

***PROCESSOS  
E VARIÁVEIS  
DE FUNDIÇÃO***

Sergio Mazzer Rossitti  
maio/1993



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

“ Fundição não é uma arte !

É um campo do conhecimento tecnológico, bastante complexo e com um grande numero de variáveis.

Exige pois, do fundidor, o saber e a sensibilidade de um artista ! “

**Sergio Mazzer Rossitti**  
**maio/93**



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## HISTÓRIA

Os objetos em metal mais antigos conhecidos até agora datam de 10.000 anos A.C. Eram pequenos enfeites feitos de cobre nativo e batidos no formato desejados. No período de 5.000 a 3.000 A.C. apareceram os primeiros trabalhos com cobre fundido sendo os moldes feitos de pedra lascada. Na seqüência inicia-se a Era do Bronze.

O processo de fundição de ferro tem lugar na china em 600 A.C., sendo que o processo de fundição em aço é bem mais recente, em 1740, atribuído a Benjamin Huntsman da Inglaterra.

Apesar do processo de fundição ser tão antigo, novas tecnologias continuam a surgir. A intenção neste trabalho é dar uma introdução aos métodos mais usados na fundição de ferro e aço e suas variáveis mais importantes.

## I – PROCESSOS

Dependendo das exigências de uma determinada peça fundida, quanto ao tamanho, acabamento superficial, precisão dimensional ou custo, haverá um determinado processo de fundição mais adequado.

Os processos mais comuns são os abaixo descritos, embora existam outros:

- a) fundição em areia sintética também chamada areia verde ou areia preta;
- b) fundição em areia cura-frio;
- c) fundição em areia Shell;
- d) fundição em cerâmica e
- e) fundição em cera perdida ( também conhecido como “ investment casting” ou microfusão )

A qualidade de um fundido com relação as características citadas anteriormente, cresce no sentido da areia sintética para a microfusão. Porém, o custo também cresce neste sentido e de forma bem acentuada. Além disto, para os processos Shell, cerâmica e micro existe um limitação quanto ao tamanho das peças (normalmente com peso abaixo de 20 kg).

Vamos nos concentrar nos processo de fundição que têm as variáveis em comum, isto é: moldagem em areia sintética, em areia cura frio e em areia shell. Os processo cerâmico e microfusão apresentam outras características que não serão aqui referenciadas.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## II – VARIÁVEIS

Vamos considerar somente algumas das variáveis em cada etapa do processo produtivo e de forma bastante superficial, porém com clareza suficiente para sentirmos o grau de complexidade envolvido na produção de peças fundidas.

### 1. MODELAÇÃO

#### – Material em que o modelo é construído:

- modelos em isopor
- modelos em madeira
- modelos em plástico (epóxi)
- modelos em metal (alumínio – ferro – bronze)

A qualidade e custo crescem em direção ao modelo em metal.

#### – Emplacamento do modelo:

- solto
  - placa única
  - placa dupla
- ↓ + custo e qualidade

#### 1.1 – Construção do modelo / caixa de macho:

- Contração a ser usada em cada parte do modelo, se não for a correta causará desvio dimensional (ferro ou aço?);
- divisão do modelo com relação às técnicas de moldagem;
- caixas de macho: exemplo para rotores – caixa macho monobloco de maior custo e qualidade ou caixa em setores de menor custo e qualidade;
- norma de tolerância para desvio dimensional de fundidos a ser utilizada;
- sobremetal para usinagem.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Preparação do modelo para a moldagem.

## 2 – PROJETO

O projeto de fundição é o conjunto de informações dispostas num desenho contendo os dados de numero e posição de massalotes e resfriadores, canais de vazamento, respiros, etc.

### **Massalotes:**

São reservatórios de metal líquido que irão compensar a contração do metal da peça quando da mudança do estado líquido para o sólido. Um massalote mal dimensionado irá causar um “rechupe” ou vazio de contração na peça.

### **Resfriadores:**

São peças metálicas que entrarão em contato com a superfície da peça, acelerando a solidificação naquela posição. São usados para direcionar a solidificação de forma a aumentar a eficiência dos massalotes.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

### Respiros:

São canais para saída do ar e dos gases de combustão da resina da areia durante o vazamento do metal no molde.

### Canais de vazamento:

São os dutos para levar o metal vindo da panela de vazamento até o interior do molde, que contém a cavidade que irá formar a peça fundida.

Os projetos de peças fundidas em aço são completamente diferentes dos projetos de peças fundidas em ferro, pela simples razão destas ligas terem uma contração de solidificação bastante diferentes.

**AÇO CONTRAE MUITO MAIS QUE FERRO**

**AÇO : ~ 2% Linear**  
**FERRO : ~ 1% Linear**

A razão disto é que no ferro fundido, durante a solidificação, têm-se a precipitação de grafita (baixa densidade) compensando parte da contração líquido/sólido.



Projeto de fundição feito com o auxílio do simulador de solidificação Magma.

### 3 – MOLDAGEM

#### 3.1 – Areias

- *Granulometria*: refere-se ao tamanho do grão de areia.

EX: 45/50 AFS	grossa	↓	-	acabamento
50/60 AFS	média			superficial
90/100 AFS	fina		+	

- *Permeabilidade*: refere-se à facilidade com que os gases passam pela areia

areia grossa	↑	+	saída
areia média			de
areia fina		-	gases

- *Perda ao fogo*: Medida de % de materiais voláteis na areia e relacionada com a resistência mecânica da areia.
- *Teor de Óxido de Ferro*: Responsável pelo aumento da resistência a quente da areia.
- *Teor de Umidade*: Na areia sintética, terá influencia na resistência mecânica da areia e da moldabilidade.

#### 3.2 – Resinas

É a responsável pela aglomeração dos grãos de areia, conferindo a resistência mecânica ao molde e macho.

- *Porcentagem de resina*: peso em relação às areias para macho e para moldes em processos de cura frio e Shell.
- *Resistência a frio*: resistência mecânica da areia aglomerada com resina em temperatura ambiente.
- *Tempo de Banca*: tempo em que se pode trabalhar com a areia após a mistura com a resina.
- *Tempo de cura*: tempo após o qual o modelo pode ser extraído.
- *Resistência a quente*: resistência mecânica da areia aglomerada com resina durante o preenchimento do molde com metal líquido.
- *Colapsibilidade*: facilidade com que a areia entra em colapso no início de solidificação do metal dentro do molde.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

### 3.3 – Tintas refratárias:

- densidade
- viscosidade
- evolução de bolhas na queima
- fixação
- refratariedade

### 3.4 – Luvas isolantes / exotérmicas:

Revestem o massalote para aumentar sua eficiência térmica.

- exotermia / isolamento
- grau de segurança (eficiência)

A foto a seguir ilustra a operação de moldagem



Moldagem: detalhe da colocação dos resfriadores, massalotes, respiros e canais de vazamento



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## 4 – MACHARIA:

Além das variáveis comuns à moldagem, na macharia temos uma preocupação a mais:

A TIRAGEM DOS GASES de queima da resina que aglomera o macho, pois durante o vazamento, o macho ficará quase completamente envolto em metal líquido, restando somente as porções referentes aos apoios (marcações) do macho no molde.

Uma falha nesta “respiração” pode causar evolução explosiva dos gases com conseqüente expulsão do metal líquido de dentro do molde. Com menor severidade haverá “sopros”, bolhas, para dentro da peça.

Observações:

**MACHO** é a denominação dada à PEÇA EM AREIA, que irá formar as partes INTERNAS (vazias) de uma peça fundida.

**MOLDE** é a denominação dada à PEÇA EM AREIA, que irá formar as partes EXTERNAS de uma peça fundida.

A foto a seguir ilustra a operação de macharia no instante em que um macho está sendo removido da caixa de macho.



Macho sendo retirado da caixa após cura da areia.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## 5 – FECHAMENTO / VAZAMENTO:

Nesta etapa, os machos serão colocados nos moldes e o conjunto será fechado para receber o metal líquido no “VAZAMENTO”.

Nesta etapa é fundamental o controle:

- do desencontro das partes que compõem o molde e os machos, o que acarretará um desvio dimensional nas peças;
- da limpeza dos moldes, para não haver inclusões de material estranho ao metal;
- da saída dos respiros do macho e do molde para não haver evolução de gases no interior do molde e conseqüentemente porosidade no metal.



O molde composto de duas partes para permitir o assentamento do macho em seu interior. Observar os cordões azuis que são os respiros para a saída dos gases de combustão da resina do macho.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## 6 – FUSÃO

Nesta etapa obtêm-se o METAL LIQUIDO que irá formar a peça. Para cada liga existe uma faixa de composição química permitida por norma; fora disto o material é sucitado.

O metal é obtido em fornos de indução eletromagnética a partir de uma mistura de sucatas, ferro-ligas e ligas metálicas de composição conhecida, e nesta etapa as variáveis são:

- composição da carga para se obter a análise química desejada;
- limpeza da sucata;
- correção da composição química do metal para dentro dos limites da norma;
- inoculação e nodularização do metal (para ferros fundidos);
- acerto da temperatura do metal liquido para vazamento na panela.



Foto do espectrômetro e analisador de nitrogênio e oxigênio para controle da composição química do material sendo produzido.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## 7 – VAZAMENTO:

O vazamento é a operação que compreende a transferência do metal líquido do forno de indução para o recipiente denominado “PANELA” que levará o metal até o molde.

Nesta etapa é fundamental o controle:

- da limpeza das panela de vazamento, para não haver inclusões de material refratário na peça;
- da temperatura do metal líquido a ser vazado: se for muito baixa, a peça sairá com falhas; se for muito alta, irá provocar sinterização de areia nas peças. Para os ferros varia de 1300 a 1500 °C e para aços de 1500 à 1700 °C;
- da velocidade de vazamento do metal líquido: se for muito baixa, provocará defeitos de expansão da areia devido à irradiação de calor do próprio metal preenchendo o molde; se for muito alta, provocará erosão na areia do molde e conseqüentemente grande número de inclusões de areia.



Transferência do metal líquido do forno para a panela de vazamento



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Instante do vazamento do metal da panela para o molde

## **8 – DESMOLDAGEM:**

Após a entrada e preenchimento do molde com o metal líquido, a peça irá solidificar e esfriar dentro da areia.

A operação da desmoldagem é a retirada da peça solidificada de dentro do molde em areia.

É importante que isto seja numa temperatura adequada e com manuseio cuidadoso . Por exemplo: uma peça quente em Ni-Hard se desmoldada ainda quente irá trincar pelo choque térmico com o ar ambiente; da mesma forma irá trincar se sofrer alguma batida durante o manuseio.

Nesta etapa, o número da corrida que estava marcado numa etiqueta metálica parcialmente imersa no canal de vazamento será puncionado na peça, permitindo a rastreabilidade da mesma a qualquer instante.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Quebra do molde de areia para a retirada da peça na desmoldagem.

## **9 – CORTE DE CANAIS E MASSALOTES:**

Nesta etapa são removidos os canais de vazamento e os massalotes.

A remoção pode ser realizada com corte por disco abrasivo quando o material não suportar gradientes térmicos elevados, ou por fusão localizada via arc-air como mostrado na foto a seguir.

São importantes

- Tratamento térmico prévio quando necessário;
- Linha de referência para corte;
- Cuidados para não danificar as identificações da peça;
- Identificação dos canais massalotes para o reaproveitamento posterior deste material.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Remoção do massalote com arc-air

## **10 – REBARBAÇÃO:**

Após o corte dos massalotes e canais de vazamento, estas áreas ficam com acabamento superficial irregular, necessitando uma operação complementar para a obtenção das dimensões originais do modelo.

Neste instante são removidas também as “rebarbas” de metal que não fazem parte da peça final.

Estas operações envolvem e dependem da habilidade do operador para garantir as dimensões desejadas na peça acabada.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Esmerilhamento das rebarbas metálicas e áreas de canais e massalotes.

## 11 – TRATAMENTO TERMICO:

Esta etapa, para os ferros fundidos não é normalmente necessária, porém se aplica à maioria dos aços.

Consiste em aquecer as peças até um determinada temperatura e resfriá-las com uma determinada velocidade.

Para cada liga existe um ciclo térmico específico. O resultado é uma mudança na estrutura interna do material melhorando suas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão.

São variáveis importantes:

- o tempo e a temperatura de cada etapa do ciclo térmico
- as velocidades de resfriamento
- a montagem da carga dentro do forno para não haver empenamentos ou gradientes térmicos.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



tratamento térmico de solubilização: a carga é retirada do forno de tratamento térmico e imediatamente colocada no tanque de água.

## **12 – INSPEÇÃO:**

Nesta etapa marcam-se os defeitos observados na peça durante os ensaios de inspeção visual, líquido penetrante e partícula magnética, ultra som ou radiografia que não atendem a norma especificada pelo cliente.

Estes defeitos são removidos e reparados por solda, para serem novamente inspecionados até atenderem os requisitos contratuais

Para que os defeitos relevantes sejam removidos das peças são importantes o treinamento, a perícia e a qualificação do inspetor, bem como a qualidade dos equipamentos usados.



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Vista geral do controle de qualidade: onde temos a elaboração dos relatórios de aprovação, inspeção visual/dimensional e realização do ensaio de Líquido Penetrante.

Além da inspeção das peças propriamente ditas, é feito também a inspeção do material quanto às propriedades físicas (dureza e ensaio de tração) e metalúrgicas (ensaio de metalografia, determinação da microestrutura) após o Tratamento Térmico e outros conforme o solicitado pelo cliente



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS



Equipamento para ensaios físicos do material: tração e dureza



Equipamento para a determinação da micro estrutura do material



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

### 13 – RECUPERAÇÃO:

Após a remoção dos defeitos observados na etapa anterior será feito a recuperação por solda ( os ferros fundidos NÃO permitem recuperação ) das peças. São importantes:

- o procedimento de soldagem;
- a qualificação dos soldadores;
- a qualidade dos eletrodos.

Nos casos necessários, após a recuperação far-se-á novamente um tratamento térmico para restaurar-se as propriedades anteriores à recuperação.



Reparo por solda com eletrodo revestido



**GRUPO METAL**

AÇO INOXIDÁVEL E LIGAS ESPECIAIS

## 14 – INSPEÇÃO FINAL:

Antes da liberação ao cliente, toda a documentação pertinente á qualidade e rastreabilidade da peça será comprovada através da checagem dos resultados da análise química do metal, das propriedades mecânicas (ensaios de tração, impacto, dureza, etc), do dimensional da peça (quando solicitado) e demais requisitos contratuais.

Estando tudo aprovado é emitido o certificado de qualidade e a peça estará à disposição do cliente.



Expedição: peças aprovadas aguardando a retirada do cliente.