

VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Fundição – Processo de fabrico de peças através do vazamento de metal líquido para um molde, cuja cavidade é conformada de acordo com a peça a produzir.

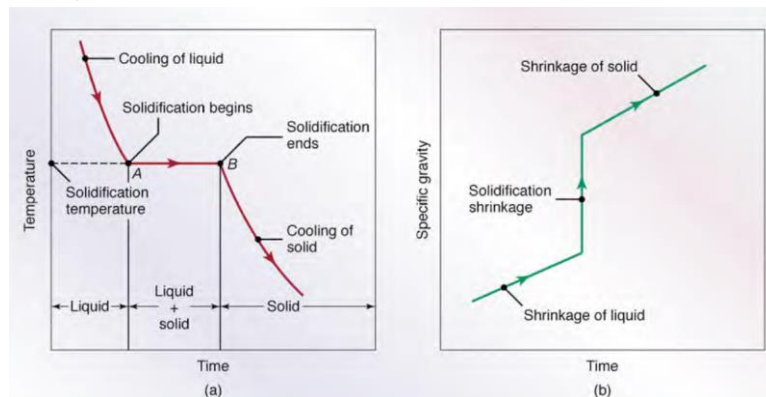
Aspetos fundamentais deste processo:

- Vazamento do fundido para a cavidade do molde
- Solidificação e arrefecimento do metal dentro do molde
- Influência do tipo de material do molde
- Remoção da peça de dentro do molde

VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Solidificação de metais

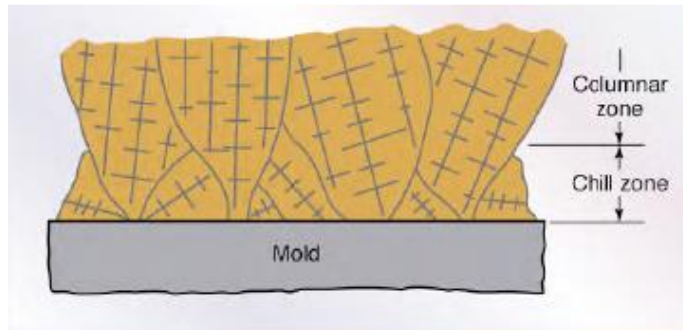
Metais Puros – passagem de estado líquido a estado sólido ocorre a temperatura constante (temperatura de fusão). Ex. Al (660 °C; Fe 1537 °C; W 3410 °C)



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Solidificação de metais

De notar o efeito das paredes do molde – a taxa de calor transferido (driving force) é responsável pela nucleação homogênea observada junto às paredes.



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Solidificação de ligas metálicas

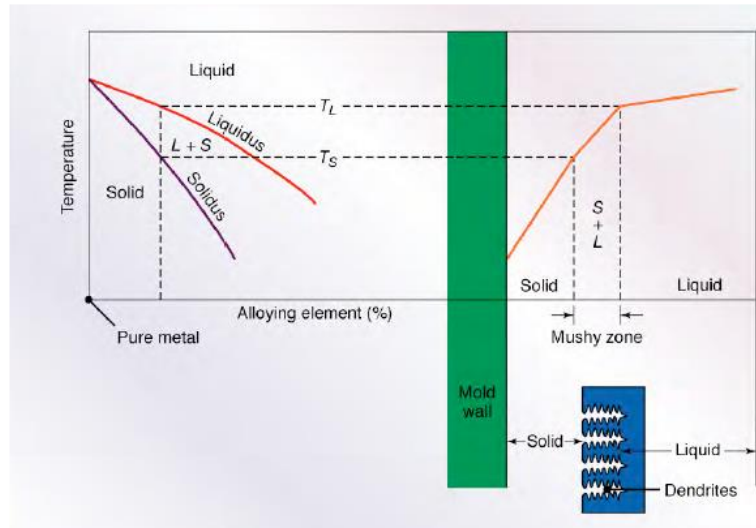
A solidificação das ligas ocorre entre a temperatura liquidus (T_L) e a temperatura solidus (T_S).

Entre estas temperaturas a liga encontra-se num estado pastoso, constituído por dendrites sólidas envoltas em metal líquido.

Zona de solidificação: $\Delta T = T_L - T_S$

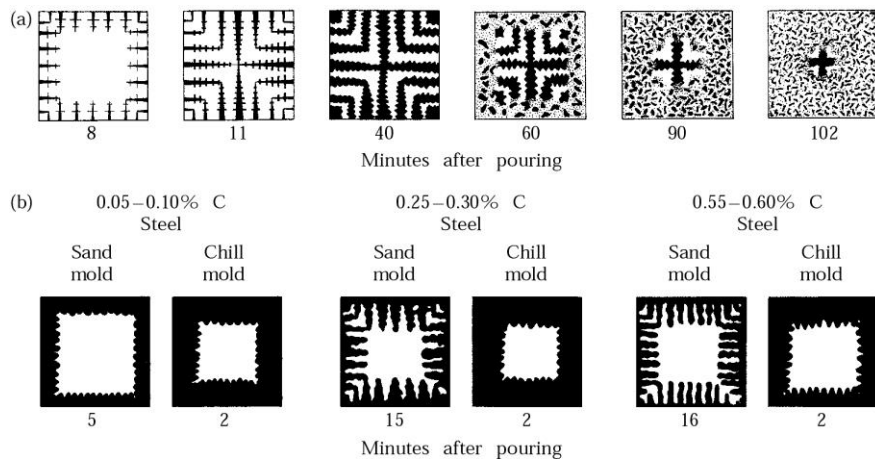
VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Solidificação de ligas metálicas



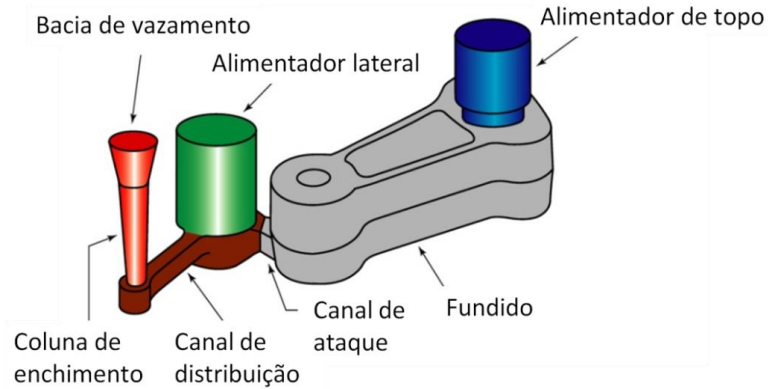
VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Solidificação de ligas metálicas



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Sistema básico de vazamento por gravidade



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Transferência de calor e tempo de solidificação

A transferência de calor é um fenômeno complexo e depende de:

Características do fundido

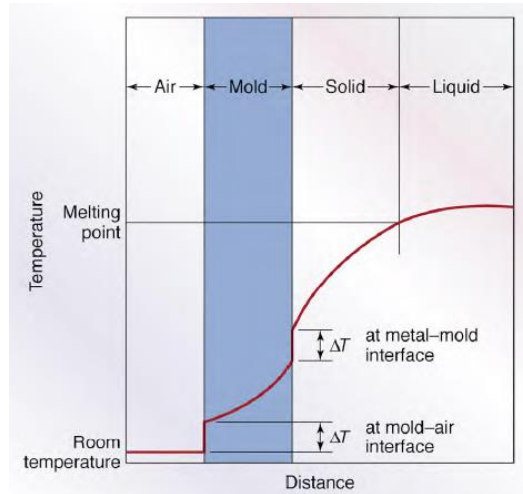
Características do molde

Parâmetros de processamento

Um metal líquido tem de estar suficientemente quente para poder percorrer todos os canais de um molde, mas não deve estar demasiado quente (baixa viscosidade) pois poderá provocar turbulência (fluido).

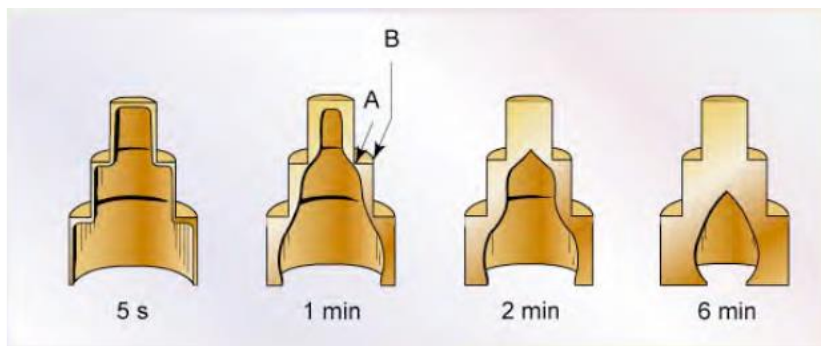
VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Transferência de calor e tempo de solidificação



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Transferência de calor e tempo de solidificação



VAZAMENTO DE LIGAS METÁLICAS

Transferência de calor e tempo de solidificação

O tempo de solidificação é função do volume de fundido e da área superficial (equação de Chvorinov):

$$TS = C \left(\frac{Volume}{ÁreaSuperficial} \right)^n$$

Em que C é uma constante que reflete o material do molde, as propriedades do metal e o sobreaquecimento.

A constante n, varia entre 1,5 e 2, mas é normalmente considerado como 2.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Processos de moldação destrutível (molde em areia ou agregado refratário)

Modelo permanente	Moldação em areia verde Moldação em areia seca – auto secativa Moldação em casca ou “Shell-Molding” Moldação em cerâmica Moldação em gesso
Modelo destrutível	Moldação com modelo evaporável (espumas de PS) Moldação com modelo perdido (em cera perdida ou investment casting)

Processos de moldação permanente (molde metálico)

Fundição por gravidade	Vazamento em coquilha Fundição a baixa pressão Fundição a vácuo
Fundição sob pressão	Fundição injetada (sob pressão) Fundição por centrifugação

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde

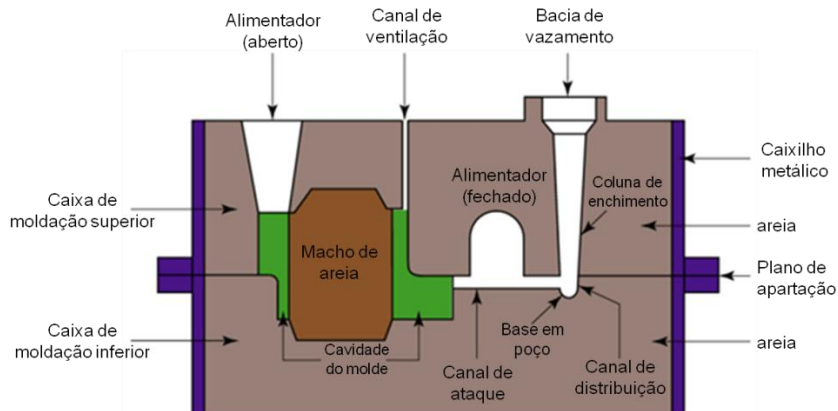
Composição típica simples para execução de moldes
(partes em peso)

- Areia – 100
- Argila – 20
- Água – 4

É o método mais utilizado na atualidade e serve para todos os metais. É especialmente apropriado para peças de tamanho pequeno e médio. Não é adequado para peças grandes, peças de geometria complexas, nem para peças que requeiram um elevado acabamento, pois notam-se as marcas dos grãos da areia, para além da sua tolerância dimensional ser reduzida. É um molde de baixo custo.

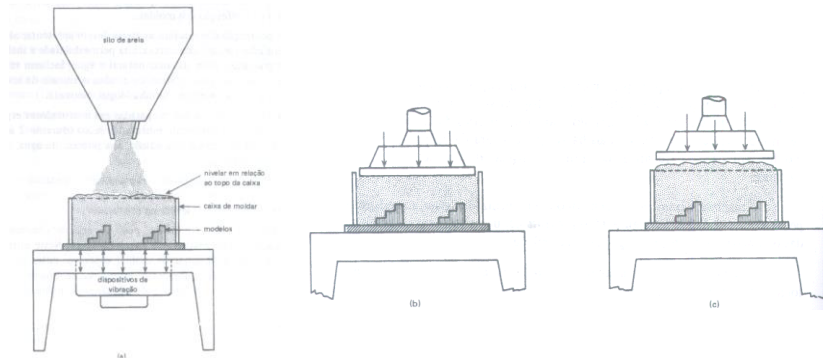
PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde

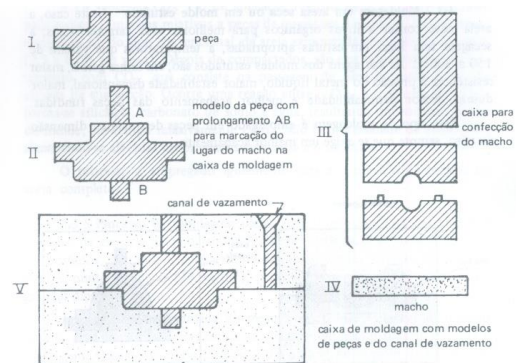


PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde

Execução de machos

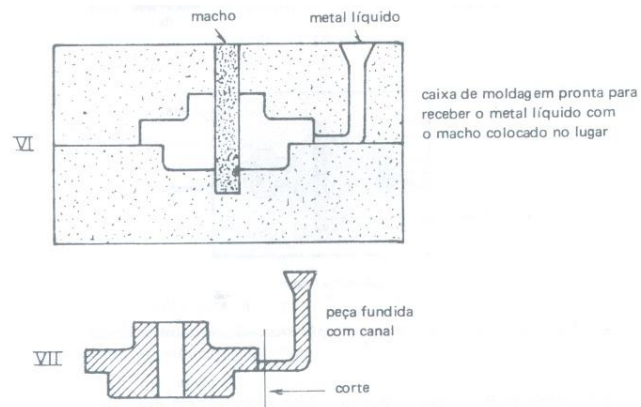
Para a fundição de peças com cavidades interiores recorre-se a machos. Os machos são colocados na cavidade do molde para criar superfícies interiores e são removidos no final da solidificação.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde

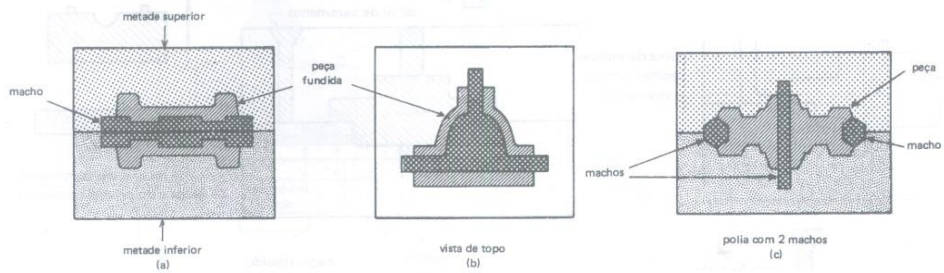
Execução de machos



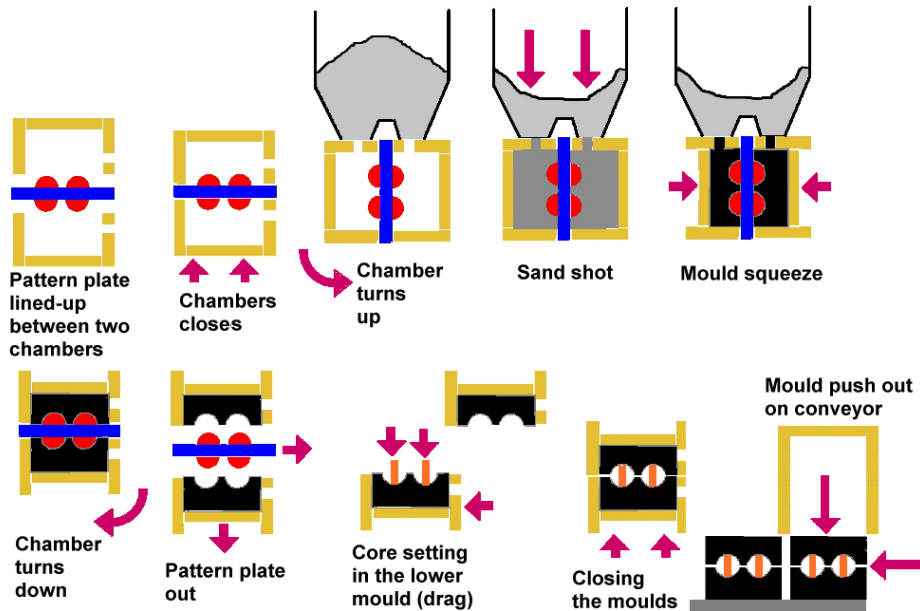
PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em areia verde

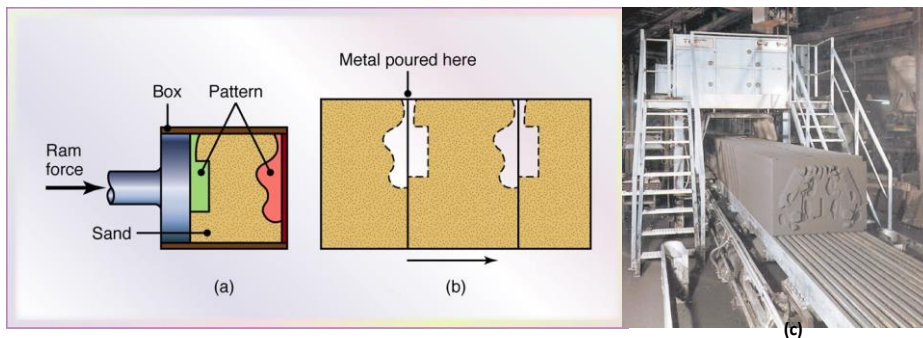
Execução de machos



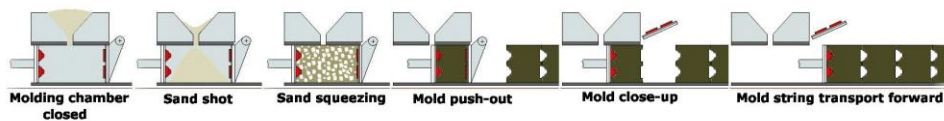
DISAs MATCH-PLATE SAND MOULDING PRINCIPLE



Vertical Flaskless Molding



DISA SAND MOLDING PRINCIPLE



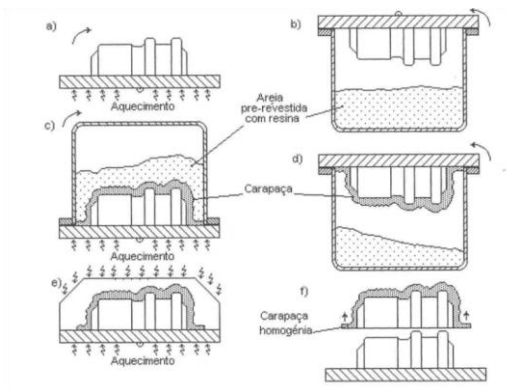


PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em casca ou “Shell-Molding”

A moldação em casca ou carapaça, é um processo utilizado quando se pretende produções com precisão dimensional elevada e bom acabamento.

- Custo de fabricação do modelo mais elevado (metálico),
- Baixa recuperação de areia.



Shell-Molding Process

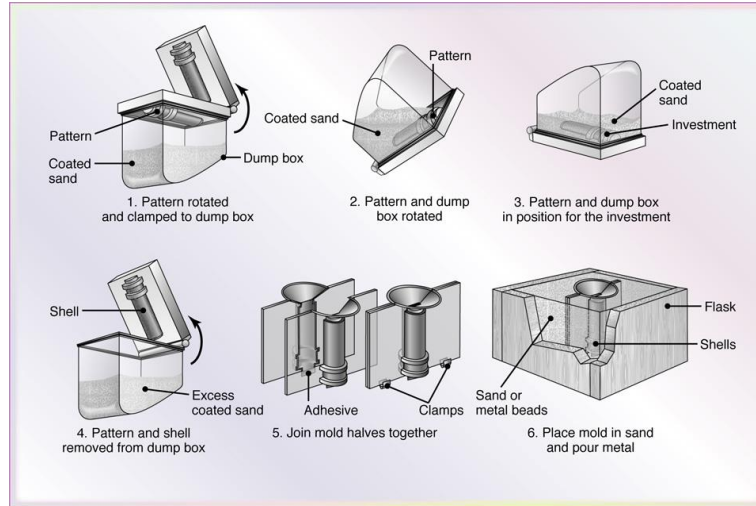


Figure 11.9 The shell-molding process, also called *dump-box* technique.

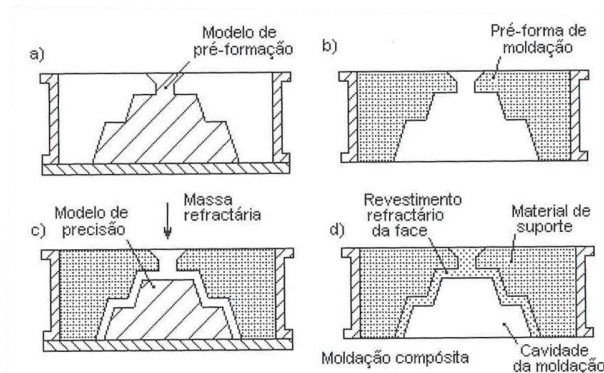
Manufacturing, Engineering & Technology, Fifth Edition, by Serope Kalpakjian and Steven R. Schmid.
ISBN 0-13-148965-8. © 2006 Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ. All rights reserved.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação em cerâmica

Utilização de materiais refratários – moldes utilizados no desenvolvimento de produtos que requeiram elevadas temperaturas de fabrico.

A mistura envolve ZrSiO_4 (Silicato de zircónio), óxidos de alumínio e sílica, que são aglomerados através de um agente ligante.



Sequence of Operations in Making a Ceramic Mold

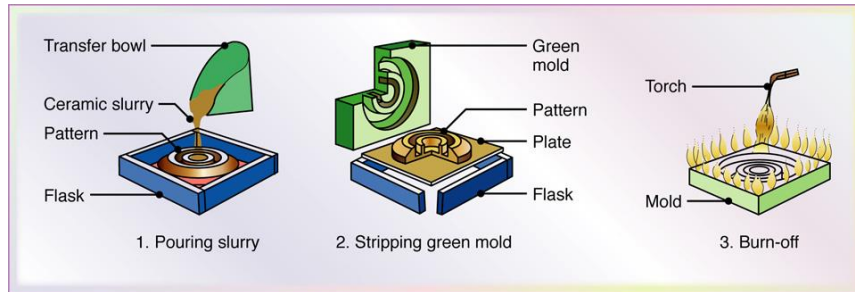


Figure 11.10 Sequence of operations in making a ceramic mold. Source: *Metals Handbook*, Vol. 5, 8th ed.

Manufacturing, Engineering & Technology, Fifth Edition, by Serope Kalpakjian and Steven R. Schmid.
ISBN 0-13-148965-8. © 2006 Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ. All rights reserved.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação com modelo evaporável (espumas de PS)

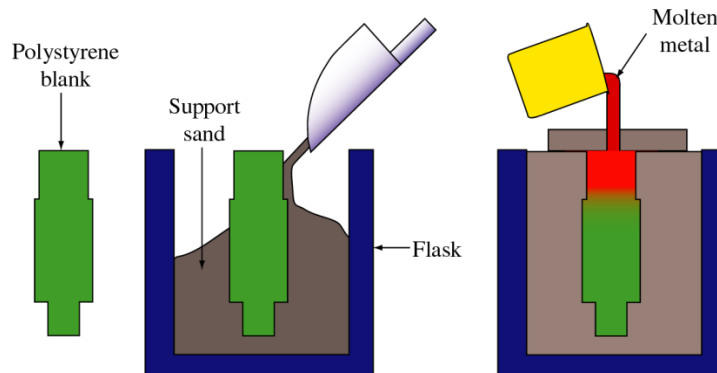
Existe um processo para produção de moldes perdidos onde se utiliza, como modelos, espumas de poliestireno (PS).

A espuma de poliestireno pode ser facilmente cortada, ou injectada em moldes metálicos e podem ser obtidos, com facilidade, modelos bastante complexos. A moldagem é conduzida do mesmo modo que no processo de fundição em areia, mas o modelo não é retirado, pois durante o vazamento o poliestireno vaporiza, sendo substituído pelo metal.

Existem grandes vantagens na produção de peças por este processo, permitindo a obtenção de formas complexas tanto internas como externas, incluindo peças de grandes dimensões (até 100kg).

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação com modelo evaporável (espumas de PS)



Expandable-Pattern Casting Process

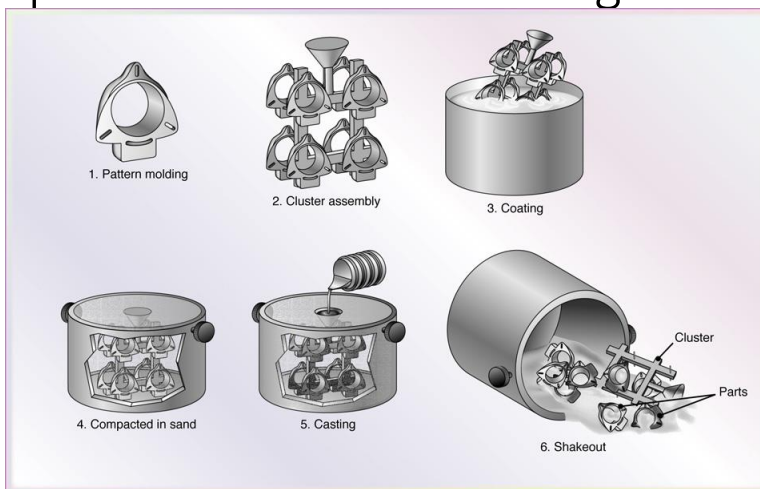


Figure 11.11 Schematic illustration of the expandable-pattern casting process, also known as lost-foam or evaporative casting.

Manufacturing, Engineering & Technology, Fifth Edition, by Serope Kalpakjian and Steven R. Schmid.
ISBN 0-13-148965-8. © 2006 Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ. All rights reserved.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação com modelo perdido (em cera perdida ou investment casting)

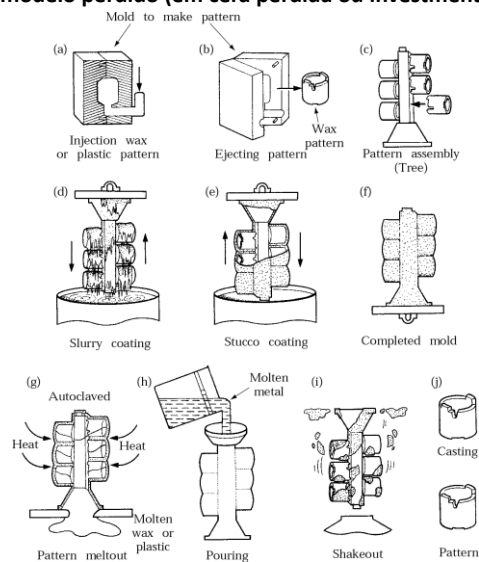
O processo de moldação com modelos perdidos também é conhecido por investment casting e é um dos processos de fundição de precisão mais comuns.

É produzido um par modelo/molde por cada peça que se pretenda produzir que são destruídos durante o processo.

Neste caso o modelo em cera é revestido por um material refratário (casca). A cera, que é refundida a 90-170°C, é reutilizada.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Moldação com modelo perdido (em cera perdida ou investment casting)



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Vazamento em coquilha

Quando se pretendem solidificações rápidas.

Fabrico em série.

Molde fabricado normalmente em aço ou ferro fundido (em alguns casos bronze, cobre, grafite, ou metais refratários) – materiais com elevada resistência à erosão e à fadiga térmica.

Molde com duas cavidades, devidamente alinhadas que quando fechadas formam a cavidade com a forma da peça pretendida. Depois da solidificação abre-se o molde e retira-se a peça (pode haver ejetores).

Processo utilizado para ligas de alumínio, magnésio, zinco, cobre e ferro fundido cinzento, normalmente não é utilizado para aços.

Produtos frequentes: pistões, cabeça dos cilindros, engrenagens.

Pode haver machos metálicos ou em areia (quando temos formas complexas).

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Vazamento em coquilha

Regra geral: objetos com peso inferior a 25 kg (mas é possível encontrar peças com mais de 100 kg!).

Peças com maior uniformidade

Para aumentar a longevidade do molde, as suas cavidades são revestidas com materiais refratários (ex. silicato de sódio + argila) ou com grafite. Estes revestimentos funcionam também como barreiras térmicas.

Temperaturas de operação do molde na ordem dos 150-200°C.

O processo industrial pode ser manual ou automático.

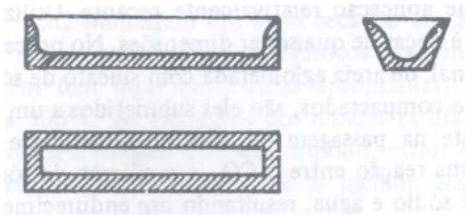
Equipamentos de custo elevado => elevadas produções

Este processo não é recomendado para produtos com formas muito intrincadas

Permite a obtenção de formas melhor definidas, o que implica menos operações de acabamento.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO**Molde metálico – Vazamento em coquilha****PROCESSOS DE FUNDIÇÃO****Molde metálico – Vazamento em coquilha**

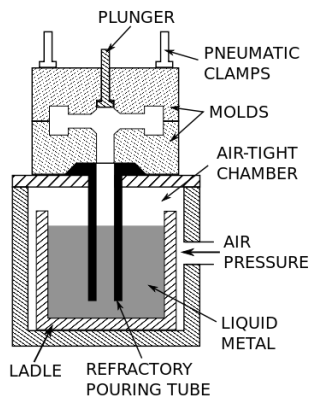
Um exemplo de fundição em molde permanente é a produção de lingotes, peças de forma regular para posterior processamento mecânico, facilitando o transporte e armazenamento.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição a baixa pressão

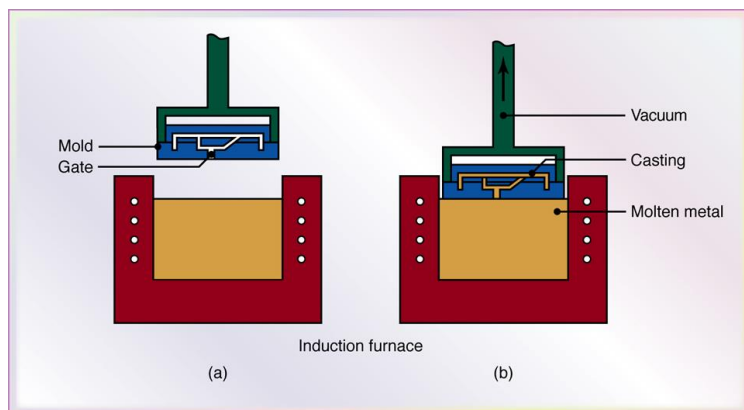
A moldação permanente é posicionada num dispositivo de fundição acima de uma câmara selada que contém metal fundido (forno de manutenção), um gito tubular desce até ao banho de metal em fusão, a câmara é pressurizada forçando o metal a subir.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

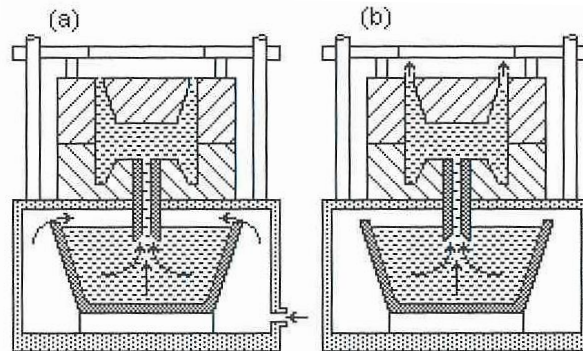
Molde metálico – Fundição a vácuo

Semelhante ao processo de baixa pressão mas o metal é puxado por vácuo em vez de empurrado.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Fundição a baixa pressão vs Fundição a vácuo



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada (sob pressão)

A fundição injetada consiste em forçar o metal líquido sob pressão (gás ou pistão) a penetrar na cavidade do molde, chamada matriz. Esta é metálica, de natureza permanente e usada inúmeras vezes.

A pressão é mantida até à solidificação do metal.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada

Vantagens do processo:

Produção de formas mais complexas que no caso da fundição por gravidade,

Produção de peças de paredes finas (até 0,5 mm) e com tolerâncias mais apertadas,

Alta capacidade de produção (até 1 peça por segundo),

Produção de peças praticamente acabadas,

Utilização da mesma matriz para milhares de peças, sem variações significativas nas dimensões das peças produzidas,

As peças podem ser tratadas superficialmente - revestimentos superficiais - com um mínimo de preparação,

Algumas ligas apresentam maiores resistências quando comparadas com a fundição em areia (Ex. Ligas de alumínio).

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada

Desvantagens do processo:

Dimensões das peças limitadas (Normal <5Kg; Max+/- 25Kg),

Pode haver dificuldades na evasão do ar retido no interior da matriz (principal causa do aparecimento de porosidades),

Equipamentos e acessórios de custo elevado,

Processo apenas usado para ligas com temperatura de fusão não superior às ligas de cobre.

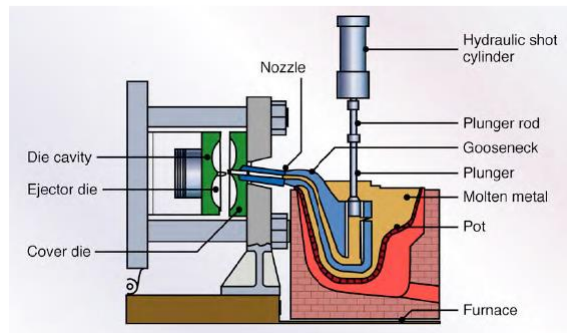
PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada em câmara quente

Quando o metal utilizado funde a uma temperatura baixa e não afeta o material do cilindro e pistão de injeção,

Peças desde vários gramas até cerca de 25Kg,

Capacidade de produção de 50 a 500 peças/hora.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada em câmara quente

Nas máquinas de câmara quente, a câmara de injeção encontra-se mergulhada no interior de um cadinho que contém o metal fundido (o cadinho funciona como forno de manutenção e não de fusão – o forno de fusão está fisicamente separado).

A pressão de injeção pode ser obtida por intermédio de um pistão – máquinas de câmara quente por pistão – ou diretamente pelo ar comprimido - máquinas de câmara quente por pressão direta.

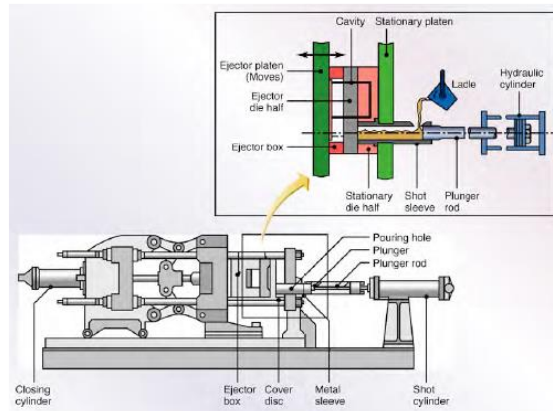
Trata-se de uma modalidade particularmente indicada para o vazamento das ligas de mais baixo ponto de fusão: **ligas de zinco, chumbo e estanho.**

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada em câmara fria

Quando o metal utilizado ataca o material do cilindro e do pistão de injeção e não pode ser colocado em contacto com o metal líquido,

Máquinas utilizadas para fundir sob pressão **ligas de alumínio, magnésio e cobre**.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição injetada em câmara fria

Nas máquinas de câmara fria, o dispositivo de injeção está separado do forno de fusão, obrigando à existência de um sistema independente de alimentação do metal à câmara de injeção, do tipo colher, manual ou mecanizada.

Com este tipo de máquinas há um menor tempo de contacto do metal com o equipamento, pelo que é possível injetar ligas de mais alto ponto de fusão: **ligas de alumínio, cobre e metais ferrosos**.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Comparação do processo molde metálico/molde em areia

Peças com maior uniformidade,
Melhor acabamento superficial,
Melhores tolerâncias dimensionais,
Melhores propriedades mecânicas
Peças limitadas a pequenas dimensões devido ao custo do molde,
Recomendado para grandes séries,
Não serve para todas as ligas,
Formas intrincadas aumentam o grau de complexidade do molde e são de difícil extração.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Molde metálico – Fundição por centrifugação

Como o nome indica, este processo consiste em vazar metal líquido num molde dotado de movimento de rotação, de modo a que a força centrífuga origine uma pressão que força o metal líquido contra a parede do molde, onde vai ocorrer a solidificação.

O enchimento da moldação faz-se junto ou pelo eixo de rotação.

O processo apresenta três modalidades:

Fundição centrífuga pura

Fundição semicentrífuga

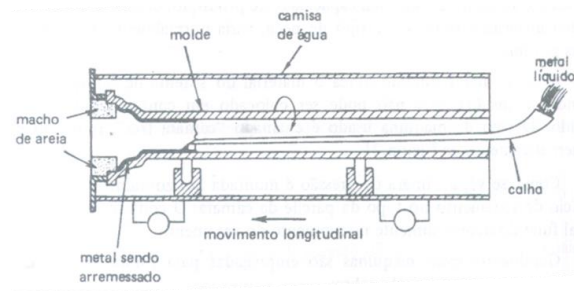
“Centrifuging” ou sob pressão devida à centrifugação

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Fundição centrífuga pura

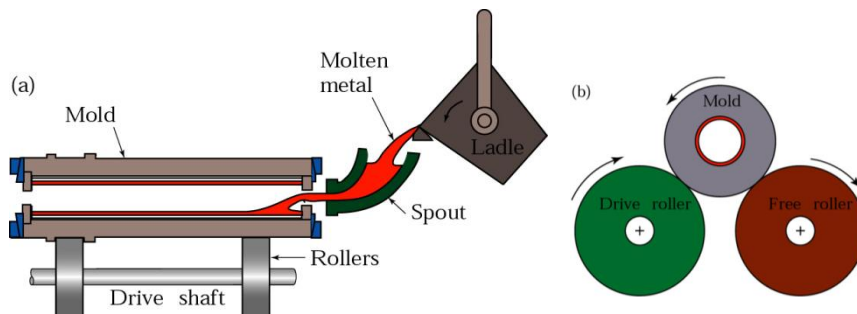
Na fundição centrífuga pura, o eixo da peça é o mesmo que o eixo de rotação, a forma da superfície da peça deriva da centrifugação e por isso é cilíndrica e a espessura da peça é determinada pela quantidade de metal vazado.

O movimento de rotação pode ocorrer em torno de um eixo horizontal ou de um eixo vertical. Esta técnica tem um vasto campo de aplicação, nomeadamente no fabrico de tubos de parede fina em ferro fundido cinzento, nodular, latão ou em aços especiais usado na indústria petroquímica.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Fundição centrífuga pura

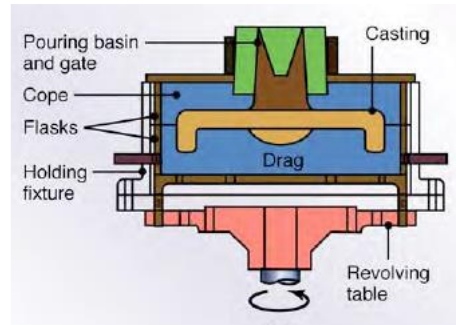


PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Fundição semicentrífuga

Na fundição semicentrífuga o único eixo de simetria da peça é também o eixo de rotação, a forma da peça é dada pela cavidade do molde e a centrifugação destina-se apenas a aumentar a pressão.

A pressão não é uniformemente aplicada a todo o metal solidificado, já que varia radialmente de atmosférica no centro a elevada nas pontas. Exemplo: rodas vazadas.

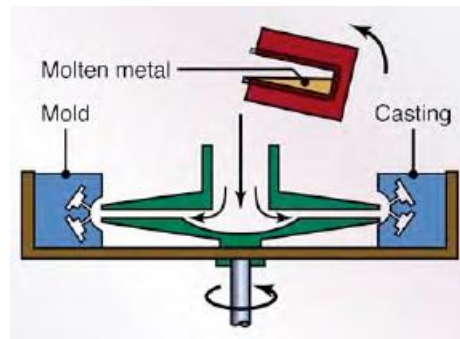


PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Fundição sob pressão devida à centrifugação

Na modalidade “Centrifuging” ou sob pressão devida à centrifugação, o eixo de rotação não coincide com o eixo de simetria da cavidade da moldação e é exterior à peça.

O metal é vazado num gito central, sendo obrigado a mudar de direção e a dirigir-se para a periferia, para assim, encher os moldes.



PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Comparação entre os vários processos de fundição

Process	Advantages	Limitations
Sand	Almost any metal cast; no limit to size, shape or weight; low tooling cost.	Some finishing required; somewhat coarse finish; wide tolerances.
Shell mold	Good dimensional accuracy and surface finish; high production rate.	Part size limited; expensive patterns and equipment required.
Expendable pattern	Most metals cast with no limit to size; complex shapes	Patterns have low strength and can be costly for low quantities
Plaster mold	Intricate shapes; good dimensional accuracy and finish; low porosity.	Limited to nonferrous metals; limited size and volume of production; mold making time relatively long.
Ceramic mold	Intricate shapes; close tolerance parts; good surface finish.	Limited size.
Investment	Intricate shapes; excellent surface finish and accuracy; almost any metal cast.	Part size limited; expensive patterns, molds, and labor.
Permanent mold	Good surface finish and dimensional accuracy; low porosity; high production rate.	High mold cost; limited shape and intricacy; not suitable for high-melting-point metals.
Die	Excellent dimensional accuracy and surface finish; high production rate.	Die cost is high; part size limited; usually limited to nonferrous metals; long lead time.
Centrifugal	Large cylindrical parts with good quality; high production rate.	Equipment is expensive; part shape limited.

PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Comparação entre os vários processos de fundição

Process	Typical materials cast	Weight (kg)		Typical surface finish (μm , R_a)	Porosity*	Shape complexity*	Dimensional accuracy*	Section thickness (mm)	
		Minimum	Maximum					Minimum	Maximum
Sand	All	0.05	No limit	5-25	4	1-2	3	3	No limit
Shell	All	0.05	100+	1-3	4	2-3	2	2	--
Expendable mold pattern	All	0.05	No limit	5-20	4	1	2	2	No limit
Plaster mold	Nonferrous (Al, Mg, Zn, Cu)	0.05	50+	1-2	3	1-2	2	1	--
Investment	All (High melting pt.)	0.005	100+	1-3	3	1	1	1	75
Permanent mold	All	0.5	300	2-3	2-3	3-4	1	2	50
Die	Nonferrous (Al, Mg, Zn, Cu)	<0.05	50	1-2	1-2	3-4	1	0.5	12
Centrifugal	All	--	5000+	2-10	1-2	3-4	3	2	100
*Relative rating: 1 best, 5 worst.									
Note: These ratings are only general; significant variations can occur, depending on the methods used.									

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Num projeto de fundição devem ser considerados aspetos relacionados com a **geometria da peça** e com as **características do processo de moldação**.

Etapas no projeto de peças obtidas por fundição:

- Projeto da peça com formas simples,
- Selecionar o processo de moldação adequado e o material,
- Projetar e executar o modelo e machos,
- Projetar e dimensionar o sistema de gitagem e de alimentação,
- Execução do molde,
- Fusão do metal,
- Vazamento no molde,
- Operações de acabamento,
- Controlo de qualidade.

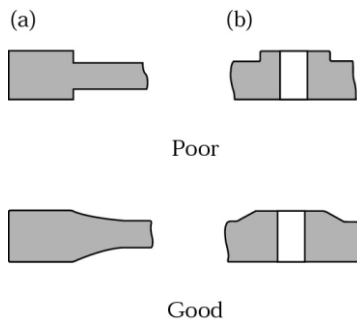
CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Cantos, ângulos e espessuras

Evitar pontos angulosos e arestas vivas que promovem o aparecimento de tensões causando fragilidades na peça.

Devem ser aplicados raios de concordância generosos (3 a 25mm), para evitar arestas vivas, se necessário o material em excesso pode ser removido após a fundição recorrendo a processos de maquinaria por arranque de apara.

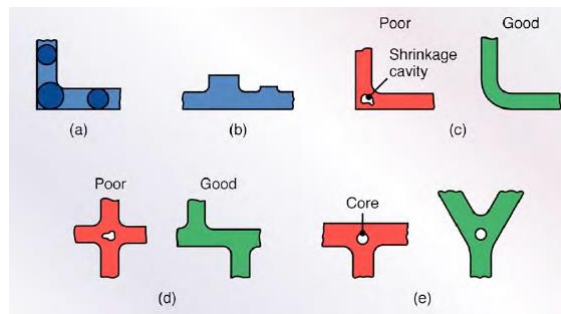


CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Cantos, ângulos e espessuras

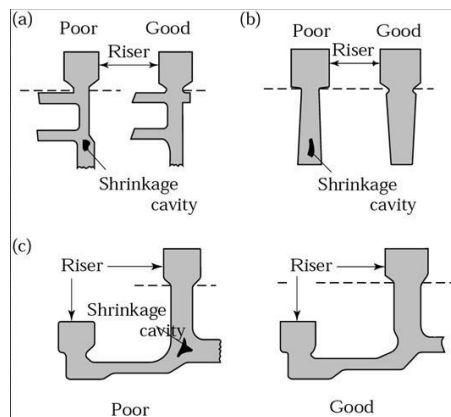
As mudanças de secção devem ser suaves e deve-se manter a espessura das paredes, para evitar o aparecimento de pontos quentes.



CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Cantos, ângulos e espessuras

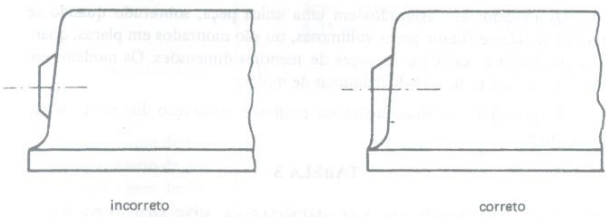


CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Evitar contra-saídas

Devem ser evitados rebaixos que dificultam a desmoldação (contra-saídas), ou implicam a utilização de machos.



CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Contração do material

Deve-se compensar a contração do metal ao solidificar e ao arrefecer.

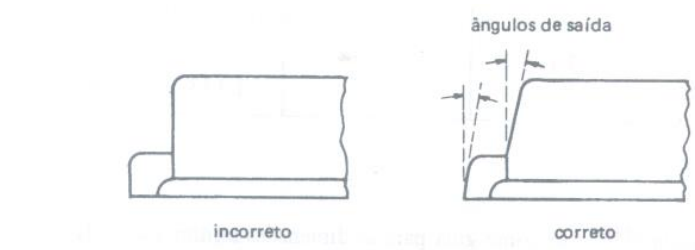
Ligas fundidas	Dimensão do modelo cm	Contração aproximada mm/cm
Ferro fundido cinzento	Até 60	0,1
	De 63,5 a 120	0,08
	Acima de 120	0,07
Aço fundido	Até 60	0,2
	De 63,5 a 183	0,15
	Acima de 183	0,13
Ferro maleável	—	0,01 a 0,10, dependendo da espessura da secção
Alumínio	Até 120	0,13
	De 124 a 183	0,12
	Acima de 183	0,10
Magnésio	Até 48	0,28
	Acima de 48	0,13
Latão	—	0,15
Bronze	—	0,1 a 0,2

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Ângulos de saída

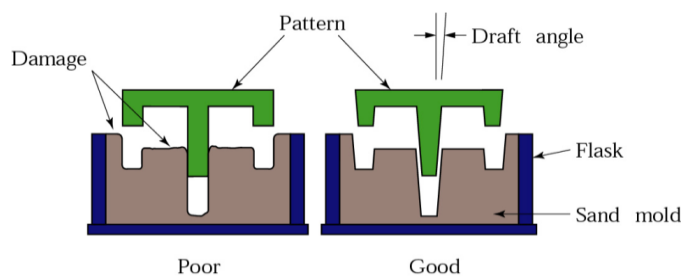
É necessário prever a existência de um ângulo de saída para facilitar a desmoldação (extração da peça) ou a remoção do modelo. Dependendo da geometria da peça este ângulo pode variar de $0,5^\circ$ a 3° .



CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Projeto da peça

Ângulos de saída

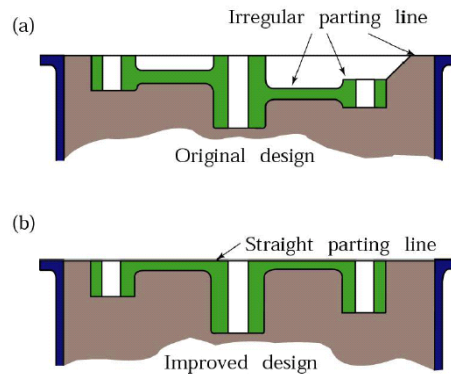


CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Parâmetros do processo de fundição

Definir o plano de apartação

Sempre que possível deve-se optar por um plano de apartação reto e horizontal em vez de uma superfície mais complexa.



CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Parâmetros do processo de fundição

Modelos

Os modelos são utilizados para dar a forma do fundido quando são utilizados moldes não permanentes. Esses modelos podem ser feitos de madeira, de plástico ou de metal. A seleção do material do modelo depende do tamanho, forma, tolerâncias e quantidade de peças a serem produzidas. Os modelos devem ser facilmente retirados dos moldes e devem ser de tamanho que compense as contrações térmicas decorrentes da solidificação.

Projeto do modelo:

Os modelos são executados, normalmente, em madeira.

Para produção em série quando se utiliza máquinas de moldar executam-se modelos em alumínio.

Os modelos podem ser uma peça única ou várias montadas em placas.

Volumes de produção baixos – Podem ser executados modelos simples em materiais pouco resistentes ao desgaste.

Volumes de produção elevados – Devem ser executados modelos que facilitem o processo e sejam resistentes ao desgaste.

CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Parâmetros do processo de fundição

Machos

Outros componentes importantes em fundição são os machos. Os machos são utilizados para preencher cavidades ou passagens da peça. O macho é colocado no molde antes do vazamento do metal líquido. Os machos, como os moldes, devem apresentar resistência, permeabilidade e devem ser quebradiços para poderem ser retirados com facilidade. Para se obter essas características, os machos são confeccionados a base de areia e aglomerados. Os machos são normalmente secos em estufa em temperaturas entre 150 e 250°C.

Na fundição por injeção são utilizados machos permanentes (metálicos).

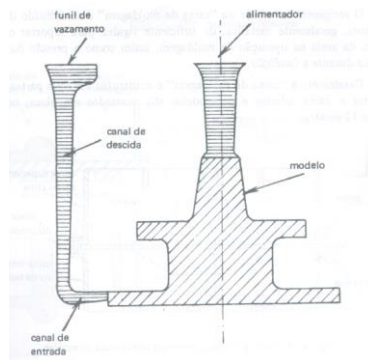
CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Parâmetros do processo de fundição

Sistema de gtagem

Estudar a localização e dimensionamento dos canais de vazamento e alimentadores.

O sistema de gtagem pode ser incluído no modelo.



CONSIDERAÇÕES DE PROJETO EM FUNDIÇÃO

Parâmetros do processo de fundição

Operações de acabamento

Depois da fundição são normalmente necessárias operações de acabamento para o corte do sistema de gragem, execução de detalhes como furos ou rosca e melhoria do acabamento superficial.

Um aspecto tão simples quanto a realização de um furo na peça aconselha que a zona de furação deve ser plana e de preferência tenha já uma pequena reentrância.

É necessário acrescentar sobreespessuras para maquinagem, quando é exigido uma tolerância dimensional, geométrica ou de acabamento superficial superior à do processo de fundição.