

Capítulo I

Processos de fundição

1.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os diversos tipos de fundição utilizados na indústria, com exemplos práticos de aplicação, e as várias etapas do processo, desde a construção de modelos, a fundição propriamente dita até o acabamento.

Os conhecimentos contidos neste livro são suficientes para que o técnico de nível médio desenvolva com êxito suas atividades na indústria.

1.2 Definição

Fundição é o processo de fabricação de peças metálicas que representa o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica e as peças acabadas, em condições de uso.

O processo de fundição para a fabricação de peças consiste essencialmente em encher com metal líquido a cavidade de um molde cujas dimensões e formas correspondem às das peças a serem obtidas. Após a solidificação e o resfriamento, obtêm-se as peças com formas e dimensões, geralmente, quase definitivas. Em muitos casos, no entanto, as peças são usinadas antes de apresentarem condições de uso.

Pode-se dizer que no processo de fundição há, quanto ao metal, apenas as etapas de fusão e solidificação entre a matéria-prima sólida e o produto semiacabado, enquanto que nos demais processos clássicos de fabricação de peças metálicas, tais como laminação, forjamento estampagem e trefilação, há também uma deformação plástica por tratamento mecânico.

Fundição é o processo que permite a obtenção de peças de formas complexas – ou, em outras palavras, o processo de conformação de metais que proporciona a maior liberdade de formas.

As peças fundidas devem ter características dimensionais mecânicas e físico-químicas. Elas destinam-se às mais diversas indústrias. As fotos da figura 1.1 mostram um forno de fundição.

**Figura 1.1**

Forno de fundição.

1.3 Histórico

Os mais antigos objetos em metal conhecidos até agora datam de cerca de 10 000 a.C. São pequenos enfeites produzidos de cobre nativo e batidos no formato desejado. No período de 5000 a 3000 a.C., apareceram os primeiros trabalhos em cobre fundido, sendo que seus moldes foram escavados em pedra. Na sequência teve início a Era do Bronze.

O processo de fundição do ferro surgiu na China em 600 a.C. e o do aço, realizado pela primeira vez em 1740, é atribuído ao inglês Benjamin Huntsman.

Embora o processo de fundição seja antigo, novas tecnologias continuam a surgir. A intenção deste capítulo é fornecer uma introdução aos métodos mais usados na fundição de ferro e aço, além de suas variáveis mais importantes.

1.4 Processos de fundição

Os processos utilizados atualmente são os seguintes:

- fundição em areia;
- fundição em cascas (*shell molding*);
- fundição em moldes metálicos (por gravidade ou sob pressão);
- fundição centrífuga;
- fundição de precisão (cera perdida, moldes cerâmicos).

1.5 Importância da fundição

O produto obtido pelo processo de fundição sai do molde praticamente com todas as exigências de serviço satisfeitas e não precisa, em geral, de usinagem posterior.

Pode-se afirmar, portanto, que peças fundidas são mais baratas e, por isso, mais utilizadas no ramo da metalurgia.

1.6 Fundição em areia

Quando se trabalha com ferro e aço, o processo mais adequado é o de fundição em areia.

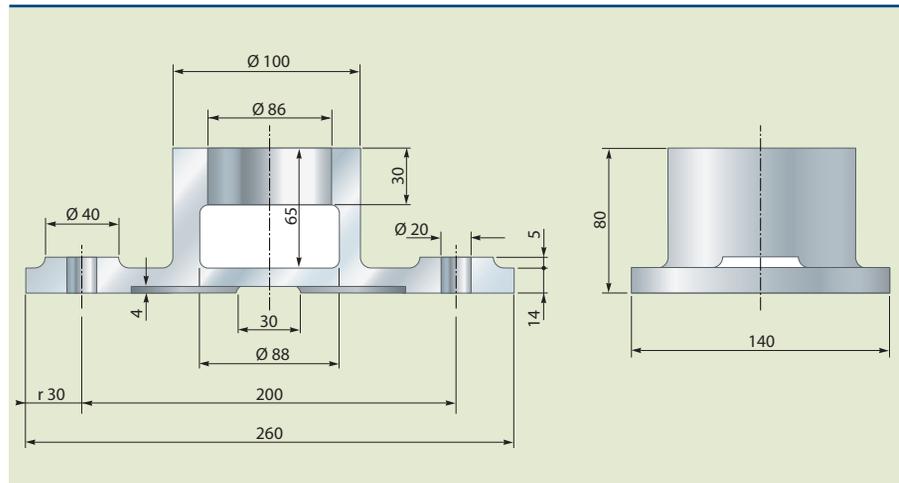
1.7 Fabricação de uma peça fundida através de moldação manual

Para estabelecer o processo de fabricação de uma peça fundida, parte-se do desenho técnico de peças acabadas, em condições de uso.

A partir do desenho da peça usinada (figura 1.2), realiza-se o projeto que define todo o processo de fabricação na fundição.

Figura 1.2

Desenho da peça usinada.

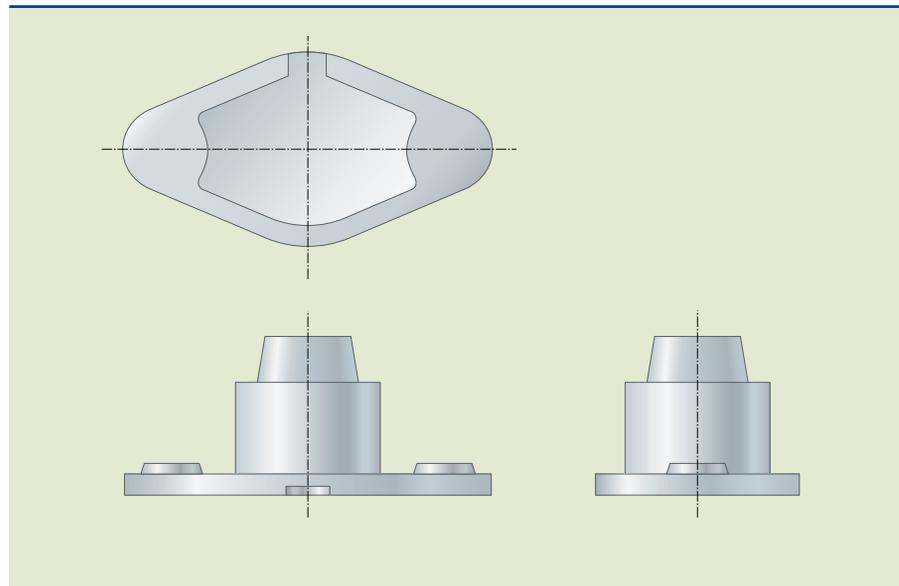


Uma vez concluído o projeto, passa-se à confecção do modelo da peça, da caixa de macho e dos elementos do modelo necessários à preparação do molde em cuja cavidade se vaza o metal líquido de composição química predeterminedada.

De posse do modelo da peça (figura 1.3) e dos elementos do modelo, faz-se o molde.

Figura 1.3

Modelo da peça.



A preparação do molde ou moldação manual é constituída pelas operações básicas descritas a seguir.

a) Preparação, cujos procedimentos são:

- Verificar o estado de conservação do modelo e as particularidades da moldação;
- Posicionar, sobre um estrado de madeira, uma caixa de moldação inferior, o modelo da peça e elementos do modelo (figura 1.4).

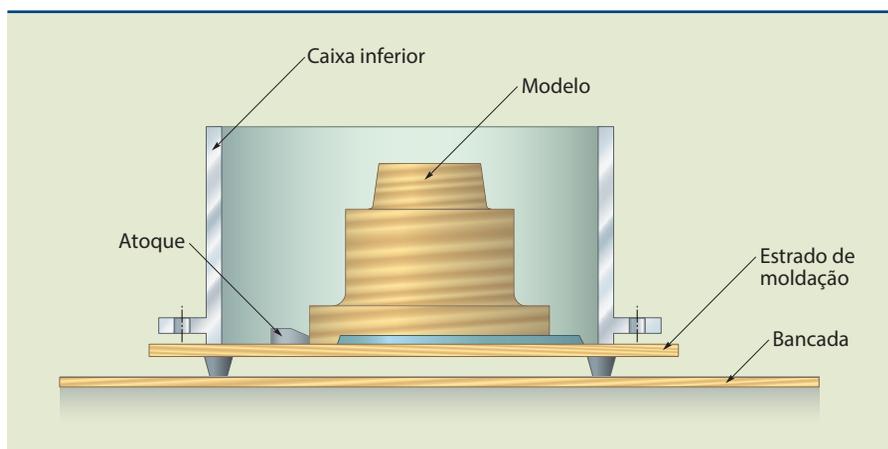


Figura 1.4

Posicionamento dos elementos na preparação.

b) Socagem da caixa inferior, cujos procedimentos são:

- Envolver o modelo com areia de faceamento, comprimindo-a contra o mesmo, com os dedos;
- Encher a caixa com camadas sucessivas de areia de enchimento, compactando-a com um soquete (figura 1.5).

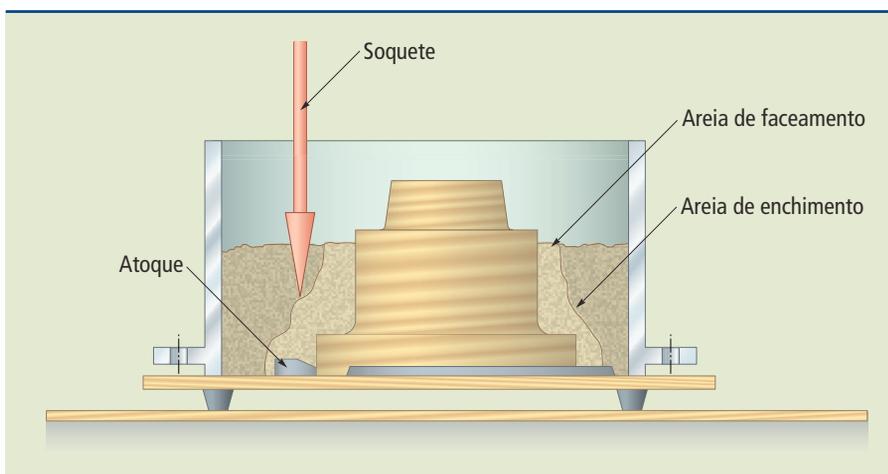


Figura 1.5

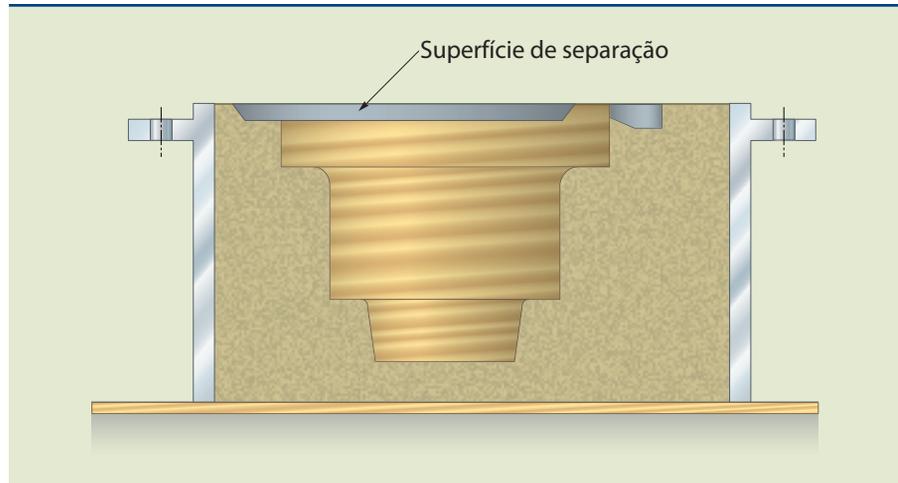
Caixa com areia de enchimento compactada.

c) Realização da superfície de separação entre as caixas de moldação, cujos procedimentos são:

- Virar a caixa inferior (figura 1.6);
- Alisar a superfície;
- Polvilhar sobre a mesma um produto isolante de superfície.

Figura 1.6

Caixa de moldação virada.

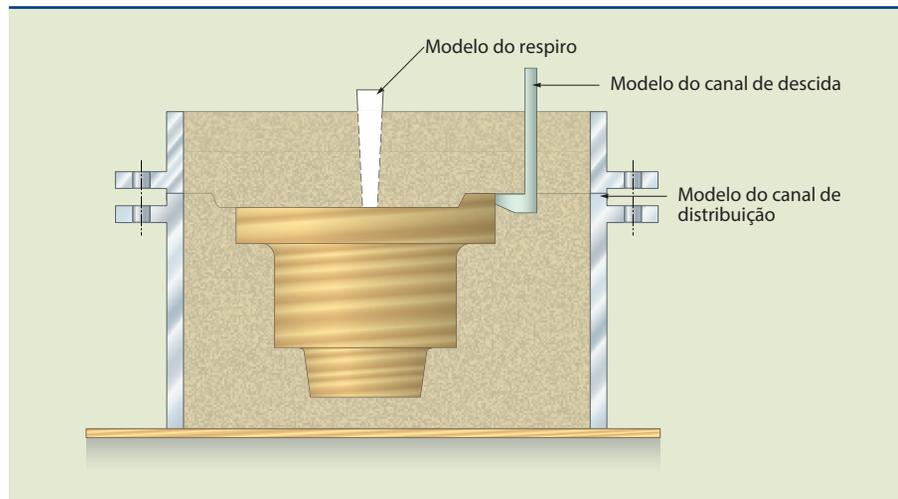


d) Socagem da caixa superior, cujos procedimentos são:

- Posicionar a caixa superior sobre a inferior;
- Posicionar os outros elementos do modelo;
- Encher a caixa superior com camadas sucessivas de areia, compactando-a com um soquete (figura 1.7).

Figura 1.7

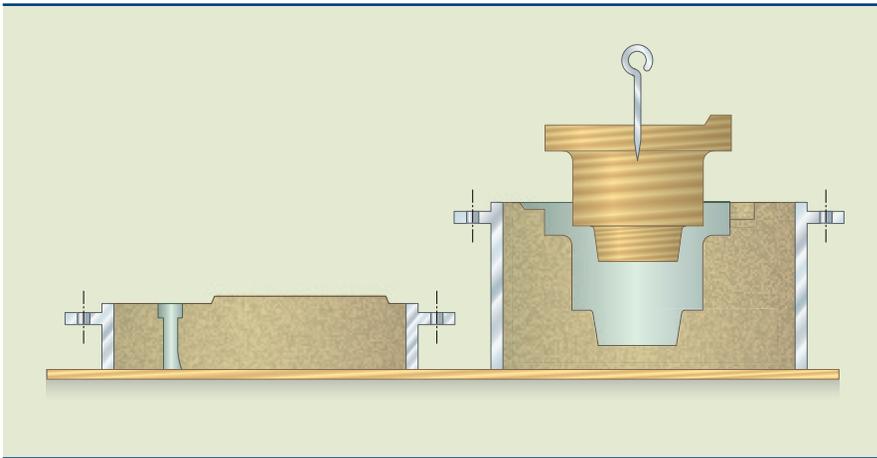
Caixa superior posicionada sobre a inferior e cheia de areia compactada.



e) Extração do modelo, cujos procedimentos são:

- Retirar os elementos de modelo salientes na superfície da caixa superior;
- Levantar a caixa superior, virá-la e colocá-la sobre uma superfície plana;
- Abalar o modelo da peça;
- Retirá-lo da caixa inferior (figura 1.8);
- Retirar os outros elementos de modelo.

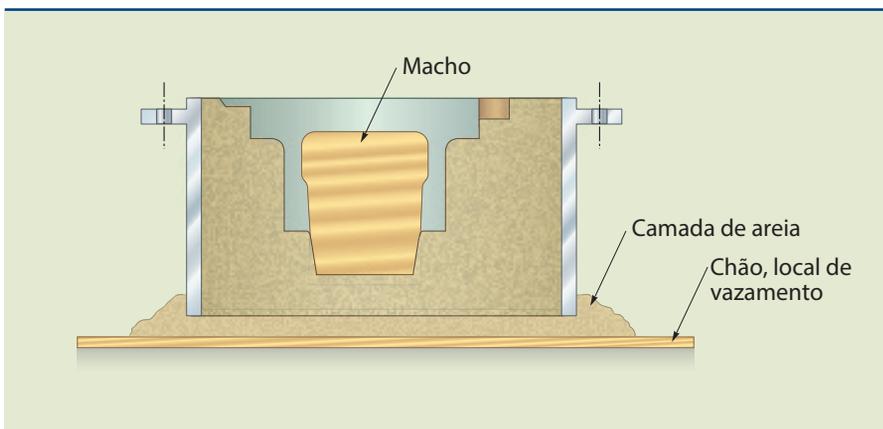
f) Acabamento do molde, que consiste em consertar estragos observados nas paredes de sua cavidade.

**Figura 1.8**

Modelo sendo retirado da caixa inferior:

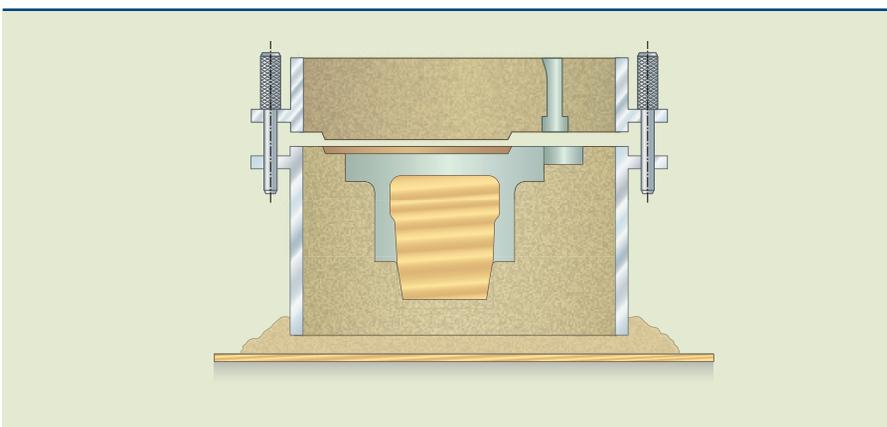
g) Fechamento do molde, cujos procedimentos são:

- Colocar a caixa inferior sobre uma cama de areia preparada na área de vazamento;
- Posicionar o macho na caixa inferior (figura 1.9). A confecção do macho ocorre paralelamente à do molde.

**Figura 1.9**

Posicionamento do macho na caixa inferior:

- Retirar grãos de areia soltos no fundo da cavidade, se for o caso;
- Posicionar a caixa superior sobre a inferior (figura 1.10).

**Figura 1.10**

Posicionamento da caixa superior sobre a inferior:

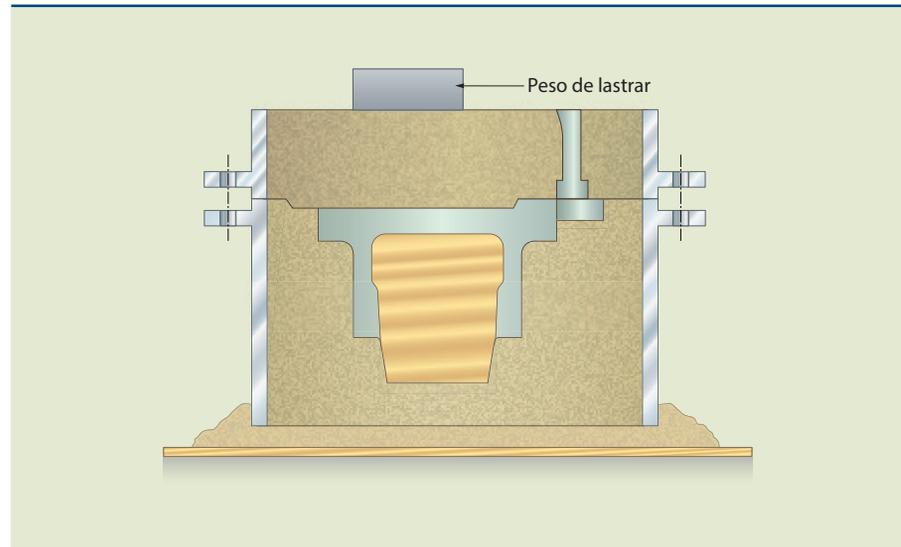
A cavidade principal do molde corresponde às dimensões e formas de peças após a solidificação e o resfriamento da liga vazada na mesma, isto é, a cavidade principal do molde corresponde à peça bruta de fundição.

h) Lastragem do molde:

Enchendo-se a cavidade do molde com metal líquido, este tende a levantar a caixa superior. Para evitar esse levantamento, coloca-se um peso sobre a caixa superior (figura 1.11).

Figura 1.11

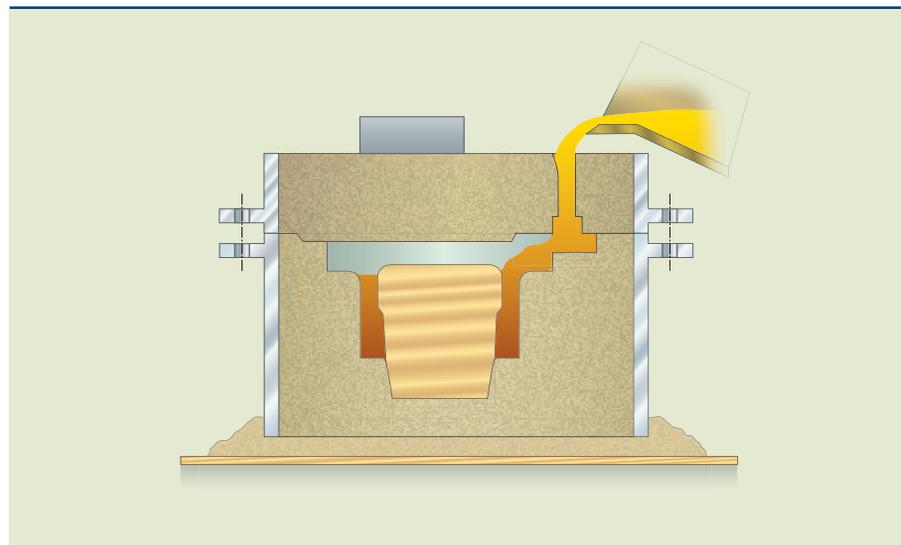
Peso colocado sobre a caixa superior:



Com a lastragem do molde termina a sua confecção, isto é, a moldação chega ao fim. O molde já lastrado encontra-se em condições de ser vazado (figura 1.12).

Figura 1.12

Molde lastrado, pronto para ser vazado.



O metal líquido é vazado no molde a uma temperatura superior àquela do início de sua solidificação. Nas cavidades do molde, o metal solidifica-se e se resfria. Após o resfriamento é feita a desmontagem, isto é, separa-se a peça da areia.

A peça desmoldada apresenta partes salientes como canais de enchimento e rebarbas, formadas na superfície de separação das caixas. Estas partes salientes devem ser retiradas: a peça remoldada deve ser rebarbada (figura 1.13). Após a rebarbação faz-se a limpeza da superfície da peça a fim de retirar grãos de areia que estiverem aderidos a ela.

Realizadas a rebarbação e a limpeza – portanto, após o acabamento, obtém-se a peça bruta de fundição (figura 1.14).

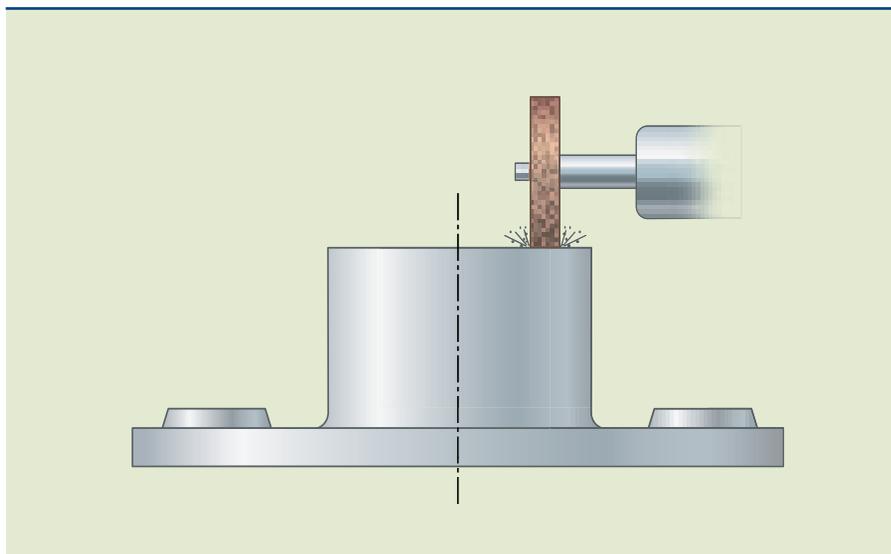


Figura 1.13

Rebarbação da peça remoldada.

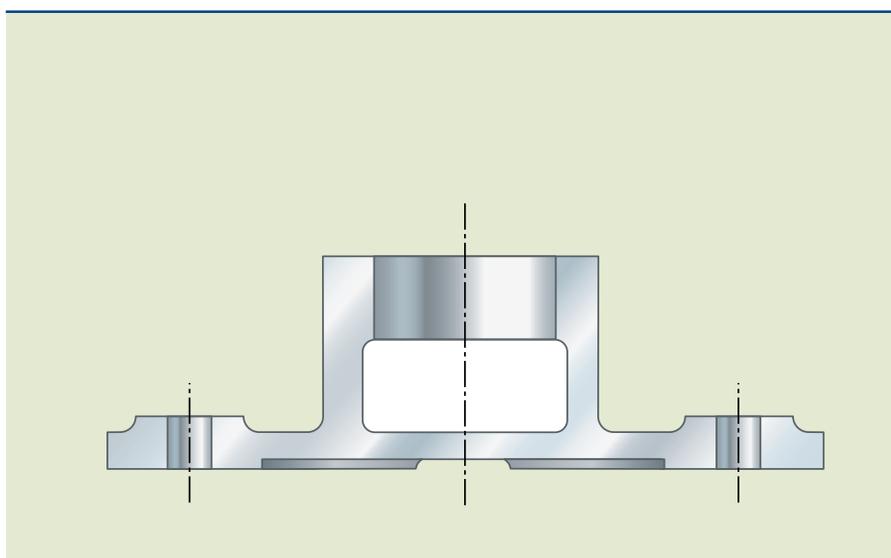


Figura 1.14

Peça bruta de fundição.

A figura 1.15 apresenta um esquema de sequência de preparação do molde necessária à obtenção de uma peça bruta de fundição. A imagem corresponde a um desenho técnico da peça usinada.

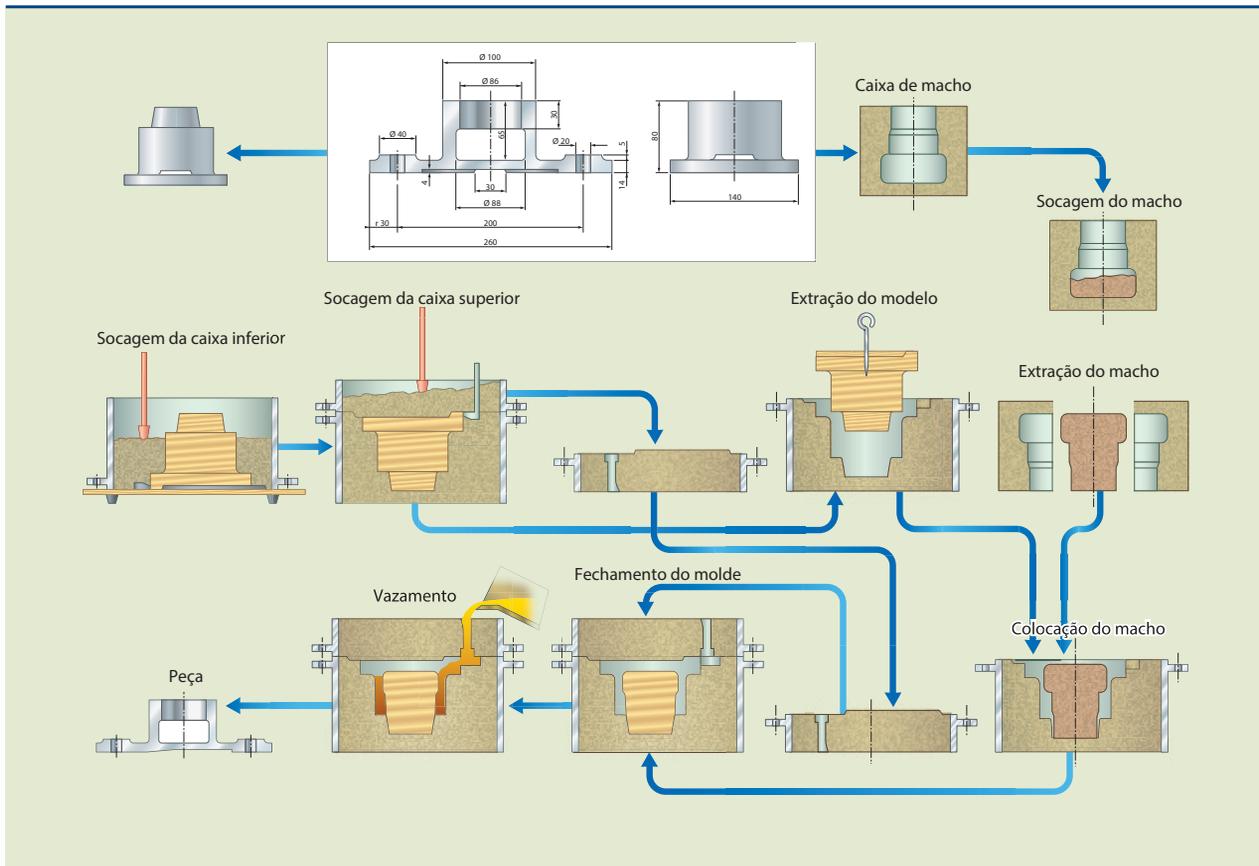


Figura 1.15
Esquema de seqüência de
preparação do molde.

1.8 Setores de uma empresa de fundição

Com base nas informações fornecidas até agora, pode-se dizer que a fabricação de uma peça fundida requer, pelo menos, os seguintes setores:

- Setor de projetos;
- Setor de confecção e reparação de modelos, caixas de macho e elementos de modelo (modelagem);
- Setor de fabricação de peças fundidas (a fundição propriamente dita).

A oficina de fundição pode ser dividida nas seguintes áreas:

- Área de preparação de areias para moldação;
- Área de moldação;
- Área de confecção de machos (macharia);
- Área de preparação do metal líquido (área de fusão);
- Área de vazamento dos moldes;
- Área de rebarbação e limpeza (área de acabamento de peças).

Além desses setores e áreas, mais diretamente ligados à produção, podem-se citar o setor administrativo, os depósitos de matérias-primas, o depósito de modelos, a área de expedição de peças e os laboratórios para o sistema de controles, que deve acompanhar todo o processo de fabricação.

1.9 Macho

Macho é uma parte do molde fabricada separadamente e colocada em sua cavidade após a extração do modelo para se obter, de maneira mais econômica, formas internas ou externas de uma peça, além de facilitar a construção do modelo.

A figura 1.16 mostra uma peça com uma forma interna de diâmetro variável. Para facilitar a moldação dessa peça, utiliza-se um modelo (figura 1.17) para obtenção da forma geral da cavidade do molde, na qual é posicionado o macho, preparado numa caixa de macho (figura 1.18) paralelamente à confecção do molde (figura 1.19).

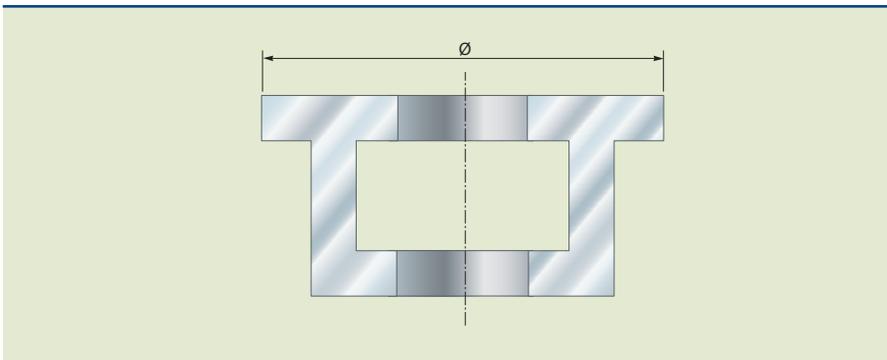


Figura 1.16

Peça com forma interna de diâmetro variável.

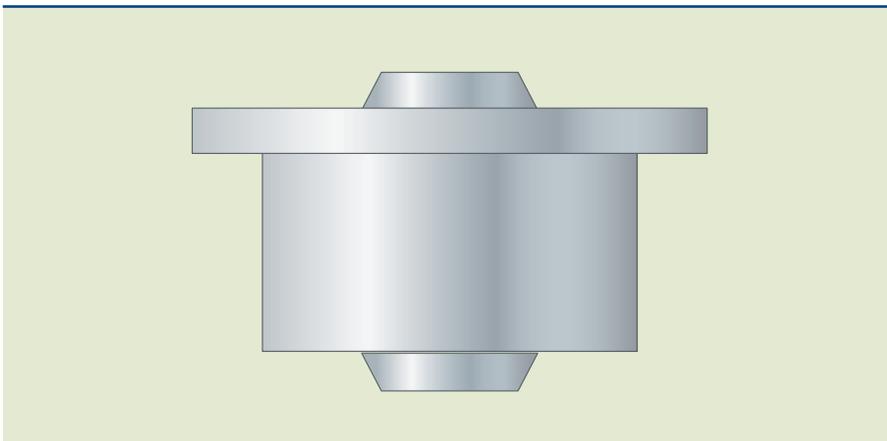


Figura 1.17

Modelo usado para obtenção da forma geral da cavidade do molde.

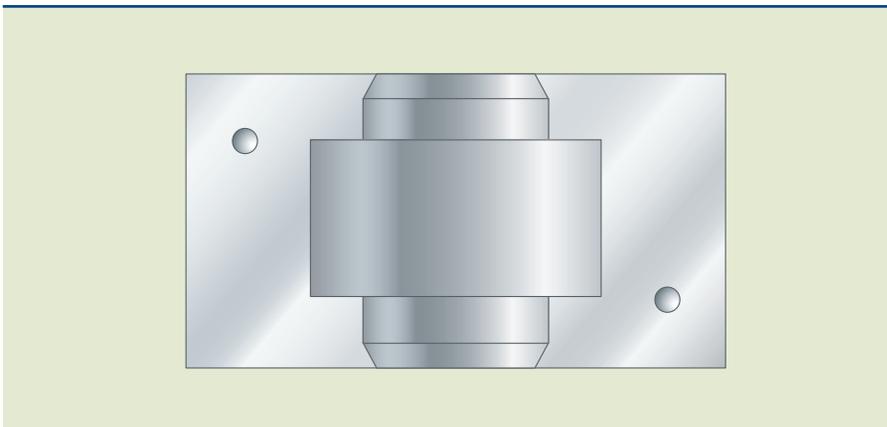
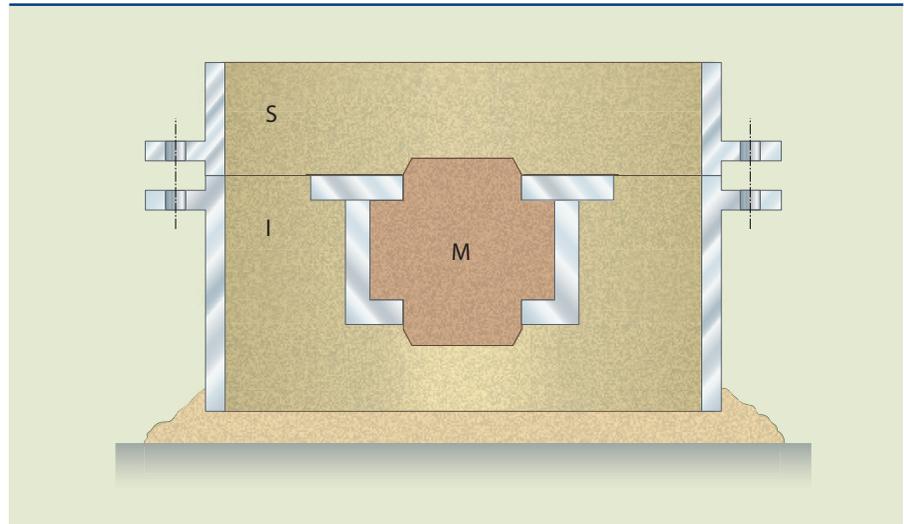


Figura 1.18

Caixa de macho.

Figura 1.19

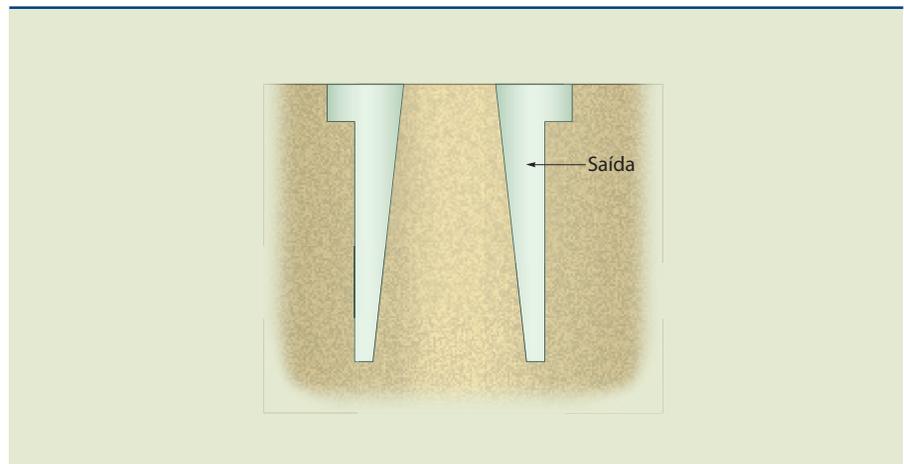
Posicionamento do macho na cavidade do molde.



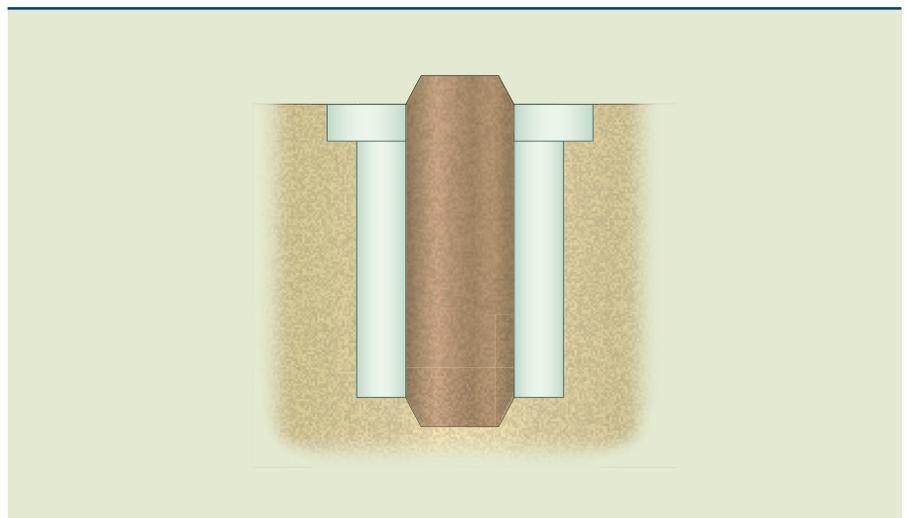
Mesmo que a forma interna de uma peça seja simples, pode-se evitar uma saída acentuada (figura 1.20) utilizando um macho (figura 1.21). A saída acentuada deformaria a peça.

Figura 1.20

Peça de forma interna simples e saída acentuada.

**Figura 1.21**

Uso do macho para evitar a acentuação da saída.



1.9.1 Qualidades dos machos

As qualidades exigidas de um macho são:

- Resistência mecânica;
- Permeabilidade;
- Insensibilidade à umidade;
- Refratariedade;
- Compressibilidade;
- Colapsibilidade.

1.9.1.1 Resistência mecânica

Quanto à resistência mecânica, devem-se considerar dois aspectos:

- Resistência antes do fechamento do molde;
- Resistência após o fechamento do molde.

Antes do fechamento do molde, o macho deve resistir ao esforço de sua extração da caixa e aos esforços de manipulação e transporte até seu posicionamento na cavidade do molde.

Até o fechamento do molde, o macho deve resistir a seu próprio peso e aos esforços estáticos e dinâmicos exercidos pelo metal líquido durante o enchimento da cavidade.

1.9.1.2 Permeabilidade

Permeabilidade de um macho é a propriedade que ele tem de se deixar atravessar por gases.

Quando o molde é vazado, o contato do macho com o metal quente provoca liberação de gases, o que pode criar bolhas nas peças. Sendo permeável, o macho facilita a saída dos gases pelas marcações, evitando que os mesmos passem pelo metal.

A figura 1.22 mostra o esquema de um macho interno, evidenciando a necessidade de uma boa permeabilidade para que os gases saiam pela marcação e não através da peça.

A permeabilidade é uma qualidade indispensável aos machos, sobretudo aos internos.

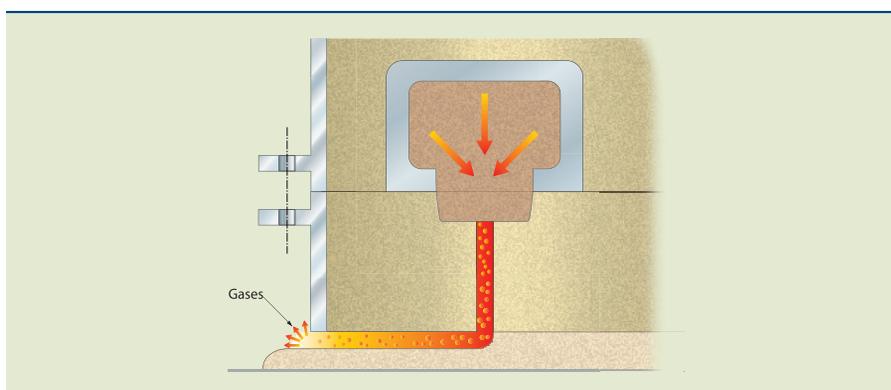


Figura 1.22

Desenho esquemático de um macho interno que destaca a necessidade de permeabilidade.

1.9.1.3 Insensibilidade à umidade

Antes ou depois do posicionamento nos moldes, os machos podem absorver umidade da atmosfera ou da própria areia dos moldes. O aumento do teor de água pode:

- Reduzir a coesão dos grãos da areia do macho, causando sua desagregação;
- Aumentar a quantidade de gases desprendidos durante o vazamento dos moldes.

Para atenuar estas dificuldades, os machos devem ser pouco sensíveis à umidade.

1.9.1.4 Refratariedade

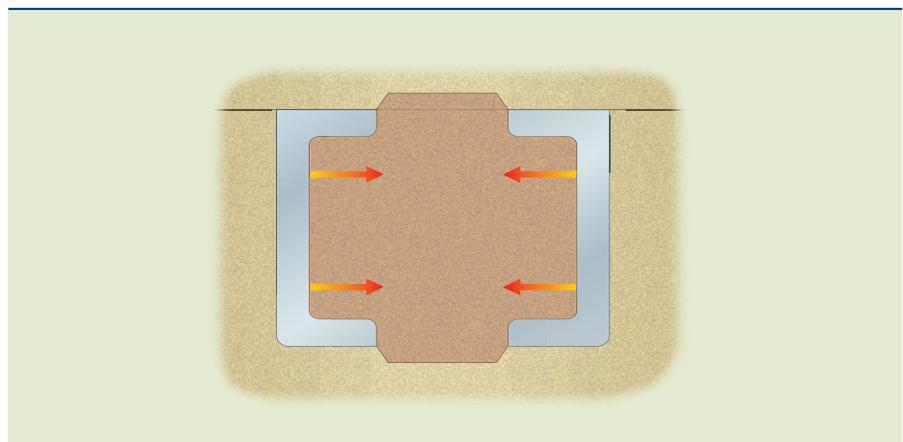
Refratariedade de um macho é a propriedade que traduz sua resistência a temperaturas elevadas. Esta é uma qualidade importante, pois, durante um tempo variável e conforme sua localização, o macho sofre efeitos da elevada temperatura do metal líquido – seja por radiação durante o enchimento, seja por contato direto.

1.9.1.5 Compressibilidade

Por causa do fenômeno de contração das ligas no estado sólido, as dimensões das peças de fundição diminuem durante o resfriamento. Em consequência disso, os machos internos sofrem esforços de compressão (figura 1.23). Se eles forem muito resistentes e não cederem, as peças podem trincar ou romper. Assim, os machos devem ser compressíveis, ou seja, devem ceder aos esforços de compressão devido à contração do metal em estado sólido.

Figura 1.23

Esforços de compressão sobre um macho interno.



1.9.1.6 Colapsibilidade

Diz-se que um macho tem boa colapsibilidade quando ele perde a resistência mecânica após a solidificação da peça.

Exige-se esta qualidade dos machos para que, durante a limpeza das peças, eles se desagreguem facilmente, favorecendo a remoção da areia dos machos internos.

1.9.2 Confeção de um macho

O material geralmente utilizado para fazer um macho é areia com composição adequada. Existem diferentes tipos de areias para machos. Uma delas, comumente chamada de areia CO_2 , é constituída por uma mistura de:

- Grãos de areia silicosa;
- Silicato de sódio;
- Gás carbônico.

Primeiramente mistura-se a areia ao silicato de sódio e, depois, essa mistura é atravessada por CO_2 , que a endurece ao reagir com silicato.

Os machos podem ser feitos manual ou mecanicamente. Para ilustrar a fabricação de um macho, é apresentada a seguir a confecção manual de um macho com areia CO_2 .

O molde do macho é a caixa de macho (figura 1.24) em cuja cavidade é socada a areia, devidamente preparada (figura 1.25).

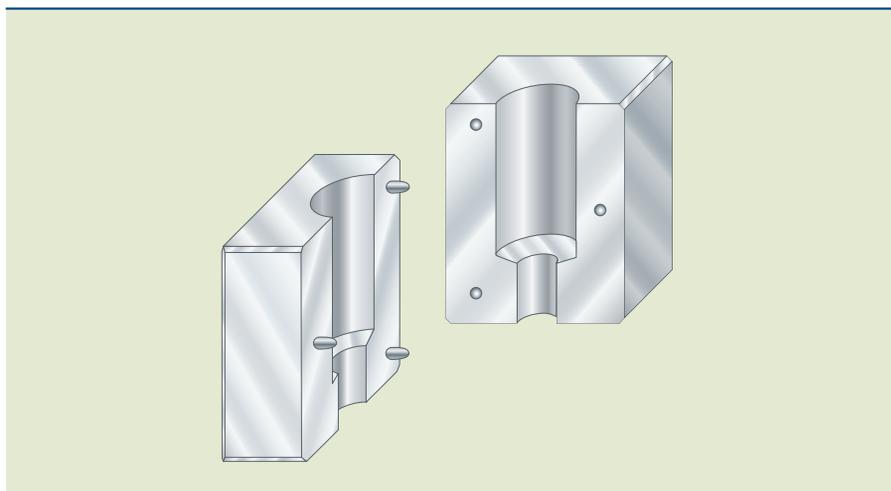


Figura 1.24

Caixa de macho, que serve de molde.

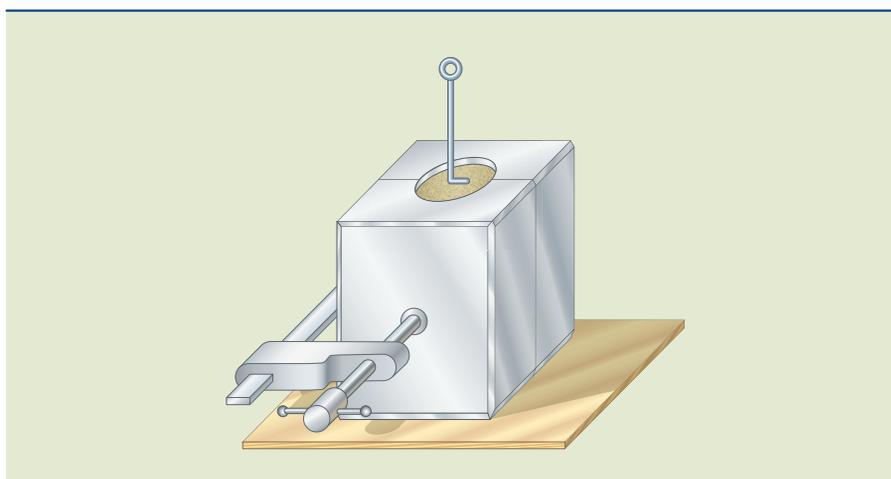


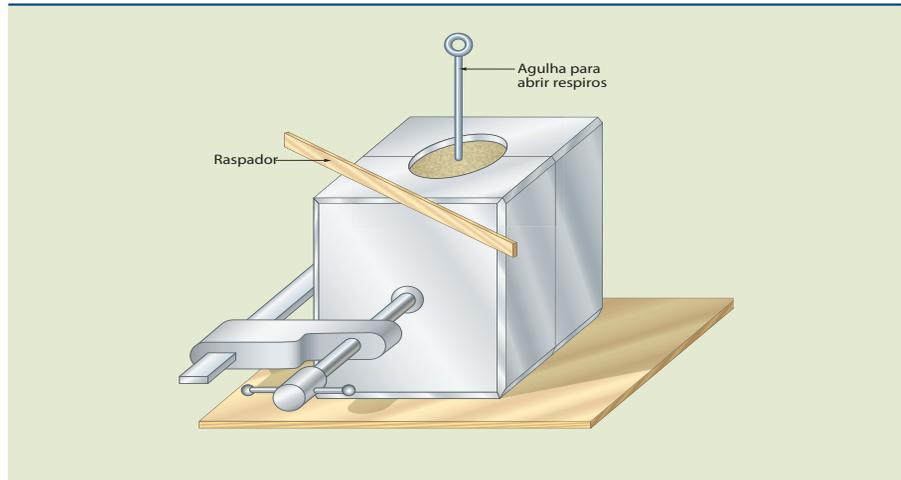
Figura 1.25

A areia é socada na cavidade da caixa de macho.

Após a socagem da areia, raspa-se a superfície externa da caixa e abrem-se furos ou respiros na areia (figura 1.26) para facilitar o escoamento do CO_2 através da mesma.

Figura 1.26

Após a socagem da areia, raspa-se a superfície externa da caixa.



A aplicação do gás CO_2 pode ser feita com auxílio de uma campânula (figura 1.27). Uma vez ocorrido o endurecimento, abre-se a caixa e retira-se dela o macho (figura 1.28).

Figura 1.27

Aplicação de CO_2 com o auxílio de uma campânula.

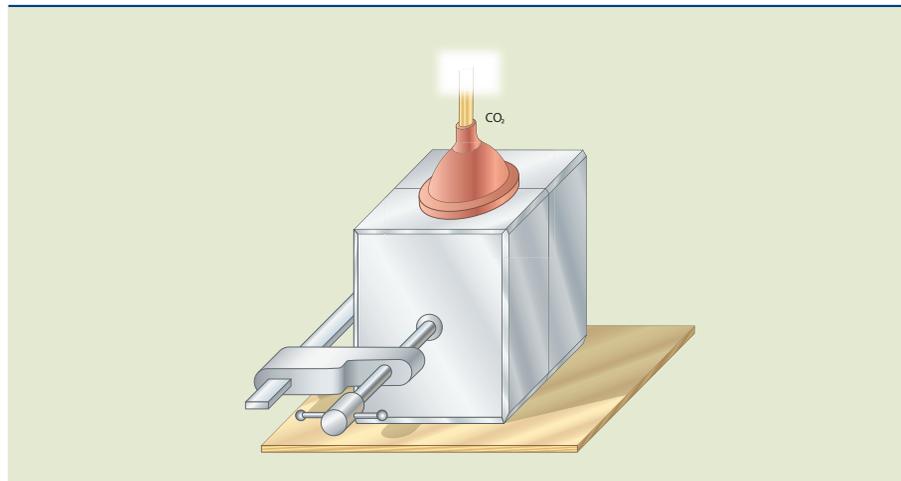
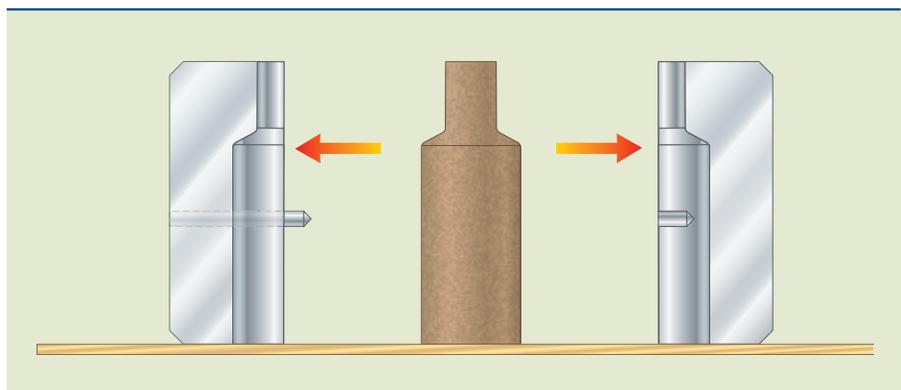


Figura 1.28

Após o endurecimento, abre-se a caixa para a retirada do macho.



1.10 Modelos e caixas de macho

Na preparação de um molde utilizam-se modelos e caixas de macho. O modelo de uma peça a ser obtida em fundição é empregado para dar forma e dimensões à cavidade do molde. A caixa de macho é utilizada para preparar os machos.

Os modelos e as caixas de macho devem satisfazer as seguintes necessidades:

- Exatidão de formas e dimensões;
- Permanência de formas e dimensões com o decorrer do tempo;
- Facilidade de extração;
- Bom estado da superfície.

1.10.1 Sobremetal de usinagem

A maioria das peças fundidas é usinada após sua limpeza, a fim de obter dimensões, formas ou estado de superfície prefixados. A usinagem se traduz pela remoção de material das peças.

Quando existe algum sinal de usinagem num desenho da peça a ser obtida em fundição, deve-se aumentar, no modelo, a espessura da face assinalada, isto é, considera-se um sobremetal de usinagem.

Este aumento de espessura gera uma peça fundida maior do que a peça usinada indicada no desenho.

Os sinais de usinagem nos desenhos são normalizados conforme a figura 1.29.

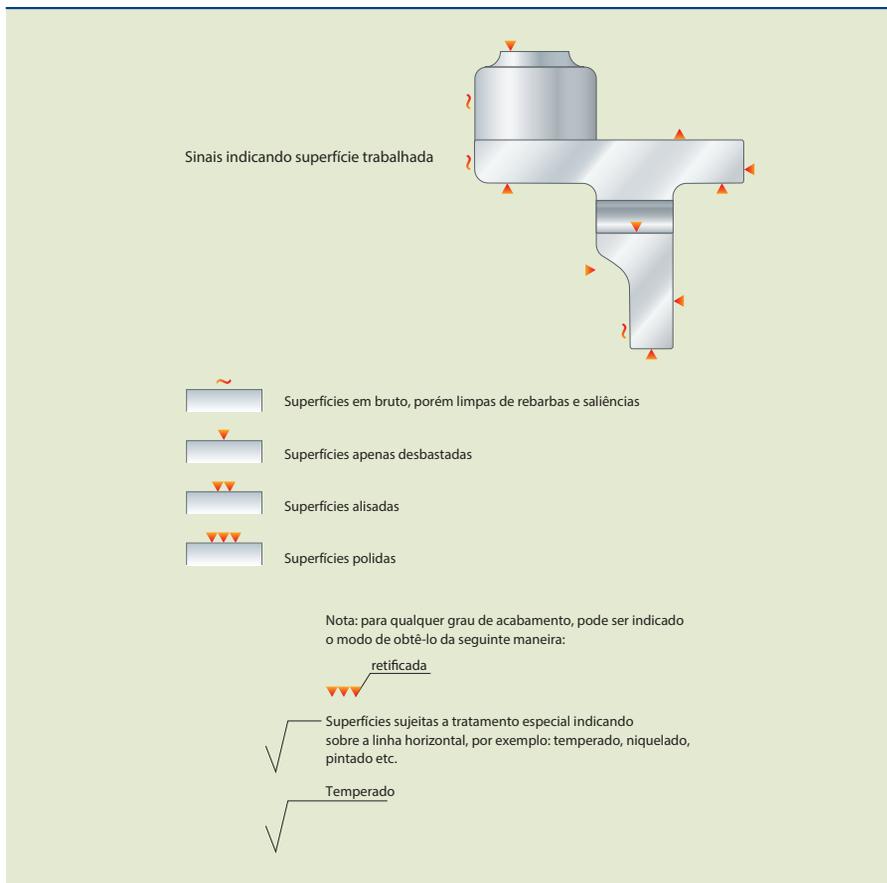


Figura 1.29

Normalização dos sinais de usinagem.

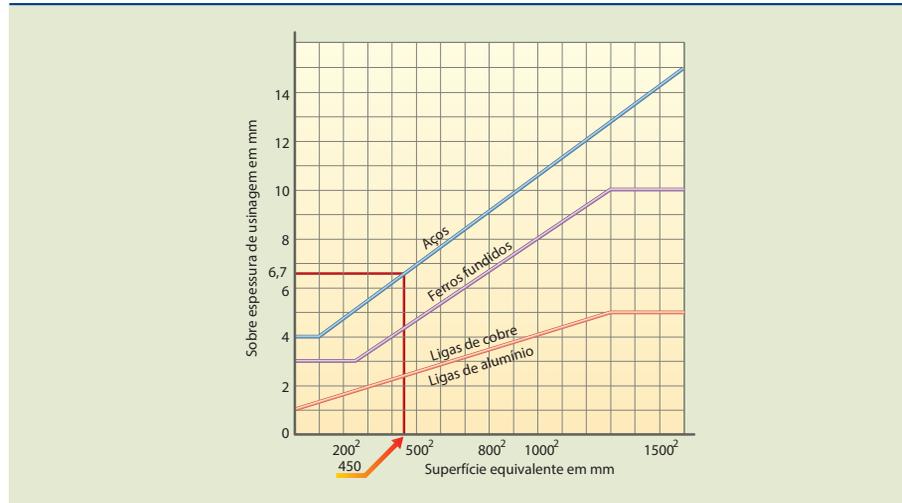
O valor do sobremetal de usinagem é obtido conforme a liga a ser utilizada no enchimento do molde, das dimensões da peça, do processo de moldação e da quantidade de peças a serem fundidas.

O sobremetal de usinagem nas partes superiores do molde deve ser maior do que nas inferiores porque os primeiros podem recolher impurezas como escória, grãos de areia e película de óxido – que serão retiradas na usinagem.

O diagrama da figura 1.30 indica os valores recomendados para o sobremetal de usinagem segundo a superfície equivalente a ser usinada e a natureza da liga.

Figura 1.30

Valores recomendados para o sobremetal de usinagem.



De acordo com este diagrama, se uma superfície a ser usinada numa peça de aço equivale a uma área de 450 mm², o valor recomendado para o sobremetal de usinagem é 6,7 mm.

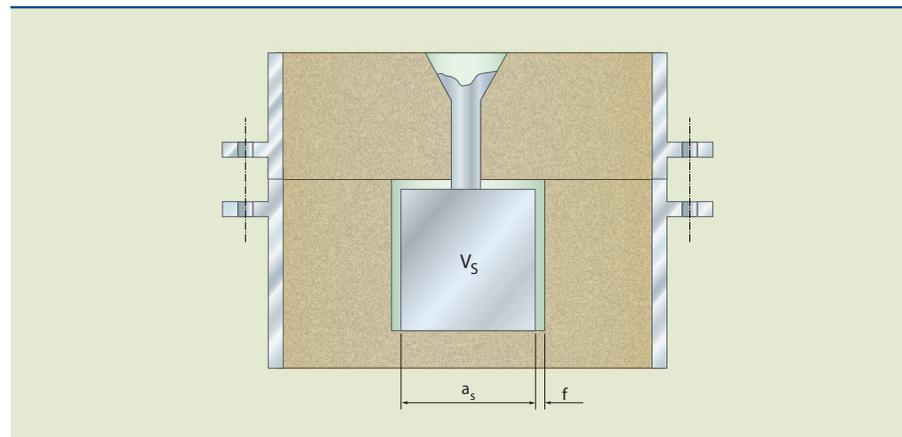
1.10.2 Contração linear

Durante o resfriamento da peça no molde, após sua solidificação, ocorre uma contração, isto é, a peça sólida adquire, em temperatura ambiente, dimensões inferiores às da cavidade do molde.

Na figura 1.31, nota-se uma folga f entre as paredes da cavidade e a superfície da peça fria.

Figura 1.31

Folga entre as paredes da cavidade e a superfície da peça fria.



Durante o resfriamento da peça, entre a temperatura de fim de solidificação e a temperatura ambiente, ocorre contração volumétrica. Na prática, no entanto, considera-se a contração linear, ou seja, a diferença entre as dimensões lineares da peça na temperatura ambiente e da peça imediatamente após a solidificação, isto é, as dimensões lineares da cavidade do molde.

Como as dimensões da cavidade do molde são as do modelo da peça, devem-se ter dimensões lineares do modelo diferentes daquelas da peça bruta de fundição. Portanto, na confecção do modelo, para compensar a contração do metal no estado sólido devem-se mudar as dimensões indicadas no desenho da peça.

A contração linear varia conforme:

- A natureza do metal;
- A forma da peça;
- A concentração de massa da peça.

A contração do ferro fundido comum é menor que a do aço. Em peças compridas e finas nota-se maior contração que em peças maciças. Numa mesma peça, a contração em partes finas é maior que em partes espessas.

Na prática, são adotados valores médios de contração expressos pelo coeficiente de contração linear.

Desejando-se obter uma peça fundida conforme o desenho da figura 1.32, com uma liga cujo coeficiente de contração linear seja 1%, as dimensões do modelo devem ser as da figura 1.33.

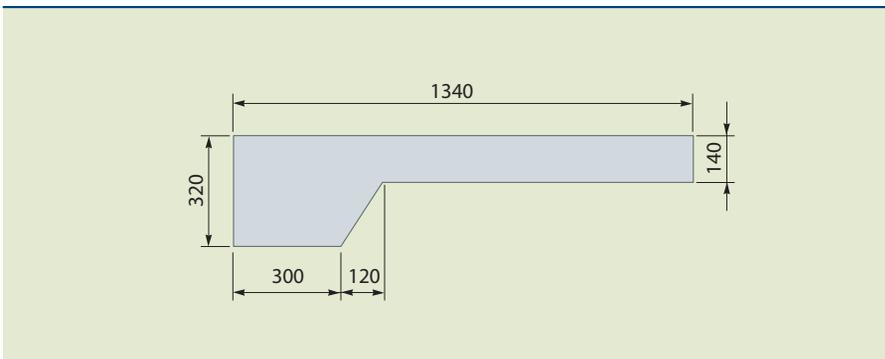


Figura 1.32

Modelo de peça fundida.

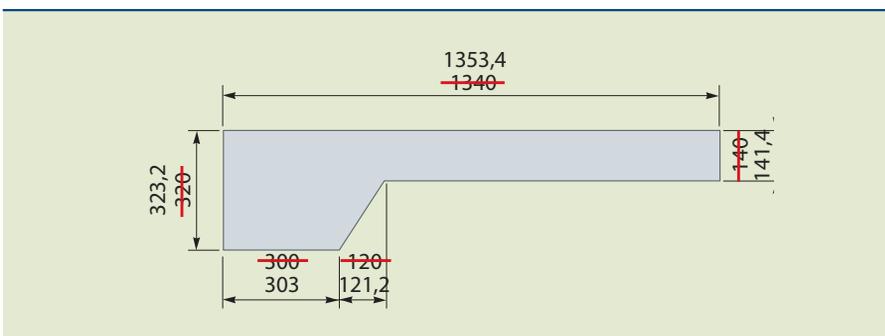


Figura 1.33

Modelo de peça fundida com coeficiente de contração linear de 1%.

1.10.3 Saída

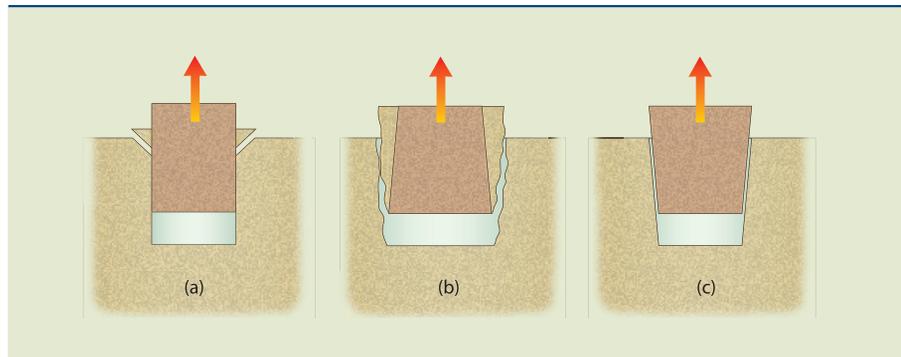
Para facilitar a extração do modelo e do macho, é necessário dar às suas paredes uma inclinação ou saída.

Saída de um modelo é, portanto, a inclinação que se dá às suas paredes e às paredes do molde.

Um modelo sem saída (figura 1.34a) ou um modelo com contrassaída (figura 1.34b) quebra a areia quando é retirado do molde. Um modelo com saída (figura 1.34c), por sua vez, não estraga as paredes do molde.

Figura 1.34

Modelos sem saída (a), com contrassaída (b) e com saída (c).

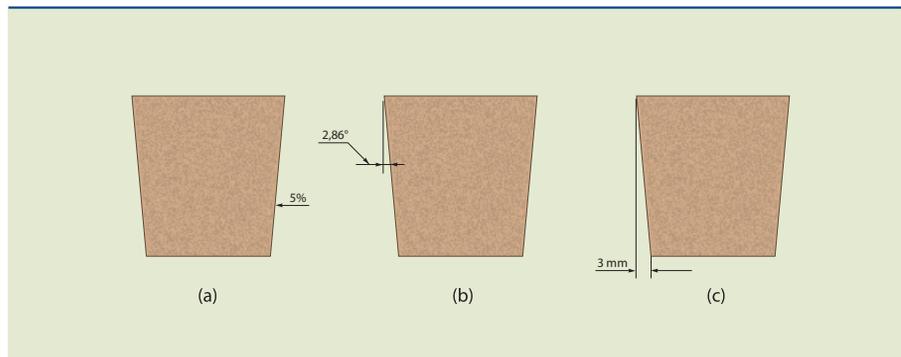


A saída pode ser expressa em:

- Porcentagem (figura 1.35a);
- Graus (figura 1.35b);
- Milímetros (figura 1.35c).

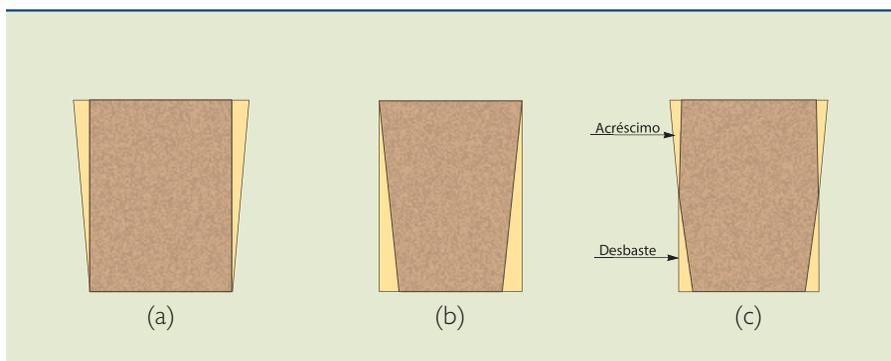
Figura 1.35

Saída expressa em porcentagem (a), graus (b) e milímetros (c).



Pode-se dar a saída por:

- Acréscimo (figura 1.36a);
- Desbaste (figura 1.36b);
- Compensação (figura 1.36c).

**Figura 1.36**

Saídas dadas por acréscimo (a), desbaste (b) e compensação (c).

Na saída por acréscimo, aumentam-se as cotas; na saída por desbaste, diminuem-se as cotas; e na saída por compensação, há uma parte por acréscimo e outra por desbaste.

Nos modelos, geralmente, usa-se saída por acréscimo; nas marcações, saída por desbaste; e em nervuras, saídas por compensação.

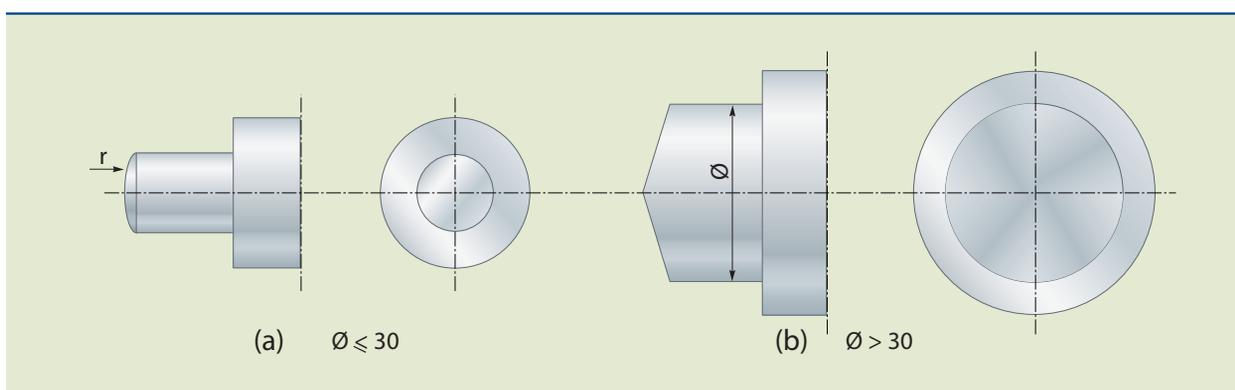
A saída deve ter uma conformação que altere o mínimo possível o peso e a forma da peça. A saída normal é de 2% ou 3%. As marcações na parte de baixo dos moldes têm saída de 10% e, na parte de cima dos moldes, de 20%.

Nos modelos de pequena altura a saída é de 5% e, nos modelos muito grandes, de 1%. Nas placas-modelos a saída é de 0,5%, isto é, quase nula.

Nas marcações cilíndricas de diâmetro inferior de 30 mm, para facilitar a fabricação dos modelos, aconselha-se a forma da figura 1.37a em vez da figura 1.37b.

Figura 1.37

Para facilitar a fabricação dos modelos, nas marcações cilíndricas de diâmetro inferior a 30 mm, a forma da esquerda (a) é mais aconselhável que a da direita (b).



1.10.4 Marcações

Marcações em modelos são partes salientes que, após a moldação, deixam sua impressão no molde, permitindo o posicionamento dos machos.

As marcações do modelo correspondem às marcações dos machos. Há também as marcações que servem para posicionar machos entre si.

As marcações contribuem para:

- o perfeito posicionamento dos machos;
- dar estabilidade aos machos;
- dar saída aos gases dos machos.

As dimensões e as formas das marcações dependem:

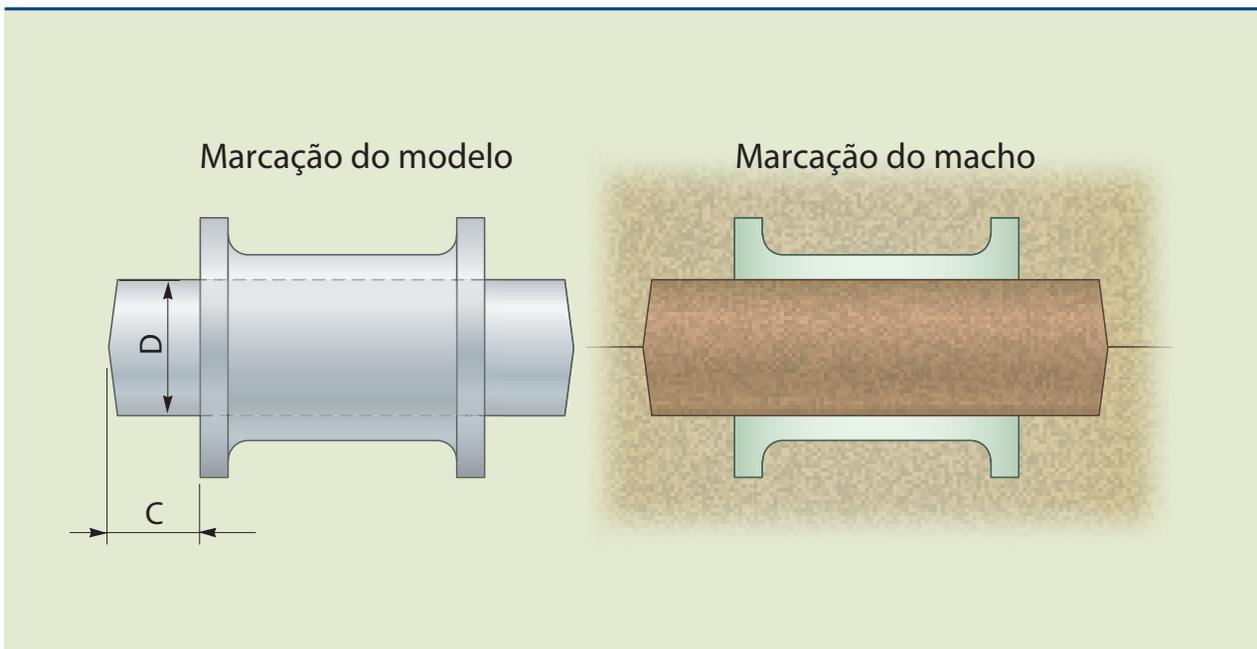
- da posição do macho do molde;
- do peso do macho;
- dos esforços que o macho sofre durante o vazamento do metal do molde;
- da série de peças que devem ser produzidas;
- da precisão dimensional da peça;
- da necessidade de facilitar a saída dos gases do macho.

Figura 1.38

Modelo com marcação horizontal e o molde fechado obtido a partir deste modelo.

As marcações simples são as marcações de um macho que dá a força interna de um furo passante horizontal ou vertical.

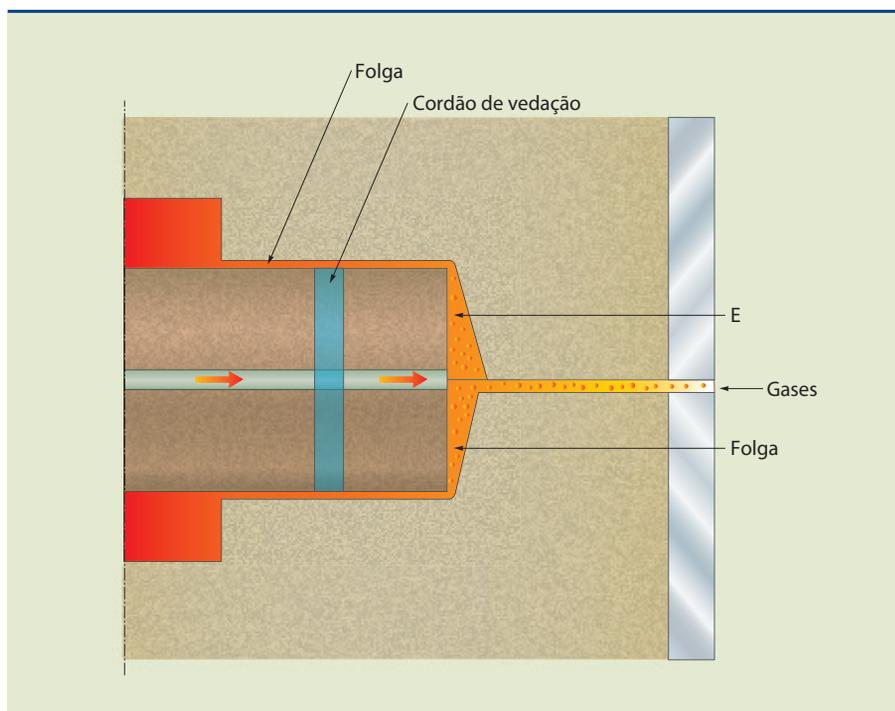
A figura 1.38 apresenta um modelo com marcação horizontal e o molde fechado obtido a partir deste modelo.



Geralmente, o comprimento das marcações é do mesmo valor que o diâmetro do macho, isto é, $C \sim D$ (figura 1.38).

Nas extremidades, as marcações são abauladas ou com saída.

Entre as paredes do molde e a marcação do macho deve haver um folga para evitar a quebra do macho ou do molde durante seu fechamento (figura 1.39).

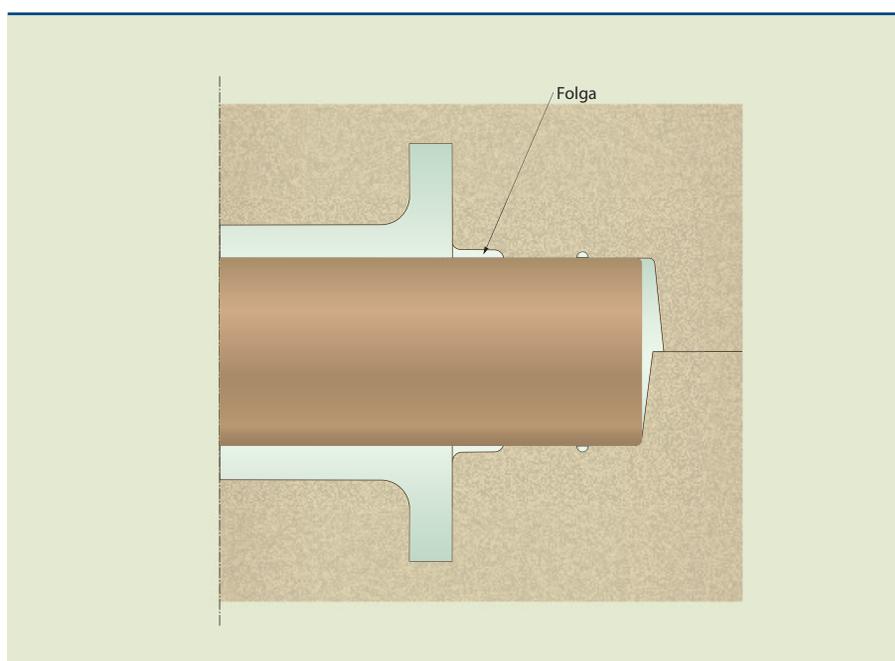
**Figura 1.39**

Folga entre as paredes do molde e a marcação do macho.

Os gases do macho passam pelo respiro, chegam ao espaço E e saem pelo respiro feito na superfície de separação.

O cordão de vedação evita que o metal líquido penetre no espaço E e impeça a saída dos gases.

Para evitar que a areia se quebre nos ângulos, deixa-se uma folga maior (F) entre as paredes do molde e o macho (figura 1.40).

**Figura 1.40**

Uma folga maior entre as paredes do molde e o macho evita que a areia se quebre nos ângulos.

Esta folga F é obtida por meio da colagem, na marcação do modelo, de uma cinta de material plástico, como mostram as figuras 1.41 e 1.42.

Figura 1.41

Colagem de uma cinta plástica na marcação do modelo.

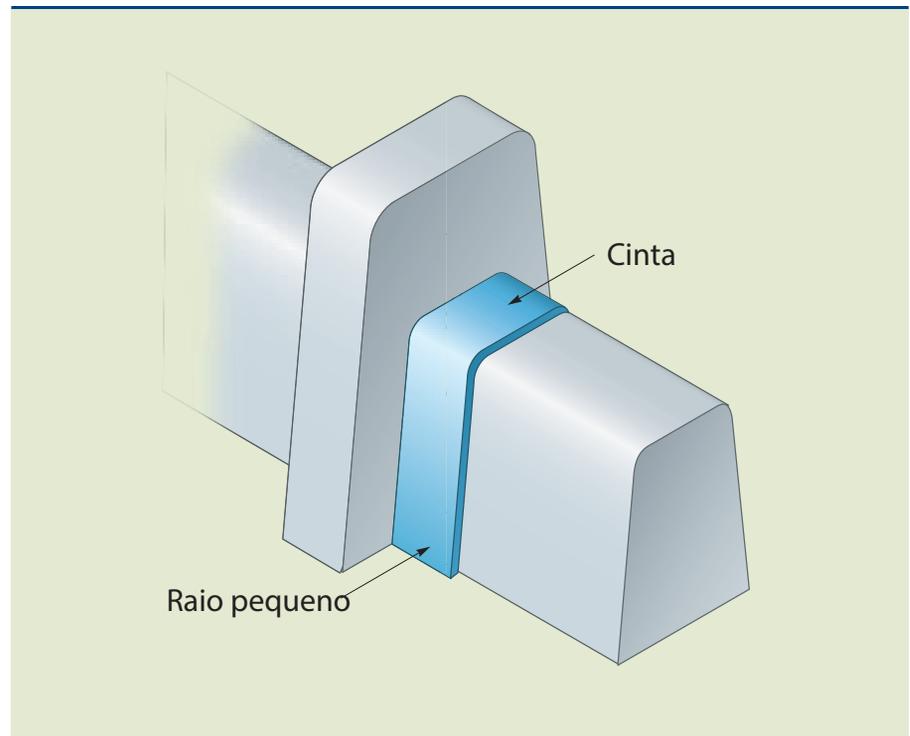
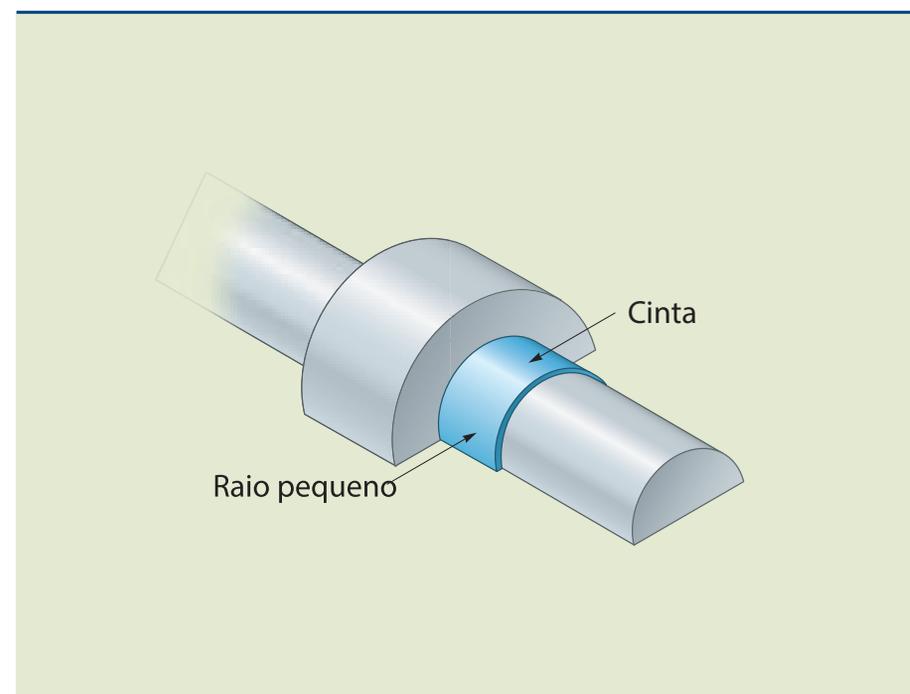
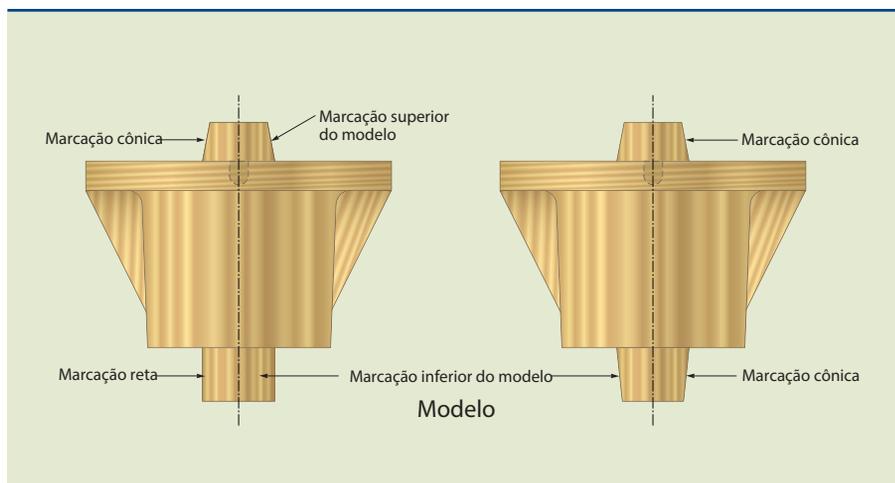


Figura 1.42

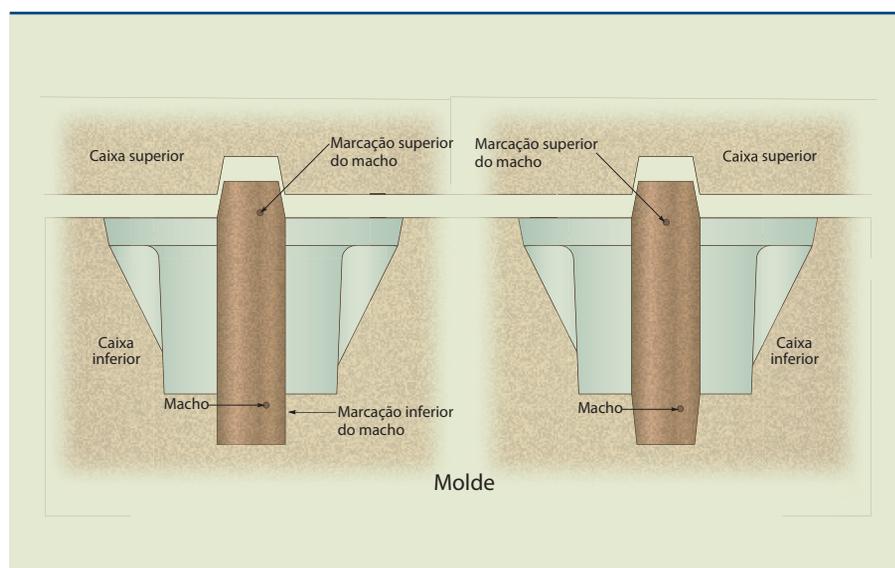
Colada, a cinta plástica gera a folga F .



A marcação na caixa superior é cônica e na caixa inferior é reta ou cônica (figuras 1.43 e 1.44).

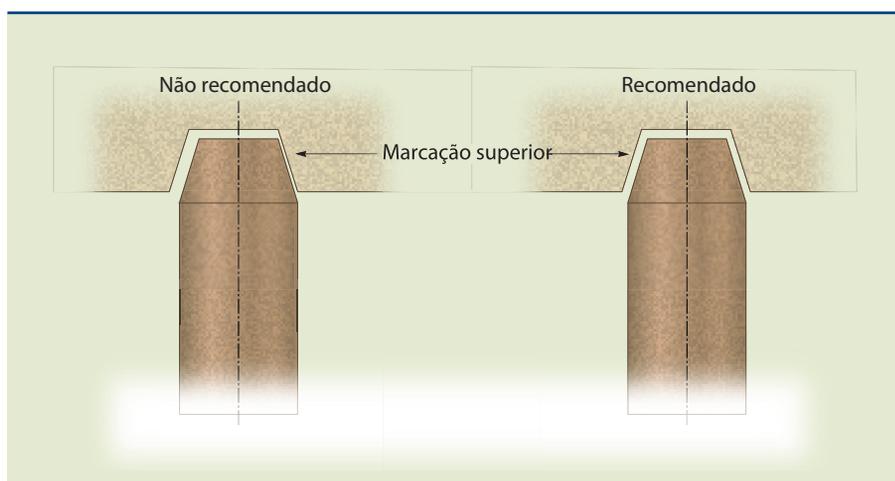
**Figura I.43**

Marcações na caixa superior e inferior do modelo.

**Figura I.44**

Marcações na caixa superior e inferior do molde.

Na caixa superior, recomenda-se que a parte cilíndrica do macho entre parcialmente na marcação (figura 1.45) a fim de obter um melhor posicionamento do macho.

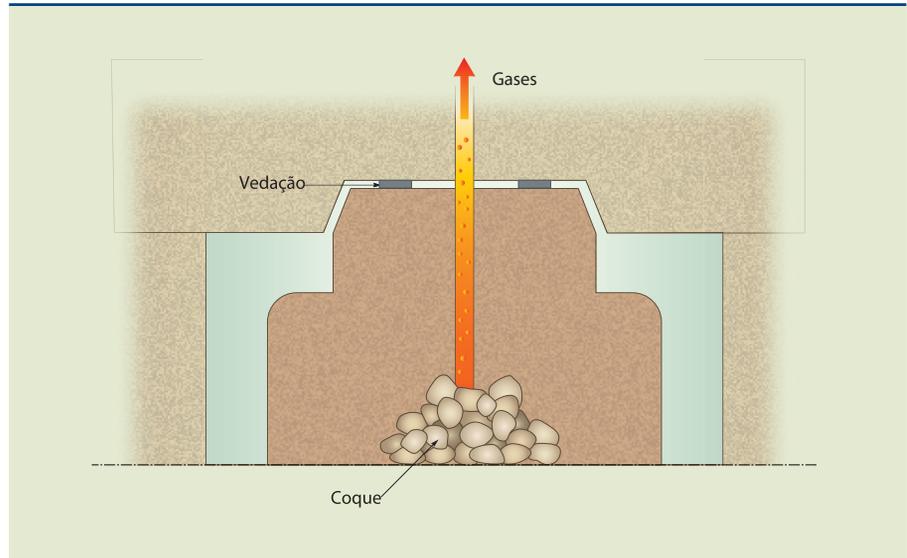
**Figura I.45**

Recomenda-se que a parte cilíndrica do macho entre parcialmente na marcação.

A figura 1.46 mostra como permitir a saída de gases do macho pela marcação superior.

Figura 1.46

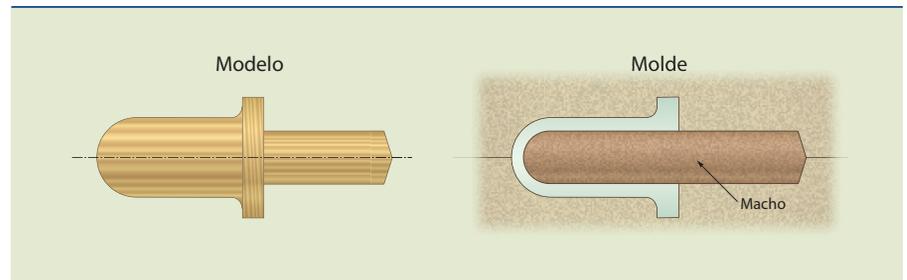
Saída dos gases do macho pela marcação superior.



As marcações dos machos em balanço são necessárias quando o macho horizontal não tem apoio em uma das extremidades (figura 1.47).

Figura 1.47

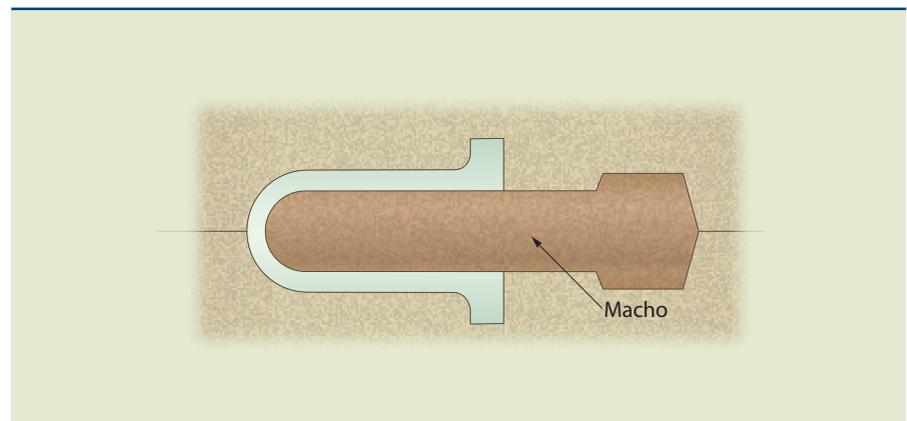
Marcação do macho em balanço.



Para assegurar o equilíbrio do macho e evitar uma marcação muito comprida, pode-se utilizar a forma indicada na figura 1.48.

Figura 1.48

Forma indicada para garantir o equilíbrio do macho e evitar uma marcação muito longa.



I.10.5 Cores para modelos e caixas de macho

Para que se possam distinguir as superfícies a serem usinadas, as marcações, as partes descartáveis e a liga da peça correspondente ao modelo, pintam-se modelos e caixas de macho segundo a normalização técnica vigente.

A tabela a seguir indica as cores normalizadas em fundição:

Tabela I.1

Denominação	Peças fundidas em				
	Ferro	Aço	Ligas cuprosas	Ligas leves	Outras ligas
Superfícies externas de modelos e caixas de macho	Vermelho	Azul	Laranja	Alumínio ou cinza claro	Verniz incolor
Superfície correspondendo às sobre-espessuras de usinagem	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo	Amarelo
Nervuras e reforços eliminados após a fundição da peça	Vermelho hachurado de preto	Azul hachurado de preto	Laranja hachurado de preto	Alumínio ou cinza claro hachurado de preto	Verniz incolor hachurado de preto
Marcação de modelos, caixas de macho e partes internas de caixa de macho	Preto	Preto	Preto	Preto	Preto
Faces e sedes de suplementos destacáveis	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Reforço de modelo a ser preenchido na modelação	Madeira natural sem tinta				

I.10.6 Conclusão

O modelo de uma peça (figura 1.49) difere da peça usinada (figura 1.50) pronta para utilização por causa:

- do sobremetal de usinagem;
- da contração linear;
- da saída;
- das marcações.

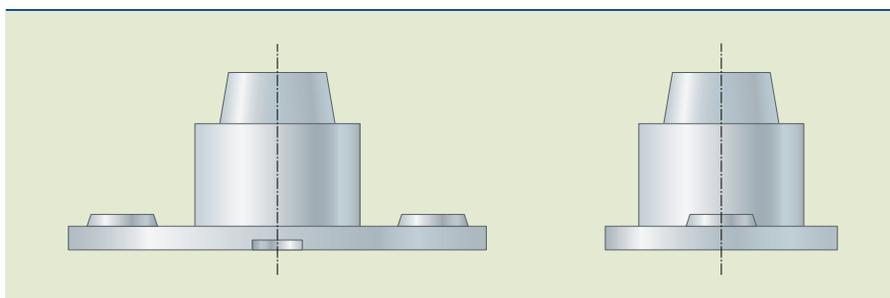
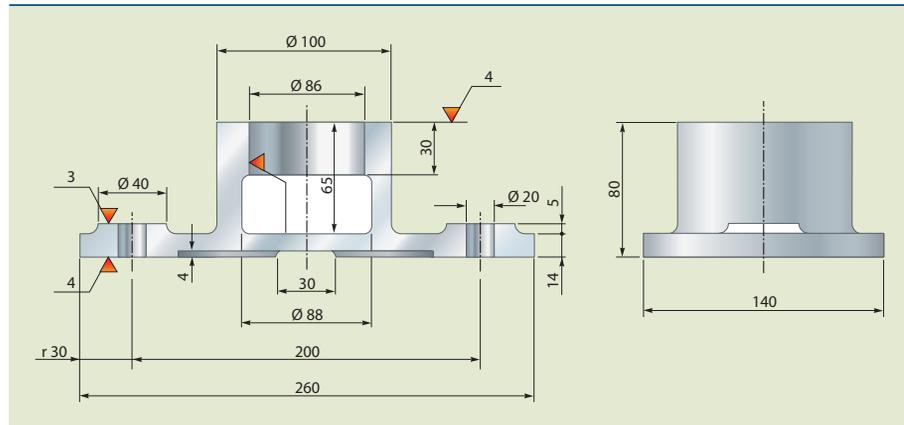


Figura 1.49

Modelo de uma peça.

Figura 1.50

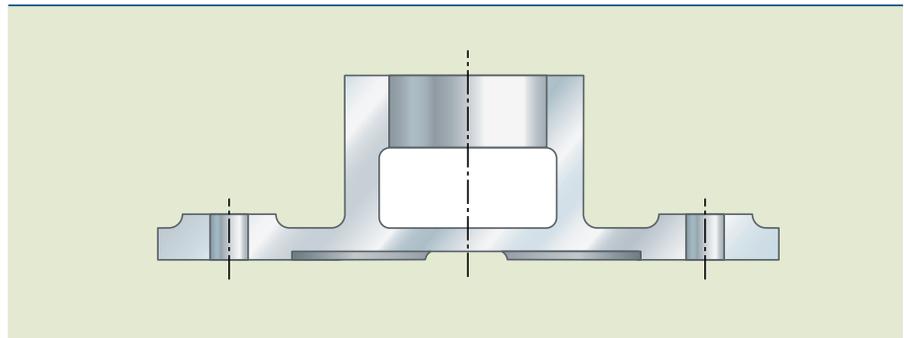
Peça usinada, pronta para usar.



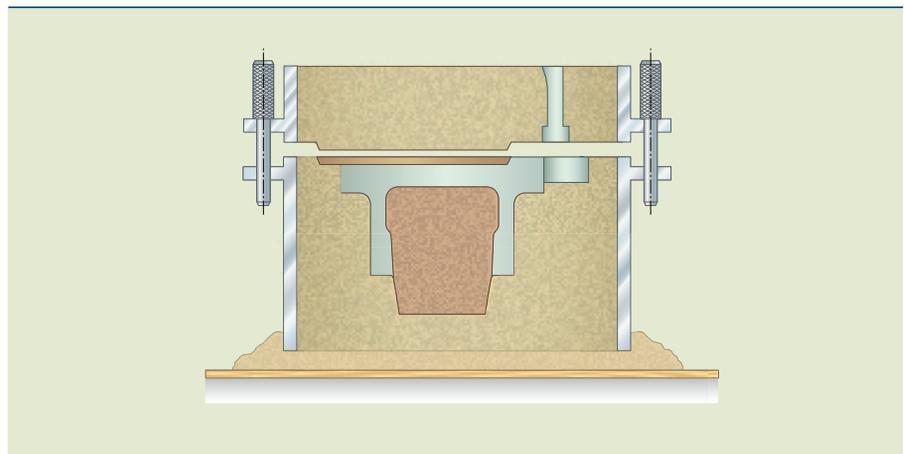
Por outro lado, a peça bruta de fundição (figura 1.51) difere do modelo porque nela já ocorreu a contração e as marcações não existem, pois o macho usado no molde (figura 1.52), destruído na desmoldagem, possibilitou a obtenção da forma interna da peça.

Figura 1.51

Peça bruta de fundição.

**Figura 1.52**

Modelo da peça da figura 1.50.



A cavidade da caixa de macho (figura 1.53) e, conseqüentemente, o macho (figura 1.54) têm dimensões diferentes daquelas da forma interna da peça usinada, pois a construção da caixa de macho considera também o sobremetal de usinagem, a contração linear, a saída e as marcações.

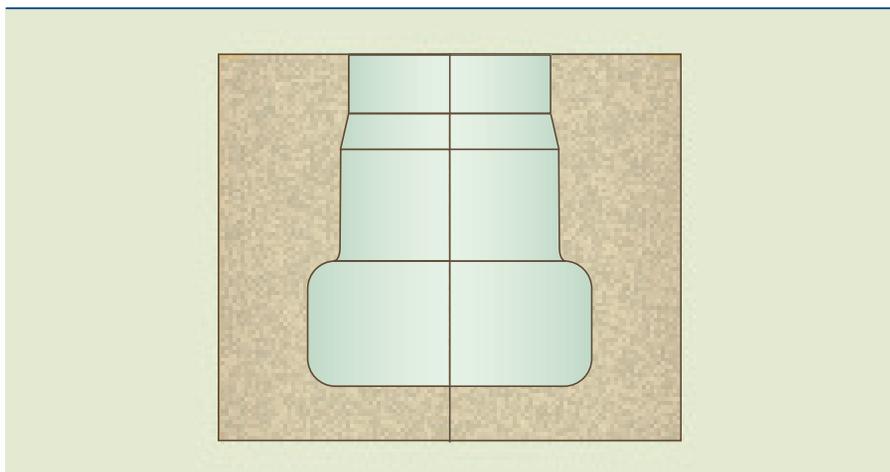


Figura 1.53
Cavidade da caixa de macho.

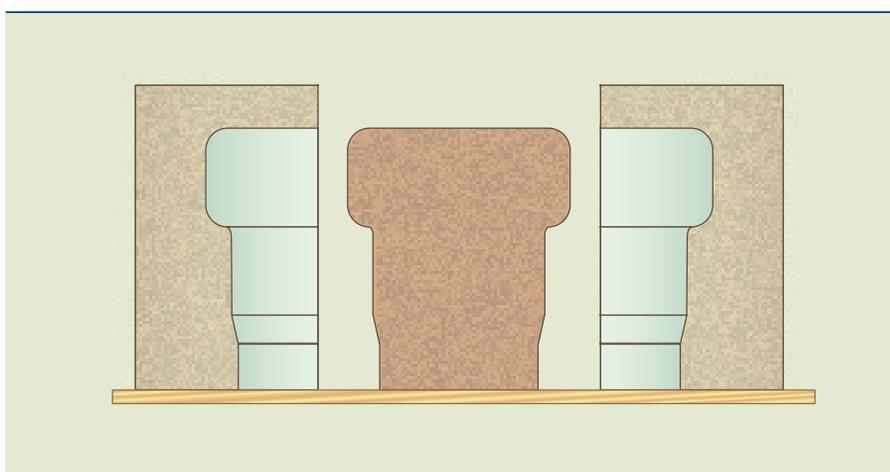


Figura 1.54
Macho e a respectiva cavidade, já aberta.

Os modelos e as caixas de macho utilizados em moldação manual são, geralmente, construídos em madeira, mas outros materiais – como resina sintética, gesso, isopor e metal – também podem ser empregados para o mesmo fim.

1.11 Canais e massalotes

Para a confecção de um molde é preciso que se tenha o modelo correspondente à peça a ser obtida, as caixas de macho necessárias e os elementos de modelo dos chamados canais de enchimento e massalotes.

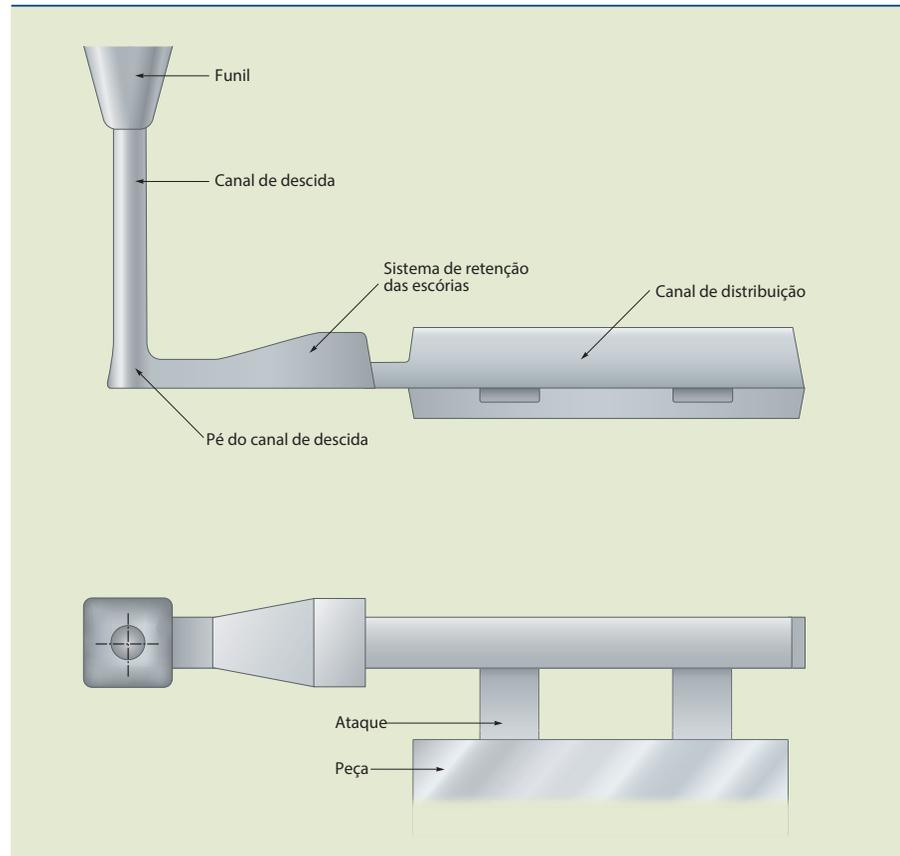
1.11.1 Canal de enchimento

O sistema de canais de enchimento é formado pelos condutos por onde passa o metal líquido que vai preencher a cavidade do molde.

Este sistema de canais deve ser dimensionado de tal forma que o metal líquido limpo preencha a cavidade do molde a uma dada temperatura e durante determinado intervalo de tempo a fim de conseguir peças sãs.

A figura 1.55 apresenta um sistema de canais de enchimento em que se indicam os diferentes elementos que o compõem.

Figura 1.55
Sistema de canais de enchimento e seus componentes.



O metal líquido vazado no funil, que se situa na superfície do molde, desce até o nível do canal de distribuição. Dali, o metal passa, através dos ataques, à cavidade correspondente à peça.

Utiliza-se a câmara ou sistema de retenção de escórias para assegurar o enchimento da cavidade com um metal limpo.

1.11.2 Massalotes

O metal líquido é vazado na cavidade do molde a uma temperatura superior àquela de início de solidificação, isto é, vaza-se o molde com metal sobreaquecido.

A diferença entre a temperatura de vazamento e a de início de solidificação corresponde ao valor do grau de sobreaquecimento do metal líquido no instante do vazamento.

Após o enchimento do molde ocorre resfriamento do metal em três etapas:

- Resfriamento da liga no estado líquido;
- Resfriamento da liga durante a sua solidificação;
- Resfriamento da liga no estado sólido até a temperatura ambiente.

Sendo que cada uma destas etapas é, geralmente, acompanhada por uma contração do metal.

Imediatamente após o vazamento de um molde, tem-se a cavidade completamente preenchida por metal líquido (figura 1.56), que inicia seu resfriamento com uma consequente contração.

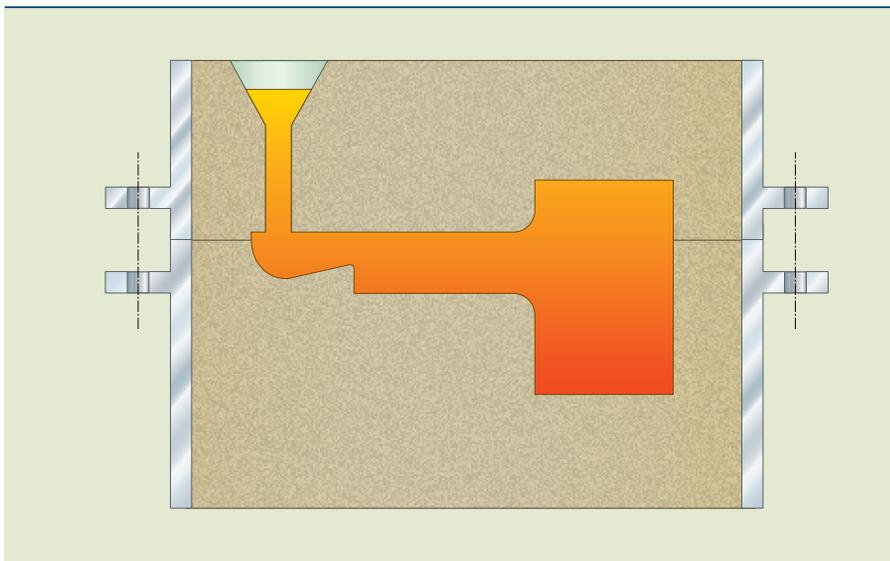


Figura 1.56

Cavidade totalmente preenchida por metal líquido.

As partes mais finas solidificam-se antes das mais espessas. Numa mesma seção, a solidificação progride da periferia para o centro da peça e certa quantidade de liga líquida fica envolvida por metal já solidificado (figura 1.57).

Devido à contração desse líquido restante, ao terminar a solidificação da peça, nota-se uma cavidade em seu interior, isto é, há um rechupe (figura 1.58).

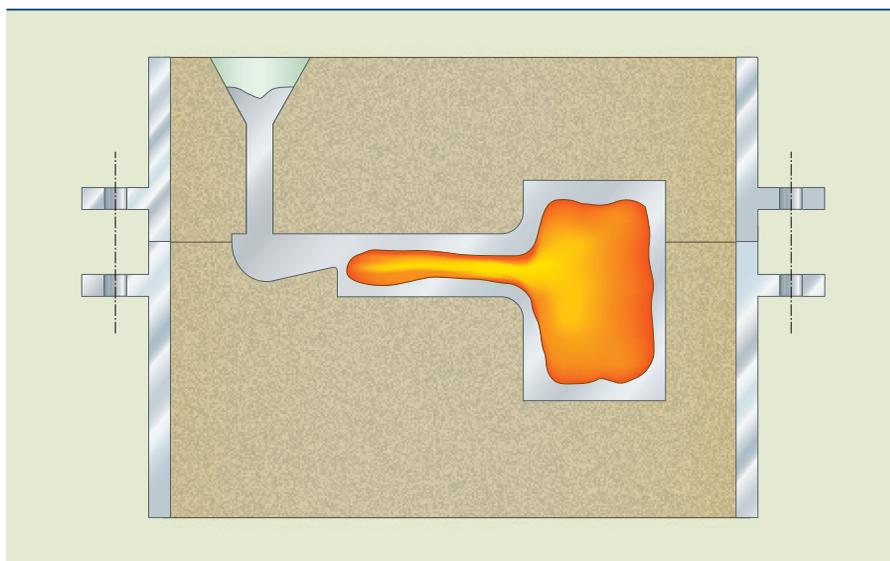
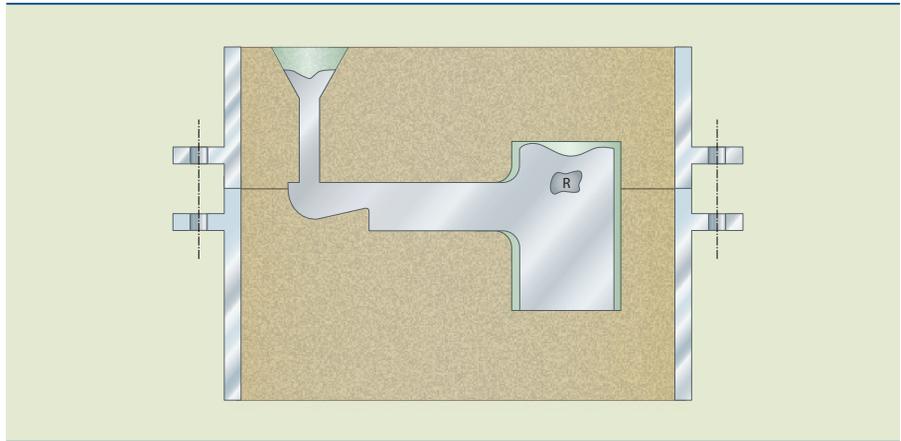


Figura 1.57

Numa mesma seção, a solidificação progride da periferia para o centro da peça.

Figura 1.58

Devido à contração do líquido, forma-se um rechupe no interior da peça.



Com o resfriamento até a temperatura ambiente, ocorre contração da peça em estado sólido. Em decorrência disso, surge uma folga entre as paredes da cavidade do molde e a superfície da peça (figura 1.58).

Portanto, devido à contração obtém-se uma peça com rechupes, superfície irregular e dimensões incorretas, isto é, uma peça defeituosa. Para conseguir uma peça sã, é necessário compensar a contração.

Para compensar a contração que ocorre durante o resfriamento no estado sólido, considera-se, na construção do modelo e coeficiente de contração linear.

Para compensar a contração que se processa durante o resfriamento no estado líquido e ao longo da solidificação, é necessária uma reserva de metal líquido, adjacente à peça, chamada massalote.

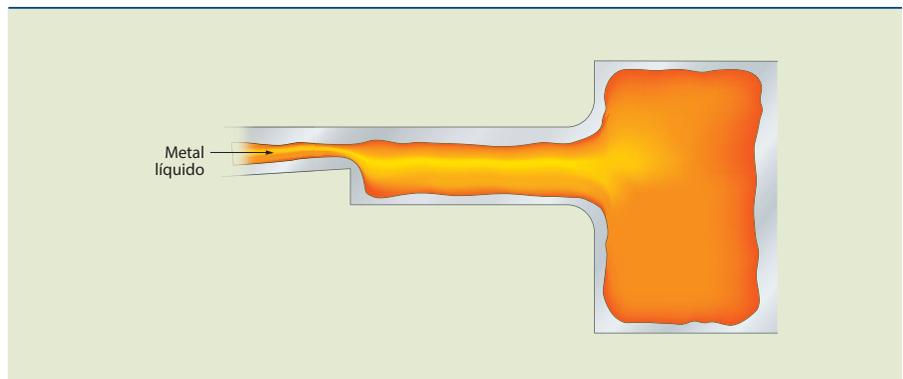
1.11.2.1 Mecanismo de formação de um rechupe

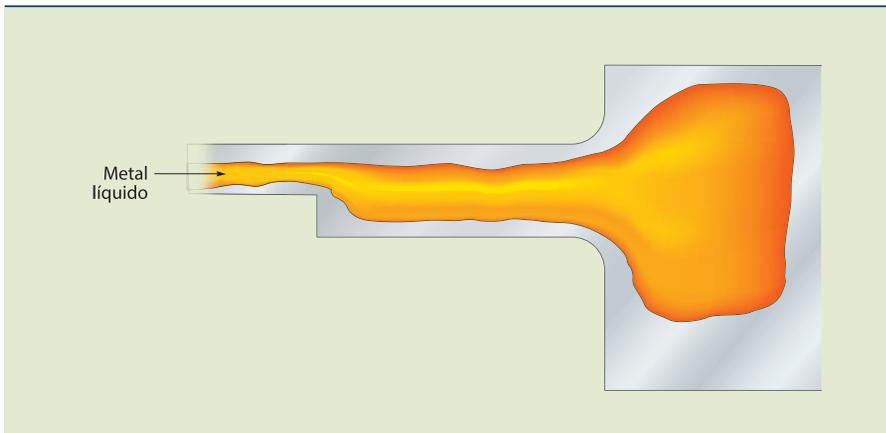
Após o enchimento do molde, inicia-se a solidificação do metal com a formação de uma casca de metal sólido (figura 1.59) cuja espessura aumenta progressivamente (figura 1.60).

O metal líquido resfria-se e tem sua contração compensada por metal proveniente do sistema de canais.

Figura 1.59

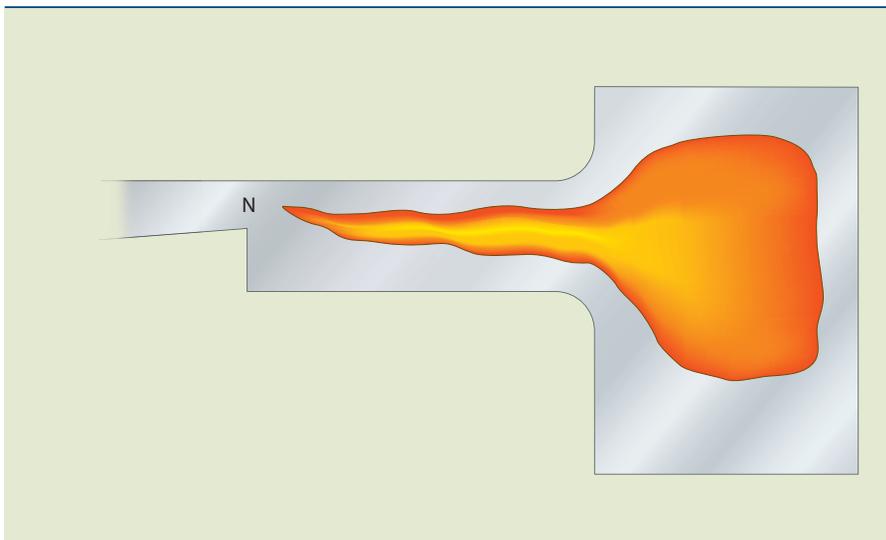
Após o enchimento do molde, forma-se uma casca de metal sólido.



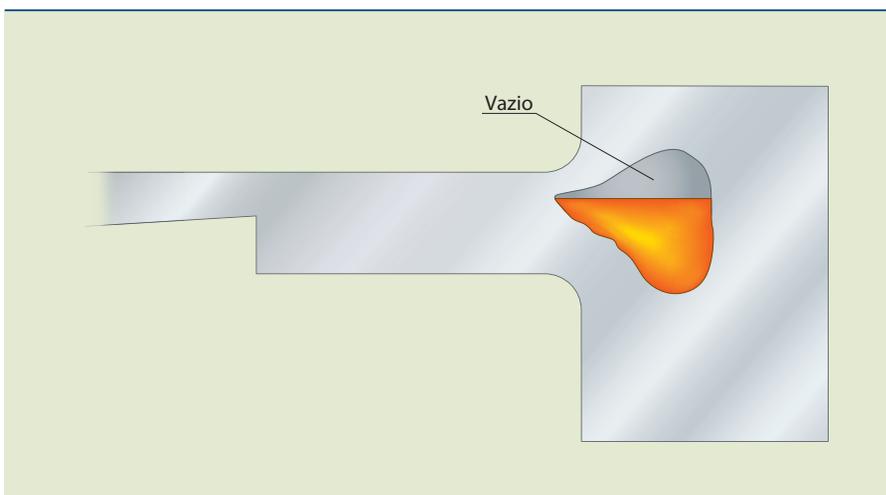
**Figura 1.60**

A espessura da casca de metal sólido aumenta progressivamente.

A partir de determinado instante, ocorre a solidificação do ataque “N”, isolando no interior da peça certa quantidade de metal líquido (figura 1.61) que se solidifica e se contrai (figura 1.62).

**Figura 1.61**

A solidificação do ataque “N” isola metal líquido no interior da peça.

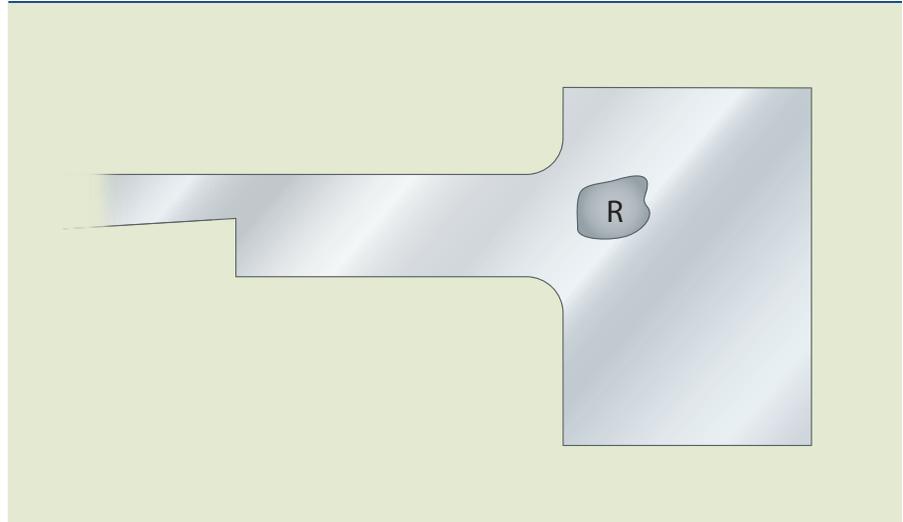
**Figura 1.62**

O metal líquido isolado no interior da peça se solidifica e se contrai.

Quando a solidificação termina, constata-se a existência de rechupe (figura 1.63), pois a contração, ocorrida até então, não foi compensada pela chegada de mais metal líquido, isto é, a peça não foi alimentada.

Figura 1.63

Como a peça não foi alimentada, constata-se a formação de rechupe.



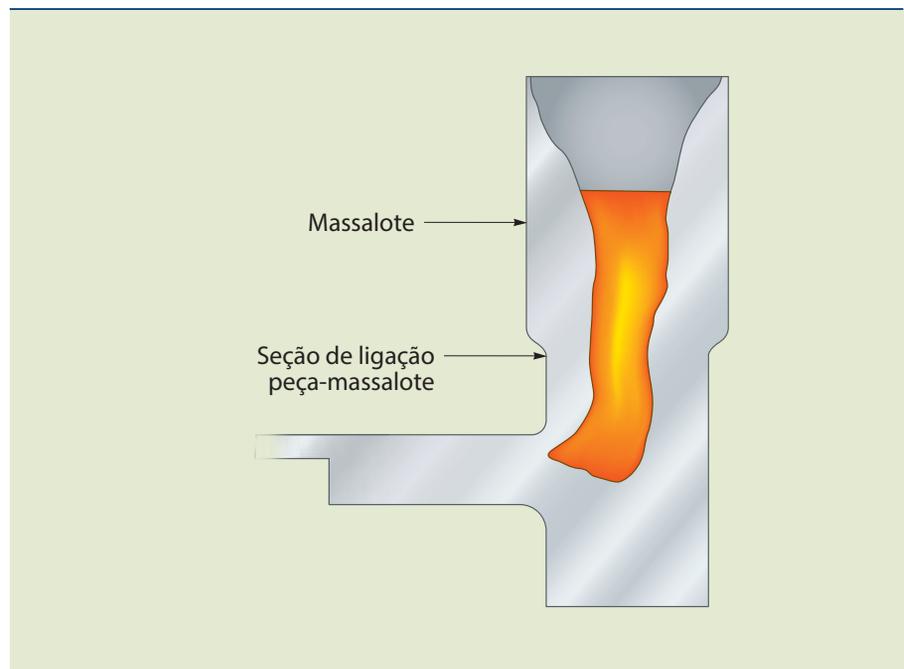
1.11.2.2 Objetivo do uso de um massalote

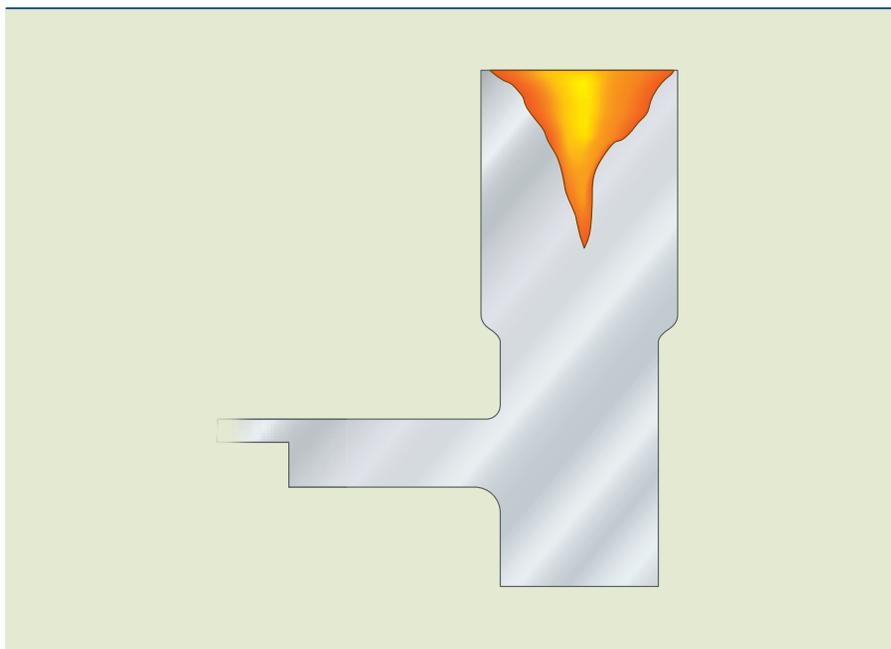
O massalote é uma reserva de metal líquido, adjacente à peça, cujo objetivo é compensar a contração no estado líquido e durante a solidificação, alimentando a peça a fim de evitar a formação de rechupes.

Um massalote adjacente à parte da peça que se solidifica por último, ou seja, ao ponto quente da peça, deve deslocar este ponto quente (figura 1.64) de maneira que o rechupe seja formado no massalote (figura 1.65), e não na peça.

Figura 1.64

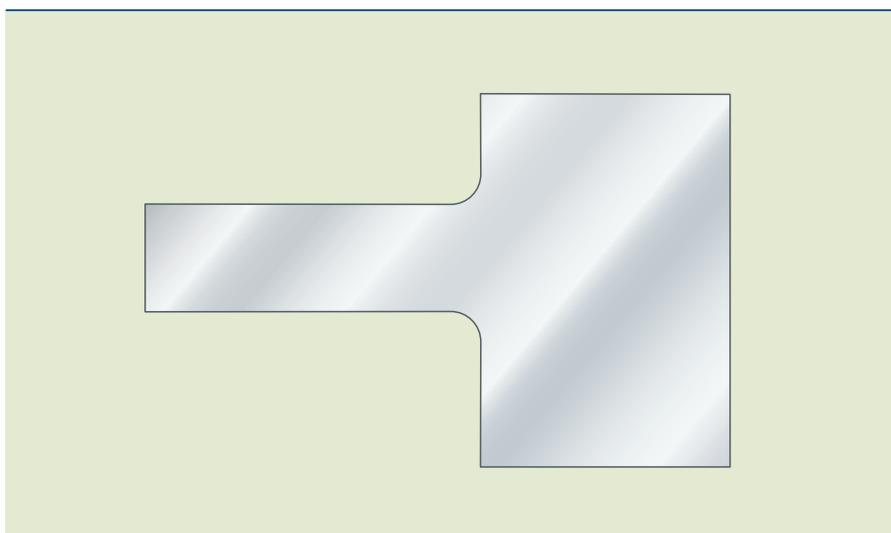
Massalote adjacente ao ponto quente da peça.



**Figura 1.65**

O rechepe deve se formar no massalote, e não na peça.

Nas operações de acabamento, separam-se da peça o sistema de massalote e o sistema de canais e obtém-se a peça sã, bruta de fundição (figura 1.66).

**Figura 1.66**

Peça sã, bruta de fundição.

Para alimentar uma peça de maneira satisfatória e econômica, o sistema de alimentação – formado pelos massalotes – deve atender às seguintes exigências:

- Localizar-se junto às partes da peça que se solidificam por último;
- Solidificar-se depois das partes da peça que ele deve alimentar;
- Conter quantidade de metal líquido suficiente para compensar a contração das partes da peça a serem alimentadas;
- Atuar na pressão máxima durante todo o período de solidificação da peça;
- Ter o menor volume possível a fim de reduzir o custo.

1.11.2.3 Formas de massalotes

Os massalotes podem ser classificados em:

- Massalotes direitos e massalotes laterais;
- Massalotes abertos e massalotes cegos;
- Massalotes lineares e massalotes aneliformes.

Classifica-se como massalote direito aquele que apresenta seção de ligação numa superfície superior da peça, e como massalote lateral aquele cuja seção de ligação situa-se numa superfície lateral da peça.

Massalote aberto é aquele cuja cavidade comunica-se com a atmosfera, e massalote cego é aquele cuja cavidade não atinge a atmosfera da caixa superior.

As figuras 1.67, 1.68, 1.69 e 1.70 mostram, respectivamente, as formas de um massalote direito aberto, um direito cego, um lateral aberto e um lateral cego.

Figura 1.67

Massalote direito aberto.

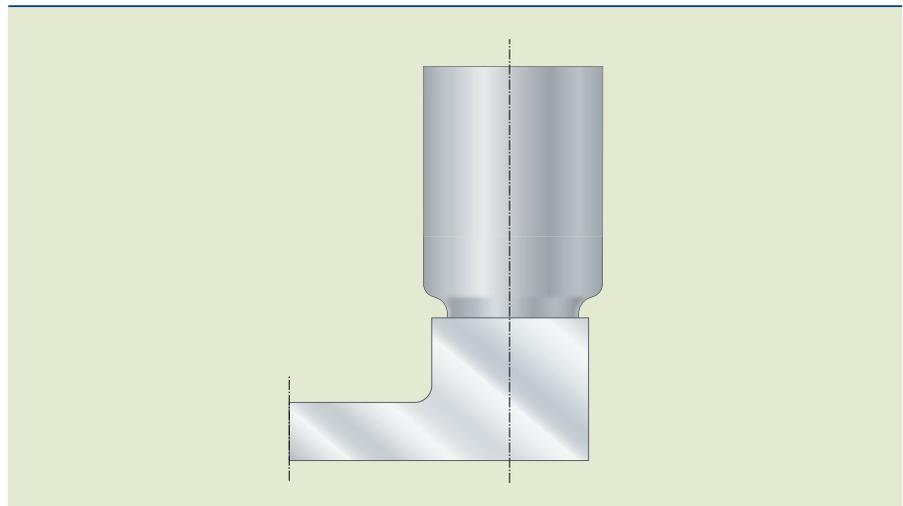
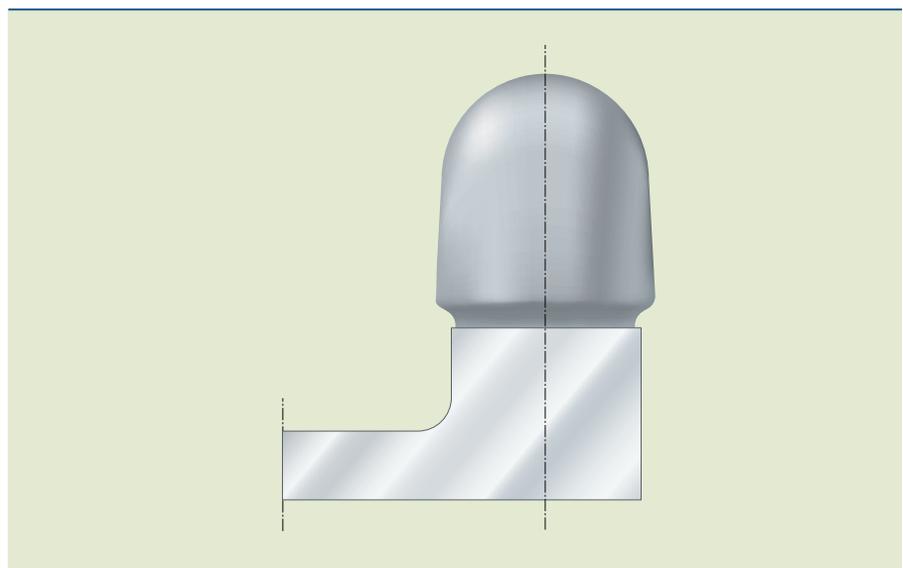


Figura 1.68

Massalote direito cego.



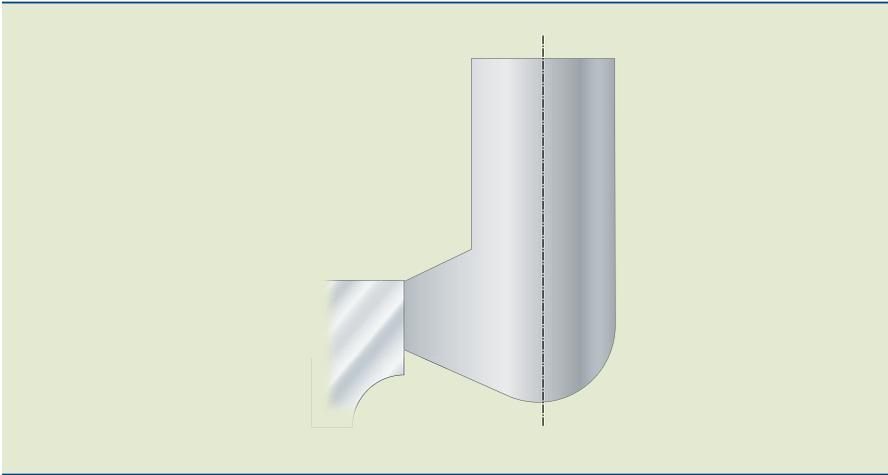


Figura I.69
Massalote lateral aberto.

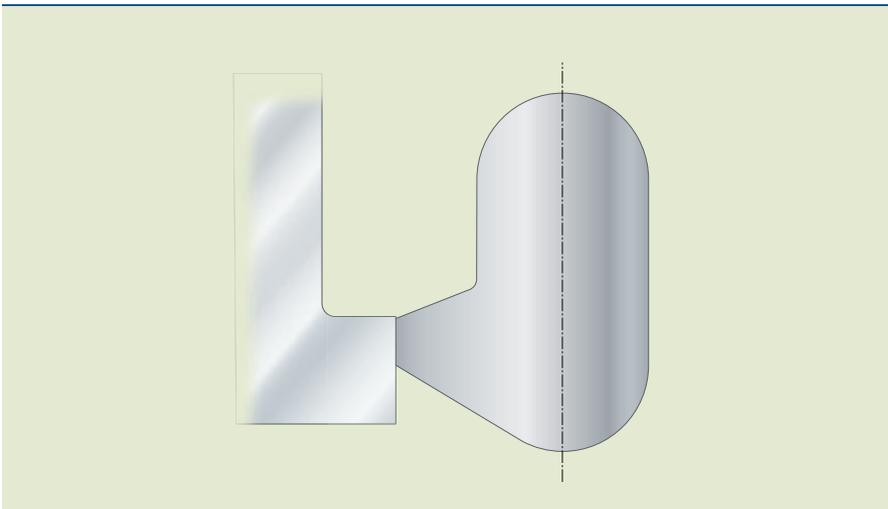


Figura I.70
Massalote lateral cego.

O massalote linear (figura 1.71) apresenta uma seção de ligação que se estende ao longo de uma face da peça. Já o massalote aneliforme (figura 1.72) tem a forma de um anel e sua seção de ligação acompanha a forma da peça.

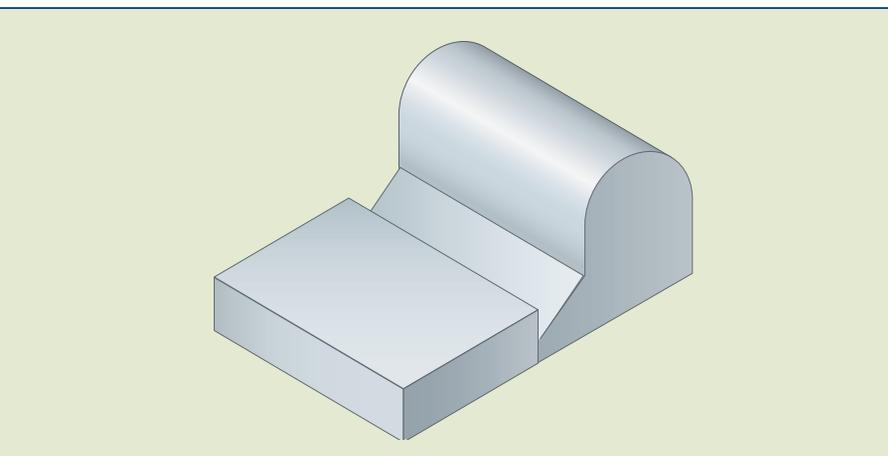
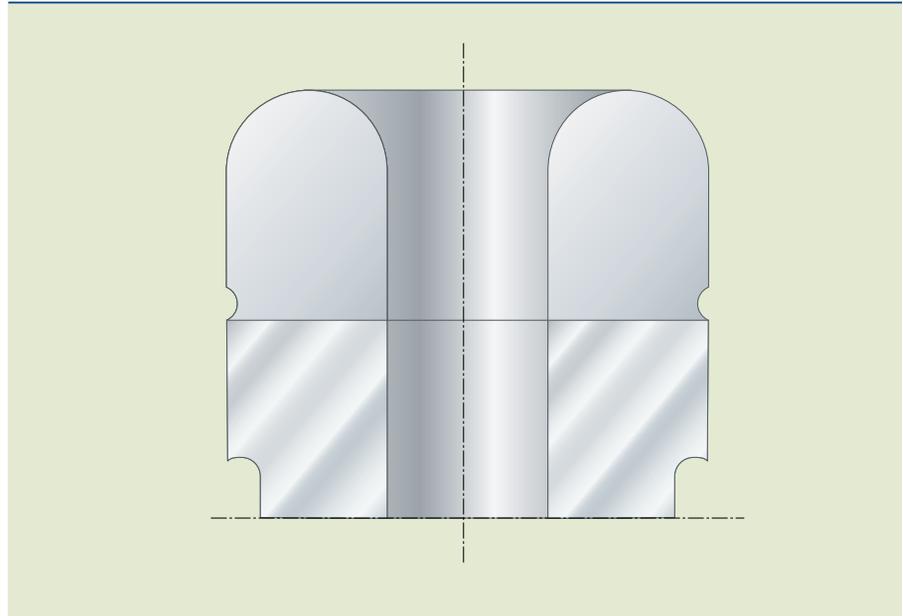


Figura I.71
Massalote linear.

Figura 1.72
Massalote aneliforme.



1.12 Areias de moldação

Os materiais utilizados na fabricação de moldes em fundição são, principalmente, areia e metal. Os moldes metálicos são empregados, sobretudo, em fundição sob pressão e em fundição em coquilha.

A grande maioria da tonelagem de fundidos é obtida em moldes confeccionados à base de areia, em moldação manual e mecanizada.

A areia de moldação é constituída, essencialmente, por grãos refratários de areia-base e pelo aglomerante destes grãos.

Há variedade tanto de areia-base como de aglomerantes.

1.12.1 Areia sílico-argilosa sintética

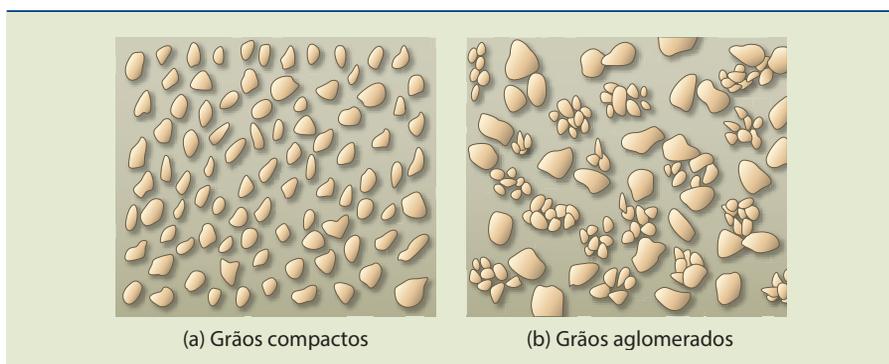
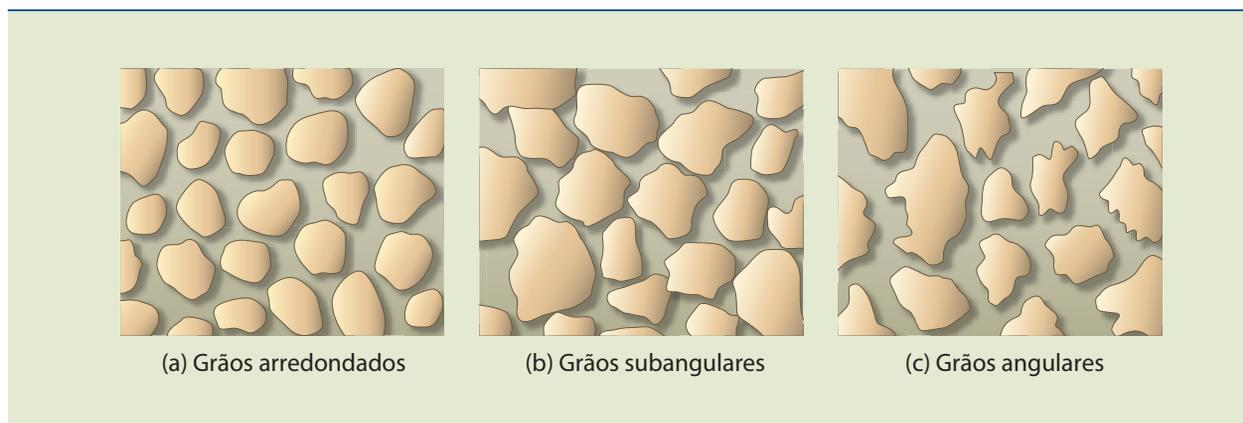
Entre as areias de moldação, a mais comumente utilizada é areia sílico-argilosa sintética, ou areia verde, cuja areia-base é a sílica e cujo aglomerante é uma mistura de argila e água.

1.12.1.1 Areia-base

A sílica de densidade relativa igual a 2,65 funde-se a 1725°C.

Os grãos de sílica caracterizam-se por sua forma, estrutura e dimensão peculiares. Quanto à forma, os grãos de sílica podem ser arredondados, subangulares ou angulares (figura 1.73) e, quanto à estrutura, podem ser compactos ou aglomerados (figura 1.74).

A determinação da forma e estrutura dos grãos é feita pela análise dos mesmos em microscópio estereoscópico.

**Figura I.73**

Grãos de sílica arredondados (a), subangulares (b) e angulares (c).

Figura I.74

Grãos de sílica compactos (a) e aglomerados (b).

Quanto às dimensões, os grãos são classificados pelo tamanho médio dos grãos de uma amostra utilizada no ensaio de granulometria. O tamanho médio dos grãos é traduzido pelo índice ou módulo de finura da areia-base calculado segundo o método de ensaio. Quanto maior o módulo de finura, mais fina é a areia, isto é, menor é o tamanho médio dos grãos. Desta forma, uma areia de módulo 90 AFS é mais fina que uma areia de módulo 60 AFS.

1.12.1.2 Argila

Argila é um material constituído por silicatos de alumínio hidratados.

A argila tem a propriedade de absorver água adquirindo plasticidade e coesão. Existem diferentes tipos de argila. Em fundição, utilizam-se geralmente as bentonitas, sob a forma de partículas de dimensões inferiores a 0,02 mm, ou seja, 20 μ .

Adicionando-se água a uma mistura de grãos de sílica e argila, esta absorve a água e por ação mecânica envolve os grãos de sílica ligando-os entre si, isto é, aglomerando-se. Uma areia assim preparada pode ser trabalhada, ou seja, utilizada na moldação.

Uma areia nova preparada para moldação pode ter a seguinte composição:

- 100 partes de sílica;
- 10 partes de argila;
- 3 partes de água.

1.12.1.3 Produtos de adição

Além da areia-base, da argila e da água, costumam-se adicionar à areia de moldação outros produtos a fim de melhorar alguma propriedade da mesma.

Existem diferentes aditivos para areia de moldação. Todos eles apresentam efeitos colaterais, positivos ou não. Por isso, recomenda-se prudência em sua utilização.

Como efeitos positivos de produtos de adição, podem-se citar:

- Redução de reações entre molde e metal;
- Melhoria de acabamento superficial;
- Melhoria de resistência a temperaturas elevadas;
- Maior facilidade de desagregação da areia na desmoldagem.

1.12.1.4 Recuperação e regeneração

Tendo sido usada na confecção de um molde, uma areia sílico-argilosa é recuperada e regenerada para utilização posterior.

Geralmente, após a desmoldagem, a areia:

- Encontra-se quente e seca;
- Apresenta torrões;
- Contém pedaços metálicos.

A recuperação desta areia consiste em eliminar os pedaços metálicos, quebrar os torrões, resfriá-la (se necessário), peneirá-la e estocá-la.

Devido ao aquecimento da areia com o vazamento do molde, parte da argila é queimada, perde a capacidade de absorver água e, conseqüentemente, seu poder aglomerante.

A regeneração da areia recuperada consiste em prepará-la a fim de conferir-lhe, novamente, as propriedades necessárias a uma areia de moldação. Isto é atingido ao acrescentar à areia recuperada uma quantidade de argila correspondente à queimada, além de água.

Esses constituintes são misturados de maneira homogênea e, em seguida, a areia é distribuída na área de moldação. Se for o caso, são introduzidos na regeneração os produtos de adição.

1.12.1.5 Propriedades

Como propriedades requeridas de uma areia de moldação e, principalmente, de uma areia sílico-argilosa podem-se citar:

- Moldabilidade;
- Resistência mecânica;
- Permeabilidade.

A moldabilidade é a propriedade que traduz a facilidade da areia em reproduzir todas as formas do modelo. A figura 1.75 ilustra o enchimento de uma cavidade com três amostras de areia não socada. Observa-se que a areia da amostra (a) possui melhor moldabilidade que a areia das duas outras amostras.

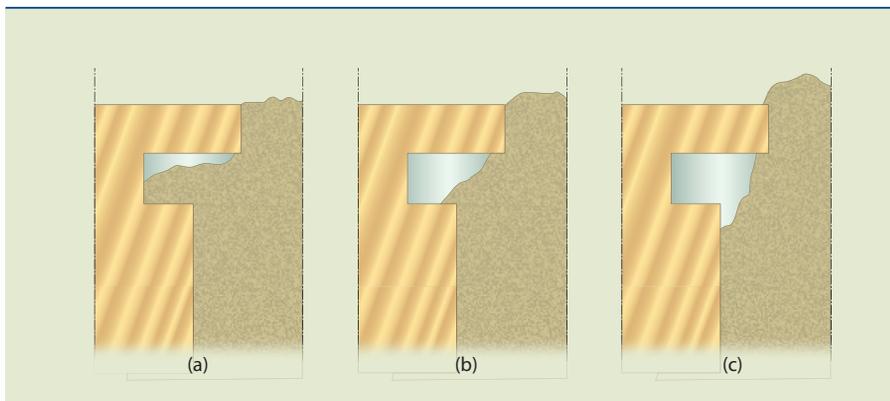


Figura 1.75

Enchimento de uma cavidade com três amostras de areia não socada.

Um aspecto desta propriedade é a aptidão à socagem, que corresponde a uma compactação homogênea nas diferentes partes de um molde. A figura 1.76 ilustra o comportamento de duas areias após socagem de mesma intensidade. Diz-se que a aptidão à socagem da areia (a) é melhor que a da areia (b).

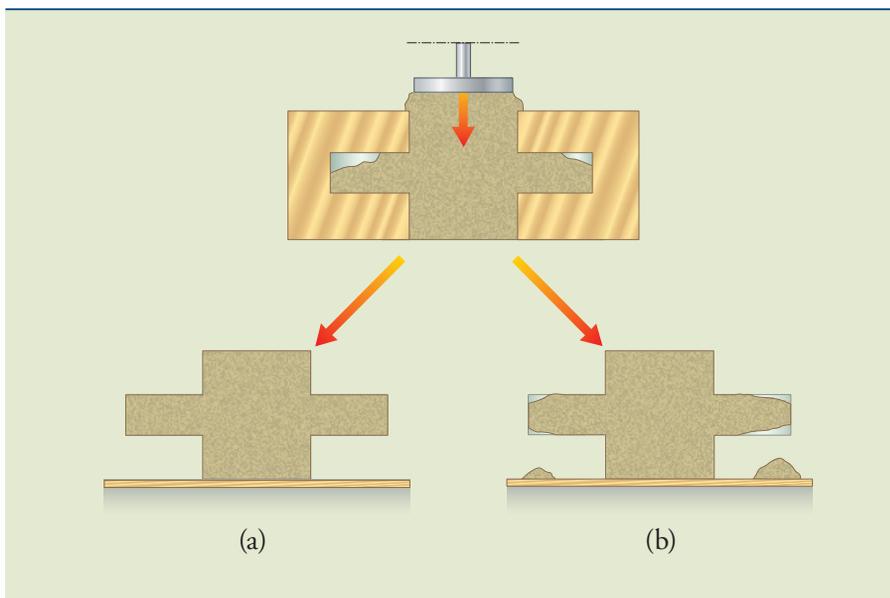


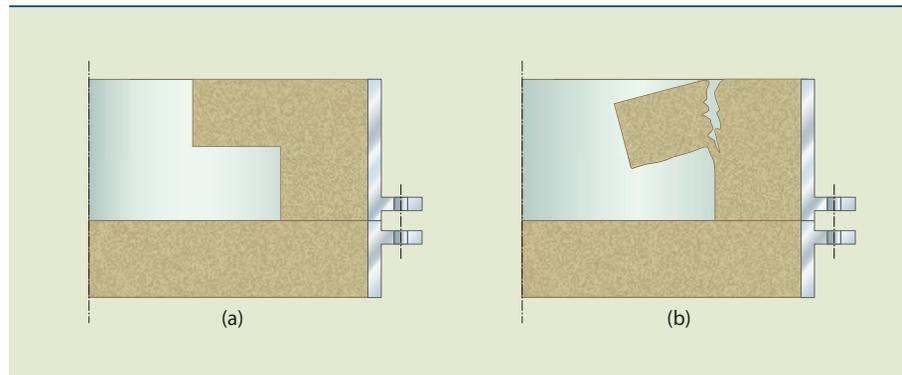
Figura 1.76

A aptidão à socagem da areia (a) é melhor que a da areia (b).

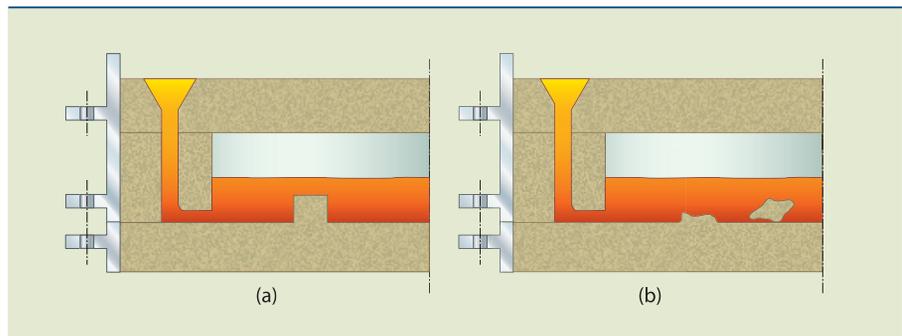
Resistência mecânica da areia é a sua resistência aos esforços de extração do modelo, manipulação do molde, colocação de machos e ao fluxo de metal durante o vazamento. A areia dos moldes (a) das figuras 1.77 e 1.78 tem melhor resistência mecânica que a areia dos moldes (b). Uma areia ideal deveria ser líquida durante a moldação para melhor reproduzir as formas do modelo, sólida entre a extração do modelo e a solidificação do metal vazado no molde e compressível após a solidificação para não se opor à contração da peça que se resfria.

Figura 1.77

A areia do molde (a) tem melhor resistência que a areia do molde (b).

**Figura 1.78**

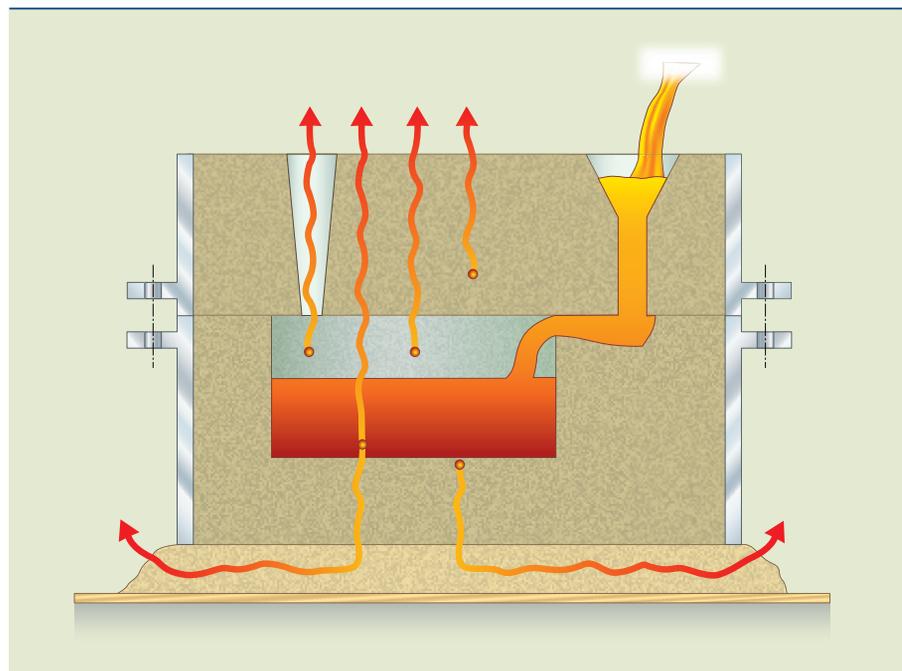
A areia do molde (a) tem melhor resistência que a areia do molde (b).



Com o enchimento dos moldes, gases provenientes do ar contido na cavidade, da combustão dos produtos componentes da areia, da evaporação da água da areia e do metal em solidificação não devem ficar envolvidos por metal, pois causariam defeitos nas peças. Para permitir a saída dos gases, a areia do molde deve ter boa permeabilidade (figura 1.79).

Figura 1.79

Para permitir a saída dos gases, a areia do molde deve ter boa permeabilidade.



1.12.1.6 Controles

Para determinar as características da areia-base, a constituição de uma areia recuperada e as propriedades de uma areia preparada para a moldação, são feitos ensaios e análises. Controla-se, assim, a areia de moldação.

Quanto à areia-base, interessa determinar principalmente:

- A forma e a estrutura dos grãos;
- O módulo de finura.

Numa areia usada, recuperada, controlam-se geralmente:

- O teor total da argila;
- O teor em matérias voláteis;
- A proporção de argila ativa, isto é, de argila não queimada.

Numa areia preparada para a moldação, controlam-se geralmente:

- A umidade;
- A moldabilidade;
- A permeabilidade;
- A resistência à compressão e ao cisalhamento.

1.12.2 Outras areias-base

Além da sílica, outras areias-base são empregadas em fundição, mas em menor escala, por causa de seu custo mais elevado.

A zirconita é um silicato de zircônio. Apresenta densidade igual a 4,7 e ponto de fusão de 2.500°C.

A cromita é constituída principalmente por óxido de cromo e ferro. Apresenta 4,5 de densidade e ponto de fusão de 2.200°C.

A olivina é um mineral constituído essencialmente por ortossilicato de magnésio e ferro. Apresenta densidade de 3,4 e ponto de fusão igual a 1.800°C. A coloração verde-oliva é a razão de seu nome.

A chamote é uma argila refratária calcinada, britada e classificada.

A areia corindon é artificialmente obtida pela fusão de bauxita com baixo teor de sílica. É constituída por aproximadamente 95% de Al_2O_3 . Apresenta densidade de 4,0 e ponto de fusão igual a 2.000°C.

1.12.3 Areias especiais

As areias de moldação não aglomeradas por argila e água são chamadas de areias especiais.

Entre as areias especiais utilizadas em moldação, podem-se citar:

- Areia cimento, constituída por sílica, cimento e água;
- Areia silicato de sódio – CO_2 , obtida por meio da injeção do gás CO_2 numa mistura constituída por sílica e silicato de sódio;
- areia furânica, constituída por sílica, resina furânica e catalisador;
- areia shell, constituída por grãos de sílica cobertos por resina. Sua cura se dá quando esta mistura é aquecida.

1.13 Ligas utilizadas em fundição

As peças fundidas são constituídas por ligas metálicas. Uma liga metálica é um sistema físico-químico contendo mais de um elemento, sendo que pelo menos um deles é metal.

As ligas metálicas utilizadas em fundição dividem-se em dois grandes grupos: as ligas ferrosas e as não ferrosas.

Ligas ferrosas são aquelas em que o ferro é o principal elemento da composição química.

Para situar entre si as diferentes ligas, citam-se a seguir referências de:

- Composição química;
- Temperatura de fusão;
- Coeficiente de contração linear;
- Peso específico;
- Limite de resistência à tração;
- Alongamento após ruptura.

Limite de resistência à tração e alongamento após ruptura são características mecânicas determinadas num ensaio de tração.

Este ensaio consiste em tracionar um corpo de prova até a ruptura.

1.13.1 Ligas ferrosas

As ligas ferrosas são classificadas em aço e ferros fundidos. Os aços e ferros fundidos comuns são basicamente ligas constituídas pelos elementos ferro, carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre. Quando são incluídos, voluntariamente, outros elementos ou algum desses em teores mais elevados a fim de melhorar características físico-químicas ou mecânicas, têm-se aço e ferros fundidos ligados.

1.13.1.1 Aços carbono

Aços carbono são aços comuns, que não apresentam elementos de liga. Como referência de composição química, podem-se citar:



Carbono	0,10 a 0,60%
Silício	0,10 a 0,50%
Manganês	0,30 a 0,80%
Fósforo	< 0,05%
Enxofre	< 0,05%

Ferro em teor necessário para completar 100% de liga.

A temperatura de fusão dos aços carbono é da ordem de 1.500°C.

O seu coeficiente de dilatação linear é 1,8 - 2% enquanto que o peso específico no estado sólido é 7,9 kgf/dm³.

As faixas de limite de resistência à tração e alongamento após ruptura são, respectivamente, da ordem de 40 - 50 kgf/mm² e 18 - 25%.

1.13.1.2 Ferros fundidos não ligados

Os ferros fundidos não ligados são constituídos pelos mesmos elementos que os aços carbono, mas com teores em faixas diferentes. Como referência de composição química, citam-se:

Carbono	2,40 a 3,80%
Silício	0,80 a 2,20%
Manganês	0,20 a 0,80%
Fósforo	< 0,30%
Enxofre	< 0,15%

Ferro em teor necessário para completar 100% de liga.

Os ferros fundidos não ligados podem ou não apresentar carbono livre em sua microestrutura. Esse carbono livre, de coloração escura, chama-se grafita. Os ferros fundidos que não apresentam grafita são chamados ferros fundidos brancos e os que a apresentam são classificados segundo a forma dessa grafita:

- Lamelar;
- Esferoidal;
- Vermicular;
- Nodular.

A forma natural da grafita é a lamelar. O ferro fundido não ligado a grafita sob a forma de lamelas é denominado ferro fundido cinzento e representado por FC.

A realização de determinadas operações no metal líquido, pouco antes do vazamento, promove a precipitação do carbono sob a forma de grafita esférica ou vermicular. Os ferros fundidos assim obtidos são chamados, respectivamente, de ferro fundido com grafita esférica e ferro fundido com grafita vermicular.

Os ferros fundidos maleáveis, comparados ao ferro fundido cinzento e ao ferro fundido branco, apresentam boa capacidade de deformação. A fabricação de uma peça em ferro fundido maleável compreende, obrigatoriamente, duas etapas:

- Obtenção de peças brutas de fundição em ferro fundido branco;
- Realização de um tratamento térmico para tornar maleável o ferro fundido.

Existem dois tipos de ferro fundido maleável:

- Ferro fundido maleável de núcleo branco;
- Ferro fundido maleável de núcleo preto.

O primeiro não possui grafita e o segundo possui grafita sob a forma nodular.

Tratamento térmico é um ciclo térmico a que são submetidas as peças no estado sólido. Um ciclo de tratamento térmico consiste em:

- Aquecimento a determinada temperatura;
- Manutenção sob essa temperatura durante certo tempo;
- Resfriamento.

A realização de tratamento térmico em peças brutas de fundição altera características dessas peças.

Nota-se, assim, que a composição química não é o único fator que determina as características de utilização de uma peça fundida, pois elas dependem de:

- Composição química;
- Condições de solidificação e resfriamento;
- Condição de elaboração do metal líquido;
- Tratamento térmico.

1.13.2 Ligas não ferrosas

As ligas não ferrosas mais utilizadas em função são:

- Ligas de cobre;
- Ligas de alumínio;
- Ligas de zinco;
- Ligas de magnésio.

1.13.2.1 Ligas de cobre

As ligas de cobre são, principalmente:



- Liga de cobre e estanho (chamada de bronze), contendo de 5 a 20% de estanho;
- Liga de cobre e zinco (chamada de latão), contendo de 10 a 40% de zinco;
- Liga de cobre e alumínio (chamada de cuproalumínio), contendo de 5 a 12% de alumínio.

1.13.2.2 Ligas de alumínio

As principais ligas de alumínio são:

- Liga de alumínio e silício, contendo de 3,5 a 22% de silício;
- Liga de alumínio e cobre, contendo de 5 a 10% de cobre;
- Liga de alumínio e magnésio, contendo de 3 a 10% de magnésio;
- Liga de alumínio e zinco, contendo 5% de zinco.

1.13.2.3 Ligas de zinco

As principais ligas de zinco são:

- Ligas de zinco e alumínio, contendo 4% de alumínio, conhecidas como ligas ZAMAK;
- Ligas de zinco e alumínio, contendo 11 a 13% de alumínio, conhecidas como ligas ILZRO - 12;
- Ligas de zinco, alumínio e cobre, contendo aproximadamente 4% de alumínio e 3% de cobre, conhecidas como ligas KAYEM.

1.13.2.4 Ligas de magnésio

As principais ligas de magnésio são:

- Liga de magnésio, alumínio e zinco, contendo de 5 a 10% de alumínio e de 0,2 a 3% de zinco;
- Liga de magnésio, zircônio e zinco, contendo de 0,4 a 1% de zircônio e de 1 a 6% de zinco.

Apresentam-se a seguir algumas de suas características:

- Temperatura de fusão: de 600 a 650°C;
- Coeficiente de contração linear: 1,2 a 1,5;
- Peso específico: 1,8 a 1,9 kgf/dm³;
- Limite de resistência à tração: 15 a 30 kgf/mm²;
- Alongamento após ruptura: 3 a 10%.

1.14 Fornos de fusão

Os fornos de fusão utilizados em fundição englobam diferentes formas de aquecimento.

1.14.1 Classificação segundo o tipo de aquecimento

Segundo o tipo de aquecimento, os fornos de fusão podem ser classificados em:

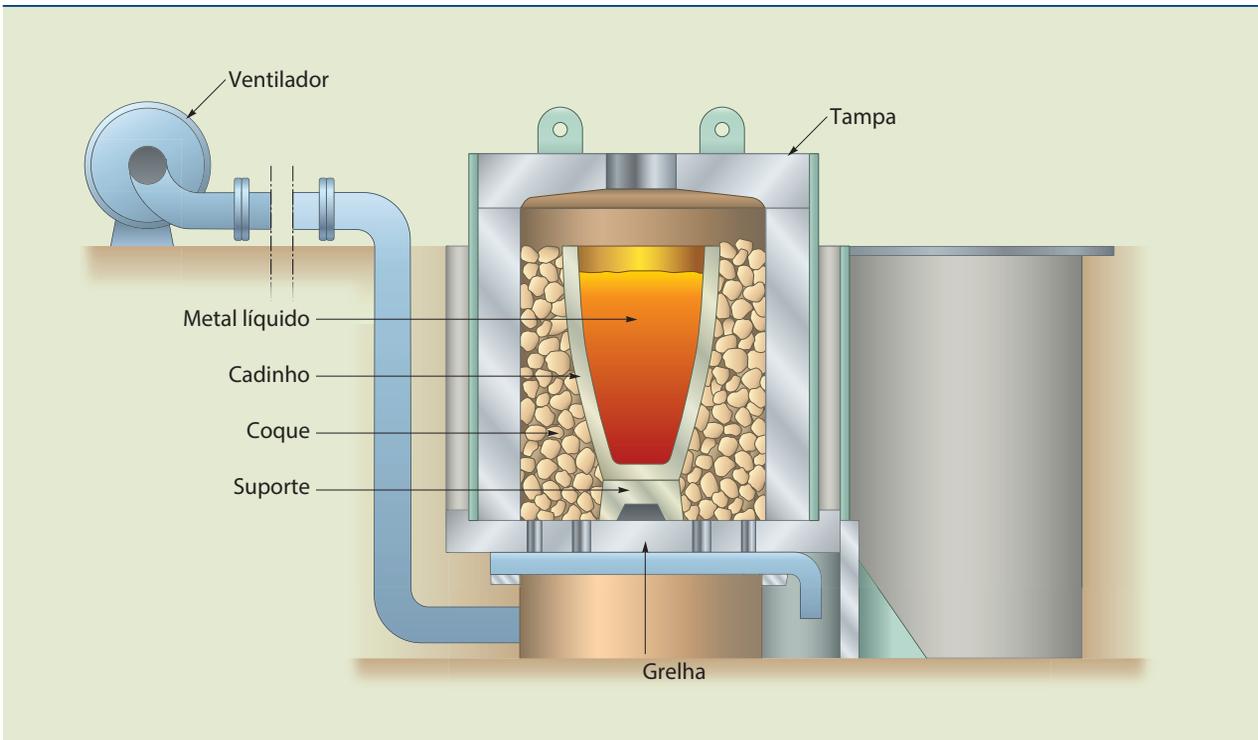
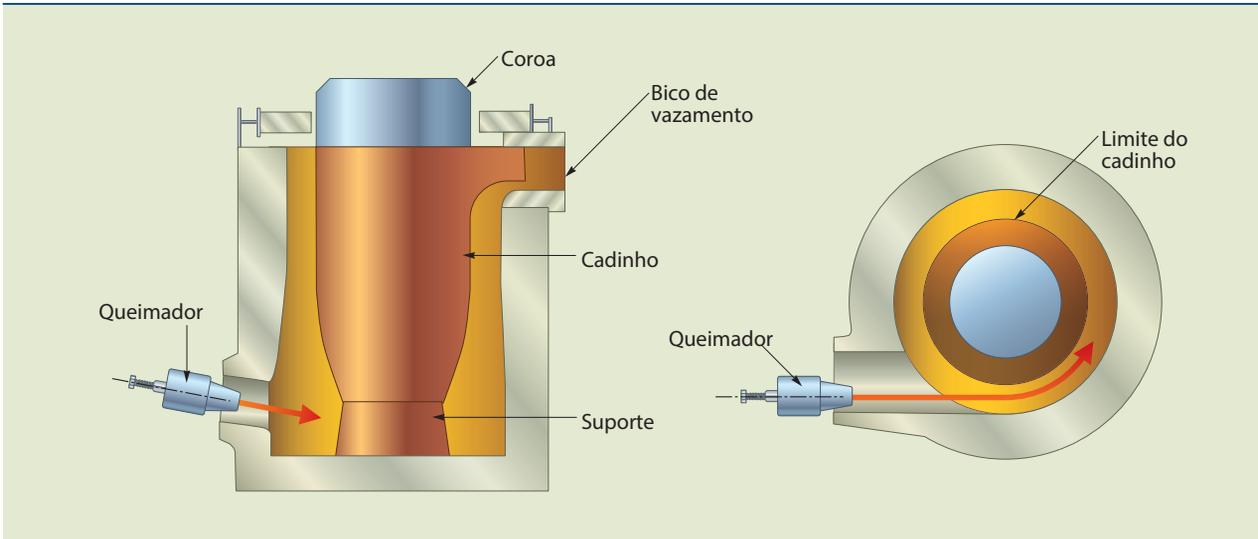
- Fornos a óleo;
- Fornos a gás;
- Fornos elétricos;
- Fornos a coque.



Figura 1.80

Forno de cadinho, tipo poço, aquecido pela queima de óleo combustível.

A figura 1.80 apresenta um forno de cadinho, tipo poço, aquecido pela queima de óleo combustível e a figura 1.81 mostra um forno de cadinho, tipo poço, aquecido pela queima coque.

**Figura 1.81**

Forno de cadinho, tipo poço, aquecido pela queima coque.

1.14.1.1 Fornos elétricos

Os fornos elétricos dividem-se em:

- Fornos de resistência;
- Fornos de arco;
- Fornos de indução.

Nos fornos de resistência, a passagem de corrente elétrica pela resistência a aquece, e esta irradia calor que preaquece, funde e sobreaquece o metal. A resistência pode encontrar-se no exterior do forno (figura 1.82) ou em seu interior (figura 1.83).

Nos fornos de arco, cria-se uma diferença de potencial entre eletrodos de tal forma que haja a emissão de faísca elétrica ou arco que, em decorrência das elevadas temperaturas atingidas, preaquece, funde e sobreaquece o metal direta ou indiretamente. A figura 1.84 esquematiza um forno a arco direto e a figura 1.85, um forno a arco indireto.

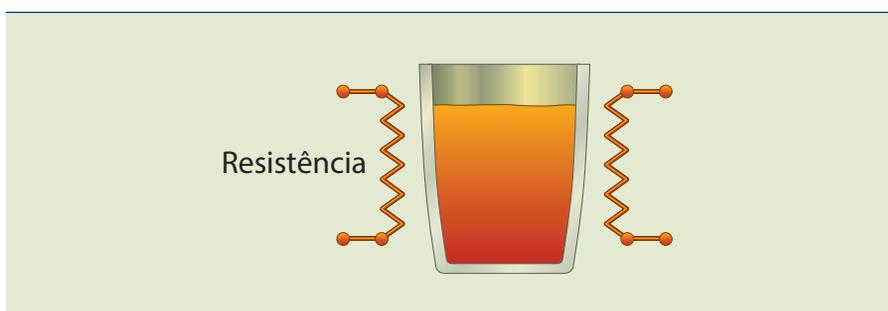


Figura 1.82

Resistência localizada no exterior do forno.

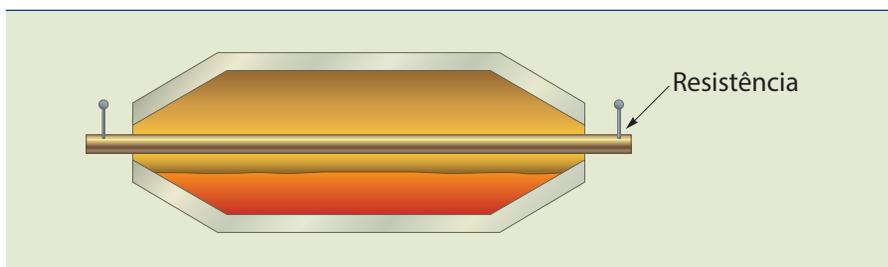


Figura 1.83

Resistência localizada no interior do forno.

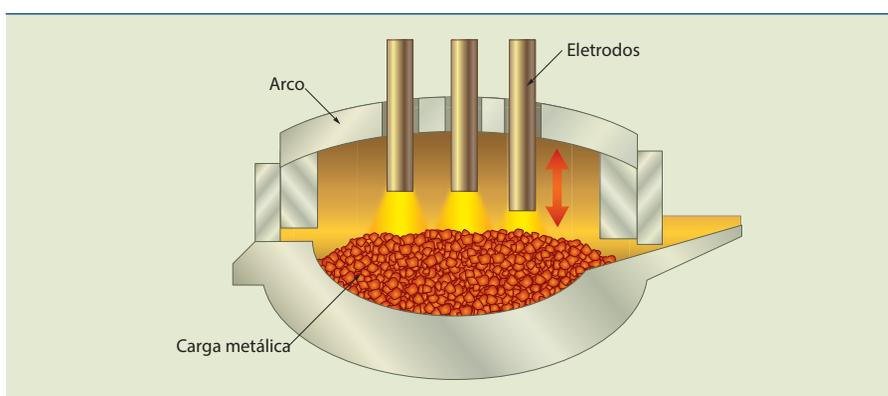


Figura 1.84

Forno a arco direto.

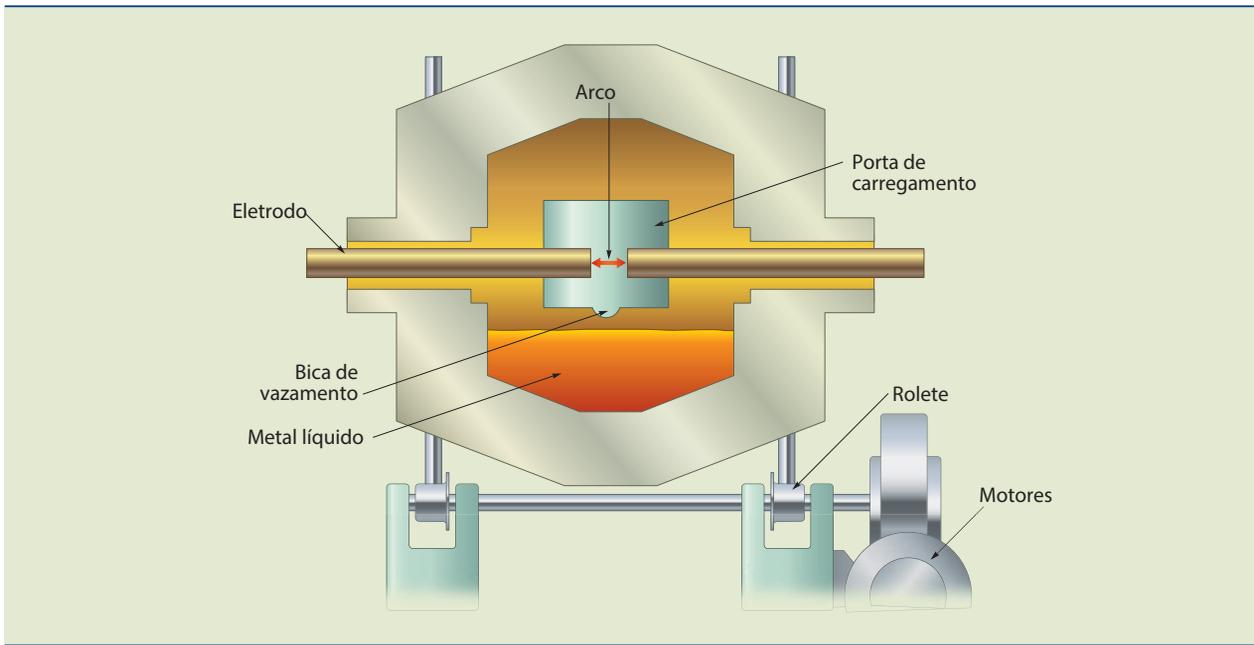


Figura 1.85

Forno a arco indireto.

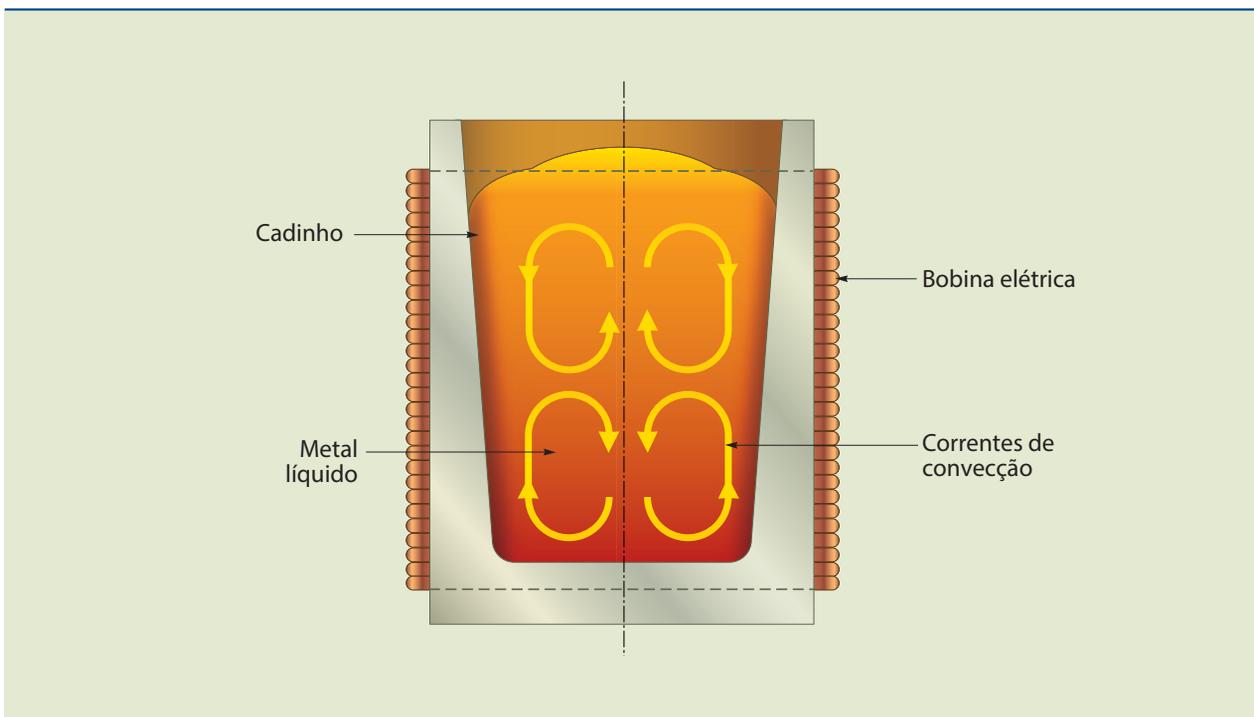
Nos fornos elétricos de indução, a corrente elétrica alternada que passa por uma bobina gera corrente elétrica induzida na carga metálica que, por sua resistência elétrica, é aquecida, fundida e sobreaquecida.

Os fornos elétricos de indução dividem-se em dois tipos:

Figura 1.86

Forno de cadinho.

- Forno de cadinho (figura 1.86);
- Forno de canal (figura 1.87).



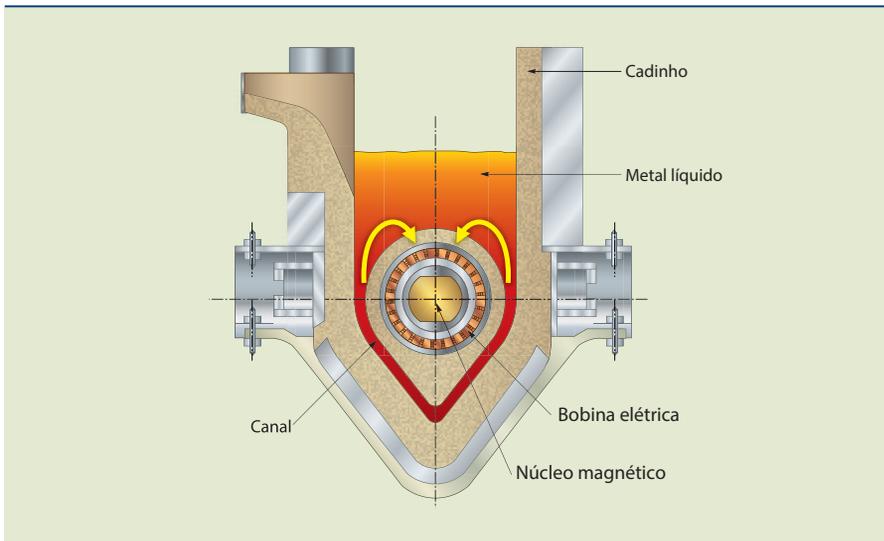


Figura I.87
Forno de canal.

I.14.2 Cubilô

Cubilô é o forno de fusão típico das fundições de peças em ferro fundido cinzento. Enquanto os outros tipos de fornos de fusão podem ser usados para fundir diferentes ligas, no cubilô funde-se apenas ferro fundido.

O cubilô é um forno tipo coluna, ao longo do qual se distinguem as partes:

- Pés de suporte do forno;
- Cadinho;
- Coluna propriamente dita;
- Chaminé.

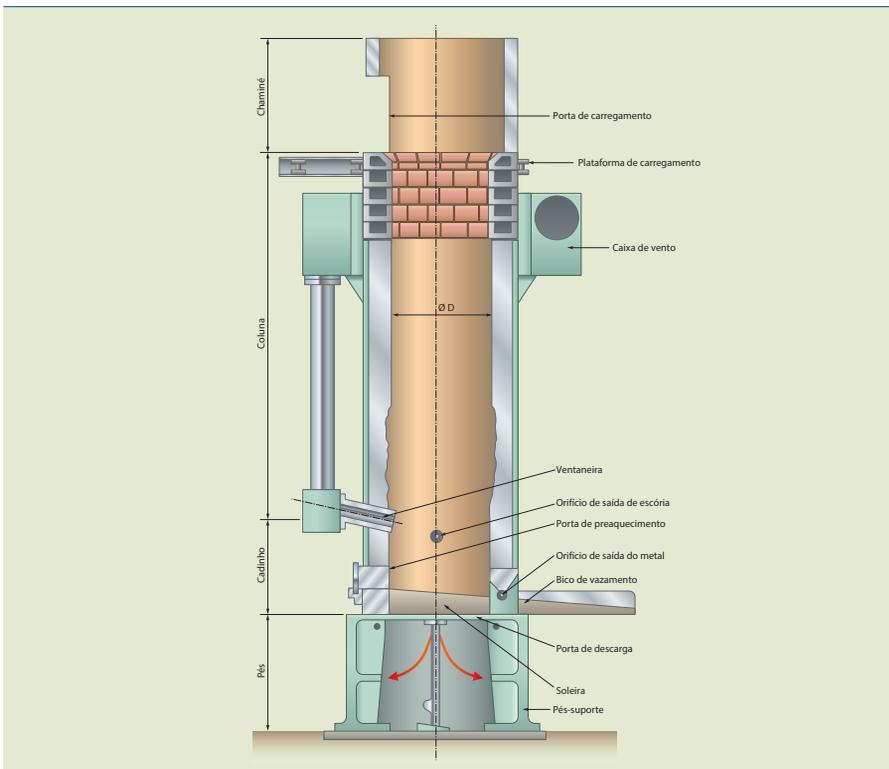


Figura I.88
Esquema de um cubilô.

A figura 1.88 esquematiza um cubilô comum.

A combustão do coque libera o calor necessário ao preaquecimento, à fusão e ao sobreaquecimento do metal. Dentro do cubilô existe uma camada de coque que atinge certo nível acima das ventaneiras. Esta camada é chamada de cama ou pé de coque. Como comburente na combustão do coque tem-se o oxigênio do ar soprado pelas ventaneiras.

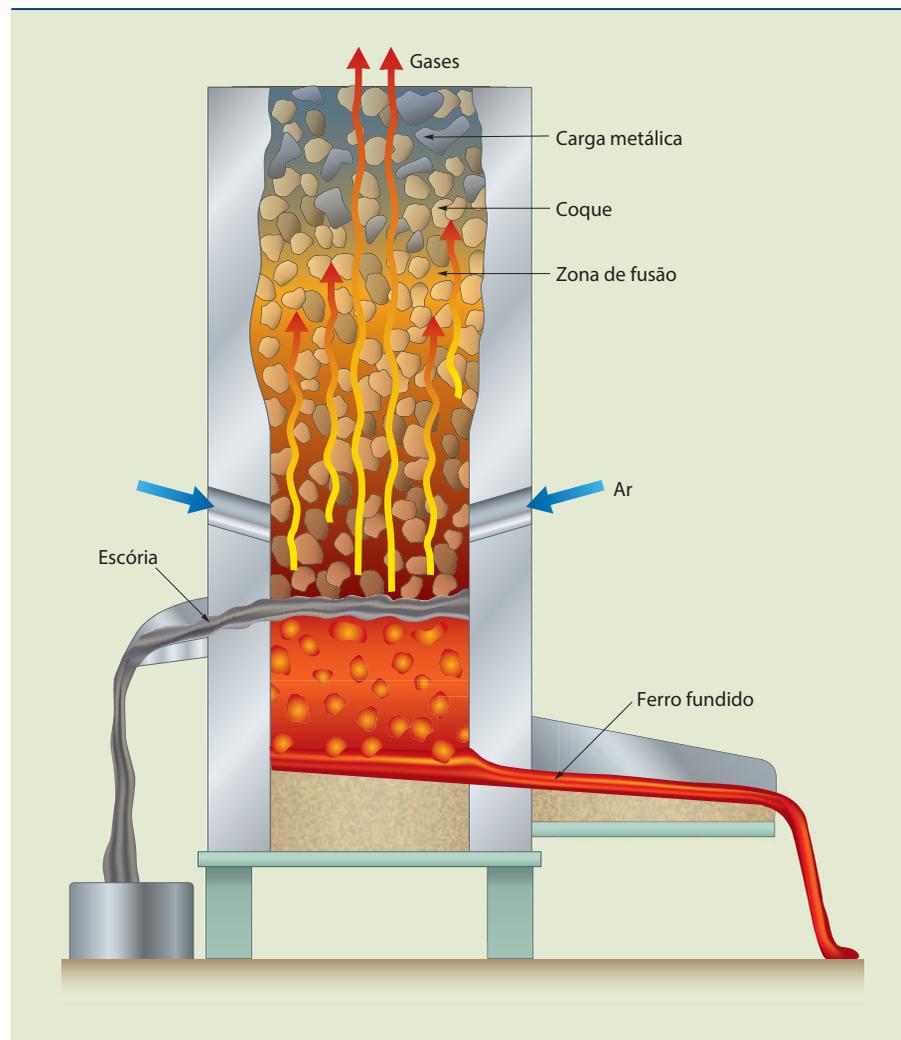
Pela porta de carregamento, introduz-se a matéria-prima metálica em cargas alternadas com as cargas de coque e o fundente, que será retirado em forma de escórias. Estas, por sua vez, são as impurezas resultantes do processo.

Ao descender, no interior do cubilô, preaquecidas pelos gases ascendentes, as cargas metálicas fundem-se quando atingem a zona de fusão. As gotas de metal líquido são sobreaquecidas quando atravessam o pé de coque e, em seguida, depositam-se no cadinho.

O metal líquido sai pelo orifício de sangria e a escória, pelo orifício de escória (figura 1.89).

Figura 1.89

No cubilô, o metal líquido sai pelo orifício de sangria e a escória, pelo orifício de escória.



A produção de um cubilô comum, dada em toneladas de metal líquido por hora de funcionamento, é da ordem de:

$P = 6 \times D^2$, onde

D é o diâmetro interno do cubilô em metros;

P é a produção em T/h.

A retirada de metal líquido do cubilô pode ser contínua ou intermitente, isto é, por sangrias.

Como resultado de pesquisas e estudos, o funcionamento e a tecnologia deste tipo de forno de fusão, típico da produção de ferros, vêm recebendo vários aperfeiçoamentos.

1.15 Defeitos em peças fundidas

As peças fundidas devem apresentar determinadas características da utilização, isto é, devem ter um padrão de qualidade especificado no pedido de fabricação.

Quando uma peça fundida não atende as suas especificações, diz-se que ela apresenta defeito.

Para verificar a qualidade das peças, são realizados controles que podem ou não ser destrutivos. Entre os diferentes tipos de controle podem-se citar:

- Exame visual;
- Controle dimensional;
- Ensaio mecânicos;
- Análise metalográfica.

A não ser em alguns casos específicos, os defeitos resultam de um conjunto de fatores que tornam difícil a determinação da causa de cada um.

Um defeito pode ser classificado quanto a suas causas, à sua aparência e à responsabilidade do setor.

A classificação dos defeitos, quanto a suas causas ou quanto ao setor da empresa responsável pela sua ocorrência, requer a identificação das causas, o que é geralmente difícil. A classificação de um defeito quanto à sua aparência é mais prática e mais simples.

Quanto à aparência macroscópica, os defeitos podem ser classificados em:

- Excrescências ou saliências metálicas;
- Vazios;
- Descontinuidade de metal;



- Defeitos de superfície;
- Peça incompleta;
- Desvios de medidas.

1.15.1 Excrescências metálicas

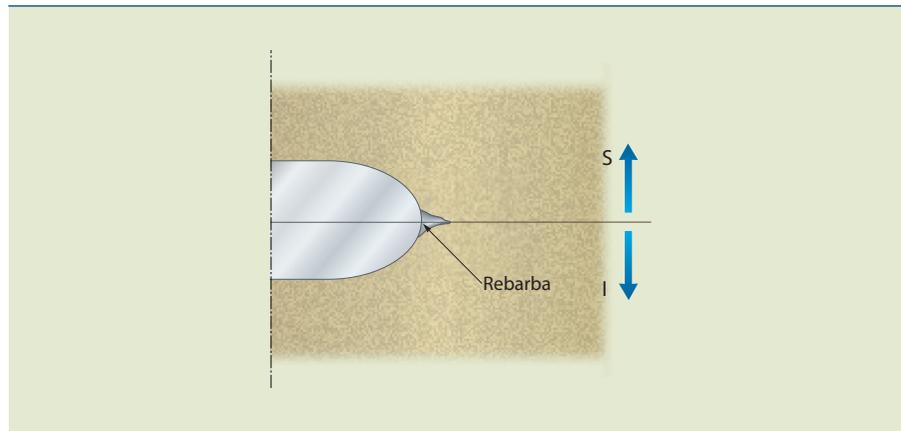
Como excrescências ou saliências metálicas nas peças brutas de fundição, podem-se citar:

- Rebarbas;
- Inchamento;
- Erosão;
- Atrito;
- Quebra de molde.

A figura 1.90 mostra uma rebarba metálica formada na superfície de separação da caixa de moldação e a figura 1.91 esquematiza uma rebarba formada em decorrência da penetração de metal na folga entre a marcação do macho e as paredes do molde.

Figura 1.90

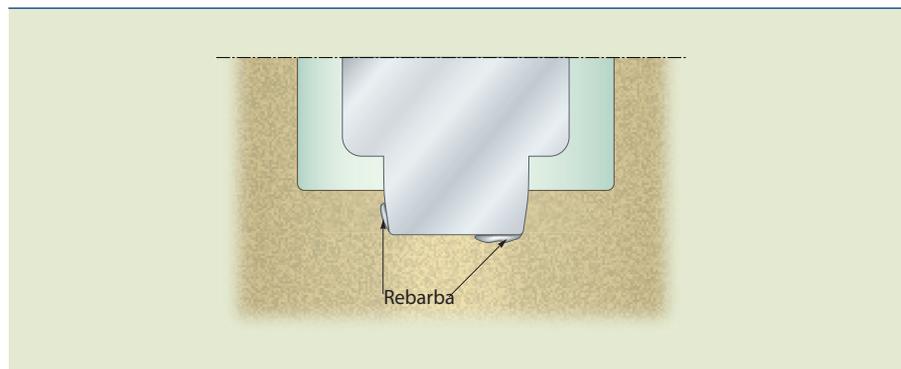
Rebarba metálica formada na superfície de separação da caixa de moldação.



Em peças relativamente altas, pode-se ter, por exemplo, o aumento de espessura nas partes inferiores por causa da formação das paredes dos moldes (figura 1.92) ou do macho (figura 1.93) como consequência da pressão exercida pelo metal numa areia insuficientemente compactada. Diz-se, neste caso, que a peça é defeituosa devido ao seu inchamento.

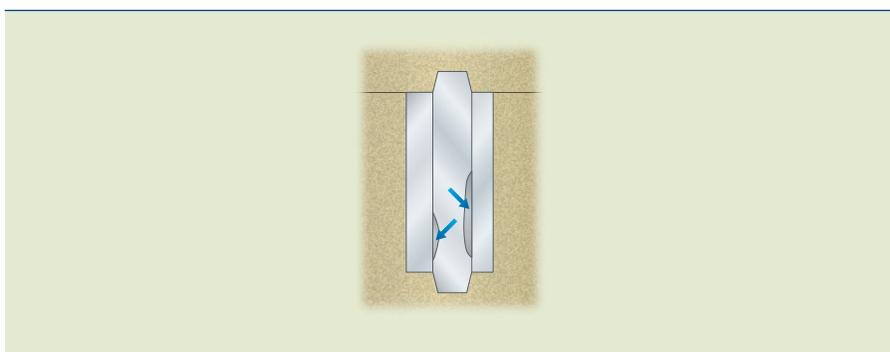
Figura 1.91

Rebarba formada em decorrência da penetração de metal na folga entre a marcação do macho e as paredes do molde.



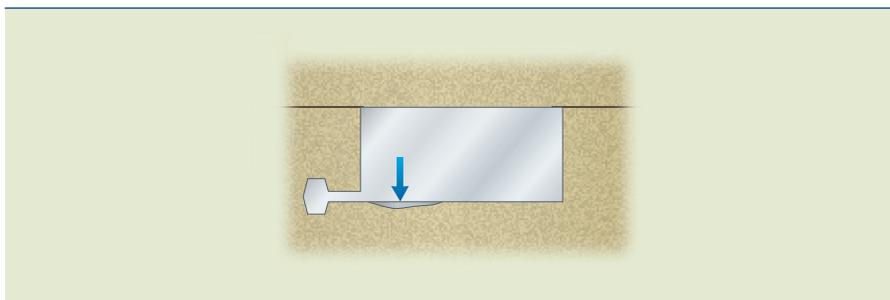
**Figura 1.92**

Aumento de espessura nas partes inferiores por causa da formação das paredes dos moldes.

**Figura 1.93**

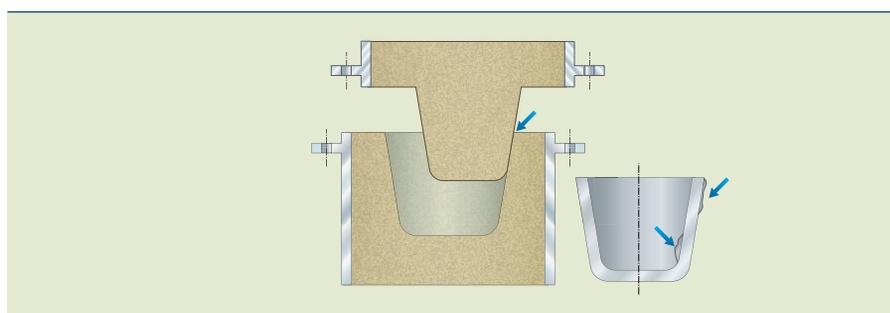
Aumento de espessura nas partes inferiores por causa da formação do macho.

Próximo de ataques, sob a influência do fluxo de metal líquido, a areia pode se desagregar superficialmente, dando origem a uma saliência metálica na peça (figura 1.94). Os grãos de areia deslocados são encontrados, normalmente, como inclusões na peça. Diz-se que o defeito é devido a erosão.

**Figura 1.94**

A areia pode se desagregar superficialmente, originando uma saliência metálica na peça.

Um defeito semelhante a erosão é causado, por exemplo, pelo atrito entre um bolo de areia e as paredes da cavidade do molde durante o seu fechamento (figura 1.95).

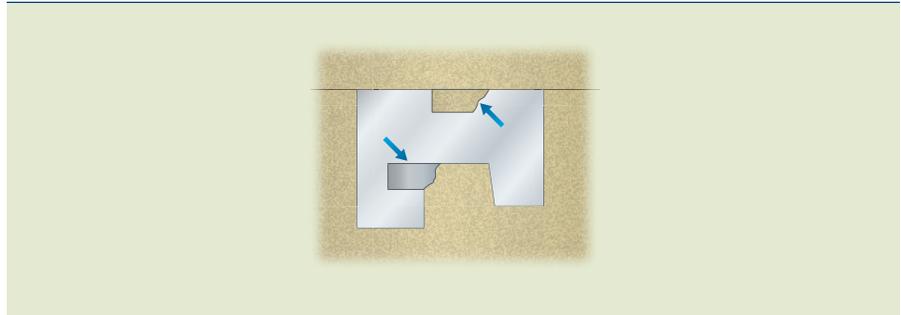
**Figura 1.95**

Defeito causado pelo atrito entre um bolo de areia e as paredes da cavidade do molde.

Em decorrência da quebra de parte do molde, pode haver metal no volume que deveria ser ocupado por areia e inclusão, ou vazios na superfície da peça provocados pela areia (figura 1.96).

Figura 1.96

Em decorrência da quebra de parte do molde, pode haver metal no volume que deveria ser ocupado por areia e inclusão, ou vazios na superfície da peça provocados pela areia.



1.15.2 Vazios

Vazios em peças fundidas podem ser cavidades superficiais, subcutâneas ou internas de forma, dimensões e repartição variáveis causadas por gases ou por falta de alimentação de contração.

As figuras 1.97 e 1.98 indicam, respectivamente, vazios tipo bolhas superficiais e subcutâneas, ambos causados por gases.

A figura 1.99 ilustra um rechupe externo formando-se numa parte maciça de uma peça e a figura 1.100 esquematiza um rechupe causado pelo sobreaquecimento do macho.

Importante: para evitar rechupe nas peças, deve-se ter um sistema de alimentação adequado.

Figura 1.97

Vazios tipo bolhas superficiais.

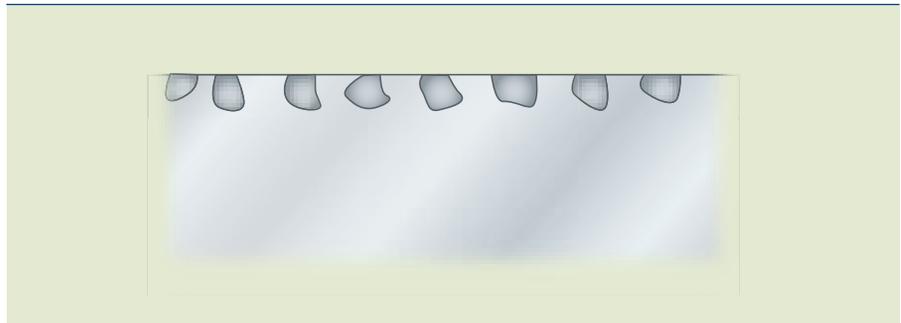
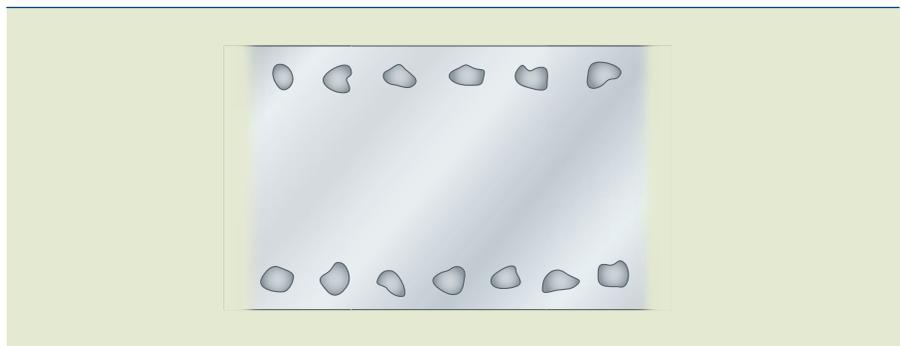
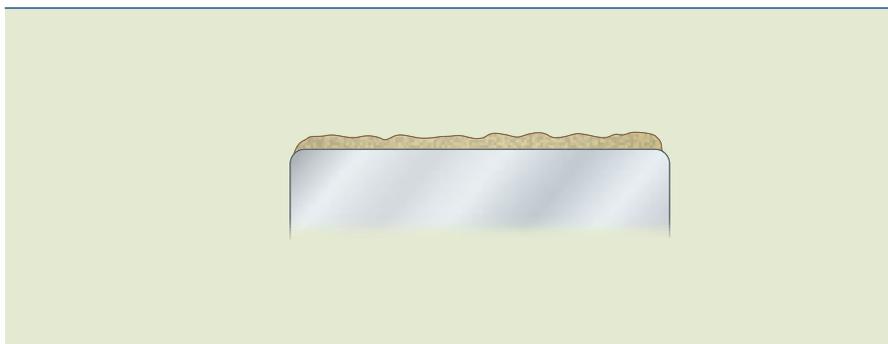


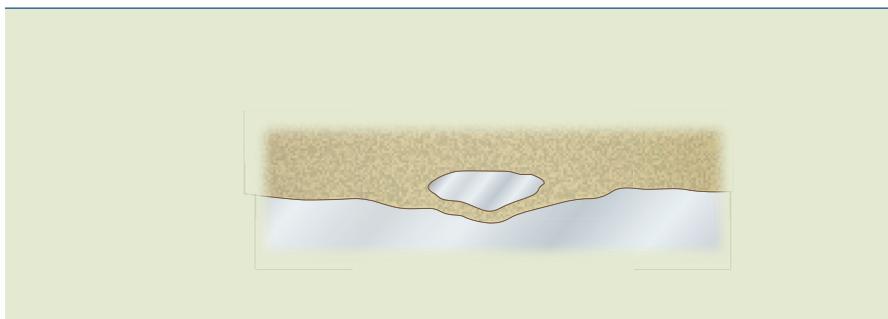
Figura 1.98

Vazios tipo bolhas subcutâneas.



**Figura 1.99**

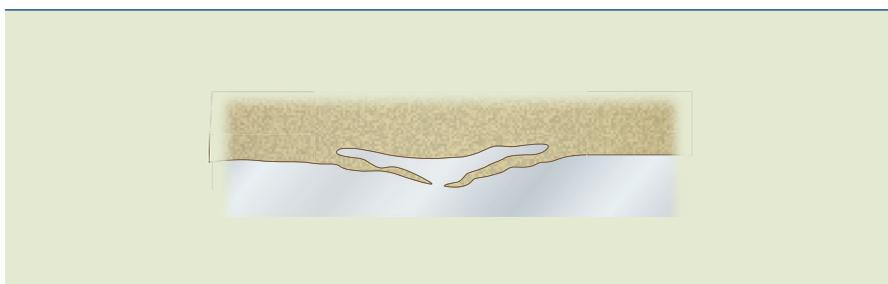
Rechupe externo formando-se numa parte maciça de uma peça.

**Figura 1.100**

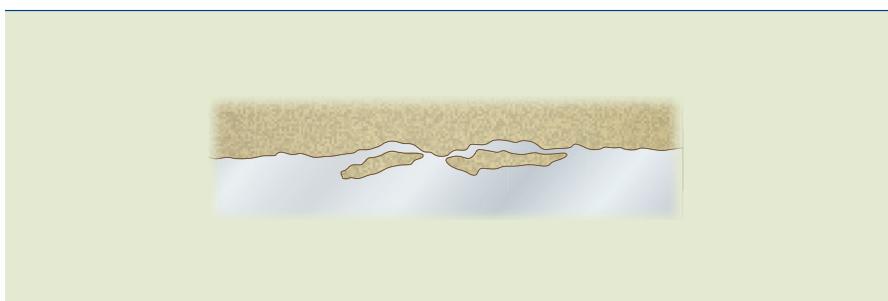
Rechupe causado pelo sobreaquecimento do macho.

1.15.3 Descontinuidade de metal

Com exemplo de descontinuidade de metal, citam-se a junta fria causada por dois fluxos de metal líquido que não se soldam (figura 1.101) e a separação da peça segundo um plano horizontal causado pela interrupção do enchimento da cavidade do molde (figura 1.102).

**Figura 1.101**

Junta fria causada por dois fluxos de metal líquido que não se soldam.

**Figura 1.102**

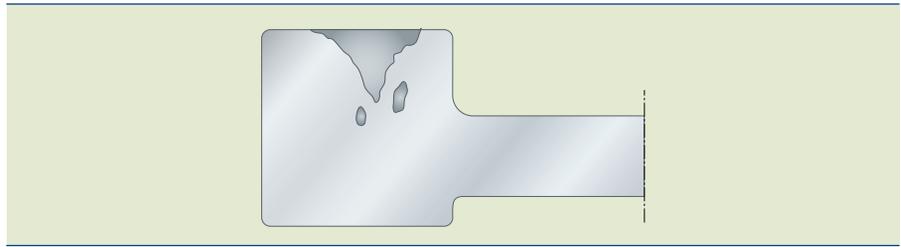
Separação da peça segundo um plano horizontal causado pela interrupção do enchimento da cavidade do molde.

1.15.4 Defeitos de superfície

A superfície de uma peça fundida pode apresentar rugosidades que dão a ideia da reprodução do relevo dos grãos de areia nas paredes dos moldes (figura 1.103) prejudicando o bom aspecto superficial.

Figura 1.103

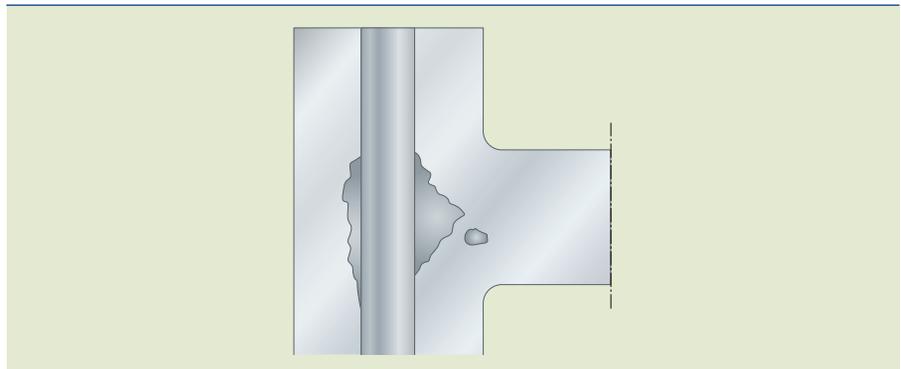
Rugosidades que dão a ideia da reprodução do relevo dos grãos de areia nas paredes dos moldes.



Às vezes, as peças apresentam areia fortemente aderida à superfície em regiões em que a mesma é sobreaquecida. Diz-se que o defeito decorre da sinterização da areia (figura 1.104).

Figura 1.104

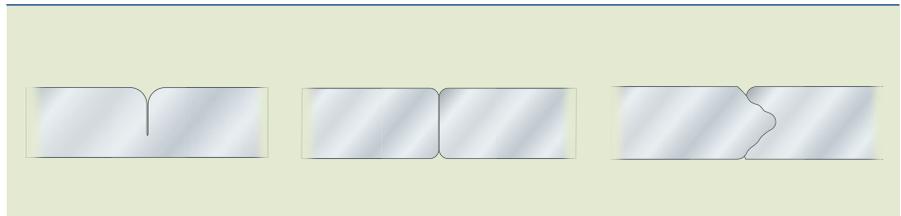
Peça com areia fortemente aderida à superfície.



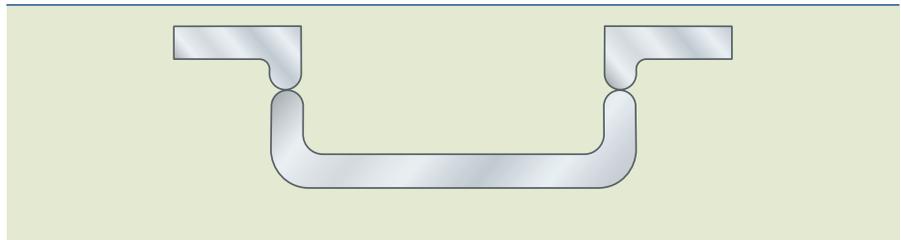
Quando há deslocamento de camadas de areia na superfície da cavidade do molde, podem ser formados defeitos conhecidos com rabo de rato (figura 1.105), escamas (figura 1.106) ou crostas (figura 1.107).

Figura 1.105

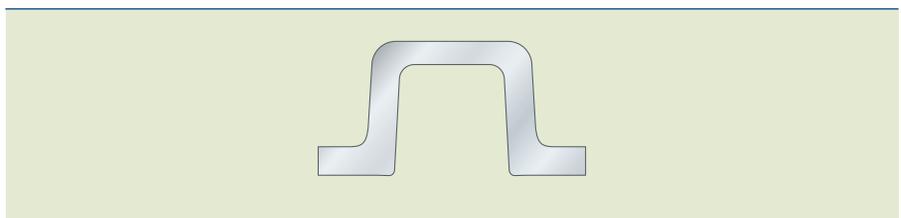
Defeitos conhecidos como rabo de rato.

**Figura 1.106**

Defeito conhecido como escama.

**Figura 1.107**

Defeito conhecido como crostas.



1.15.5. Peça incompleta

A figura 1.108 mostra uma peça incompleta em consequência da insuficiência de metal para encher a cavidade do molde e a figura 1.109 apresenta o esquema de uma peça incompleta por causa do metal que escapou pela superfície de separação das caixas de moldação durante o enchimento do molde.

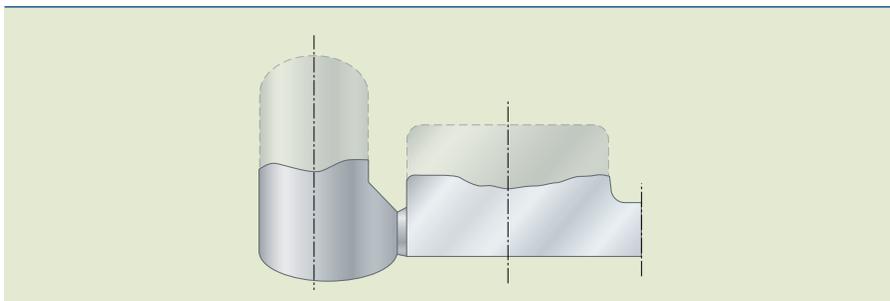


Figura 1.108

Peça incompleta em consequência da insuficiência de metal para preencher a cavidade do molde.

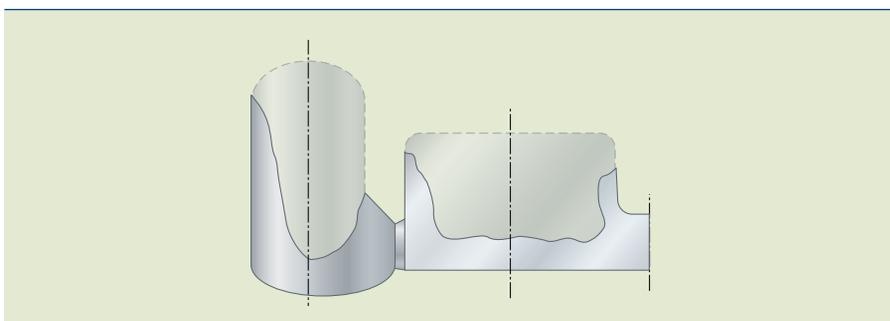


Figura 1.109

Peça incompleta por causa do metal que escapou pela superfície de separação das caixas de moldação.

1.15.6. Desvio de medida

Em decorrência do uso equivocado do coeficiente de contração linear, a peça bruta de fundição pode apresentar dimensões incorretas, mas proporcionais às cotas do desenho (figura 1.110).

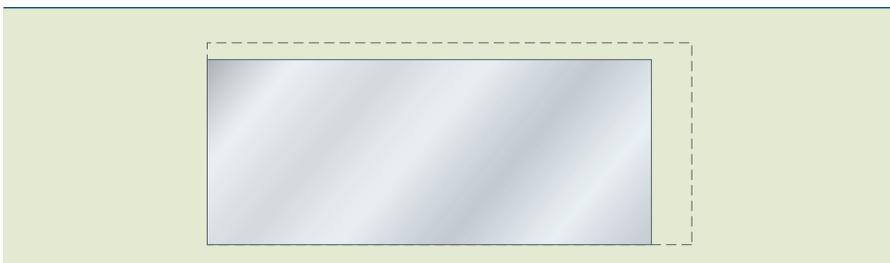


Figura 1.110

O uso equivocado do coeficiente de contração linear pode gerar dimensões incorretas na peça bruta de fundição.

Mesmo com base num modelo correto, pode-se obter uma peça com dimensões incorretas em decorrência de abalo exagerado do modelo antes de sua extração (figura 1.111).

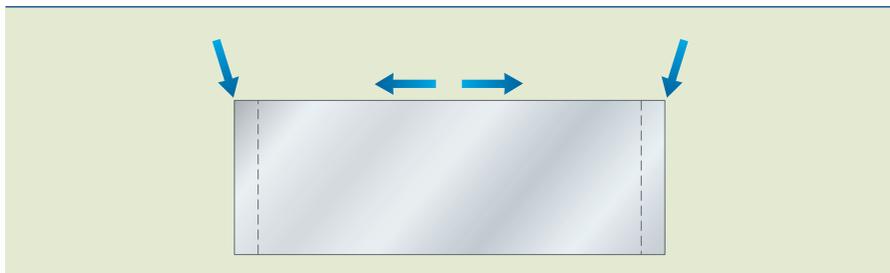
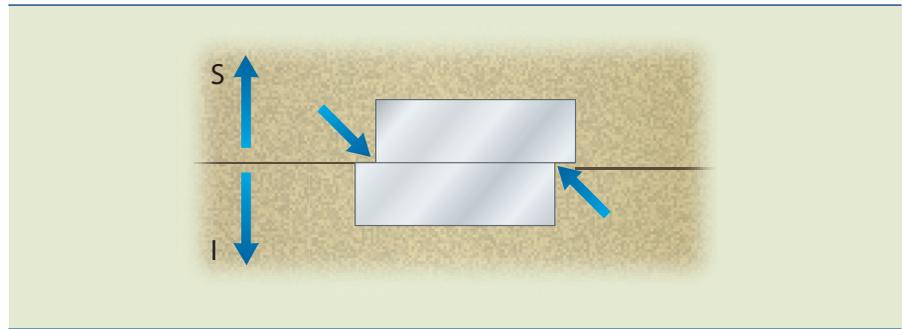


Figura 1.111

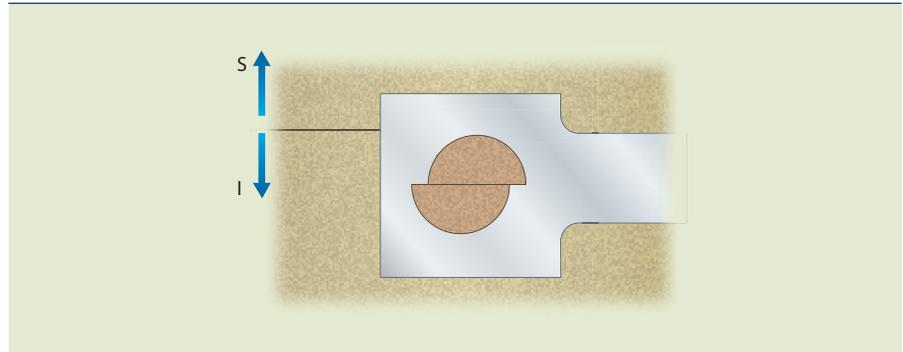
Peça com dimensões incorretas obtida em decorrência de abalo exagerado do modelo antes de sua extração.

Figura 1.112

Peça com formas defeituosas causadas por um desencontro no fechamento dos moldes.

**Figura 1.113**

Peça com formas defeituosas causadas por um desencontro na confecção do macho.



As peças podem apresentar formas defeituosas devido a um desencontro no fechamento de moldes (figura 1.112) ou na confecção de macho (figura 1.113).