



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

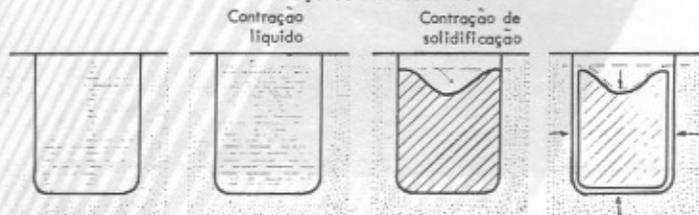
É muito importante definir primeiro as condições de recepção das peças, pois, a escolha do sistema de massalotes mais adequado depende dos resultados que se deseja obter. A perfeita saúde de todas as partes da peça é dispendiosa e nem sempre é necessária para a sua utilização.

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.

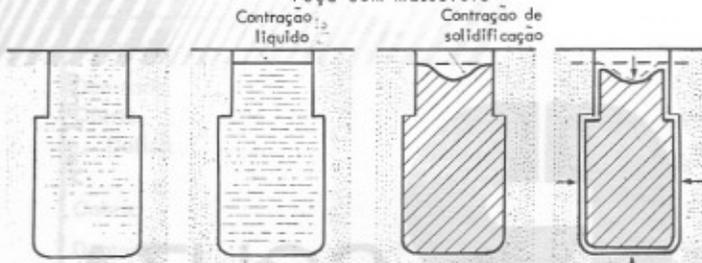
1.2. Resfriamento e Contração

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

- 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.

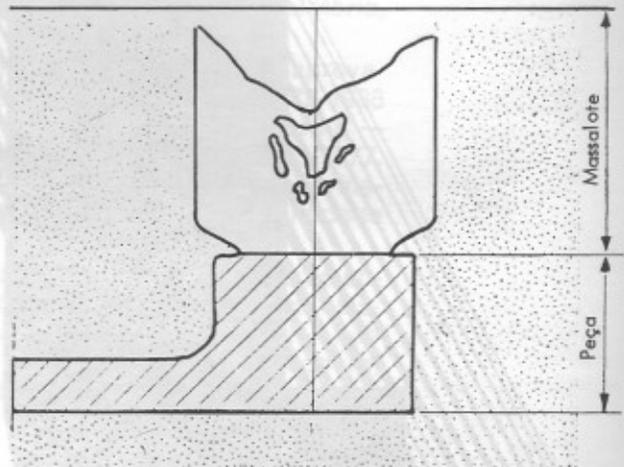


Fig. 2

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)

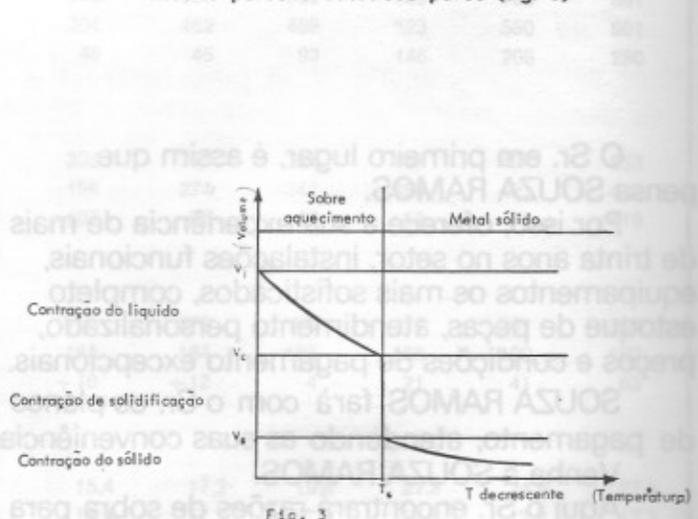


Fig. 3

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).

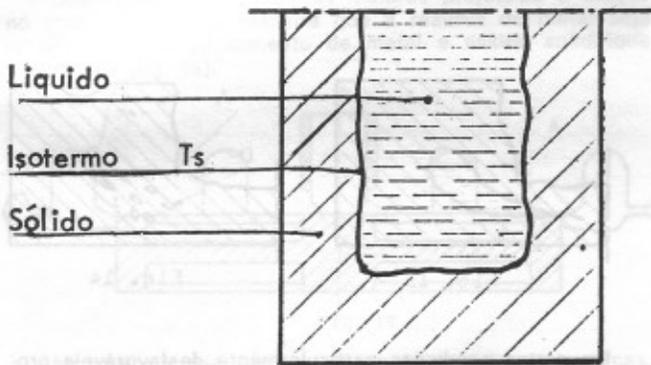


Fig. 4

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)

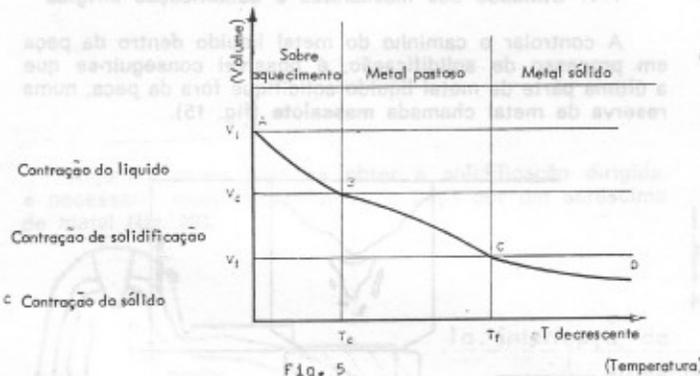


Fig. 5

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:

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

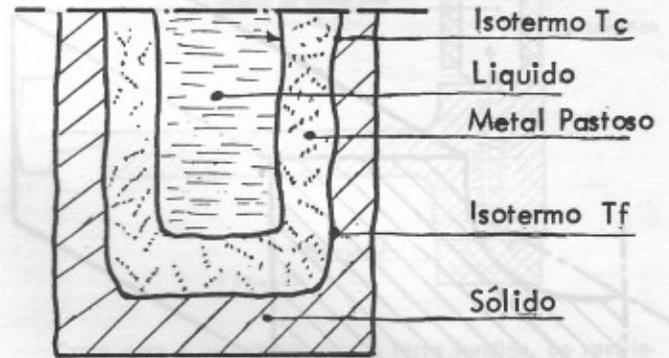


Fig. 6

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 isoterma T_c e T_f . O metal se solidifica por camadas espessas (fig. 6).

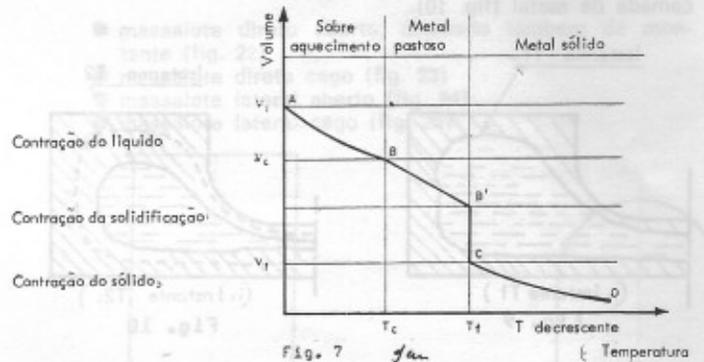


Fig. 7

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.

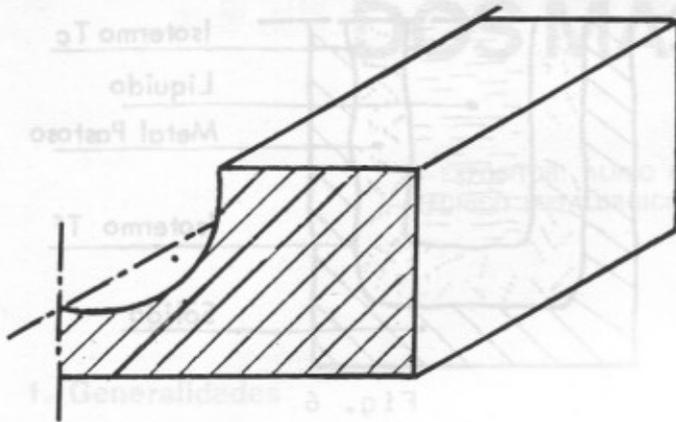
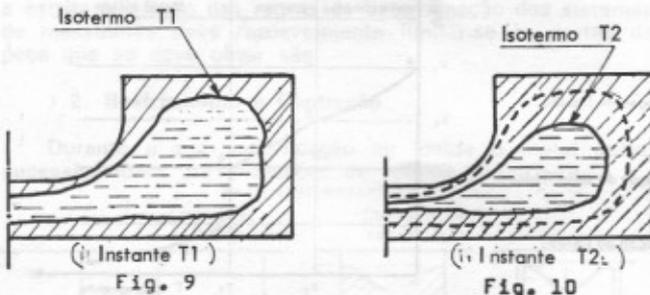


Fig. 8

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

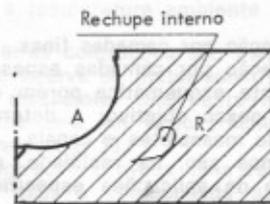


Fig. 12

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 vazio 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).

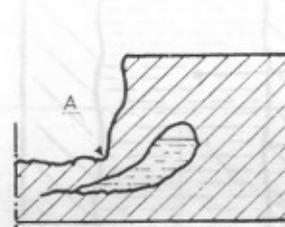


Fig. 13

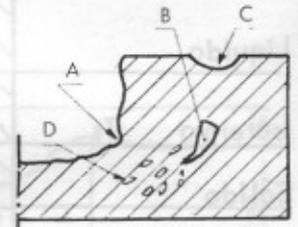


Fig. 14

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).

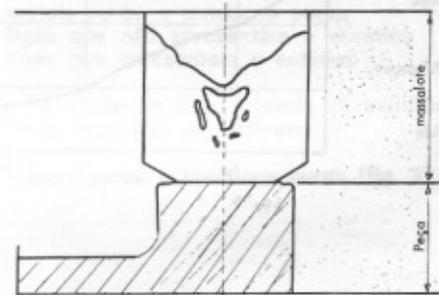


Fig. 15

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

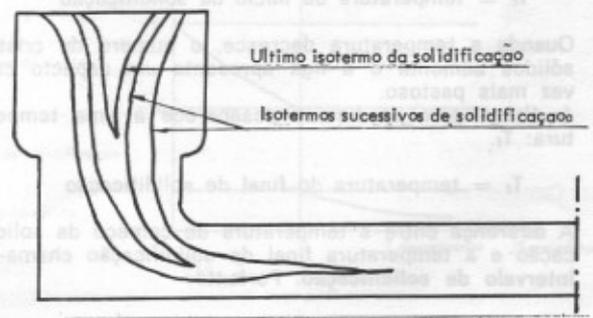


Fig. 16

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).

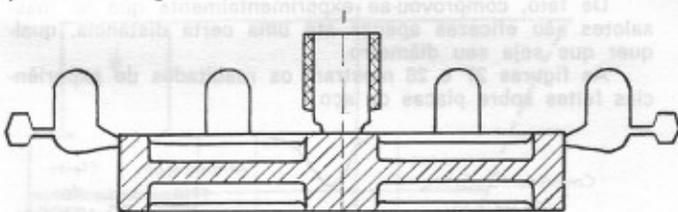


Fig. 19

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).

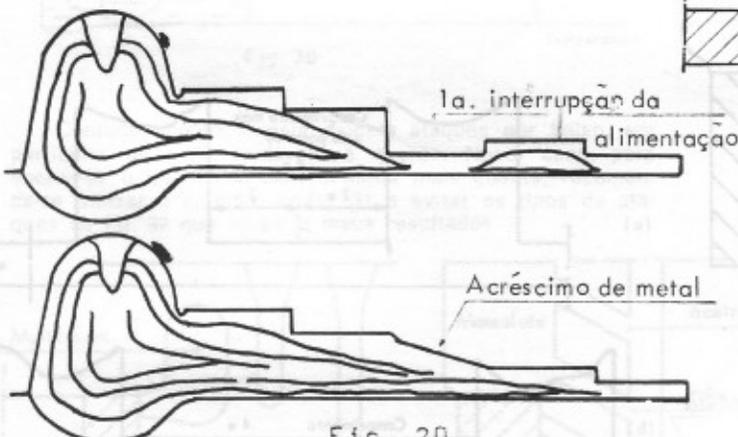


Fig. 20

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.

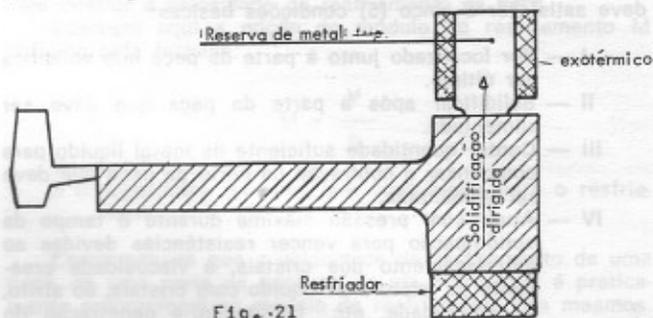


Fig. 21

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)

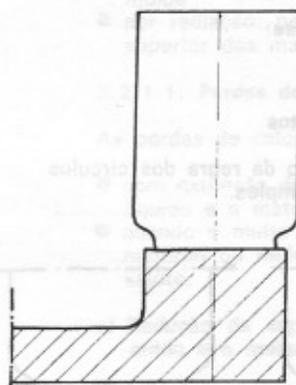


Fig. 22

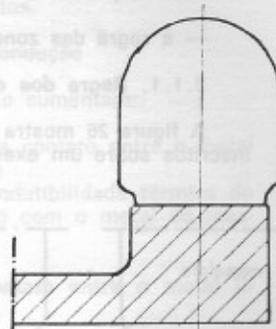


Fig. 23

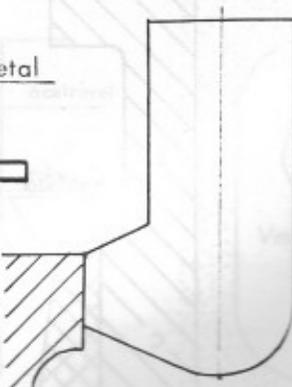


Fig. 24

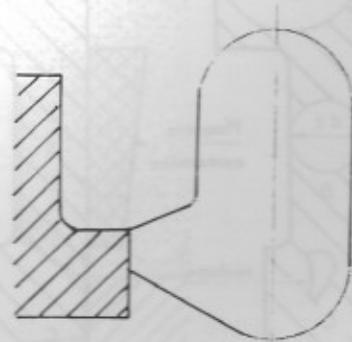


Fig. 25

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:

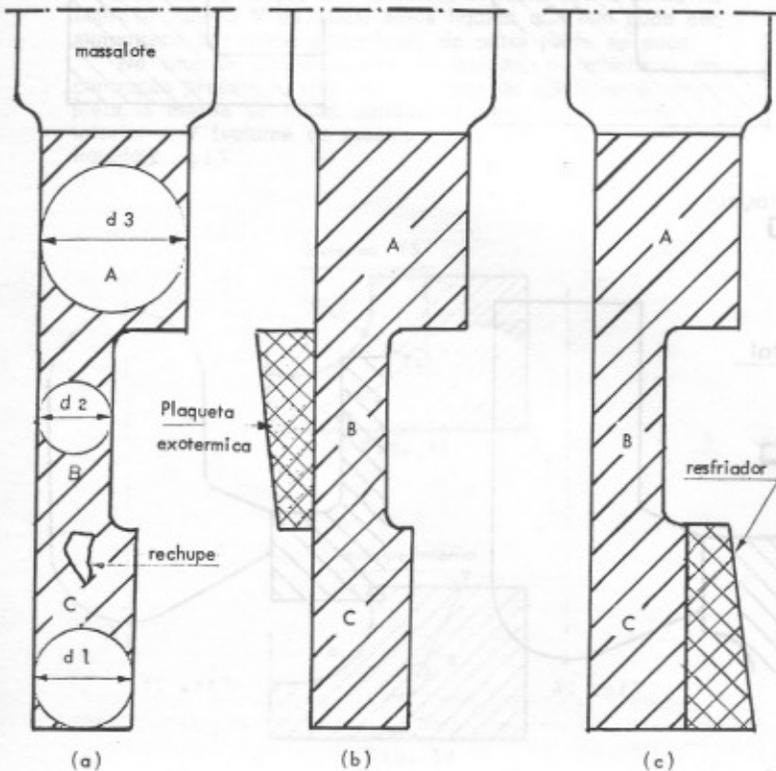
- o cálculo dos módulos parciais
- a regra dos círculos inscritos

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.

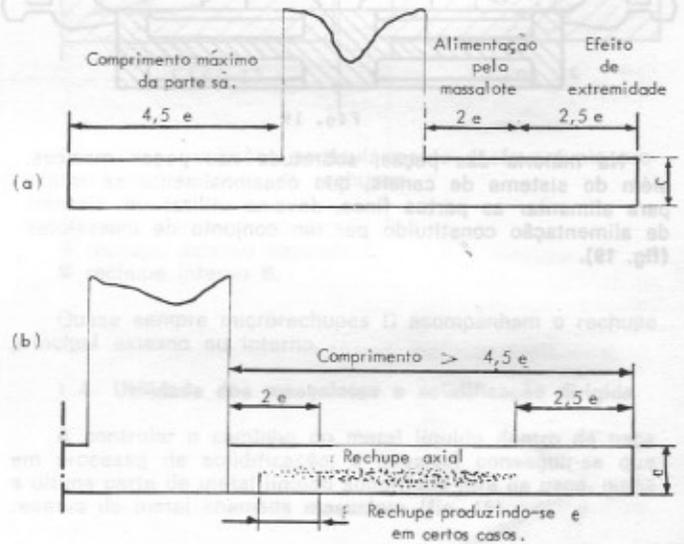


Fig. 27

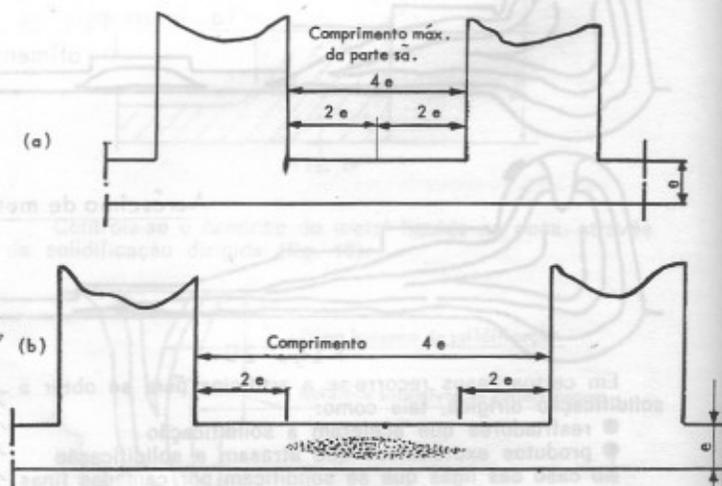


Fig. 28

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).

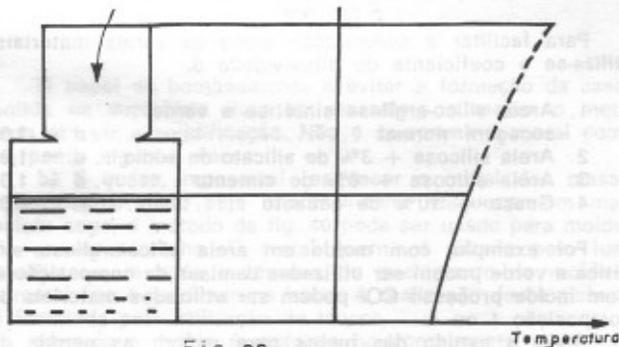


Fig. 29

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

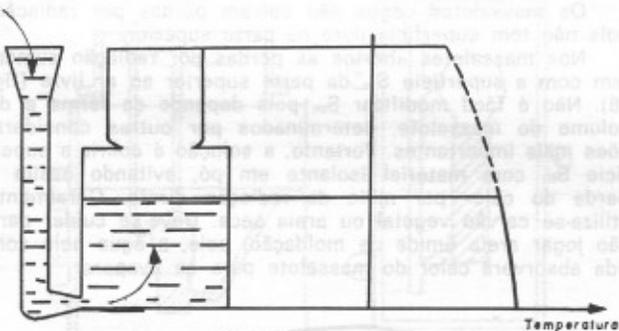


Fig. 30

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.

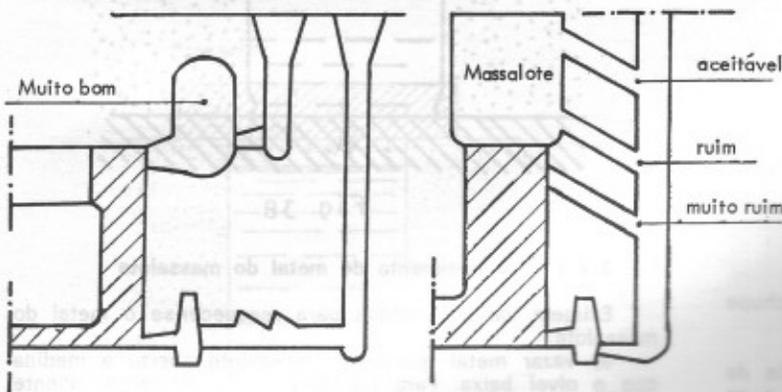


Fig. 31

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

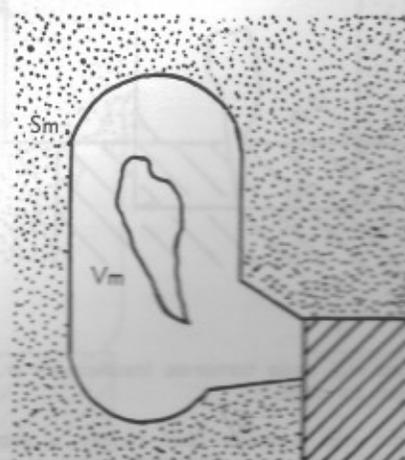
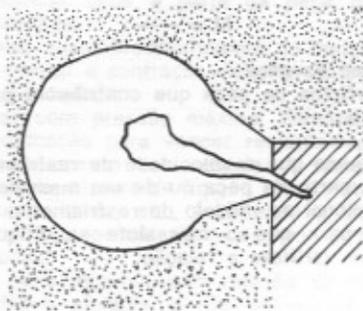


Fig. 33

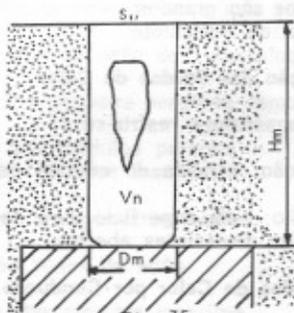
São completamente rodeados por areia. Para um massalote de volume V_m determinado, as perdas de calor são mínimas quando a superfície S_m em contato com a areia é também mínima (fig. 33).

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

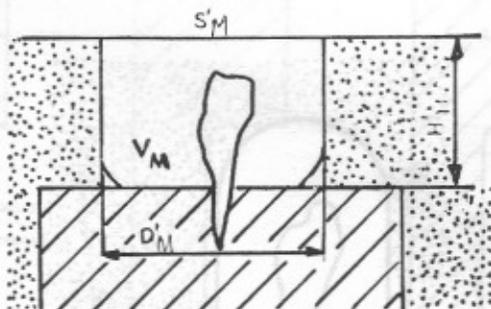


Para diminuir a superfície em contato com a areia, pode-se pensar em diminuir a altura H_m do massalote, porém:

- 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).

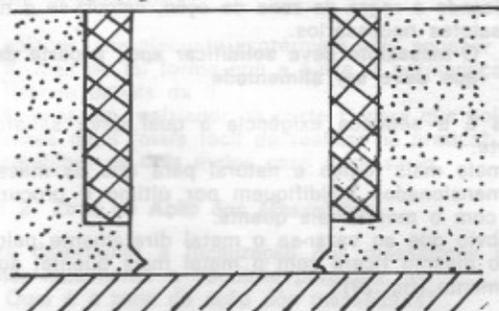


Fig. 37

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.

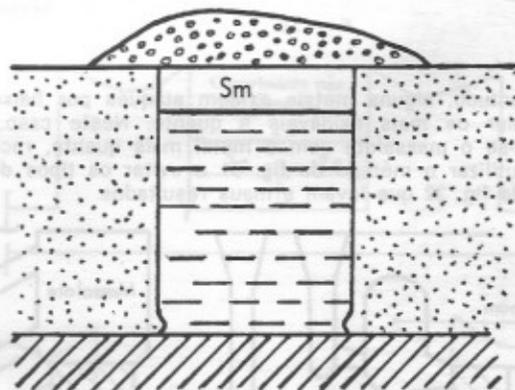
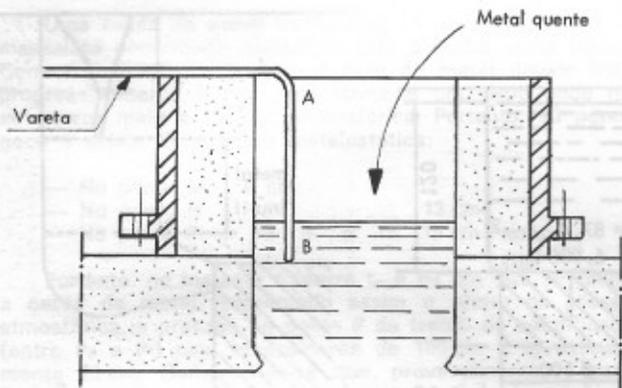


Fig. 38

3.2.2. Reaquecimento do metal do massalote

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

a) vazar 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.

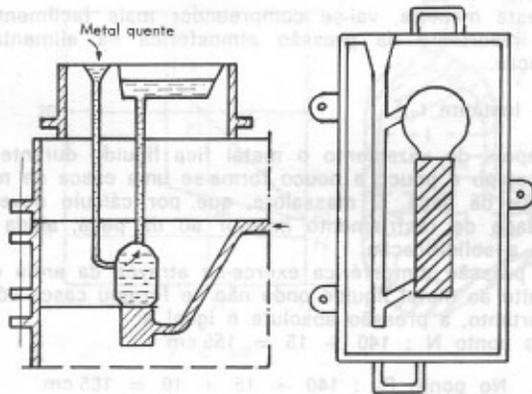


Fig. 40'

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).

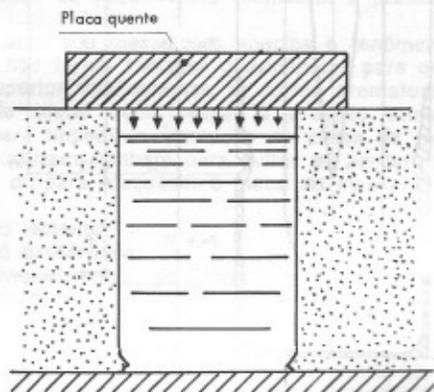


Fig. 42

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.

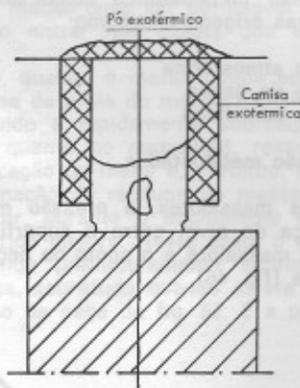


Fig. 43

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).

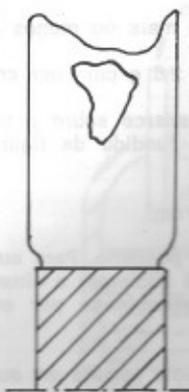


Fig. 44

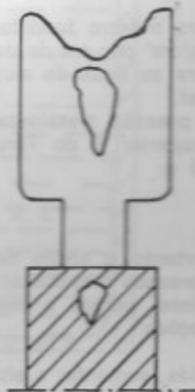


Fig. 45

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:

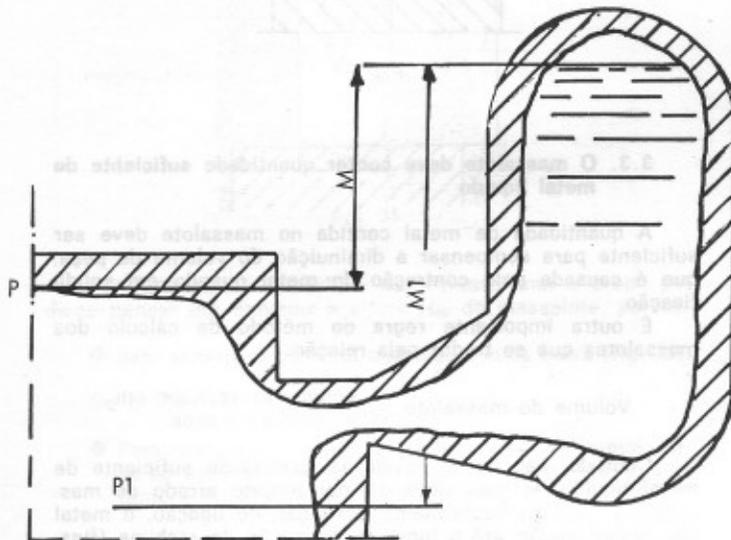
- pelas perdas de carga que sofre o metal líquido obrigado a seguir um caminho tortuoso entre os cristais em formação
- pelo atrito do líquido contra as paredes dos cristais cobertos de metal pastoso
- pela viscosidade do metal pastoso que vai aumentando com o resfriamento.
- pelos efeitos da capilaridade, 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/cm² por cm de desnível.

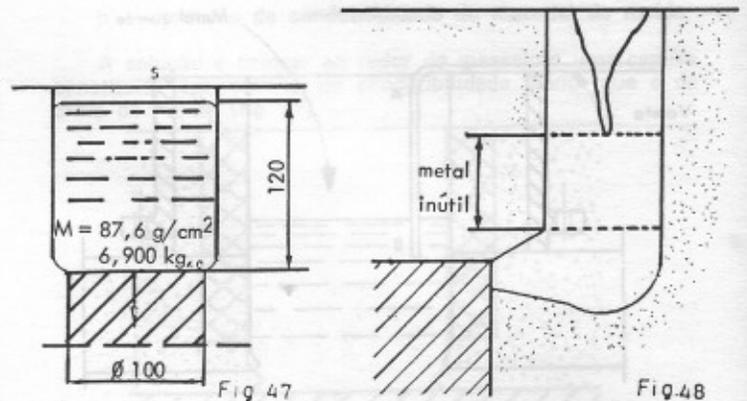
Para as ligas de alumínio apenas 2,6 g/cm², por cm de desnível.

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/cm². 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_0

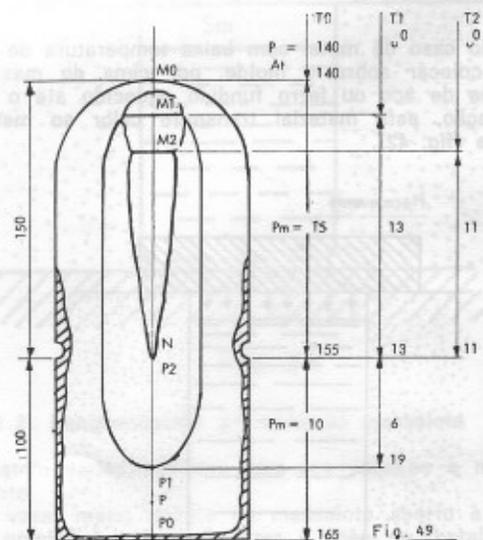
Depois do vazamento o metal fica líquido durante um certo tempo e pouco a pouco forma-se uma casca de metal ao redor da peça. O massalote, que por cálculo deve ter velocidade de resfriamento inferior ao da peça, ainda não iniciou a solidificação.

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_1

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).

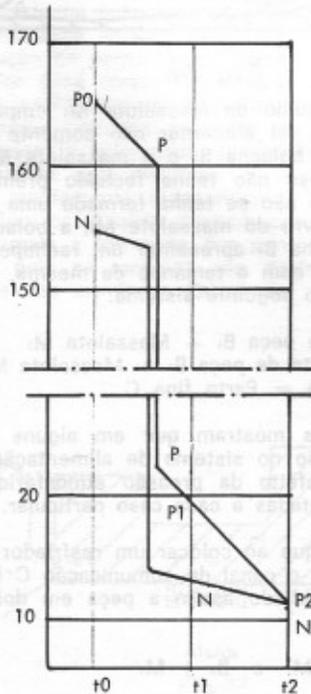


Fig. 50

— 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.

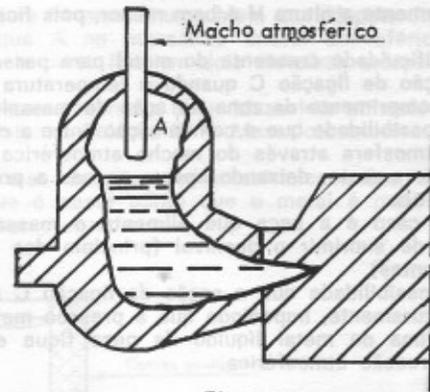
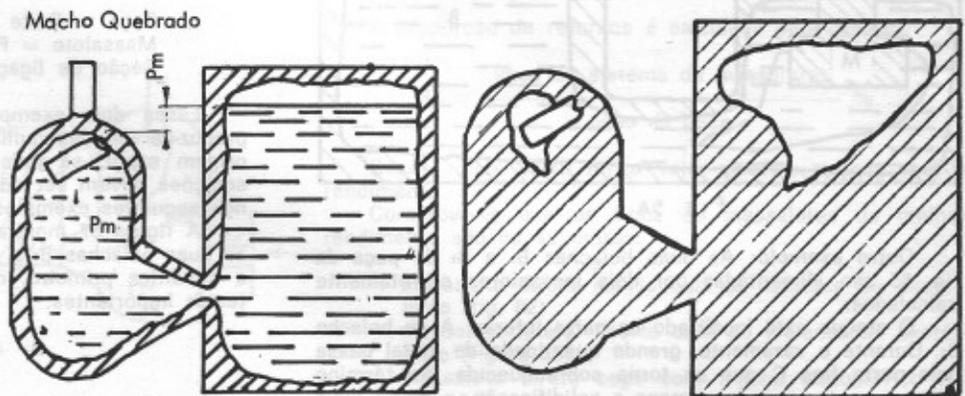


Fig. 51

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.



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.

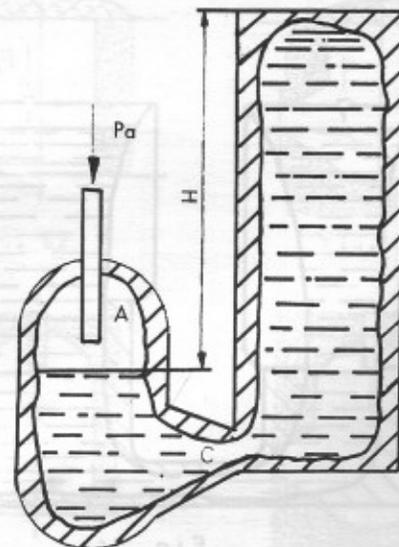


Fig. 53

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).

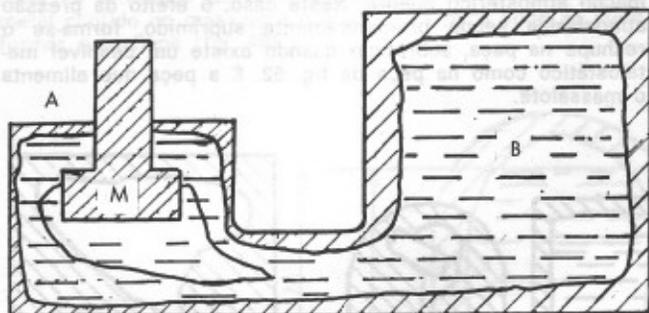


Fig. 54

Outro exemplo: As duas bolachas B₁ e B₂ da peça da fig. 55 são alimentadas por dois massalotes corretamente calculados.

O ataque está localizado na parte inferior A da bolacha B₂. 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 M₂ e sobretudo M₁.

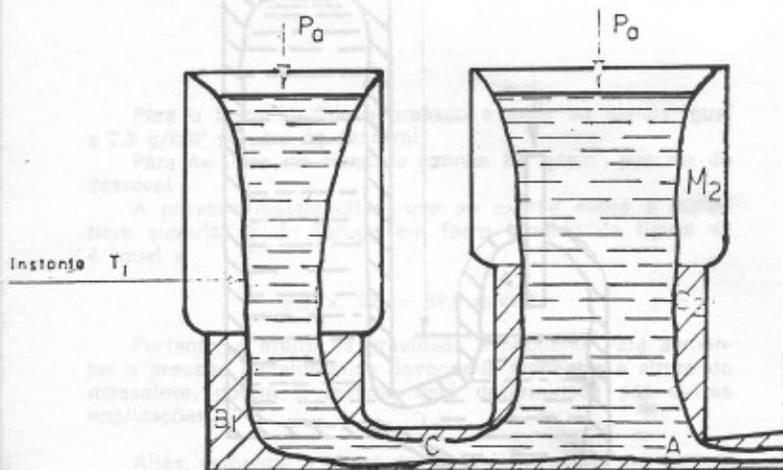


Fig. 55

Se não são tomadas providências para reaquecer o metal do massalote M₁, 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 M₂ permanece em contato com a atmosfera.

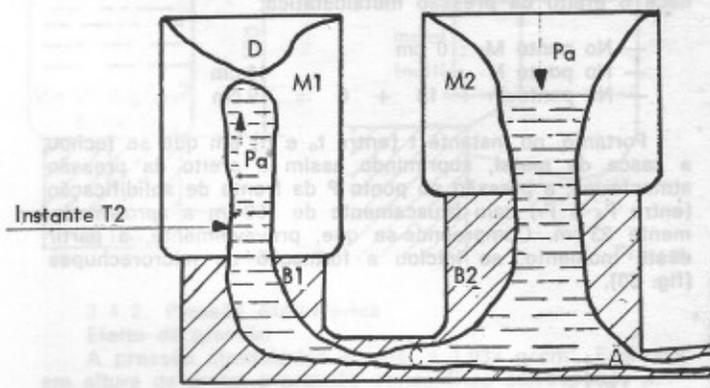


Fig. 56

Portanto, o metal líquido do massalote M₂ empurrado pela pressão atmosférica vai alimentar não somente a bolacha B₂, mas também a bolacha B₁ e o massalote M₁. 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 M₂, a bolacha B₁ poderia ser sã e a bolacha B₂ apresentar um rechupe volumoso, fora de proporção com o tamanho da mesma. Neste caso deve-se considerar o seguinte sistema:

Peça = Parte de peça B₁ + Massalote M₁
 Massalote = Parte de peça B₂ + Massalote M₂
 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 B₁ e B₂ o canal de comunicação C resfria e solidifica primeiro, dividindo assim a peça em dois sistemas importantes.

B₁ + M₁ e B₂ + M₂

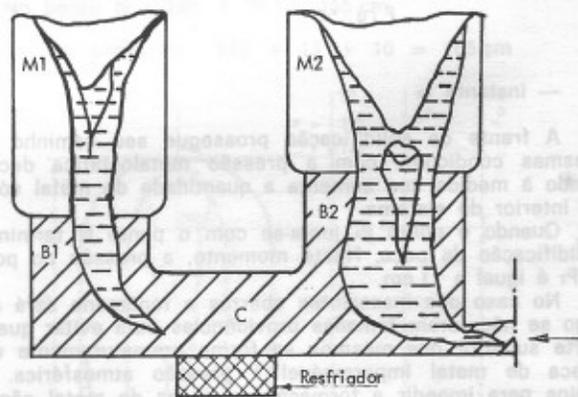
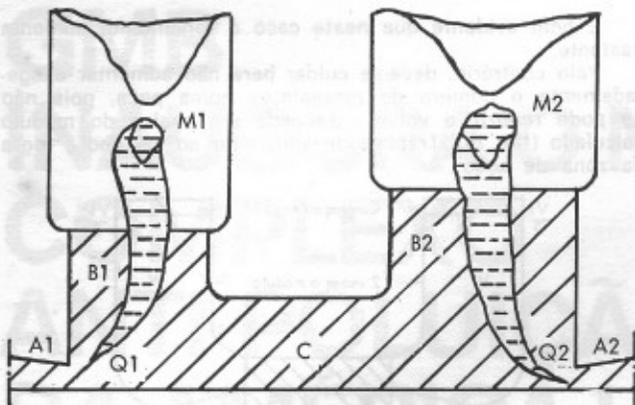


Fig. 57

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.

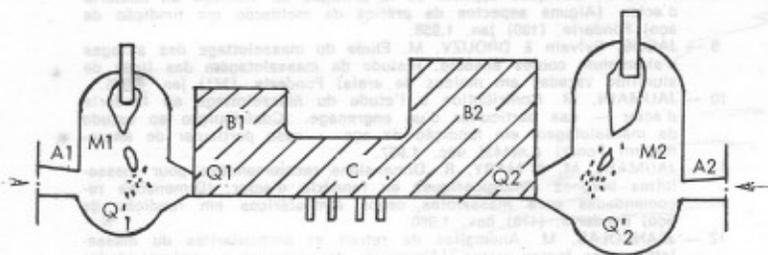
A figura 58 mostra que ao colocar dois ataques, A₁ e A₂, o canal C não é mais sobreaquecido. Portanto, é provável que a parte fina C vá solidificar primeiro, deixando assim dois sistemas independentes como no caso anterior.



Contudo, pela localização dos ataques os pontos mais quentes ao final do vazamento acham-se em Q₁ e Q₂. 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 Q₁ e Q₂.

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 (B₁ + M₁) e (B₂ + M₂) fiquem mais rapidamente independentes.

Com os ataques desembocando nos massalotes, não se teme mais a formação dos pontos quentes em Q₁ e Q₂ na peça, pois os mesmos são deslocados para o fundo dos massalotes em Q₁' e Q₂'.



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.

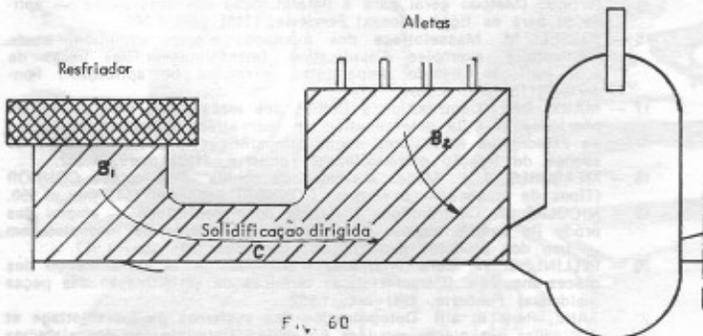
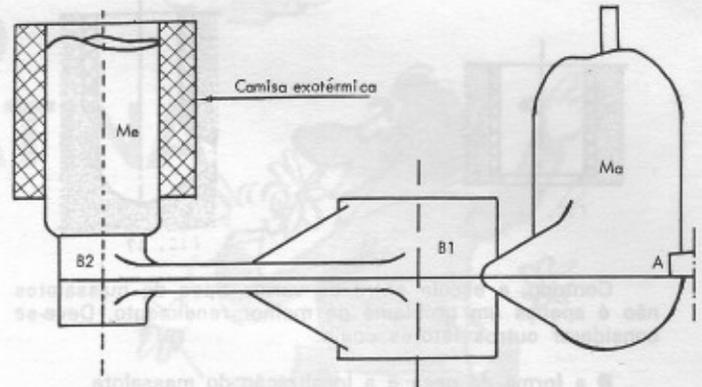


Fig. 60

A figura 61 mostra uma biela que, depois do vazamento pelo ataque A no massalote lateral atmosférico M_a, fica partido pela parte fina em dois sistemas independentes:

- 1.º sistema: Bolacha B₁ + Massalote atmosférico M_a
- 2.º sistema: Bolacha B₂ + Massalote exotérmico M_e

Coloca-se uma camisa exotérmica sobre o massalote M_e 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_m, 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)

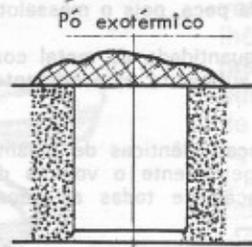


FIG. 62

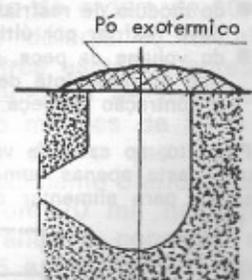
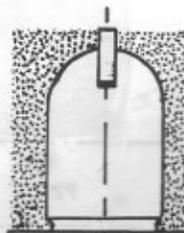


FIG. 63



FIG; 64

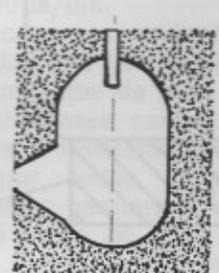


FIG. 65

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.

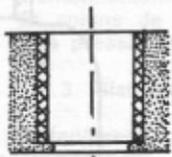


FIG. 66

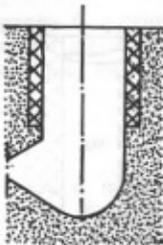


FIG. 67

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).

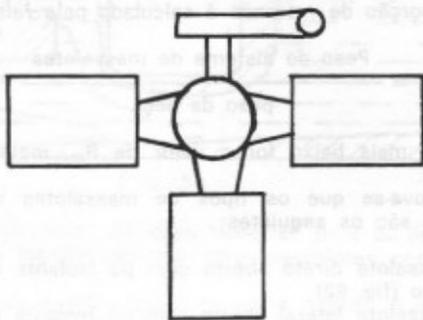


Fig. 68

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).

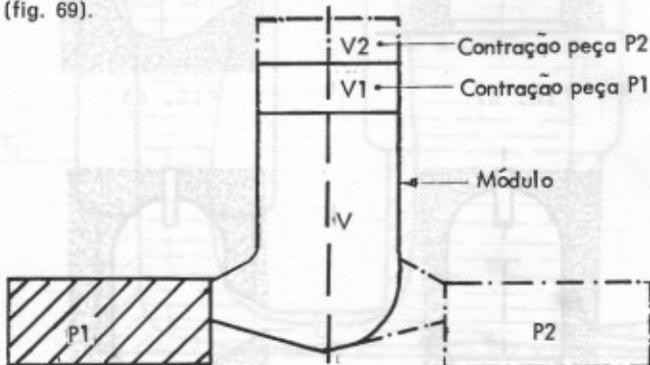


Fig. 69

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 moldação 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 moldação 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 moldação do bronze) Fonderie, (10) nov. 1.946.