de laboratório, tivemos também experiências na fundição; fundimos peças em bronze, com resultados plenamente satisfatórios no acabamento e com defeitos que podem ser perfeitamente tolerados.

M. Moraes — Tinha o silicato de sódio empregado, algum característico especial ou era simplesmente aditivo?

V. Lo Ré — O silicato de sódio empregado não nos preocupou em particular, pois tínhamos, originalmente, a intenção de fazer apenas uma verificação do processo em si. Daí, que nos concentramos no preparo da mistura partindo da areia base, de módulo médio 100 AFS, e que portanto poderia ser empregada na fundição de não-ferrosos e, apesar de não muito adequada, na fundição de ferrosos também. Partindo dessa areia, fizemos as adições sucessivas de silicato de sódio, a fim de observar de como se iria apresentar esse tipo de mistura, para nós relativamente novo.

(9) Membro da AMB; da Seção de Fundição do Instituto de Pesquisas Tecnológicas; São Paulo, SP.

(10) Ver do mesmo Autor "*Areias de fundição aglomeradas por silicato de sódio e gás carbônico*". "ABM-Boletim", vol. 13, pág. 129.

M. Grinberg — Se não me engano, a pergunta do Eng. Manoel Moraes, é para se saber se o silicato de sódio comercial, aquele que se compra na praça.

V. Lo Ré — É o comercial.

H. Poblete — Queria saber quais as aplicações feitas para moldagem e se foram feitas com «farinha de madeira».

V. Lo Ré — Sim, usamos serragem, muito fina e peneirada, provavelmente de pinho. Utilizamos carvão coque, asfalto e serragem. Esses elementos facilitam a desmoldagem.

M. Grinberg — Apelo aos colegas presentes, que tiverem experiências nesse tipo de moldagem, que façam as suas perguntas.

Fernando Homem da Costa ⁽¹⁾ — A respeito do processo CO₂, em uso na Fundição da C.S.N., passamos, há poucos meses, do consumo mensal de 750 kg para 1 t de gás carbônico, o que indica o volume atual da nossa produção de machos por este processo. Os machos são empregados tanto na fundição de peças de aço como nas de ferro fundido e não-ferrosos. As areias das misturas são de São Vicente (de módulo 75-80) e a de C. Frio (de módulo 63-68). Os aditivos (tais como o piche moído e a serragem, esta de qualquer madeira) são adicionados nas proporções de 1 a 1,5% para o primeiro e de 0,5 a 0,8% para o segundo. A finura da serragem deve satisfazer a seguinte especificação: ser 100% passável pela peneira de 50 malhas e 40% mínimo passável pela peneira de 100 malhas.

Embora o processo tenha as suas limitações, o rendimento obtido tem sido bem satisfatório. O problema da desmoldagem, quando realmente se apresenta, é de intensidade variável; depende dentre outros fatores da espessura do macho e da penetração do calor na sua massa. O silicato de sódio empregado não é o tipo comercial (meta silicato de sódio) de módulo Na₂O : SiO₂ = 1,1 : 1 usado comumente nas massas de barreamento de panelas e bicas de forno. Empregamos o dissilicato de sódio de módulo Na₂O : SiO₂ = 1 : 2,2 a 2,4. Foi o que apresentou, na prática, os melhores resultados.

O gás é aplicado, quase sempre, com a pressão de 20 lb/pol² e no tempo de 15 segundos, proporcionando o endurecimento no ponto de aplicação de uma área circular de um diâmetro de cerca de 4 pol. Se o macho é bastante espesso, passamos o gás por um tubo ou um furo de ¼ pol. que não transpassa toda a espessura do macho, efetuando desse modo o endurecimento daqueles pontos mais afastados.

M. Moraes — Qual é a percentagem de dissilicato de sódio?

F. Homem da Costa — Depende da areia. A de São Vicente, que é a mais fina, é aglomerada com 3,0% e, a de Cabo Frio com 2,5%. A areia mais grossa exige menos aglomerante e tem condições de desmoldagem mais favoráveis.

M. Grinberg — O senhor utiliza dissilicato para a moldagem das lingoteiras também?

F. H. da Costa — Não. Fizemos uma experiência apenas.

(11) Membro da ABM; Engenheiro da Usina de Volta Redonda da CSN; Volta Redonda, RJ.

M. Grinberg — Quando os senhores usam o silicato com gás carbônico e quando usam o processo chamado ortodoxo de macharia?

F. H. da Costa — A aplicação do processo é feita de acordo com a forma, o tamanho do macho, o peso e a espessura da peça.

M. Grinberg — O senhor poderia definir melhor essas limitações de forma e espessura?

F. H. da Costa — São limitações bastante práticas; ser-me-ia muito difícil descrevê-las aqui, pois dependem da peça e do macho a considerar.

C. Guimarães — Pelo que o Sr. Presidente perguntou e estou entendendo, deseja-se saber qual o critério que os senhores, que são os responsáveis pelo preparo dos machos, utilizaram no tratamento desses machos preparados pelo processo. Até onde aplicam o gás carbônico, tomado em relação com o tamanho do macho?

F. H. da Costa — O critério consta do seguinte: emprega-se o processo para os machos cujas peças possuem espessuras até 3 ou 4 pol. e que não exigem da mistura de areia resistência a compressão a verde e alguma outra característica especial. O estudo é feito para cada caso, observando estas normas e comparando com resultados obtidos em peças fundidas anteriormente e de condições semelhantes. Esta análise é que nos dirá se usaremos ou não o processo do gás carbônico.

M. Grinberg — Desejamos fazer uma pergunta mais específica: os senhores usam gás carbônico sempre que podem?

F. H. da Costa — Perfeitamente. Procuramos tirar o máximo do processo gás carbônico, devido à sua rapidez e economia.

M. Moraes — Gostaria de fazer mais uma pergunta: no caso do gás carbônico, os senhores estão usando algum aparelho para medida do tempo e volume?

F. H. da Costa — Encomendamos um relógio marcador de segundos, porém não encontramos quem o fabricasse nas medidas desejadas. Os macheiros, então, passaram a contar de 1 a 15. A literatura diz que, mesmo marcando o tempo, toda a atenção deverá ser dada para que não haja excesso de gás. Pois, neste caso, poderá ocorrer o fenômeno do «overgassing», responsável pela deterioração dos machos devido a perda de resistência e a friabilidade.

M. Moraes — Observei que já duas firmas usam um aparelho relativamente simples para a contagem de tempo e variações da pressão de maneira que, pela experiência, a contagem do operador é dispensada. Numa outra firma desenvolveram o processo de adaptação do CO² nas máquinas, de madeira que eles aproveitam a injeção rápida de areia na passagem do CO² no volume dos machos. Eles chegam a encher 80 litros de areia em 4 segundos, e o processo de fabricação é muito acelerado; tem todas as vantagens do CO².