



A REVISTA  
DA FUNDIÇÃO

# fund

ANO I - N.º 8 - SÃO PAULO - BRASIL - OUTUBRO/1978



CARACTERÍSTICAS  
E FUNÇÕES DOS MASSALOTES

COMPORTAMENTO DO "PEEL-BACK"

A REVISTA DA FUNDIÇÃO

# CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS MASSALOTES

— EXPOSITOR: ALIRIO GERSON DA SILVA ABREU —  
 — TÉCNICO METALÚRGICO DO CENTRO DE FUNDIÇÃO —

## 1. Generalidades

### 1.1. Grau de saúde de uma peça

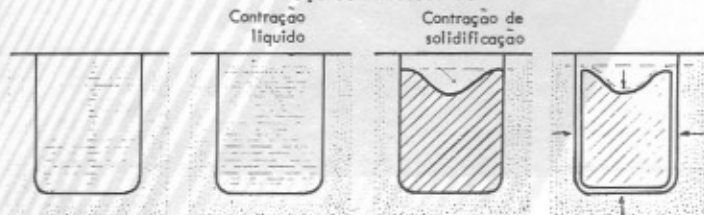
É muito importante definir primeiro as condições de recepção das peças, pois, a escolha do sistema de massalotes mais adequado depende dos resultados que se deseja obter. A perfeita saúde de todas as partes da peça é dispendiosa e nem sempre é necessária para a sua utilização.

Compreende-se que uma peça utilizada para o sistema de comando de avião exige um grau de saúde muito maior do que o de um contrapeso. Portanto, na maioria dos casos, a estrita aplicação das regras de determinação dos sistemas de massalotes deve razoavelmente limitar-se às partes da peça que se deve obter sãs.

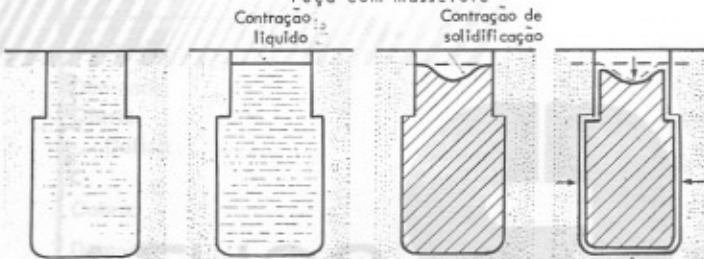
### 1.2. Resfriamento e Contração

Durante a sua solidificação no molde o metal sofre, sucessivamente, três reduções de volume (fig. 1):

— Peça sem massalote



— Peça com massalote



Metal líquido na cavidade

O metal inicia a solidificação

Metal solidificado

Ao resfriar o metal se desprende das paredes do molde.

- contração no estado líquido
- contração de solidificação que ocorre desde o aparecimento do primeiro cristal sólido até a solidificação da última gota de metal líquido
- contração no estado sólido, desde o fim da solidificação até a temperatura ambiente.

As duas primeiras contrações são mais ou menos compensadas por uma reserva de metal constituída fora da peça e que se chama **massalote**. Caso esta reserva não tenha sido prevista, formar-se-á um vazio (rechupe) na peça que está sendo fabricada (fig. 2).

A terceira contração provoca uma redução nas dimensões da peça a qual é compensada ao aumentar-se as dimensões do modelo.

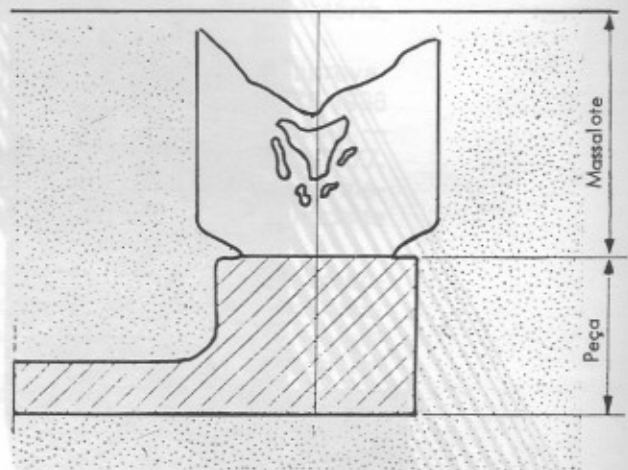


Fig. 2

Com relação ao fenômeno de contração, as ligas comuns repartem-se entre:

- a — metais puros e eutéticos puros
- b — ligas que não apresentam o eutético
- c — ligas que apresentam o eutético

Conforme o tipo de liga, o modo de solidificação varia interferindo na formação do rechupe.

- a — Metais puros e eutéticos puros (fig. 3)

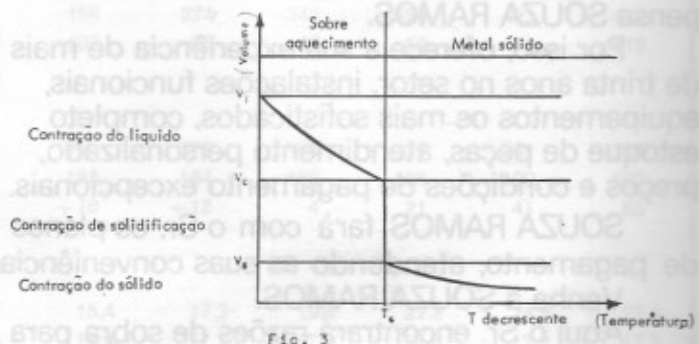


Fig. 3

Sob uma pressão determinada temos:

1. Um metal ou um eutético puro solidifica-se sempre à mesma temperatura.

$T_s$  = temperatura de solidificação

2. A temperatura  $T_s$  permanece constante durante todo o processo de solidificação.

Portanto o metal transforma-se diretamente de líquido em sólido, à temperatura constante, e no molde forma-se uma casca sensivelmente paralela às paredes do mesmo, composta de cristais sólidos e compactos (fig. 4).

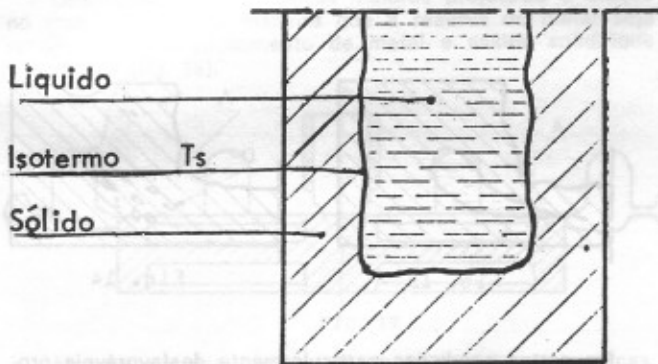


Fig. 4

A separação entre o líquido e o sólido é a superfície isotérmica à temperatura de solidificação  $T_s$  e o metal se solidifica por camadas finas.

**b — Ligas que não apresentam o eutético (fig. 5)**

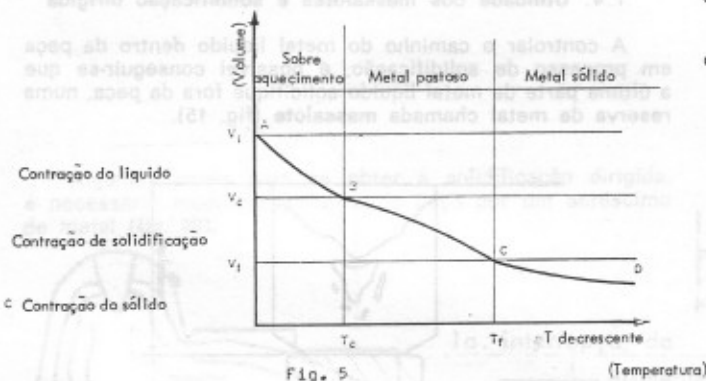


Fig. 5

Sob uma pressão determinada temos:

1. O primeiro cristal sólido aparece à uma temperatura:  $T_c$ .

$T_c$  = temperatura de início da solidificação

2. Quando a temperatura decresce, o número de cristais sólidos aumenta e a liga apresenta um aspecto cada vez mais pastoso.
3. A última gota de líquido desaparece à uma temperatura:  $T_f$ .

$T_f$  = temperatura do final de solidificação

4. A diferença entre a temperatura de começo da solidificação e a temperatura final de solidificação chama-se: **intervalo de solidificação**. Portanto:

$$T_c - T_f = \text{intervalo de solidificação}$$

5. Quando se varia a composição da liga, também variam:

$$T_c, T_f \text{ e } (T_c - T_f)$$

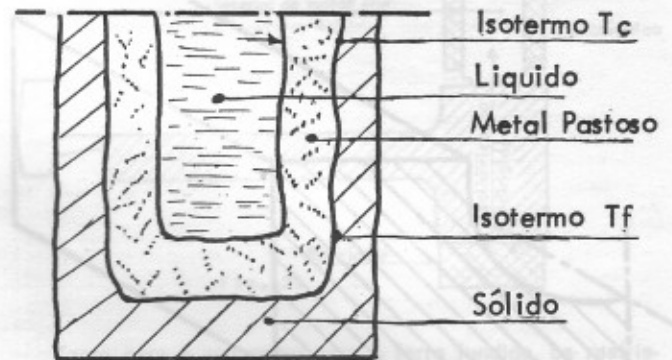


Fig. 6

Entre a parede do molde, onde a liga já está solidificada, e o centro, onde ainda não se iniciou a solidificação, coexiste uma zona pastosa delimitada por duas isotermas  $T_c$  e  $T_f$ . O metal se solidifica por camadas espessas (fig. 6).

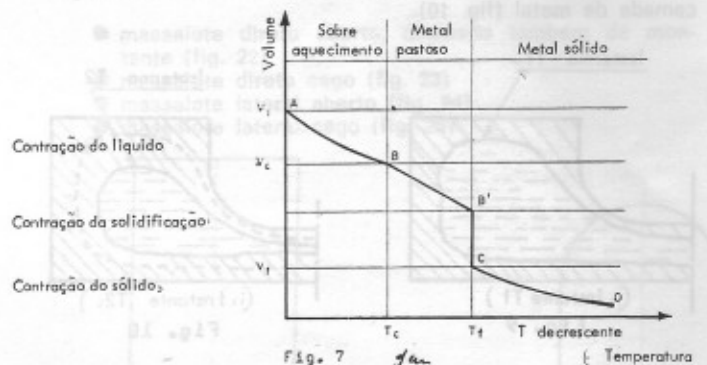


Fig. 7

**6. Ligas que apresentam o eutético (fig. 7)**

Sob uma pressão determinada temos:

1. O primeiro cristal sólido aparece à uma temperatura  $T_c$ .

$T_c$  = temperatura de início de solidificação

2. Quando a temperatura decresce o número de cristais sólidos aumenta e a liga tem um aspecto cada vez mais pastoso.
3. No ponto B' todo o resto do metal líquido solidifica-se à temperatura constante  $T_f$  que é a temperatura final de solidificação.
4. O intervalo de solidificação é igual a:

$$T_c - T_f$$

5. Quando se varia a composição da liga, também variam:  $T_c$ ,  $T_f$  e  $(T_c - T_f)$ .

Neste caso a formação da casca de metal ocorre dos dois modos anteriores, conforme a extensão do intervalo de solidificação.

**NOTA:**

- solidificação por camadas finas
  - solidificação por camadas espessas
- é bastante esquemática porém é suficiente para atender nosso objetivo: a determinação dos sistemas de massalotes e canais.

Estes fenômenos são, na realidade, muito mais complexos e, no caso de aplicações específicas, deverão ser estudados em maior profundidade.



### 1.3. Mecanismo de formação de rechupes

A figura 8 mostra a parte maciça de uma peça.

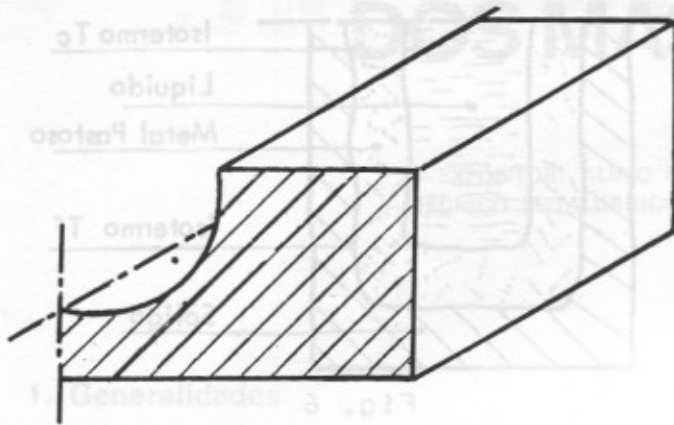
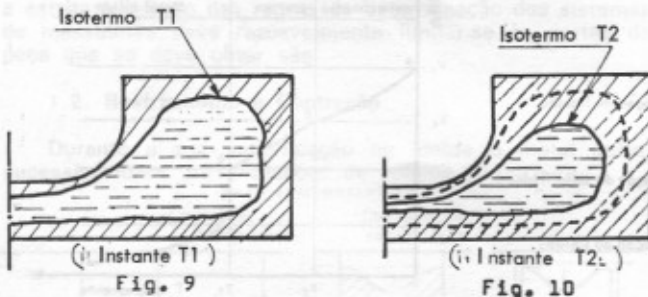


Fig. 8

Depois do vazamento, forma-se progressivamente uma casca de metal sólido cuja espessura varia por efeito dos ângulos.

No instante  $t_1$  a casca sólida é delimitada pela isoterma  $T_1$  (fig. 9).

No instante  $t_2$  a isoterma  $T_2$  mostra a forma da nova camada de metal (fig. 10).



Chega um momento em que a parte fina da peça termina sua solidificação e a isoterma  $T_2$  fecha-se no ponto N, sobre o volume V de metal ainda líquido que não pode ser alimentado por metal procedente de outra parte da peça.

No interior deste volume V isolado, o fenômeno de contração prossegue (fig. 11) e depois da solidificação completa, a massa de metal solidificado ocupa um volume  $V_1$ , inferior a V (volume da mesma massa de metal no estado líquido.)



Fig. 11

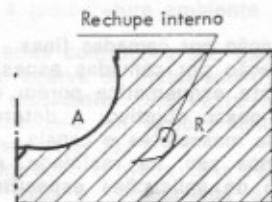


Fig. 12

Esta diminuição de volume pode ter várias consequências:

- Quando o efeito do ângulo A é pouco acentuado ou quando o metal sólido quente tem uma boa resistência mecânica, a diminuição de volume ( $V - V_1$ ) leva à formação do rechupe interno R (figura 12).
- O efeito do ângulo A é muito forte e o metal sólido quente tem pouca resistência mecânica; à medida que diminui o volume da massa de metal, um vazão tende a formar-se no interior da peça. Portanto, o efeito da pressão atmosférica deforma a parte de metal de menor espessura já solidificada, pois o efeito de ângulo reduz a velocidade de resfriamento (fig. 13).

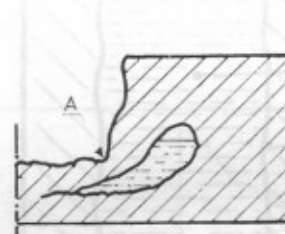


Fig. 13

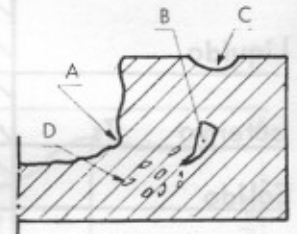


Fig. 14

Em certas condições particularmente desfavoráveis produzem-se os três tipos de rechupes

- rechupe externo no ângulo A
- rechupe externo superior C
- rechupe interno B.

Quase sempre microrechupes D acompanham o rechupe principal externo ou interno.

### 1.4. Utilidade dos massalotes e solidificação dirigida

A controlar o caminho do metal líquido dentro da peça em processo de solidificação, é possível conseguir-se que a última parte de metal líquido solidifique fora da peça, numa reserva de metal chamada massalote (fig. 15).



Fig. 15

Controla-se o caminho do metal líquido na peça, através da solidificação dirigida (fig. 16).

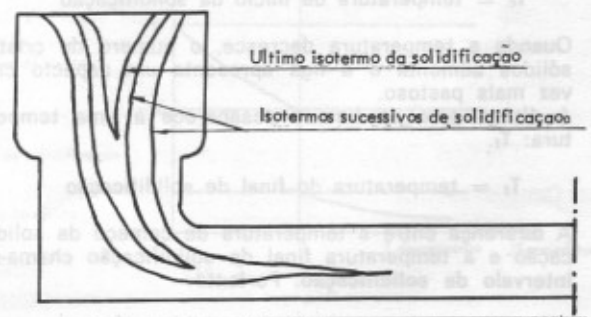


Fig. 16

No caso de pequenas peças, consegue-se a solidificação dirigida ao se projetar e localizar racionalmente os ataques. O canal de distribuição é calculado para conter reservas suficientes de metal (fig. 17).



Fig. 17

Quando se trata de peças maiores projeta-se o ataque no massalote de tal maneira que a reserva de metal seja reaquecida pelo escoamento de metal e assim, solidifique por último (fig. 18).

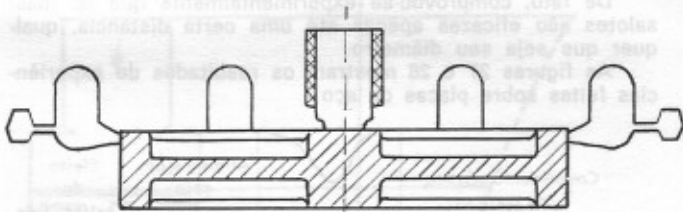


Fig. 19

Na maioria das peças, sobretudo nas peças maciças, além do sistema de canais, que ocasionalmente se utiliza para alimentar as partes finas, deve-se utilizar um sistema de alimentação constituído por um conjunto de massalotes (fig. 19).

Algumas vezes para se obter a solidificação dirigida, é necessário modificar a forma da peça por um acréscimo de metal (fig. 20).

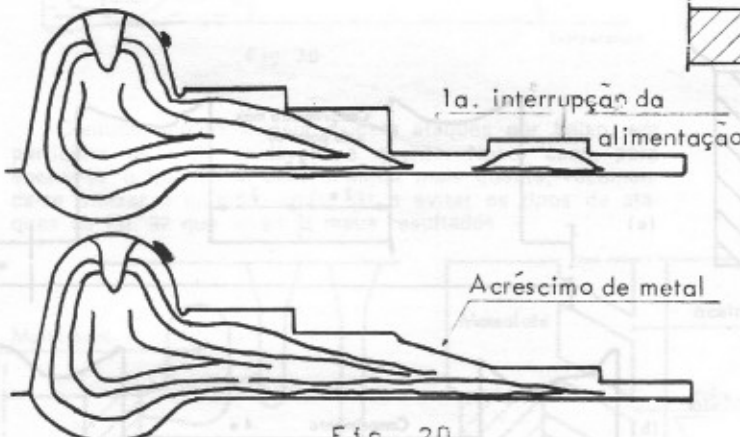


Fig. 20

Em certos casos recorre-se a artifícios para se obter a solidificação dirigida, tais como:

- resfriadores que aceleram a solidificação
- produtos exotérmicos que atrasam a solidificação

No caso das ligas que se solidificam por camadas finas (pequeno intervalo de solidificação) recomenda-se mais o sistema com ataque no massalote. É o caso do aço.

No caso de ligas que se solidificam por camadas espessas (grande intervalo de solidificação) recomenda-se o sistema com ataque no massalote sempre que for possível obter a solidificação dirigida em peças ou partes de peças

de formas simples. Quando a peça tem formas complexas é preferível utilizar o sistema da fig. 21. É o caso do ferro fundido de grafite lamelar.

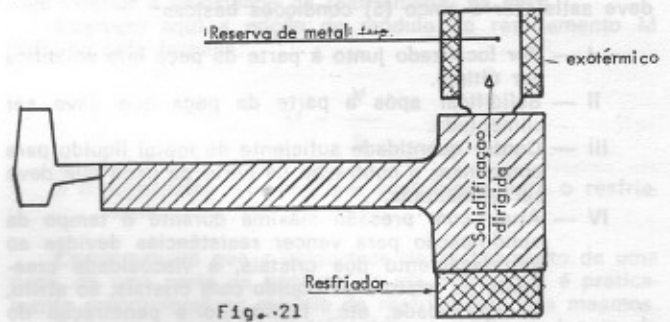


Fig. 21

Tanto para o aço como para o ferro fundido, os resfriadores e os produtos exotérmicos facilitam a obtenção da solidificação dirigida.

## 2. Tipos de massalotes

Os massalotes mais usados podem ser classificados da seguinte maneira:

- massalote direto aberto, chamado também de montante (fig. 22)
- massalote direto cego (fig. 23)
- massalote lateral aberto (fig. 24)
- massalote lateral cego (fig. 25)

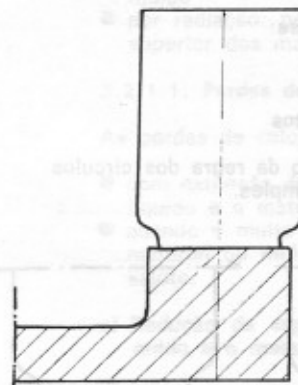


Fig. 22

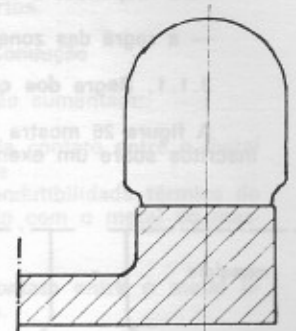


Fig. 23

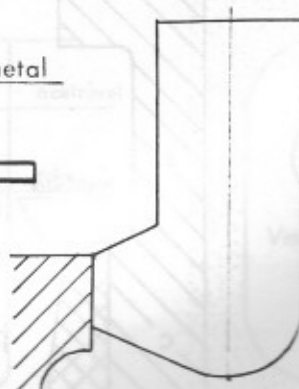


Fig. 24

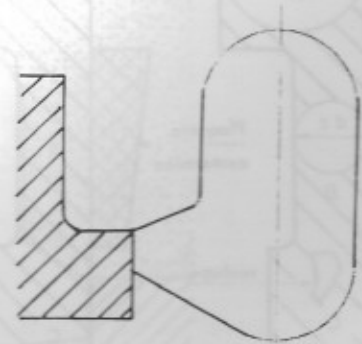


Fig. 25

### 3. Função do massalote

Para alimentar a peça de forma eficiente, o massalote deve satisfazer a cinco (5) condições básicas:

- I — Ser localizado junto à parte da peça que solidifica por último.
- II — Solidificar após a parte da peça que deve ser alimentada.
- III — Conter quantidade suficiente de metal líquido para compensar a contração da parte da peça que deve ser alimentada.
- IV — Atuar com pressão máxima durante o tempo da solidificação para vencer resistências devidas ao entrelaçamento dos cristais, à viscosidade crescente da mistura de líquido com cristais, ao atrito, à capilaridade, etc., facilitando a penetração do metal líquido nos rechupes em formação dentro da peça.
- V — Ter peso mínimo, com relação ao da peça, sem perder a eficácia, a fim de reduzir o custo da peça.

#### 3.1. O Massalote Deve Ser Localizado Junto à Parte da Peça que Solidifica Por Último

Para facilitar a localização dos massalotes deve-se responder às duas seguintes perguntas:

- quais são as partes da peça que se solidificam por último?
- qual é a zona de ação dos massalotes?

Para responder a primeira pergunta, temos dois métodos:

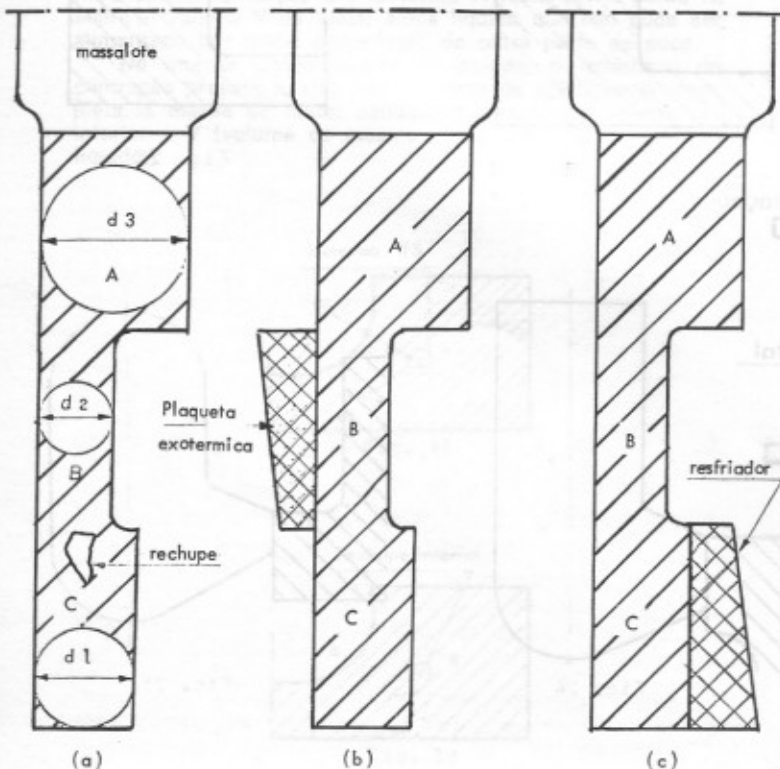
- o cálculo dos módulos parciais
- a regra dos círculos inscritos

Para responder a segunda aplica-se:

- a regra das zonas de ação.

##### 3.1.1. Regra dos círculos inscritos

A figura 26 mostra uma aplicação da regra dos círculos inscritos sobre um exemplo muito simples.



Comprovamos que  $d_3 > d_2$  e  $d_2 < d_1$ . Portanto a parte A da peça poderá alimentar a parte B, mas a parte B não poderá alimentar a parte C e um rechupe aparecerá nesta última parte.

Para dirigir a solidificação desde a extremidade C até o massalote M podemos:

- colocar uma plaqueta exotérmica para aquecer a parte B, mas de tal forma que a parte A permaneça solidificando depois da B.
- colocar um resfriador na parte C para que solidifique antes de B (mais fácil de realizar na prática).
- combinar os dois meios caso necessário.

#### 3.1.2. Zona de Ação dos Massalotes

Para determinar a localização dos massalotes deve-se responder igualmente a seguinte pergunta:

— Qual é a zona de ação dos massalotes?

De fato, comprovou-se experimentalmente que os massalotes são eficazes apenas até uma certa distância, qualquer que seja seu diâmetro.

As figuras 27 e 28 mostram os resultados de experiências feitas sobre placas de aço.

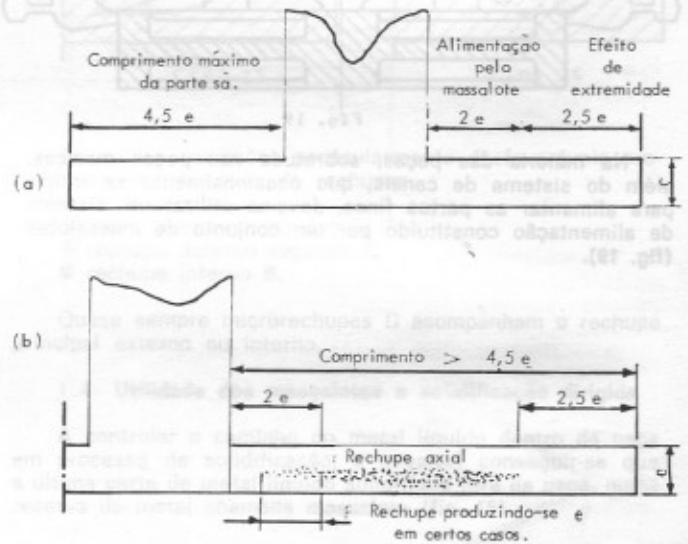


Fig. 27

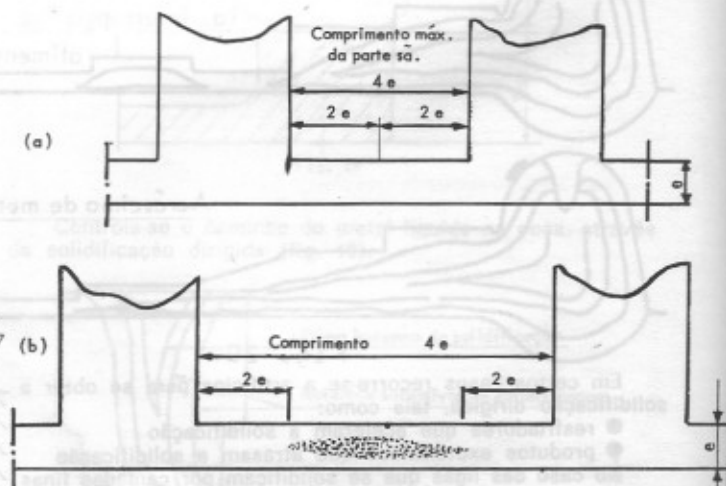


Fig. 28

Os casos (a) das figuras 27 e 28 mostram que a peça fica sã apenas na zona de ação do massalote.

Os casos (b) das figuras 27 e 28 mostram que fora da zona de ação formam-se rechupes axiais.



O comprimento da zona de ação em certos casos particulares é determinado por diagramas. Porém, este problema ainda não está completamente resolvido e algumas vezes o comprimento da zona da ação é determinado arbitrariamente ou empiricamente.

Aplicando a regra da zona de ação, calcula-se o número de massalotes necessários.

### 3.2. O massalote deve solidificar após a parte da peça que deve ser alimentada

Esta é a segunda exigência à qual deve satisfazer o massalote.

O meio mais lógico e natural para que os massalotes bem dimensionados solidifiquem por último é procurar enchê-los com o metal mais quente.

É óbvio que ao vazarse o metal diretamente pelo massalote, o mesmo ficará com o metal mais quente, ao final, do vazamento (fig. 29).

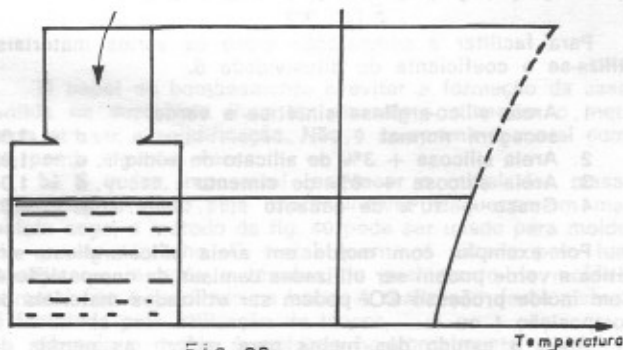


Fig. 29

Pelo contrário, ao vazarse pela parte inferior da cavidade, em fonte, é o massalote que vai receber o metal mais frio (fig. 30).

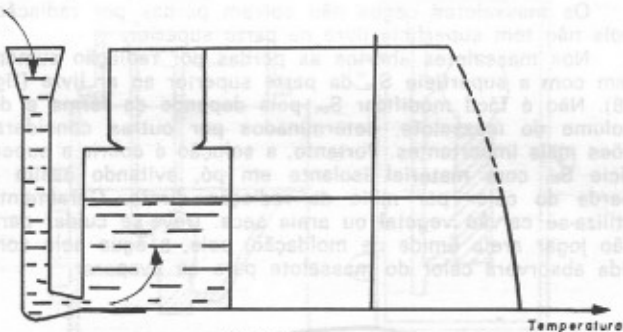


Fig. 30

Contudo, alguns metais exigem ataques por baixo, em particular os mais oxidáveis a quente. Neste caso, para encher-se o massalote com o metal mais quente, recomenda-se utilizar o método da fig. 31 e evitar os tipos de ataques da fig. 32 que levam a maus resultados.

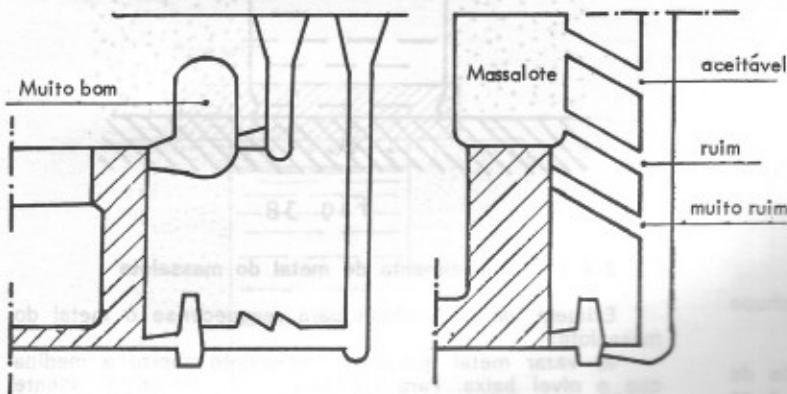


Fig. 31

Fig. 32

Porém, este meio será insuficiente se, por outro lado, a forma do massalote e o seu volume não forem determinados para que a velocidade de resfriamento do massalote seja inferior à velocidade de resfriamento da peça.

Intervém aqui a noção de módulo de resfriamento  $M$  definido pela fórmula:

$$M = \frac{V}{S}$$

$V$  = volume da peça

$S$  = superfícies da peça que contribuem para o resfriamento.

Comprovou-se que a velocidade de resfriamento de uma peça, de uma parte da peça ou de um massalote, é praticamente proporcional ao módulo de resfriamento dos mesmos.

Portanto, para que o massalote solidifique depois da peça, devemos verificar a relação:

$$\frac{V}{S} \text{ do massalote} > \frac{V}{S} \text{ da peça}$$

É, em parte, sobre esta relação que é baseado o cálculo dos massalotes.

Uma vez que o massalote bem dimensionado está cheio de metal o mais quente possível, procura-se não deixar perder, por condução e radiação, o calor acumulado. Quando as perdas de calor são grandes, deve-se utilizar meios para reaquecer o metal do massalote.

#### 3.2.1. Redução das Perdas de Calor

O metal do massalote resfria-se:

- por condução: através do contato com a parede do molde
- por radiação: pela superfície livre de metal na parte superior dos massalotes abertos.

##### 3.2.1.1. Perdas de Calor por Condução

As perdas de calor por condução aumentam:

- com extensão da superfície de contato entre o metal líquido e o material do molde
- quando é muito elevada a condutibilidade térmica do material do molde em contato com o metal do massalote.

#### a) Redução da superfície de contato entre o metal líquido e o material do molde.

##### 1.º Caso: Massalotes cegos

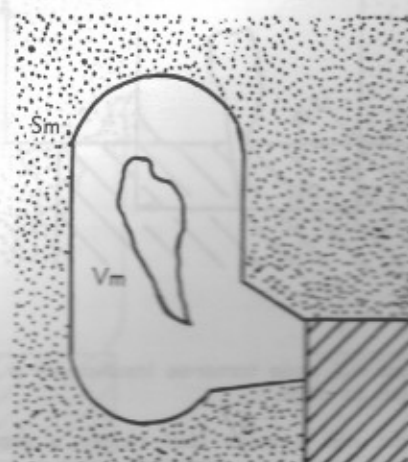
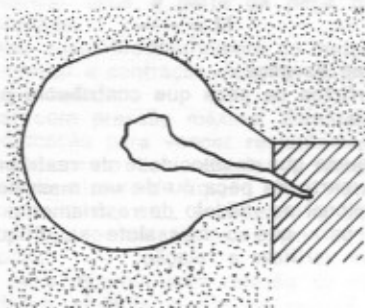


Fig. 33

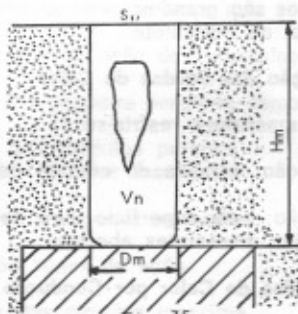
São completamente rodeados por areia. Para um massalote de volume  $V_m$  determinado, as perdas de calor são mínimas quando a superfície  $S_m$  em contato com a areia é também mínima (fig. 33).

Este resultado é conseguido com o massalote de forma esférica (fig. 34).



Porém este tipo de massalote é de altura insuficiente e muitas vezes o rechupe chega a penetrar na peça. Por essa razão prefere-se o massalote de forma cilíndrico-esférica da fig. 33.

## 2.º Caso: Massalotes abertos

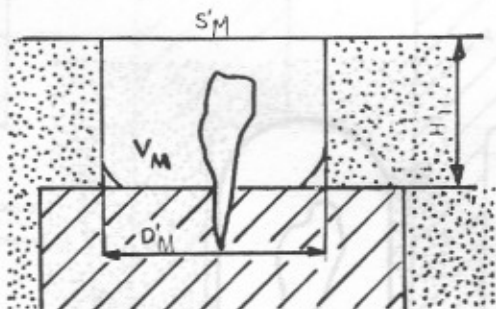


Para diminuir a superfície em contato com a areia, pode-se pensar em diminuir a altura  $H_m$  do massalote, porém:

- nem sempre é possível usar caixa mais baixa (fig. 35).

Se é possível:

- Para conservar o mesmo volume  $V_m$  de metal deve-se aumentar o diâmetro  $D_m$  do massalote e portanto a superfície  $S_m$  de perdas por radiação (fig. 36).



Também:

- A altura  $H'_m$  pode tornar-se insuficiente e o rechupe penetrar na peça.

Concluindo, não é muito fácil reduzir a superfície de contato entre a areia e o massalote, pois a forma e as dimensões do mesmo dependem de muitas considerações importantes.

## b — Redução da condutibilidade do material do molde

A solução é colocar ao redor do massalote uma camisa constituída por material de condutibilidade menor que a da areia do molde (fig. 37).

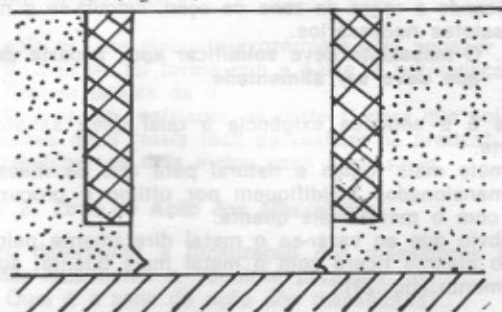


Fig. 37

Para facilitar a comparação entre os vários materiais, utiliza-se o coeficiente de difusividade  $d$ .

1. Areia sílico-argilosa sintética e verde socagem normal .....  $d = 1,00$
2. Areia silicosa + 3% de silicato de sódio ..  $d = 1,03$
3. Areia silicosa + 8% de cimento .....  $d = 1,04$
4. Gesso + 10% de amianto .....  $d = 0,65$

Por exemplo, com molde em areia sílico-argilosa sintética a verde podem ser utilizadas camisas de composição 4. Com molde processo  $CO_2$  podem ser utilizados materiais de composição 1 ou 4.

Após o estudo dos meios para reduzir as perdas de calor por condução, vamos ver como evitar as perdas de calor por radiação.

### 3.2.1.2. Perdas de calor por radiação

Os massalotes cegos não sofrem perdas por radiação, pois não têm superfície livre na parte superior.

Nos massalotes abertos as perdas por radiação aumentam com a superfície  $S_m$  da parte superior ao ar livre (fig. 38). Não é fácil modificar  $S_m$  pois depende da forma e do volume do massalote, determinados por outras considerações mais importantes. Portanto, a solução é cobrir a superfície  $S_m$  com material isolante em pó, evitando assim a perda do calor por meio da radiação direta. Geralmente utiliza-se carvão vegetal ou areia seca. Deve-se cuidar para não jogar areia úmida de moldação, pois, a água nela contida absorverá calor do massalote para se evaporar.

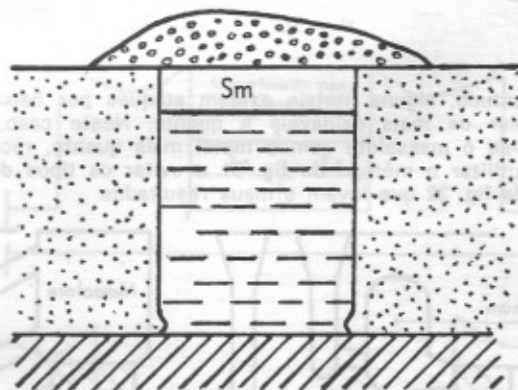


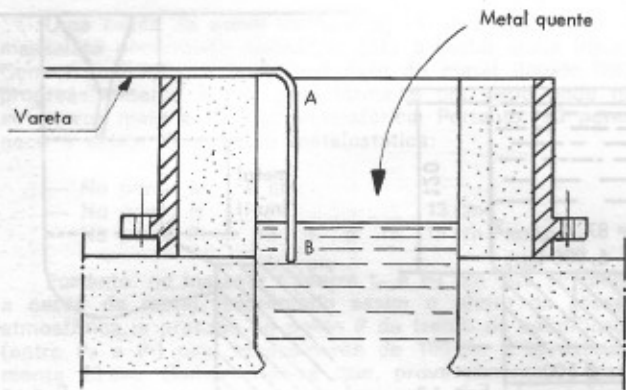
Fig. 38

### 3.2.2. Reaquecimento do metal do massalote

Existem vários métodos para reaquecer-se o metal do massalote:

- a) vaziar metal quente no massalote aberto à medida que o nível baixa. Para facilitar a ação do metal quente utiliza-se a operação que se chama bombeamento (fig. 39).





O papel do bombeamento é evitar a formação da casca sólida na superfície livre do massalote e mexer o metal para atrasar a solidificação. Não é comprimir o metal como se pensa algumas vezes.

b) É quase impossível reaquecer o metal dos massalotes cegos. Caso seja imprescindível reaquecer um massalote cego, o método da fig. 40 pode ser usado para moldes de grande tamanho. O metal quente é vazado pelo funil imediatamente após o término do enchimento do molde e o metal frio é recolhido na bacia. A realização deste sistema é facilitada pela utilização de isopor.

Quando o molde é moldado horizontalmente e enchido verticalmente em prensa (fig. 41), é fácil reaquecer o massalote. Deve-se cuidar para que o ataque de reaquecimento seja feito na parte superior do massalote.

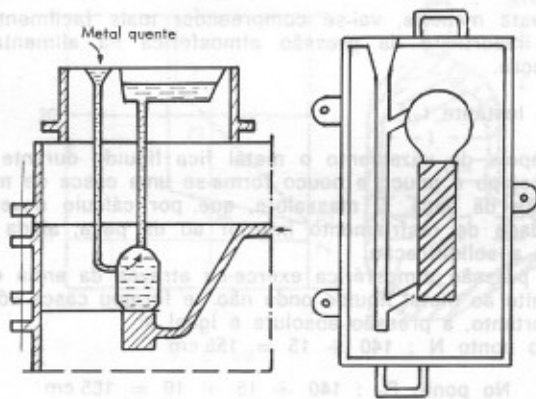


Fig. 40'

Fig. 41

c) No caso de metal com baixa temperatura de solidificação, colocar sobre o molde, por cima do massalote, uma placa de aço ou ferro fundido aquecido até o rubro. Por radiação, este material transmite calor ao metal do massalote (fig. 42).

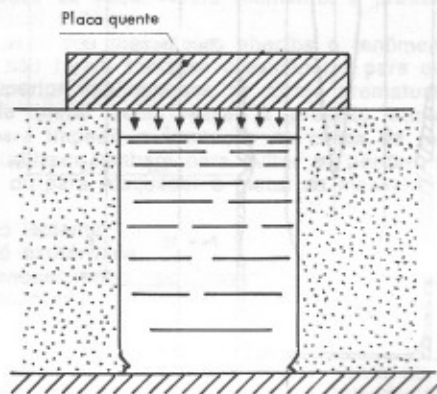


Fig. 42

d) Utilizar queimadores a gás ou de maçaricos oxi-acetilênicos. Também utilizam-se pequenos arcos elétricos, apenas para peças simples de aço que levam um ou dois massalotes volumosos. É o caso de cepos de martelo-pilão, de caixas ou cilindros de laminador cujos massalotes reaquecidos, por esse método, não chegam a pesar mais de 10% do peso da peça. Recomenda-se controlar a solidificação progressiva por sondagem com uma vareta de aço.

e) Utilizar produtos exotérmicos em forma de camisa para ceder calor à parede lateral do massalote, ou de pó exotérmico que reaquece a superfície superior além de impedir as perdas por radiação sendo que artificiais são, quase sempre, empregados simultaneamente (fig. 43). Deve-se cuidar para que a casca formada pelo pó exotérmico não se torne impermeável, pois assim atrapalhará o efeito da pressão atmosférica sobre o metal ainda líquido no interior do massalote.

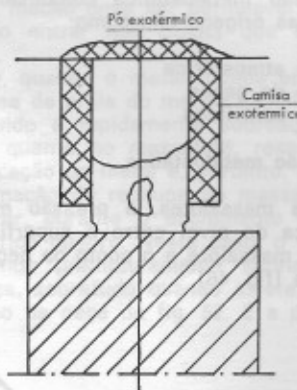


Fig. 43

### 3.3. O massalote deve conter quantidade suficiente de metal líquido

A quantidade de metal contida no massalote deve ser suficiente para compensar a diminuição do volume da peça, que é causada pela contração do metal quando em solidificação.

É outra importante regra do método de cálculo dos massalotes que se traduz pela relação:

$$\text{Volume do massalote} > \text{Volume do rechupe em formação na peça.}$$

Contudo, não basta dispor da quantidade suficiente de metal líquido no massalote, se por projeto errado do massalote e mais particularmente da seção de ligação, o metal não puder chegar até o lugar de formação do rechupe (figs. 44 e 45).

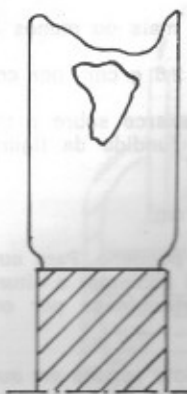


Fig. 44

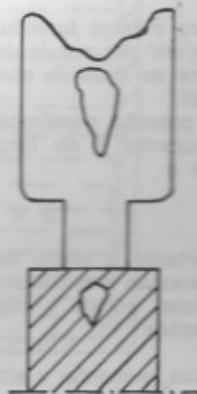


Fig. 45

### 3.4. O Massalote deve atuar com pressão máxima durante o tempo de solidificação

O metal que escorre do massalote para encher o rechupe em formação na peça deve vencer as resistências opostas:

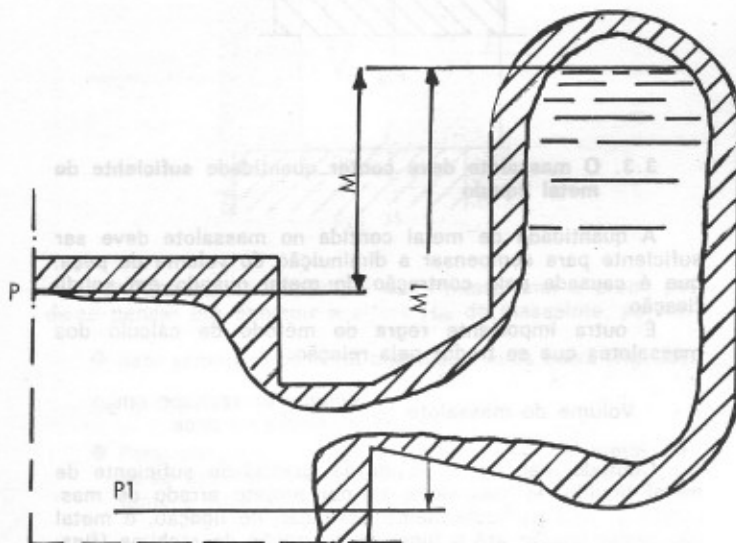
- pelas perdas de carga que sofre o metal líquido obrigado a seguir um caminho tortuoso entre os cristais em formação
- pelo atrito do líquido contra as paredes dos cristais cobertos de metal pastoso
- pela viscosidade do metal pastoso que vai aumentando com o resfriamento.
- pelos efeitos da capilaridade, etc.

Portanto, para vencer estas resistências, o metal líquido do massalote deve dispor de uma força de penetração que resulta da pressão metalostática combinada ou não com pressões de outras origens tais como:

- a pressão atmosférica
- a pressão de gases
- a pressão centrífuga

#### 3.4.1. Pressão metalostática

No caso dos massalotes, a pressão metalostática resulta da diferença de nível entre a superfície superior do metal contido no massalote e o ponto da peça onde se pode formar o rechupe (fig. 46).



Para o ferro fundido a pressão é mais ou menos igual a 7,3 g/cm<sup>2</sup> por cm de desnível.

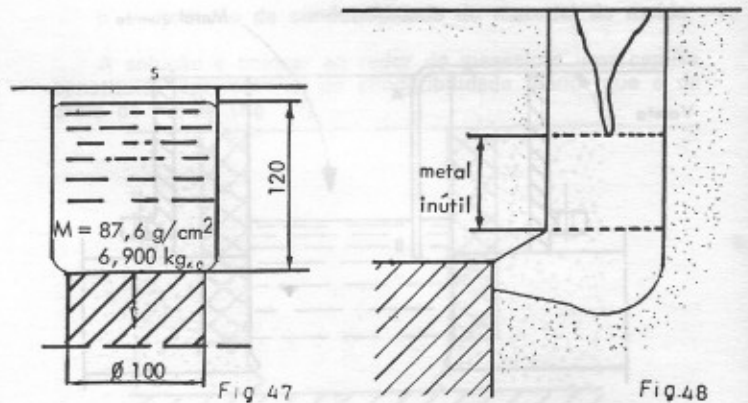
Para as ligas de alumínio apenas 2,6 g/cm<sup>2</sup>, por cm de desnível.

A pressão metalostática que se exerce sobre a superfície superior S do Tarugo em ferro fundido da figura 47 é igual a:

$$7,3 \times 12 = 87,6 \text{ g/cm}^2$$

Portanto, o efeito da gravidade é pequeno. Para aumentar a pressão metalostática dever-se-ia aumentar a altura do massalote, porém a mesma está determinada por outras implicações.

Aliás, aumentar a altura do massalote resulta em aumentar a proporção de retornos, sem compensação notável de crescimento da pressão metalostática (fig. 48).



#### 3.4.2. Pressão Atmosférica

##### Efeito da pressão

A pressão atmosférica é igual a 1.033 g/cm<sup>2</sup>. Expressa em altura de metal a pressão atmosférica corresponde a:

mercúrio	76 cm
ligas de cobre	130 cm
aço	140 cm
ferro fundido	150 cm
ligas de alumínio	375 cm
ligas de magnésio	680 cm

Comprova-se que o efeito de pressão atmosférica é muito maior do que o da pressão metalostática, sobretudo no caso de peças de pequena altura.

Tomando como exemplo o massalote direto cego, vamos estudar a variação da pressão absoluta que sofre o metal líquido (aço) à medida que a peça e o massalote solidificam (fig. 49).

Desta maneira, vai-se compreender mais facilmente o papel importante da pressão atmosférica na alimentação das peças.

— instante t<sub>0</sub>

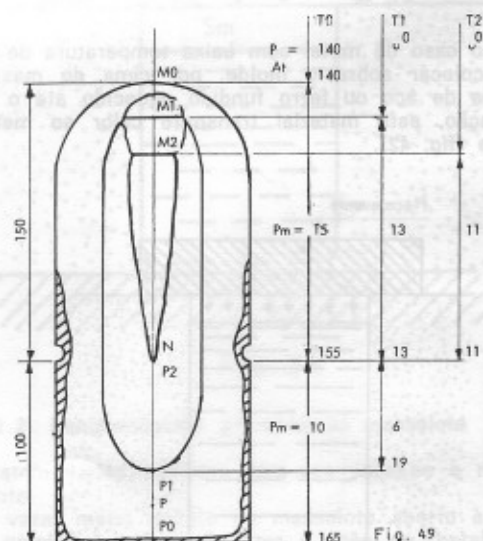
Depois do vazamento o metal fica líquido durante um certo tempo e pouco a pouco forma-se uma casca de metal ao redor da peça. O massalote, que por cálculo deve ter velocidade de resfriamento inferior ao da peça, ainda não iniciou a solidificação.

A pressão atmosférica exerce-se através da areia e se transmite ao metal líquido onde não se formou casca sólida.

Portanto, a pressão absoluta é igual a:

$$\text{No ponto N : } 140 + 15 = 155 \text{ cm}$$

$$\text{No ponto P}_0 : 140 + 15 + 10 = 165 \text{ cm}$$



— instante t<sub>1</sub>

Uma casca de metal se formou ao redor da peça e do massalote encerrando completamente o metal ainda líquido. Com a contração, a superfície livre do metal líquido baixa progressivamente e por cima forma-se um vazio onde não se exerce mais a pressão atmosférica. Portanto, só permanece o efeito da pressão metalostática:

- No ponto M: 0 cm
- No ponto N : 13 cm
- No ponto P: 13 + 6 = 19 cm

Portanto, no instante t (entre  $t_0$  e  $t_1$ ) em que se fechou a casca de metal, suprimindo assim o efeito da pressão atmosférica, a pressão no ponto P da frente de solidificação (entre  $P_0$  e  $P_1$ ) caiu bruscamente de 160 cm a aproximadamente 23 cm. Compreende-se que, provavelmente, a partir deste momento, se iniciou a formação de microrechupes (fig. 50).

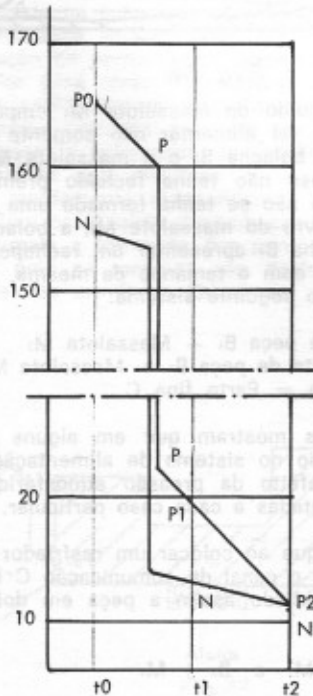


Fig. 50

— instante  $t_2$

A frente de solidificação prossegue seu caminho nas mesmas condições, com a pressão metalostática decrescendo à medida que aumenta a quantidade de metal sólido no interior do sistema.

Quando o ponto  $P_2$  junta-se com o ponto N termina a solidificação da peça. Neste momento, a pressão no ponto N/ $P_2$  é igual a 11 cm.

No caso dos massalotes abertos o fenômeno será análogo se não foram tomadas providências para evitar que na parte superior dos mesmos se forme prematuramente uma casca de metal impermeável à pressão atmosférica. Os meios para impedir a formação da casca de metal são os que se utilizam também para evitar as perdas de calor por radiação ou para reaquecer o metal do massalote:

- pó isolante
- pó exotérmico
- reaquecimento por metal quente, por arco ou por queimador
- bombeamento

No caso dos massalotes cegos utiliza-se um macho atmosférico (fig. 51), cujo papel é introduzir a pressão atmosférica na cavidade A em formação.

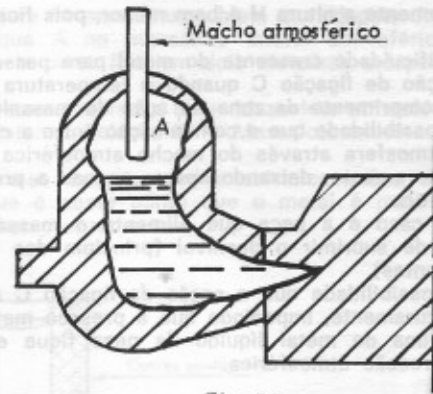


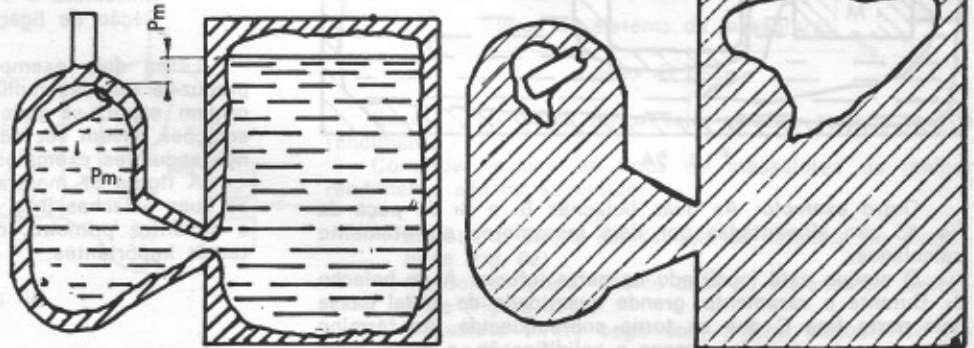
Fig. 51

Portanto, o macho deve ser permeável ao ar sem deixar o metal líquido entrar nos canais que existem entre os grãos de areia.

Além disso, quando o metal líquido enche o massalote, a pequena massa de areia do macho completamente rodeada pelo metal líquido é rapidamente sobreaquecida. O macho cria um ponto quente no massalote, reserva de calor que reduz a solidificação do metal e, portanto, é neste lugar que se inicia a formação do rechupe no massalote.

Pode ocorrer, durante o enchimento do molde, que o macho atmosférico quebre. Neste caso, o efeito da pressão atmosférica sendo prematuramente suprimido, forma-se o rechupe na peça, sobretudo quando existe um desnível metalostático como na peça da fig. 52. É a peça que alimenta o massalote.

Macho Quebrado



Teoricamente, um massalote atmosférico pode alimentar uma peça mais alta (fig. 53). A altura máxima H corresponde à altura de metal que equilibra a pressão atmosférica.

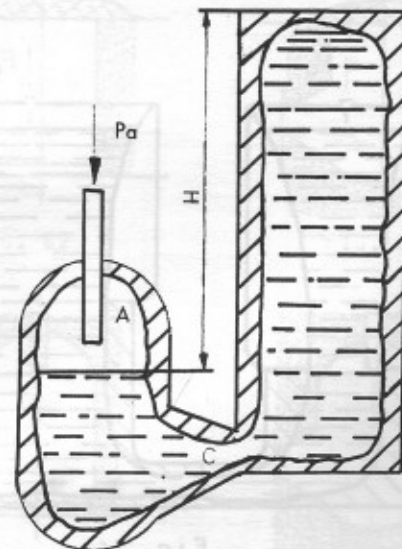


Fig. 53



Praticamente a altura H é bem menor, pois fica limitada:

- pela dificuldade crescente do metal para passar através da seção de ligação C quando a temperatura baixa.
- pelo comprimento da zona de ação do massalote.
- pela possibilidade que a comunicação entre a cavidade A e a atmosfera através do macho atmosférico se feche prematuramente, deixando operar apenas a pressão metalostática. Neste caso é a peça que alimenta o massalote para tratar de suprimir o desnível (princípio dos vasos comunicantes).
- pela possibilidade que a seção de ligação C solidifique prematuramente, impedindo que a pressão metalostática da coluna de metal líquido da peça fique equilibrada pela pressão atmosférica.

### 3.4.3. Sistemas desequilibrados

O fenômeno que se produz entre peça e massalote atmosférico pode também manifestar-se entre duas partes da mesma peça. É o caso da peça da fig. 54, na qual o macho M faz o papel de macho atmosférico, portanto o metal líquido da parte maciça A serve para alimentar a outra parte maciça B. Ao final da solidificação, a parte B poderá ser sã e a parte A terá um rechupe importante, apesar de que o módulo de resfriamento de B seja superior ao de A (módulo não corrigido por um coeficiente).

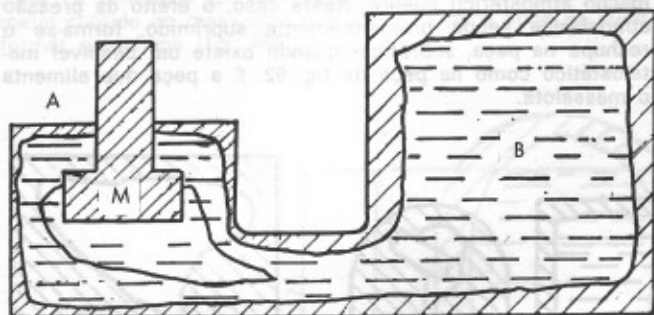


Fig. 54

Outro exemplo: As duas bolachas B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> da peça da fig. 55 são alimentadas por dois massalotes corretamente calculados.

O ataque está localizado na parte inferior A da bolacha B<sub>2</sub>. Durante o vazamento, grande quantidade de metal passa pela parte fina C que se torna sobreaquecida. Ao término do vazamento, quando começa a solidificação, o metal mais quente encontra-se na parte AC da peça e o mais frio nos massalotes M<sub>2</sub> e sobretudo M<sub>1</sub>.

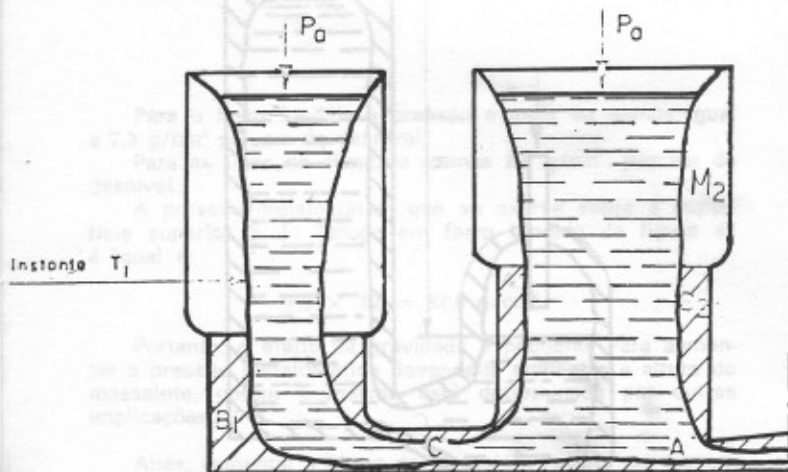


Fig. 55

Se não são tomadas providências para reaquecer o metal do massalote M<sub>1</sub>, depois de um certo tempo forma-se uma casca de metal na superfície D (fig. 56) ao passo que a superfície livre do metal líquido do massalote M<sub>2</sub> permanece em contato com a atmosfera.

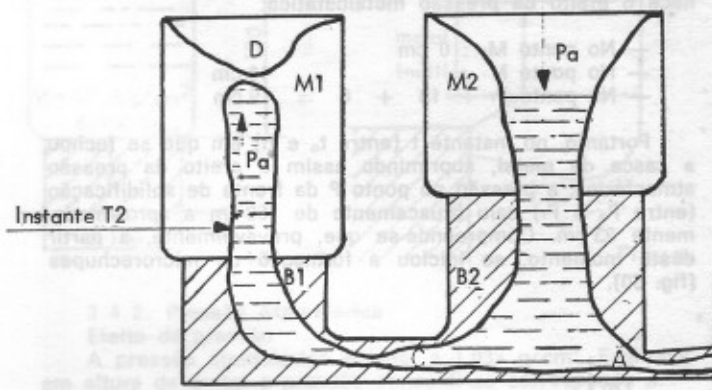


Fig. 56

Portanto, o metal líquido do massalote M<sub>2</sub> empurrado pela pressão atmosférica vai alimentar não somente a bolacha B<sub>2</sub>, mas também a bolacha B<sub>1</sub> e o massalote M<sub>1</sub>. Ao final da solidificação, caso não tenha fechado prematuramente o canal C ou caso não se tenha formado uma casca de metal na superfície livre do massalote M<sub>2</sub>, a bolacha B<sub>1</sub> poderia ser sã e a bolacha B<sub>2</sub> apresentar um rechupe volumoso, fora de proporção com o tamanho da mesma. Neste caso deve-se considerar o seguinte sistema:

Peça = Parte de peça B<sub>1</sub> + Massalote M<sub>1</sub>  
 Massalote = Parte de peça B<sub>2</sub> + Massalote M<sub>2</sub>  
 Seção de ligação = Parte fina C.

Esses dois exemplos mostram que em alguns casos produz-se um desequilíbrio no sistema de alimentação cuja origem explica-se pelo efeito da pressão atmosférica. As soluções devem ser adaptadas a cada caso particular, como nos seguintes exemplos:

A figura 57 mostra que ao colocar um resfriador entre as duas bolachas B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> o canal de comunicação C resfria e solidifica primeiro, dividindo assim a peça em dois sistemas importantes.

B<sub>1</sub> + M<sub>1</sub> e B<sub>2</sub> + M<sub>2</sub>

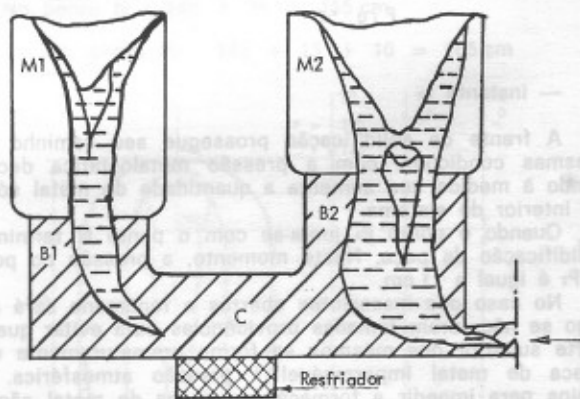
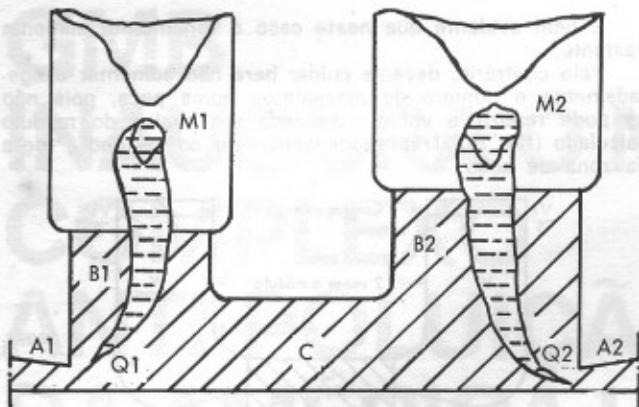


Fig. 57

Além disso, para impedir a formação de cascas na parte superior dos massalotes e conservar por mais tempo o efeito da pressão atmosférica sobre o metal líquido dos massalotes, recomenda-se colocar pó exotérmico logo após o vazamento.

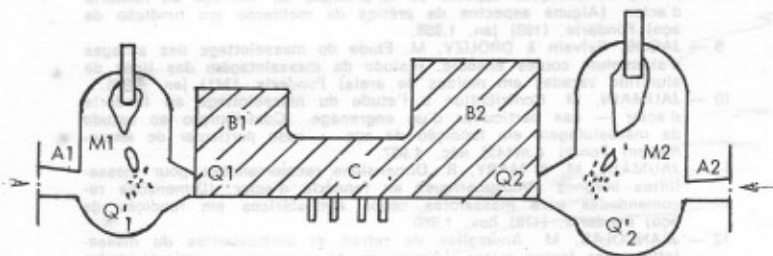
A figura 58 mostra que ao colocar dois ataques, A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, o canal C não é mais sobreaquecido. Portanto, é provável que a parte fina C vá solidificar primeiro, deixando assim dois sistemas independentes como no caso anterior.



Contudo, pela localização dos ataques os pontos mais quentes ao final do vazamento acham-se em Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>. Portanto, no caso em que cascas de metal formem-se prematuramente na superfície dos massalotes, somente a pressão metalostática atuando pode ser insuficiente para impedir a formação de porosidades esponjosas nos pontos Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub>.

Por essa razão é preferível a solução da fig. 59, com um massalote lateral atmosférico alimentando cada bolacha. As aletas cortadas na areia por debaixo da parte fina C aumentam a velocidade de solidificação neste ponto a fim de que os dois sistemas (B<sub>1</sub> + M<sub>1</sub>) e (B<sub>2</sub> + M<sub>2</sub>) fiquem mais rapidamente independentes.

Com os ataques desembocando nos massalotes, não se teme mais a formação dos pontos quentes em Q<sub>1</sub> e Q<sub>2</sub> na peça, pois os mesmos são deslocados para o fundo dos massalotes em Q<sub>1</sub>' e Q<sub>2</sub>'.



Aletas  
Fig. 59

A fig. 60 mostra outra solução para a mesma peça, a fim de poupar um massalote e reduzir, por consequência, o peso do sistema de canais.

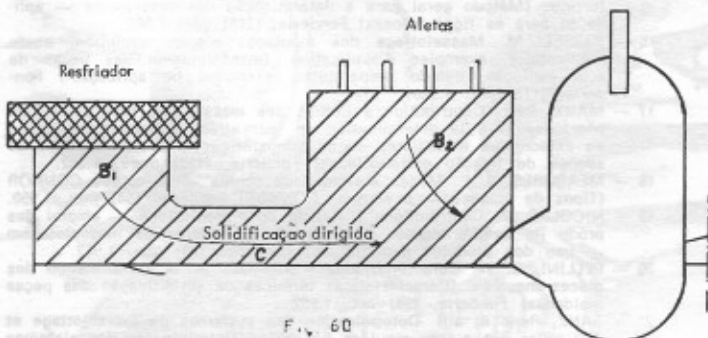
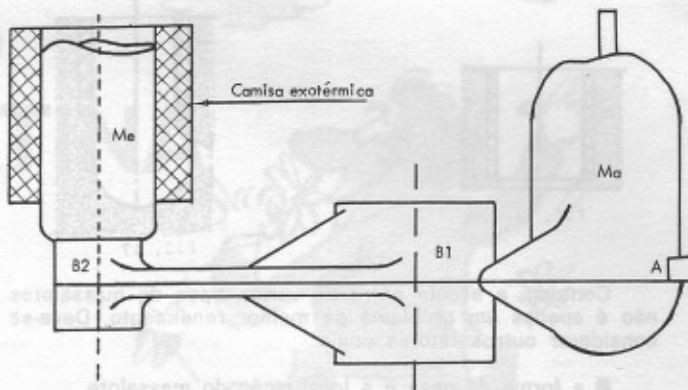


Fig. 60

A figura 61 mostra uma biela que, depois do vazamento pelo ataque A no massalote lateral atmosférico M<sub>a</sub>, fica partido pela parte fina em dois sistemas independentes:

- 1.º sistema: Bolacha B<sub>1</sub> + Massalote atmosférico M<sub>a</sub>
- 2.º sistema: Bolacha B<sub>2</sub> + Massalote exotérmico M<sub>e</sub>

Coloca-se uma camisa exotérmica sobre o massalote M<sub>e</sub> porque é neste ponto que o metal é mais frio depois de terminar o vazamento.



### 3.5. O massalote deve ter o peso mínimo relativamente ao da peça

A proporção de retornos é calculada pela relação:

$$R_m = \frac{\text{Peso do sistema de massalotes}}{\text{peso da peça}} \%$$

Quanto mais baixo for o valor de R<sub>m</sub>, melhor será o rendimento.

Comprova-se que os tipos de massalotes de melhor rendimento são os seguintes:

- massalote direto aberto com pó isolante ou exotérmico (fig. 62)
- massalote lateral aberto com pó isolante ou exotérmico (figura 63)
- massalote direto cego com macho atmosférico (figura 64)
- massalote lateral cego com macho atmosférico (figura 65)



FIG. 62

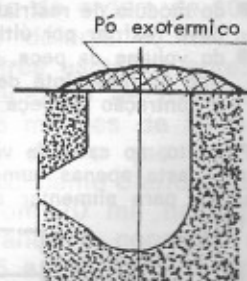


FIG. 63



FIG; 64

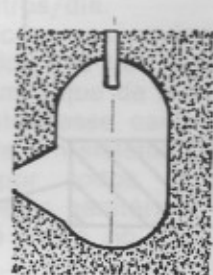


FIG. 65



A diferença entre os massalotes cegos e os abertos é que a altura dos primeiros é independente da altura da caixa, enquanto a altura do segundo pode variar muito com a altura da caixa e, portanto, o volume e o rendimento variam também.

Outro tipo de grande rendimento é o massalote aberto direto ou lateral com camisa exotérmica (fig. 66 e 67). Porém, neste caso intervêm fatores com relação ao preço de custo para avaliar o rendimento global dos massalotes exotérmicos, pois os custos dos produtos exotérmicos e a fabricação de camisas são bastante elevados.

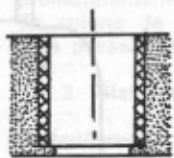


FIG. 66



FIG. 67

Contudo, a escolha entre os vários tipos de massalotes não é apenas um problema de melhor rendimento. Deve-se considerar outros fatores como:

- a forma da peça e a localização do massalote
- o tipo de metal
- a forma e as dimensões das calças.

Deve-se ressaltar também a vantagem dos massalotes laterais para alimentar várias peças com um só massalote (fig. 68).

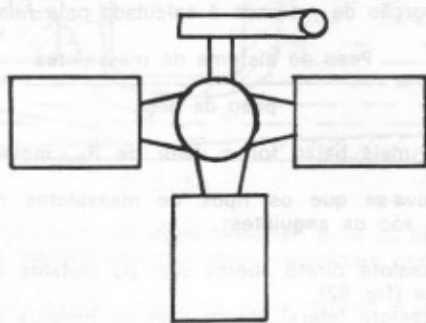


Fig. 68

Sabemos que o volume do massalote depende:

- do módulo de resfriamento da peça, pois o massalote deve resfriar por último
- do volume da peça, pois a quantidade de metal contido no massalote deve ser suficiente para alimentar a contração da peça.

Portanto, no caso de várias peças idênticas de mesmo módulo, basta apenas aumentar ligeiramente o volume do massalote para alimentar a contração de todas as peças (fig. 69).

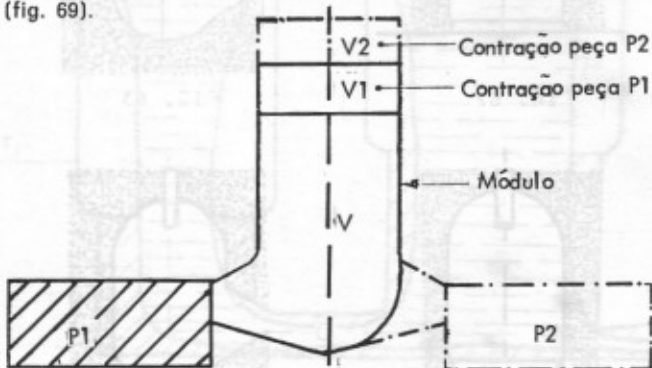


Fig. 69

É bem evidente que neste caso o rendimento aumenta bastante.

Pelo contrário, deve-se cuidar para não aumentar exageradamente o número de massalotes numa peça, pois não se pode reduzir o volume de cada um abaixo do módulo calculado (fig. 70). Trata-se de aproveitar ao máximo a regra da zona de aço.



Fig. 70

#### BIBLIOGRAFIA

- 1 — BISHOP, HF et alii. Méthode simplifiée de calcul des masselottes. (Método simplificado de cálculo dos massalotes) Fonderie, (127) aout 1.956.
- 2 — BORGUE, Jean le. & MAILLOT, A. Realisations des pièces de hautes qualités en acier moulé. (Realização de peças de alta qualidade em aço) Fonderie, (230) avr. 1.965.
- 3 — BOUSSARD, F. L'action combinée du retrait et de la pression atmosphérique dans la formation de défauts de fonderie. (Ação combinada da contração e da pressão atmosférica na formação dos defeitos de fundição) Fonderie, (168) jan. 1.960.
- 4 — BRETON, H. le. Défauts des pièces de fonderie. (Defeito das peças de fundição) Paris, Eyrolles, 1.956. v. 1.
- 5 — BRINSON, S. W. & DUMA, J. A. Masselottes à étranglement pour l'acier moulé pouvant se casser au marteau. (Massalotes com seção de ligação estrangulada para o aço) Fonderie, (39) mars 1.949.
- 6 — DROUZI, M. Masselottes calorifugées appliquées à l'aluminium coulé en coquille. (Massalotes calorífugos para ligas de alumínio vazadas em coquilhas) Fonderie, (235) déc. 1.965.
- 7 — GELAIN, J. Quelques remarques sur les masselottes borgnes et, en particulier, sur les masselottes borgnes atmosphériques. (Estudo sobre os massalotes cegos e mais particularmente os massalotes atmosféricos) Fonderie, (82) nov. 1.952.
- 8 — HART, H. Quelques aspects de la pratique du moulage en fonderie d'acier. (Alguns aspectos da prática da moldagem em fundição de aço) Fonderie, (120) jan. 1.956.
- 9 — JACOB, Sylvain & DROUZY, M. Etude du masselottage des alliages d'aluminium coulés ensable. (Estudo da massalotagem das ligas de alumínio vazadas em moldes de areia) Fonderie, (341) jan. 1.975.
- 10 — JAUMAIN, M. Contribution à l'étude du masselottage en fonderie d'acier — cas particulier d'un engrenage. (Contribuição ao estudo da massalotagem em fundição de aço — caso particular de engrenagem) Fonderie, (143) déc. 1.957.
- 11 — JAUMAIN, M. & MARY, R. Dimensions recommandées pour masselottes borgnes atmosphériques en fonderie d'acier. (Dimensões recomendadas para massalotes cegos atmosféricos em fundição de aço) Fonderie, (178) nov. 1.960.
- 12 — JEANCOLAS, M. Anomalies de retrait et particularités du masselottage des fontes grises. (Anomalias de contração e particularidades de massalotagem das peças em ferro fundido cinzento) Fonderie, (20) déc. 1.962.
- 13 — ——— Données générales sur le masselottage des pièces moulées ensable — règles pratiques pour le calcul des masselottes. (dados gerais sobre a massalotagem das peças moldadas em areia — regras práticas para o cálculo de massalotes) Fonderie, (181) fév. 1.961.
- 14 — JEANCOLAS, M. & DEVAUX, H. Les mouvements de parois d'empreinte en sable — incidences sur la précision dimensionnelle et la santé des pièces moulées. (Os movimentos das paredes dos moldes em areia-repercussão sobre a precisão dimensional e a qualidade das peças moldadas) Fonderie, (292) juil. 1.970.
- 15 — JEANCOLAS, M. & VIROLLE, Xavier. Méthode générale pour la détermination des masselottes — application aux cas des alliages ferreux. (Método geral para a determinação dos massalotes — aplicação para as ligas ferrosas) Fonderie, (215) déc. 1.963.
- 16 — JOSSET, M. Masselottage des moulages d'acier evolution, étude préparatoire, exemples d'application. (massalotagem das peças de aço: evolução, estudo preparatório, exemplos de aplicação.) Fonderie, (115) jan. 1.955.
- 17 — MARY, Bert. Contribution à l'étude des masselottes borgnes atmosphériques et à la détermination de leur étranglement. (Contribuição ao estudo dos massalotes cegos atmosféricos e a determinação de seções de ligação estranguladas) Fonderie, (193) mars. 1.962.
- 18 — MEASURES, J. F. Modes d'attaque de coulées — la coulée CONNOR (Tipos de ataques — o sistema CONNOR) Fonderie, (54) juin. 1.950.
- 19 — NICOLAS, P. Contributions à l'étude du masselottage — emploi des produits exothermiques. (Contribuição ao estudo da massalotagem — uso dos produtos exotérmicos) Fonderie, (95) nov. 1.952.
- 20 — PELLINI, S. W. Caractéristiques thermiques de la solidification des pièces moulées. (Características térmicas da solidificação das peças moldadas) Fonderie, (94) oct. 1.952.
- 21 — SANZ, René et alii. Détermination des systèmes de masselottage et d'attaques des pièces moulées en sable. (Determinação dos sistemas de canais e massalotes das peças moldadas em areia) Fonderie, (298) fév. 1.971.
- 22 — SKINNER, A. & RUDDLER, R. W. Isolement thermique des masselottes pour la coulée en sable des alliages cuivreux. (Isolação térmica dos massalotes para a moldagem em areia das ligas de cobre) Fonderie, (92) sept. 1.953.
- 23 — TAYLOR, H. F. & WICK, W. C. Manchons de masselottes et tampons isolants en plâtre pour le moulage du bronze. (Massalotes, com camisas de gesso para a moldagem do bronze) Fonderie, (10) nov. 1.946.