UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

MÉTODO DE CONFORMAÇÃO DOS METAIS

RUBENS LIMA PEREIRA

SÃO CARLOS
2020

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MÉTODO DE CONFORMAÇÃO DOS METAIS

Eng. Rubens Lima Pereira
Prof. Catedrático Contratado da Cadeira de Materiais de Construções Mecânicas
Escola de Engenharia de São Carlos

Publicação n.º 67

Serviço de Publicações e Encadernação
da
Escola de Engenharia de São Carlos
1963

PREFÁCIO

Esta é mais uma publicação da Escola de Engenharia de São Carlos, *escrita para ser empregada como um dos livros textos na cadeira de* Materiais de Construção Mecânica.

É baseada, como em outras publicações da mesma série, em uma apostila anterior escrita em conjunto com o professor Tomio Kitice, *da* Escola de Engenharia Mackenzie.

Rubens Lima Pereira

AGRADECIMENTO

À todos aquêles que tornaram possível esta publicação, os agradecimentos do **autor.**

ÍNDICE

Prefácio

CAPÍTULO I

Fundição - Definição - Os métodos de fundição Operações de fundição

Definição 1
Os métodos de fundição 2
Operações de fundição 6

CAPÍTULO II

Modelos - Características

Estudo de modêlo 11
tabela de contração de fundição 20
tabela de ângulos de saída 22
tabela de côres do modêlo 22
tipos de modêlo
inteiriço ou ao natural 24
com macho 25
com placa 27
de chapelona 30
Bibliografia 33

CAPÍTULO III

Areias de fundição - Composição - Características - Defeitos que podem causar na peça

Classificação 35
Características das areias 39
Constituintes das areias 43
Composição típica de algumas areias 45
Defeitos devidos à areia 47
Bibliografia 50

CAPÍTULO IV

Moldagem manual e mecanizada

Moldagem manual 52
modêlo inteiriço 52
com placa 62
com chapelona 62

Moldagem mecanizada 65
máquinas de moldar 68
Moldagem em casca (shell-molding) 69
Bibliografia 73

CAPÍTULO V

Fornos empregados para a fundição do ferro fundido - O cubilot - Outros fornos para fundição Empregos

O cubilot 75
Outros fornos 82
Fornos para não ferrosos 83
Bibliografia 86

CAPÍTULO VI

Ferros fundidos - Cargas dos fornos

Acendimento da cama 87
Carga do forno 88
Outros dados relativos à carga 94
Bibliografia 101

CAPÍTULO VII

Fundição de ligas não ferrosas - Alumínio - Cobre - Zinco

Preparo das ligas 103
Tabela de ligas de alumínio para areia 104
Tabela de ligas de alumínio para moldes permanentes 105
Tabela de ligas de alumínio para fundir sob pressão 106
Uso do cadinho de ferro 110
Ligas de cobre 110
Tabela de ligas de cobre para fundição 112
Ligas de zinco 113
Bibliografia 114

CAPÍTULO VIII

Fundição de aço

Introdução 115
Moldagem das peças 117

Produção dos aços 118
Emprego 118
Bibliografia 119

CAPÍTULO IX

Fundição em moldes permanentes e semi - permanentes 121
Bibliografia 127

CAPÍTULO X

Metalurgia do pó - aplicações e vantagens 129
Obtenção de pós metálicos 130
Mistura dos pós 131
Compressão dos pós 131
Sinterização 133
Aplicações 134
Bibliografia 136

CAPÍTULO XI

Deformação mecânica
Introdução 137
Laminação 137
Fabricação de tubos sem costura 151
Trefilação 153
Forjamento e prensagem 157
Outros processos
extrusão 163
estampagem ou embutimento 164
repuxamento 166
Bibliografia 167

CAPÍTULO XII

Soldagem - Aplicações 169
Soldas fracas e soldas fortes 170
Solda elétrica a arco 171
Solda a maçarico 177
Solda aluminotérmica 178
Solda de topo a arco 180
Solda por ponto ou contínua (solda a resistência) 180

Solda por indução 182
Caldeamento 183
Metalurgia da solda 184
Exemplos de alterações que podem surgir na soldagem 188
Exame das soldas 190
Aplicações 190
Bibliografia 193

******
**
*

CAPÍTULO I

FUNDIÇÃO. DEFINIÇÃO. OS MÉTODOS DE FUNDIÇÃO. OPERAÇÕES DA FUNDIÇÃO

DEFINIÇÃO

Fundição é a arte de dar forma aos metais no estado líquido, introduzindo-os em um molde com a forma desejada e, aí deixando-os solidificar, a fim de obter uma utilidade.

Êste é um dos muitos processos conhecidos para conformar os metais e suas ligas e por meio dêle obtêm-se as chamadas peças fundidas.

Antigamente a fundição era feita de uma maneira completamente empírica, sendo hoje uma arte à qual se aplicam muitos conhecimentos científicos.

Por fundição também compreendemos a oficina ou fábrica onde se obtém as peças da maneira citada.

Em fundições são também obtidas peças(lingotes) que posteriormente sofrerão trabalho mecânico ou serão refundidos para formar a peça definitiva. Estas fundições tomam a designação de aciarias, quando produzem aço; siderúrgicas, quando se dedicam à produção de aço ou guza; usinas, quando preparam outros metais. (1)

Por meio da fundição podem-se obter peças de formas intricadas que não são obtidas,ou só o são difìcilmente por outros processos. As peças fundidas, quando necessário, requerem em geral, poucas operações de usinagem para o acabamento final; procura-se fundir a peça com a forma, a mais aproximada possivel, da que terá quando pronta para o uso.

(1) O termo usina é empregado também, se bem que menos geralmente, para fundições que produzem aço ou guza.

O campo da fundição tem aumentado contìnuamente devido ao desenvolvimento da Metalurgia que tem permitido a obtenção de peças cada vez com melhores propriedades. Novas ligas, mais corretos e controlados tratamentos térmicos e métodos de fundição, melhor conhecimentos dos fenômenos que ocorrem na solidificação, etc., tem permitido a melhoria das propriedades, o que pode ser observado comparando-se índices tecnológicos das especificações antigas e modernas.

Como exemplo temos o caso dos ferros fundidos que eram obtidos, antigamente com resistência de até aproximadamente 20 Kg/mm^2 e hoje em dia, até com 70 Kg/mm^2.

OS MÉTODOS DE FUNDIÇÃO

Os métodos empregados para a obtenção dessas peças, podem ser classificados em: fundição por gravidade, fundição sob pressão e, fundição centrífuga.

A fundição por gravidade consiste em vazar o metal líquido através de um canal em molde prèviamente preparado, que é enchido, deixando-se então solidificar. A principal fôrça que atua aqui, para encher o molde é a pressão hidrostática do metal líquido.(2)

Na fundição sob pressão, o metal no estado líquido é injetado no interior do molde por meio de uma pressão exercida na superfície livre do metal, dentro do recipiente onde está contido. Figura nºI-1.

Com êste processo obtêm-se peças com ótimo acabamento superficial e dimensões muito bem controladas, pois os moldes são metálicos (matrizes ou estampos). E d processo de fundição mais rápido que se conhece e apresenta as seguintes vantagens:

1) - Obtenção de peças de paredes finas, o que nem sempre é possivel por meio de outros processos com exceção da metalurgia do pó;

(2) Existe uma fôrça devida a altura com que é vazado o metal dentro do molde.

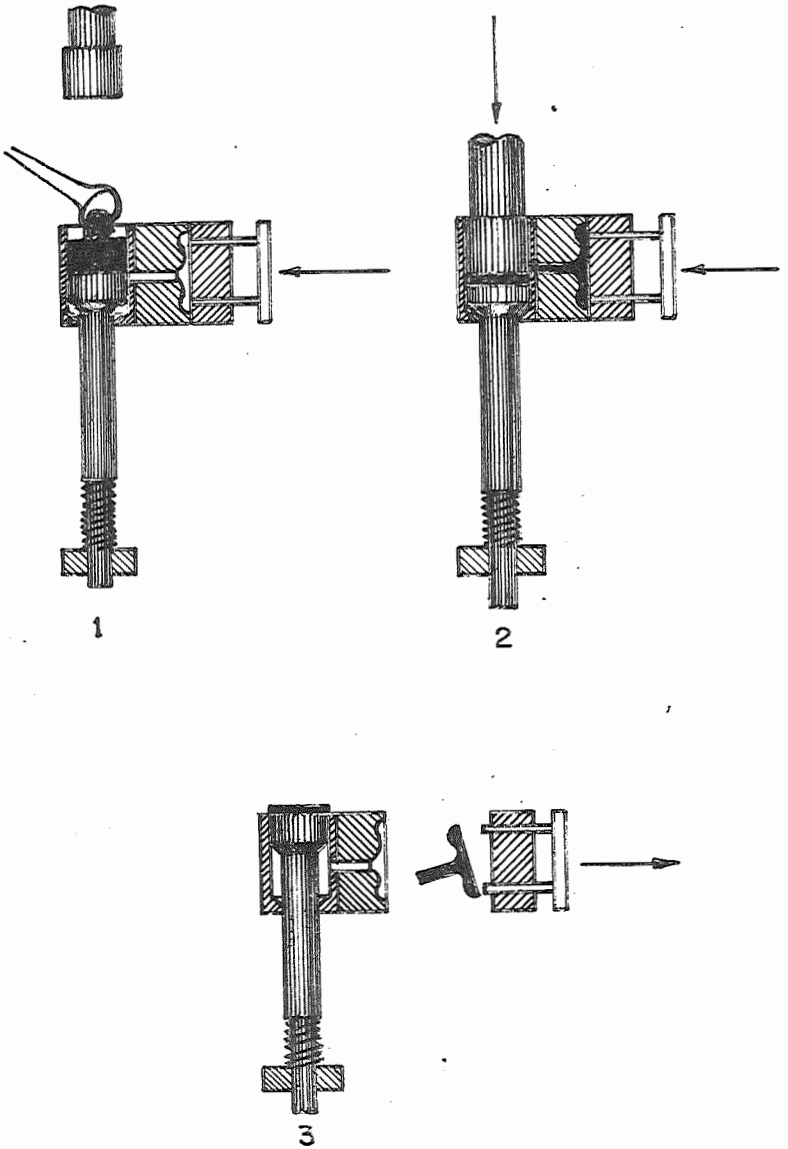


FIG.- I - 1

2) - As dimensões das peças são mantidas dentro de limites de tolerância muito estreitos;

3) - As peças saem dos moldes pràticamente acabadas. Poucas, em geral, são as operações de acabamento.

Porém, devido ao alto custo das matrizes, êste processo só pode ser empregado, quando se trata de produção em grande escala; há também restrição quanto ao metal a ser fundido. Hoje em dia, só são empregados para êsse fim o alumínio, o zinco, o magnésio, o cobre, o chumbo e as suas ligas e, o ferro fundido, mais raramente.

Na fundição centrífuga é a fôrça centrífuga utilizada para forçar o metal a tomar a forma do molde.

É um processo utilizado, em geral, para fundir peças simétricas: tubos, rodas, etc., mas pode ser e é empregado para fundir pequenas peças, que são ligadas por canais radiais a um canal central. Figura nº I-2.

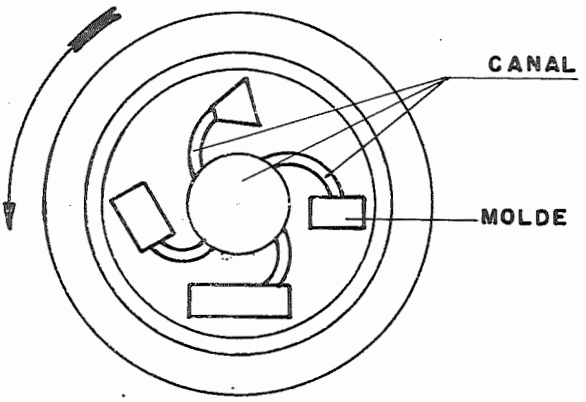


FIG.- I-2

Os dentistas empregam muitas vêzes êste processo para fundir as incrustações.

O molde, nêste processo de fundição, é feito girar em tôrno de um eixo e o metal líquido é forçado pela fôrça centrífuga a penetrar ou ir de encontro às paredes do molde, Figura I-3, aí se solidificando

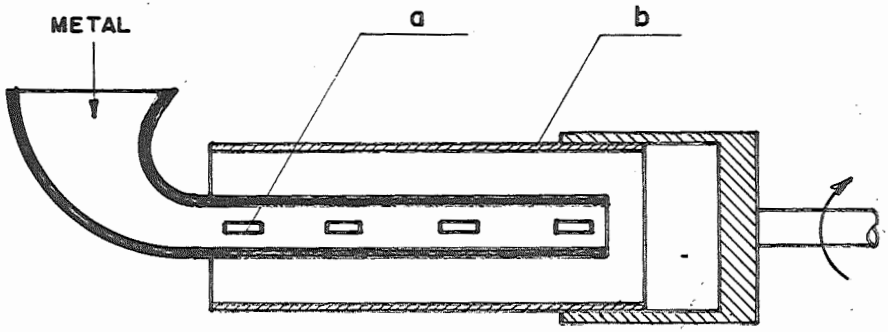


FIG.- I-3

Êste processo permite obter peças com maior densidade e melhores propriedades mecânicas, que as obtidas pelo processo de fundição por gravidade.

O processo, hoje em dia, ainda mais largamente utilizado é êste último.

Será estudado aqui, o caso de uma fundição que utiliza êste processo.

É o caso também em que são usados os moldes temporários, isto é, constituidos de uma substância que é denominada areia de fundição ou terra de fundição.

OPERAÇÕES DE FUNDIÇÃO

Várias são as operações que se processam antes de ser obtida, isto é, fundida a peça. Para ser conseguido êsse fim, uma fundição bem organizada deve ser constituida de várias secções ou departamentos que, em conjunto, podem ser reunidas como no quadro I-1.

Na secção de modelagem são feitos ou consertados os modelos com os quais será dada forma à areia de fundição e que constituirá o molde onde será vazado o metal líquido. Um estudo sôbre modelos, assim como os assuntos relativos a outras secções será feito com mais detalhe, em outros capítulos.

A moldagem, que é a confecção dos moldes a partir dos modelos, pode ser mecanizada ou manual. Os moldes são cavidades, que formam um negativo com a forma geométrica da peça que deve ser obtida.

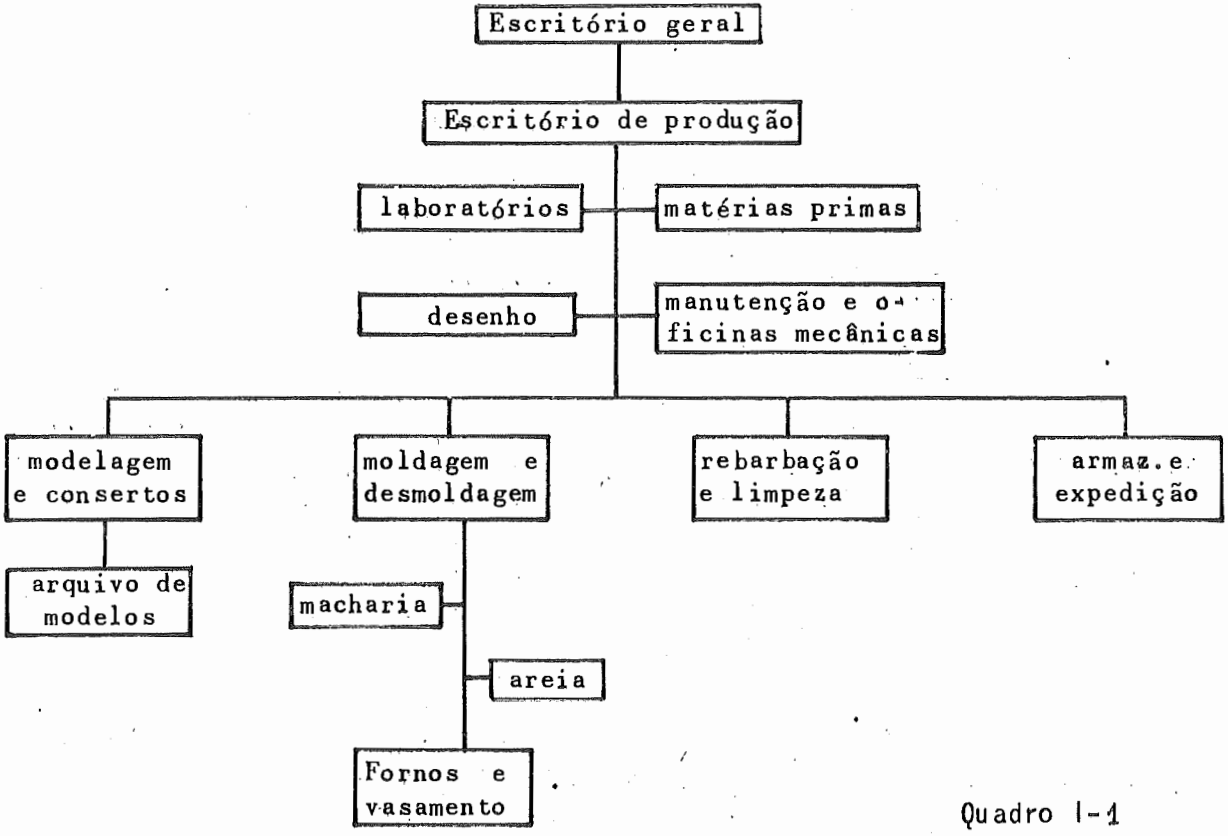
Os moldes de areia são preparados no chão (só moldagem manual) ou em caixas metálicas ou de madeira, separadas em duas ou mais partes.

Estas caixas devem-se ajustar perfeitamente uma sôbre a outra; para isso elas possuem um sistema de guias (pinos e furos, machos e fêmeas, etc.).

Na secção de areia é preparada a areia para a constituição dos moldes, como também pode ser preparada a areia para a confecção dos machos, que são peças de areia especialmente preparadas e que servem principalmente para a obtenção de cavidades, internas nas peças e partes reentrantes ou sem saída. Êstes machos são confeccionados na macharia.

Os moldes estando prontos, são enchidos através dos canais apropriados, moldados com a peça, com metal líquido, provenientes dos fornos, e que solidificam no interior das cavidades dos moldes; a seguir as peças são desmoldadas, isto é, retiradas da areia.

As caixas onde são feitos os moldes podem ser deixadas até a hora da desmoldagem, ou então, retiradas logo após a moldagem e antes do vazamento, dependendo do tipo de caixa utilizada. Nas Figuras II-1, 2, 3 e 4, são vistos modelos de caixas de fundi-


Escritório geral
Escritório de produção
laboratórios
matérias primas
desenho
manutenção e oficinas mecânicas
modelagem e consertos
moldagem e desmoldagem
rebarbação e limpeza
armaz.e expedição
arquivo de modelos
macharia
areia
Fornos e vasamento

Quadro I-1

ção.

No caso de se retirar a caixa logo após a moldagem ou antes do vazamento, devemos calçar, na maioria das vêzes, os moldes, lateralmente, ou com armação metálica (jackets) na hora de vazar, ou com areia de fundição, para evitar arrombamento lateral das caixas, devido à pressão metálica no interior do molde.

No caso de peças grandes ou com área muito grande, e dependendo do metal ou liga que vai ser vazado, os moldes devem ser pesados - colocação de pêsos na parte superior - para evitar o levantamento dessas partes pelo mesmo efeito da pressão metálica.

Esta pressão à às vêzes, bastante grande e é função da superfície da peça (lateral, para o caso de arrombamento e superfície superior no caso de levantamento) e da diferença em altura da parte superior da peça e parte superior do canal, no caso de levantamento, e altura total - peça mais canal no caso de pressão de arrombamento. Em ambos os casos a pressão é função também da densidade do metal ou liga. No caso de se apresentarem superfícies laterais inclinadas como a da Figura I-4, a pressão de levantamento é mais elevada do que a citada (só superfície superior).

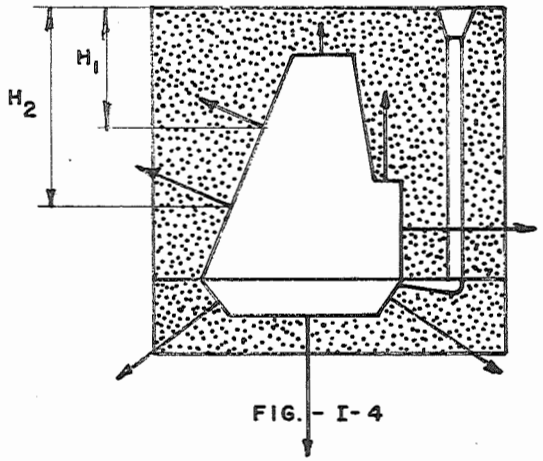


FIG. - I-4

As caixas podem apresentar dispositivos para fixar uma sôbre a outra, podendo ser evitada dessa maneira a pesagem. Se as caixas de fundição são grandes e não têm travessas, a pesagem torna-se quase que obrigatória, para evitar o deslocamento da areia no seu interior Figura I-5.

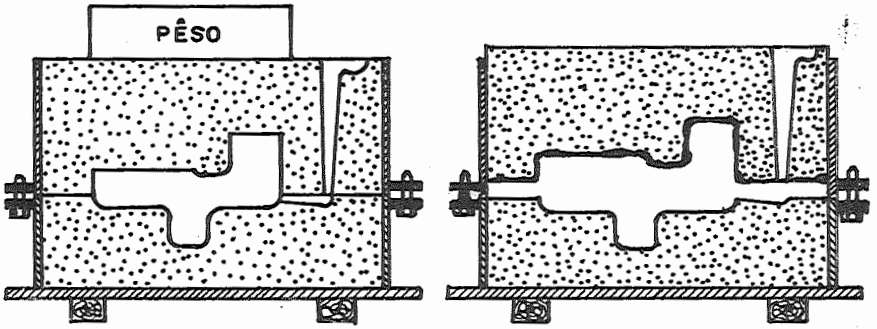


FIG.- I-5

Depois de desmoldada a peça, a areia volta para a secção de areias, onde será novamente preparada para recircular (1), e as peças são enviadas para a rebarbação. Faz-se aqui a primeira escolha de peças defeituosas.

Aí são quebrados ou cortados os canais que voltam para os fornos, juntamente com as peças rejeitadas, e as peças aproveitadas são limpas, utilizando-se para isso vários processos:

1) - tambor rotatório contendo no interior pequenas peças de ferro duro (bolas, estrêlas, etc.);

2) - esmeril ou raspadeira (para metais moles) por meio dos quais é retirada a parte do canal que ficou junto à peça, e as rebarbas (metal solidificado nas juntas das caixas ou entre molde e macho);

3) - jato de areia ou metralha de aço ou ferro duro que limpa completamente a peça de tôda a areia aderente.

As peças sofrem nova inspeção para descarte das

(1) Parte da areia é perdida e deve ser substituida pela colocação de areia nova.

peças com defeitos e seguem para a armazenagem e expedição.

A secção de desenho será responsável pela confecção de desenhos necessários para a preparação de novos modelos, caixas, etc., ou modificações nos já existentes, visando uma melhoria de produção.

A secção de manutenção como o nome indica, deve manter tôda a fundição em perfeitas condições de funcionamento.

A secção de matéria prima recebe, armazena e distribui os materiais necessários à produção de cada um dos setores.

O laboratório, imprescindível nas fundições modernas, pode ser subdividido em: laboratório químico, de ensaios mecânicos, de areia e de pesquizas.

a) - laboratório químico - controla tôda a matéria prima adquirida e analisa o material produzido.

b) - laboratório de ensaios mecânicos - menos necessário que o anterior, mas essencial quando é preciso trabalhar dentro de especificações muito rígidas.

c) - laboratório de areia - também exigido para diminuir as perdas de fundição e para obtenção de peças com bom acabamento.

d) - laboratório de pesquizas - refinamento que só as grandes fundições podem manter, com o fito de desenvolver a ciência metalúrgica, paralelamente, às escolas e laboratórios oficiais ou particulares.

CAPÍTULO II

MODELOS – CARACTERÍSTICAS

Os modelos para fundição, em geral, são metálicos ou de madeira.(1)

A escolha deve ser feita, primeiramente, baseada no uso que vai ter. Se o número de peças a obter é muito grande, deve-se optar pelo modêlo de metal para evitar, ou pelo menos diminuir, as possibilidades de quebra ou deformação com o uso, permitindo, assim, obter peças em maior número e com maior acuracidade.

As ligas de alumínio são as mais empregadas para êsse fim, devido à sua resistência, aliada à pequena densidade.

Estudo de Modêlo - Antes de fazer o modêlo a peça deve ser estudada, pois que muitas vezes, pequenas modificações, possiveis de serem feitas, vêm facilitar muito a obtenção dos moldes, reduzindo dessa maneira a mão de obra dos moldadores, como também pode diminuir o aparecimento de defeitos na peça fundida. Compensa muitas vêzes, ter um modêlo mais dificil de confeccionar e, portanto, mais caro, como também modificar um pouco o projeto original, para facilitar a operação de moldagem, Figura II-1, 2 e 3.

As Figuras II-4, 5 e 6, representam os desenhos de uma peça tendo a mesma finalidade, mas que nos

(1) São também empregados modelos de plástico, gesso e de cimento.

dois últimos casos foram modificados para evitar defeitos de fundição nas partes mais grossas, como é representado na Figura II-7.

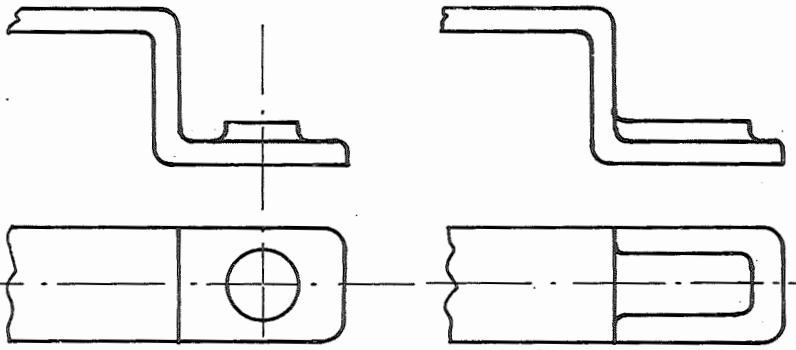


FIG.-II-1

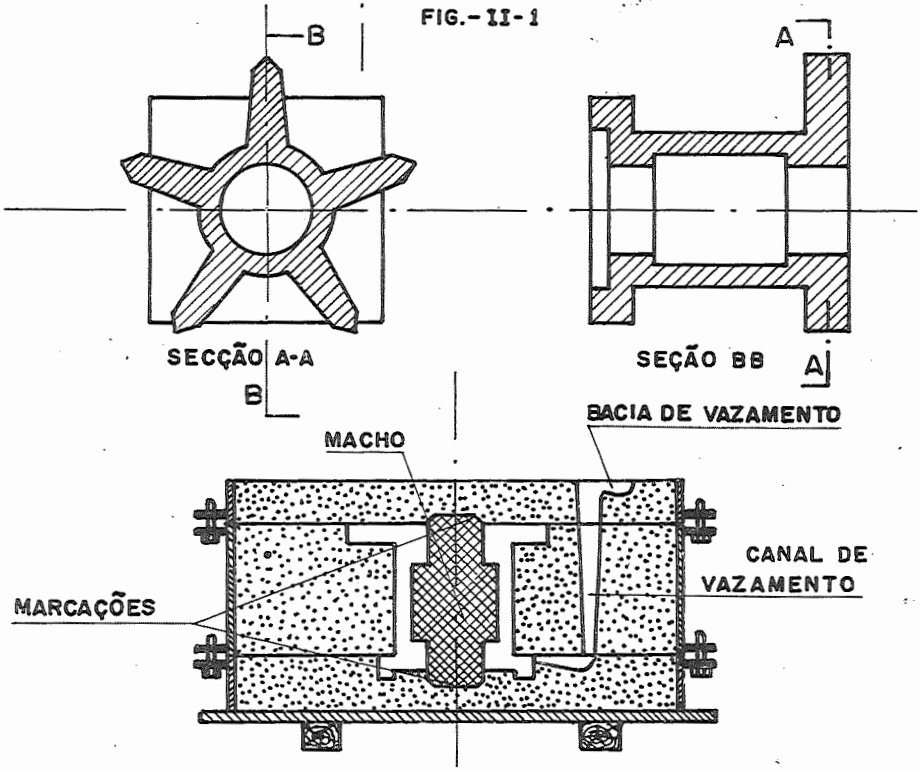


FIG.-II-2

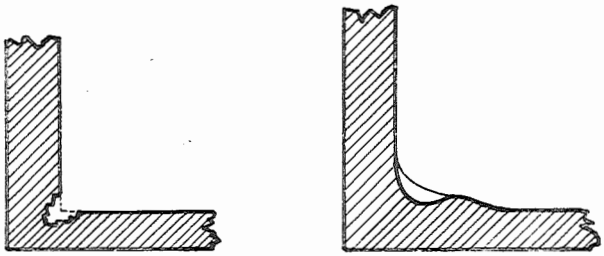


FIG.-II-3

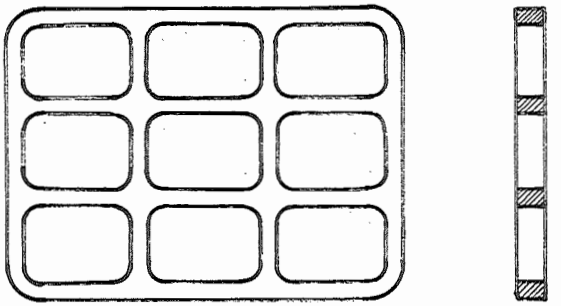


FIG.-II-4

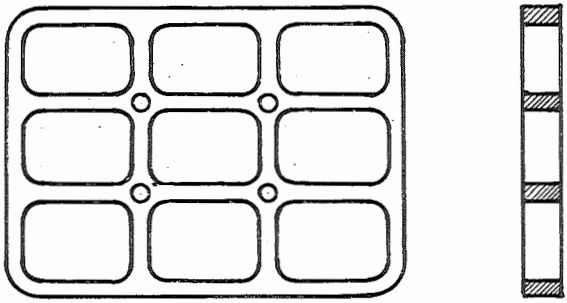


FIG.-II-5

Nas partes mais grossas, o metal leva mais tempo a solidificar, e nêsses locais podem se formar vazios de retração ou chupagem.

Se o número de peças a ser obtido é pequeno, não compensa confeccionar um modêlo caro.

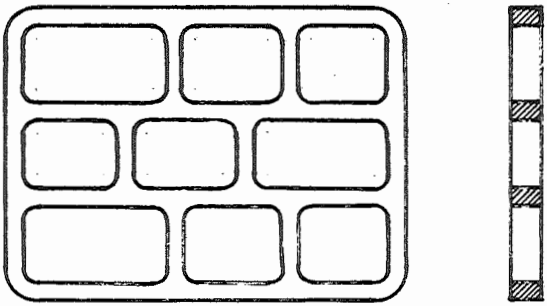


FIG.-II - 6

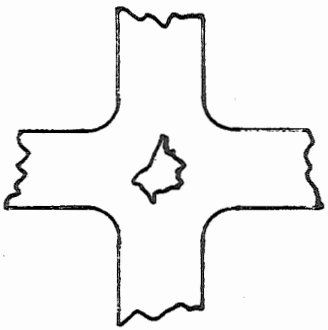


FIG.-II-7

Nas figuras II-2 e 8, temos os desenhos de uma mesma peça que no primeiro caso deve ser fundida em um molde dividido em três partes e no segundo caso, pelo uso do macho externo o molde fica dividido em duas partes. A moldagem feita em duas caixas sòmente, é muito mais simples e rápida.

Os machos são peças de areia, aglomerados por um meio qualquer (resinas, óleos, etc.), moldadas à parte, por meio de caixas especiais denominadas "caixas de machos" que podem ser desmontadas fàcilmente em duas ou mais partes e que permitem a bo - tenção de perfís que, de outra maneira, não seria possivel obter, Figuras II-9 e 10.

Os machos apresentam boa resistência à deformação depois de prontos, podendo ser manuseados fàcilmente.

Após o vazamento, quando se inicia a solidificação, há uma retração do metal, e o macho deve ser suficientemente compressível para evitar o apare - cimento de trincas.

Os machos devem ser também bastante permeáveis para permitir a passagem de gases que se formam em contato com o metal aquecido.

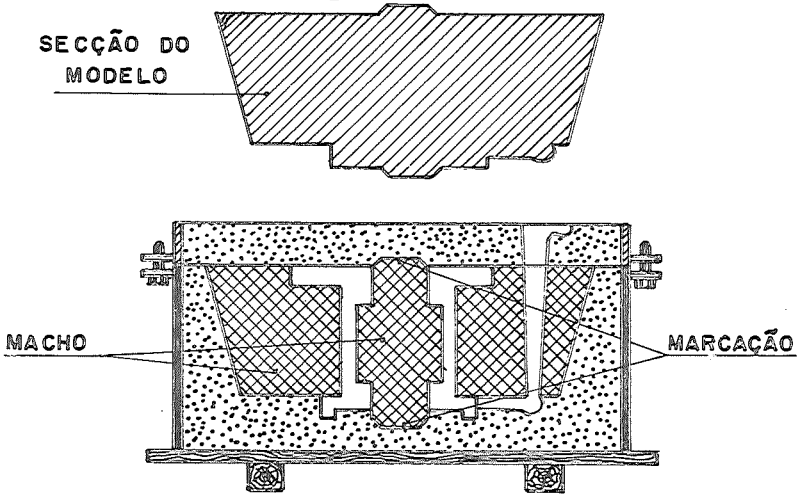


FIG.- II- 8

Muitas vêzes no interior dos machos são colocadas armações metálicas para dar maior resistência mecânica.

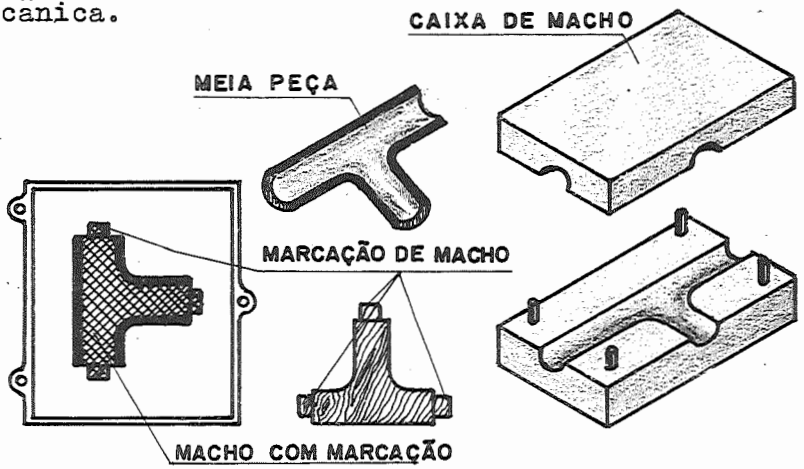
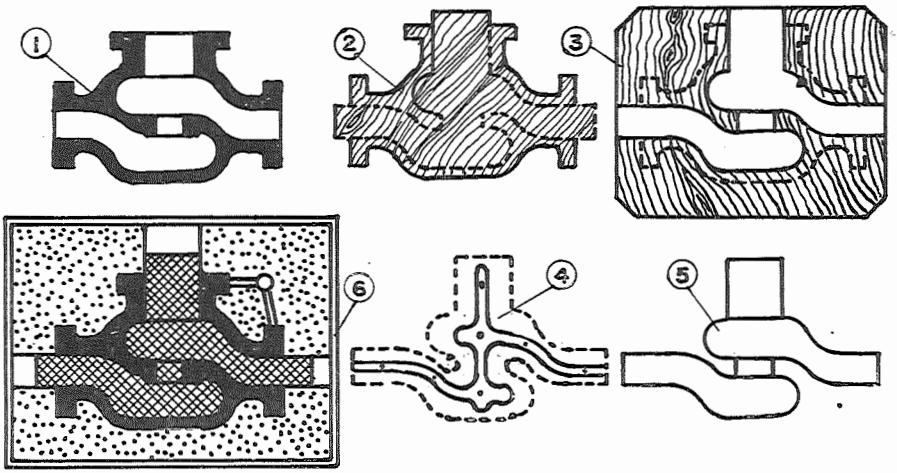


FIG.-II-9



1- PEÇA
2- MODÊLO
3- CAIXA DE MACHO
4 - ARMADURA DE MACHO
5 - MACHO
6 - CAIXA PRONTA

FIG.-II-10

Depois de fundida a peça êle se desagrega fàcilmente, queimado que foi pela ação do calor do metal líquido. Nêsses machos podemos distinguir duas partes: a) a parte útil, que será empregada para conformar a peça - parte que entrará em contato direto com o metal; b) marcações - parte do macho que servirá para fixação do mesmo na areia de fundição, de maneira a êle não se deslocar de sua posição quando receber o impacto do jato metálico que penetra no molde.

Devem-se, sempre que possivel, evitar mudanças bruscas de espessuras na peça, pois que trariam dificuldades na fundição. Um entendimento entre engenheiro projetista e o fundidor, é sempre interessante. No caso de não ser possivel modificar o formato e houver variações bruscas de secção de um ponto a outro da peça, devem-se tomar cuidados especiais na moldagem para produzir a solidificação direcional, controlada por meio de resfriadores, machos ou massalotes, Figuras II-11 a 16. (1)

FIG.- II- 11

(1) Esse massalote, que é um reservatório de metal quente para alimentar a peça durante a retração deve ser bem estudado quanto a dimensões, locaiização e alimentação, sem o que o seu efeito não se fará sentir, ou será até prejudicial.

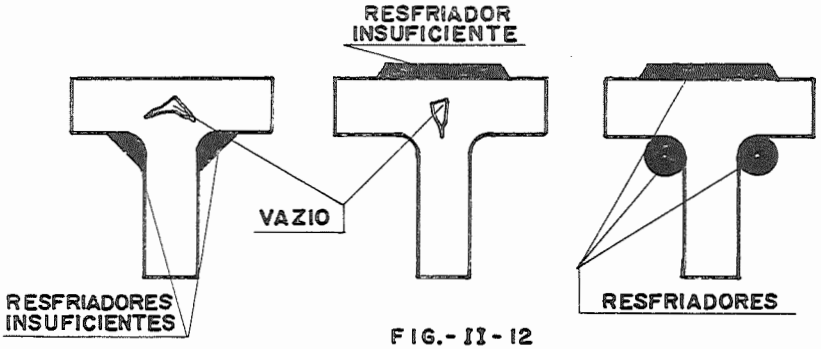


FIG.- II - 12

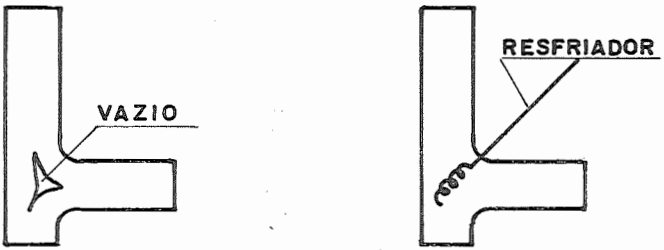


FIG.- II - 13

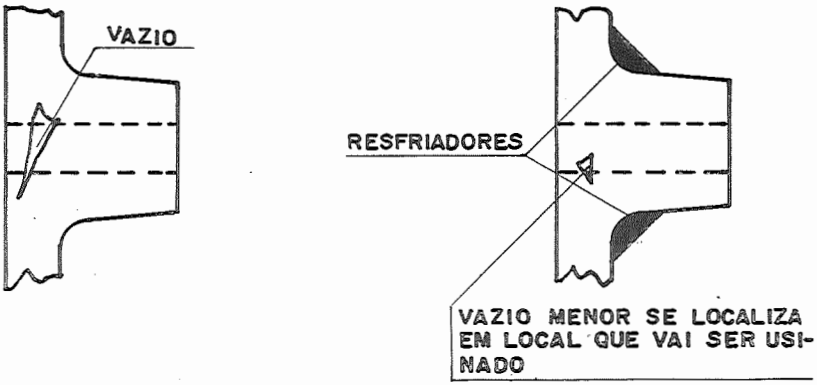


FIG.- II - 14

O metal que vai constituir a peça deve também ser conhecido, pois que êles se contraem diferentemente na solidificação e os modêlos devem ser feitos levando em conta essa contração.

Na Tabela II-1 são dados valores de contração de algumas ligas. São valores aproximados, pois que variam com muitos fatores: temperatura de vazamento, espessura da peça, forma, etc..

Essas contrações produzem tensões que podem deformar a peça ou causar a sua fratura.

Em peças que apresentam partes grossas ligadas a partes finas, as primeiras se contraem mais, as peças podendo apresentar a concavidade voltada para essa parte, Figura II-17

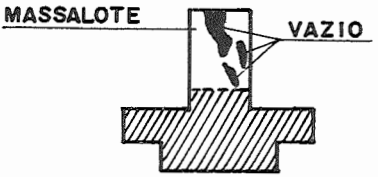


FIG.-II-15

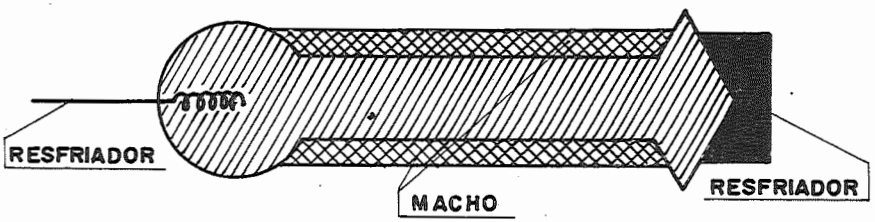


FIG.-II-16

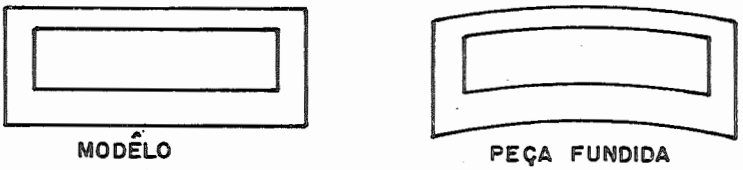


FIG.-II-17

TABELA II-1

Dimensão do modêlo em mm	Tipo de construção	Contração %
Ferro fundido cinzento		
até 600	modêlo ao natural	1,0
de 600 a 1200	modêlo ao natural	0,85
e acima de 1200	modêlo ao natural	0,70
até 600	modêlo com macho	1,04
de 600 a 900	modêlo com macho	0,85
e acima de 900	modêlo com macho	0,70
Aço fundido		
até 600	modêlo ao natural	2,10
de 600 a 1800	modêlo ao natural	1,55
e acima de 1800	modêlo ao natural	1,30
até 450	modêlo com macho	2,10
de 450 a 1200	modêlo com macho	1,56
de 1200 a 1650	modêlo com macho	1,30
e acima de 1650	modêlo com macho	1,04
Ferro fundido maleável	Espessura da peça	
	1,50 mm	1,43
	3,00	1,30
	4,50	1,25
	6,00	1,17
	9,50	1,04
	12,50	0,90
	15,50	0,78
	19,00	0,65
	22,00	0,39
	25,00	0,26
Liga de alumínio		
até 1200 mm	modêlo ao natural	1,30
de 1200 a 1800	modêlo ao natural	1,17
acima de 1800	modêlo ao natural	1,04
até 600	modêlo com macho	1,30
de 600 a 1200	modêlo com macho	1,17
e acima de 1200	modêlo com macho	1,04
Liga de Magnésio		
até 1200 mm	modêlo ao natural	1,43
e acima de 1200	modêlo ao natural	1,30
até 600	modêlo com macho	1,30
e acima de 600	modêlo com macho	1,30
Latão		1,56
Bronze		1,04

Valores das contrações que devem ser adotadas nas fundições em terra para os diversos materiais (segundo A.F.S. - valores orientativos)

Quando as tensões são elevadas a peça pode romper, como ocorre muitas vêzes em volantes que apresentam raios retos, Figura II-18.

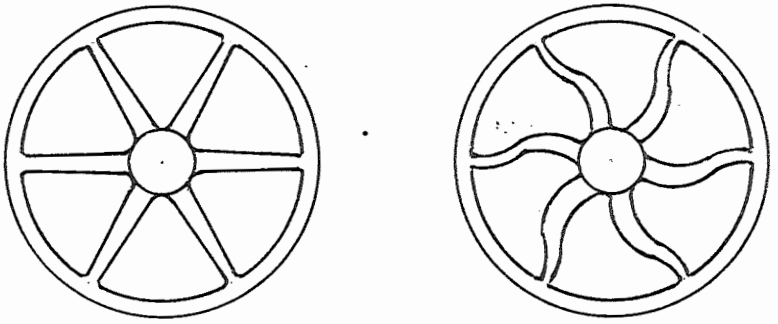


FIG-II-18

Os modelos devem ser construidos de maneira a facilitar a moldagem, de permitir a sua extração do molde de areia e, no caso de uso de machos, a sua colocação de maneira firme. Devem ser previstas então boas marcações, Figuras II-2, 8, 9 e 10.

Devem apresentar nas paredes que vão ser moldadas verticalmente uma inclinação que é denominada "saída" e que facilita o destacamento do modêlo do molde. Esta inclinação varia com a forma e dimensão da peça, o método de produção (moldagem) e com a localização das paredes (interiores ou exteriores).

Esta saída faz com que logo que se inicie a extração do modêlo do molde de areia, acabado, as paredes do modêlo se afastem das paredes do molde, evitando dessa maneira rompê-las inadvertidamente , Figura II-19.

Sob condições normais, esta inclinação varia entre 5' e 1º, devendo as paredes internas ter maior inclinação. A tabela II-2 dá alguns valores empregados para os ângulos de saída.

Côres dos modelos - Para facilitar o reconhecimento das várias partes de um modêlo, estas são pintadas de acôrdo com convenções. A Tabela II-3 dá

uma convenção que é utilizada em muitas fundições do Brasil.

TABELA II-2

ÂNGULOS DE SAIDA

Parte do modêlo	ângulo
Paredes macissas que podem sofrer forte abalo (na retirada do modêlo)	5' - 10'
Nervaturas retilíneas	20' - 40'
Nervaturas curvas externas	40' - 50'
Nervaturas curvas internas	50' - 1°
Pequenos furos (sem macho)	12° - 45°

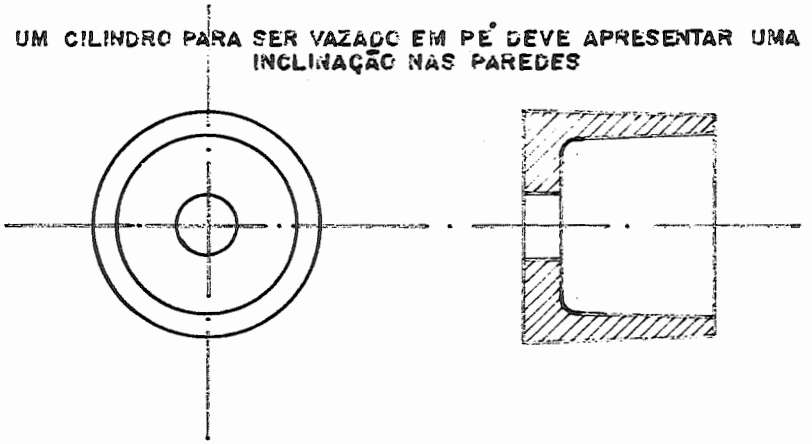
Nas partes que devem ser usinadas é deixado o que se denomina "sôbre-metal" que é a espessura que vai ser usinada para dar o acabamento.

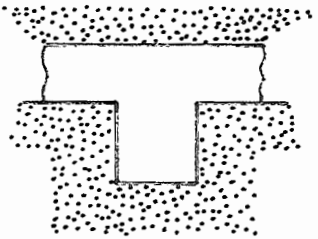
TABELA II-3

marcação de macho	- preto
locais a serem usinados	- amarelo
peças soltas	- amarelo com riscos vermelhos(1)
peças auxiliares para manuseio	- amarelo com riscos pretos (2)
peças a serem fundidas em ferro ou aço, sem usinagem posterior	- vermelho
peças a serem fundidas em metal não ferroso, sem usinagem posterior	- verde

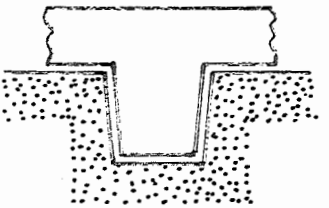
(1) Peças soltas são peças constitutivas do modêlo, amoviveis, de maneira a facilitar a extração do modêlo do molde pronto.
(2) Peças do modêlo, mas que não devem ser moldadas, pois não constituem parte da peça. Servem somente para facilitar o manuseio e moldagem.

UM CILINDRO PARA SER VAZADO EM PÉ DEVE APRESENTAR UMA INCLINAÇÃO NAS PAREDES





MODELO ERRADO (SEM SAIDA)



MODELO
SENDO EXTRAIDO DO MOLDE

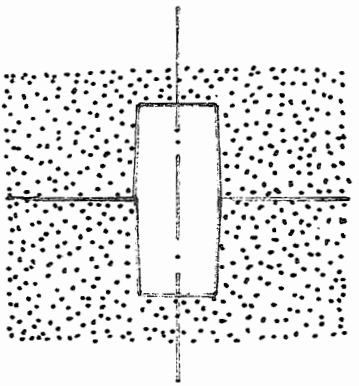


FIG.-II - 19

Estas partes da moldagem são, em geral, deixadas para o lado de baixo,pois assim terão menor probabilidade de apresentar defeitos de fundição.

As partes inferiores das peças fundidas são sempre mais limpas,pois asimpurezas menos densas flu - tuam.

Tipos de modelos - Os modelos podem ser divididos, segundo o modo de apresentação ou uso, em:

1) Inteiriço ou ao natural.

São os mais simples e geomètricamente semelhantes às peças a fundir. A diferença das medidas deve levar em conta a contração e a usinagem, Figura II-20 (a) e (b).

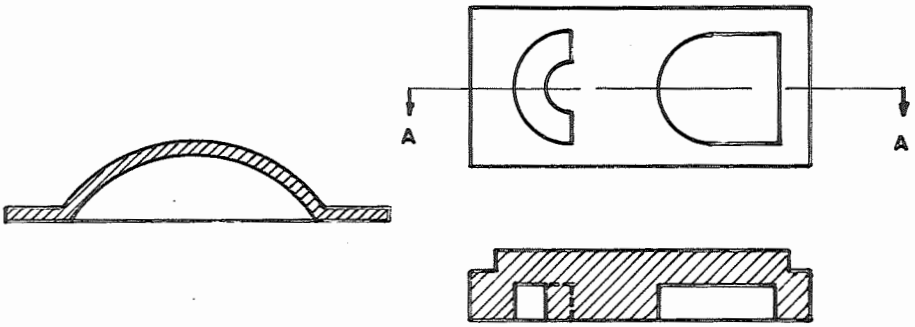


FIG.-II-20

No caso de haver partes salientes que não podem ser retiradas do molde sem rompê-lo, é usado o artifício chamado de "peça sôlta". Estas partes são fixadas ao modêlo de maneira que possam ser fàcilmente destacadas.Depois de moldada a peça é retirado o modêlo,ficando presa na terra a parte destacável, que é retirada posteriormente,pelo espaço deixado pelo modêlo, Figura II-21.

A peça da Figura II-2 também precisa apresentar uma parte sôlta.

Êste caso pode ser resolvido também com o uso de machos.O modêlo então não pode ser mais ao natural, pois teremos as marcações do macho, Figura II-22.

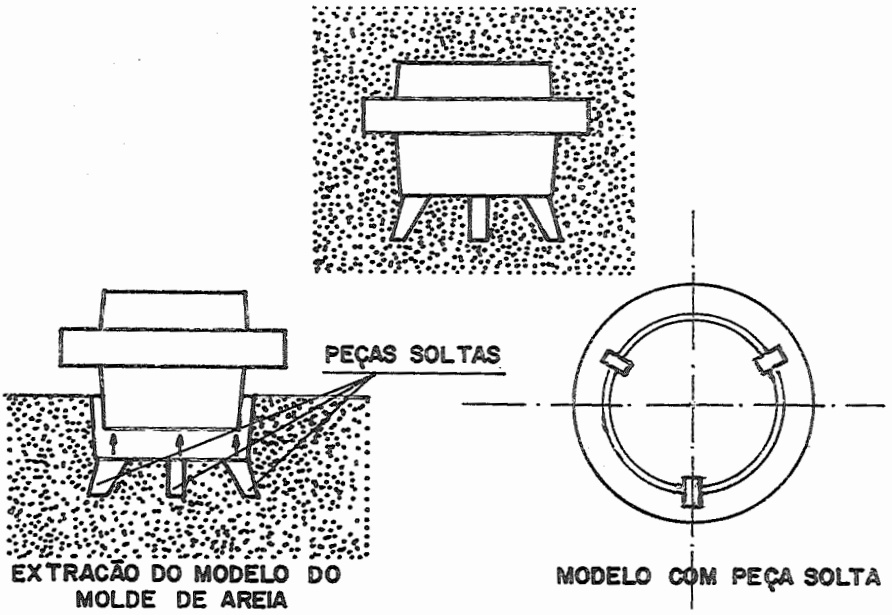


FIG.-II-21

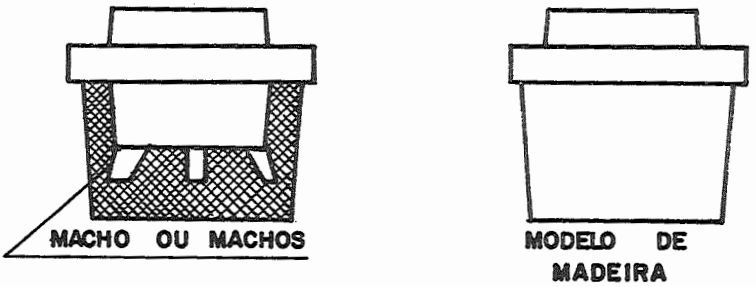


FIG.-II-22

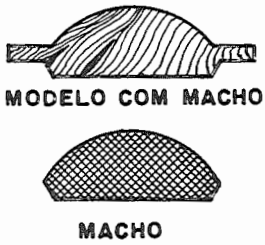
2) Modelos com macho.

Êste tipo de modêlo permite simplificar muitas vêzes a modelagem de uma peça, quando não é absolutamente necessário o seu uso, como foi explicado com as figuras anteriores.

Algumas superfícies da peça são formadas pelo próprio modêlo; outras partes como: cavidades, partes salientes que não podem sair do molde, partes

finas, etc. são formadas por machos.

Nas Figuras II-23 e 24 vemos peças idênticas às das Figuras II-20 (a) e (b), para serem moldadas com modêlo com macho.



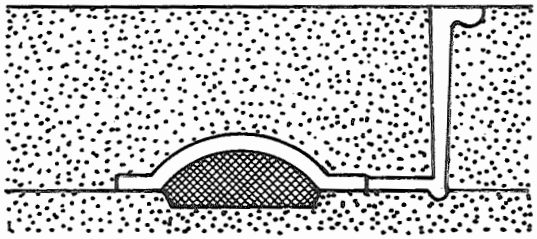
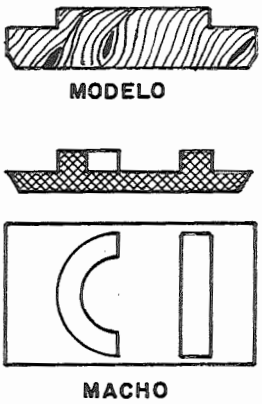


FIG.- II- 23



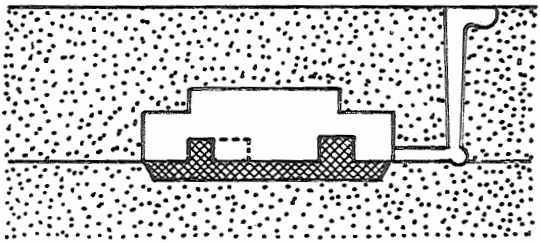
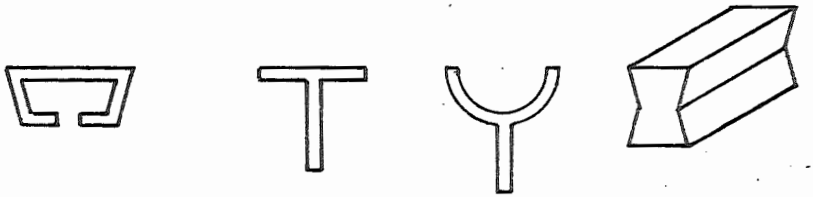


FIG.- II- 24

Quando não há possibilidade de fazer "marcações" suficientes para manter o macho em posição, usam-se os denominados chapelins que são pequenas peças metálicas finas (pregos, fitas, etc.), Figura II-25 , e que, firmados em pontos escolhidos do molde de areia, mantém o macho em posição, Figura II-26.

Em todos os casos deve ser deixada uma marcação por onde se faz a respiração do macho. Êstes, quando entram em contacto com o metal fundido, desprendem gases que, se não puderam sair, vão formar bôlhas nas peças metálicas. As respirações são verdadeiras chaminés que carreiam para fora do macho os

gases formados. Esta respiração é vista na Figura II-26.



DIVERSOS TIPOS DE CHAPELINS

FIG. - II - 25

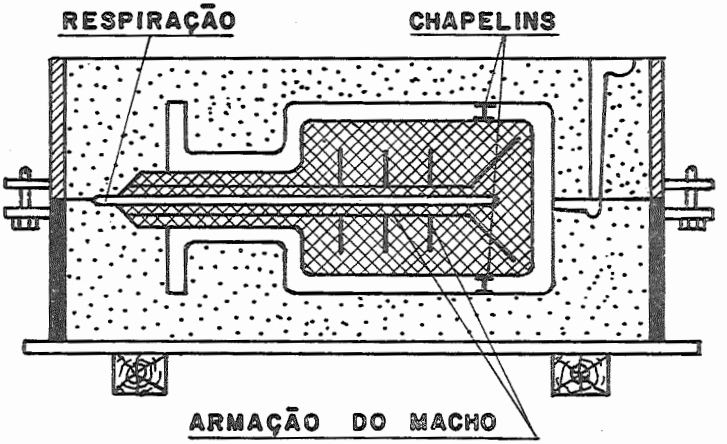
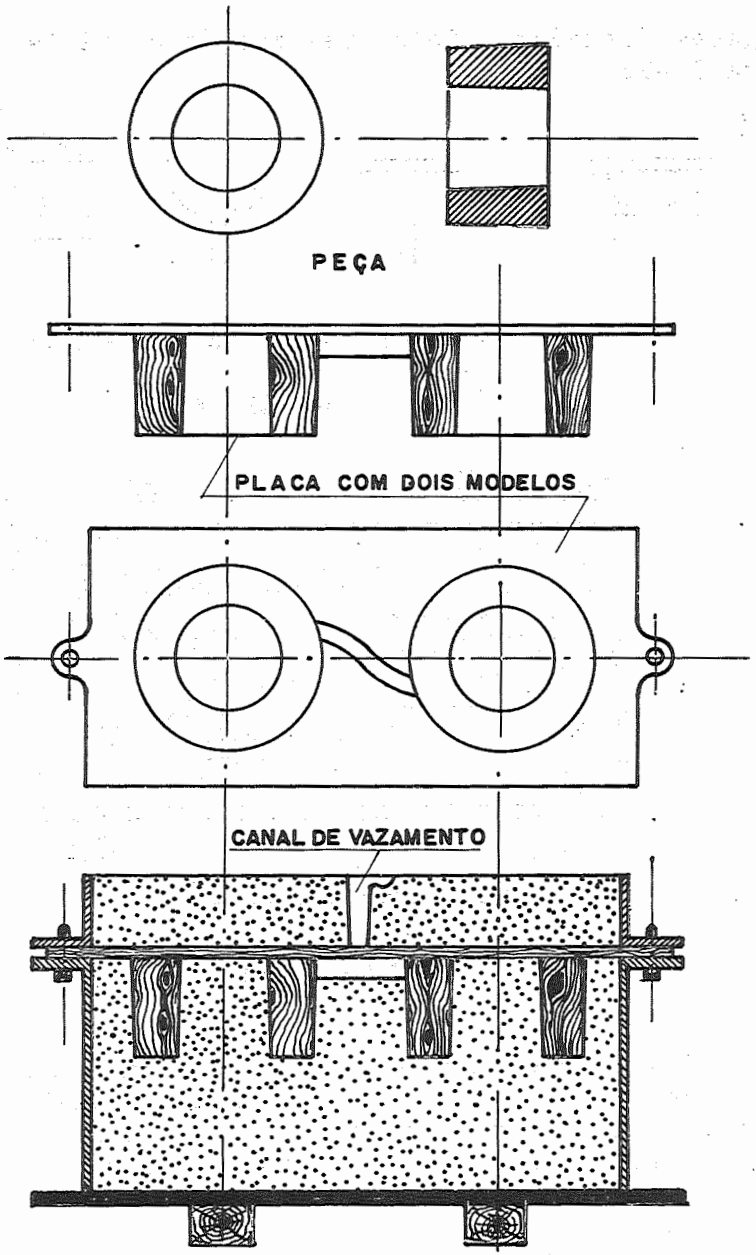


FIG. - II - 26

3 - Modelos com placa, com ou sem macho.

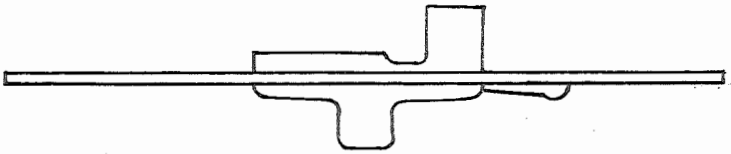
Para produção em grande escala trabalha-se com as denominadas placas, que são placas metálicas ou de madeira, onde são colocados os modelos. É um equipamento mais caro mas que compensa para grande produção.

Os modelos podem estar de um só lado da placa, Figura II-27 (2), ou então divididos com uma parte da peça de cada lado, Figura II-28 (1).

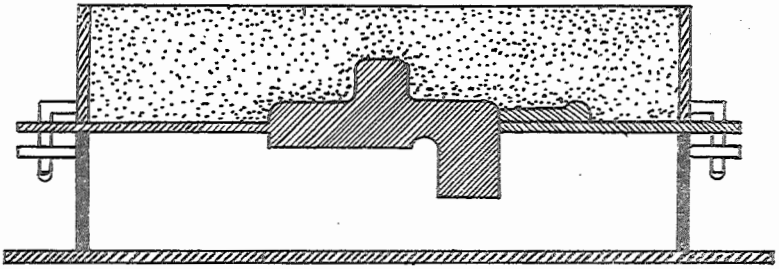


CAIXA MOLDADA COM MOLDE AINDA NA TERRA

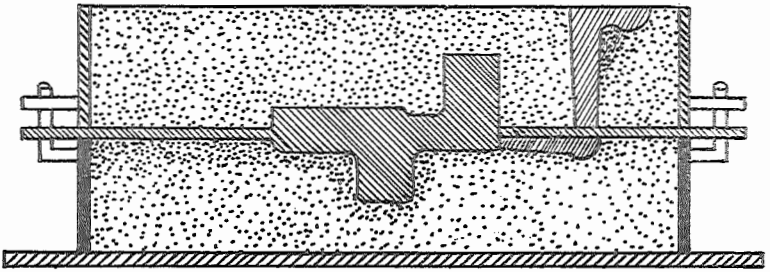
FIG.- II - 27



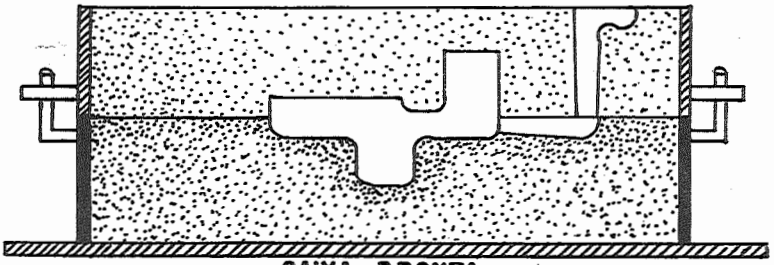
PLACA



SOCAMENTO DA CAIXA DE BAIXO



SOCAMENTO DA CAIXA DE CIMA



CAIXA PRONTA
FORAM RETIRADOS A PLACA E O MODELO DO CANAL
FIG-II-28

As placas têm, em dois de seus lados, orifícios onde se colocam guias, que serão ajustados aos pinos existentes em uma das partes da caixa (parte inferior) e que servem também de pinos guias para a outra parte da caixa, Figura II-29, e IV-1, 2, 5 e 6.

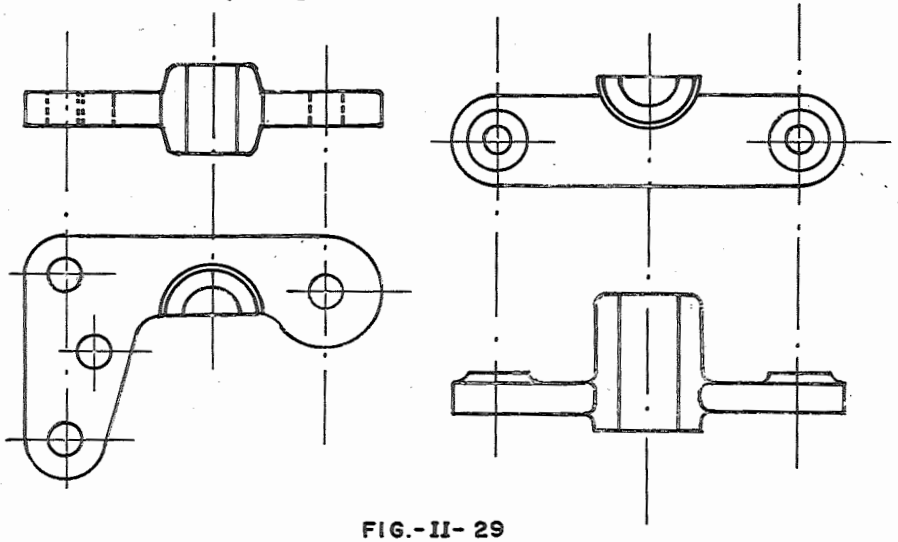


FIG.-II-29

Dessa maneira evita-se que as peças saiam desencontradas.

Qualquer jôgo ou folga existente entre os pinos de guia, orifícios da caixa superior ou placa, causa o aparecimento de peças desencontradas, quando o modêlo apresenta uma parte em cada lado da placa, Figura II-30.

Podemos ter também o caso de uma peça dividida em duas partes, sendo colocada uma em cada placa, estas sendo perfeitamente ajustáveis. Dessa maneira pode-se trabalhar com dois moldadores, cada um fazendo uma metade do molde e ajuntando-se depois as caixas. As placas permitem fàcilmente moldar várias peças de uma só vez e também imprimir na areia os canais de enchimento, Figura II-27.

4) Modelos de chapelona.

Quando se vai fundir uma peça que seja um sólido de revolução (cadinhos, retortas, etc.) em vez de

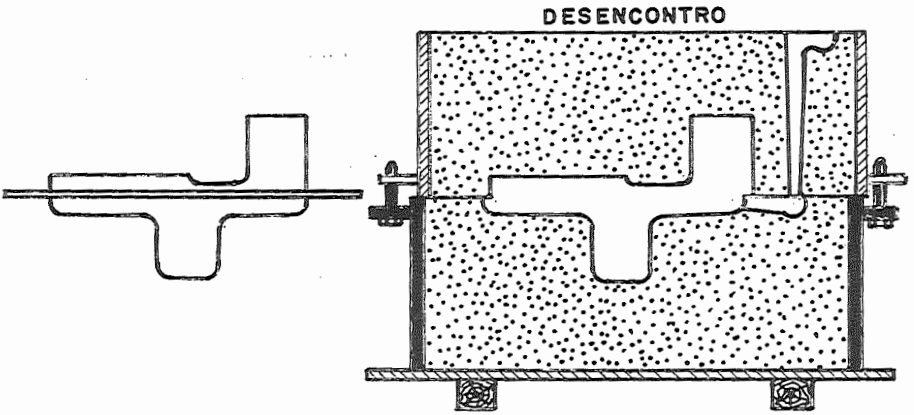


FIG.- II-30

usar um modêlo completo, usa-se o modêlo de "chapelona".

Êste sistema utiliza peças com o formato das geratrizes (externa e interna ou superior e inferior das peças a fundir), de maneira que possam ser adaptadas a uma haste que pode girar em tôrno de um eixo, Figura II-31

Em casos menos comuns os perfís podem sofrer movimentos diferentes do de rotação.

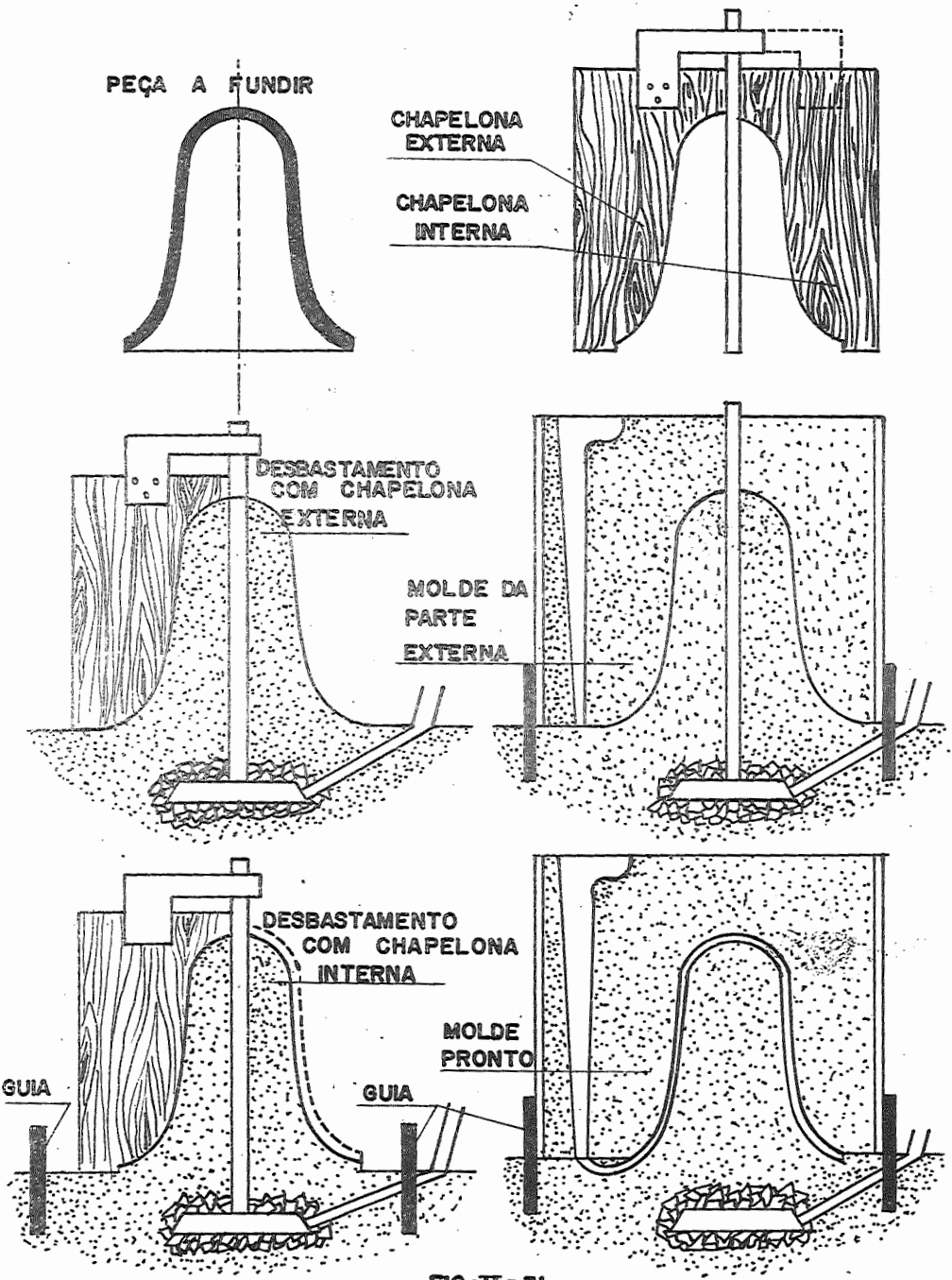

PEÇA A FUNDIR
CHAPELONA EXTERNA
CHAPELONA INTERNA
DESBASTAMENTO COM CHAPELONA EXTERNA
MOLDE DA PARTE EXTERNA
DESBASTAMENTO COM CHAPELONA INTERNA
MOLDE PRONTO
GUIA
GUIA

FIG-II-31

BIBLIOGRAFIA

1.- A.F.S. - Principles of Metal Casting - 1955

2.- A.F.S. - Steel Casting Design for the Engineer and the Foundryman - preprint 38 - 28

3.- GALASSINI A. - Fonderia - Hoepli - 1957

4.- GUASTALLA R. - La Fonderia - ed. Vallardi - 1947

5.- LE BRETON H. - Défauts des pièces de fonderie - 1956

6.- MAREK C. T. - Fundamentals in the production and Design of Casting - ed. Wiliy & Sons - 1952

7.- OUVRARD F. e LE BRETON H. - Pour le fondeur - 1954

8.- STELLA M. - Trattato de Fonderia - ed. Hoepli - 1952

9.- UCHOA M. P. - Sôbre a necessidade da colaboração entre o construtor e o fundidor - bol. 12 ABM nº 1-1944 - pág. 33

CAPITULO III

AREIA DE FUNDIÇÃO - COMPOSIÇÃO - CARACTERÍSTICAS - DEFEITOS QUE PODE CAUSAR NAS PEÇAS

A areia ou terra de fundição usada na confecção dos moldes é um material constituido de:
a) uma substância granular refratária;
b) elementos aglomerantes minerais e ou orgânicos;
c) outros elementos (serragem, carvão, etc.);
Êstes últimos nem sempre são empregados.

As propriedades das areias de fundição variam grandemente com as propriedades dos componentes e as porcentagens constitutivas.

A influência dos componentes é devida a vários fatôres como sejam: a forma com que se apresentam, dimensões das partículas, quantidade presente, e outras propriedades específicas (refratariedade, poder aglomerante, constituição química).

Classificação - Essas areias podem ser classificadas segundo vários critérios:

a) quanto à origem: areias naturais, semi-sintéticas e sintéticas:

1 - As areias naturais são as encontradas em depósitos contendo grãos de areia envolvidos já por aglomerantes (argila) em porcentagem tal que podem ser usadas diretamente sem outra adição do que água: como exemplos podem ser citadas: a terra da Lapa (São Paulo) e a chamada terra de Lisboa, esta última usada na fundição de metais não ferrosos, principalmen

te para o alumínio.
2 - As semi-sintéticas são aquelas em que se adiciona algum elemento além da água para corrigir e melhorar a sua composição de modo a poderem ser utilizadas.
3 - As areias sintéticas são obtidas a partir de elementos de base (areia, argila, etc.) e misturados em proporção adequada.

b) quanto à granulação e teor de argila. Será dada aqui a classificação do American Foundrymen Society com suas várias classes por ser bastante prática e bastante utilizada.

Classe	módulo de finura da areia
1	200 a 300
2	140 a 200
3	100 a 140
4	70 a 100
5	50 a 70
6	40 a 50
7	30 a 40
8	20 a 30
9	15 a 20
10	10 a 15

Classe	% de argila
A	até 0,5
B	0,5 a 2,0
C	2,0 a 5,0
D	5,0 a 10,0
E	10,0 a 15,0
F	15,0 a 20,0
G	20,0 a 30,0
H	30,0 a 45,0

O módulo de finura de uma areia é determinado da seguinte maneira: é tomada uma série de peneiras padrão e nesta série é peneirada uma amostra com o pêso determinado e verifica-se a quantidade retida em cada peneira. Multiplicam-se os valôres encontrados em cada peneira pelos respectivos coeficientes, que são números arbitrários de valor aproximado ao número de malhas por unidade de superfície da peneira anterior, somam-se essas parcelas e divide-se pela soma do material retido. Tem-se assim o módulo que representa o diâmetro médio ideal da peneira de malhas iguais ao seu diâmetro, dado pelo número de malhas por unidade de superfície.

Na Tabela III-1 é dado um exemplo de cálculo do módulo de finura de uma areia.

TABELA III-1

Peneira Nº de malhas Padrão U.S.	% retida	Coeficiente da peneira	produto	
6	0,0	3	0	
12	1,0	5	5,0	
20	5,6	10	56,0	módulo
30	8,4	20	168,0	
40	15,0	30	450,0	de
50	18,8	40	752,0	finura
70	16,6	50	830,0	$\frac{4.247}{80,2} = 53$
100	7,8	70	546,0	
140	0,8	100	80,0	
200	3,0	140	420,0	Classificação
270	0,2	200	40,0	5 - F
>270	3,0	300	900,0	
Argila(A.F.S.)	19,8	-	-	
Soma sem argila	80,2	-	4.247,0	

c) quanto à parte do molde em que é usada: areias de faceamento, areias de enchimento e areias de macho.

1 - Areias de faceamento são as que vão formar as faces das peças, ficando diretamente em contato com o metal líquido. Em geral são preparadas, então, com maiores cuidados do que as:

2 - Areias de enchimento que são utilizadas para encher as caixas onde são feitos os moldes após os modelos já estarem revestidos por areia de faceamento, servindo de apoio para estas.

3 - As areias de macho são utilizadas na confecção das partes pré-formadas e denominadas machos.

d) quanto ao uso: areias novas e usadas.

1 - Areias novas são as que se utilizam pela primeira vem em fundição;

2 - Areias usadas são as que foram utilizadas e perderam a resistencia devido à ação do calor sôbre os aglomerantes e que são corrigidas por meio de adições convenientes antes de serem novamente usadas.

e) quanto à umidade: areias verdes, sêcas ao ar ou por meio de chama e estufadas.

1 - Areia verde - são as areias utilizadas sem secamento após a feitura do molde e contém pràticamente o mesmo teor de umidade que lhe foi dado na preparação;

2 - As sêcas perdem grande parte dessa umidade nas superfícies que vão entrar em contacto com o metal. Secam naturalmente ao ar ou então são secadas por meio de chamas de maçarico, carvão, etc..

3 - As areias estufadas são as utilizadas na confecção de moldes que depois de prontos serão estufados.

f) quanto ao metal a ser vazado: areias para ferro, aço, para ligas não ferrosas.

g) quanto ao tamanho da peça: para peças pequenas, médias e grandes.

O tamanho e a espessura das peças tem influência pela quantidade maior ou menor de calor que o metal carreia para dentro do molde, assim como a pressão hidrostática do metal líquido no interior do molde.

As peças são divididas em: pequenas - até 5 kg de pêso e 10 mm de espessura; médias - de 5 a 30 kg

e 10 a 25 mm de espessura; grandes - acima dêsses valores. Êstes dados são para ligas ferrosas ou não ferrosas pesadas.

No caso de ligas de alumínio ou magnésio êstes valores são menores.

h) quanto à forma dos grãos: esferoidal ou arredondado, angular e sub-angular.

1 - Esferoidal ou arredondada - grãos mais ou menos arredondados;

2 - Angular - grãos apresentando arestas - formato poliédrico;

3 - Sub-angular - grãos apresentando algumas arestas - formato intermediário entre os dois anteriores.

Características das areias - Essas areias preparadas ou naturais devem apresentar certas características para que possam ser empregadas e que são as seguintes:

1 - Plasticidade e consistência - propriedades que apresentam as areias de poderem ter alteradas suas formas por meio de fôrças externas e manterem essas formas quando os esforços cessam.

Estas propriedades, sòmente relativas a areias verdes, estão ligadas principalmente ao tipo de aglomerante empregado.

A argila dá plasticidade e coesão às areias; quando úmida ela absorve água, tornando-se plástica e, envolvendo os grãos de areia, torna também o conjunto plástico; apresentando também um certo poder adesivo, dá consistência à areia.

Os outros aglomerantes utilizados - dextrina, breu, óleo, etc. não alteram ou alteram menos que a argila estas características que dão, juntamente com a moldabilidade, uma indicação da trabalhabilidade da areia.

2 - Moldabilidade - propriedade de ser fàcilmente adensada reproduzindo os detalhes do modêlo com pequeno esfôrço. Propriedade ligada à umidade, à quantidade de argila e ao formato dos grãos de areia.

A umidade ótima de trabalho é a que dá o maior volume específico à areia fôfa. Apesar de não ser êste o valor que dá maior resistência e permeabilidade às areias, é o geralmente empregado. Os teores que dão maior resistência variam entre 3 e 4%, Figura III-1, porém o teor de umidade empregado varia entre 6 e 7% conforme o metal a ser moldado e o teor de argila (1).

Quanto maior êste, maior deve ser a umidade.

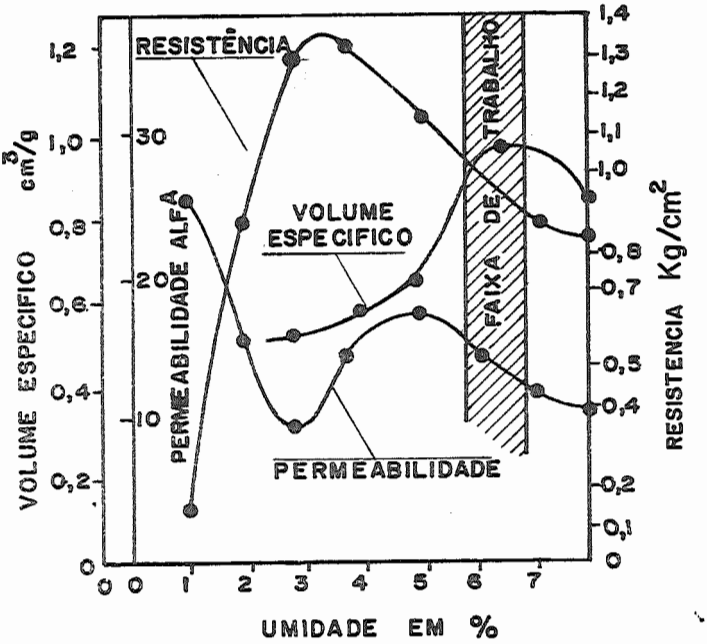


FIG.- III-1

(1) Estes valores são para a areia sintética a ser usada verde. Para areias semi-sintéticas e naturais os teores são mais elevados, assim como para as areias que serão secadas ou estufadas. Empregam-se também, em alguns casos, areias com teores de 3 a 4% de umidade.

Os grãos de areia de forma arredondada dão também maior moldabilidade. São então indicados para a reia de enchimento, facilitando o adensamento e são de emprêgo forçado, quando na confecção de machos, em máquinas de soprar.

3 - Dureza e resistência - propriedade de resistir ao jato e fôrça viva do metal em movimento, como também aos esforços que surgem ao serem manuseadas as caixas prontas.

4 - Permeabilidade - propriedade de se deixar atravessar pelos gases do metal ou gerados no molde durante o vazamento, como também pelo ar contido no molde antes do vazamento.

A permeabilidade de uma areia é tanto maior quanto maior fôr a quantidade de vazios existentes entre os seus grãos. É uma propriedade, portanto, que está intimamente ligada à granulometria da areia, à quantidade de aglomerante, à umidade e ao adensamento do molde.

Se considerarmos os grãos todos esféricos e do mesmo diâmetro, qualquer que fôsse o valor dêste, o volume total de vazios seria o mesmo; mas quanto menor o grão, menores os canais e maiores as variações de direção, dificultando a passagem dos gases. Deve-se, em cada caso, procurar usar a areia de módulo mais baixo e que dê acabamento satisfatório à peça. Quanto mais fina a areia - módulo mais alto - mais fino é o acabamento da peça.

Os grãos de areia não apresentam, no entanto, todos, as mesmas dimensões, os menores se insinuando nos vazios deixados pelos maiores, diminuindo o volume de vazios. Quanto maior a variação das dimensões, menor êsse volume de vazios, Figura III-2.

Devido a outros fatôres, a areia deve apresentar uma concentração de dimensões de grãos dentro de uma certa faixa de tamanhos como visto na Tabela III-1 e representando em gráfico na Figura III-3.

Esta concentração deve variar entre 50 e 70% em três peneiras consecutivas para que a areia seja considerada boa. A quantidade de argila também tem importancia, pois que sendo muito fina diminui o volume de vazios.

Quanto maior o teor de argila menor a permeabilidade.

As areias finas necessitam de maior quantidade de argila para que fiquem envolvidas por uma camada de argila da mesma espessura que as areias grossas.

Êste é um fator que diminui a permeabilidade das areias finas.

O teor de umidade também tem influência. Se não é suficiente, parte das partículas finas sôltas preenche os vazios entre os grãos; se é em demasia forma lama que veda as passagens. Para uma dada areia a permeabilidade varia inversamente ao adensamento ou socamento do molde.

5 - Refratariedade - propriedade de resistir à fusão ou amolecimento pelo calor trazido pelo metal, que dá causa à sinterização dos grãos.

Os fatôres que influem na refratariedade de uma areia de fundição são:

a) - tamanho dos grãos de areia - quanto maiores os graõs, maior a sua refratariedade.

b) - teor de argila - quanto maior o teor de argila menos refratária é a areia de fundição, pois que as argilas têm mais baixo ponto de fusão que as areias.

c) - impurezas de baixo ponto de fusão - estas impurezas podem provir da argila ou da areia base. São em geral óxidos de ferro, substâncias alcalinas, calcita.

Dependendo do ponto de fusão do metal ou liga a ser moldado deve ser levado em maior ou menor consideração esta característica.

6 - Variação dimensional - propriedade que apresentam as areias de deformarem pela ação do calor. Esta variação deve ser mantida dentro de limites adequados para que se obtenha uma boa peça.

A variação dimensional é controlada pela concentração granulométrica. 50 a 70% dos grãos devem ficar retidos em tres peneiras consecutivas. O aquecimento dos grãos se faz assim gradualmente. A ação dos grãos menores parece, também, ser devida ao afastamento maior que dão aos grãos maiores, permitindo a sua dilatação.

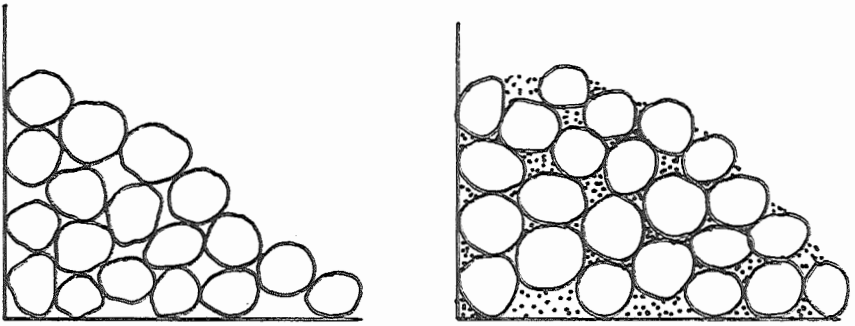


FIG.- III-2

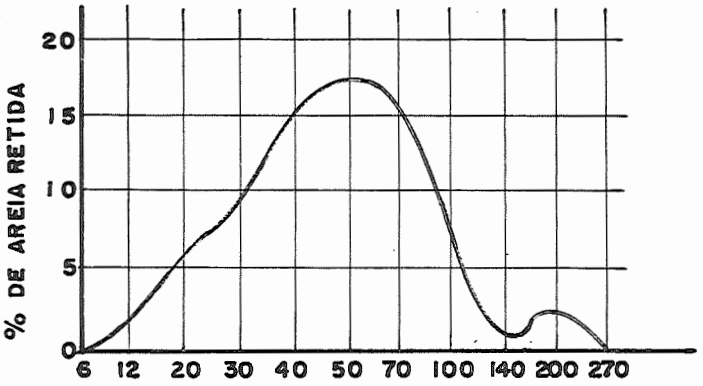


FIG.-III-3

Tôdas essas propriedades podem ser controladas por meio de aparelhos em laboratório especializado.

Constituintes das areias - A areia de base é em geral silicosa, podendo ser também aluminosas ou zirconíticas.

Os grãos podem apresentar formas diversas: angulares, sub-angulares e redondas.

As primeiras apresentam maior permeabilidade e dão mais elevada resistencia e as últimas maior moldabilidade.

Dos aglomerantes minerais a argila é o mais empregado, devendo possuir alto poder aglomerante. Sendo menos refratária que as areias, abaixa os valores desta propriedade, assim como a permeabilidade. A umidade deverá crescer, também com o teor de argila e isto é um inconveniente também para fundição com areia verde. Deve usar-se, em cada caso, a menor quantidade de argila para obter as qualidades necessárias.

Existem dois tipos de argilas mais empregadas em fundição: montmorilonítica e caulinítica.

As melhores são as primeiras e conhecidas sob o nome de bentonitas, se bem que não as mais refratárias.

As segundas são as mais comuns e encontradas no Brasil.

Por argila em uma areia de fundição compreendemos também as partículas de dimensões inferiores a 20 microns (0,02 mm). As argilas quando aquecidas acima de uma certa temperatura (aproximadamente 1.000ºC) perdem a propriedade de plasticidade e coesão, não mais servindo como aglomerante. Diz-se que a argila está queimada.

Entre aglomerantes orgânicos temos a dextrina, o breu, óleos diversos, outras resinas e melaço.

A dextrina derivada do amido aumenta a plasticidade, e a resistência mecânica quando estufada. Produz voláteis redutores que melhoram o acabamento superficial da peça, evitando a penetração do metal na areia.

Um tipo semelhante é a farinha de milho gelatinizada (mogul).

O breu aumenta muito a resistência dos moldes sêcos, evitando a reabsorção de água por êstes.

Os óleos são, em geral, usados para a confecção de machos, dando grande resistência às areias estufadas. Apresentam em geral muito baixa resistência a verde.

São utilizados: óleo de milho, de linhaça, de mamona, oiticida, etc.. As resinas sintéticas são também utilizadas na confecção de machos. As mais uti-

lizadas são: fenol-formaldeido (baquelite) e ureaformaldeido. Atualmente são usadas também na confecção de moldes (shell-molding). As areias, neste caso, não devem ter argila e matérias orgânicas pois diminuem a resistência e a moldabilidade.

O módulo da areia mais recomendado para estas aplicações varia entre 95 e 150 (A.F.S.).

O melaço obtido da refinação do açucar é também bom aglomerante utilizado tanto para machos como para a moldagem. Apresenta o inconveniente de absorver água.

O carvão é adicionado para que os gases por êle gerados melhorem o acabamento da peça. Diminui também a expansividade da areia e aumenta a refratariedade. O carvão, em geral, é do tipo betuminoso, com alta porcentagem de materiais voláteis. Deve ser moído a uma granulação mais fina que a areia de base para diminuir a expansibilidade.

Na fundição do Magnésio e suas ligas adicionam-se, para proteção contra a inflamação do magnésio por decomposição de água nos moldes, substâncias protetoras tais como: enxôfre, ácido bórico, bórax, fluoreto de amônio ou fluoborato de potássio e amônio.

A proporção dêsses elementos é variável entre 4 e 10%, aumentando com o tamanho da peça e com o abaixamento da permeabilidade da areia.

A serragem é adicionada para diminuir a expansão.

Composição típica de algumas areias para fundição:

- Para ferro fundido

a) Peças grandes - moldes estufados - areia de enchimento
   Umidade 6,5%
   Permeabilidade A.F.S. - 60 a 80
   Areia Rio Claro - 87 K - módulo 49
   Areia Jaçanã 13 K
   Água 7,1 lt

b) para faceamento
   Umidade 4 a 4,5%

Permeabilidade A.F.S. 150 a 200
Areia Rio Claro - 87 K - módulo 49
Argila Jaçanã 7,5 K
Bentonita 1,0 K
Açucar preto 6,0 K
Água 4,5 lt

c) areia para peças médias - faceamento
Umidade 6 a 6,5%
Permeabilidade A.F.S. - 40 a 50
Areia Rio do Peixe - 85 K - módulo 85
Areia Jaçanã 14 K
Dextrina 1K
Água 6,5 lt

d) para peças pequenas - faceamento
Umidade 5,5 a 6%
Permeabilidade A.F.S. - 20 a 25
Areia São Vicente - 80 K - módulo 100
Argila Jaçanã 15 K
Carvão 5 K
Água 6 lt

Na Tabela III-2 são dados alguns outros tipos de areias de fundição.

TABELA III-2

constituintes	enchimento	faceamento verde ferro	faceamento estufado ferro	faceamento verde não ferroso	faceamento estufado não ferroso
Areia S.Vicente módulo 90	100	100	100	100	100
Argila - Jaçanã	14	10	4	20	20
Mogul		1,5	1,5		
Breu					2
Óleo de milho			1,5		
Serragem					
Água	5	3,5	3,0	5,5	6,5

Estas composições são de areias estudadas no I.P.T..

Para machos são em geral empregadas areias sòmente com óleo na proporção de 1,0 a 1,5%. As areias são secadas antes de misturar o óleo. Depois de confeccionados, os machos são estufados, a temperatura variando entre 200º e 400ºC.

Preparo das areias - As areias de fundição para serem empregadas devem ser preparadas de maneira que se obtenha uma mistura bem homogenea.

Esta homogeneização é feita em misturadores que constam, na maior parte, de uma caçamba dentro da qual giram mós e pás. As mós não tocam o fundo para não triturar os grãos de areia. A quantidade de água necessária é também adicionada.

Existem um tempo ótimo de mistura que dá para a areia melhores resultados e que deve ser estudado por meio de ensaios.

A areia usada que volta ao circuito é peneirada para retirar os maiores pedaços de metal e restos de machos; em uma instalação completa são retirados os finos (areia e argila queimada) por sucção, e pequenas partículas metálicas por meios magnéticos (para fundição de metais magnéticos).

A areia de fundição deve ser também areada por um meio qualquer (desintegradores, aeradores ou condicionadores).

Na Figura III-4 vemos esquemàticamente a representação de uma estação de tratamento de areia de fundição.

Defeitos de fundição devidos à areia.

As areias de fundição são causadoras de grande número de defeitos nas peças fundidas quando o seu contrôle não é bem feito.

Os principais defeitos causados por uma areia de fundição não adequada e as causas que os produzem são as seguintes:

Sôpro - superfícies lisas na superfície da peça, podendo apresentar também penetrações no interior da mesma. Podem aparecer também em superfícies que fo-

ram moldadas com machos.

As suas causas devidas à areia são: areia muito fina, com baixa permeabilidade ou com umidade alta ou alto teor de aglomerante.

Queda - deformações irregulares devido à queda de parte do molde em sua cavidade.

Causas: umidade defeituosa, baixo teor de aglomerante, ou mistura mal feita.

Escamado ou escama - pequena área proeminente em parede fina principalmente, em geral porosa, com impregnação de areia.

Causas: areia fina, alta umidade, alto teor de aglomerante, dando elevada resistência.

Lavagem de areia - saliências grosseiras do metal ou cantos vivos arredondados. Defeitos também ao longo da linha de entrada do metal.

Causas: umidade incorreta, baixo teor de aglomerante ou insuficiente tempo de mistura.

Superfície grosseira - superfície muito áspera, dando mau acabamento à peça.

Causas: areia grosseira ou com má distribuição granulométrica, alta permeabilidade, alto teor de aglomerante.

Fraturas - fendas que aparecem nas peças durante o esfriamento.

Causas: resistência muito elevada.

Rabo de rato - a superfície apresenta depressões alongadas em superfícies planas.

Causas: umidade alta, má distribuição granulométrica, resistência elevada.

Pontos duros - áreas de maior dureza, dificultando a usinagem por estarem na superfície.

Causas: partículas metálicas na areia.

Junta fria - falta de união no local da peça onde se encontram duas correntes de metal líquido.

Causas: alta umidade e baixa permeabilidade.

Inclusão de areia - cavidades de forma irregular apresentando no interior estrutura granular.

Causas: areia mal homogeneizada, resistência e permeabilidade baixas.

Êsses defeitos podem ser causados por outros fatôres como sejam: mau projeto da peça ou dos canais, temperatura de vazamento errada, manuseio descuidado dos moldes, etc..

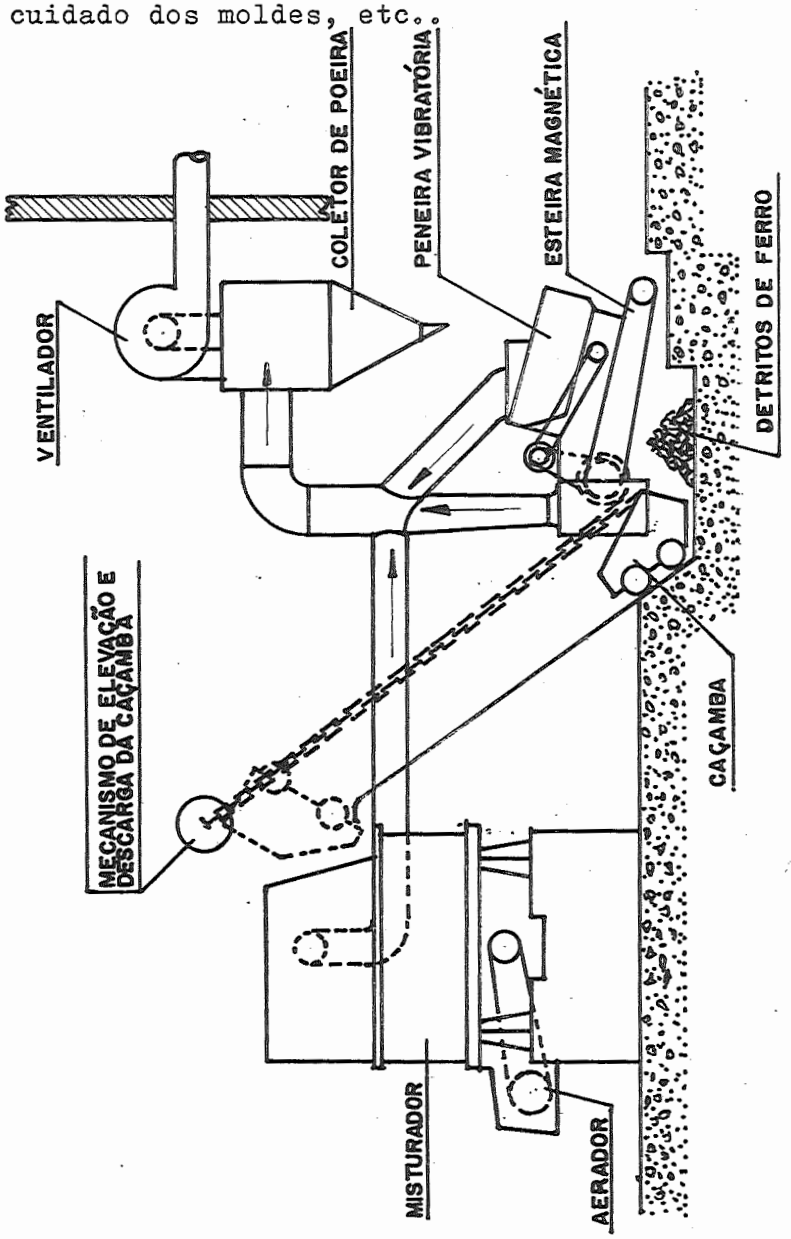


FIG. - III - 4

BIBLIOGRAFIA

1.- BASTIEN, P. - Le magnésium et les alliages ultre-legers - 1948.

2.- BRIGGS, C.W. e MOREY, E. - Areias sintéticas para moldagem de aço.(*)

3.- BROSCH, C.D. - Areias de fundição - Boletim nº 44 - I.P.T.

4.- BROSCH, C.D. - Idéias fundamentais sôbre areias de moldagem e estudo comparativo entre os tipos de areia natural e sintética - Boletim da A.B.M. nº 4 - vol.2 - julho 1946 - pag.51

5.- BROSCH, C.D. - Argilas e Bentonitas para fundição - Boletim da A.B.M. nº 30 - vol.9 - pag.73.

6.- DIETERT, H.W. - A areia na sua fundição(*).

7.-GUASTALA, R. - La Fonderia - ed.Vallardi - 1947.

8.- HEINE, R. e ROSENTHAL, P.C. - Principles of metal casting - A.F.S. - 1955.

9.- MOND, T.C. du - Shell molding and shell molding castings - 1954

10- MARECK, C. F. - Fundamentals in the production and design of casting - 1952.

11- REFINETTI, R. - Composição característica de areias de fundição estudadas no I.P.T. - Boletim da A.B.M. nº 4 - vol.2 - julho 1946 - pag.75.

12- STELLA, M. - Trattato de Fonderia - ed.Hoepli - 1952

13- WALKER, T.R. - Areias de fundição(*).

(*) A bibliografia citada sob os números 2, 6 e 13 são relativas a artigos publicados, dos quais foram consultadas traduções, sem indicação de orígem.

CAPITULO IV

MOLDAGEM MANUAL E MECANIZADA(*)

Os moldes de areia são preparados, como vimos, em geral, em caixas.

A secção destas caixas é, na maioria das vêzes, quadrada ou retangular e menos comumente de outras formas, Figuras IV-1, 2, 3 e 4.

Elas são divididas em meias caixas ou várias partes e são ajustadas, umas sôbre as outras, por meio de pinos e guias ou outros processos, Figuras IV-5a 10, apresentando também ressaltos denominados orelhas, alças ou munhões para facilitar o manuseio , Figuras IV-2 e 3.

Estas caixas podem ser de abrir ou inteiriças, Figuras IV-1, 11 e 12.

As caixas de abrir ou as de modêlo igual à da Figura IV-1, com facas, podem ser retiradas depois de moldada a peça deixando formado um "bolo" de areia, no interior do qual fica o vazio que será preenchido pelo metal. Uma só caixa serve então para moldar vários "bolos" que serão preenchidos de metal na mesma ocasião.

Quando as caixas não permitirem retirar o " bolo " antes do vazamento o número de caixas necessário é maior, pois elas ficarão ocupadas até a desmoldagem da peça.

(*) Fazemos notar aqui que tratamos somente de moldagem mecanizada e não de fundição mecanizada que compreende a mecanização de tôda a fundição: transporte de areia, das caixas, etc.

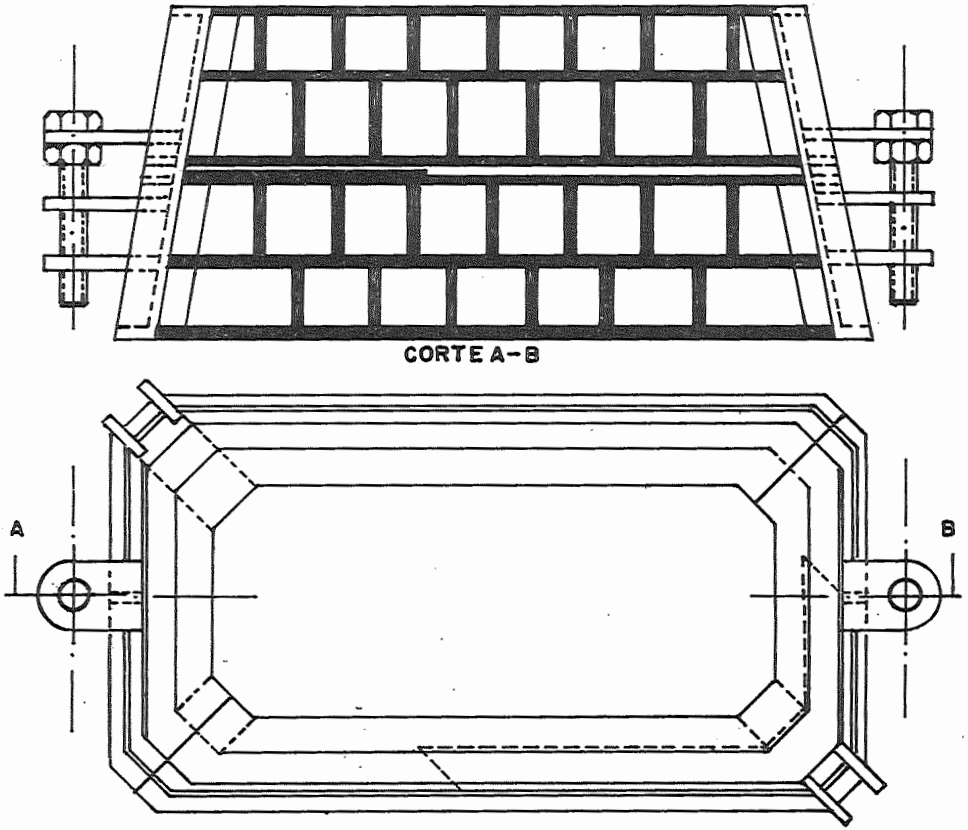


FIG. - IV - 1

Moldagem manual - A moldagem manual é uma verdadeira arte e depende da habilidade do moldador.

Vejamos as etapas seguidas para a obtenção do molde de areia:

1) Caso de modêlo inteiriço - com ou sem macho.

a - o moldador coloca o modêlo sôbre uma placa plana (estrado) Figura IV-13 ou, se o modêlo não tem uma superfície plana ou não é partido, sôbre uma "cama"(1). Esta cama conterá a parte do modêlo que será formada na caixa superior, Figura IV-14.

(1) Em geral, para pequena produção, esta é feita com a propria areia de produção.

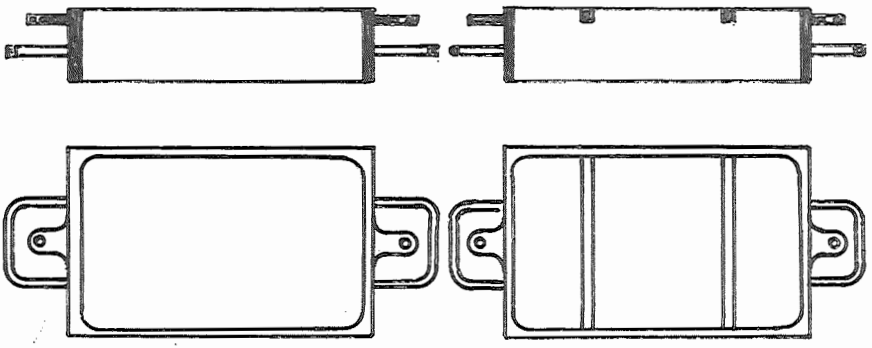


FIG.- IV-2

CORTE A-B

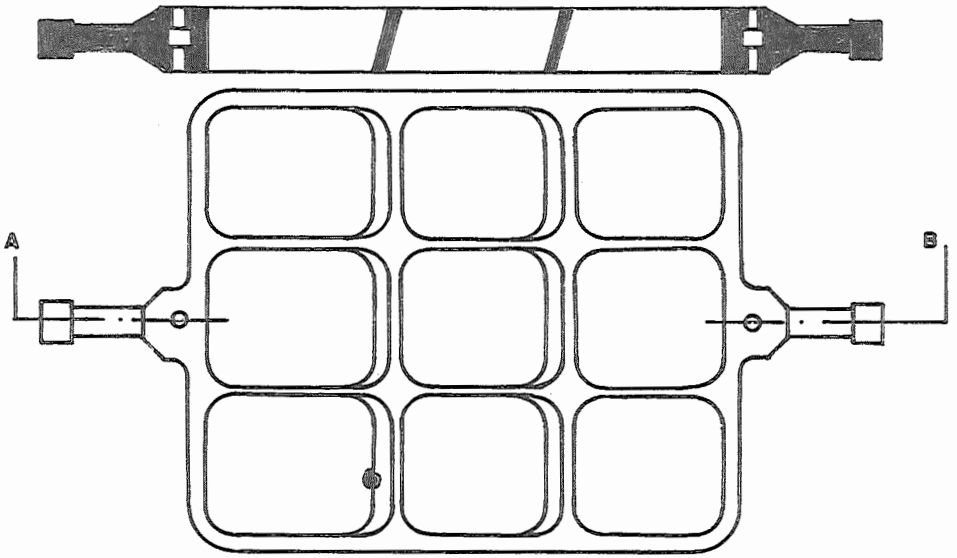
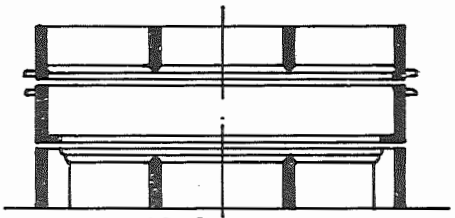


FIG.- IV-3

Estuda a colocação da peça no estrado de modo a permitir a colocação dos canais de vazamento e, se preciso, canais de subida, massalotes, etc..

Os canais de vazamento, subida e massalotes devem ser bem dimensionados e sua colocação bem estudada para evitar defeitos de fundição.



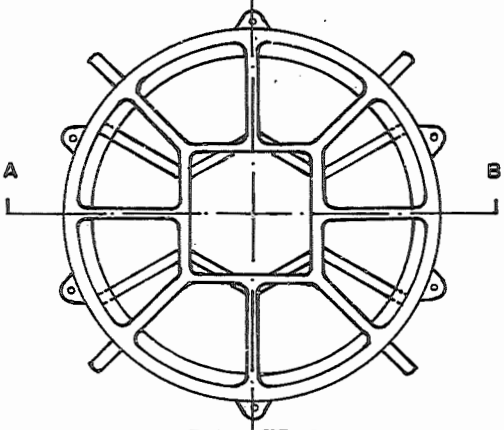
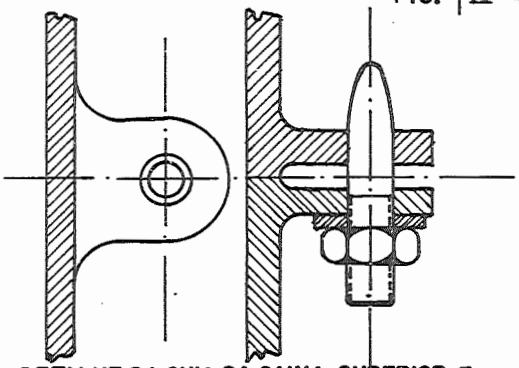
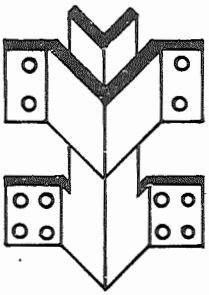


FIG.- IV- 4



DETALHE DA GUIA DA CAIXA SUPERIOR E JUSTAPOSIÇÃO DAS DUAS CAIXAS COM PINO DE GUIA

FIG.- IV- 5

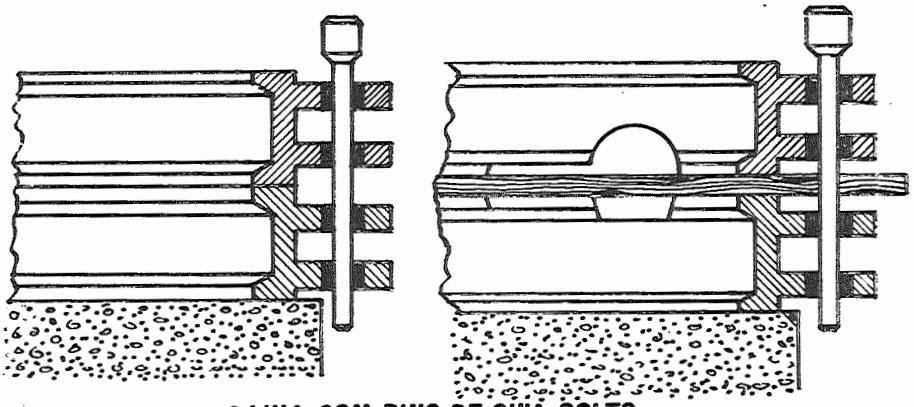


OUTRO TIPO DE PINO DE GUIA

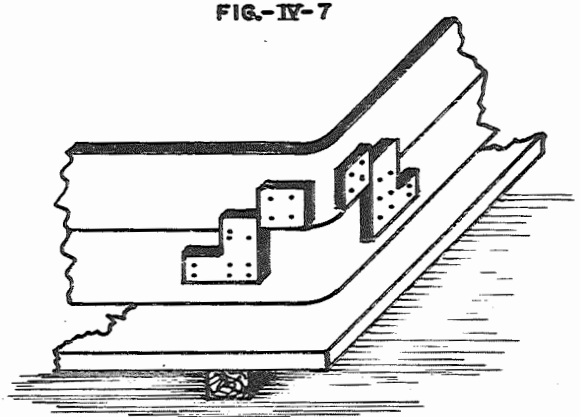
FIG.- IV- 6

Em geral os canais são superdimensionados, evitando-se, dessa maneira, pela prática, fazer um estudo analítico de um canal exato.

São tres os principais problemas relativos a um canal: tamanho, forma e posição e estão relacionados principalmente com as características de solidificação do metal e tamanho e forma da peça.

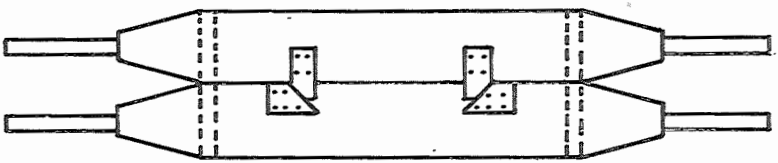


CAIXA COM PINO DE GUIA SOLTO
FIG.-IV-7



OUTRO TIPO DE PINO DE GUIA PARA CAIXA DE FUNDIÇÃO

FIG.- IV- 8



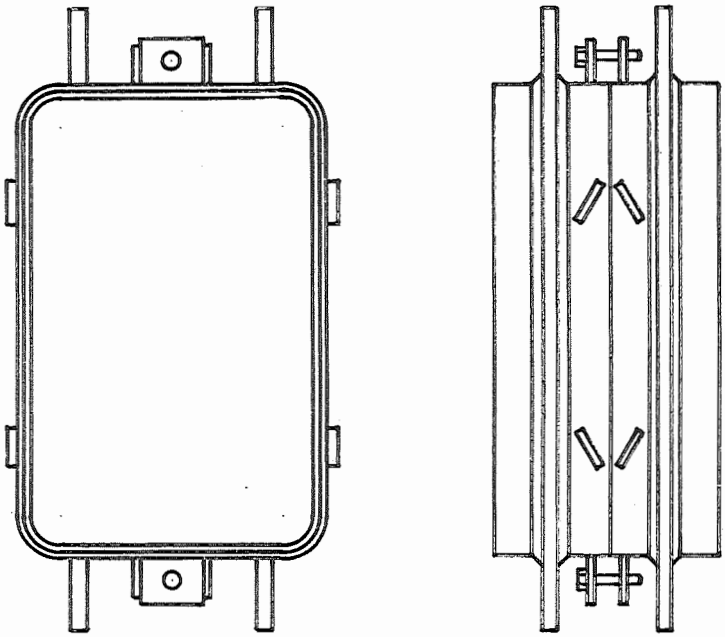
GUIA PARA CAIXA DE FUNDIÇÃO

FIG.- IV-9

Na Figura IV-15 vemos esquematizado um canal - o mais simples utilizado - com as suas designações.

A secção do canal de vazamento é em geral circular e a do canal de distribuição e enchimento pode

ser: retangular, triangular, trapezoidal, etc., Figura IV-16



CAIXA DE FUNDIÇÃO

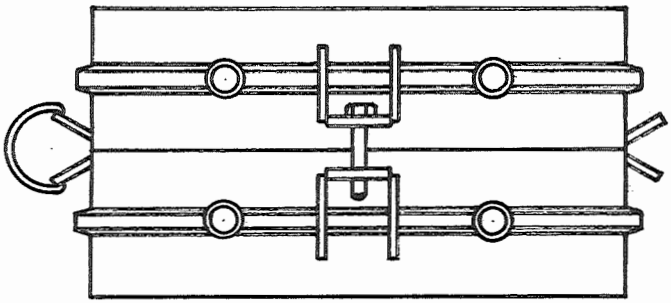
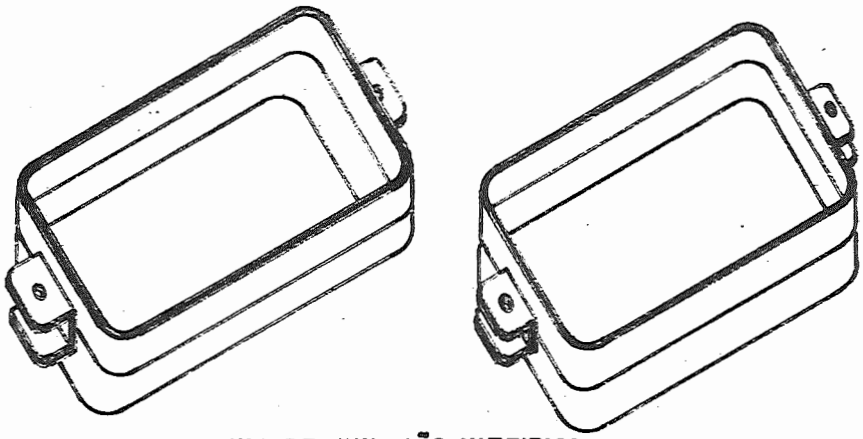
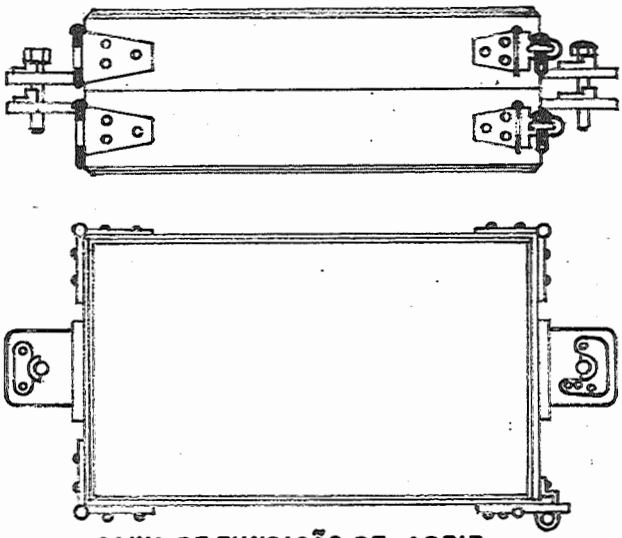


FIG.-IV-10



CAIXA DE FUNDIÇÃO INTEIRIÇA

FIG.- IV -11



CAIXA DE FUNDIÇÃO DE ABRIR

FIG.- IV- 12

Para facilitar a quebra dêsse canal após a fundição é feito um pequeno estrangulamento em local próximo à peça, Figura IV-17.

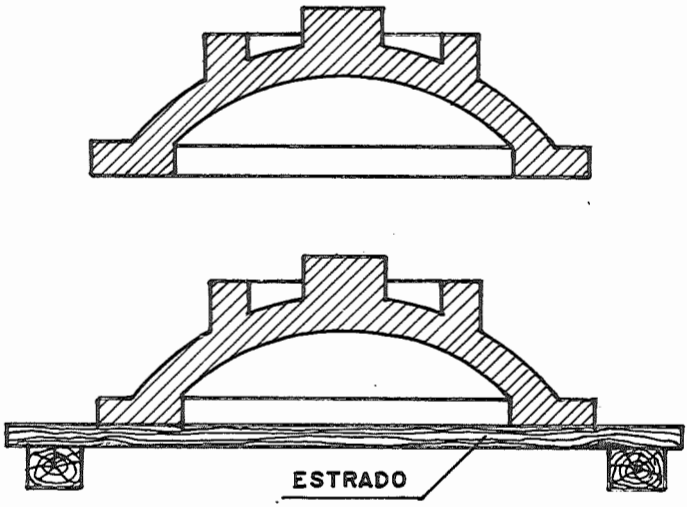


FIG.- IV- 13

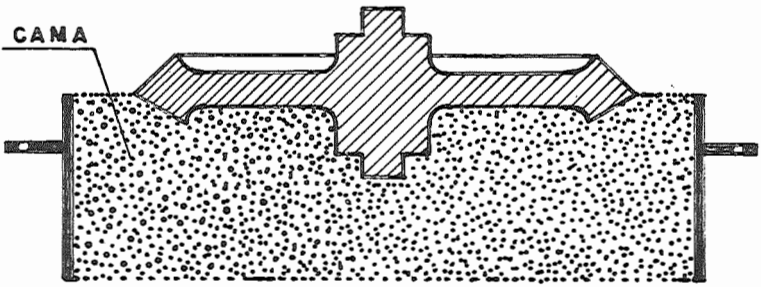


FIG.- IV- 14

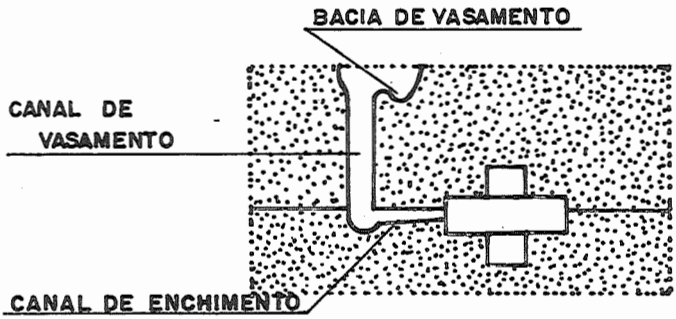


FIG.- IV-15

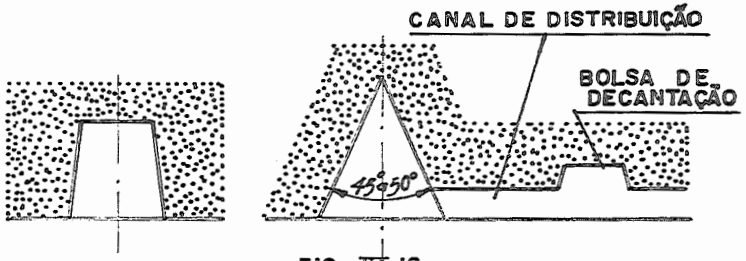
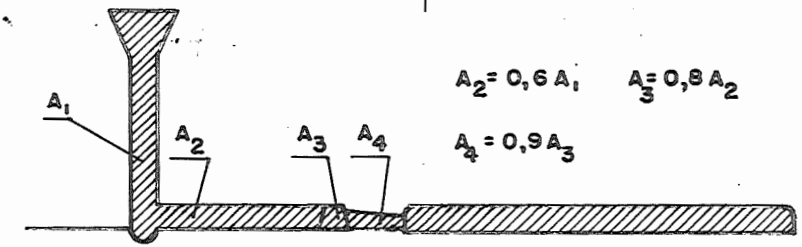


FIG.-IV-16



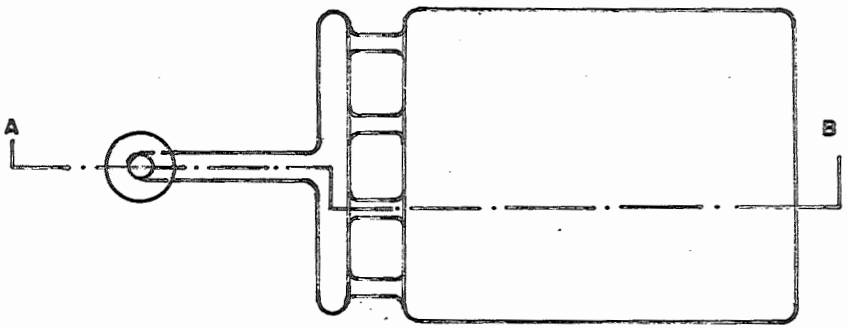


FIG.-IV-17

As Figuras IV-18, 19 e 20 mostram esquemàticamente outros tipos de canais.

b - coloca uma meia caixa (2) sôbre a cama ou estrado, espalha licopódio, areia sêca ou grafita fina sôbre o modêlo e cama, para facilitar a sua retirada do molde depois de feito e coloca areia de faceamento dentro da caixa, peneirando no ato até cobrir todo o modêlo e comprime a areia, Figuras IV-21 e 22.

(2) Se a caixa é de grandes dimensões ela é barreada pela parte interna para auxiliar a fixação da areia ou terra de fundição que será colocada no seu interior.

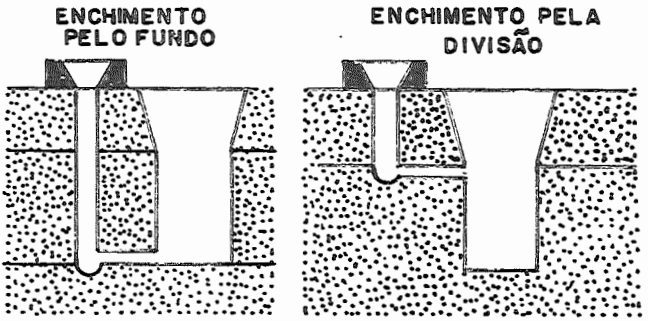


FIG.- IV-18

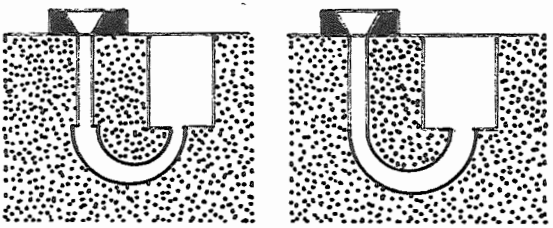


FIG.-IV-19

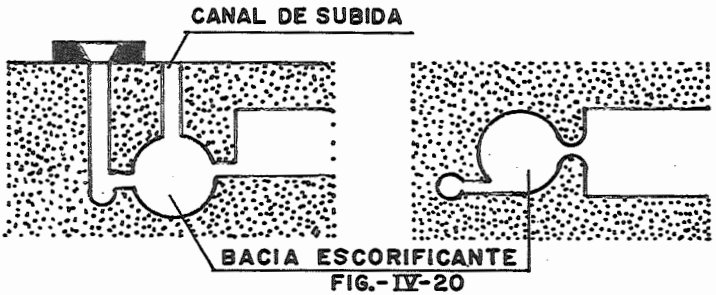


FIG.-IV-20

c - a seguir enche tôda a caixa com areia de enchimento, socando bem e retirando o excesso de areia, Figuras IV-23 e 24.

d - com um arame fino, perfura o molde para dar saída aos gases e inverte a caixa, retirando a seguir o estrado ou cama, Figura IV-25 (1).

(1) Se a areia tiver permeabilidade suficiente, não há necessidade de abrir estes furos de respiração.

AREIA DE FACEAMENTO

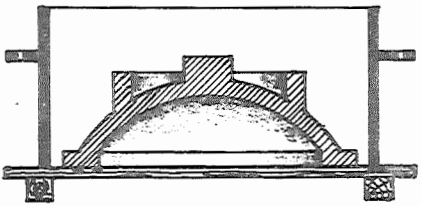


FIG.- IV-21

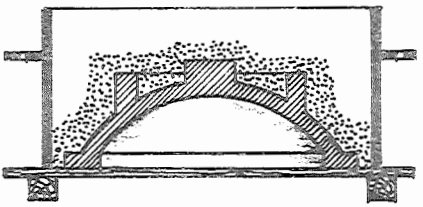


FIG.- IV-22

e - asperge areia sêca, licopódio ou grafita sôbre o modêlo e caixa inferior, coloca a parte superior da caixa de moldagem, os modelos dos canais, a haste de abalamento e peneira areia de faceamento sôbre o modêlo, Figuras IV-26 e 27.

f - quando devem ficar pendentes grandes bolos de terra, como no exemplo, êstes são reforçados pela colocação de ganchos metálicos que se apoiam nas travessas das caixas. Coloca areia de enchimento e apisoa.

Tira o excesso de areia, faz as tiragens de ar e retira os canais, Figura IV-28.

g - abala o modêlo por meio de pancadas, retira a parte superior da caixa e o modêlo da caixa inferior, Figuras IV-29 e 30.

O modêlo é abalado por meio da haste a êle fixado ou, às vêzes, abalando a caixa por meio de leves deslocamentos laterais.

h - conserta os pontos quebrados, faz as comunicações entre canais e peças, limpa o conjunto e fecha as caixas, Figuras IV-31.

No caso de existirem machos, são êles colocados antes de fechar a caixa. As caixas são presas uma contra a outra por meio de presilhas, pêsos, etc. e fica pronta para ser vazada.

COLOCAÇÃO DA AREIA DE ENCHIMENTO

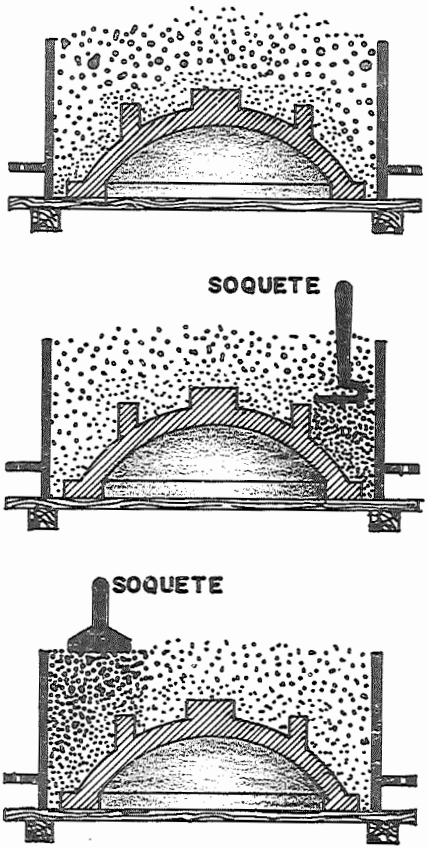


FIG.- IV-23

2) Caso de moldagem com placa - A placa é colocada entre duas meias caixas com os cuidados anteriores, e é enchida a meia caixa inferior que deve estar virada para cima.

Todo o conjunto é virado e enchida a outra meia caixa.

Retira a caixa superior preparada, depois a placa, são feitos os consêrtos necessários e a limpeza, e a caixa está pronta para ser fechada.

3) Caso de moldagem com chapelona - O moldador fi-

xa um eixo ao solo e adapta-lhe a haste ou bandeira na qual está preso o perfil com o formato externo da peça.

Junta um bolo de terra com dimensões suficientes em tôrno do eixo, soca bem e por meio de movimentos de revolução da haste, recorta, no bolo de terra, o contôrno externo da peça, Figura IV-32.

Êste modêlo de terra, serve, agora, para a formação da parte externa da peça que é moldada em caixas. Reveste, para isso, o modêlo de terra com papel para que a areia socada na caixa de moldagem a êle não adira, Figura IV-33

RASPAGEM DO EXCESSO DE AREIA

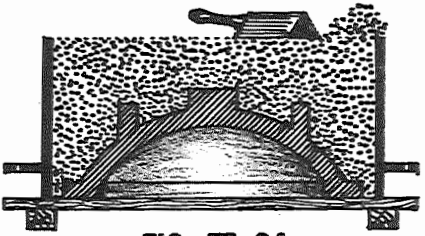


FIG.-IV-24

FERRAMENTA PARA FURAR AS RESPIRAÇÕES

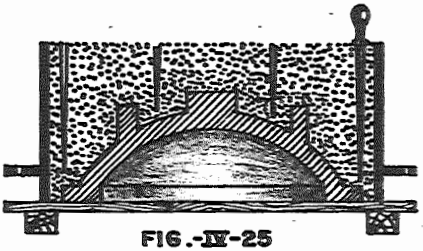
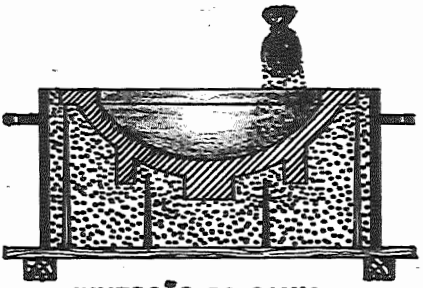


FIG.-IV-25



INVERSÃO DA CAIXA
FIG.-IV-26

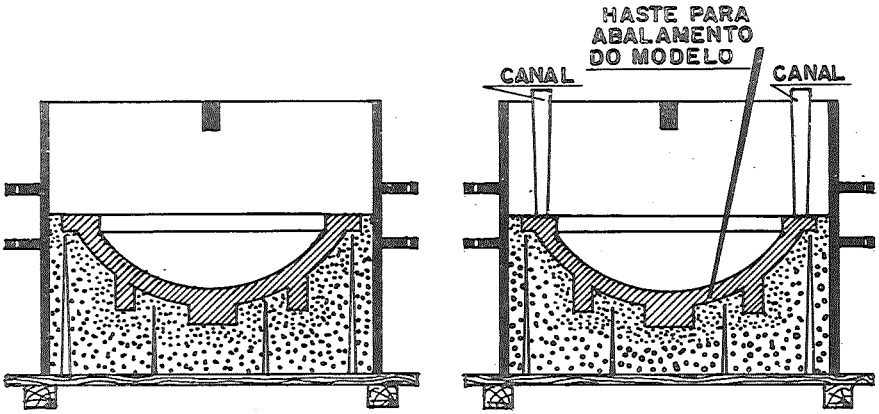


FIG.- IV- 27

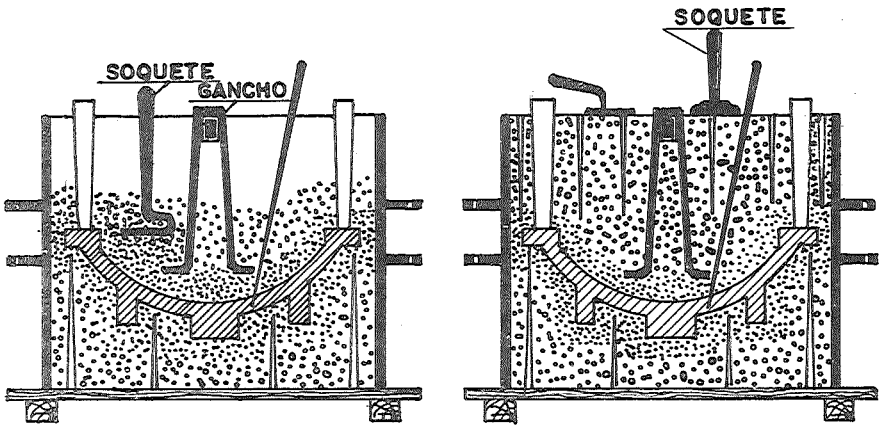


FIG.- IV- 28

Retira as caixas com o molde das partes externas e, com o perfil da parte interna preso ao perfil anterior, novamente colocado em posição na haste, recorta, outra vez, o bolo de terra até a obtenção do perfil desejado, Figura IV-34.

Abre os canais necessários, coloca a caixa com a parte externa do molde e êste está pronto para

ser fundido. Para isso devem ser colocados pêsos na sua parte superior, Figura IV-35.

No chão, em tôrno do eixo, são fincadas guias quando do socamento de areia nas caixas para que estas não se desloquem de sua posição certa ao fechar o molde, quando, ao contrário do exemplo dado, não é colocada uma caixa na parte inferior para servir de guia, exemplo na Figura II-31.

ABERTURA DA CAIXA APÓS O ABALAMENTO DO MODELO OU DA CAIXA

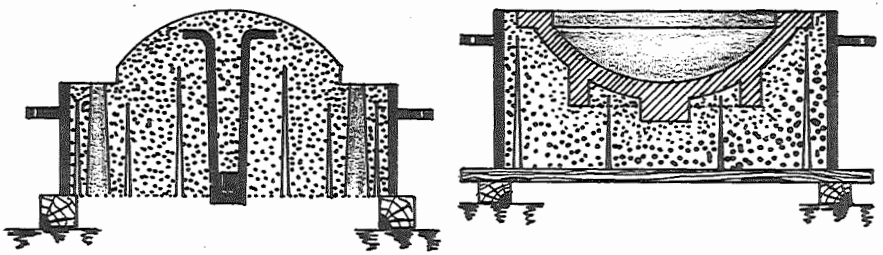


FIG.-IV-29

ABALANDO O MODELO NA CAIXA INFERIOR E RETIRANDO-O

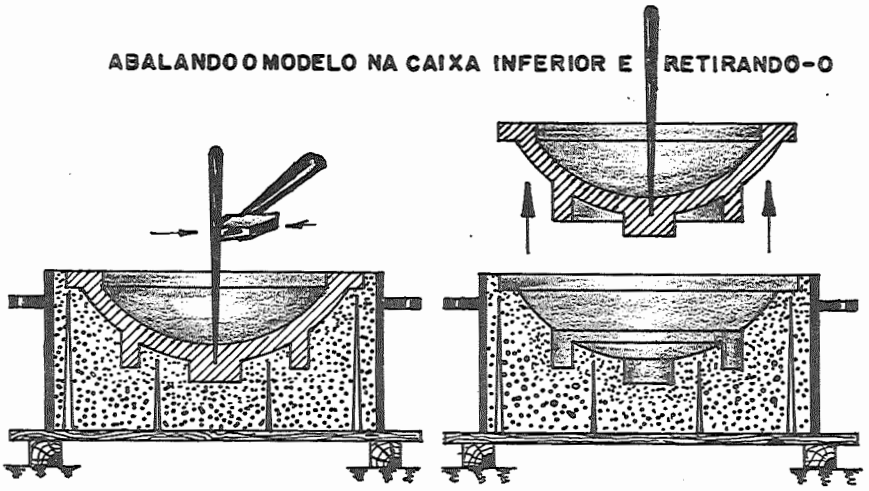
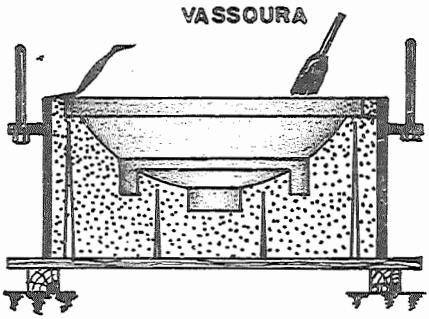


FIG.-IV-30



CONCERTO E LIMPEZA DA CAIXA E CANAIS

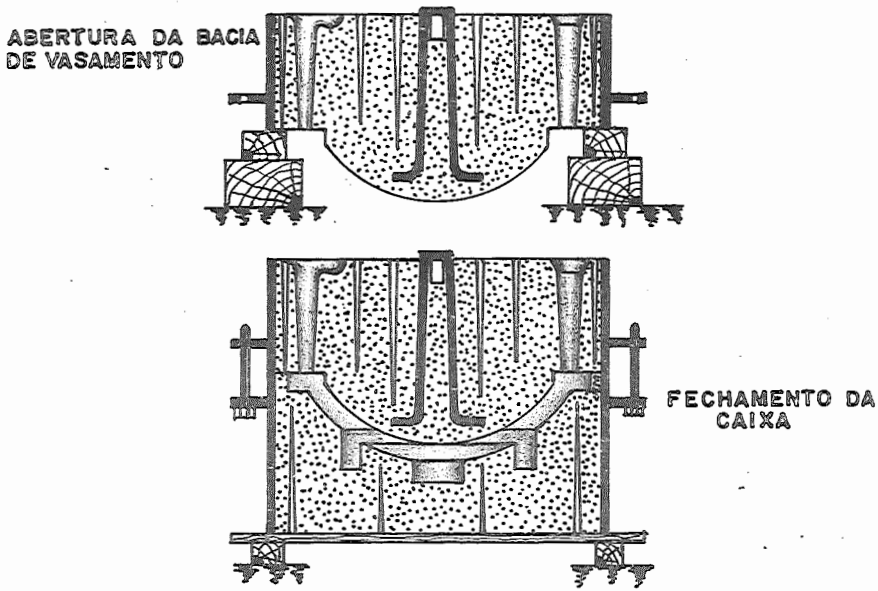


FIG.-IV-31

Quando são feitas peças muito grandes, devem ser deixadas respirações como são vistas nas figuras citadas, para permitir a saída dos gases gerados quando o metal é vazado. São orifícios que, quando de grandes dimensões, são, em geral, cheios de carvão e ligados ao exterior por meio de tubos.

Moldagem mecanizada - A moldagem mecanizada apresenta, sôbre a manual, as seguintes vantagens:

a - aumento de produção - pois que é muito mais rápida em tôdas as operações de moldagem.

b - possibilidade de trabalhar com operários não muito especializados. Só com muitos anos de prática é que um operário se torna um bom moldador, isto dependendo ainda de êle possuir muita habilidade manual. Em muito menos tempo se obtém um bom maquinista e para o qual a habilidade não é tão importante.

c - obtenção de peças com melhor precisão demedidas. Os abalos necessários para retirar os modelos na moldagem manual distorcem o molde.

MOLDAGEM DO CONTORNO EXTERNO DA PEÇA

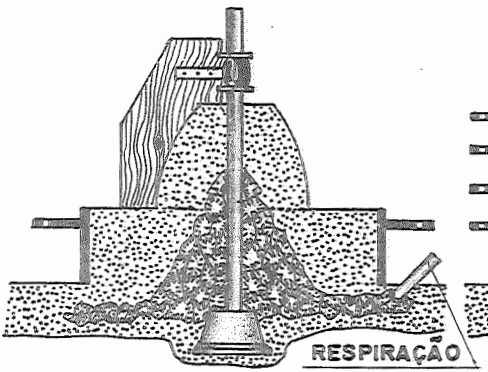


FIG.-IV-32

SOCAMENTO DA CAIXA PARA OBTENÇÃO DA FORMA EXTERNA DA PEÇA

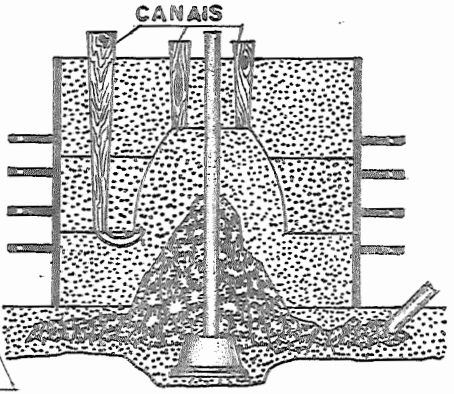


FIG.-IV-33

RECORTE DA PARTE INTERNA DA PEÇA

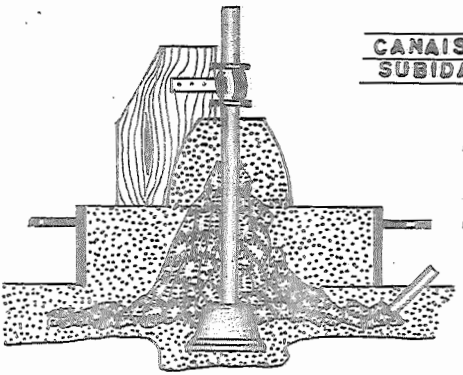
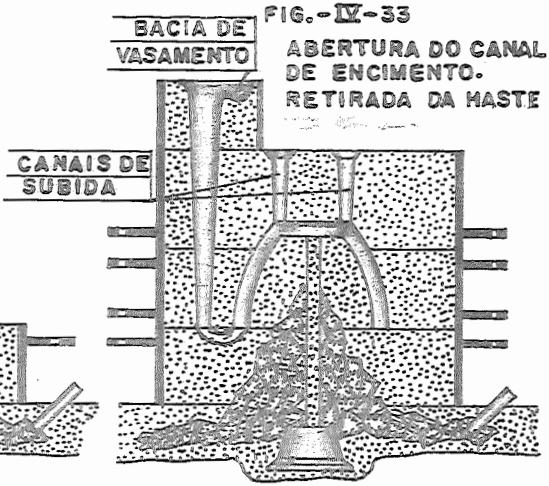


FIG.-IV-34



FECHAMENTO DA CAIXA

FIG.-IV-35

Na operação mecânica ocorre com muito menor intensidade pois são usados vibradores de ar e obtém-se peças com maior uniformidade de medidas (1).

As máquinas de moldar - As operações fundamentais de uma máquina de moldar são as seguintes:

- compactação da areia por trepidação e compressão, ou por arremêsso, rotação da caixa, extração do modêlo. Nem tôdas as máquinas permitem executar tôdas estas operações, mas sempre executam algumas delas.

A moldagem à máquina por trepidação e compressão consiste nas seguintes operações:

a - colocação das placas modêlo entre as duas meias caixas;

b - aspersão de licopódio na parte do modêlo que está voltada para cima;

c - enchimento da caixa inferior que está voltada para cima e colocação de um estrado de madeira ou metal sôbre a areia;

d - trepidação - Esta operação é realizada por meio de ar comprimido que eleva o conjunto, mesa da máquina e caixa até uma certa altura , deixando-o cair, executando uma parada brusca.

A energia cinética acumulada comprime a areia sôbre o modêlo. Esta operação é repetida várias vêzes.

e - rotação da caixa - A parte da areia que já sofreu trepidação é voltada para baixo numa rotação de 180º.

f - aspersão de licopódio, enchimento da parte superior e compressão. Esta é feita puxando-se a cabeça da máquina sôbre a caixa, colocando-se um estrado de madeira sôbre a areia (neste estrado está fixado um modêlo de bacia de vazamento, no ponto onde ficará o canal de vazamento) e comprimindo o conjunto por meio do pistão inferior que eleva a mesa da máquina.

(1) Hoje em dia aplicam-se vibradores como os usados nas máquinas para facilitar a operação de extração dos modelos nos trabalhos manuais.

g - abertura do canal por meio de um tubo de paredes finas.

h - retirada ou suspensão da caixa superior. Esta é feita fazendo-se vibrar a placa por meio de um vibrador a ela ligado e suspendendo ao mesmo tempo a caixa. A vibração é obtida por meio de pequenas pancadas com elevada frequencia feitas a ar comprimido.

i - retirada da placa enquanto esta é feita vibrar, como no item anterior.

j - limpeza da caixa, colocação dos possiveis machos existentes; nova limpeza a ar comprimido e fechamento da caixa.

Em uma máquina podem-se produzir, com peças simples, até 40 ou mais caixas por hora.

Pode-se também usar a placa presa à mesa da máquina, fazendo-se, então, meia caixa em cada máquina. Em geral esta, então, roda mecânicamente a caixa inferior. As caixas são ajustadas posteriormente.

As máquinas que trabalham por arremêsso fazem o lançamento de areia por meios mecânicos ou a ar comprimido

PROCESSO SHELL-MOLDING
(FUNDIÇÃO EM CASCA)

O processo Shell-molding ou fundição em casca foi desenvolvido na Alemanha por Joannes Croning.

O aglomerante utilizado neste processo é uma resina (fenol formaldeido) que polimeriza e endurece pela ação do calor.

O processo usado é o seguinte:

À areia base sêca, escolhida para a moldagem, junta-se de 3,5 a 10% de resina e mistura-se; o tempo de mistura é de aproximadamente 15 minutos (1).

O material assim preparado é colocado dentro de uma caçamba basculante com forma apropriada, Figura IV-36.

---

(1) A resistencia de casca vai variar com a quantidade de resina. Esta deve variar também com o módulo da areia. As areias finas requerem maior teor de resina. A temperatura da mistura não deve ultrapassar 50°C.

A quantidade de areia nessa caçamba deve ser mantida mais ou menos constante. Fecha-se a parte superior com uma placa onde estão colocados os modelos e inverte-se a caçamba, Figura IV-37.

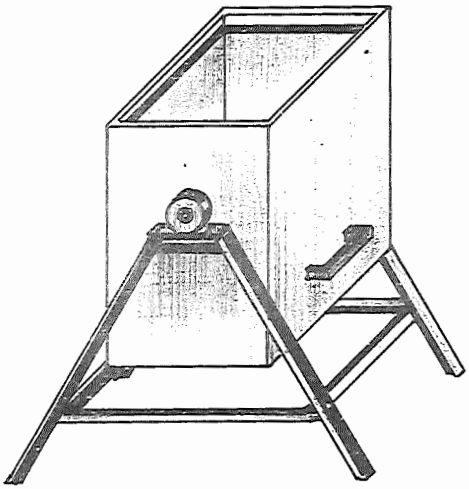


FIG.-IV-36

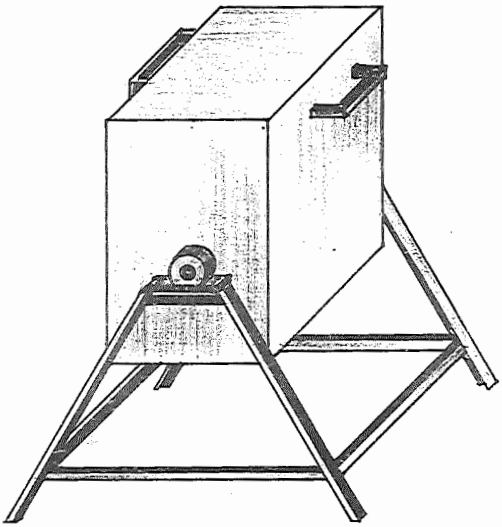


FIG.-IV-37

A placa que havia sido prèviamente aquecida entre 150º e 250º C e lubrificada, fica recoberta pela areia, sujeita a uma pressão exercida pela própria areia (1).

A resina junto à placa aquecida envolve os grãos de areia, formando uma placa mais ou menos endurecida em um espaço de tempo de alguns segundos (5 a 16").

A caçamba gira voltando à posição inicial. A casca é extraída e é novamente aquecida em fornos a 300º-650º C durante tempos variáveis (8 segundos a 5 minutos). Em alguns casos é recomendável deixar a casca formada sôbre o modêlo durante êste segundo aquecimento. A Figura IV-38 exemplifica êste processo.

(1) A lubrificação, para evitar a adesão de resina ao molde, pode ser feita com solução de silicone a 35% ou tetracloreto de C.

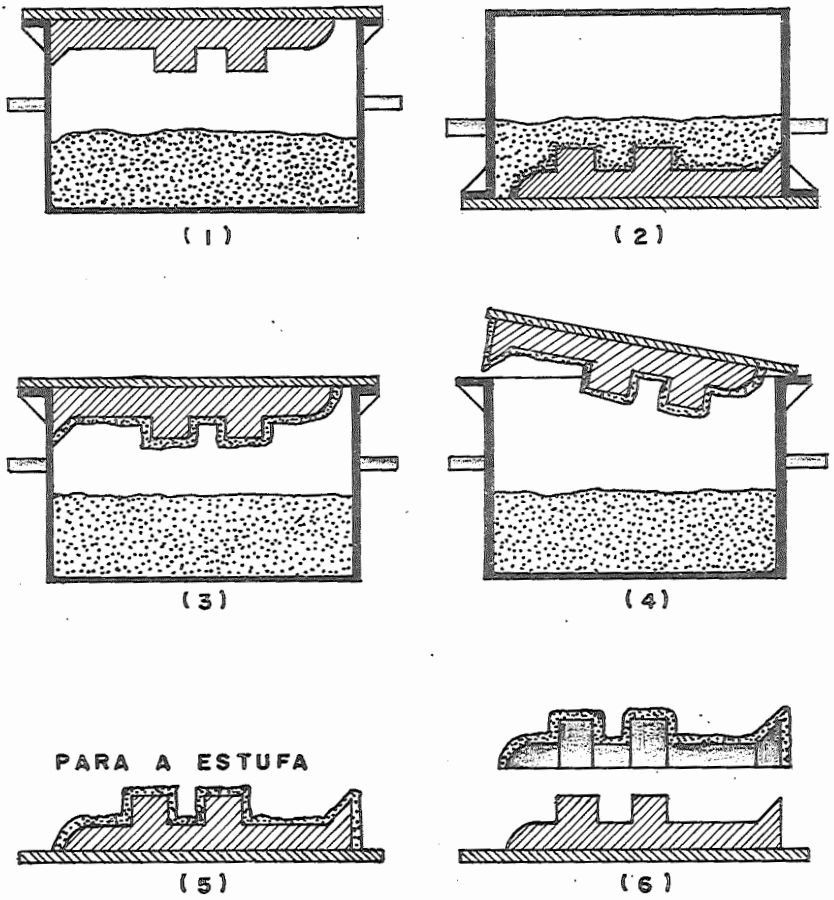


FIG.-IV-38

As placas possuem extratores que afastam a casca formada e ficam prontas para serem usadas novamente.

As meias cascas assim obtidas são juntadas;existem na casca ressaltos e rebaixos, para que possam ser juntadas na posição exata.

Essas meias cascas podem ser coladas ou presas por meio de ganchos. Na hora da fusão os moldes assim obtidos são colocados em caixas, sendo os vãos entre um e outro molde preenchidos com areia ou metralha de metal, Figura IV-39.

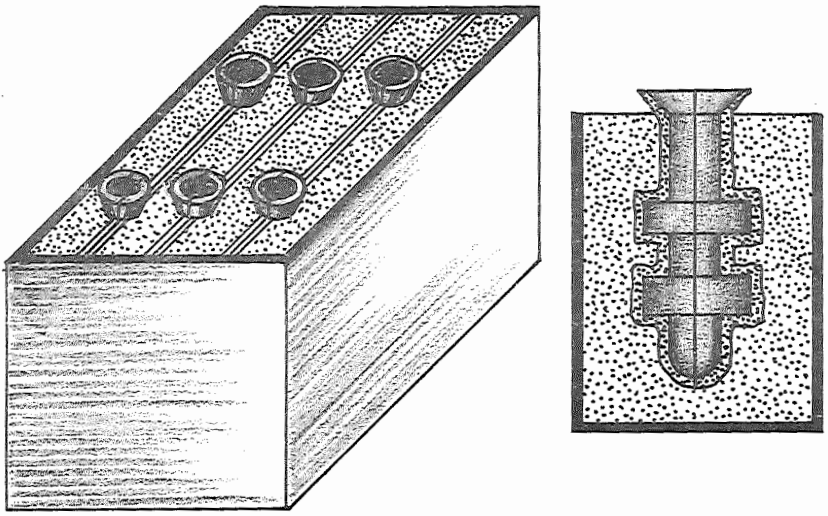


FIG.- IV- 39

O processo Shell-molding é empregado também para a construção de machos.

Com êste processo tem-se conseguido fundir peças com grande precisão - tolerância de 0,2 mm em peças de 20 cm.

A produção é grande, ocupando relativamente pouco espaço.

Em relação ao processo comum, as peças saem com muito bom acabamento, necessitando de menos canais, dando portanto menos perda de metal por peça fundida e podendo ser fundidas a temperaturas mais baixas e com paredes mais finas. Em bibliografias(8) citam-se espessuras de peça de 0,25 mm! Os ângulos de saída também são bem menores.

O consumo de areia é também mais baixo, da ordem de 5% da areia usada nos processos comuns. As desvantagens que oferece são: alto custo de resina e dos moldes e não possibilidade de reaproveitamento da areia usada.

BIBLIOGRAFIA

1.- BLACKE E. A. - Fundamentals of Molding Machines - reprinted from the Foundry - 9 - 1947.

2.- BROSCH C.D. e LONGO O. - Estudo do dimensionamento dos canais de alimentação das peças fundidas. ABM Bol. nº 14 - vol. 5 - 1949.

3.- BURTON M. S. - Applied Metallurgy for Engineers - 1956.

4.- DE MELLO F. D. H. - Mecanização em fundições de ferro fundido - Bol. ABM nº 5 - vol. 2 - pag. 89.

5.- GALASSINI A. - Fonderia - ed. Hoepli - 1957.

6.- GUASTALA R. - La Fonderia - ed. Vallardi - 1947.

7.- HEINE R. e ROSENTHAL PH. - Principles of Metal Casting - A.F.S. - 1955.

8.- MERCHANT H. D. - Dimensioning of sand casting risers - in modern castings - Feb. 1959.

9.- MORAIS M. A. - Caixas de moldagem para produção seriada - Bol nº 19 - ABM - vol. 6 pag. 113.

10.- MORAIS M. A. e BOCCIARELLI F. - Tipos e exemplos de alimentadores para peças fundidas - Bol. ABM - nº 4 - vol. 2 - 1946.

11.- MULLER GUERRA R.L. - Processo Shell-molding e a resina Durez - Bol. nº 39 - ABM - vol. 11 - pag. 19.

12.- STELLA M. - Trattato de Fonderia - ed. Hoepli - 1952.

13.- T. C. DU MOND - Shell-molding and Shell-molding castings - 1954.

14.- TRENCKLE M. C. - Determination des sections de l'alimentations pour pièces - in Fonderie - nº 171 avril 1960.

CAPITULO V

FORNOS EMPREGADOS PARA A FUNDIÇÃO DE FERRO FUNDIDO. O CUBILOT - OUTROS FORNOS PARA FUNDIÇÃO - EMPREGOS

O ferro gusa, como sai do alto forno é raras vêzes utilizado na fundição de peças, pois sua composição não é adequada e muito uniforme.

Para peças que não requerem boas qualidades êste ferro pode então ser usado, principalmente se a composição puder ser corrigida em grandes tanques homogenizadores, por meio de adições de aço.

Os ferros fundidos são, em geral, obtidos a partir do gusa por meio de fusão e refino.

O cubilot - O tipo de forno mais utilizado para êsse trabalho é o cubilot.

É um forno de construção e instalação muito simples e manutenção baratíssima, e queimando coque como fonte produtora de calor.

É, quando bem construido e funcionando em condições controladas, um forno que pode produzir ferros com composição química dentro dos limites bem definidos, se bem que não se consiga a regularidade que pode ser obtida com o forno elétrico.

O cubilot, Figura V-1, é um forno construido com chapas de aço, revestido internamente de refratários; a câmara do forno é cilindrica, vertical, fechada na parte inferior por meio de uma porta e a-

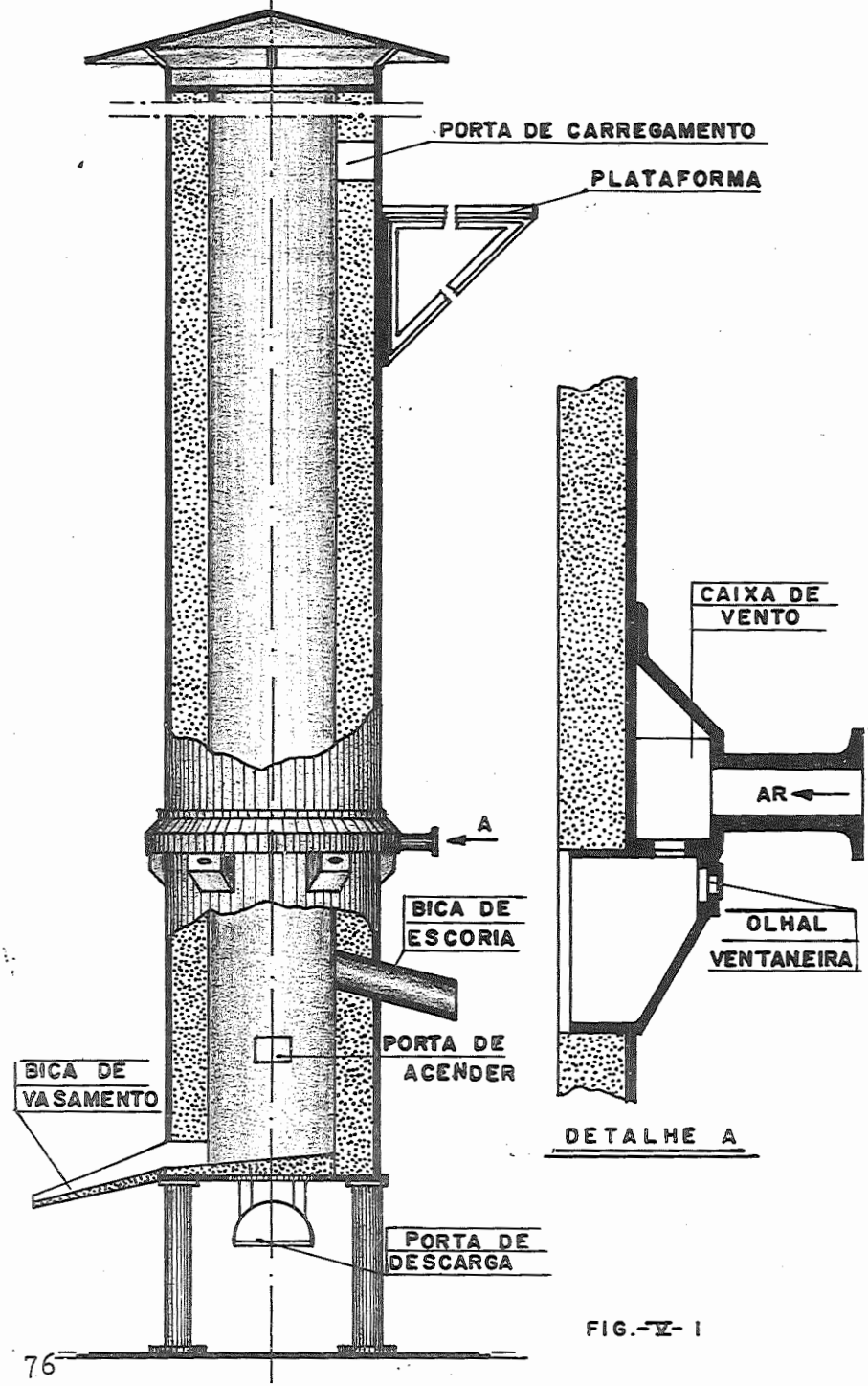

PORTA DE CARREGAMENTO
PLATAFORMA
A
BICA DE ESCORIA
PORTA DE ACENDER
BICA DE VASAMENTO
PORTA DE DESCARGA
CAIXA DE VENTO
AR
OLHAL VENTANEIRA
DETALHE A

FIG.-V- 1

brindo-se na parte superior para a atmosfera (1).

A parte inferior está a uma certa altura do solo para permitir a descarga do forno, no fim da corrida. Êste é suportado então por quatro colunas.

Tijolos refratários especiais recobrem a parede até uma certa altura (porta de carga) e daí, para cima, ela pode ser recoberta com tijolos comuns.

As chapas que constituem a porta inferior são recobertas depois de fechadas, com areia de fundição, que vai constituir a sola do forno.

A espessura mínima desta sola é dada pelo furo de vazamento que é um orifício existente na parte inferior da parede do forno, e que é ocupado por um tijolo especial furado, denominado tijolo da bica. A sola atingê a altura do furo do tijolo formando uma rampa suave a partir deste ponto, devendo ser bem socada para evitar vazamento.

Êste furo está ligado à bica de vazamento, por onde corre o metal líquido.

A bica pode ser do tipo especial escorificante, Figura V-2; e nêste caso, o forno não tem bica de escória.

Acima do furo de vazamento, temos outra abertura que é chamada porta de acender e que é fechada depois de aceso o forno. Em alguns, não existe esta porta e a operação de acender o forno é feita pelo furo de vazamento, ou por outra abertura existente acima dêste, e que será ocupada também por um tijolo furado, e que constitui o furo de escória por onde se escoa esta, que flutua sôbre o banho. Êste furo está, em geral, ao lado oposto ao furo de vazamento.

A parte do forno que medeia os dois furos (de vazamento e de escória) é denominada cadinho.

Acima do bico de escória, temos outros orifícios, por onde será injetado ar e denominado ventaneiras ou algaravizes.

---

(1) Existem fornos com recuperador de calor, fechados na parte superior.

Êstes orifícios estão ligados a uma caixa externa, envolvendo o forno e denominada caixa de vento; a essa caixa está ligado, de preferência tangencialmente, o condutor de ar, Figura V-3.

Das ventaneiras à porta de carregamento, colocada acima, temos a chamada coluna do forno, espaço que será ocupado com a carga metálica, carvão e escorificante.

BICA ESCORIFICANTE PARA CUBILOT

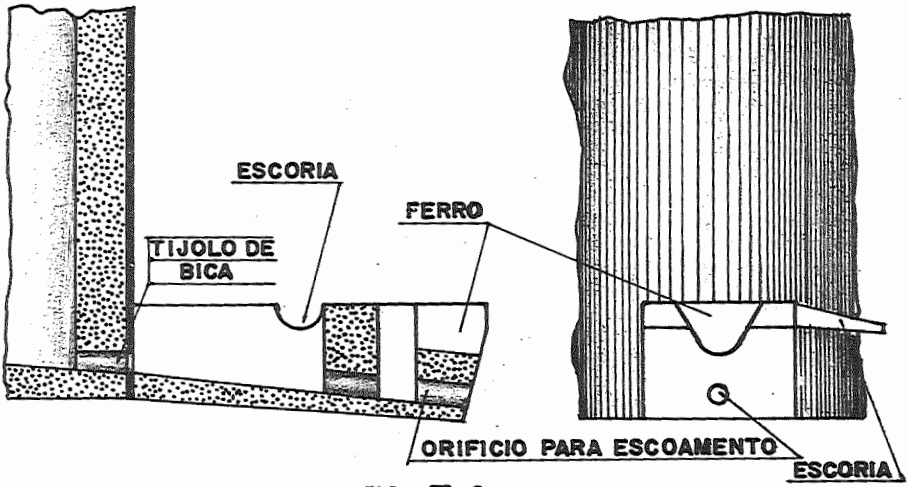


FIG.-V-2

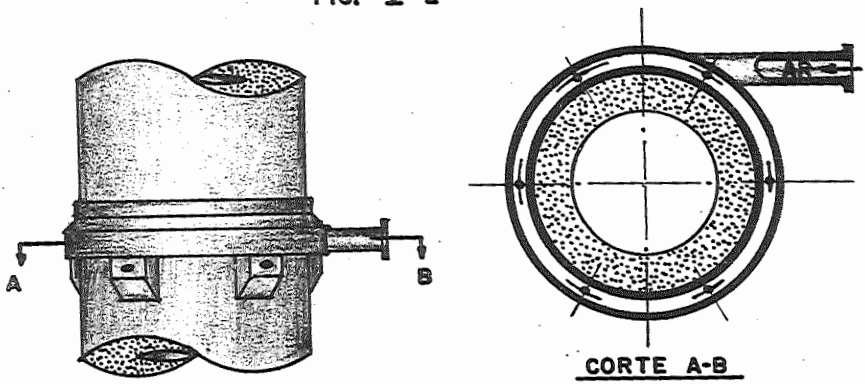


FIG.-V-3

Da base, (sola),do forno até uma altura um pouco acima das ventaneiras, o espaço será ocupado só com coque. Esta camada é denominada cama.

Na altura da porta de carregamento existe, lateralmente ao forno, a plataforma de carga onde ficam os homens que fazem a carga do forno.

Nos grandes cubilots a carga é, às vêzes, feita por meio de caçambas, como nos altos fornos.

Algumas vêzes,êstes fornos tem um anti-cadinho, que é um reservatório ligado à bica de vazamento e para onde corre o metal fundido e a escória, constituindo-se, portanto, em um depósito, Figura V-4.

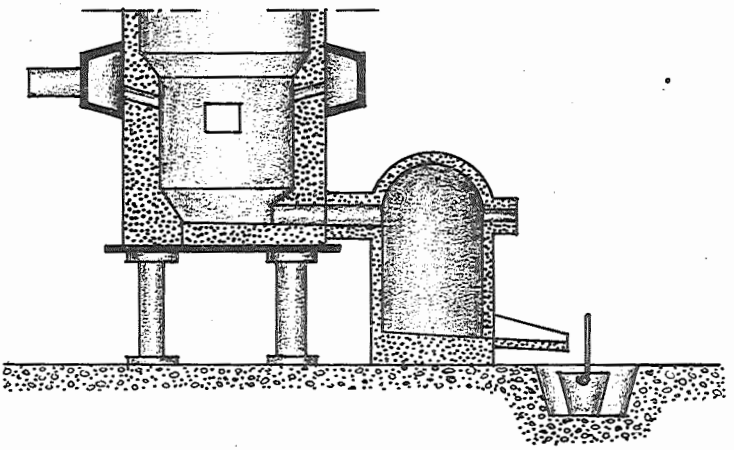


FIG.- V-4

O ar necessário é fornecido por um ventilador, geralmente centrífugo, ou um ventilador tipo compressor, O primeiro tipo fornece ar a uma pressão constante, e o segundo a volume constante. Os mais usados são os primeiros, Figuras V-5 e 6.

A quantidade de ar que entra no forno deve ser controlada e o processo mais barato e muito bom é por meio de uma válvula na canalização de entrada, antes da caixa de vento, Figura V-3. Existem aparelhos para contrôle do pêso do ar que é introduzido no forno.

VENTILADOR TIPO VOLUME CONSTANTE

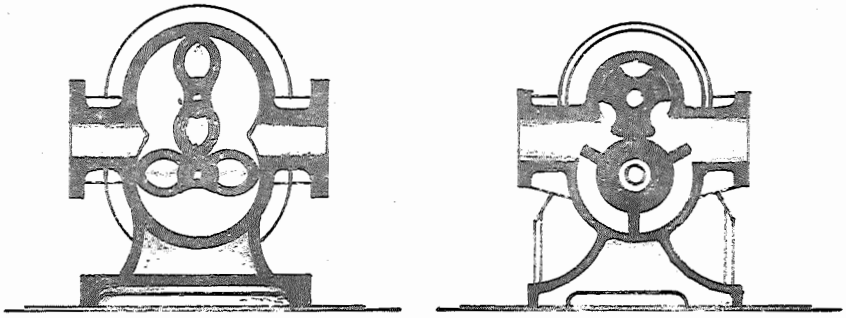


FIG.- V- 5

VENTILADOR TIPO PRESSÃO CONSTANTE

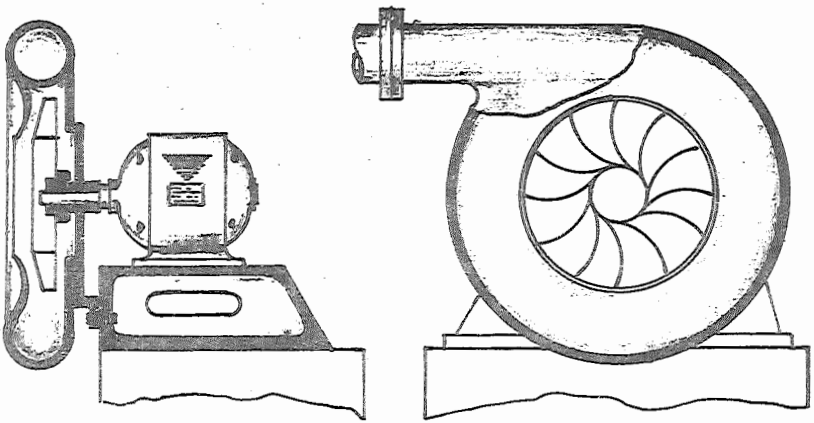


FIG.-V- 6

A seguir, são citados alguns dados relativos à construção de um cubilot.

A produção horária de um forno pode ser calculada da seguinte maneira:

Por dados práticos, sabe-se que a produção de um cubilot é da ordem de 0,7 K/cm^2 (10 libras por

polegada quadrada, ou 7 t/m^2) (1) por hora.

A área do forno é dada por:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

e a produção P em toneladas por hora será:

$$P = \frac{7\pi}{4} D^2 = 5,50\ D^2 \quad \text{ou aproximadamente } 6\ D^2$$

Calculando de outra maneira poderemos ter:
A área do forno dada por:

$$\frac{\pi D^2}{4} = A$$

de onde:

$$D^2 = \frac{4\ A}{\pi} \qquad (I)$$

Tem-se também que:

$$P = 0,7\ A \qquad \text{ou} \qquad A = \frac{P}{0,7} \qquad (II)$$

Substituindo-se (II) em (I)

$$D^2 = \frac{4\ P}{0,7\ \pi} \quad \text{de onde} \quad D = \frac{4\sqrt{P}}{0,7\ \pi} = \sqrt{1,81\ P} = 1,34\sqrt{P}$$

Desejando-se então uma certa produção P em quilos por hora, obtém-se imediatamente o diâmetro do forno em centímetros.

A altura da coluna deve ser:

$$H = 1 + 3\ D \quad , \text{ onde}$$

H = altura em metros da coluna e
D = diâmetro interno do forno em metros.

---

(1) Para um forno trabalhando com a relação ferro/coque de 10/1 ; (Veja no capitulo VI, esta relação).

Segundo alguns autores, a altura do forno (sola à porta de carregamento) deve ser de 6 a 7 metros, no mínimo, para se ter um maior aproveitamento do calor dos gases.

Quanto menor a altura do cadinho, mais baixo o teor de carbono do ferro fundido obtido. Quando não há anti-cadinho, a capacidade deve ser de 0,3 a 0,4 da produção horária, no mínimo, para haver homogeinização do banho, ou ter uma altura mínima de 0,45 a 0,50 mt.

A distância entre o orifício de escória e ventaneira deve ser, no mínimo, de 0,2 a 0,3 mt. Outros autores dão como medida ótima 0,12 a 0,15 mt.(1)

Êste é um dado sem grande importância, pois muitas vêzes, trabalha-se contìnuamente com o bico de escória aberto, (prática não muito indicada).

A secção total das ventaneiras deve ser de 1/4 a 1/6, chegando, às vêzes, a 1/2 da secção do forno no plano de sopragem para que se obtenham grandes velocidades de ar. O número de ventaneiras é, em geral, de 4 ou 6. As menores relações acima, correspondem aos fornos de menor diâmetro.

A caixa de vento deve ter uma secção maior do que a área total das ventaneiras.

O rendimento térmico dêste tipo de forno é bastante elevado, sendo da ordem de 35-45%.

Outros tipos de fornos - Ferros fundidos de melhor qualidade podem ser obtidos com fornos elétricos idênticos aos usados na produção de aços e já estudados (2), ou então, em fornos rotativos com dois eletrodos horizontais, Figura V-7.

Êstes fornos constam de um reservatório de forma aproximada cilíndrica que pode girar em sentidos alternados em tôrno de seu eixo de simetria.

Ao longo dêsse eixo e passando por orifícios existentes nas paredes laterais ficam os eletrodos. O material pode ser colòcado no interior, sob a forma sólida ou líquida.

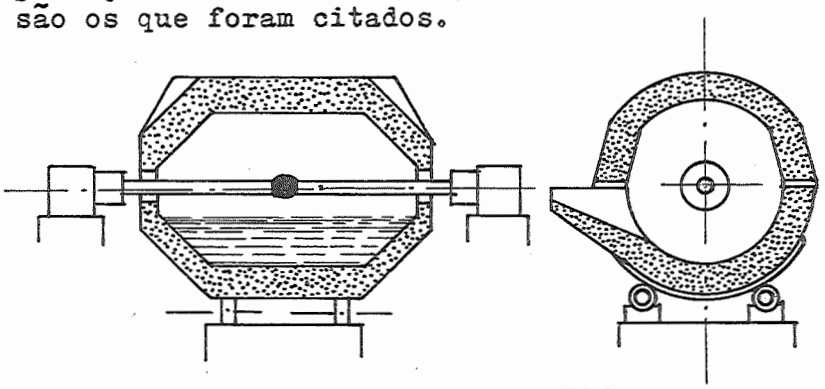
Fornos dêste tipo são construidos para funcio-

(1) Para evitar continuas aberturas no bico da escória.

(2) Ver publicação nº 66 - E.E.S.C.

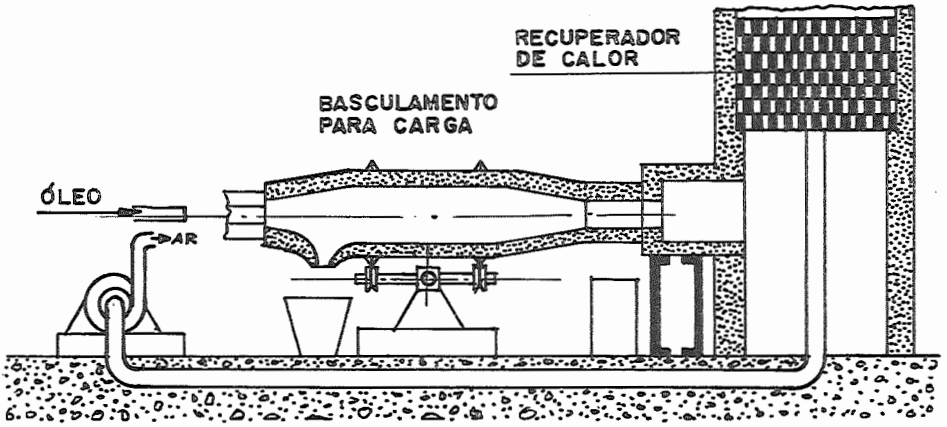
nar queimando óleo ou carvão pulverizado, Figura V-8.

Vários outros fornos podem ser utilizados na produção de ferro fundido, mas os mais utilizados são os que foram citados.



ESQUEMA DE UM FORNO ELETRICO ROTATIVO

FIG.-V-7



FORNO OSCILATORIO PARA FUNCIONAR COM ÓLEO PULVERIZADO

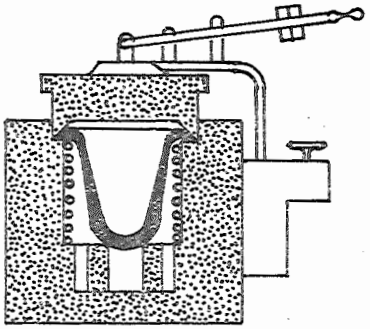
FIG.-V-8

Fornos empregados na fundição de metais não ferrosos.

Para ligas não ferrosas são empregados, em ge

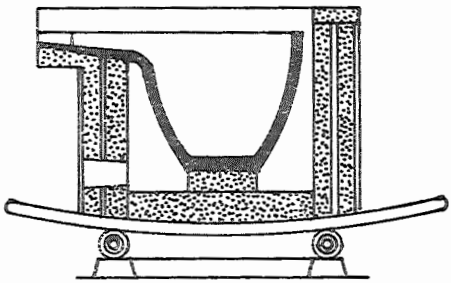
ral fornos de cadinho com aquecimento à óleo, carvão ou eletricidade, sendo os dois primeiros, mais utilizados.

Constam de um envoltório, que pode estar abaixo da superfície do solo, dentro do qual pode ser colocado o cadinho. Êste será envolvido então ou pelas resistências elétricas, ou pelas chamas de maçarico à óleo, ou pelo carvão que se queima, Figura V-9, 10, 11 e 12.



FORNO DE CADINHO AQUECIDO A ELETRICIDADE

FIG.-V-9



FORNO BASCULANTE DE CADINHO AQUECIDO A ÓLEO

FIG.-V-10

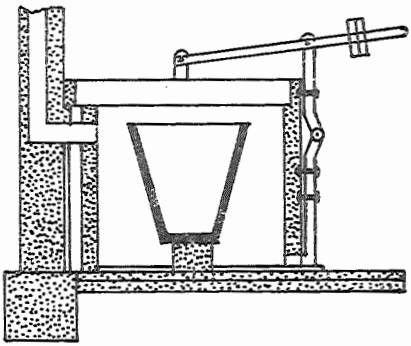


FIG.-V-11

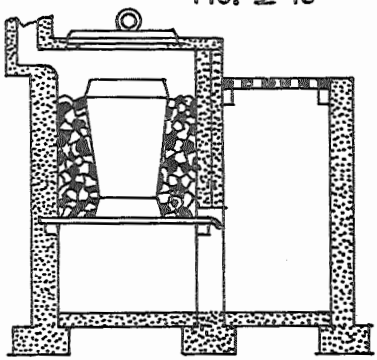
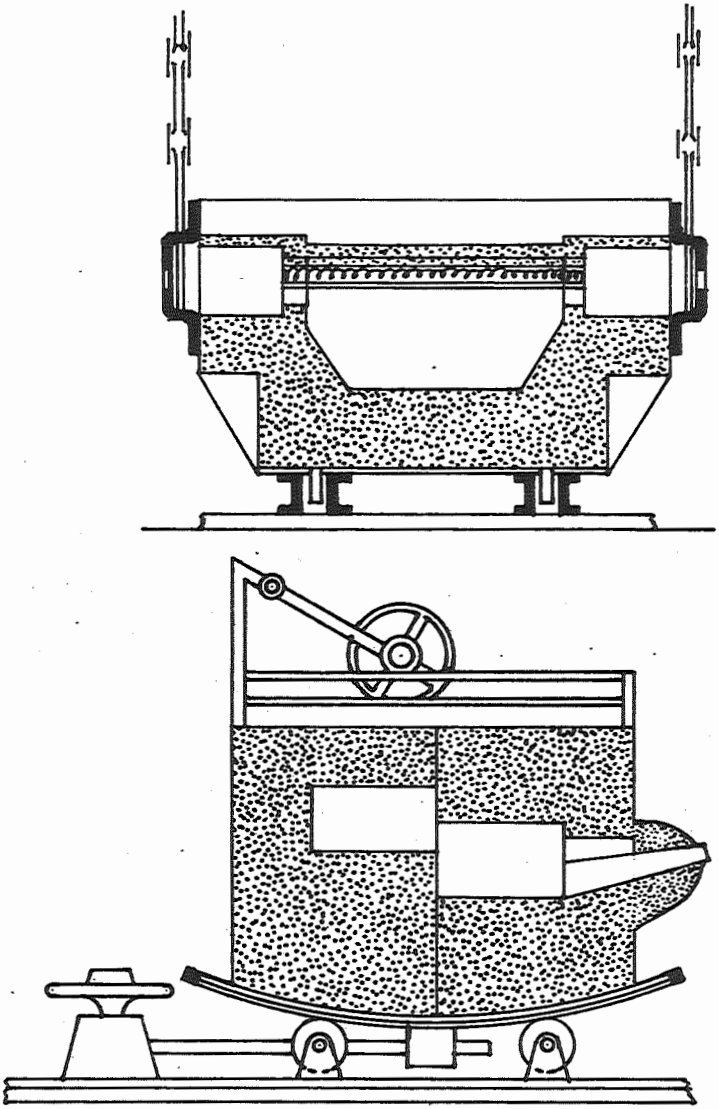


FIG.-V-12

Êstes fornos são utilizados para cargas até 200 quilos.

Para cargas maiores são usados fornos reverbe-

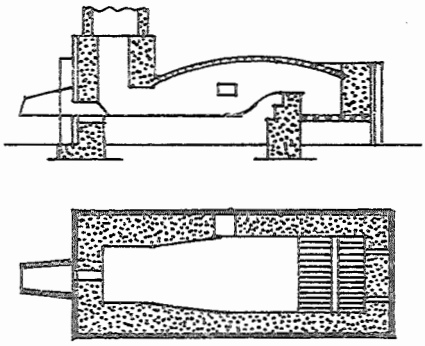
tórios a óleo, carvão ou elétricos, basculantes ou fixos, Figuras V-13, 14 e 15.



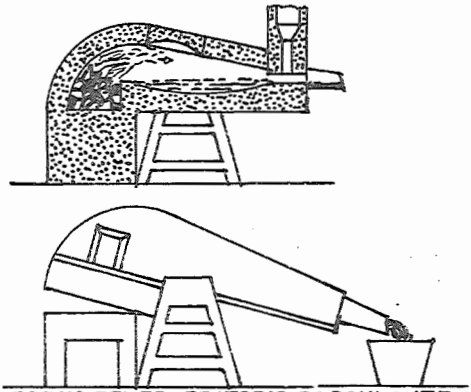
FORNO REVERBERATORIO BASCULANTE DE AQUECIMENTO COM RESISTENCIAS ELETRICAS.

FIG.-V-13

Nos fornos sem aquecimento elétrico, cuidados especiais devem ser tomados, para evitar contaminação do banho pelos gases. São usados também para ligas ferrosas como não ferrosas, os fornos de indução. Com êste tipo de forno, obtemos a fusão mais rapidamente e sem perigo de contaminação.



FORNO REVERBERTORIO FIXO AQUECIDO A CARVÃO
FIG.- V-14



FORNO REVERBERATORIO BASCULANTE AQUECIDO A CARVÃO
FIG.-V-15

BIBLIOGRAFIA

1.- A.B.M. Boletim nº 33 - Reunião Especial sôbre Fundição em areia de latões e bronze.
2.- A.F.S. Cupola Operation Handbook.
3.- BRADASCHIA C. - Ligas de Alumínio - Técnica de Fundição em areia - Boletim nº 30 - A.B.M.
4.- DUDOET M. - O funcionamento do cubilot - Tradução - Boletim A.T.de Fonderia - 1938.
5.- GALASSINI A. - Fonderia Hoepli - 1957.
6.- HEINE R.W. e ROSENTHAL PHILLIP - Principles of metal casting.
7.- H.DE MELLO F.D. - Operação do cubilot - Boletim nº 2 A.B.M.
8.- MARECK C. T. - Fundamentals in the production and design of castings.
9.- PANSERI F. - Manuale de Fonderia D'Alluminio.
10.- REESE D.J. - Funcionamento do Cubilot - Trad.Transactions - AFA 1938.
11.- STELLA M. - Trattato de Fonderia

CAPITULO VI

FERROS FUNDIDOS – CARGAS DOS FORNOS

Será estudado o caso do forno cubilot, que é o mais empregado.

O carregamento do forno é feito pela parte superior, sendo utilizado, para isso, a porta de carregamento.

Como foi visto no capítulo anterior, a parte inferior do forno é ocupada por uma camada de coque que ultrapassa as ventaneiras (cama) e para iniciar o funcionamento do forno esta cama deve ser acesa.

ACENDIMENTO DA CAMA

A carga inicial então, é feita só de carvão, até ser atingida metade da altura desejada. Êste carvão pode ser despejado diretamente sôbre a sola, o fôrno sendo aceso por meio de um maçarico introduzido por um dos orifícios inferiores (bica, bica de escória ou porta de acender), ou então, despejando o carvão sôbre um amontoado de madeira, arrumado prèviamente sôbre a sola, que é molhado por um combustível e aceso.

Depois que todo carvão já está em brasa, é lançado o resto do carvão qué constituirá a cama e

deixando o fogo atravessar essa segunda parte; isso pode ser facilitado ligando um pouco de ar.

Quando todo o carvão estiver aceso e corrigida a altura da cama, é colocado fundente correspondente a 4 ou 5 cargas e a seguir a primeira carga metálica. Os carregamentos sucessivos são de coque, fundente e metal, até ser atingida a porta de carregamento.

Depois de colocadas três cargas completas (coque, metal e fundente) pode ser ligado o ar. Já devem estar fechados, nêste momento, os bicos de vazamento e escória e a porta de acender, se houver.

Os bicos de vazamento e escória são fechados por meio de batoque de argila. No primeiro fechamento, é interessante colocar, antes do batoque, uma mistura de areia e carvão vegetal no bico de vazamento, impedindo o ajuntamento de ferro frio junto do orifício, o que poderá causar dificuldades na primeira abertura.

O bico de vazamento permanece contìnuamente aberto se fôr usado o tipo de bica escorificante.

O forno neste ponto está em marcha. Dentro de oito a dez minutos se tudo estiver correto, pode ser notado pelos olhaes dos algaravizes (ventaneiras), o ferro que começa a pingar em direção ao cadinho.

Carga do forno

Conhece-se a influência da composição química sôbre as propriedades do metal. Deve ser feito, portanto, um cálculo das cargas do forno, baseado na composição química dos materiais que constituirão a carga, para obter o metal com a composição desejada.

Entre os elementos do ferro fundido comum deve ser notado que no cubilot o fósforo tem o seu teor aumentado assim como o carbono e o enxôfre, ao passo que o silício e o manganês são oxidados, tendendo a diminuir. O teor de Si perdido é da ordem de 10% do teor calculado, o Mn da ordem de 15%.

O valor destas variações de composição podem ser obtidos experimentalmente para cada forno, - variam pouco se não houver variação do modo de trabalho nas diferentes corridas, - comparando a análise química do ferro obtido com a análise calculada.

As Figuras VI-1 e 2 mostram as variações da tem

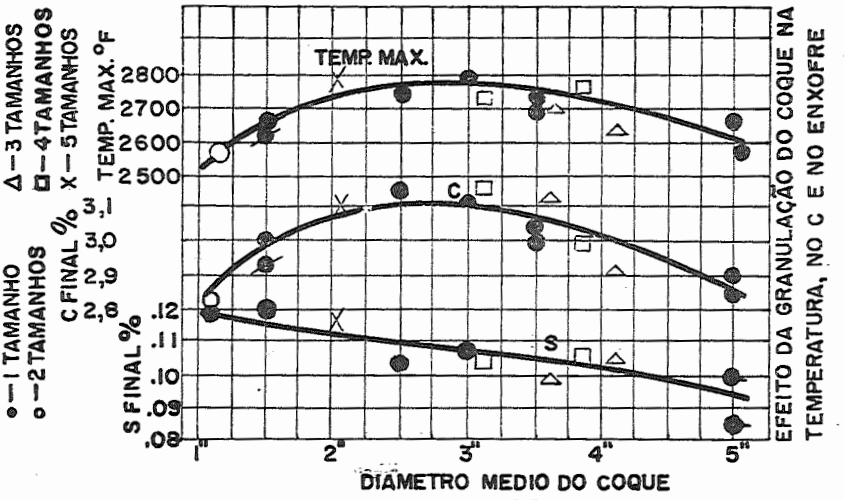


FIG.-VI-1

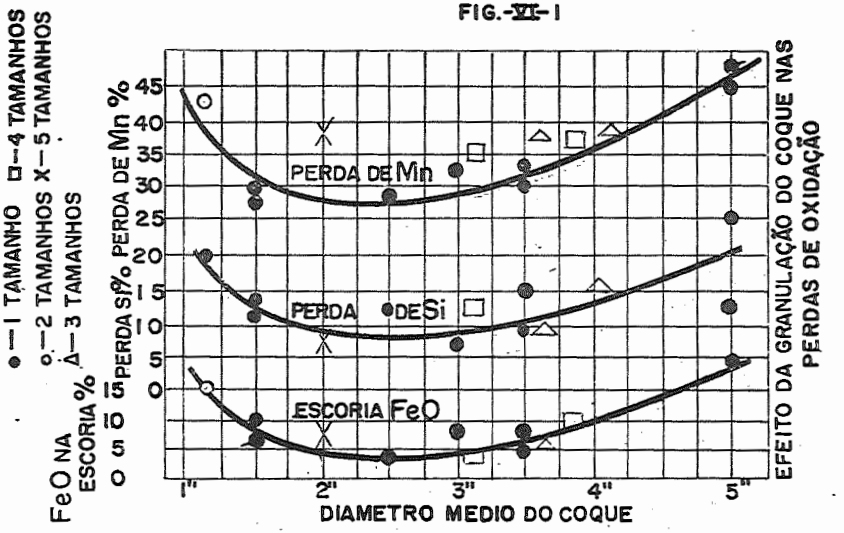


FIG.-VI-2

peratura e teores de C.S.Si.Mn e do teor de FeO na escória, em função do diâmetro do coque e diâmetro do cubilot.

As Figuras VI-3 e 4 mostram as variações na pressão do ar, produção, temperatura e composição em função da relação metal coque.

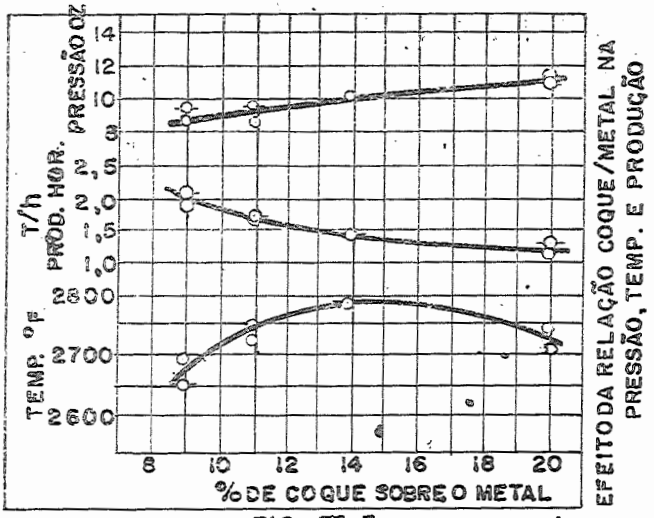


FIG.-VI-3

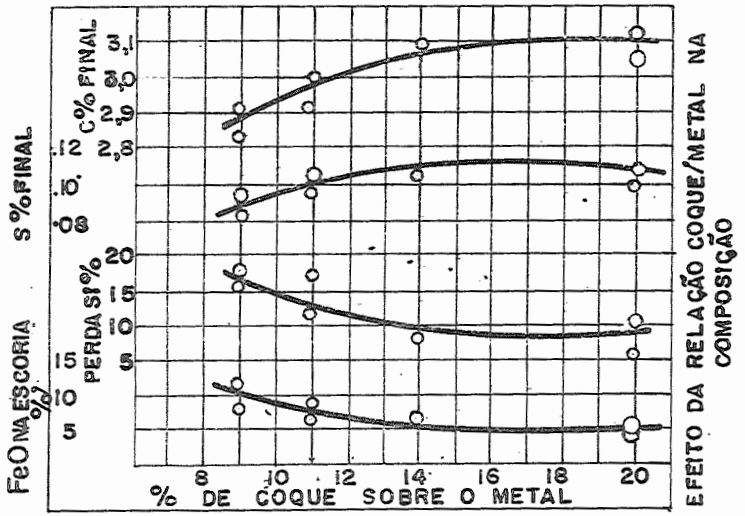


FIG.-VI-4

Êstes são exemplos, para um dado cubilot, de como a variação do modo de trabalho influe no funcionamento do forno.

Outros fatores que influem bastante são: volume de ar e altura e preparo da cama, êstes dois já citados.

No carregamento de um cubilot, podem ser usados gusa, restos da própria fundição(socata da fabrica, canais, peças defeituosas, etc.), socatas de ferro fundido e aço, adquiridas fora da fundição.

É necessário proporcioná-los convenientemente. Em geral, existem materiais com teores de elementos mais elevados e mais baixos que o desejado e baseado nisso podem ser calculadas da seguinte maneira as cargas (porcentagem dos materiais):

Sejam dois materiais com teores A e B de carbono. É feito o cálculo baseado no teor de carbono, pois que os teores de silício e manganês podem ser aumentados adicionando-se ferros ligas (1).

Sejam A superior e B inferior ao teor desejado D

$$A > B > D$$

Sejam X e Y as quantidades dos materiais com teores A e B, necessários para se obter uma quantidade unitária de metal com teor D.

É obtida, então, a seguinte equação:

$$AX + BY = D$$

Devemos ter também a seguinte relação:

$$X + Y = 1$$

a soma dos materiais empregados deve ser igual ao todo final.

Dessas equações tiramos:

$$X = \frac{D - B}{A - B} \quad e \quad Y = 1 - X$$

(1) Esses cálculos muitas vezes são feitos para o teor de Si.

No caso de existirem três ou mais materiais, é repetida a operação com êsse ou êsses elementos a mais, com um dos anteriores.

Assim, se existir um terceiro material com um teor C de carbono, sendo $C < D$.

$$AX' + CZ = D \qquad X' + Z = 1$$

donde:

$$X' = \frac{D - C}{A - C} \quad e \quad Z = 1 - X'$$

Pode ser tomada agora, uma proporção qualquer dêsses valores, que será obtido sempre o resultado desejado.

Exemplificando, tomemos o caso da existência de três materiais diferentes que devem entrar na carga e que apresentam as seguintes condições:

Material	Composição %			Tipo	quantidade
	C	Si	Mn		
1	3,7	1,2	0,4	Gusa	X
2	3,4	2,2	0,7	Restos fund.	Y
3	0,2	0,2	0,5	aço	Z e Z'

Não são levados em consideração nêste exemplo, os teores de fósforo e enxôfre, que no cálculo, muitas vêzes devem ser considerados.

O material a ser obtido deve ter a seguinte composição:

C - 3,4% Si - 2,0% Mn - 0,5%

Supondo que a prática indicou que há um aumento de carbono de 0,10% devemos tomar no cálculo D = 3,3% e aplicando as fórmulas, temos:

$$X = \frac{3,3 - 0,2}{3,7 - 0,2} = \frac{3,1}{3,5} = 90\% \qquad Z = 100 - 90 = 10\%$$

$$Y = \frac{3,3 - 0,2}{3,4 - 0,2} = \frac{3,1}{3,2} = 97\% \qquad Z' = 100 - 97 = 3\%$$

Dependendo das quantidades de materiais disponíveis, ou que desejamos usar, podemos tomar 1/4, 1/2 ou 1/3, etc., dos primeiros valores, completando o total com os segundos.

Se tomarmos 3/4 da primeira mistura, obteremos os seguintes resultados:

3/4(90) + 3/4(10) + 1/4(97) + 1/4(3) ou

67% de gusa+8,1% de aço+24% de restos+0,7% de aço

67% de gusa + 24% de restos + 9% de aço.

A seguir é dada uma tabela (fôlha de carga-tabela VI-1) explicando como se calculam as cargas.

Existem ábacos que dão as porcentagens da carga, quando são conhecidas as composições do metal desejado e dos materiais que constituem a carga ; na Figura VI-5, temos um ábaco esquematizado.

A linha horizontal, de base, AB representa a quantidade total de metal em uma carga, e está dividida em porcentagens.

As linhas AC e BD, traçadas em direções opostas, e normais às extremidades da linha AB, são subdivididas e nos dão as diferenças entre o teor do elemento que se deseja, no ferro a ser obtido, e os teores dêsse elemento nos materiais disponíveis de mais alto e mais baixo teor.

Assim, por exemplo, desejamos um material que tenha 3,2% de carbono e dispomos de um gusa com 4% de carbono e uma socata com 2,6% de carbono. Qual a porcentagem de cada um a ser empregada?

4,0 - 3,2 = 0,8 - alto menos o desejado

3,2 - 2,6 = 0,6 - desejado menos o baixo

ligando entre si os pontos 0,8 na linha AC, ao pon

to 0,6 na linha BD, temos o resultado.

O contrôle das corridas deve ser feito sempre que possível, por meio de análises químicas, e sempre por meio de cunhas.

Estas são amostras tiradas em moldes especiais em geral feitos com areia de macho um dêles estando esquematizado na Figura VI-6; nessas amostras as partes finas são esfriadas em contacto com uma peça de ferro tendendo a formar ferro branco por coquilhamento. Pode ser avaliada, com alguma prática a composição e a dureza final do ferro, em uma determinada peça, com base na altura dêsse coquilhamento.

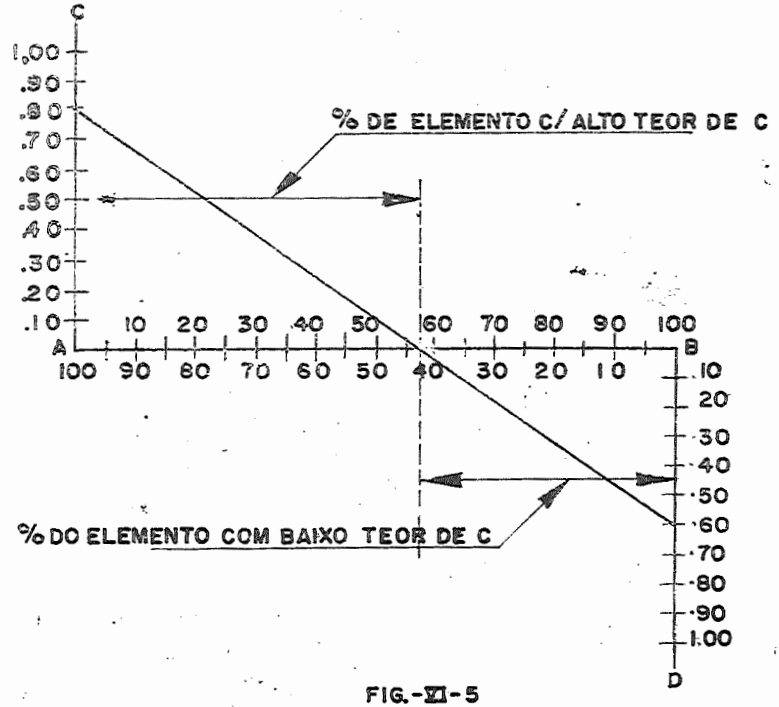


FIG.-VI-5

OUTROS DADOS RELATIVOS À CARGA DE UM FORNO

A altura da cama pode ser calculada a partir da fórmula:

$$h = 4\sqrt{P} + 15$$

O exemplo é dado para uma carga de, aproximadamente, 100 quilos
A composição provável final, estará próxima da desejada

Material	carga		carbono		silicio		manganes		fósforo		enxofre	
	%	kg	teor	%	teor	%	teor	%	teor	%	teor	%
Gusa	67	67	3,7	2,48	1,2	0,80	0,4	0,27	0,17	0,11	0,15	0,10
Restos	24	24	3,4	0,82	2,2	0,53	0,7	0,17	0,30	0,07	0,17	0,04
Aço	9	9	0,2	0,02	0,2	0,02	0,5	0,05	0,04	0,004	0,04	0,004
				3,32		1,35		0,49		0,184		0,144
Fe Si 75%		1,1			75	0,83						
Fe Mn 80%		0,13					80	0,10				
				3,32		2,18		0,59				
Perdas de oxidação						0,20		0,06				
Absorção				0,10						0,09		0,10
Composição final				3,42		1,98		0,53		0,26		0,24

Tabela VI-1

onde:

h = altura da cama em centímetros, acima das ventaneiras;

P = pressão de ar na caixa de vento, em milímetros de água.

A altura das camadas de coque intercaladas com metal deve variar entre 15 e 20 centímetros (1).

A carga metálica será calculada a partir dêste pêso de carvão e da relação coque/metal que fôr tomada.

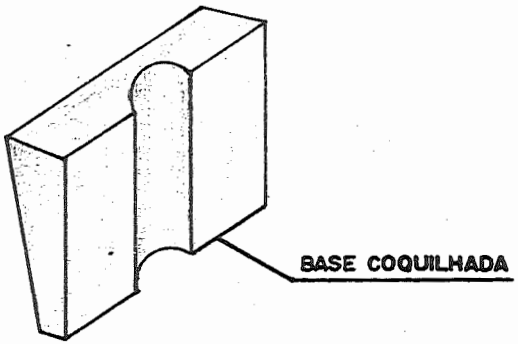


FIG.-VI-6

Esta camada de carvão não deve ser mudada, o que geralmente é feito quando o ferro sai frio. Se isso fôr feito, modificam-se as condições de queima e as dificuldades serão maiores. A variação deve ser feita na carga metálica ou no ar.

A relação coque/metal é baseada no poder calorífico do carvão e na quantidade de carbono absorvida. Maiores porcentagens de aço na carga, necessitam maiores proporções de carvão.

A relação coque/metal varia geralmente entre 1/7 a 1/10 (2).

(1) A altura da cama e das camadas de coque devem ser acertadas para cada cubilot, com base na prática diária.

(2) Essa relação pode ser modificada para controlar a vazão e temperatura do ferro.

O ar deve ser controlado medindo-se o volume fornecido, a pressão sendo a necessária para vencer as resistências que o ar encontra à sua passagem.

Para cada pressão é obtido, aproximadamente, a velocidade de vazão e, portanto, o volume de ar (1).

Quando é necessário um contrôle rigoroso de quantidade de ar, empregam-se aparelhos que pesam, constante e contìnuamente, a quantidade de ar introduzida no forno.

Um excesso de ar irá oxidar a carga, e causar a queda da cama; uma falta de ar causará a obtenção de ferro frio e baixa velocidade de fusão.

Existem traçados gráficos para alguns diâmetros de fornos, como o da Figura VI-7, onde estão relacionados os valores da temperatura, produção horária, volume de ar e relação metal-coque.

Percebe-se perfeitamente que sendo controlado o volume de ar, ou a relação metal-coque, pode ser produzido em um mesmo cubilot, maior ou menor quantidade de ferro por hora, mas a temperaturas diferentes.

Se fôr observado que a temperatura do forno é baixa desde que sejam conhecidos outros fatôres, pode ser tomada a seguinte providência para verificar o que está ocorrendo:

Reduzir o volume de ar de 5 a 7% durante, aproximadamente, 5 minutos, e observar a temperatura.

Se esta começar a elevar-se, indica que a cama do forno está baixa. Nêste caso, deve ser adicionado mais um pouco de carvão, e continuar mantendo o ar com volume abaixado.

Se a temperatura abaixar, isto é uma indicação de que a cama está alta; para correção o ar deve ser insuflado em um volume 5 a 7% mais elevado do que estava sendo empregado antes da experiência.

(1) Sendo a pressão dinamica de um fluido, dada por h - medida por um tubo Pitot - a velocidade V desse fluido é: $V = 4\sqrt{h}$; o volume V_1 é: $V_1 = VS$, onde S é a seção do conduto

A relação CO/CO_2 dos gases que saem do cubilot deve ser, aproximadamente 1 para que tenhamos um funcionamento favorável. Segundo C. Aisaghi, citado por Galassini, a chama produzida na boca de carga dá ao fundidor uma noção do equilíbrio das reações. A Tabela VI-2, indica a côr da chama, a sua causa e providências que devem ser tomadas para que o funcionamento seja normal.

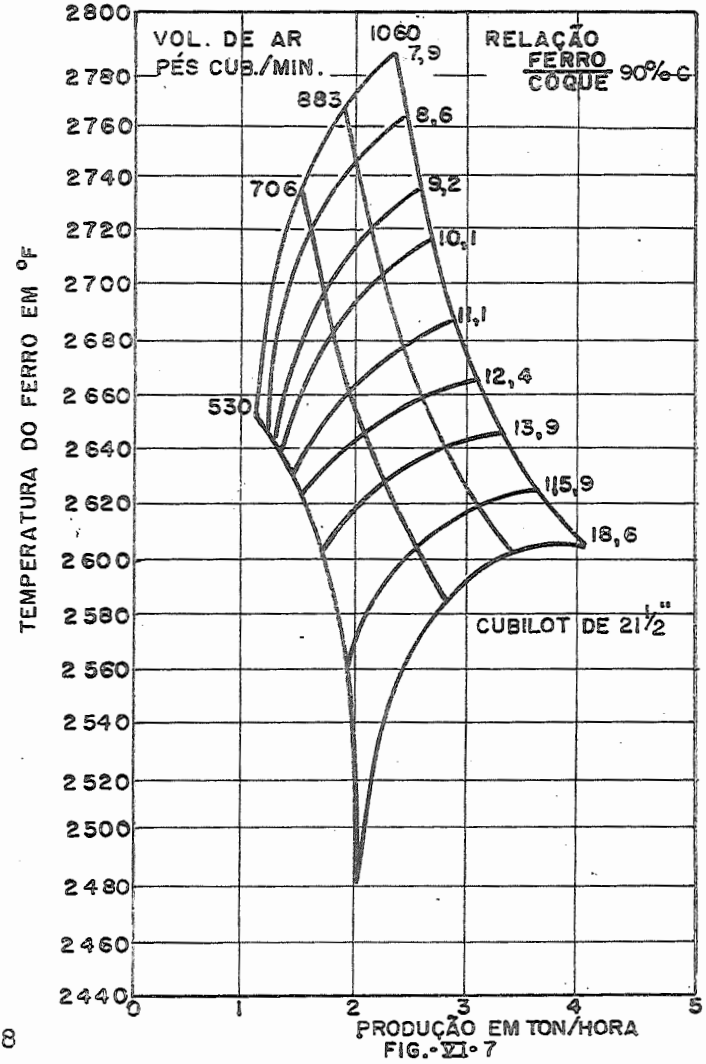


FIG.-VI-7

CHAMA	CAUSA	PROVIDENCIAS A TOMAR
azul transparente	excesso de carvão	diminuir a % carvão(1)
ausencia	funcionamento correto	
vermelha clara	carga excessiva de carvão	fazer uma carga falsa de metal e fundente
amarelo avermelhada	excesso de ar	diminuir o ar
escura com fumaça	deficiencia de ar	aumentar o ar

(1) Fazemos notar que essa diminuição da porcentagem de carvão deve ser feita, variando a quantidade de Fe, como já foi visto anteriormente.

Devem ser observadas na saída da chaminé as seguintes porcentagens de gases, para um bom funcionamento:

CO entre 11 e 17%

CO_2 entre 11 e 14%.

A quantidade de ar necessária para queimar um quilo de carbono, dando a relação $CO/CO_2 = 1$, é aproximadamente, $7m^3$ ($1m^3 = 1{,}233$ Kg).

Deve ser conhecido o teor de carbono do coque para se ter o volume de ar necessário; ou se é conhecido o volume de ar, a quantidade de carvão necessária.

Se, por exemplo, tivermos $70m^3$ de ar por minuto, queimaremos 10 quilos de carbono nêsse tempo, e se o carbono fixo do coque fôr 90%, teremos:

$100 \times \frac{10}{90} = 11$ quilos de coque/minuto ou 660 quilos/hora, e com uma relação metal:coque de 10:1, teremos uma vazão de 6.000 Kg/hora.

Se fôr necessário produzir 5 ton/hora, mantendo-se a mesma relação metal:coque, serão queimados 500Kg/hora de coque ou 8,3 Kg/min ou 7,5 Kg/min de carbono e deve ser diminuido o ar para 53 m^3/min. A temperatura do forno nêste caso será mais baixa (1).

(1) A primeira vista parece um contrasenso, que produzindo-se menos ferro por hora, êle saia mais frio, apesar de ser a relação metal-coque igual. Note-se porém que está sendo queimada menor quantidade de carvão por unidade de tempo.

Os fundentes mais utilizados são: calcáreo, fluorita e carbonato de sódio fundido.

O calcáreo é fundente geral e empregado na relação de, aproximadamente, 40% do carvão (1).

A fluorita é usada para tornar mais fluida a escória e o carbonato para desulfurar um pouco o metal. É usado na proproção de 0,1 a 0,3 de carga metálica.

A seguir são dadas as Tabelas VI-3 e 4 com dados práticos para uso de cubilot em que a relação metal/coque é de 10:1.

TABELA VI-3

diametro do cubilot-cm	60	70	90	105	120	135
coque -kg/h	260	400	650	820	1000	1280
produção - t/hora (1)	2 1/4	3 1/2	5	7	9	11 1/2
ar - m^3/hora(2)	28,3	44,5	64	86	114	144
tamanho do coque - cm	5	6,5	7,5	9	10	11,5
tamanho da socata-cm	18	23	28	33	36	41
carga do coque - kg	18	27	41	54	73	90
carga do metal - kg	180	270	410	540	730	900
com 20% de aço - kg	163	245	365	495	650	815
com 40% de aço - kg	154	230	345	460	615	770
com 60% de aço - kg	144	215	325	435	570	725

(1) carga sem aço

(2) pressão de 70,4 cm de água

TABELA VI-4

	Altura das camas(2)						
pressão - cm/água	17,6	35,2	53	70,4	88	105	130
cama minima	53	76	92	107	120	132	142
cama recomendada	69	102	107	122	144	147	157

(1) Este valor varia bastante em função do teor de cinzas de coque, principalmente.

(2) A altura é dada pela distancia que deve ultrapassar as ventaneiras.

BIBLIOGRAFIA

1.- MELLO, F.D.H. - Boletim nº 2 - A.B.M.

2.- HEINE, R.W. e ROSENTHAL &Ph. - Principles of Metal Casting.

3.- A.F.S. - Cupula Operation Handbook.

4.- STELLA, M. - Trattato de Fonderia.

5.- REESE, D.J. - Transactions - Funcionamento do Cubilot - A.F.S. - 1938.

6.- DUDOET, M. - O funcionamento do Cubilot - trad.do Boletim A.T. de Fonderia - 1938.

7.- GALASSINI, A. - Hoepli - 1957.

8.- CAMPBELL - Metal Casting.

USP - EES - CAMPUS DE S. CARLOS
Biblioteca

CAPÍTULO VII

FUNDIÇÃO DE LIGAS NÃO FERROSAS
LIGAS DE ALUMINIO, DE COBRE E DE ZINCO

O alumínio é raramente empregado puro em fundição. As suas propriedades mecânicas são baixas, como pode ser visto na publicação nº 64 - EESC.

É dificil fundir peças de formas complicadas ou de grandes dimensões, pois apresenta um coeficiente de contração muito elevado (1,7%) e grande fragilidade a quente. Sòmente em casos particulares emprega-se então, o alumínio.

As principais ligas usadas em fundição são as dadas nas Tabelas VII - 1, 2 e 3 (classificação americana).

A adição dos diversos elementos à liga, modifica as suas propriedades. A influência dos principais elementos empregados é explicada em outra obra (1).

O Al e impurezas normais nas ligas acima constituem a diferença para 100.

PREPARO DAS LIGAS

O método de preparação influirá nas propriedades finais obtidas, pois alteram a estrutura e homogeneidade das ligas.

Alguns metais de ponto de fusão inferior ou igual ao do alumínio, podem ser adicionados diretamente no alumínio fundido, como por exemplo, o zinco, o magnésio, o antinômio e o estanho. Os de bai

(1) Publicação nº 64 - EESC.

xo ponto de fusão devem ser adicionados com cuidados especiais, mergulhando-se no metal fundido, por meio de uma campânula, Figura VII-1

Os metais de alto ponto de fusão são adicionados sob a forma de ligas denominadas bases ou mãe, com elevado teor do elemento que se deseja adicionar, de ponto de fusão mais baixo ou mais alto do que o do alumínio, mas de dissolução mais fácil que o metal puro.

COMPOSIÇÃO NOMINAL DE LIGAS DE ALUMINIO FUNDIDAS EM AREIA

DESIGNAÇÃO COMERCIAL DA LIGA	S.A.E. 1954	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Outros elementos
195	38	4,5					
122	34	10,0		0,2			
142	39	4,0		1,5		2,0	
108		4,0	3,0				
113	33	7,0	2,0				
214	320			4,0			
220	324			10,0			
B214			1,8	4,0			
43	35		5,0				
5% Silício			5,0				
355	322	1,3	5,0	0,5			
Allcast		3,7	6,3				
319	329	3,7	6,3				
Red X-8	327	1,5	8,0	0,4			0,4 Mn
356	323		7,0	0,3			
Tenzaloy		0,7		0,4	7,5		
Ternalloy 5				1,6	3,0		0,5 Mn - 0,3 Cr
Ternalloy 7				2,1	4,3		0,5 Mn - 0,3 Cr
40 E	310			0,55	5,6		0,5 Mn - 0,3 Cr
A 612		0,5		0,7	6,5		

Tabela VII-1

Isto deve ser feito para evitar o superaquecimento do alumínio, necessário para a dissolução, quando não se emprega a liga mãe, o que traz graves inconvenientes à liga.

Tabela VII-2-COMPOSIÇÃO NOMINAL DE LIGAS DE ALUMINIO FUNDIDAS POR GRAVIDADE EM MOLDES PERMANENTES

DESIGNAÇÃO COMERCIAL DA LIGA	S.A.E. 1954	Cu	Si	Mg	Zn	Ni	Outros elementos
122	34	10,0		0,25			
142	39	4,0		1,5		2,0	
B195	380	4,5	2,5				
152	300	6,5	5,5	0,4			
113	33	7,0	2,0		1,7		
138		10,0	4,0	1,0			
B214			1,8	4,0			
A214				4,0	1,8		
43	35		5,0				
5% de silício			5,0				
355	322	1,3	5,0	0,5			
A 108	330	4,5	5,5				
Allcast	326	3,7	6,3				
319		3,7	6,3				
Red X-13	328	1,5	12,0	0,7			0,7 Mn
356	323		7,0	0,3			
A132	321	1,0	12,0	1,0		2,5	
C612		0,5		0,35	6,5		
Tenzaloy		0,7		0,35	7,5		
Ternalloy 5				1,6	3,0		0,5 Mn - 0,3 Cr
Ternalloy 7				2,1	4,3		0,5 Mn - 0,3 Cr

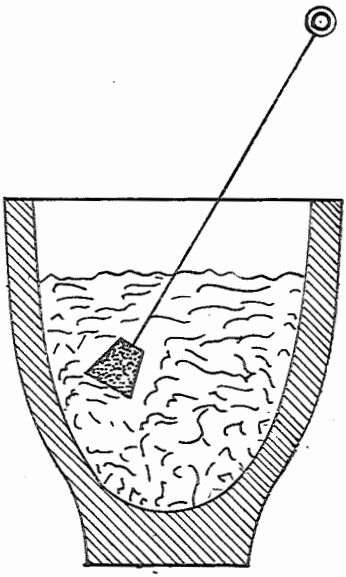


FIG.-VII-1

COMPOSIÇÃO NOMINAL DE LIGAS DE ALUMINIO FUNDIDAS SOB PRESSÃO EM MOLDES PERMANENTES.

DESIGNAÇÃO COMERCIAL DA LIGA	S.A.E. 1954	Cu	Si	Mg	Fe máximo
218				8,0	
43	304		5,0		
13	305		12,0		2,0
A13			12,0		1,3
85	307	3,5	5,0		2,0
A85		3,5	5,0		1,3
A380	306	3,5	8,5		1,3
380	308	3,5	8,5		2,0
A360			9,5	0,5	1,3
360	309		9,5	0,5	2,0

Tabela VII-3

São assim utilizadas ligas mães de Cu, Ni, Fe, Cr, Si.

Estas ligas permitem também aumentar a presi - são da composição da liga final. Uma pequena diferença na pesagem, não influ tanto como se essa diferença fôsse de metal puro. Além disso, as pesagens são maiores e os erros cometidos podem ser proporcionalmente menores: permitem também a obtenção de uma dissolução mais perfeita na liga.

As ligas mães são preparadas principalmente de três maneiras: a) adicionando-se alumínio sólido no metal líquido, que deve ter alto ponto de fusão; b) misturando-se o alumínio líquido no metal também no estado líquido; c) metais sólidos adicionados ao alumínio líquido; nêste caso devem ser relativamente fáceis de dissolver no alumínio. Ex:-o ferro.

Na preparação da liga final, o alumínio é fundido primeiro e depois, são adicionados os metais ou ligas bases necessárias. É deixado sempre para o fim a adição de elementos fàcilmente oxidáveis. Ex:- o magnésio.

As ligas devem ser sempre fundidas sob a proteção de uma escória, que reduz a absorção de gases e também pode ter uma ação benéfica, purificando a liga.

As escórias mais utilizadas tem suas composições dadas na Tabela VII-4.

Estas escórias devem ser adicionadas sêcas para evitar a introdução de gases no metal. Êste são responsáveis pela maior parte das perdas de fundição (regeitos) de ligas de alumínio. Na hora de vazar, o metal deve ser escorificado.

É usual também fundir o material sem proteção de escória, e antes de vazar colocar um fluxo, constituido por sais (1) que, mergulhados na liga fun-

(1) Os sais básicos dos fluxos são: cloreto de zinco, cloreto de aluminio e criolita. Outra mistura recomendada para as ligas alumínio-silício é: 1 parte de clorato de sódio, 2 partes de cloreto de sódio e 4 partes de fluoreto de sódio. Os fluxos para as ligas Al-Mg, contem sempre ClMgã Um fluxo desgazeificante pode ser preparado a base de hexacloroetana.

dida, por meio de uma campânula, Figura VII-1, desprendem gases que arrastam impurezas e outros gases (principalmente hidrogênio) para a superfície.

Outro processo consiste também em fazer borbulhar um gás no banho. A temperatura deverá ser, quando é empregado azôto, inferior a 750°C, para evitar a formação de nitretos. Pode ser também empregado o cloro, desde que sejam tomados cuidados especiais. Em todos os casos os gases devem ser bem sêcos.

É também utilizado o processo de fundir a liga, deixá-la esfriar até quase a solidificação no próprio cadinho (com o abaixamento de temperatura, diminui a solubilidade dos gases, que são eliminados por diferença de densidade) depois aquecê-la ràpidamente à temperatura desejada e vazar.

Maiores cuidados devem ser tomados na desgaseificação, quando se emprega socata ou cavacos, pois que em geral veem impregnados de sugeira, óleo, etc, o que facilita a absorção de gases pelo metal fundido.

COMPOSIÇÕES DE ALGUMAS ESCÓRIAS

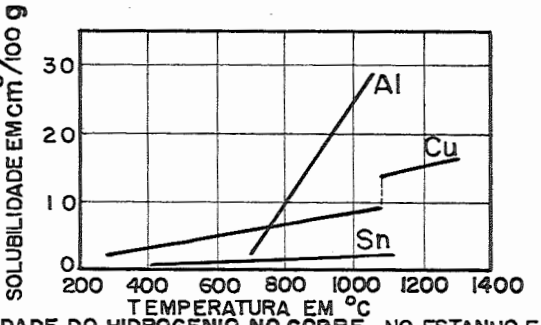
Escórias protetoras	1) 85% NaCl 15% "Criolita" (3 NaF - AlF_3)	2) 75% NaCl 10% KCl 15% Criolita
Escórias purificadoras	3) 60% NaCl 25% KCl 15% Criolita	4) 35% NaCl 15% Na_2CO_3 50% Na_3AlF_6
	5) 40% NaCl 40% KCl 20% Criolita	6) 30% NaCl 40% KCl 15% Na_2CO_3 15% KF
Escórias eliminadoras	7) 75% NaCl 20% $ZnCl_2$ 5% KCl	8) 20% Na_2SiF_6 10% KF 40% NaCl 30% KCl

Tabela VII-4

A escolha da socata deve também ser feita criteriosamente para poder ser obtida uma liga com composição adequada.

A temperatura de vazamento das ligas de alumínio varia entre 700 e 750°C, dependendo, em grande parte, da peça que vai ser vazada. A prática indica a temperatura mais baixa (sempre desejada), suficiente para enchê-la.

A Figura VII-2 mostra a quantidade de hidrogênio que pode ser absorvida por alguns metais, em função de temperatura. Procura-se por isso mantê-la sempre a mais baixa possível.



SOLUBILIDADE DO HIDROGENIO NO COBRE, NO ESTANHO E NO ALUMINIO

FIG.-VII-2

Depois de iniciado o vazamento da peça, êle não deve ser interrompido, para evitar que a camada de óxido de alumínio que se forma na superfície do metal líquido se rompa e penetre na peça, inutilizando-a muitas vêzes.

Segundo K. Schneider, as ligas de Al-Si podem ter sua granulação, normalmente grande, diminuida, pela adição de fósforo vermelho, cloreto de Potássio e Fluoreto de Titânio e Potássio, o tratamento devendo ser seguido por uma degazagem com cloro.

Se a liga tiver sido tratada com sódio ou seus sais (1) o tratamento com fósforo é contra-indicado.

(1) Veja obra citada

USO DO CADINHO DE FERRO

Quando são usados cadinhos de ferro para a produção dessas ligas é conveniente pintar os cadinhos para evitar a contaminação muito grande pela dissolução do ferro.

Uma boa tinta para êsse fim é a seguinte:

silicato de sódio	1 kg
água	9 litros
grafita	10 kg (1)

Esta tinta deve ser aplicada com o cadinho aquecido a mais ou menos 100°C.

O emprêgo de cadinhos de grafita ou fornos com soleiras de bauxita , ou magnésia, torna-se obrigatório, quando as ligas são muito sensíveis à introdução de ferro.

LIGAS DE COBRE

Muitas vêzes, o fundidor usa ligas já prepara - das e que são adquiridas em forma de lingotes. Nêste caso, o trabalho é só fundir,tomando as precauções necessárias para evitar a oxidação e absor - ção de gases.

As principais ligas de cobre para fundição constam da Tabela VII-5 (Veja também Tabela III-1 da obra já citada).

A oxidação e absorção de gases são evitadas pelo contrôle da temperatura, impedindo o superaquecimento, e formando uma escória na superfície do banho. A temperatura influirá também nas propriedades da liga.

A atmosfera do forno deve ser levemente oxidante para evitar a absorção do hidrogênio.

Tôdas as ligas à base de cobre, para serem preparadas necessitam de uma desoxidação do cobre antes da adição do elemento de liga.

(1) A grafita é, algumas vezes, substituída por caolin.

O desoxidante mais utilizado é o cobre-fósforo, com teor dêste elemento da ordem de 15%. Outros são: cloreto de cálcio e o litio.

Para preparar o bronze comum ao estanho deve ser seguido o seguinte processo:

Fundir o cobre e desoxidar com cobre-fósforo. Adicionar a seguir os outros elementos que podem ser: o níquel, o ferro e o chumbo. Colocar, em seguida, o zinco e por fim o estanho. Depois de feita a última adição, o material deve ser logo vazado.

Para evitar oxidação e absorção de gases, a superfície do banho deve ser coberta com carvão de madeira moído, vidro, uma mistura dos dois, bórax, carbonato de sódio, areia com carvão. É recomendado também, uma mistura de 3 partes de cal para uma parte de fluorita.

Para aumentar a dureza, o teor de fósforo residual deve ser aumentado. Êste é da ordem de 0,02 a 0,05%.

Para aumentar a dureza, êste teor é elevado a 0,2 , 0,3 e até, mais raramente, a 1%.

A temperatura de vazamento do bronze influe grandemente em suas propriedades como pode ser visto na Figura VII-3. Dependendo das propriedades desejadas êle é fundido a temperaturas mais altas ou mais baixas. Essa temperatura varia com outros fatores como sejam: composição da liga, tamanho da peça, tipo de molde, etc., mas em geral está compreendido entre 1050 e 1100°C.

Na preparação dos latões, o cobre é fundido, desoxidado, o banho coberto com uma escória redutora (areia com carvão, vidro com carvão) e, sendo adicionada, a seguir, a quantidade de zinco necessária.

Êste deve ser mergulhado no banho, por meio de uma campânula para evitar a queima.

Os fundidores costumam quando refundem o latão-emprêgo de socata- adicionar um pouco de zinco, para compensar o que se perde por oxidação. Essa técnica depende muito da prática do operador, com de-

SAE	Liga	Composição, % em pêso										
		Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Ni	P	Al	Si	Sb	Mn
40	Bronze vermelho	84,6-86,0	4,0-6,0	4,0-6,0	4,0-6,0	0,30	1,0	-	0,005	0,005	-	-
41	Latão amarelo	65,0-70,0	1,5	1,5-3,75	Dif.	0,75	-	-	0,30	-	-	-
43	Bronze manganes	55,0-60,0	1,0	0,40	Dif.	0,4-2,0	0,50	-	0,5-1,5	-	-	1,5
430A	Bronze Mn de Alta resistencia	60,0-68,0	0,20	0,20	Dif.	2,0-4,0	0,50	-	3,0-7,5	-	-	2,5-5,0
62	Bronze de canhão	86,0-89,0	9,0-11,0	0,30	1,0-3,0	0,15	1,0	-	0,005	-	-	-
620	Bronze naval "G"	86,0-89,0	7,5-9,0	0,30	3,5-5,0	0,15	1,0	-	0,005	-	-	-
621	Bronze naval ao Pb	85,0-89,0	7,5-9,0	1,0	3,0-5,0	0,25	1,0	-	0,005	-	-	-
622	Bronze naval "M"	86,0-90,0	5,5-6,5	1,0-2,0	3,0-5,0	0,25	1,0	-	0,005	-	-	-
63	Bronze de canhão ao Pb	86,0-89,0	9,0-11,0	1,0-2,5	0,75	0,15	1,0	0,25	0,005	-	-	-
64	Bronze fosforoso	78,0-82,0	9,0-11,0	8,0-11,0	0,75	0,15	0,5	0,25	0,005	0,005	0,50	-
640	Bronze fosforoso ao Ni	85,0-88,0	10,0-12,0	1,0-1,5	0,50	0,30	0,75-1,5	0,20-0,30	0,005	-	-	-
65	Bronze fosforoso p/engrenagem	88,0-90,0	10,0-12,0	0,50	0,50	0,15	(1)	0,10-0,30	0,005	-	-	-
66	Bronze p/manoal	83,0-86,0	4,5-6,0	8,0-10,0	2,0	0,20	0,50	-	0,005	0,005	0,30	-
660	Bronze p/manoal	81,0-85,0	6,25-7,5	6,0-8,0	2,0-4,0	0,20	0,50	0,15(2)	0,005	0,005	0,25	-
68A	Bronze de Al	86,0-89,0	0,50	-	-	2,5-4,0	-	-	8,5-9,5	-	(3)	-
68B	Bronze de Al	86,0-89,0	0,20	-	-	1,0-2,0	-	-	10,0-11,5	-	-	-

Tabela VII-5

(1) Pb + Zn + Ni = 1%

(2) P = 0,5%, permissivel para fundição em molde permanente.

(3) A soma dos elementos nomeados deverá ser = 99,0%

terminado forno.

FIG.-VII-3

Com alguma prática também, pode ser observado por estudo de fratura e dobramento de corpos de prova vazados especialmente para êsse fim, a composição e estado de oxidação dessas ligas.

São fundidas em coquilhas barras de 20 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro.

Quando dobradas, se o ângulo atinge a 45°, pode-se considerar que o latão está bom.

LIGAS DE ZINCO

A maior utilização de zinco em fundição é para a obtenção de peças fundidas sob pressão, com Zamack, ou estampos de Kirksite.

O zinco e suas ligas fundem-se a baixas temperaturas.

A contaminação e a oxidação são os dois fatores que mais influenciam estas ligas.

Quando são empregados cadinhos de ferro, êles devem ser pintados, como já foi citado, no estudo das ligas de alumínio.

Na refusão de socata e canaes é conveniente usar uma escória protetora, que pode ser uma mistura de três partes de cloreto de zinco e uma parte de cristais de cloreto de amônio.

Esta escória remove o magnésio porventura existente na liga, que para acêrto de composição deve ser adicionado.

Para posteriores estudos podem ser consultadas as seguintes obras:

BIBLIOGRAFIA

1.- A.F.S. - Cast Metals Handbook - 1957

2.- BRADASCHIA, C. - Ligas de Alumínio - Técnica de Fundição em areia. Bol. A.B.M. nº 30.

3.- HAINE e ROSENTHAL - Principles of metal casting A.F.S. - 1955.

4.- PANSERI, C. - Manuale de Fonderia di aluminio - 1949.

5.- PERRET, R. - La Fonderie des alliages Leger-1948

6.- I.S.M.L. - La tecnica de fonderia delle leghe - leggere - 1940.

7.- MASCRE M, C. e LEFEBVRE M.A. - Pouvoir Gazant et Degazant des Flux pour alliages légers - in Fonderie - nº 164 - sept. 1959.

8.- SCHNEIDER K. - Aluminium casting Alloys - Properties improvement by grain Refining - in Modern Casting - abril 1960

CAPITULO VIII

FUNDIÇÃO DO AÇO

O aço pode ser fundido em areias ou em coquilhas, método êste utilizado para o aço a pouco tempo, - (é tratado aqui, o caso de obtenção de peças de aço fundido, e não lingotes de aço, que serão trabalhados mecânicamente, após a solidificação) - mas de difícil aplicação, e ainda pouco utilizado.

Na fundição de aço em moldes de areia, esta tem uma grande importância.

Deve apresentar um alto ponto de sinterização (fusão incipiente com início de aglomeração dos grãos) devido ao alto ponto de fusão do aço.

Quando ocorre a sinterização dos grãos, formam-se vazios, que são preenchidos pelo metal líquido, dando à peça, uma superfície muito áspera.

Êste amolecimento prematuro da areia, é devido a impurezas, principalmente a cal e o óxido de ferro, que agem como fundentes.

Deve ser escolhida também uma areia com alta permeabilidade, permitindo o escapamento fácil dos gases formados ou arrastados na fundição.

Êstes gases se não podem escapar, formam bôlhas na superfície da peça, ou pequenos furos. Êsse defeito aparecerá de qualquer maneira se o aço não fôr completamente desoxidado. Essa desoxidação é feita, em grande parte por meio de ferro-silício, e êste elemento aparece, em geral, em mais altos teores nas peças fundidas.

A resistência à passagem do metal líquido, isto é, resistência à erosão, deve ser grande, pois o aço tem um grande poder de "lavar" a superfície dos moldes (1).

Já foi verificado que as inclusões de areia nas peças de aço tem sua origem na lavagem que o material produz nos canaes e massalotes. Lavagem no contôrno da peça já é mais raro.

A areia carreada irá para o interior da peça, dando defeitos (pontos duros na usinagem), e o local de onde saiu, será preenchido pelo metal, dando mau acabamento.

A areia logo depois de iniciada a solidificação da peça, deve se desintegrar, pois o aço se retrai grandemente, durante a solidificação, e então principalmente os bolos de areia ou machos, devem esboroar para permitir essa deformação.

A retração do aço é da ordem de 3% durante a solidificação, e de 6 a 7% no estado sólido, em volume, quando fundido em areia, Figura VIII-1.

Essas dificuldades tôdas, e também a alta temperatura de fusão do aço, é que tornam o emprêgo de outras ligas, sempre que possivel indicadas.

As areias são sempre preparadas com bentonita ou com argila comum, e adição de dextrina, e o molde deve ser pintado com grafita. O teor de umidade nas areias verdes, deve ser bem baixo, para evitar, ao máximo, a formação de bôlhas superficiais. A umidade ótima parece ser de 4%, nas areias sintéticas com 4 a 5,5% de argila. Alguns autores recomendam usar moldes secados por meio de chama, nas partes que entram em contato com o metal fundido. Outros acham que um pequeno teor de umidade, para fundição de peças pequenas de paredes finas, dá melhor acabamento à peça, pela formação de vapor que impede o contato direto do metal com a areia, no momento da fusão. Apresentam também menor resistência que as areias sêcas à contração do metal. A preparação de areia deve ser cuidadosa pois uma mis-

(1) Veja capitulo III – propriedades das areias.

tura com tempo insuficiente ou com baixa umidade, ou mal feita por defeito do misturador, podem dar origem a defeitos nas peças.

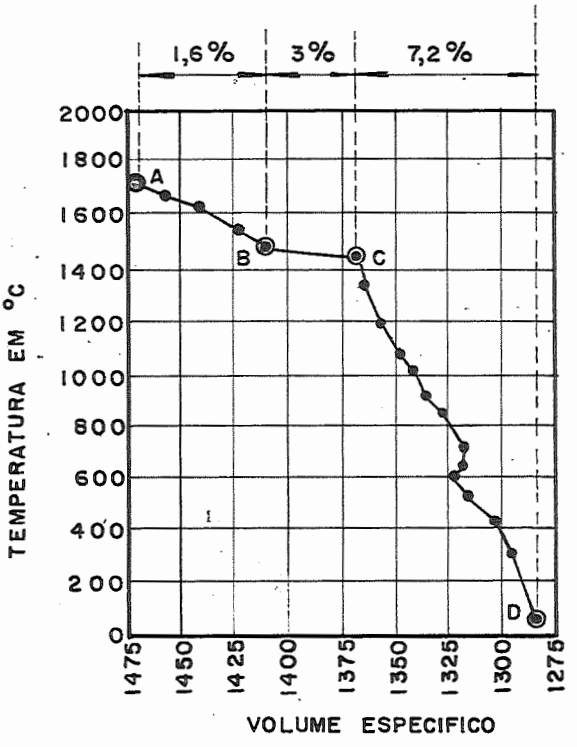


FIG.-VIII-1

Na moldagem , a bacia de vazamento, em geral , é feita de areia estufada, e na base do canal, que sofre um forte impacto de jato de metal, é colocado um macho.

MOLDAGEM DAS PEÇAS

A moldagem também apresenta muitos problemas . Em geral, procura-se dar às peças espessuras o mais homogêneas possíveis, de paredes, para evitar diferenças de velocidade de solidificação.

O mau desenho da peça, é considerado por muitos autores como a origem da maior parte dos defei

tos que podem aparecer ou aparecem nas peças de aço fundidas.

Quando não é possível igualar as espessuras, empregam-se os resfriadores para dar solidificação direcional às peças, e massalotes, para alimentar as peças durante a contração de solidificação no estado líquido.

Os cuidados que devem ser tomados já foram explicados de uma maneira geral, para fundição dos metais, no Capítulo II. Êsses cuidados se tornam muito mais necessários no caso de fundição de aço.

PRODUÇÃO DOS AÇOS

Qualquer tipo de forno para aço é usado. Hoje em dia, no entanto, são mais empregados, ou são mais indicados, os fornos elétricos ou de indução que produzem aços de melhor qualidade, pois que permitem um melhor contrôle da produção.

A desoxidação do aço deve ser a mais bem feita possível, para evitar ou diminuir a formação de bôlhas no interior das peças.

Os aços são sempre do tipo acalmados.

Grande número de peças são feitas com aços especiais. As peças de aço Hadfield com o teor de manganês entre 10 e 13% e carbono entre 1 e 1,3% (relação 10:1) são sempre obtidos por fusão, pois são difìcilmente trabalhados.

As peças fundidas também são tratadas tèrmicamente antes de serem empregadas.

EMPRÊGO

As peças de aço fundido são, em geral, empregadas quando há dificuldade em obtê-las por outros processos (forjamento, soldagem, etc.) ou quando, não sendo muito grande a produção, não compensa confeccionar as matrizes, para forjamento ou estampagem, que são de preço elevado.

Como já foi visto, as peças fundidas em um de-

terminado tipo de aço, não apresentam as mesmas propriedades - estas são inferiores - que as mesmas peças, se estas forem obtidas por trabalho mecânico, com êsse mesmo aço.

BIBLIOGRAFIA

1.- A.F.S. - Steel Casting Design for the Engineer and the Foundrymen - Preprint n° 38 - 78.

2.- A.F.S. - Cast Metals Handbook - 1957.

3.- BOURDON, H. - Aciéristes et fondeurs - 1957.

4.- CAMPBELL - Metal Casting - 1936

5.- CROISET, P. - Étude sur le Moulage de L'Acier-1931

6.- HALL, J.H. - The Steel Foundry - 1922

7.- MARY M.M.R. e GAUMIN M. - contribution a l'étude des entrainements de sable dans les moulages d'acier en sable vert in Fonderie n° 165 - out.1959.

CAPITULO IX

FUNDIÇÃO EM MOLDES PERMANENTES E SEMI-PERMANENTES

Podem ser usados em vez de moldes feitos com areia de moldagem, que servem para a obtenção de uma peça por molde, outros feitos em gêsso, cimento ou concreto, os quais podem ser usados, às vêzes, para a obtenção de várias peças. Êste porém não é um processo muito empregado, pelo menos no Brasil. Deve ser usado para metais de baixo ponto de fusão em geral.

Para a obtenção de grande número de peças podem ser usados os moldes permanentes, feitos em metal e denominados coquilhas.

Êste processo permite uma produção mais rápida, as peças obtidas apresentando dimensões mais constantes e rigorosas, com ótimo acabamento superficial. O resfriamento mais rápido do metal permite a obtenção de peças com boas propriedades mecânicas e granulação mais fina.

Nêste processo a maior dificuldade está no projeto da coquilha e na sua confecção, para a qual se necessita mão de obra muito especializada. Os moldes então são caros, mas, em compensação não há necessidade de mão de obra especializada para a confecção das peças.

Os materiais em geral fundidos em coquilha, são o alumínio, o magnésio, o zinco e o cobre, e as

suas ligas, e mais raramente, ferros fundidos, geralmente por centrifugação.

A coquilha consta essencialmente de duas ou mais partes, nas quais estão formadas partes do modêlo, de tal maneira que quando juntas formam o negativo da peça a moldar, podendo ou não, ter marcações para machos, e formando também os canais de vazamento e de subida, e massalotes quando necessário.

As partes que constituem a coquilha podem ser abertas ou fechadas ràpidamente.

Pode-se dar o caso também de ser preciso usar machos de areia, quando não há possibilidade prática de retirada do macho metálico, por falta de saída.

Algumas partes do molde podem ser também revestidas de areia (machos) para evitar um resfriamento rápido dessas partes. Êstes, no entanto, são casos menos usados.

As coquilhas são usadas aquecidas ou pintadas, para evitar o aparecimento de defeitos devido ao contato do metal fundido, com o molde frio, mas muitas vêzes, partes do molde devem ser resfriadas, por meio de circulação de água para diminuir a temperatura nessas zonas.

A temperatura do metal e modo de vazamento também influirão no acabamento das peças.

Muitas vêzes, para se obter uma peça ôca é empregado o processo de vazar o metal líquido na coquilha, e depois de um certo tempo, quando o material que já solidificou junto à superfície, atingiu a espessura desejada, vazar o metal ainda líquido que está na coquilha. Êste processo só é recomendado quando se deseja obter peças de forma mais ou menos simples, e quando o acabamento da parte interna não apresenta grande importância. Como um desenvolvimento do método de coquilha surgiu em 1849 a fundição sob pressão que também utiliza moldes permanentes para obtenção de peças.

Nêste caso o metal fundido não é vazado, como no caso anterior, dentro do molde, sòmente pela pressão hidrostática do metal, ou pela fôrça centrífuga, mas sim, obrigando-o a penetrar no molde por meio de pressão exercida pelo ar ou por meio de um pistão, o primeiro caso sendo menos empregado. Figuras IX-1, 2 e 3.

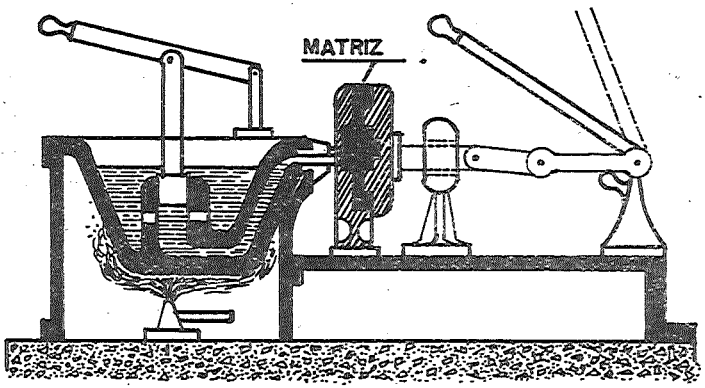


FIG.- IX-1

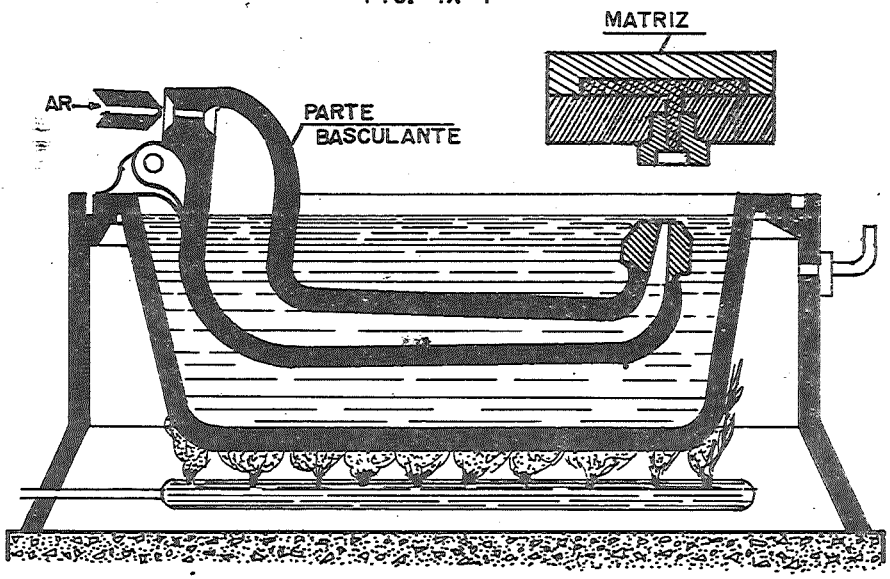


FIG.-IX-2

Êste processo é utilizado para a obtenção sòmente de grande número de peças, pois a matriz é caríssima.

A escolha do aço para a fabricação da matriz deve ser criteriosa, quanto à composição e fabricação, como também quanto ao tratamento térmico, para permitir a confecção de grande número de peças, e assim fazer dêste um processo econômico.

As condições a que fica exposto o material durante o emprêgo, requerem aços da mais alta qualidade, sem impurezas, defeitos, trincas, etc..

O tratamento térmico, que a peça requer após a sua usinagem, não deve introduzir muita distorção, para não inutilizar a matriz.

O material deve também ser bastante resistente aos choques térmicos, que ocorrem com a operação de fusão da peça dentro do molde e sua retirada rápida, após solidificação. Deve ser ainda resistente a abrasão causada pelo fluxo de metal líquido, e ter baixo coeficiente de expansão térmica.

Na Tabela IX-1 são dadas as composições de alguns aços empregados na confecção de matrizes para fundição sob pressão, e sua utilização.

Aço nº	COMPOSIÇÃO % C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Outros	Usos
1	0,30	0,30	0,45	3,25	....	0,50	9,00	.....	moldagem de latão
2	0,30	0,30	0,50	1,40	0,40	....	4,0	5,0 Co	moldagem de latão
3	0,40	0,30	1,00	5,00	1,00	0,50	....	.....	moldagem de alumínio
4	0,40	0,40	1,00	5,25	1,00	1,00	....	.....	moldagem de alumínio
5	0,35	0,40	1,00	5,0	1,5	0,30	1,25	.....	moldagem de alumínio
6	0,40	0,30	1,00	5,0	....	....	5,0	.....	moldagem de alumínio
7	0,30	0,75	0,50	0,80	0,30	....	....	.....	moldagem de zinco
10	0,65	0,30	0,40	17,00	....	....	....	.....	machos pequenos e pinos ejetores
11	0,35	0,50	0,75	1,25	0,20	....	....	1,25 Al	machos pequenos e pinos ejetores.

Tabela IX-1

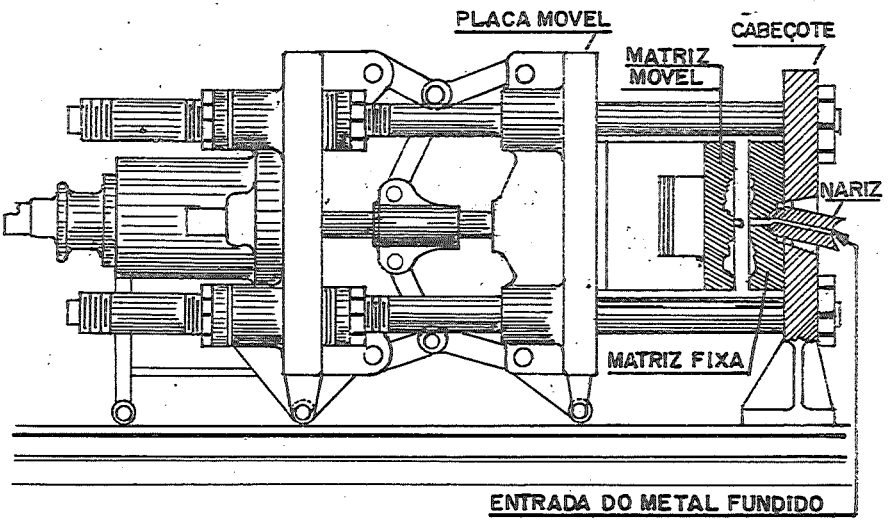


FIG.- IX - 3

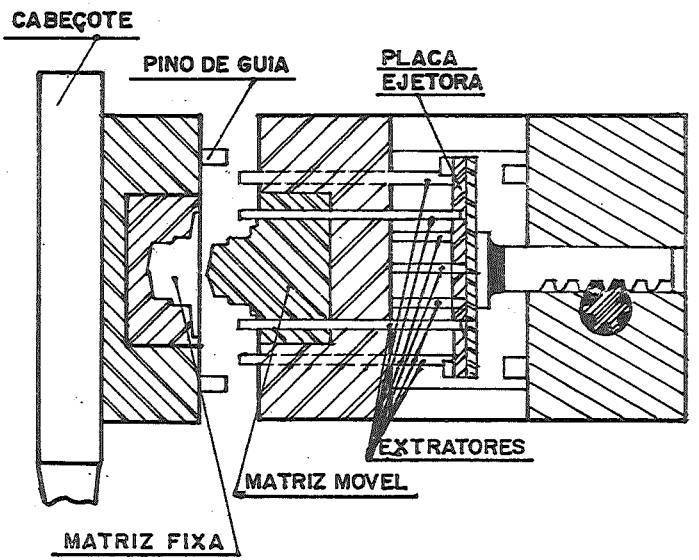


FIG.- IX - 4

A usinagem do negativo da peça, assim como o acabamento das faces de encontro das partes do molde devem ser perfeitos, para dar peças com bom acabamento, fáceis de serem extraídas da matriz, como também para permitir um perfeito encontro das partes, evitando saída do metal, quando êste é injetado sob pressão.

Devem ser previstas também guias para permitir um perfeito acoplamento das partes do molde.

Existe uma técnica bastante especializada para a perfeita confecção dêsses modelos, pois de uma perfeita localização dos pinos extratores e canaes assim como da forma dêste último, e fixação dos machos, depende a obtenção de peças perfeitas.

Vários defeitos podem ser encontrados nestas peças como sejam: vazios, devidos à solidificação dos canaes, antes das peças; bolhas de gases, êstes em geral carreados pelo metal; trincas de contração, que aparecem quando as tensões de solidificação são elevadas, sobrepujando a resistência do material aquecido. Recomenda-se por isso extrair a peça do molde o mais ràpidamente possível, para permitir a sua retração livremente; pontos duros, causados por inclusões; linhas e falhas superficiais, causadas por metal frio, ou molde frio.

Outros defeitos menos comuns podem também aparecer.

As peças são limitadas em seu pêso e dimensões pelas máquinas existentes e pelos estampos.

Os primeiros metais ou ligas empregados nêste processo foram o estanho e o chumbo.

A seguir foram desenvolvidas as ligas à base de zinco, depois as de alumínio e as de magnésio. Hoje em dia já é empregado o latão, e também o ferro, êste último, restritamente, por algumas fundições.

A composição de algumas ligas para fundição sob pressão, podem ser vistas no Capítulo VII e na publicação nº 64 da EESC.

O trabalho aqui é, quase sempre, todo automático; fechamento e abertura das matrizes, retirada e colocação dos machos, extração das peças prontas. É o processo de fundição mais rápido que se conhece.

A extração da peça é feita por intermédio de pinos extratores, localizados na parte da matriz que se desloca, na abertura para retirada da peça. Figura IX-4.

Devido à pressão, podem ser obtidas peças com paredes muito mais finas do que as obtidas por outros processos, com exceção da metalurgia do pó. São empregadas pressões até da ordem de 7 Kg/mm^2 e as vêzes mais - 20 Kg/mm^2.

Existem dois tipos de máquinas que trabalham por êste processo: a de câmara quente e a de câmara fria.

No primeiro tipo, a câmara onde fica o metal que será injetado no molde, fica permanentemente mergulhado no metal fundido (1). No segundo tipo, o metal a ser injetado é colocado na hora de injetar, em uma câmara que permanece à uma temperatura relativamente baixa.

A seguir é dada a Tabela IX-2 na qual são comparados diferentes métodos de fundição. São dados aproximados, relacionados a diferentes itens.

Para posteriores estudos podem ser consultadas as seguintes obras:

BIBLIOGRAFIA

1.- DOELER, H.H. - Die Casting - 1957.
2.- GALASSINI, A. - Fonderia - Hoepli - 1957.
3.- PANSERI, C. - Manuale de Fonderia d'aluminio.

(1) Estas máquinas não servem para trabalhar com o Alumínio e suas ligas, pois que atacam facilmente o aço.

COMPARAÇÃO APROXIMADA DE DIFERENTES
MÉTODOS DE FUNDIÇÃO

	FUNDIÇÃO				
	em areia	molde permanente	a pressão	centrifugação	de precisão
custo relativo (em quantidade)	médio	baixo	o mais baixo	alto	o mais alto
custo relativo (pequeno número)	o mais baixo	alto	o mais alto	médio	baixo
Pêso permitido das peças	ilimitado	50 Kg	15 Kg	alg. toneladas	2 Kg
espessura mínima	$\frac{1"}{8}$	$\frac{1"}{8}$	$\frac{1"}{32}$	$\frac{1"}{2}$	0,005
tolerância nas dimensões	$\frac{1"}{16}$	0,03	0,01	$\frac{1"}{16}$	0,01
acabamento superficial	mau	bom	muito bom	médio	muito bom
propriedades mecânicas relativas	fraca	boa	muito boa	muito boa	fraca
facilidade de fundir moldes complicados	média	média	boa	má	melhor
facilidade de modificar desenho (em produção)	melhor	ruim	péssima	boa	boa
Tipos de liga a usar	ilimitado	cobre e ligas baixo ponto de fusão	Al e ligas baixo ponto fusão	ilimitado	ilimitado

Tabela IX-2

CAPITULO X

METALURGIA DO PÓ

APLICAÇÕES E VANTAGENS

Compreendemos por metalurgia do pó, os processos de obtenção de pós metálicos, e os processos pelos quais por meio dêste pó se obtém uma utilidade.

A metalurgia do pó, recentemente desenvolvida, não é nova. Os incas usavam o processo para obtenção da platina. Usavam como elemento aglomerante uma liga de ouro e prata. A platina no século XIX era obtida por êste meio, já que os processos metalúrgicos conhecidos nessa época, não permitiam sua obtenção pelo processo de fusão.

O osmio e wolframio, para construção de filamentos de lâmpadas, no início do século XX, também eram obtidos por êsse processo, como o é ainda hoje em dia, o segundo. O Ta e o Mo são também, em geral, assim produzidos.

A sua utilização é exigida quando: 1º) há impossibilidade prática de obtenção de produtos por outros processos. 2º) quando se deseja a combinação de materiais metálicos e não metálicos, que continuam a conservar suas características individuais.

Deve-se empregar quando se deseja: 1º) grande precisão de formas e dimensões, principalmente em peças pequenas; 2º) obtenção de peças sem necessidade de usinagem; 3º) grande rapidez de produção.

Êste processo apresenta várias restrições que são as seguintes:

O tamanho das peças está limitado pelo tamanho das prensas até hoje fabricadas.

Existem peças de formas complexas e ângulos re entrantes, que dificultam o projeto e construção da matriz, dando um custo elevado e não permitindo a obtenção de uniformidade nas peças.

A obtenção das peças se faz em vários estágios e que são estudados resumidamente, a seguir.

OBTENÇÃO DE PÓS METÁLICOS

Vários são os processos utilizados para êsse fim, variando com êles a forma do pó, que pode ter formas regulares ou não, ser poroso ou maciço, e também variando o tamanho das partículas. Os pós assim obtidos, apresentam cada qual o seu campo especial de aplicação.

Entre êsses processos podemos citar os de moagem, atomização, redução de carbonila-Fe $(CO)_5$, ou, Ni $(CO)_4$-, redução de óxidos de metais, deposição eletrolítica, condensação de vapores metálicos, processos químicos.

A maioria dos pós usados na metalurgia são obtidos por redução de óxidos, por eletrólise e processos químicos, e outros por combinação dêsses processos.

No primeiro caso, os óxidos são moídos, e depois reduzidos em atmosfera controlada, geralmente constituida de hidrogênio ou óxido de carbono. São assim obtidos pós de cobre, níquel, ferro, cobalto, wolframio e molibdênio.

O processo de atomização consiste em passar um jato de metal fundido, em frente a uma forte corrente de ar ou vapor, que divide o jato em pequenas partículas.

O processo de carbonila consiste em decompô-la a alta temperatura e baixa pressão, em metal e óxido de carbono.

Por meio de eletrólise de soluções especiais , controladas também, temperatura, densidade de corrente e tipo de eletrodos obtém-se pós de dimensões e formas variadas. Por êsse processo são obtidos, em geral, pós de Cu, Fe, Ni, Zn, Ag, Sn e Pb.

Nos processos químicos, são preparados sais metálicos que, posteriormente, serão reduzidos a pós metálicos por diversos processos.

MISTURA DOS PÓS

Obtidos os pós, êles devem muitas vêzes ser moídos para diminuir a granulação. Esta operação é feita em moinhos de bolas, resistentes à abrasão.

Quando se deseja obter uma peça a partir de diferentes espécies de pós metálicos, êles são misturados, em misturadores ou moinhos de bolas. O tempo de mistura é variável, com o tipo de pó e de metal. Muitas vêzes a mistura deve ser feita em meio líquido.

As propriedades físicas dos pós apresentam grande importância. As qualidades físicas da peça dependem em grande parte da dimensão das partículas, de sua forma, de sua pureza, compacidade.

Os pós, muitas vêzes antes de serem utilizados, são tratados em fornos de atmosfera redutora, para eliminação de gazes absorvidos ou redução de óxidos superficiais, o que vai diminuir a causa de aparecimento de defeitos seja na compressão, seja na sinterização posterior.

Muitos defeitos podem aparecer devido a um êrro no tempo de mistura: tempo insuficiente causando heterogeneidade; tempo longo causando tritura - ção demasiada dos grãos.

O tempo pode variar desde alguns minutos até algumas horas.

COMPRESSÃO DOS PÓS

Misturados os pós, êles são comprimidos ou moldados, em matrizes, com a forma aproximada da peça

que se deseja formar. São calculadas aqui, as variações de volume devidas à sinterização posterior.

Essas matrizes são construidas de aço especial, muitas vêzes tendo sua superfície revestida de cromo duro para diminuir os desgastes.

Para produção em pequena série (10000 peças)um aço de alto carbono (0,9 - 1,0%C) pode ser empregado; para maiores séries são empregados aços ao cromo.

Com a finalidade de diminuir os desgastes e para permitir o escapamento de gases oclusos no pó, deve haver pequena folga entre o pistão de compressão e a matriz. Se a folga fôr demasiada,pode haver penetração de pó entre as paredes causando desgaste exagerado.

Esta compressão é feita de maneira a ser obtido um conjunto com resistência suficiente para não desagregar com o manuseio, até sofrer o tratamento final, procurando-se obter uma compressão a mais uniforme possivel, em todo o conjunto, para obtenção de maior uniformidade nas propriedades.

Com essa finalidade pode ser feita a compressão, com um só pistão pela parte superior, ou dois pistões, inferior e superior, ou ainda por meio de pressões laterais, no caso de peças longas.

Ela é feita geralmente a frio, mas algumas vêzes, também a quente.

A quantidade de pó utilizada em cada compressão no molde deve ser medida com precisão,para que sejam obtidas peças homogêneas.

As pressões usadas variam grandemente: desde 750 quilos até 15000 kg por centímetro quadrado,sendo êsses valores limitados pelas prensas e moldes usados.

Nem sempre as maiores pressões dão melhores resultados. O desgaste dos moldes se torna maior,assim como podem se apresentar defeitos. Êstes vão aparecer durante a sinterização e são causados pela

dificuldade que os gases oclusos encontram para se escapar, pelos pequenos poros deixados pela alta compressão.

Já foi verificado também que as presagens lentas - aplicação lenta dos esforços de compressão - causam maiores danos, por aprisionar maiores quantidades de gases.

Pode-se para facilitar a compressão, usar um lubrificante misturado com o pó. A estearina, a parafina e estearatos de cálcio e zinco, são os mais utilizados. A grafita é utilizada em casos especiais. Devem ser empregadas pressões mais elevadas, para serem obtidas mesmas densidades finais, nestes casos.

A densidade das peças comprimidas varia com a pressão exercida, e muito especialmente com a granulometria do pó.

Êste não pode possuir uma só dimensão - sejam de grãos grandes ou pequenos - se a densidade desejada deve ser grande: as dimensões dos grãos devem ser bem diversificadas para ser conseguida esta finalidade.

Na sinterização posterior, os compactados com grãos finos podem ter seus poros fechados ou pelo menos diminuidos.

Quando a compressão é feita a quente, não se usa, em geral, lubrificantes, e a pressão usada é menor. A sinterização nêste caso, ocorre juntamente com a compressão.

Por êste processo, obtém-se peças com melhores propriedades físicas, porém os moldes devem ser de material especial, resistentes ao calor, e portanto de preço muito mais elevado.

SINTERIZAÇÃO

Consiste no aquecimento dos pós prensados na forma aproximada da peça que se deseja obter, a fim de que haja uma aglomeração e união das partículas, permitindo o uso da peça.

Durante o aquecimento, pode acontecer de um dos pós metálicos em presença, de baixo ponto de fusão, liquefazer-se. Êle, em geral, entra em pequena porcentagem no produto. Em geral, êste fenômeno não ocorre, as partículas metálicas unindo-se uma as outras por efeito da difusão. Já foi visto que com o aumento de temperatura e movimento atômico é ampliado facilitando a ocorrência dêsse fenômeno, que é o o caminhamento de átomos através a rêde cristalina metálica.

O aquecimento é sempre feito em atmosferas controladas, para se obter melhores propriedades no produto final; geralmente essa atmosfera é redutora, ou neutra.

As temperaturas empregadas são na maior parte da ordem de 2/3 a 3/4 da temperatura absoluta de fusão do metal. Estas temperaturas variam um pouco em função do método de obtenção do pó, sua forma e dimensões.

Dependendo do tipo de pó, composição da mistura, pressões usadas, temperatura, tempo e atmosfera de sinterização, iremos ter variações na contração ou dilatação do produto final. Quando há fusão de uma das partes a contração é mais elevada.

As peças após a sinterização podem sofrer uma nova compressão em outras matrizes, para dar maior precisão de medidas.

APLICAÇÕES

Como já vimos, a metalurgia do pó, é empregada para a obtenção de wolframio em barras dúcteis, possiveis de serem trefiladas.

É também utilizada para a obtenção de molibdênio e tântalo, da mesma forma. São assim preparados pois quando fundidos em geral apresentam granulação grosseira.

Os carbonetos duros são obtidos sòmente por êste processo. São conhecidos sob a denominação de "Widias".

São, em geral, misturas de C W, e cobalto, êste agindo como elemento de ligação. Em alguns tipos (para corte de aço) são adicionados C Ta ou C Ni.

Os mancais porosos, são em geral, ligas de cobre e estanho, ou cobre e ferro, contendo grafita, e alta porosidade.

Êstes poros interligados são preenchidos com óleo, que irá servir como lubrificante, assim como a grafita. Em geral, dura tôda a vida da máquina onde é empregado, mas caso contrário, pode ser novamente impregnado.

É o método aplicado na obtenção de brocas de diamantes, pela aglomeração de suas partículas por meio de carboneto de tungstenio com cobalto.

É aplicado também para a obtenção de freios, pela aglomeração de partículas duras por meio de uma liga metálica - partículas de carborundum ligadas por bronze, sôbre uma superfície de aço. Êsses freios apresentam apresentam grande coeficiente de atrito e resistencia ao desgaste e são bastante empregados em aviação.

Por metalurgia do pó, são obtidos também filtros porosos, para filtragens especiais. (Nêste caso as matrizes são preenchidas e a seguir sinterizadas no molde, sem sofrer o processo de compressão. Podem ser produzidas também peças porosas, pela adição de elementos mais ou menos voláteis como o ácido salicílico) e também peças constituidas por dois metais que não formam ligas como por exemplo, wolframio e prata e wolframio e cobre, utilizadas como contatos elétricos.

Para posteriores estudos podem ser consultadas as seguintes obras.

1.- BAEZA, J. - A Course in Powder - Metallurgy-1943.

2.- CHIAVERINI, V. - Carbonetos duros cementados - Bol. A.B.M. nº 7 - Vol. 3 - pag. 333 - 1947.

3.- CHIAVERINI, V. - Alguns dados experimentais sôbre a fabricação de mancais porosos - Bol. ABM nº 19 - Vol. 6 - pág. 86 - 1950.

4.- CHIAVERINI, V. - Estudo da sinterização de misturas de pós de cobre e estanho - Bol. ABM nº 23 - volume 7 - pág. 133 - 1951.

5.- CHIAVERINI, V. e BARROS, C.R. - Estudo de propriedades de aços sinterizados - Bol. ABM nº 24 - Vol. 7 - pág. 346 - 1951.

6.- CHIAVERINI, V. - Dados experimentais sôbre a produção de carbonetos duros sinterizados - Bol. ABM nº - Vol. 9 - pág. 5 - 1953.

7.- GOETZEL, C.G. - Treatise on Powder Metallurgy - 1949.

8.- JORDAN, I. - Obtenção de pós metálicos por via eletrolítica - Bol. ABM. nº 19 - vol. 6 - pág. 151 - 1950.

9.- KIEFFER, D.R. e HOTOP, D.W. - Métallurgie des Poudres - Trad. por P. Neslin - 1947.

10- GIRSCHIG, M.R. - Da Metallurgie des poudres - R. de Metallurgie - junho-julho 1945.

CAPITULO XI

DEFORMAÇÃO MECÂNICA

INTRODUÇÃO

Vários são os processos empregados pelo homem para dar forma aos metais. Já foi estudado o processo muito conhecido de fundição e também o da metalurgia do pó. Serão estudados agora, os processos mecânicos que, além de dar forma aos metais, refinam, em geral, a sua estrutura, melhorando as suas propriedades.

Os principais processos mecânicos de dar forma aos metais são: laminação, trefilação, forjamento, prensagem, extrusão e estampagem.

LAMINAÇÃO

Laminar um metal consiste em fazê-lo passar entre cilindros dotados de movimento de rotação em sentidos opostos, em tôrno de eixos paralelos, e afastados entre si de uma distância menor que a espessura da peça que vai sofrer o trabalho mecânico, Figura XI-1.

Êsse trabalho pode ser feito a quente ou a frio.

A peça que possui uma altura h_1 fica com uma altura h_2, valor pràticamente idêntico à distância que existe entre os rolos ou cilindros, o volume continuando, pràticamente o mesmo. Há um aumento muito pequeno da largura, o comprimento sendo, então, grandemente aumentado.

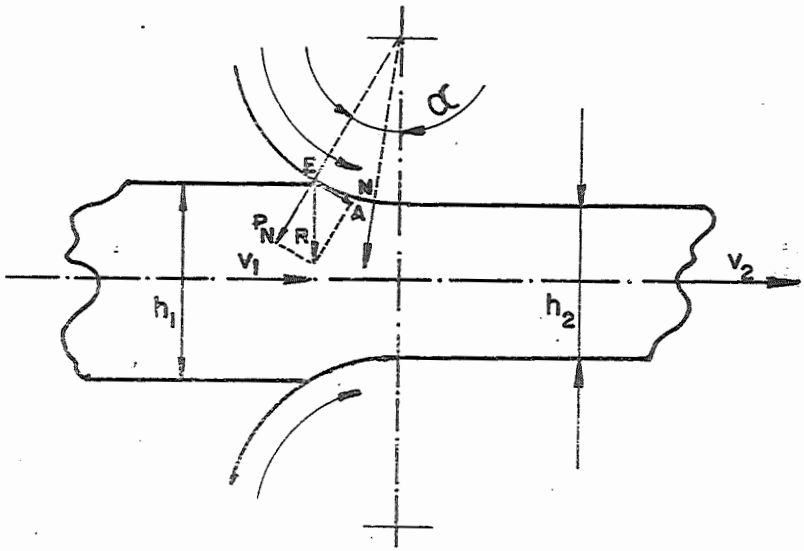


FIG. - XI - 1

A velocidade de entrada é portanto, menor que a de saída, sendo a velocidade dos rolos, intermediária.

O ponto, (tomando-se em consideração o plano do desenho), onde ambas as velocidades são iguais - dos rolos e peça-é denominado ponto neutro, e pode ser calculado teòricamente desde que se façam algumas simplificações.

Entre os pontos de entrada (E) da peça entre os rolos e o ponto neutro (N) aparecem fôrças de atrito que tendem a puxar a peça para entre os rolos. Dêsse ponto até a saída da peça, as fôrças de atrito agem em sentido contrário, tendendo a impedir o caminhamento.

Calculando-se as fôrças que agem na entrada da peça entre os cilindros, na direção do caminhamento - projeção das fôrças de compressão e de atrito-pode-se verificar que a peça só é tracionada pelos rolos quando o ângulo de atrito é maior que o ângulo formado pela reta passando pelos centros dos rolos e a que liga o centro de um rolo ao ponto de

entrada, e denominado ângulo de entrada (α). Na Figura XI-1, temos no ponto E:

P_r - pressão dos rolos

A - força de atrito = μP_r onde : μ = coeficiente de atrito

R é a resultante das forças P_r e A

Considera-se nos cálculos P_r, assim como μ, constantes em tôda a zona de contato do rolo com a peça.

A componente horizontal da resultante R é:

$$R_h = A \cos \alpha - P_r \operatorname{sen} \alpha$$

Se ela é nula ou negativa na entrada da peça entre os rolos, a peça não será tracionada. Se fôr negativa:

$$A \cos \alpha < P_r \operatorname{sen} \alpha \qquad \text{ou}$$

$$\frac{A}{P_r} < \operatorname{tang} \alpha$$

mas $\frac{A}{P_r} = \mu = \operatorname{tang} a$ onde a = ângulo de atrito ou $\operatorname{tang} a < \operatorname{tang} \alpha$

a peça não é tracionada, quando $a < \alpha$, ou da mesma maneira quando $a = \alpha$.

Procura-se muitas vêzes aumentar êsse ângulo de atrito, aumentando a rugosidade dos rolos. Êste aumento de rugosidade, causa um aumento da largura do material laminado.

O aumento do ângulo de atrito permite aumentar também a redução em cada passo, como pode ser visto no gráfico da Figura XI-2.

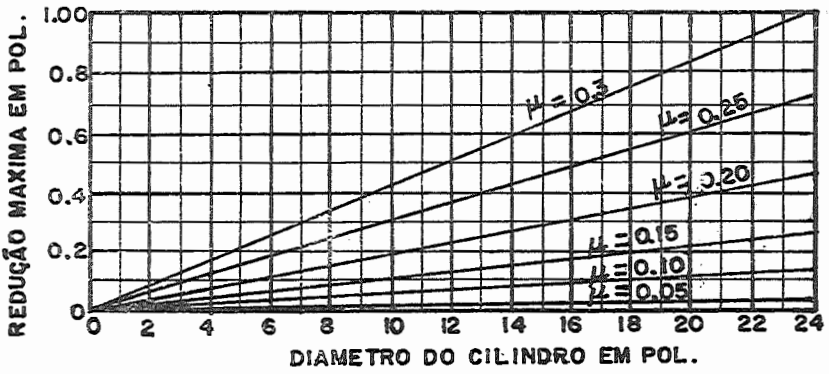
A redução máxima em função do diâmetro do cilindro e do atrito, pode ser dado pela fórmula:

$\delta_{max} = D (1 - \cos a)$ onde

δ_{max} = redução máxima

D = diâmetro do cilindro

a = ângulo de atrito sendo $\mu = \operatorname{tang} a$



EFEITO DO COEFICIENTE DE ATRITO E DO DIAMETRO DOS CILINDROS SOBRE A REDUÇÃO MAXIMA

FIG.- XI-2

Para a laminação a quente o coeficiente de atrito varia com a temperatura como pode ser visto na Figura XI-3. Varia também com o material a ser trabalhado e com acabamento e metal que constitue os rolos.

Supondo os cilindros estarem exercendo um esfôrço idêntico em ambas as colunas da gaiola do laminador, isto é, lâmina de espessura idêntica sendo deformada por igual, o esfôrço exercido pelo material pode ser expresso pela fórmula de Ekelund

$$P_L = b \sigma \sqrt{R (h_o - h_i)} \qquad \text{onde}$$

b = largura do material

h = espessura inicial

l_i = espessura final

τ = resistência à deformação do material

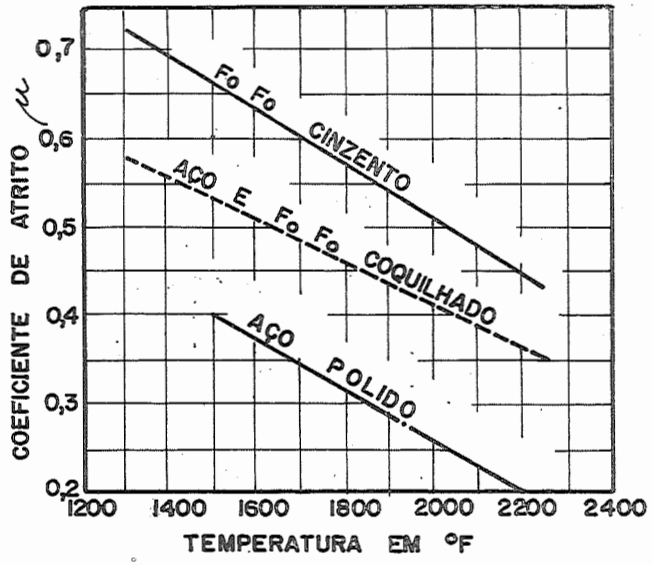
R = raio do cilindro de trabalho.

O têrmo $\sqrt{R\,(h_0 - h_1)} = l$ é denominado comprimento de laminação.

A potência necessária para o trabalho é dada por

$$M_l = M_w = P_l \times l \times w$$

onde P_l e l já são os valores acima e w é a velocidade angular do cilindro.



COEFICIENTE DE ATRITO ENTRE AÇO E CILINDROS DE DIFERENTES MATERIAIS

FIG.—XI— 3

O laminador, como é denominada a máquina que realiza êsse trabalho, consta, em essência, de:

1) rolos laminadores ou cilindros, Figura XI-4; nêles se destacam:

a) a mesa, que constitue a superfície de trabalho, ou onde ficam localizadas ranhuras, onde o metal será deformado;

b) os pescoços, partes que servem de apoio do cilindro, nos mancaes;

c) trevo, que serve para ligação dos eixos de fôrça aos cilindros, por intermédio de uma luva.

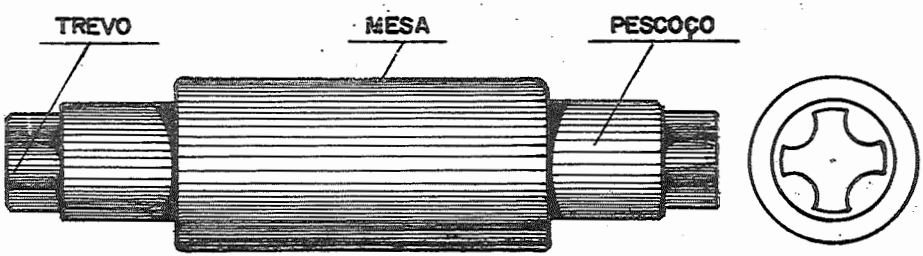


FIG.—XI-4

2) gaiolas - armações metálicas onde se encontram os mancaes que suportam os cilindros e sistemas de regulagem das distâncias entre os cilindros.

3) motor e sistema de acionamento dos cilindros.

Os rolos laminadores podem ser lisos, para a produção de placas e chapas, ou ser ranhuradas, apresentando os perfís mais variados, Figura XI-5. São em geral, feitos de ferro fundido e, às vêzes, de aço. Os rolos laminadores, lisos, para lamina - ção a frio, para dar acabamento bom à chapa - espessura idêntica em tôda a largura - apresentam uma pequena curvatura, para contrabalançar a deformação sofrida pelo rôlo, durante o trabalho de deformação, Figura XI-6.

Os laminadores podem ser classificados em:

a) duo - com dois cilindros, Figura XI-7, que pode ser reversível (a direção de movimento dos cilindros pode ser alterada), ou não reversível. No primeiro caso podemos trabalhar com secções pesadas e peças compridas, pois o laminador trabalha nos dois sentidos. O primeiro tipo é usado para laminação de chapas finas.

b) trio - são três cilindros sobrepostos, Figura XI-8, o do meio girando em sentido contrário aos outros dois.

As peças são laminadas nos dois sentidos entre o rôlo inferior e médio, e entre o superior e médio;

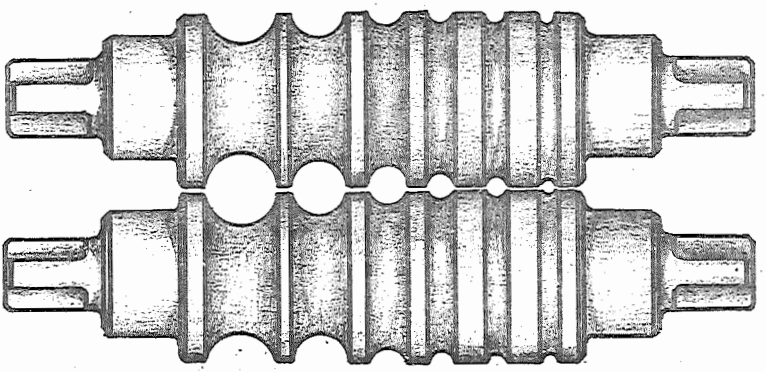


FIG.-XI-5

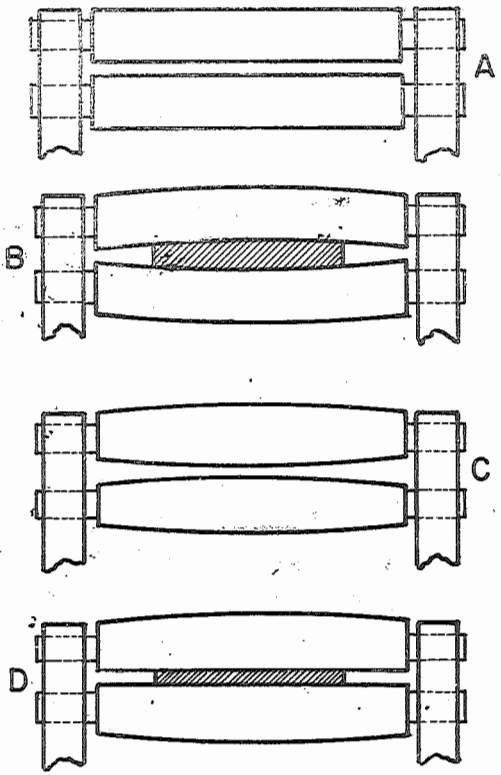
c) quádruo - são quatro cilindros, os dois médios de menor diâmetro, sendo suportados pelos de maior diâmetro, Figura XI-9. Os rolos médios que entram em contato com a peça não sofrem deformação, devido ao apoio, e a energia requerida para o trabalho é menor, pois a superfície de contato entre peça e cilindros, é menor. Aumenta o alongamento da peça, mas a redução tem que ser menor a cada passagem.

d) cluster - vários são os rolos de suporte dos cilindros de trabalho, Figura XI-10.

e) universal - entre os cilindros horizontais são colocados outros veticais, em suas extremidades, que vão laminar as paredes laterais ao longo da peça, Figura XI-11.

Os laminadores trabalham sempre em série: ou colocados paralelamente, ou em linha, Figura XI-12.

Os primeiros passes nos cilindros são para esboçar a forma definitiva ou reduzir a secção do lingote. Os últimos passes são os acabadores e dão a forma definitiva à peça. Nos primeiros passes desbastadores, as reduções devem ser pequenas, para evitar a ruptura da peça, as reduções podendo ser aumentadas nos passes seguintes.



A— CILINDRO NORMAL SEM CARGA

B — CILINDRO NORMAL DEFORMADO PELA CHAPA

C — CILINDRO ARQUEADO SEM CARGA

D — CILINDRO ARQUEADO DEFORMADO PELA CHAPA, DANDO IGUAL ESPESSURA NA MESMA

FIG.—XI—6

Os primeiros passes são quase sempre executados a quente, pois permitem uma redução maior, com menor consumo de energia, e os finais podem ser a quente ou a frio. Na laminação a frio, em geral, há necessidade de serem feitos recozimentos intermediários entre os diversos passes, dependendo do material, pois êste, muitas vêzes, fica duro e quebradiço. A laminação a frio permite um melhor acabamento

superficial, maior constância de dimensões, e as propriedades físicas são diferentes das obtidas por laminação a quente.

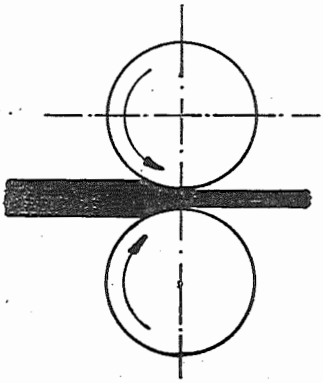


FIG.—XI—7

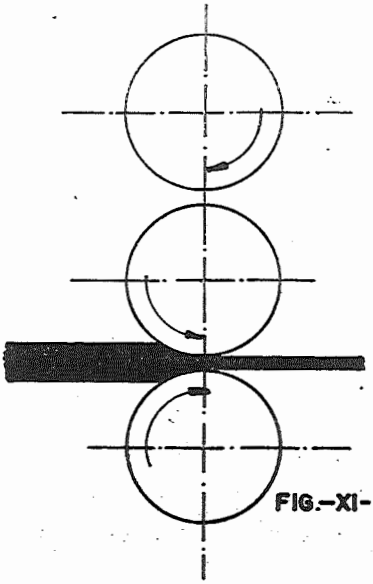


FIG.—XI-8

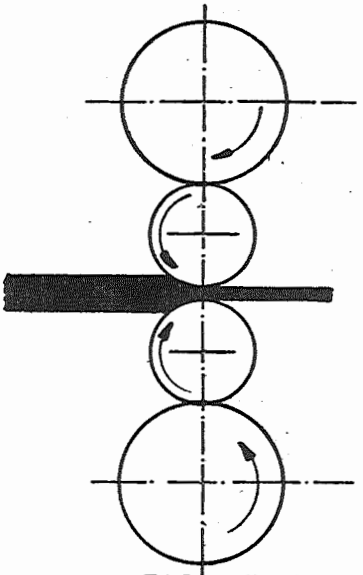


FIG.—XI—9

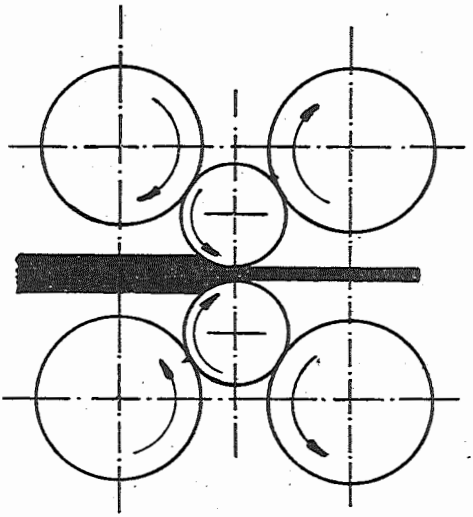


FIG.—XI-10

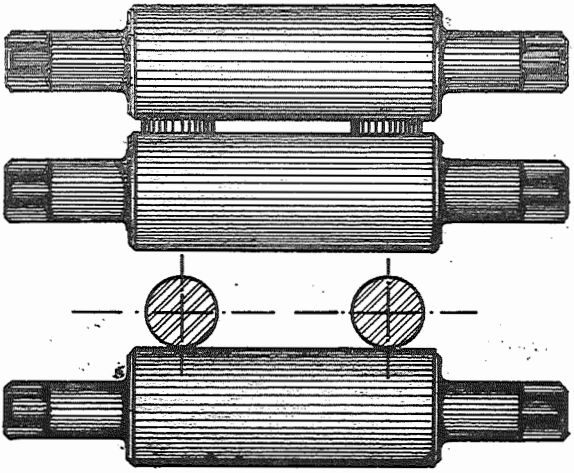


FIG.-XI-11

Os lingotes antes de serem laminados a quente devem ser aquecidos até uma temperatura determinada para cada tipo de material, de maneira a ficar homogêneamente aquecido. Usa-se,em geral, para êsse fim, fornos-poços. Os defeitos superficiais,muitas vêzes, são retirados, por usinagem, esmerilhamento, etc.,(Escarfagem),antes do aquecimento (1).

Na laminação de aços comuns, os lingotes são transferidos ainda quentes para os fornos de homogeneização, sempre que possivel, aproveitando- se então energia, e reduzindo o perigo de aparecimento de rachaduras.

O trabalho no primeiro laminador (esboçador) prossegue até ser atingida uma certa forma ou espessura.

Antes de passar para outro laminador, os perfís devem ser aquecidos. Isto é feito, geralmente, em fornos-túneis. As peças entram por uma extremidade e vão sendo empurradas para a extremidade mais quente, lentamente.

Pelo processo de laminação são obtidos os mais variados perfís, partindo-se do lingote original, como pode ser visto em vários estágios de fabricação, na Figura XI-13.

(1) Esta operação em geral é feita em material de alto custo unitário.

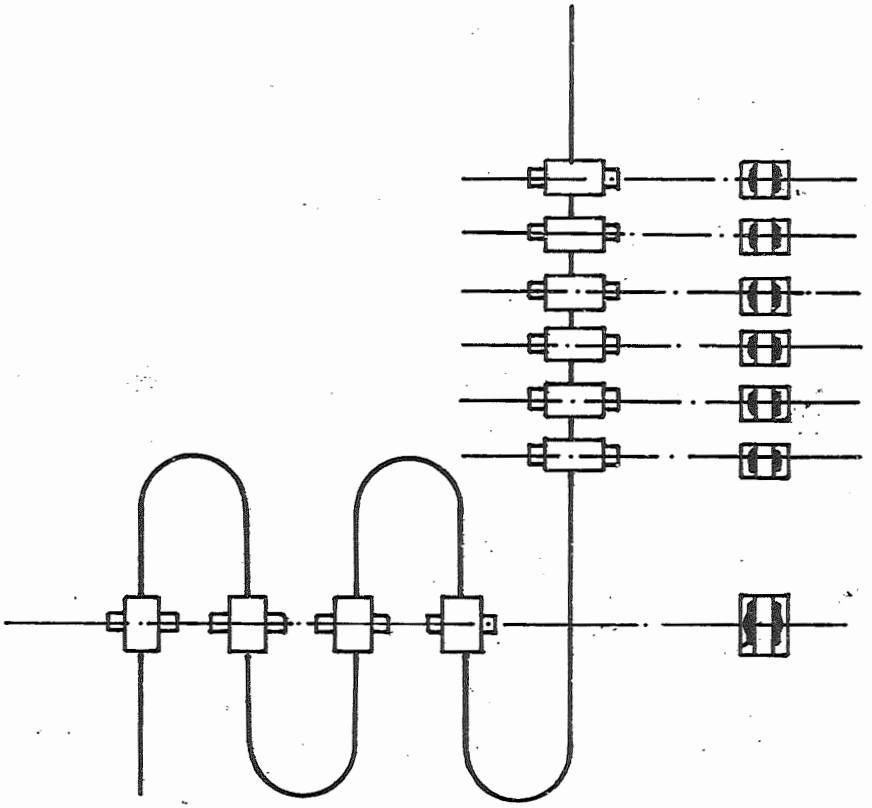


FIG.-XI-12

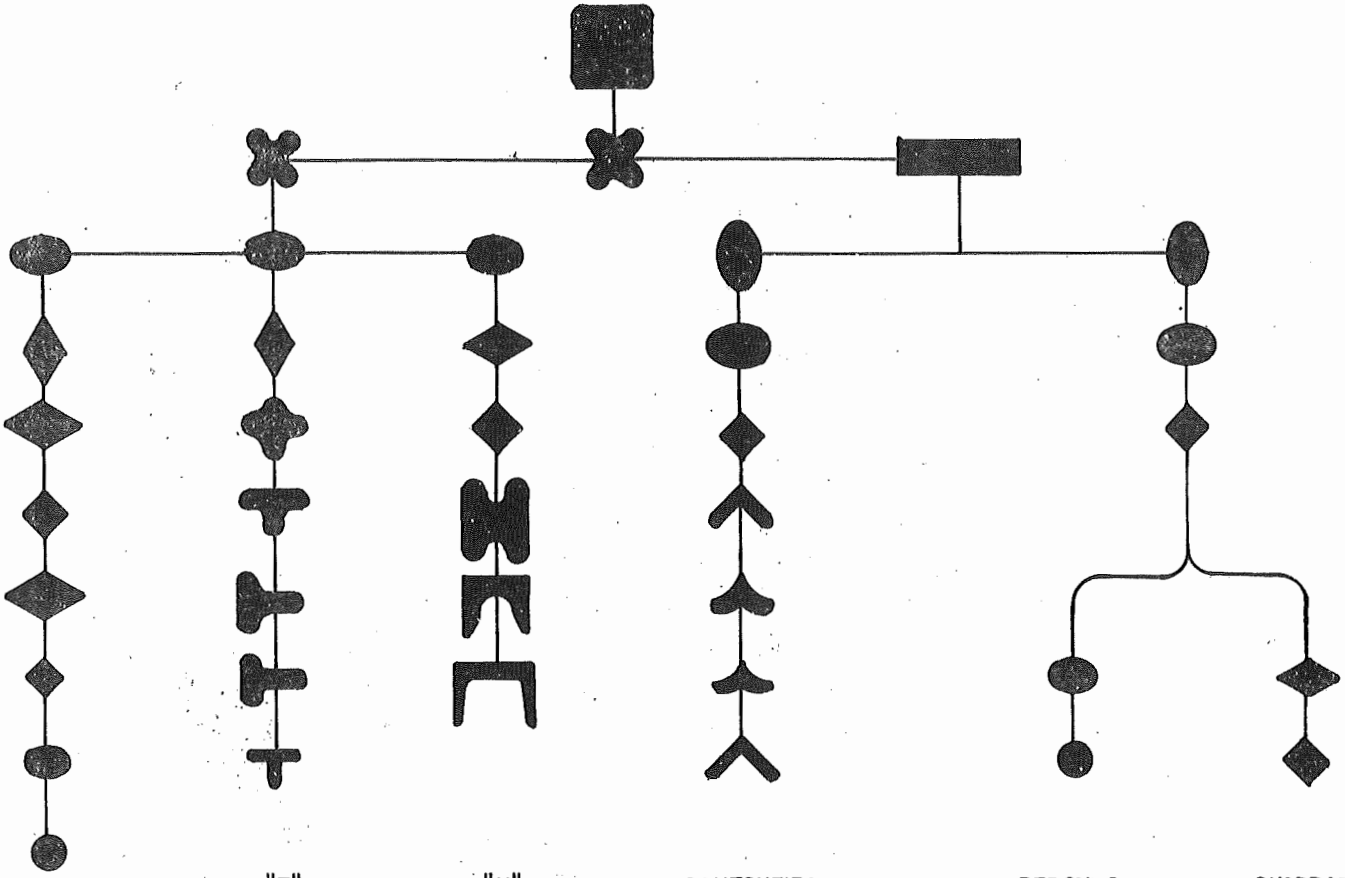


FIG.-XI-13

São assim obtidos ferros chatos, barras redondas, quadradas, sextavadas, perfís T, I, U, cantoneira, trilhos e fôlhas ou chapas grossas, Figura XI-14.

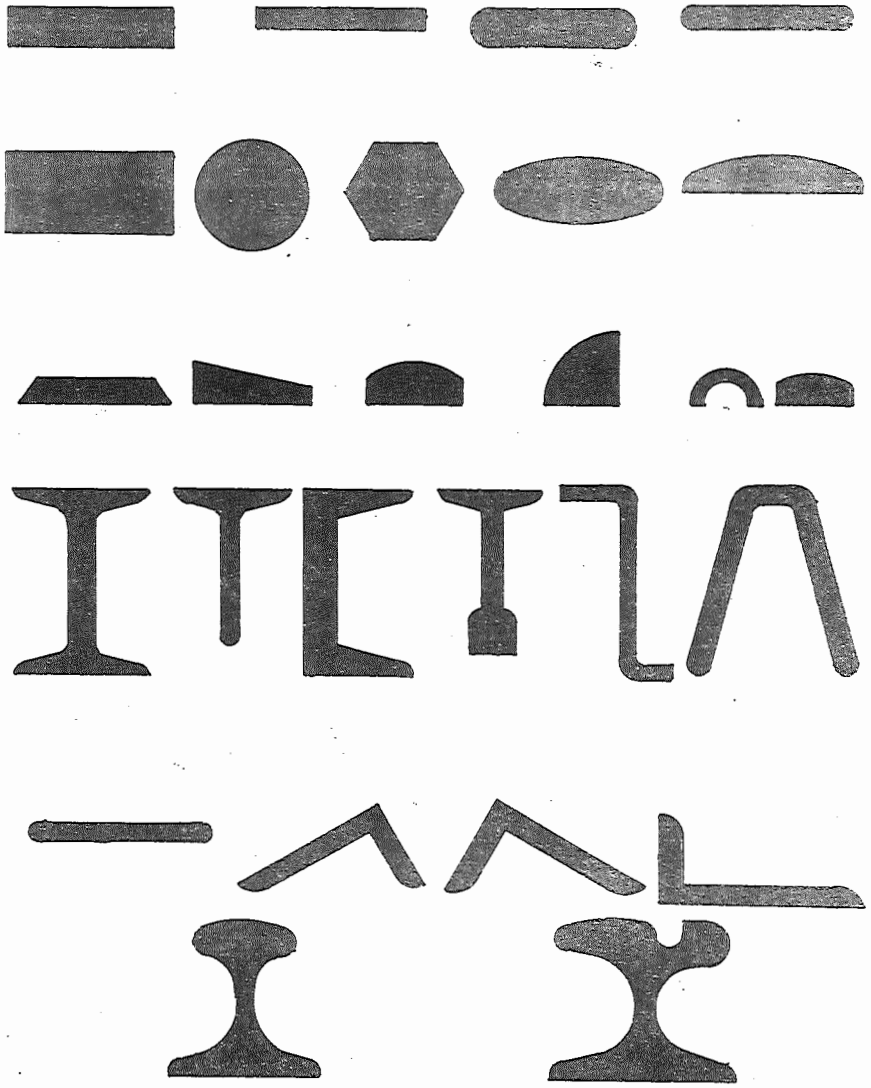


FIG.— XI—14

As chapas finas, em geral, são laminadas a frio. As chapas mais grossas (laminadas a quente) são decapadas por meio de solução ácida, para retirar a camada oxidada superficial, depois lavada em água, em uma solução básica, novamente em água, secada, passando depois em um banho de óleo e a seguir laminadas a frio.

Estas precauções são tomadas para se ter um bom acabamento final nas chapas.

Estas, quando necessário, são recozidas em fornos de atmosfera controlada após o trabalho a frio, para eliminar o efeito do encruamento. Êste trabalho a frio permite, como já foi explicado, a obtenção de um melhor acabamento superficial. As fôlhas zincadas e estanhadas são produzidas por êsse processo, sendo recobertas posteriormente.

Nas Tabelas XI-1 e 2, são dadas algumas temperaturas de trabalho a quente e de recozimento de alguns metais e ligas.

TEMPERATURAS TÍPICAS DE TRABALHO A QUENTE

Material	Faixa de temperatura, °C
Aço Carbono (comuns)	Faixa de máxima temperatura inicial 0,1% C - 1 300° 1,5% C - 1 050° Faixa de mínima temperatura inicial 0,1% C - 900° 1,5% C - 725°
Aços de baixo teor de liga	Temperatura inicial entre 25 - 50° mais baixa que para os aços comuns de mesmo teor de carbono
Aços de alto teor de liga (aços rápidos e inoxidáveis)	1 200° - 1 000°
Ni	1 250° - 900°
Monel (2 Ni - 1 Cu)	1 175° - 1 040°
Inconel (76% Ni - 15% Cr) Balanço Fe	1 250° - 1 000°
Cu	900° - 650°
Latões	850° - 650°
Al e suas ligas	500° - 350°
Ligas de Mg	450° - 250°
Zn	+170° a -110°
Ligas de Zn	300° 200°
Pb e suas ligas	até -250°

Tabela XI-1

Temperaturas típicas de recozimento	
Materia	Temperatura °C
Aço Doce	550 - 650
Ni	700 - 900
Monel	750 - 950
Inconel	850 - 1050
Cu	350 - 650
Latões	450 - 700
Al e suas ligas	350 - 425
Mg e suas ligas	350

Tabela XI - 2

FABRICAÇÃO DE TUBOS SEM COSTURA

O principal processo de obtenção dêstes tubos, denominado por alguns autores como processo de laminação oblíqua, e também denominado mandrilagem ou perçagem, é conhecido por processo Mannesmann.

Um tarugo cilíndrico, em geral prèviamente laminado é feito passar entre dois cilindros de formato especial, cônicos, com seus eixos inclinados entre si de um certo ângulo (6 a 12°), mas mantidos em planos paralelos, geralmente horizontais, e girando em um mesmo sentido, Figura XI-15.

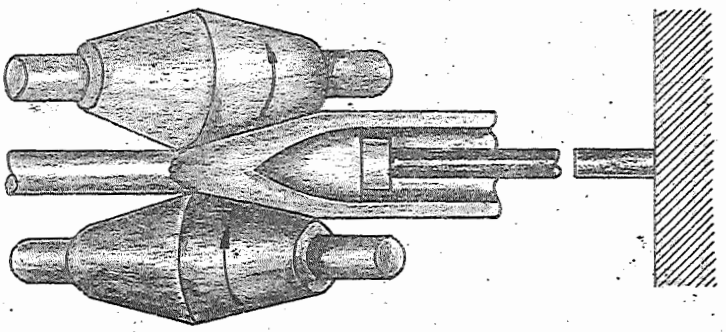


FIG.-XI-15

O tarugo, por efeito do atrito com as superfícies dos cilindros, deforma-se, gira e avança, surgindo, por efeito dos esforços, um orifício na extremidade do tarugo, que se aprofunda no sentido de seu eixo, à medida que a operação prossegue.

O tarugo, com o orifício assim formado é forçado pelo seu avanço contra um mandril ou punção, que premanece fixo, e que regulariza sua forma obtendo-se dessa maneira, um tubo inteiriço (sem emenda).

Tubos de diâmetros internos menores do que 3" , ou maiores que 16", podem ser obtidos por redução ou expansão posterior, Figuras XI-16 e 17.

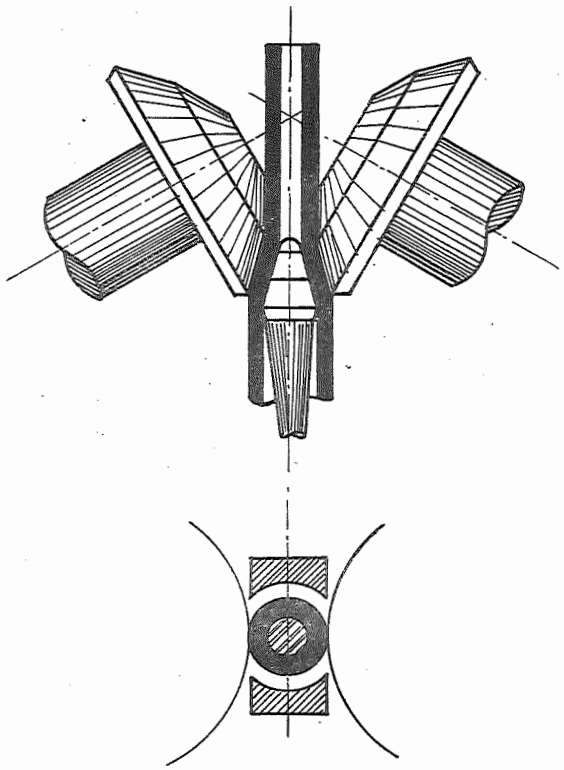


FIG.– XI – 16

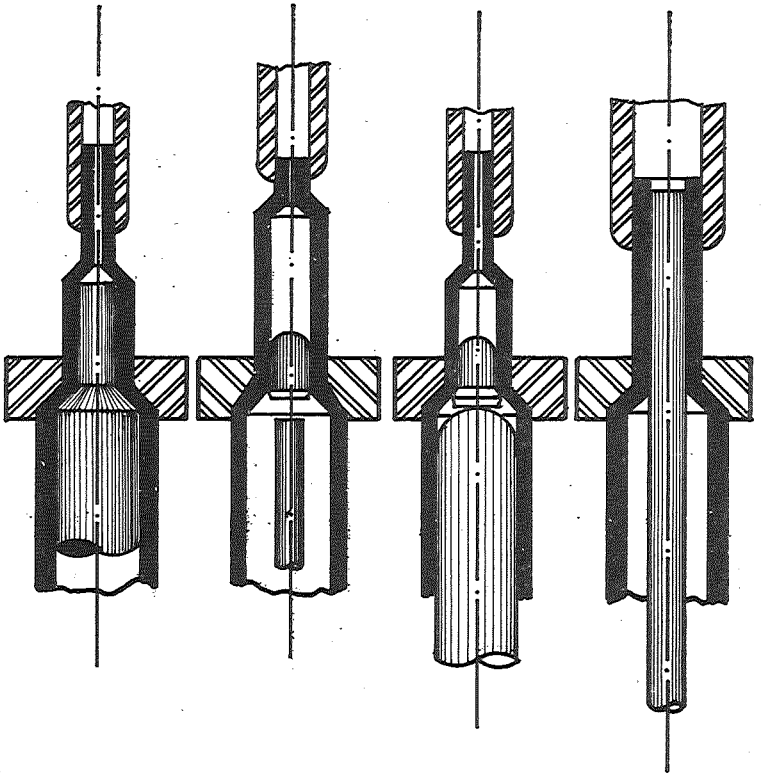


FIG.-XI-17

Outro processo para a obtenção dêsses tubos consiste em furar um cilindro em sua parte central por meio de punçonamento, Figura XI-18, e a partir dessa peça furada, laminar o tubo, nas dimensões desejadas.

TREFILAÇÃO

Quando uma peça é deformada pela passagem através de uma matriz da forma desejada para a sua secção transversal por meio de um esfôrço de tração exercido sôbre a peça, dizemos que ela foi trefilada ou estirada e a operação denomina-se trefilação ou estiramento. Em geral, é feita a frio, Figura XI-19.

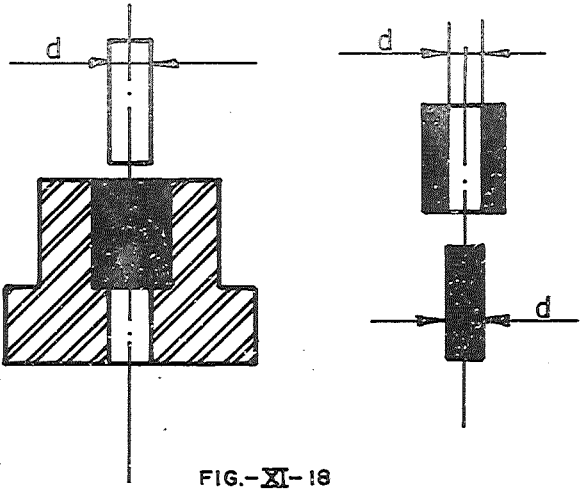


FIG.-XI-18

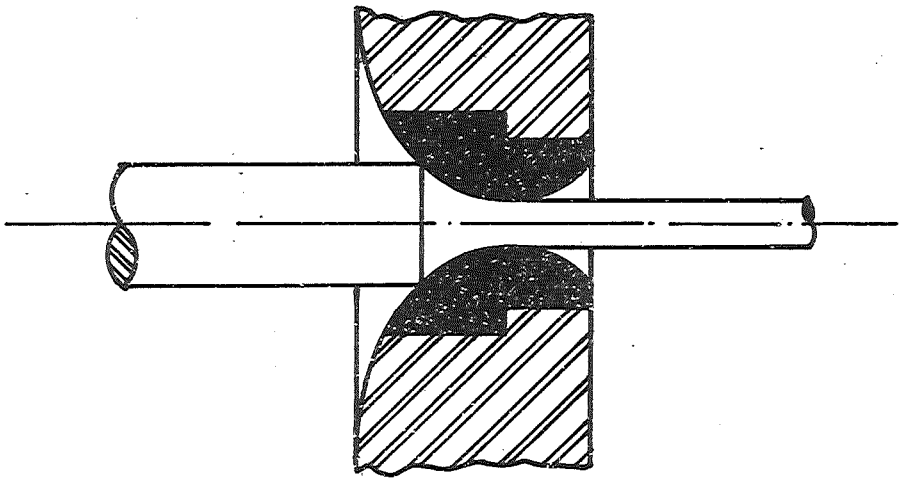


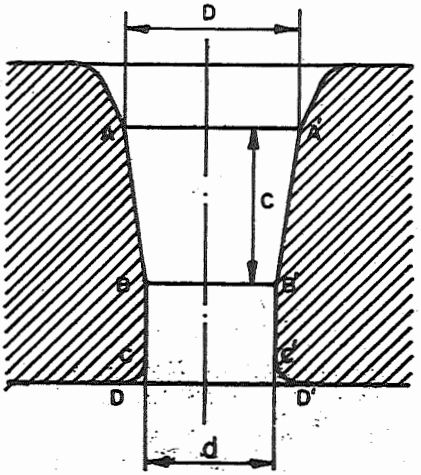
FIG.-XI-19

Por êste processo são, em geral, obtidos fios, tubos e barras.

A matriz é, em geral, pequena placa de material duro, resistente ao desgaste, devendo resistir também aos grandes esforços aplicados na abertura, pela passagem da peça. Usam-se para êsse fim, ferros fundidos brancos especiais, aços ligas, carbonetos duros e diamantes. A forma da matriz ou fieira

é muito importante, a passagem sendo progressiva da secção inicial a ser trefilada a final.

As diferentes partes da matriz podem ser divididas em: Figura XI-20.



AA' BB'- ZONA DE TRABALHO —— BB'CC'- ZONA DE ACOMODAÇÃO —— CC'DD'- SAIDA

FIG.-XI-20

Entrada: parte que serve para entrada do material, permitindo a êste atingir a zona de trabalho sem dificuldade e sem causar danos ao material;

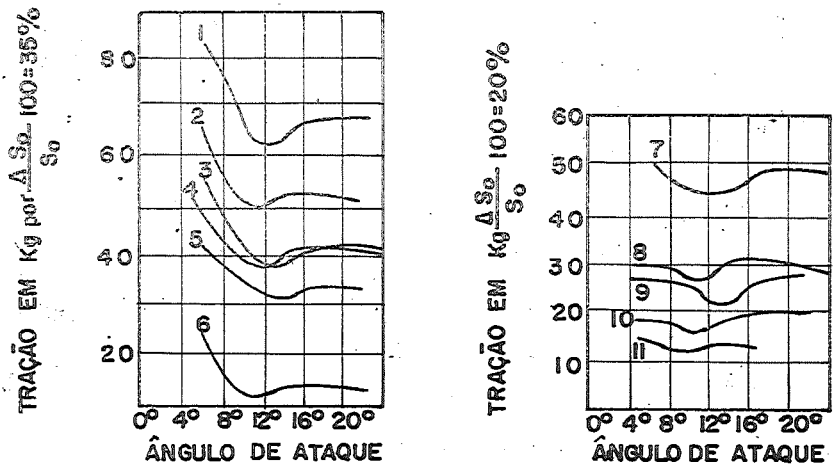
Zona de trabalho: parte da fieira onde o material tem sua secção modificada - parte onde se exerce o trabalho;

Zona de acomodação: zona que serve para calibrar e dar a forma final à peça, fazendo com que a deformação sofrida, na zona de trabalho, seja mantida.

Saída: sem grande importância na forma final da peça.

A Figura XI-21 nos dá a variação da resistência ao escoamento em função do ângulo do cone de trabalho para dois valores de redução.

Devido a outro fator, que é a melhor reparti - ção da deformação, o melhor ângulo do cone de trabalho parece estar entre 12 e 14º.



1-LATÃO AO NÍQUEL (20%)
2-LATÃO AO NÍQUEL (7%)
3-BRONZE
4-LATÃO
5-COBRE
6-ALUMÍNIO

7-AÇO NÍQUEL—CROMO
8-METAL MONEL
9-LATÃO AO NÍQUEL (30%)
10-LATÃO AO NÍQUEL(18%)
11-LATÃO

FIG.-XI-21

Se a redução a ser feita é muito grande,usam-se várias matrizes em série. Para facilitar a trefilação, empregam-se lubrificantes para diminuir o atrito entre a peça e a matriz. Usa-se para tal fim,graxa, óleo, sabão, talco, grafita, etc..

Por êste processo obtém-se reduções muito grandes de secção, obtendo-se ainda, um acabamento superficial muito bom, e a secção obtida apresenta uniformidade de dimensões muito grandes ao longo de tôda a peça. As peças que apresentam cascas de óxidos, devem ser perfeitamente decapadas, antes de passar pela fieira ou matriz, para que seja obtido um melhor acabamento, diminuindo também o desgaste da matriz.

A decapagem do aço, é feita em meio ácido,aquecido em geral, contendo um inibidor-piridina ou compostos nitrogenados semelhantes - o tempo devendo ser bem calculado, para que a operação seja perfeita. Se o tempo fôr longo demais, há absorção de hidrogênio, causando fragilidade da peça.Esta desaparece com o tempo ou com um leve aquecimento (100-150°C).

Após a decapagem deve ser feita uma lavagem e uma neutralização em banho de cal.

Para a trefilação de arames recomenda-se fazer a decapagem em um banho contendo cloreto ou sulfato de ferro. Os arames recobertos com cobre, zinco ou estanho, dependendo do acabamento final desejado, são submetidos a essa operação, após a trefilação, ou antes dos últimos passes.

O recobrimento por êsses metais feito após a trefilação e decapagem, pode ser feito também, antes dos últimos passes.

Os arames de alta resistência, - corda de piano - são submetidos a um tratamento de austempera, procurando-se dar uma granulação conveniente mais ou menos grosseira, seguido do tratamento de trefilação. A estrutura fica bastante fibrosa. O processo toma a designação de patenteamento de arames.

As Figuras XI-22 e 23, esquematizam bancos de estiramento ou trefilação.

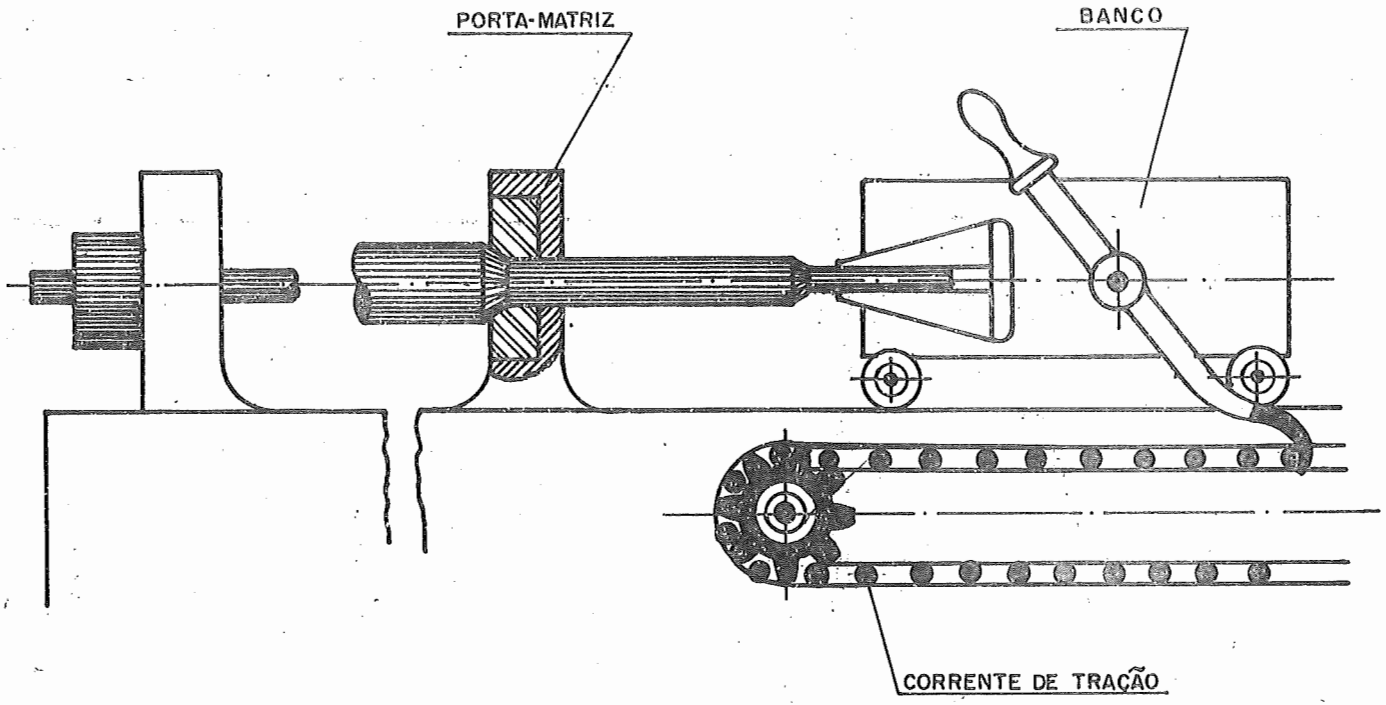
Os tubos obtidos por outros processos podem ser trefilados, empregando-se para êsse fim, vários meios como pode ser visto na Figura XI-17.

FORJAMENTO E PRENSAGEM

A conformação de uma peça metálica por meio do martelamento (forjamento) foi o primeiro processo para dar forma aos metais empregados pelo homem. (veja histórico da Metalurgia - publicação nº 65 - E.E.S.C.).

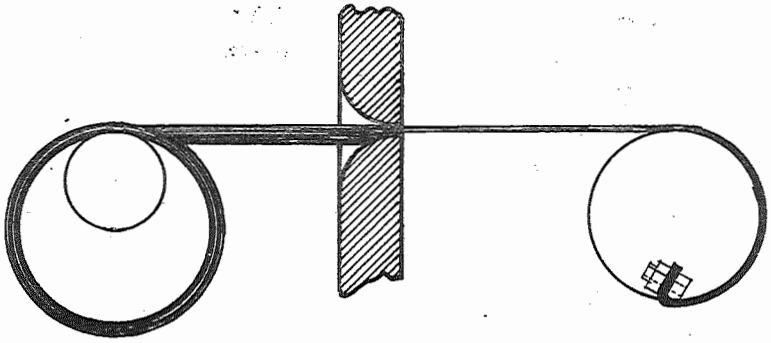
As peças que devem ser forjadas, em geral, são submetidas a um aquecimento homogêneo, a temperatura de aquecimento variando com o material, e o tempo de permanência a essa temperatura, variando com o material e espessura da peça.

O aquecimento deve ser cuidadoso, pois se a temperatura fôr elevada demais, há fusão incipiente de material mais impuro nos contôrnos dos grãos, podendo haver formação de óxidos nêsses locais. Diz-se então que, o material queimou, ficando diminuidas as suas propriedades mecânicas.



CONJUNTO PARA EXTENSÃO DE TUBOS

FIG.– XI– 22



TREFILAÇÃO DE ARAMES E TUBOS FINOS

FIG.—XI-23

A temperatura final de trabalho deve ser pouco superior à de recristalização do metal, para evitar um indevido crescimento dos grãos.

Menores massas e formas mais complicadas, exigem uma temperatura final de trabalho mais elevada.

Ainda hoje é empregado o método primitivo, as peças sendo aquecidas em pequenas forjas e martela das à mão, Figuras XI-24, 25 e 26.

O martelo de forja, hoje utilizado, emprega o vapor ou ar comprimido, para elevar o martelo, deixando-o cair livremente, ou sob pressão, sôbre a peça apoiada na bigorna, Figuras XI-27 e 28.

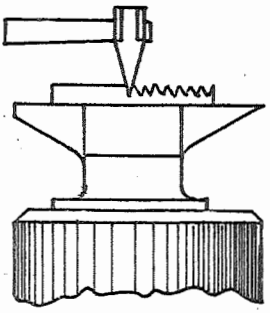


FIG.—XI-24

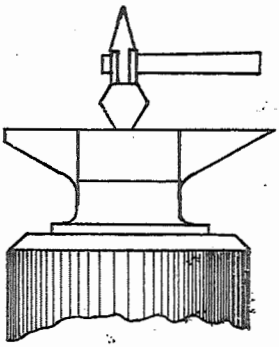


FIG.—XI-25

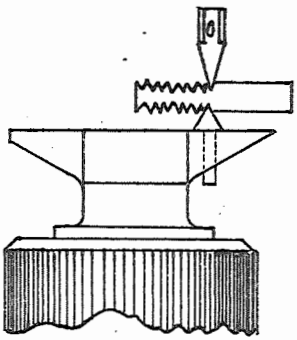


FIG.—XI-26

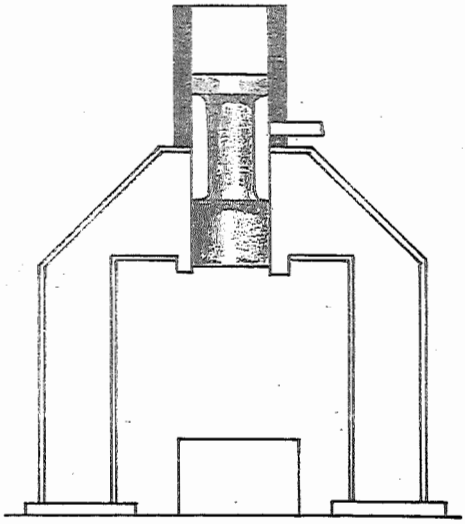


FIG.— XI— 27

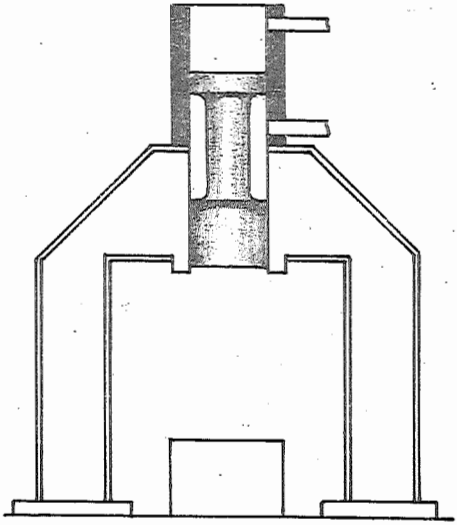


FIG.— XI—28

São utilizados também os martelos que funcionam sob a ação de molas, Figuras XI-29 e 30, ou outros processos; excêntricos ou por atrito, Figuras XI-31 e 32.

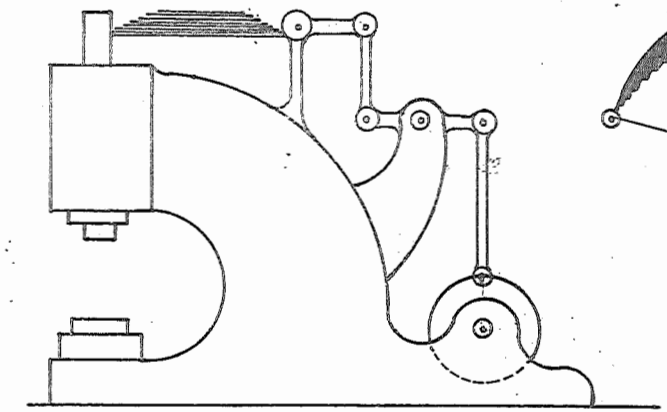


FIG.— XI— 29.

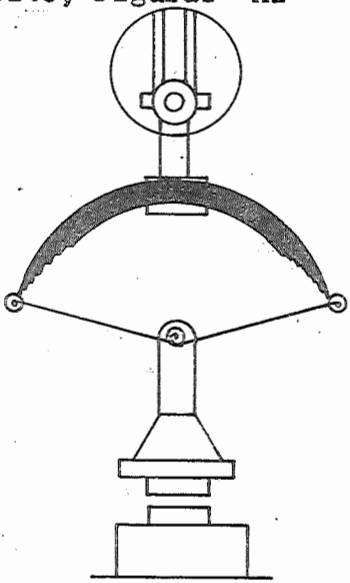


FIG.-XI-30

As cascas de óxido que se formam na superfície das peças, entranham-se em parte na superfície durante a operação. Para diminuir êsse efeito, as peças devem sofrer constante limpeza, entre as várias operações - decapagem ou limpeza mecânica.

Quando se deseja formar uma peça com formato complicado e em grande número, usam-se matrizes que facilitam a obtenção do formato definitivo da peça, Figura XI-33. Estas matrizes, quando fechadas, apresentam o contôrno exato da peça que se deseja obter. Uma das matrizes é presa ao martelo, e a outra presa à base da máquina (bigorna).

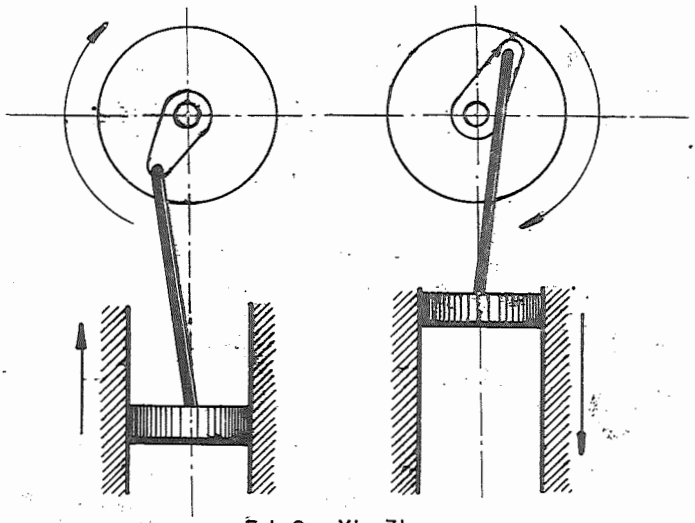


FIG.—XI—31

No forjamento com matrizes, muitas vêzes lança-se mão de matrizes esboçadoras e matrizes acabadoras, a operação sendo executada em estágios sucessivos.

No forjamento por meio de matrizes, sempre deve ser utilizado material em excesso, para que haja certeza sôbre o preenchimento total das matrizes, para facilitar o enchimento da matriz, como também para que a rebarba formada com o excesso impeça o contato direto entre as matrizes na pancada,

o que pode inutilizá-las. Esta rebarba é retirada, posteriormente, operação que pode ser executada por meio de outra matriz, apropriada para êsse serviço.

No forjamento simples o formato da peça é obtido por meio de ferramentas especiais e métodos semelhantes aos usados no forjamento manual.

A maneira de forjar a peça tem grande importância, pois a estrutura - varia grandemente - e portanto, as propriedades do material - com o modo de operação.

A Figura XI-34, esquematiza estruturas obtidas por diferentes processos de forjamento.

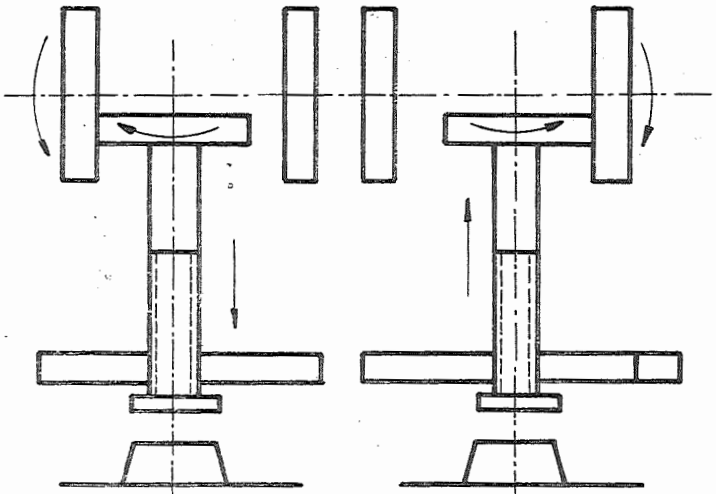


FIG.—XI— 32

Os martelos funcionam, como foi visto, pela aplicação brusca do esfôrço. Outro tipo de deformação aplica os esforços lentamente. É a prensagem. A pressão é obtida por meios hidráulicos. Êsse esfôrço aplicado lentamente e por mais tempo se distribui de maneira mais uniforme em tôda a espessura da peça. É mais aplicado quando grandes secções devem ser deformadas (1).

(1) Para estudo do forjamento veja publicação 68-EESC

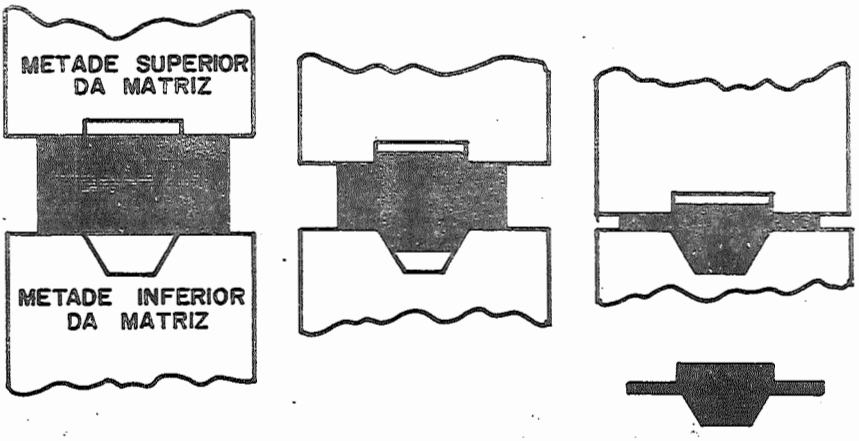
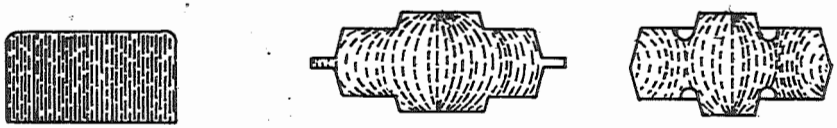


FIG.–XI–33



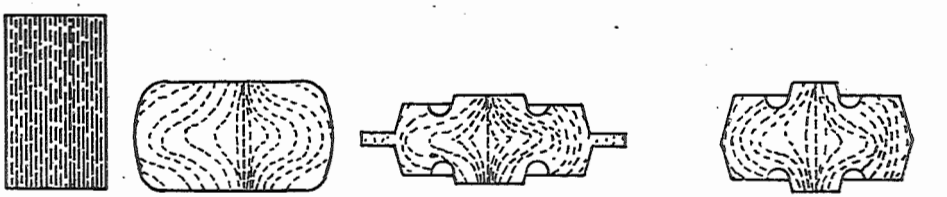


FIG.—XI-34

OUTROS PROCESSOS DE DAR FORMA AO METAL

a) *extrusão*

Consiste em comprimir o metal forçando-o a passar por uma matriz. O metal deve, em geral, ser aquecido, para apresentar boa plasticidade.

Dois são os processos usados para aplicação lenta dos esforços e esquematizados nas Figuras XI -35 e 36.

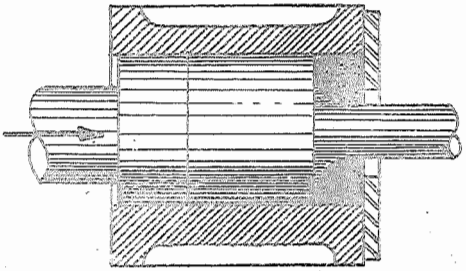


FIG. — XI-35

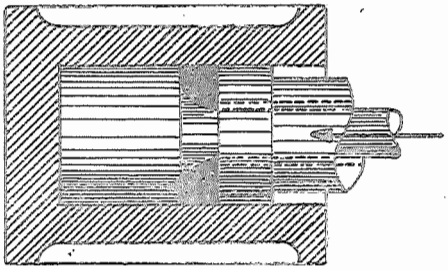


FIG.— XI- 36

Os mais variados perfís podem ser obtidos por êstes processos. Apresentam como os produtos obtidos por trefilação, bom acabamento superficial e constância de dimensões.

Existe um processo de extrusão por impacto, que é, em geral, feito a frio, utilizado para o alumínio, o chumbo, o estanho, etc., e esquematizado na Figura XI-37. É o processo utilizado na confecção de tubos colapsíveis para pastas. A quantidade de material deformada de cada vez, deve ser pequena.

b) Estampagem ou embutimento

As chapas metálicas podem ser deformadas por compressão, quando colocadas entre a matriz e a contra-matriz, e sendo deformada pela ação de um punção.

Nêste caso não temos só uma ação de dobramento, mas o material sofre uma deformação plástica esposando a forma do punção. A contra-matriz é, em geral aberta em ambos os lados, Figura XI-38.

A prensa usada deve ser de duplo efeito, o primeiro movimento baixando uma parte da matriz que vai fixar a chapa - contra-matriz - Figura XI-38, e

o segundo baixando o estampo pròpriamente dito. Com estampos construídos especialmente, pode ser empregada uma prensa de um só estágio.

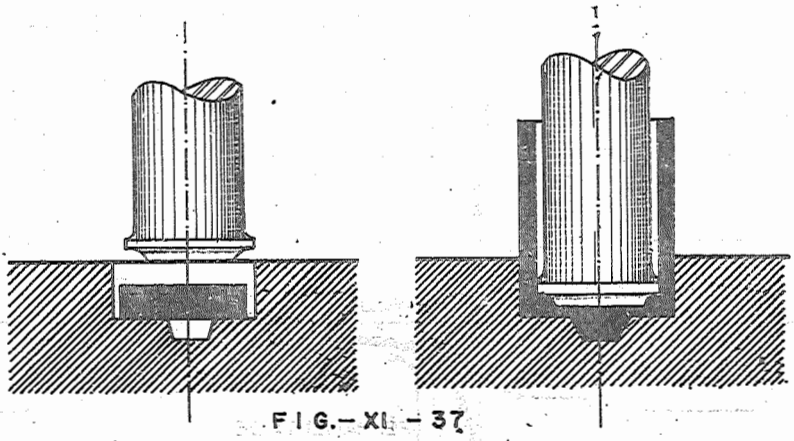


FIG.- XI - 37

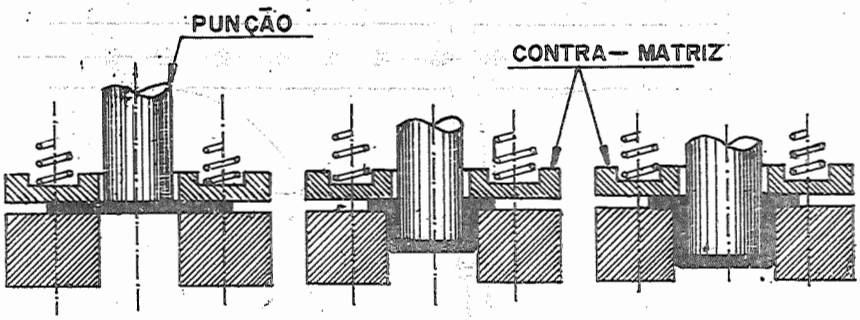


FIG.- XI-38

A chapa deve ser presa entre as matrizes para evitar enrugamento, mas de tal modo que possa sofrer um escorregamento progressivo entre elas, durante a ação do segundo movimento.

A folga entre junção e matriz é dada em relação à espessura da chapa que vai ser trabalhada, para evitar dobramentos.

A chapa deve ser lubrificada para facilitar o escorregamento entre as matrizes. Usa-se para êsse

fim, óleo especial, graxa ou sebo.

c) Repuxamento

Consiste em deformar a frio, por meio de ferramentas especiais, discos metálicos - em geral são repuxados o alumínio, o latão e o cobre - que giram apoiados em matrizes especiais, com a forma da peça desejada, Figura XI-39. É o método empregado na confecção de panelas, bacias, etc..

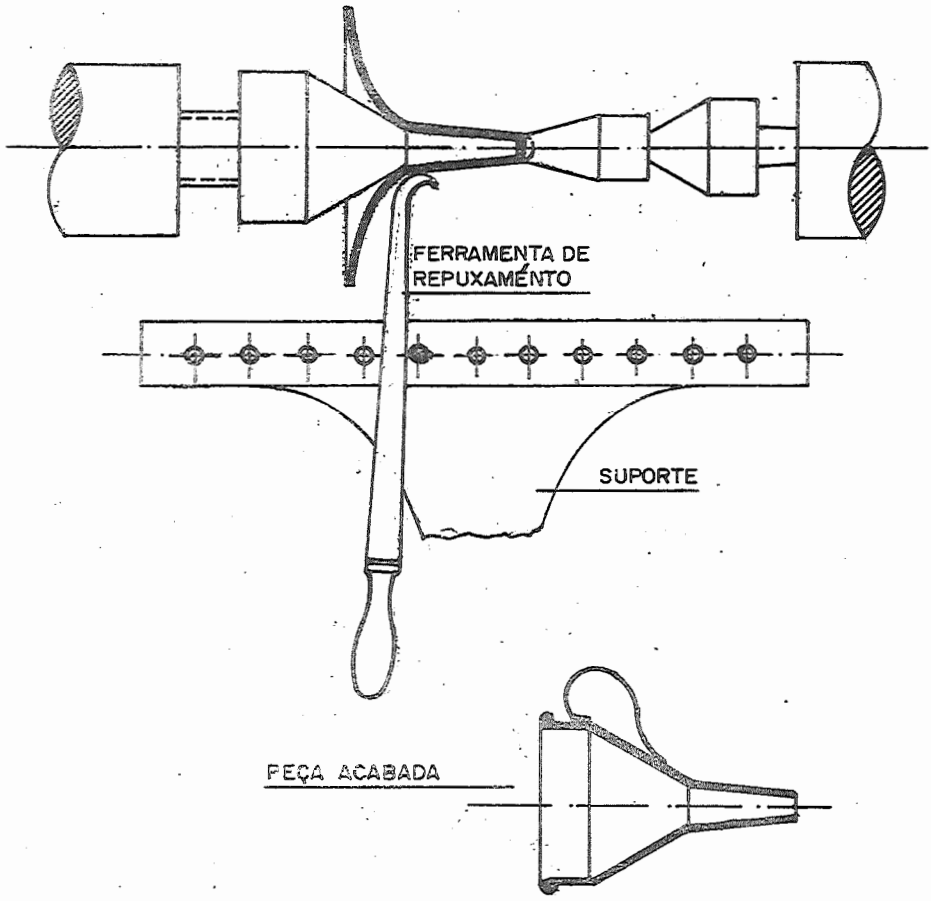


FIG.- XI-39

BIBLIOGRAFIA

1.- BAILEY, A. R. - Textbook of Metallurgy.

2.- BUGINI, E. - Tecnologia Mecânica Generale.

3.- CHIAVERINI, V. - Curso de Metais.

4.- GREGORI, E. e SIMONS-PITMAN, E. - The mechanical Working of Steel - 1944.

5.- HINMAN, C. W. - Press working of metals e Mc Graw - 1950.

6.- JEVONS, J. D. - The metallurgy of Deep Drawing and Pressing - Chapman e Hall - 1949.

7.- LARKE, E. C. - The Rolling of Strip, Sheet and Plate - 1957.

8.- MACHADO, D. A. - Laminação contínua a frio de chapas de aço - Bol. ABM nº 46 - vol. 13 - pág. 5 - 1957.

9.- MONDOLFO e ZMESKAL - Engineering Metallurgy - 1955.

10- SACHS VAN HORN - Practical Metallurgy.

11.-UNDERWOOD, L. R. - The Rolling of Metals - Chapman e Hall - 1952.

12- U.S.S. - The Making Shaping and Treating of Steel.

13- J.NAVARRO - Contribution a l'étude de la déformation plastique des métaux par étirage et tréfilage in R. de Metallurgia - agosto - 1950.

14- P.BLAIN - Contribution a l'étude des laminoirs à bandes in R. de Metallurgia - agosto 1948.

15- J.STRUNSDOERFER - Contribution a l'étude des pressions de laminage in R.de Metallurgia - abril - 1950

16- L.R.UNDERWOOD - Cold Rolling - in Metal Industry - Setembro - 1950.

setembro - 1949.

17- C.E.DAVIES e L.R.UNDERWOOD - Pratique Moderne du laminage - trad.de um artigo da revista Metal Industry maio e junho - 1944.

18- J.M.FRANÇA - Forjamento de aço a quente em matriz fechada, matriçagem - Bol.Geologia e Metalurgia -nº 22 de 1960.

19- F.MAZZOLENI - La funcionazione al maglio dei metalli in la Metallurgia Italiana - nº 5 - maio - 1943.

20- H.HOFF, T.DAHL - Laminacion - 1957.

CAPÍTULO XII

SOLDAGEM - APLICAÇÕES

Solda é juntar intimamente peças metálicas, por meio de material fundido, ou no estado plástico, das próprias peças em presença ou de um material fundido adicionado para êsse fim (1). Soldar é também recompor uma peça por deposição de material fundido onde fôr necessário.

Podemos classificar os diferentes tipos de solda em:

a) soldas por pressão - em que as peças a serem soldadas são comprimidas depois de aquecidas;

b) soldas por fusão - em que a união é obtida simplesmente por meio da fusão dos metais de que são constituídas as peças, ou de um outro metal adicionado com êsse fito.

Podemos classificar também da seguinte maneira:

I) Processos nos quais há fusão de material na junta:

a - com adição de material estranho às peças;

b - sem adição de material estranho às peças.

(1) Definição do termo soldar, aplicável aos sistemas metálicos.

II) Processos nos quais não há fusão - estado plástico.

Ia) Êstes processos compreendem os bem conhecidos métodos de solda à base de ligas de estanho e outras ligas (soldas fortes), solda elétrica a arco, a maçarico (oxiacetilênica) e aluminotérmico.

Ib) Estão compreendidos nesta subdivisão os seguintes processos: solda de tôpo a arco (flash-butt welding), solda por ponto ou contínua, elétricas (solda por resistência), solda a maçarico e solda elétrica a arco.

II) São, em geral, os casos de solda sob pressão, quando não há fusão: solda de tôpo a arco, solda por ponto ou contínua, elétricas (solda por resistência), solda por indução e os caldeamentos(1).

Não há uma subdivisão perfeita dêstes processos pois que alguns dêles podem ser encaixados em várias delas. A classificação acima, puramente para fins didáticos, ordenou os processos conforme são mais empregados.

SOLDAS FRACAS E SOLDAS FORTES

Estudemos, resumidamente, êstes diferentes tipos de solda.

As soldas de estanho são utilizadas para unir diferentes tipos de ligas: aços, bronzes, etc., apresentando baixo ponto de fusão, mas também baixa resistência mecânica. Em geral, não se verifica fusão dos metais que estão sendo soldados. Emprega-se, em geral, para a fusão o "ferro de soldar" (peça de cobre aquecida). A ligação entre as peças é, em geral, puramente mecânica.

Para facilitar a união usam-se fundentes, que removem os óxidos das peças ou impedem a sua formação, mantendo uma superfície limpa para que seja obtido melhor contato. Em geral, são utilizadas resinas, co

(1) Desenvolve-se hoje em dia, a solda sem calor. Já está sendo empregado o processo de solda por ultra-som, que poderia ser enquadrado nesta subdivisão.

mo breu e estearina, ou sais (cloreto de amônio ou zinco).

Estas soldas são empregadas também para recompor peças ou dar acabamento.

As soldas denominadas fortes são ligas à base de prata, em geral, contendo um ou vários dos seguintes elementos: cobre, zinco, cádmio, estanho, fósforo; ligas à base de cobre com zinco, prata, níquel, fósforo, e existem também soldas à base de níquel.

Estas soldas são empregadas para soldar aço, ligas de cobre, ferro fundido. Em geral, o metal a ser soldado não é fundido.

São empregados também fluxos para evitar a oxidação das peças: bórax, ácido bórico, fluoretos alcalinos, ou mistura dêsses compostos.

O processo de fusão empregado é, em geral, a chama oxiacetilênica, o fôrno elétrico, ou aquecimento por indução.

Na Tabela XII-1, são dadas as composições de alguns tipos de ligas utilizadas como solda fraca e solda forte. Com estas soldas, obtém-se as junções denominadas "Brazing", nas quais o metal adicionado penetra entre as superfícies a soldar devido à fôrça capilar, Figura XII-1 (1). Para êste método de operação, existem também ligas à base de alumínio, contendo silício, cobre e zinco, e que servem para soldar peças de alumínio e suas ligas. Os fluxos utilizados são à base de cloreto de sódio, potássio e lítio.

SOLDA ELÉTRICA A ARCO

A solta elétrica a arco é executada mantendo-se um arco de baixa voltagem (15 a 45 volts) entre as peças a serem soldadas e um eletrodo, Figura XII-2. Tensões de até 26 volts são empregadas para eletrodos descobertos, e até 45 para eletrodos cobertos. A corrente, em geral, varia entre 30 e 600 amperes, sendo contínua, ou alternada.

(1) Segundo alguns autores o Brazing ocorre quando a distancia entre as peças a soldar é de 0,01 a 0,07 mm.

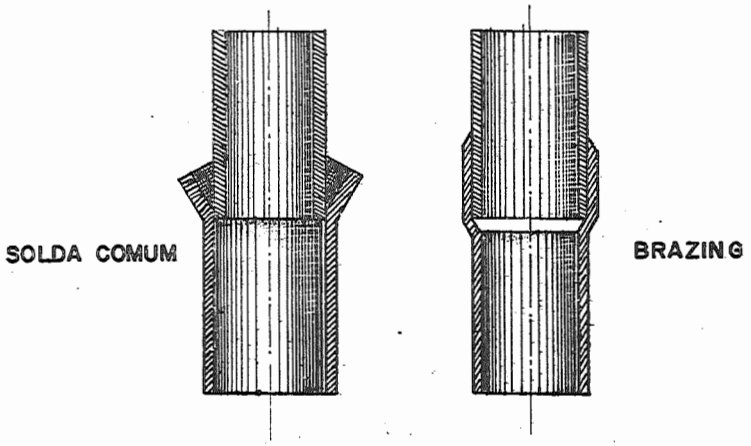


FIG.-XII-1

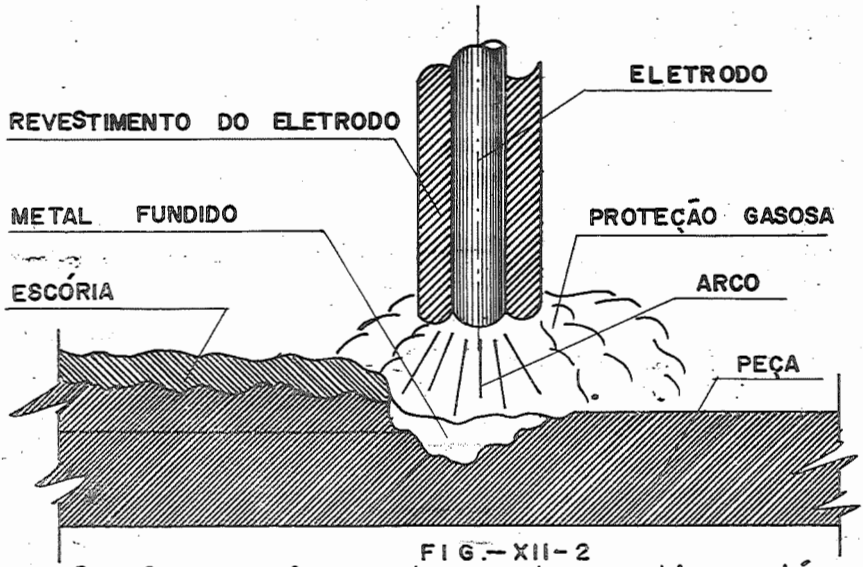


FIG.-XII-2

O calor gerado - a temperatura atinge até 3600°C - é suficiente para fundir o metal a ser soldado, localmente, assim como a ponta do eletrodo. Êste último metal fundido é depositado sôbre a pe-

ça, soldando-a.

Pode ser empregado também um eletrodo de carbono grafítico ou tungstênio, podendo ser utilizada então, uma barra metálica que é fundida no arco formado, e depositada na peça, Figura XII-3.

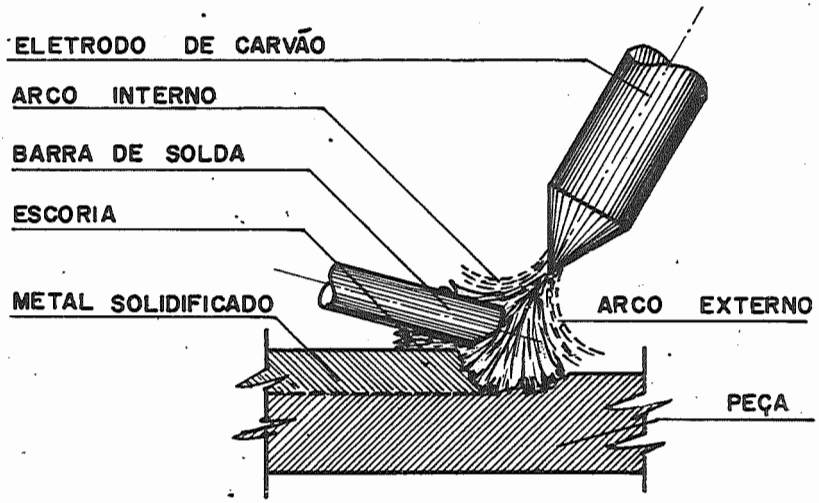


FIG.—XII—3

A corrente elétrica é muito instável, pois que ocorrem frequentes curto-circuitos (contato do eletrodo com a peça) como também devido às partículas metálicas fundidas que cruzam o arco. O gerador precisa ser então, de tipo especial.

O comprimento do arco formado deve ser controlado - em geral é recomendado empregar um arco de comprimento igual ao diâmetro do eletrodo - pois arcos longos dão soldas de baixa resistência e ductilidade.

O arco também deve ser estável para evitar bôlhas e escórias aprisionadas pelo metal. A maior quantidade de calor é desenvolvida no polo positivo - 60 a 75% - quando é empregada corrente contínua, sendo, em geral, a peça ligada a êste polo, por ter maior massa.

Em certos tipos de eletrodos ferrosos e nos não ferrosos, é usada polaridade invertida.

Ag	Cu	Zn	Cd	P	Sn	Pb	Sb	Ni	Ponto de fluidez °C
					5	95			510
					15 - 35	85 - 65			240 - 280
					60	40			190
					95		5		240
						95	5		285
10	50	40							850
20	45	35							810
40	40	20							790
45	15	16	24						615
70	20	10							740
15	80			5					704
	balanço			4-8	0 - 1				700 - 830
	60	40							885
	balanço	45 - 55						0-10	840 - 900
	100								1083
	60	balanço			3,5				880
20	45	30	5						815
50	34	16							780
72	28								780
2	91,5			6,5					690

Tabela XII-1

A alta temperatura atingida pelo arco pode oxidar as peças, assim como o material fundido absorve nitrogênio, tornando-se quebradiço.

No intuito de evitar êsses fenômenos, e também escorificar o metal, pode-se empregar um eletrodo coberto. Êstes podem ser de cobertura leve, média ou pesada.

Os de cobertura leve, sòmente tem como revestimento um estabilizador de arco (1).

O de cobertura média já protege um pouco o metal contra a oxidação. O revestimento representa 1 a 2% do pêso.

(1) Como estabilizadores do arco são empregados: rutilo e óxidos de ferro, cálcio, manganes e carbonato de cálcio.

Nos revestidos pesadamente êste valor é da ordem de 10%.

Êste revestimento pode ser constituído de celulose, rutilo, amianto, areia, argila, silicato de sódio e resinas. A celulose queimando, produz gases redutores; o rutilo forma a escória, reagindo com a sílica e também estabiliza o arco, o amianto, a argila, o silicato de sódio e as resinas formam a massa de ligação e ajudam a formar escórias.

Outra composição pode ser: amianto, alumínio, óxido de cálcio, alumina, magnésia, sílica.

Existem coberturas especiais que podem introduzir elementos de liga na solda.

Podem ser citados aqui, os recentes processos de solda a arco:

a) Solda a arco submersa - o arco fica durante o trabalho de solda, submerso em uma camada de material fusível, de forma granular, Figura XII-4, que funde com a temperatura e forma um fluxo condutor.

A solda inicia-se por contato direto e depois o arco se forma através do fluxo fundido, o metal derretido, do eletrodo, atravessando o fluxo, e atingindo a peça a soldar. A solda deve ser feita em posição horizontal.

O fluxo concentra o calor permitindo maior velocidade de solda, boa penetração, e isolação quase que perfeita da atmosfera, dando soldas muito boas e com ótimo acabamento.

A densidade de corrente é de sete vêzes a da solda por arco comum.

b) Solda a arco sob gás inerte - argônio ou hélio, sob a forma de um jato sôbre o arco, protegem contra a oxidação o material aquecido, Figura XII-5. O processo é, teòricamente bastante antigo, e só não foi aplicado a mais tempo, por motivos econômicos. O gás deve ser bastante puro para evitar contaminações.

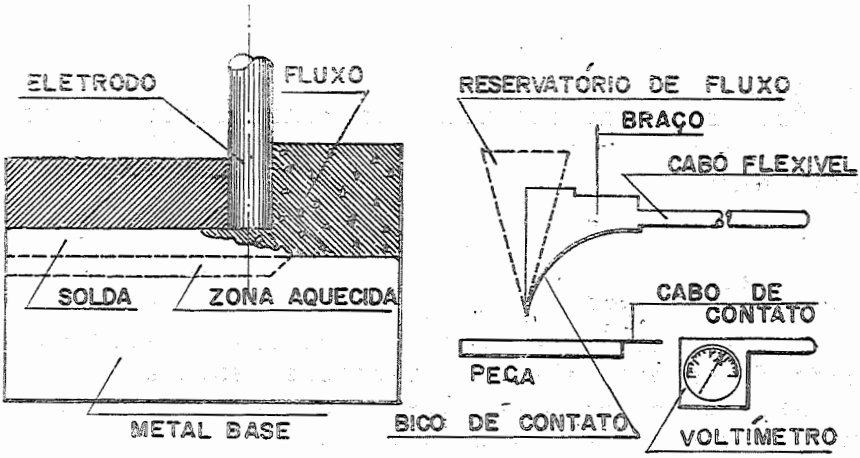


FIG.- XII - 4.

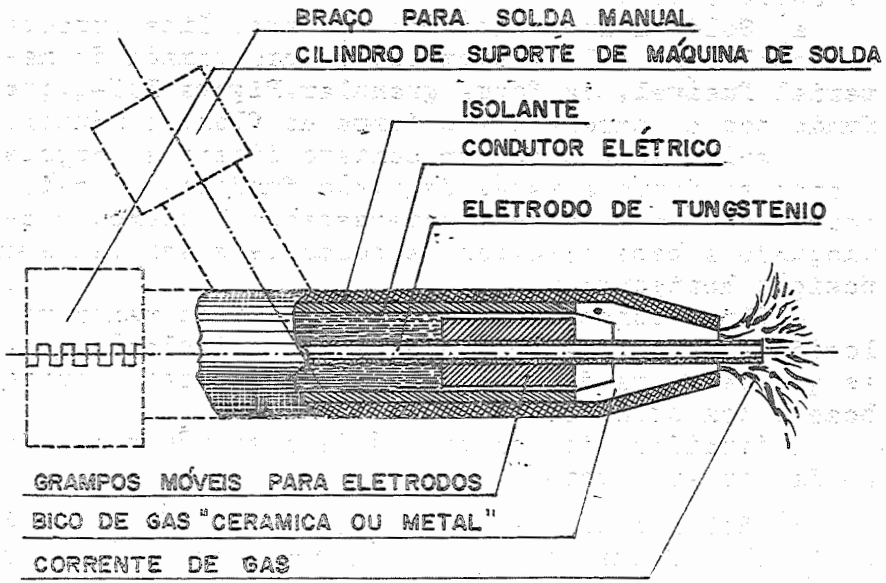


FIG.- XII - 5

c) Solda a arco ao hidrogênio atômico - um jato de hidrogênio incide, sob o arco que salta entre dois elementos de tungstênio, decompondo-se (moléculas em átomos) e elevando a temperatura a 3000-3300º, Figura XII-6.

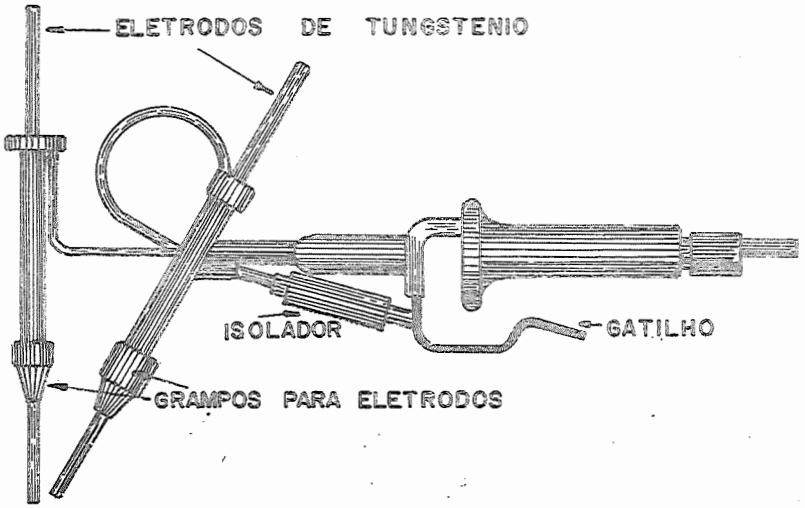


FIG.— XII — 6

SOLDA A MAÇARICO

Nêste processo o calor necessário para a solda é fornecido pela queima de um gás, geralmente o acetileno, por meio de ar ou oxigênio, Figura XII-7. Outros gases também empregados são: hidrogênio, que dá temperaturas mais baixas e é empregado para soldar alumínio, magnésio, chumbo, etc., propana, butana, etc..

A temperatura atingida depende da proporção entre os gases.

O acetileno sendo queimado em bico apropriado, com igual quantidade de oxigênio - processo oxi-acetilênico - produz a chama neutra, própria para soldar.

A reação é a seguinte:

$$C_2H_2 + O_2 \rightleftharpoons 2\,CO + H_2$$

e êstes queimam com o ar atmosférico que envolve a chama.

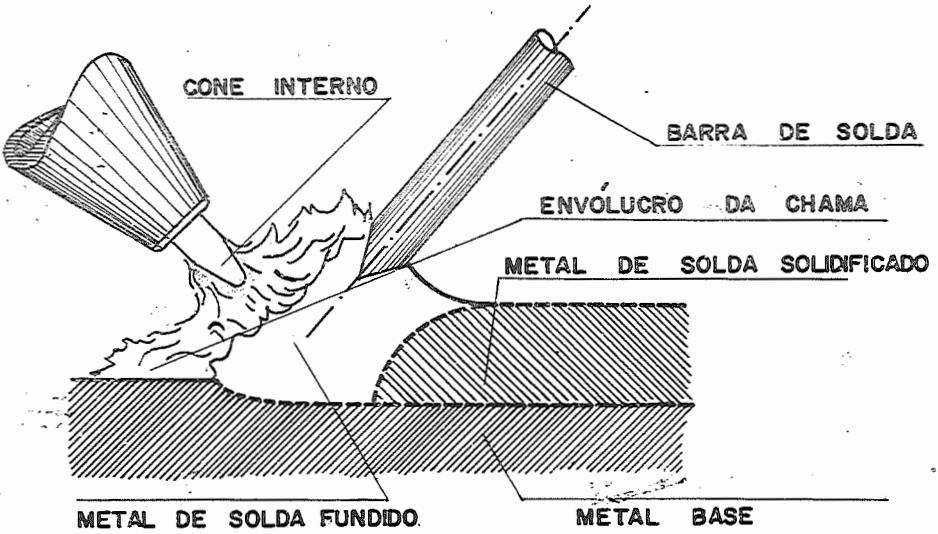


FIG.—XII-7

A chama neutra apresenta um bem definido cone branco no bico do maçarico, Figura XII-8. Havendo excesso de oxigênio - a chama oxidante - o cone diminui e há uma perda de luminosidade.

A chama redutora é indicada por uma zona branca secundária.

Esta é a chama indicada para soldar aço de alto carbono, aços ferramenta, níquel, e a oxidante para ligas de cobre ou zinco.

A Tabela XII-2 dá alguns dados a respeito da solda de ligas por chama oxiacetilênica (1).

Os eletrodos apresentam composição estudada para compensar mudanças que ocorrem durante a operação

SOLDA ALUMINOTÉRMICA

A mistura do pó muito fino de alumínio com pós de óxidos metálicos (ferro, manganês, etc.), é in-

(1) Tabela na pág. 193

flamável.

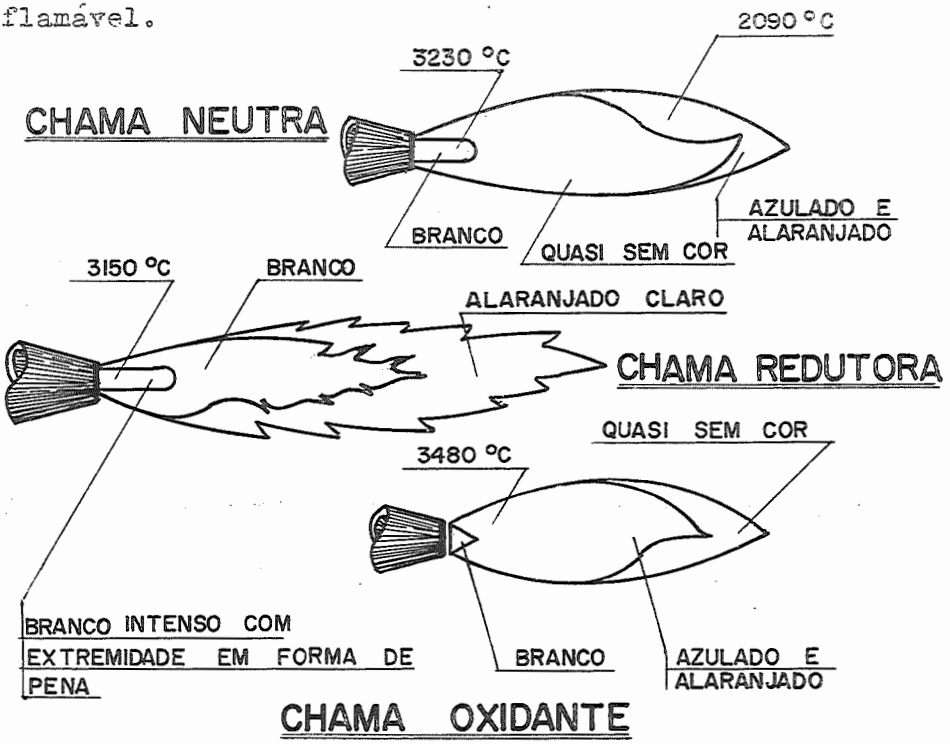


FIG.—XII — 8

O alumínio combina-se com o oxigênio do óxido, libertando o metal, e formando alumina. A reação foi descoberta em 1894, por C. Valentin. A temperatura atingida é da ordem de 3000°C. A temperatura de início de inflamação é também relativamente alta quando o material está agrupado (1200°C aproximadamente), mas torna-se explosivo a temperaturas mais baixos quando espalhado no ar.

Esta reação é utilizada para soldar peças, o processo tomando o nome de Thermit ou de solda aluminotérmica e foi aplicada pela primeira vez por H.Goldschimidt, em 1898.

A mistura é colocada em um cadinho especial onde é incendiada; o metal fundido fica no fundo, sendo recoberto por alumina fundida, que conserva o calor.

O metal obtido é empregado para fazer a junção das peças, Figura XII-9. À mistura podem ser adicionados elementos de liga, para melhorar as propriedades do metal obtido - aço -, tais como Ni, Mn, Cr, etc..

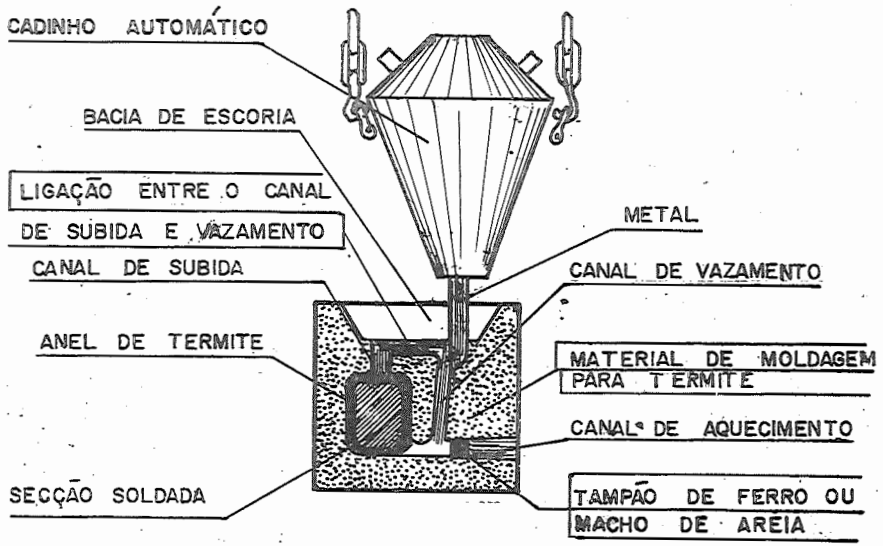


FIG.— XII— 9

SOLDA DE TOPO A ARCO

As peças a soldar são presas a eletrodos, ficando com partes planas e paralelas, onde será feita a solda, afastadas entre si. Ligando-se a corrente, salta um arco entre as faces aquecendo o material nêsses pontos. Atingida a temperatura desejada, comprimem-se as peças que ficam ligadas, Fi- XII-10.

SOLDA POR PONTO, OU CONTÍNUA (SOLDA A RESISTENCIA)

Nêste tipo de solda a passagem da corrente - de baixa voltagem e alta amperagem - através as duas

superfícies a soldar (pontos) aquece o material localmente, ao mesmo tempo que as duas superfícies são comprimidas uma contra a outra, Figura XII-11. Foi aplicada pela primeira vez por Joule em 1857,e desenvolvida por L. Thompson em 1886.

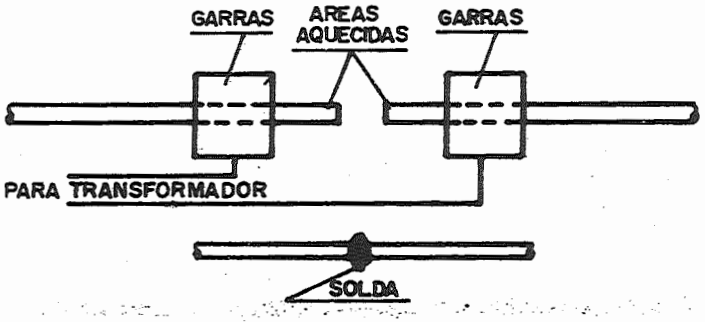


FIG.-XII-10

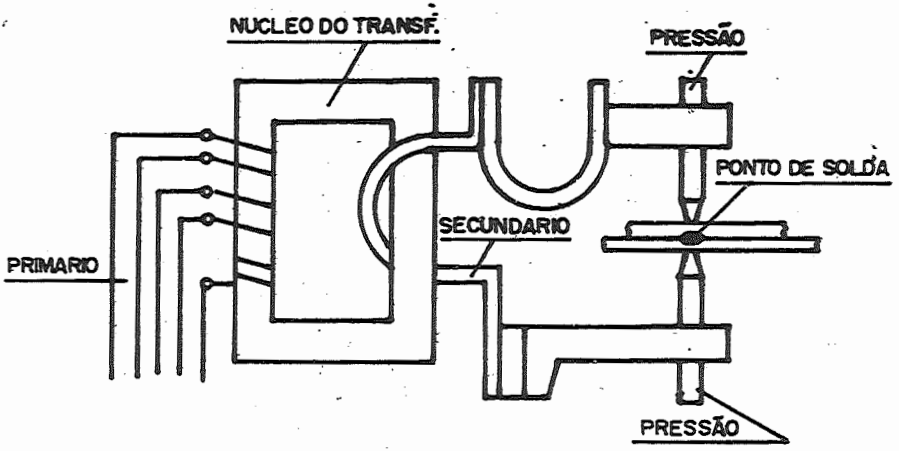


FIG.-XII-11

A solda denominada contínua, nada mais é que uma repetição sucessiva de várias soldas de ponto, Figura XII-12, em que as distâncias entre pontos soldados pode ser regulada, Figura XII-13.

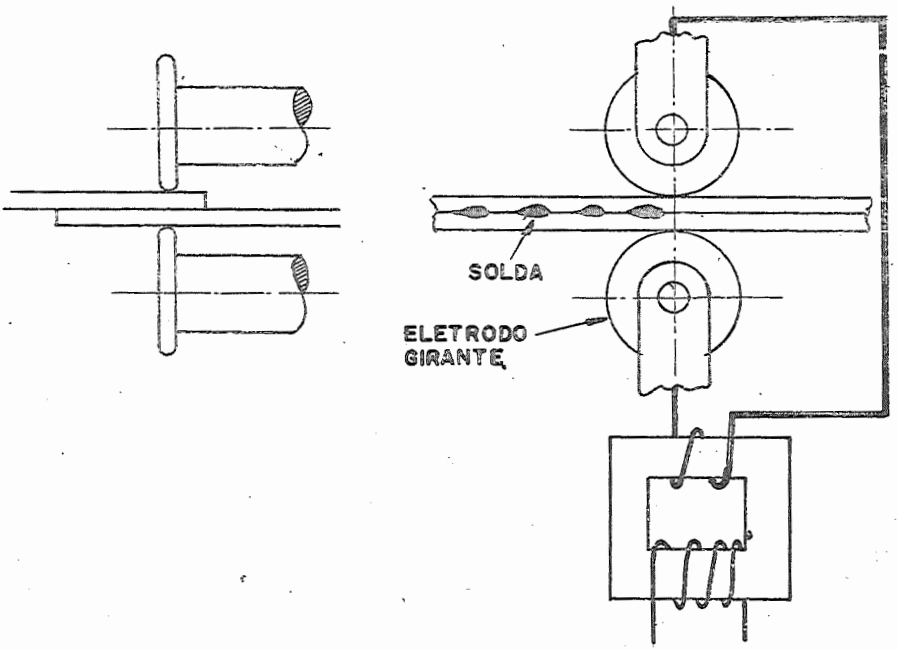


FIG.- XII - 12

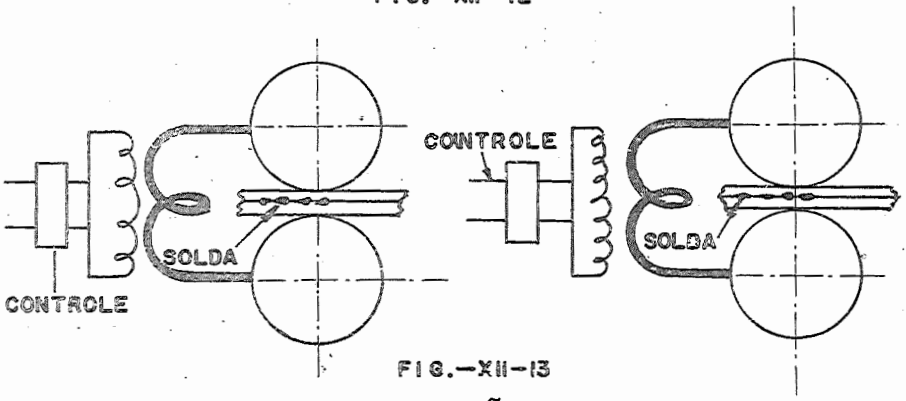


FIG.—XII—13

SOLDA POR INDUÇÃO

O que diferencia êste processo dos outros é o método de aqüecimento. Podemos ou não atingir o ponto de início de fusão, e ter ou não um metal estranho às peças que vão ser soldadas.

O aquecimento é produzido por correntes induzidas nas peças.

A Figura XII-14 nos mostra alguns tipos de bobinas utilizadas para a solda por indução.

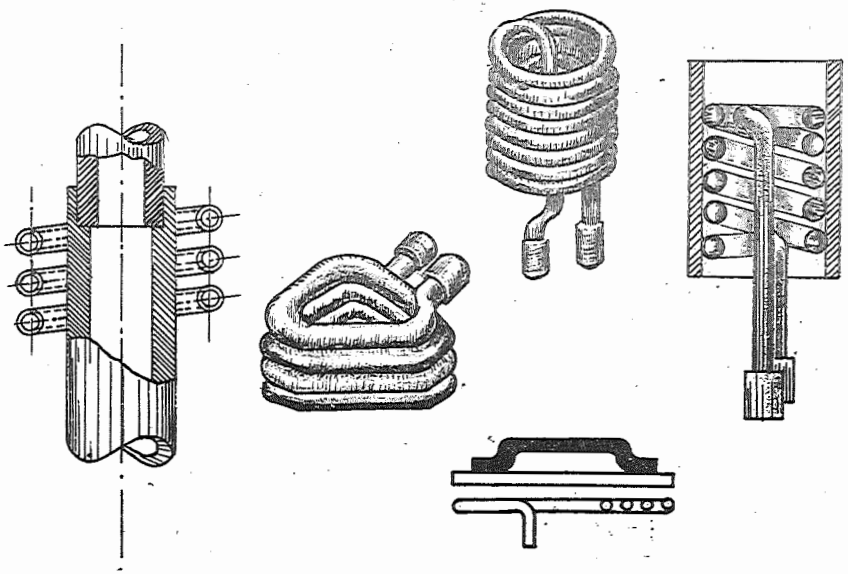


FIG.- XII-14

A f.e.m. induzida é proporcional a frequência da oscilação do campo.

A profundidade de penetração da corrente do material é proporcional a $\sqrt{\frac{1}{f}}$, sendo f a frequência da corrente induzida.

Com a variação da frequência podemos aquecer mais ou menos profundamente a peça.

CALDEAMENTO

Foi, sem dúvida, o primeiro processo utilizado pelo homem para unir peças metálicas.

Estas são aquecidas, - a temperatura devendo ser bem controlada, pois com um superaquecimento pode haver queima, e se a temperatura fôr baixa não há boa ligação - nas partes que devem ser unidas, geralmente em forjas, e atingida a temperatu-

ra requerida em que há plasticidade, são superpostas e unidas por martelamento ou compressão.

Entre as superfícies a soldar, coloca-se o fluxo - bórax, areia-cloreto de amônio - antes do martelamento, para escorificar e limpar dos óxidos formados, as zonas que serão caldeadas, evitando posterior oxidação, permitindo uma união mais íntima dos metais (1).

As superfícies que serão caldeadas entre si, sempre que possível são recurvadas, Figura XII-15, para facilitar a escorificação durante o martelamento.

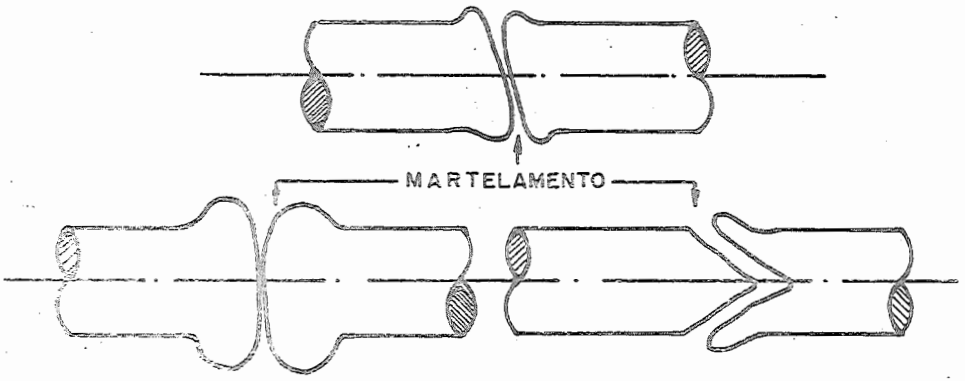


FIG.-XII-15

Devido a esta operação mecânica, a estrutura nunca é muito grosseira nos caldeamentos, devido a recristalização.

METALURGIA DA SOLDA

A solda em uma estrutura consiste em uma solução de continuidade. O material aí presente, tem sempre composição química diferente da do material da peça - mesmo quando realizamos uma solda autógena, isto é, sem adição de material estranho, pela oxidação ou absorção de alguns elementos - estrutu

(1) Todos os processos de solda por pressão, sem atingir o ponto de fusão e sem adição de material estranho, podem ser considerados como caldeamento.

ra metalográfica diferente, em geral presença de impurezas (escórias) na linha de junção, etc..

Nos processos em que há fusão de material na junta, há o aparecimento nêsse local de uma estrutura bruta de fusão do tipo colunar, pois o metal de base, apesar de aquecido, é bom condutor de calor e esfria a parte fundida ràpidamente.

Nêstes processos também, se a solda não é bem cuidada, poderão ficar partículas de escória presas no interior do metal. Se não é empregado um fluxo protetor poderão aparecer bolsas de gases que se dissolveram no metal líquido.

Em todos os casos, no ponto onde se localiza a solda, observa-se a mais alta temperatura, que decai com a distância, Figura XII-16. Com o decorrer do tempo, há uma oscilação de temperatura, variável de ponto para ponto, Figura XII-17. De acôrdo com a temperatura atingida, e com a velocidade de esfriamento, teremos estruturas diversas nos diferentes pontos.

No caso, por exemplo, de um aço de alto carbono, hipoeutetóide, junto à solda, onde foi atingida a temperatura de austenização completa, e onde o resfriamento é rápido, poderá haver formação de martensita. Em pontos mais afastados, em que o material foi aquecido sòmente até a zona crítica, teremos um refinamento da granulação da perlita, Figura XII-18. Em casos particulares, poderá haver formação de bainita em algumas zonas (tratamento isotérmico), Figura XII-19.

Pode ser observado que nas soldas a arco, a zona afetada pelo calor é muito menor que nas soldas feitas a maçarico. Nestas o material é aquecido durante um tempo maior para que a ligação se processe corretamente: em geral as peças são pré-aquecidas com o próprio maçarico, na zona onde vai ser depositada a solda.

No caso de um metal que tenha sofrido um tratamento mecânico a frio, pode ocorrer um crescimento excessivo dos grãos, se êle tiver sido submeti

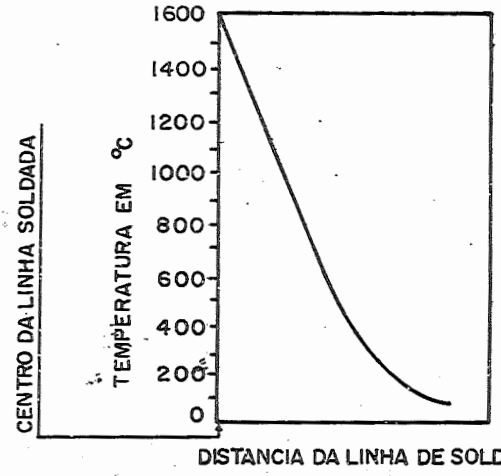
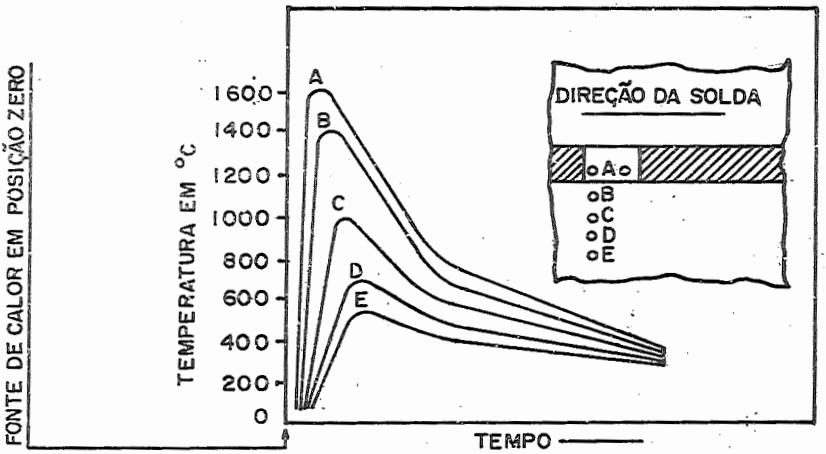


FIG.-XII-16



CURVA TEMPERATURA-TEMPO A VARIAS DISTANCIAS DE UMA LINHA SOLDADA
(SOLDA DE UMA SÓ PASSADA)

FIG.-XII-17

do a um encruamento crítico. O tratamento térmico a que a peça podia ter sido submetida, anteriormente, também é destruído, na zona de solda.

Com o resfriamento desta, aparecerão tensões no conjunto devido à retração do metal distorcendo a

ção, Figura XII-20, ou se são tensões alguns cuidados especiais, as peças não ficam distorcidas, mas as tensões aumentam, Figura XII-1.

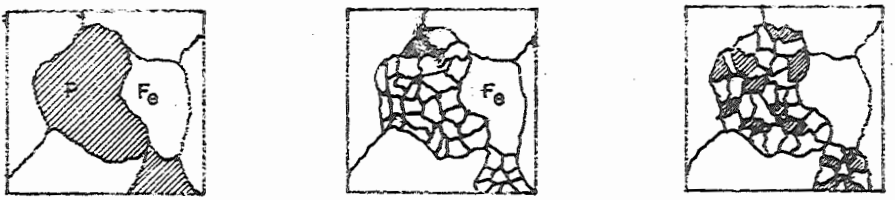
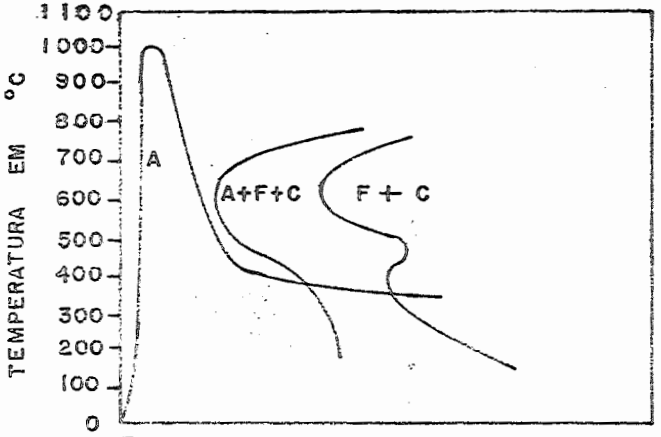


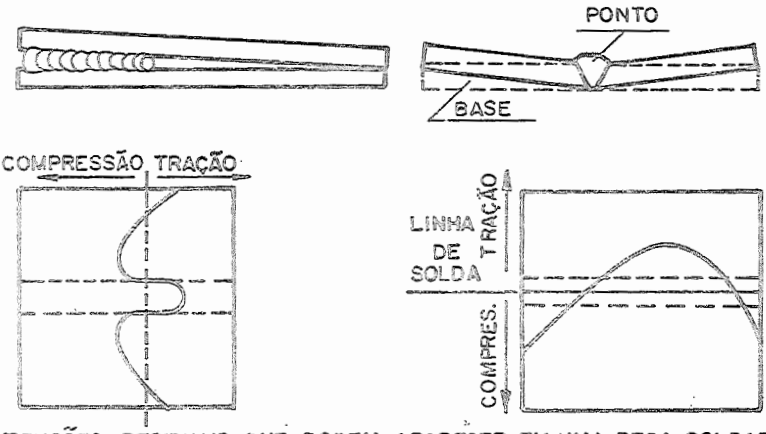
FIG.-XII-18



A =SOBREPOSIÇÃO DE UMA CURVA DO TIPO DA FIG.-17 A UMA CURVA EM S DE UM AÇO 52100

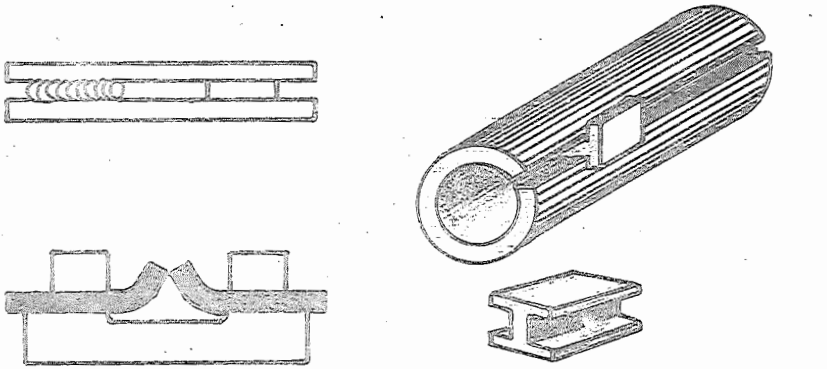
FIG.— XII-19

Se o material a soldar e a solda são dúcteis, a deformação do material, reduz as tensões em parte. Em caso contrário, são necessários tratamentos térmicos, para reduzir as tensões, que podem ser bastante elevadas.



TENSÕES RESIDUAIS QUE PODEM APARECER EM UMA PEÇA SOLDADA

FIG.-XII-20



PEÇAS SEGURAS PARA EVITAR DISTORÇÃO NA OPERAÇÃO DE SOLDAR

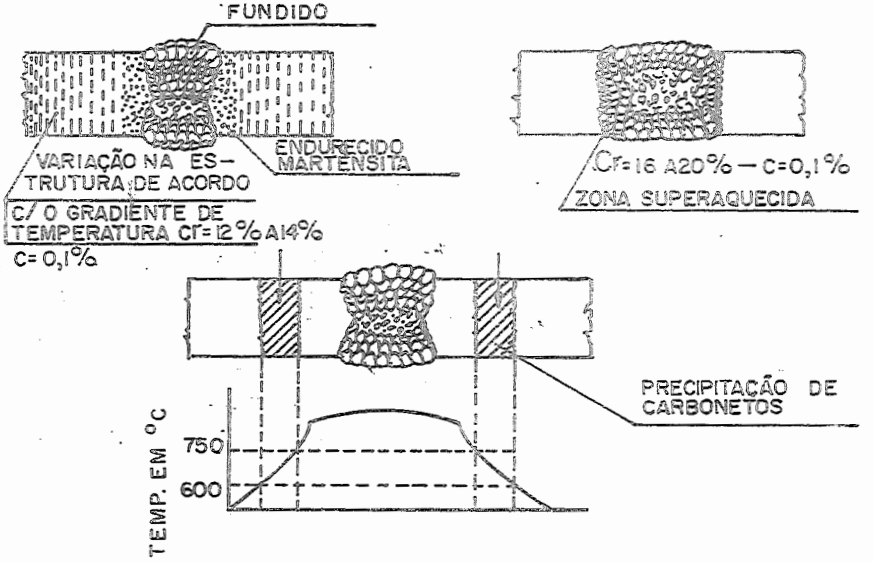
PEÇA COLOCADA ENTRE SUPERFICIES A SOLDAR, PARA EVITAR DISTORÇÕES

FIG.-XII-21

EXEMPLOS DE ALTERAÇÕES QUE PODEM SURGIR DURANTE UMA OPERAÇÃO DE SOLDAGEM.

2) aço inoxidável austenítico 18-8. No esfriamento do material, aquêle que foi aquecido na faixa de 650° - 750°C, aproximadamente, sofre uma transformação muito importante, que é a precipitação de carbonetos de cromo nos contornos dos grãos.

Esta precipitação vem reduzir então, o teor de cromo das partes circunvizinhas, abaixando sua resistência à corrosão. A peça apresenta, então, uma faixa mais fàcilmente atacável, a uma certa distância da solda, Figura XII-22, se após a operação não fôr feito um tratamento térmico.



EFEITO DA SOLDA EM DIFERENTES TIPOS DE AÇOS INOXIDAVEIS — C=0,1% Ni=6 A 11% — Cr=15 A 20%

FIG.-XII-22

Aços de muito baixo teor de carbono (0,03%) ou contendo columbio ou titano, não apresentam, ou apresentam em menor grau, êste defeito.

b) cobre - cobre contendo oxigênio não deve ser soldado, pois com o aquecimento forma-se uma camada de óxido, contínua entre os grãos que o torna quebradiço, ou se a atmosfera, durante a operação, contiver hidrogênio, êste combina-se com o oxigênio dando uma peça porosa.

c) ferro fundido - peças de ferro fundido ao serem soldadas, podem apresentar o fenômeno denominado inchamento, que consiste no aumento de volume

Êste aumento pode ser causado pela decomposição de cementita em ferrita e grafita ou pela oxidação interna, devido ao oxigênio que penetra pelos veios de grafita.

Devido à baixa ductilidade do ferro, as variações de dimensões, devido ao aquecimento, podem também causar a rutura da peça.

EXAME DAS SOLDAS

As peças soldadas podem ser examinadas por meio de exame macro e micrográfico, quando então, em geral, há destruição da peça.

O processo serve para controlar a operação, quando executada em grande número de peças, algumas delas sendo escolhidas para exame.

Podem ser feitos também exames por ensaios de tração e dobramento. São também ensaios destrutivos.

Como ensaios não destrutivos temos: Raios X, e os mais recentes processos magnéticos, de ultra som, resistência elétrica, etc..

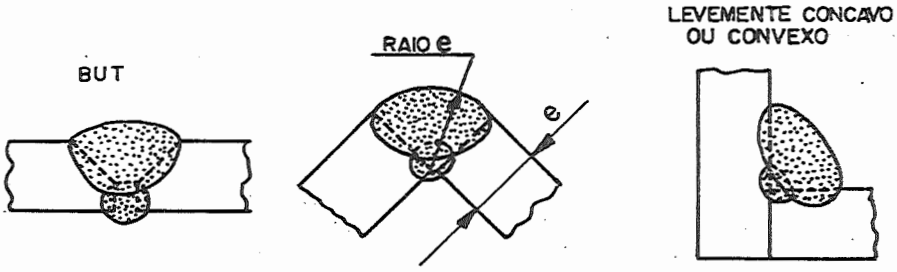
Fazemos notar aqui, que se a solda não é feita por meios mecânicos - soldagem automática - as suas propriedades vão depender em grande parte, da habilitação do operador.

Quanto ao aspecto externo, as soldas devem também ser examinadas.

As Figuras XII-23, 24 e 25, nos dão uma indicação a respeito do acabamento da solda, aceitáveis ou não.

APLICAÇÕES

Além de ser o processo utilizado na recuperação de peças gastas ou fraturadas, o seu campo de aplicação tem se desenvolvido grandemente, devido ao maior conhecimento desta técnica nos últimos tempos.



SOLDA SATISFATORIA

FIG.–XII-23

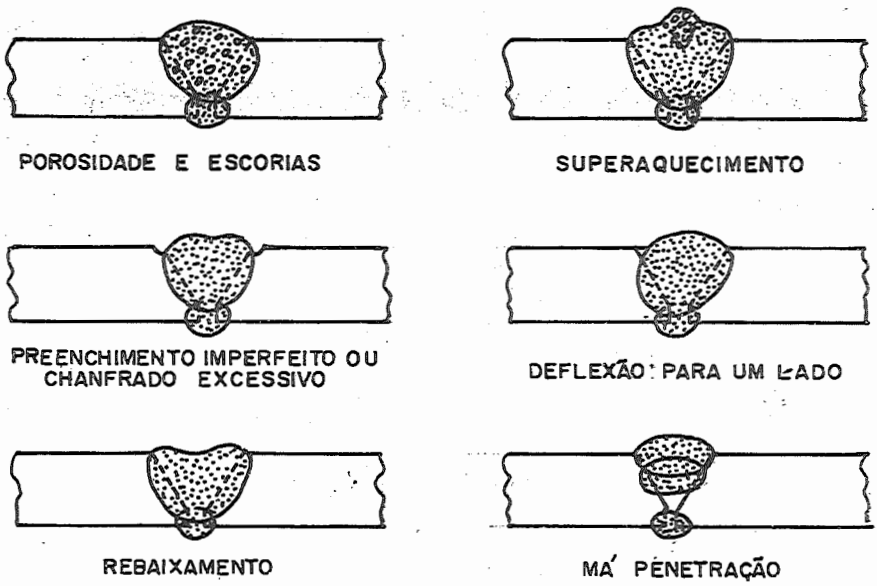


FIG.–XII-24

Assim, muitas peças que eram obtidas por forjamento ou fusão, hoje são, em grande parte, montadas com perfís soldados; bases de máquinas, suportes, bielas de prensas e outras máquinas. Em certos casos são forjadas peças em partes separadas,e

após, ligadas por meio da solda.

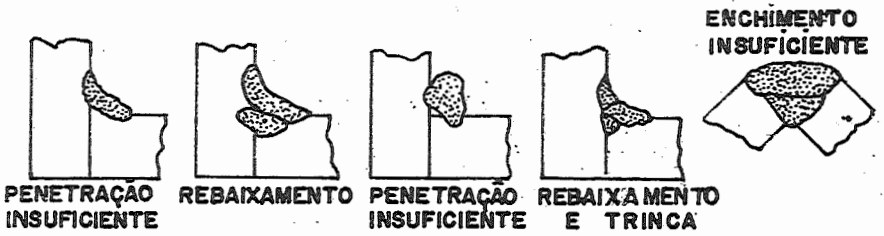


FIG.—XII—25

As estruturas soldadas substituem também em grande número as rebitadas, com economia de pêso, mão de obra e perfeição de vedamento, quando necessário: estruturas metálicas de prédios, aviões, pontes, fornos, caldeiras, reservatórios, uniões de trilhos, navios, etc..

A solda é ainda, o processo mais prático para obtenção de algumas utilidades: tanques de gasolina para veículos, tambores, evaporadores para geladeiras, radiadores, ligação das pastilhas de carbonetos obtidos por metalurgia do pó nos suportes metálicos de aço.

DADOS PARA SOLDA OXIACETILÊNICA DE METAIS FERROSOS

Metal	Ajustamento da chama	fluxo	eletrodo
Aço fundido	Neutra	não	Aço
Tubo de aço	Neutra	não	Aço
Chapa de aço	Neutra	não	Aço
Folha de aço	Neutra	não	Aço
	Levemente oxidante	sim	Bronze
Aços de alto C	Redutora	não	Aço
Aço manganês	Levemente oxidante	não	Metal com a composição - base
Aço cromo-silício	Neutra	não	Aço
Ferro pudlado	Neutra	não	Aço
Ferro galvanizado	Neutra	não	Aço
	Levemente oxidante	sim	Brónze
Ferro fundido cinzento	Neutra	sim	Ferro fundido
	Levemente oxidante	sim	Bronze
Ferro fundido maleável	Levemente oxidante	sim	Bronze
Tubos de ferro fundido cinzento	Neutra	sim	ferro fundido
	Levemente oxidante	sim	Bronze
Tubos de ferro fundido	Neutra	sim	Ferro fundido ou metal c/composição base
Cromo-níquel	Levemente oxidante	sim	Bronze
Aço cromo-níquel fundido	Neutra	sim	Aço cromo-níquel-metal de composição base 25 - 12
Aço cromo-níquel (18-8) e (25-12)	Neutra	sim	Aço inoxidável c/ colúmbio ou metal com composição base.
Aço ao cromo	Neutra	sim	Aço inoxidável c/ colúmbio ou metal c/ a composição base.
Ferro crômo	Neutra	sim	Aço inoxidável c/ colúmbio ou metal c/ a composição base.

Tabela XII - 2

****

Para posteriores estudos podem ser consultadas as seguintes obras:

BIBLIOGRAFIA

1.- A.S.M. Metals Handbook - 1948

2.- BROOKER - and BEATSON - Industrial Brazing.

3.- BURTON - Applied Metallurgy for Engineers.

4.- CHIAVERINI, V. - Curso de Metais.

5.- COLPAERT, H. - Macro e Micrografia aplicada aos

produtos siderúrgicos - Bol. nº 40 - I.P.T.

6.- Int. Nickel Co. Brazing and Soldering Nickel and High Nickel Alloys - Technical Bulletin nº T-34 - 1951.

7.- LAUGHER and HARGAN - Handbook of Fastening and Joining of Metal Parts.

8.- MONDOLFO e ZMESKAL - Engineering Metallurgy

9.- MOLLOY - Welding and Metal Cutting.

10- NARDO, J. B. de - Metalurgia Física.

11- ROSSI - Welding Engineering.

* * * *