

MEC  SEPS

Escola Técnica Federal de Ouro Preto



CONFORMAÇÃO MECÂNICA

(FUNDIÇÃO)

*Jamir B...
Ouro Preto*

PROFESSORES:
CÉSAR ROMANO QUINTAO
FERNANDES PINTO DE ALMEIDA

MEC - SEPS - ETFOP
DEPARTAMENTO DE PEDAGOGIA E APOIO DIDÁTICO
SETOR DE RECURSOS DIDÁTICOS

DISCIPLINA: CONFORMAÇÃO MECÂNICA

PROFESSORES: FERNANDES PINTO DE ALMEIDA/CÉSAR ROMANO QUINTÃO

FUNDIÇÃO

1. Introdução

O descobrimento e a manufatura dos metais remontam-se à pré-história. No correr dos séculos tem passado do forjado manual até os complexos processos atuais.

A fundição tem origem, provavelmente, na Mesopotâmia, no quinto milênio antes de Cristo. Daí a técnica de fundição difundiu-se, primeiramente, para a Ásia depois as técnicas tornaram-se conhecidas na Ásia Menor, Palestina, Egito, e, finalmente atingindo a Europa.

Os primeiros metais conhecidos e trabalhados pelo homem foram o OURO, COBRE, BRONZE e o FERRO. Todos esses metais marcaram importantes épocas no desenvolvimento da história da Metalurgia e da industrialização dos povos.

O grande e verdadeiro surto de indústrias de fundição deu-se na Inglaterra em 1794, com a invenção do forno Cubilô, sob a forma em que é hoje conhecido, por John Walkinson. Já em torno de 1800 numerosas peças, para todos os fins, eram fundidas em ferro e marcaram o ciclo de nossa Era Industrial.

2. Tipos de Conformação

Há várias maneiras de dar formação aos metais, sendo que os processos de conformação mecânica foram estabelecidos com base nas propriedades dos metais e/ou ligas e se classificam em:

2.1. FUNDIÇÃO - fluidez quando em estado líquido

2.2. LAMINAÇÃO

2.3. FORJAMENTO

2.4. EXTRUSÃO

2.5. TREFILAÇÃO

2.6. ESTAMPAGEM

Plasticidade, ductilidade, maleabilidade

2.7. METALURGIA DO PÓ - aglomeração em estado de pó

Através destes processos, a conformação mecânica visa dar a forma de utilização aos metais e, simultaneamente, desenvolver propriedades adequadas às suas aplicações específicas.

3. Definições

3.1. FUNDIÇÃO - é um processo de conformação do metal no estado líquido. Consiste em aquecer o metal até a sua fusão, deixando-o solidificar em um

molde refratário, cuja forma corresponde, em negativo, à peça desejada.

3.2. LAMINAÇÃO - Consiste em modificar (reduzir) a seção reta de uma barra metálica forçando sua passagem entre dois cilindros de aço ou de ferro fundido em condições adequadas de temperatura.

3.3. FORJAMENTO - Neste processo de conformação, a deformação se dá:

- a) Por impacto com martelo pneumático ou mecânico.
- b) Deformação progressiva com prensa hidráulica ou mecânica.

3.4. EXTRUSÃO - A conformação se verifica ao forçar a passagem do material, sob pressão, através de uma matriz, cujo perfil é idêntico à seção do produto que se deseja.

3.5. TREFILAÇÃO - O processo consiste em passar a barra, sob tração, através de uma matriz de diâmetro inferior ao da barra.

3.6. ESTAMPAGEM - Consiste na deformação a frio, principalmente, ou a quente nas quais se aplicam pressões nas duas faces.

3.7. METALURGIA DO PÓ - Vem a ser o setor da metalurgia que trata dos pós metálicos, muitas vezes associados a pós não metálicos ou eletricidade.

Estes processos consistem na redução dos metais ao estado pulverulento para, em seguida, submetê-los, a uma série de operações mecânicas e térmicas até a obtenção de peças com formas, dimensões e propriedades adequadas requeridas.

4. Vantagens do processo de Fundição

Cada um dos métodos de conformar apresenta suas peculiaridades que tornam a sua aplicação recomendável a determinados fins.

Assim, por exemplo, pelo método da laminação produz-se economicamente, em grande escala, barras, perfis, chapas de diversos metais; produtos de chapas são produzidos vantajosamente pelos processos de estampagem e conformação. Há casos em que uma mesma peça pode ser produzida por mais de um método de formar, sendo então necessário tomar em consideração as vantagens e desvantagens de cada um a fim de escolher criteriosamente o mais conveniente.

Vejam os quais os fatores que devem ser considerados na escolha do processo de fundição e quais as suas vantagens em relação aos demais métodos de formar metais.

4.1. Na prática, os vários métodos de formar metais utilizam como matérias prima produtos semi-acabados tais como: barras, chapas, perfis, tubos, arames ou pelo menos, lingotes fundidos. Raramente se produz uma peça sem que esta passa por mais de um dos métodos de formar mecanicamente o metal. Na fundição, a peça é obtida diretamente, vazando o metal líquido obtido a partir de matérias primas como gusa, sucatas, ou, eventualmente, minério.

4.2. Peças fundidas podem ser obtidas com contornos e formas internas e externas das mais complicadas, satisfazendo as exigências do produto e reduzindo ao mínimo as operações subsequentes de acabamento.

4.3. Quanto ao tamanho, produzem-se peças fundidas pesando desde poucas gramas e com dimensões praticamente ilimitadas sujeitas apenas às restri

ções das instalações disponíveis na fundição.

Consegue-se com a fundição grande economia no peso das peças em relação a outros processos devido à possibilidade de se fundir as mesmas com secções variáveis, de igual resistência, o que não é possível quando peças são formadas a partir de produtos planos.

4.4. O método de fundição adaptou-se otimamente à produção em série, podendo ser produzida rapidamente grandes quantidades de peças sem necessidade de investimento substanciais em máquinas, ferramentas ou matrizes exigidas nos demais processos. A prova disto está na aplicação crescente de peças fundidas na indústria automobilística.

4.5. Peças fundidas podem ser produzidas dentro de padrões variados quanto ao acabamento e às tolerâncias dimensionais.

4.6. No que se referem a usinagem final das peças, pode-se conseguir marcantes economias com a adoção do processo mais racional para a fundição de determinadas peças, conforme sua finalidade.

4.7. Tendo a possibilidade de se conseguir fundir peças nos mais diversos formatos, obtém-se, com desenho criterioso, peças fundidas de melhor aspecto, que valorizam sensivelmente o produto final.

Resumindo temos:

- Dentre os métodos de dar forma a metais, o processo de fundição proporciona o caminho mais curto entre a matéria prima e a peça acabada.

- Apresenta-se como o mais versátil, pois que permite produzir peças com pesos e formatos de mais variados dentre uma larga gama de propriedades metálicas.

Aliando-se os numerosos processos de fundição existentes às inúmeras ligas metalúrgicas que se aplicam a peças fundidas, conseguem-se soluções para grande maioria dos problemas relacionados com a produção de peças para fins mecânicos, industriais, de utilidades domésticas, artísticas e para outros fins.

5. Comparação entre peças fundidas e peças trabalhadas

- Na fundição o metal líquido é utilizado para preencher diretamente a cavidade que apresenta a forma, em negativo, da peças a fundir.

- Os metais trabalhados diferem dos fundidos pelo fato de que o metal líquido é primeiro vazado em lingoteiras para obter lingote ou, pelo processo de lingotamento contínuo, obtém-se placas para depois serem trabalhadas. Em consequência, os metais trabalhados apresentam fibras (estruturas orientadas), ou seja, distribuição direcional das inclusões. O que não ocorre nas peças fundidas, pois as inclusões se distribuem aleatoriamente.

6. Processos de obtenção de peças fundidas

Peças fundidas são obtidas, preenchendo de metal líquido (fundido) um molde refratário, cuja forma correspondente, em negativo, à da peça desejada. O processo de fundição de uma peça pode ser resumido, em essência, nas seguintes fases:

- 6.1. Projeto de fundição
- 6.2. Modelação
- 6.3. Moldagem
- 6.4. Macharia
- 6.5. Fusão
- 6.6. Vazamento
- 6.7. Desmoldagem
- 6.8. Rebarbação e limpeza

6.1. Projeto de Fundição: Pode ser considerada como a fase mais importante, pois, aqui ficam estabelecidos todo procedimento prático operacional e de métodos mais eficientes e econômicos na obtenção de uma peça fundida. São escolhidos, nesta fase, o processo de moldagem, o tipo de areia, a temperatura de vazamento, velocidade de fluxo metálico, tinta, tempo de permanência da peça no molde, etc. Pelo visto, podemos concluir que a fase requer conhecimentos termodinâmicos, de matemática, além de muita prática e, desta maneira, não será assunto de nosso curso.

6.2. Modelação: Neste setor são confeccionados os modelos que podem ser feitos de Madeira, Metal, Resina e, excepcionalmente, de Isopor. Também nesta fase é de suma importância conhecimentos generalizados sobre o assunto devendo ser considerados, na confecção do Modelo:

- a) Linha de apartação
- b) Saída do modelo
- c) Número de caixas de machos
- d) Contração do material, etc...

a) Linha de apartação:

Quando se trata de peças de forma complexas, a retirada do modelo da areia é dificultada pelas reentrâncias ou saliências e somente sendo possível com apartações adequadas.

b) Saída do modelo:

Apesar de convenientemente partido o modelo sem saída (certa conicidade nas faces "paralelas") sua retirada sem quebra, do molde, é impraticável.

c) Números de caixa de machos:

Quando necessárias, as caixas de macho devem ser em menor número possível, devendo ser constituído de uma base e com adoção de certos complementos, possibilitar a elaboração de maior número de machos.

d) Contração:

O modelo é executado com a forma de peça com as dimensões acrescidas da contração para ela prevista devido a solidificação e resfriamento, pois que em geral, os metais se contraem durante a solidificação. O valor a ser acrescentado varia de metal para metal e nas ligas, varia com a composição química conforme tabela abaixo:

Aço carbono	1,5 a 2,0%
Aço manganês	2,5 a 2,7%

Ferro Fundido Branco	1,3 a 2,7%
Ferro Fundido Cinzento	0,8 a 1,0%
Ferro Fundido Maleável	1,2 a 1,3%
Ferro Fundido Nodular	1,3 a 1,5%
Bronze	1,5%
Alumínio	1,4%
Cromo	2,3%
Magnésio	1,6%
Cobre	1,3%

Modelos quanto ao material

Quanto ao material de que são feitos, os modelos podem ser:

6.2.1. Modelo de Madeira: A madeira apresenta a vantagem de ser um material econômico, fácil de trabalhar e de pouco peso, apresentando porém o grave inconveniente de deformar-se com o tempo, a umidade e as mudanças de temperatura. Os modelos de madeira apesar de protegidos com uma capa de pintura especial, de modo a evitar a absorção de umidade de areia ou do ambiente e melhorar o seu acabamento, sofrem com o tempo grandes deformações, tornando muito difícil a manutenção de uma contínua exatidão das dimensões. Por esse motivo, quando se deve fundir uma grande série de peças, prefere-se sempre preparar modelos metálicos ou então produzidos com resina EPOXY para evitar esse grande inconveniente.

6.2.2. Modelos Metálicos são constituídos de ferro, latão e alumínio. Geralmente constrói, inicialmente, um modelo de madeira com ressaltos para mecanização, do qual se obtém, por fundição, o modelo metálico. Naturalmente, nestes casos tem que se prever a contração que será experimentada pelo modelo metálico obtido a partir do modelo original de madeira, pelo que os modelos de madeira deverão ser projetados com uma tolerância que compense as contrações produzidas na fundição do modelo metálico e posteriormente a que resulta ao fundir do aludido modelo metálico. Diz-se então que esses modelos são de dupla contração.

6.2.3. Modelos com resinas EPOXY: Há alguns anos estendeu-se muito o emprego de resinas EPOXY na preparação de modelos. Estas resinas são conhecidos sob vários nomes comerciais, segundo a sua procedência e com elas podemos obter modelos com um material leve, muito duro, resistente à abrasão, indeformável com a umidade e às variações de temperatura. Mais adiante no capítulo Moldagem, estudaremos a preparação de modelos com resinas.

6.3. Moldagem: Os moldes de areia podem ser obtidos por meio de areia natural, sintética ou preparada à base de mistura de areias naturais e outros ingredientes e, atualmente, está muito difundido o uso da moldagem chamada em Casca ou "Shell Moulding" a base de uma mistura de areia e resinas sintéticas especiais. Todos estes tipos de areia serão estudados com maior detalhe mais adiante.

Os moldes, quanto à sua utilização, podem ser classificados em:

*moldagem: é a fase de confecção de moldes, que consiste em compactar uma mistura homogênea de areia, de areia de moldagem ou compactação de areia em um modelo.
As areias podem ser: natural, sintética e semi-sintética*

6.3.1. Perdidos - areia ^(natural) _(artificial) ^(semi-artificial)
 - casca (shell molding)

6.3.2. Permanentes

6.3.3. Mistos (parte do molde é feita de areia e todo feito com metal (roda de irogaço paravão))

6.3.1. Moldes perdidos: quando o molde, de areia, é utilizado uma única vez.

6.3.2. Moldes permanentes: se o molde é metálico ou coquilha pode ser utilizado um grande número de vezes, recebendo o nome de molde permanente.

6.3.3. Moldes mistos: podemos moldar a parte anterior de uma peça em molde metálico ou coquilha e a parte inferior pode ser obtida por meio de um macho de areia; quando isso ocorre temos os moldes denominados mistos.

Os moldes de areia são moldados sobre modelo, o qual uma vez extraído, deixa uma cavidade que corresponde, em negativo, à peça a ser fundida.

Os moldes metálicos podem ser fundidos ou moldados por um outro processo.

Já o caso de reentrâncias da peça são formados pelos machos colocados no molde antes do seu fechamento para receber o metal.

6.4. Macharia: O macho pode ser definido como um corpo de areia endurecido por cozimento ou reações químicas de aglomerantes. Usado para reproduzir partes internas ou externas (depressões ou saliências) das peças, o macho é produzido no setor denominado Macharia e, como as demais áreas de processamento de peças fundidas, reveste-se de importância capital. Isto se verifica não só pela execução do macho propriamente dito, como também pela elaboração de moldes especiais (Macho Montando) para vazamento de peças de forma complexa, tais como, Blocos para motores de navio, Cabeçote e Bloco para compressores os quais devido à fragilidade de suas paredes utiliza-se daquela areia tendo em vista sua alta colapsibilidade, principalmente, quando se trata de areia ligada com óleo.

Ligantes para areias de Macho

Vários tipos de ligantes são usados para areias de macho:

a) Ligantes Orgânicos ^(óleo, melassa, etc.)

b) Ligantes Minerais ^(betão, cimento, silicatos de sódio, etc.)

Entre os primeiros (orgânicos) podemos destacar:

1. Óleo de linhaça (extraído da semente do linho)
2. Óleo de Oiticica (Extraído da semente da árvore de mesmo nome)
3. Óleo de Soja (extraído de uma variedade de feijão japonês)
4. Óleo de nozes (extraído do fruto da noqueira-Ásia)
5. Óleo de Tungue (extraído da semente de Tungue-árvore chinesa)

Quanto aos ligantes minerais, podemos citar:

1. Silicato de sódio/CO₂
2. Cimento
3. Resina cura a Frio
4. Resina cura a Quente
5. Bentonita

A areia de macho, convenientemente misturada, onde a ordem de adição de elementos aglomerantes deve obedecer a uma certa sequência, é utilizada para preencher caixas próprias. } Quase sempre os machos são providos de armações metálicas para aumentar-lhes a auto-sustentação e possibilitar a manipulação posterior. }

} Feito isto, os machos (ligantes orgânicos) são submetidos a cozimento a temperatura e tempo adequados, pois, quando muito cozidos entram em colapso antes do uso e, se pouco cozido, propiciam evolução excessiva de gás. }

6.5. Fusão: apesar de todos os setores trabalharem com um objetivo comum, ou seja, produzir peças, alguns são, aparentemente, estanques. É o caso da fusão que é a área onde se obtém o metal ou liga no estado líquido. Diversos equipamentos são usados para aquele fim e, dentre eles, citamos:

1. Forno de Cubilô
2. Forno Elétrico
 - a) Arco Direto
 - b) Arco Indireto (Detroit)
 - c) Arco Submerso
 - d) Indução
 - e) Resistência
3. Forno Revérbero
4. Forno de Cadinho

Fusão: é a fase de obtenção do metal ou ligas no estado líquido e para isso usa-se alguns fornos, tipos etc.

Todos são capazes de fundir metais ou ligas, entretanto alguns são melhores adaptados para um ou outro tipo de liga, não só, devido à sua constituição, revestimento refratário, bem como sua capacidade calorífica.

6.6. Vazamento: É o preenchimento do molde com metal líquido, } o que deve ser feito com certos cuidados, } pois, não raro, peças são perdidas quando esta fase não é executada a contento. }

Pronto o molde (estufado ou não) as caixas são fechadas e antes, se necessário, são colocados os machos.

} Um sistema de travamento mantém as caixas (fundo/camisa/tampa) fortemente unidos evitando a saída do metal pelas apartações do molde. Fundido o metal é colocado em painéis próprias, aquecidas e limpas sendo, em alguns casos, providos de sifão para evitar a entrada de escória na cavidade do molde, o que ocasionaria defeitos superficiais. }

As painéis cheias são levadas para área apropriada e tem-se o início do vazamento propriamente dito. Para isto as painéis possuem um sistema de basculamento, podendo ser inclinadas, quando suspensa, com relativa facilidade.

} Tendo iniciado o vazamento este não poderá ser interrompido até o preenchimento total do molde, devendo a velocidade do fluxo metálico ser o mais constante possível, } somente atenuando-se no final, para evitar impacto acentuado na tampa da caixa. Toda a operação deve ser executada no menor tempo possível, considerado o tipo de liga, o sobre-aquecimento da mesma, as características do molde, } etc.

6.7. Desmoldagem: É a quebra do molde (areia) para retirar a pe-

ca. Quando se trata de peças especiais, certas precauções devem ser tomadas pois, costuma-se fazer desmoldagem com pancadas e, em certos casos, dada a fragilidade das peças e mesmo armações metálicas que impedem o desmoldamento da areia, sucessivas batidas podem ocasionar o rompimento de parte das peças.

Outrossim, quando se trata de desmoldador mecânico (Debalador Vibrador) o risco é menos significativo.

6.8. Rebarbagem (limpeza): Neste setor as peças sofrem corte dos canais de ataque, massalote e mesmo de rebarbas. Ferramentas especiais auxiliam na execução daquelas tarefas e equipamentos próprios promovem a limpeza das peças com relativa facilidade.

Dentre esses equipamentos, podemos citar: Swing Table, Wheelabrator, Máquina de Jateamento e outros, *modelos, Roy, Bora.*

7. Areias de Moldagem

Introdução

A importância dos ensaios de controle de areia, reside na necessidade de se conhecer a qualidade de areia, devido sua influência sobre a qualidade da peça.

O molde de areia condiciona, dentro de limites mais amplos do que se supunha, a velocidade de resfriamento da peça, daí resultando poder um mesmo metal apresentar várias estruturas quando vazado em areias diferentes do ponto de vista tecnológico, *propriedades de cada areia e alumínio.*

Também a presença de elementos como o carbono, telúrio e alumínio, incorporados à areia, ou apenas faceando a superfície da cavidade interna do molde produz modificações químicas locais na peça fundida, fato que tem merecido a atenção da prática industrial moderna.

A vantagem do controle das areias de fundição se evidencia não só do ponto de vista técnico, mas também quanto ao aspecto econômico, quando comparamos o trabalho com homens horas necessário preparação de areia e manufatura dos moldes. O trabalho com a areia de fundição é, em média, cerca de 20 vezes maior do que o exigido para o preparo do metal.

Se em grande parte das fundições não se tem dado a devida importância ao controle de areias, é que tem sido sub-estimado seu papel na economia da produção. A análise das causas das perdas por defeitos em peças fundidas, mostrou que, a grande maioria delas, são direta ou indiretamente ^{devido} ao controle das areias de fundição (acima de 80% segundo Pat. Dwxer).

A economia de tempo na execução dos moldes e machos que se obtém com o uso de areia mais trabalhável e plástica, a limpeza das peças em menor tempo e com menor desgastes das ferramentas são outras considerações que devem ser levadas em conta.

7.1. Conceito de areia de moldagem

O conceito de areia de moldagem tem-se modificado bastante, com o passar do tempo, desde a época em que essa designação era aplicada apenas às terras de moldagem naturais.

Como início da utilização das areias sintéticas, o termo passou

a ser empregado para designar os materiais de moldagem à base de areia e aglomerantes com argila.

Designa-se areia de moldagem a um material heterogêneo constituído essencialmente de um elemento granular refratário, dito areia base (geralmente areia silicosa) e um elemento aglomerante; seja mineral (argila) ou orgânico (óleos, aglomerantes derivados de cereais, etc...) usado para a confecção de moldes monolíticos de fundição, designados mais comumente com "moldes refratários".

7.2. - Classificação das areias de moldagem critério de classificação:

7.2.1. Quanto à origem:

a) Areia natural: tem a peculiaridade de ser utilizada diretamente na moldagem de peças sem preparo especial, apenas adequadamente umidecida. *sem beneficiamento*

b) Areia sintética: obtida artificialmente, misturando os materiais base (areia silicosa e aglomerante) tomados isoladamente. Os materiais base, isto é, areia base, argila e aglomerantes orgânicos desempenham cada qual função específica na areia de moldagem sintética. Por exemplo, a argila é o elemento aglomerante, os aglomerantes orgânicos, como óleos e destрина, têm a virtude de comunicar propriedades especiais tais como alta resistência mecânica e desintegração pelo calor (colapsibilidade).

c) Areia semisintética: resulta de modificações introduzidas nas areias naturais por meio de adições que visam corrigir ou melhorar suas qualidades. Por adições entende a introdução, na areia de moldagem, dos materiais base de que ela apresenta deficiência em vista das suas propriedades. Por exemplo: uma areia de moldagem verde de pequena resistência requer uma adição de argila.

7.2.2. Quanto ao uso:

a) Areia nova: usada pela primeira vez na fundição

b) Areia usada: recuperada de fundições anteriores

7.2.3. Quanto à parte do molde em que é usada:

a) Areia de moldagem: constitui a parte do molde que forma a superfície externa da peça.

Consta de:

- Areia de faceamento - parte da areia que entra em contato com o metal.

- Areia do enchimento - parte que forma o restante do molde.

b) Areia de Macho: constitui as partes do molde denominadas machos que formam as cavidades internas das peças. Aqui também temos areia de enchimento e faceamento, convindo, entretanto, especificar que se trata de macho.

7.2.4. Quanto ao estado de umidade:

a) Areia verde: possui, no momento do vazamento, aproximadamente, o mesmo estado de umidade que tinha ao ser preparada, constitui os



chamados moldes verdes.

b) Areia secada ao ar: é empregada em moldes ou machos que sofrem, antes do vazamento, uma secagem ao ar, sendo que o molde apresenta menor umidade e maior dureza superficial.

c) Areia estufada: é empregada em moldes ou machos que são submetidos a uma secagem em estufa.

d) Barro: em estado bastante úmido para adquirir consistência pastosa, sendo usada em moldes de alvenaria ou torneados.

e) Areia secada à chama: empregada em moldes secados superficialmente com ajuda de chama ou ar aquecido.

7.2.5. Quanto à natureza do metal:

As temperaturas de vazamento dos diferentes metais, sua tensão superficial e atividade química são diversas e exigem diferentes requisitos do molde. Por exemplo, o alumínio é vazado a 675°C , ao passo que o aço é ao redor de 1.450°C .

Areia para metais ferrosos

- a) Para ferro fundido cinzento
- b) Para ferro fundido maleável
- c) Para aço carbono
- d) Para aço de alto teor com manganês

Areia para metais não ferrosos

- a) Para cobre e suas ligas
- b) Para níquel e suas ligas
- c) Para alumínio e suas ligas
- d) Para magnésio e suas ligas

7.2.6. Quanto ao tamanho e espessura média da peça:

Além da qualidade do metal, é importante o conteúdo térmico da massa e sua relação com a superfície de areia envolvente. O peso e espessura média da peça, são índices que relacionam de certa maneira a relação supra.

A prática aconselha a seguinte classificação empírica:

- a) Areia para peças pequena: até 30 Kg e espessura até 10 mm.
- b) Areia para peças médias: de 30 a 100 Kg e espessura de 10 a 25 mm.
- c) Areia para peças grandes: acima de 100 Kg, espessura de mais de 25 mm.

7.2.7. Quanto à granulação da Areia e Teor de Argila:

<u>CLASSE</u>	<u>MÓDULO DE FINURA DA AREIA</u>
nº 01	200 até 300 inclusive
nº 02	140 até 200 inclusive
nº 03	100 até 140 inclusive
nº 04	70 até 100 inclusive
nº 05	50 até 70 inclusive

S.M.

NAO

7.3.3. Dureza *Chama-se dureza a propriedade que resiste ao impacto e ao atrito do metal fundido no vazamento. Esse atrito tende a produzir erosão na superfície.*

O molde deve resistir ao impacto e ao atrito do metal fundido no vazamento. *Esse atrito tende a produzir erosão na superfície.*

Esta resistência superficial da areia de moldagem depende da dureza e da deformação da areia de moldagem.

7.3.4. Resistência *Chama-se resistência a capacidade que o molde possui de resistir a esforços mecânicos, como a força viva do metal fundido, etc.*

O molde deve ter certa resistência mecânica, compatível com o transporte, retirada do modelo, resistência ao peso e força viva do metal fundido, etc.

Como, geralmente, a resistência dos corpos de prova secos de areia de moldagem é maior que a resistência dos corpos de prova verdes, daí podemos fundir peças maiores em moldes secos.

Esta propriedade depende da resiliência da areia, que é dada pelo produto da resistência à compressão pela deformação.

7.3.5. Permeabilidade e Ventilação *Permeabilidade é a propriedade que a areia possui de deixar escapar os gases em vapor.*

Quando se vasa o metal líquido no molde, o ar que ocupa a cavidade do molde, bem como a água dissociada ou vaporizada tende a escapar através da areia. Essa propriedade da areia de se deixar atravessar pelos gases é denominada de permeabilidade. Os gases podem escapar também, seja através de canais feito propositalmente no molde (Canais de Ventilação ou Subida), seja pelo próprio canal de entrada (o que deve ser evitado). Geralmente o processo de evasão é simultâneo pelos vários modos.

7.3.6. Refratariedade da Areia de Moldagem *Chama-se refratariedade a propriedade que a areia possui de não sofrer fusão nem mesmo um amolecimento excessivo fazendo ceder a parede do molde sob pressão do metal.*

A areia não deve sofrer uma fusão nem mesmo um amolecimento excessivo fazendo ceder a parede do molde sob pressão do metal.

O ponto de início de amolecimento (sinterização) assinala um índice característico referente a esta propriedade. Um ligeiro amolecimento da parte superficial dos grãos ou do aglomerante que os liga é muitas vezes desejável por aumentar a resistência da areia o que atenua os efeitos de expansão no molde, resultando também em melhor acabamento da peça.

7.3.7. Variação Dimensional *Chama-se variação dimensional a alteração das dimensões das peças fundidas durante o processo de fundição.*

As partes do molde mais próxima da peça fundida, sujeitas ao calor durante longo período de tempo, sofrem fenômenos de variação de dimensões, primeiro dilatam-se, depois contraem, podendo daí decorrer defeitos nas peças fundidas, tais como rabo de rato, descascamentos ou crostas. Essa variação de volume pode, no entanto ser mantida dentro de certos limites toleráveis para uma fundição, são.

O controle desta propriedade é feito através do ensaio de expansão-contração também denominado ensaio dilatométrico.

7.3.8. Difusibilidade Térmica as transferências de calor nos moldes de fundição não se dão em regime permanente mas em regime transiente, pois a temperatura, em cada ponto do molde, está em constante variação. Portanto a propriedade do material que permite o estudo dessas transferências de calor é a condutividade térmica.

nº 06	40 até 50 inclusive
nº 07	30 até 40 inclusive
nº 08	20 até 30 inclusive
nº 09	15 até 20 inclusive
nº 10	10 até 15 inclusive

TEOR DE ARGILA(%)

A-	0,0 até 0,5 inclusive
B-	0,5 até 2,0 inclusive
C-	2,0 até 5,0 inclusive
D-	5,0 até 10,0 inclusive
E-	10,0 até 15,0 inclusive
F-	15,0 até 20,0 inclusive
G-	20,0 até 30,0 inclusive
H-	30,0 até 45,0 inclusive

Exemplo: Uma areia de moldagem de módulo 60 e contendo 8,0% de argila terá a classificação 5 - D

7.3. Características das areias relacionadas com as suas propriedades na moldagem

As propriedades exigidas de uma areia de fundição são:

- 7.3.1. Plasticidade e consistência
- 7.3.2. Moldabilidade
- 7.3.3. Dureza
- 7.3.4. Resistência
- 7.3.5. Permeabilidade e ventilação
- 7.3.6. Refratariedade
- 7.3.7. Variação dimensional
- 7.3.8. Difusibilidade Térmica
- 7.3.9. Inércia Química
- 7.3.10. Colapsibilidade

↓ SIM

7.3.1. Plasticidade e consistência

A plasticidade consiste na possibilidade de alteração de forma da areia, por meio de forças externas e retenção da forma uma vez cessada a aplicação dessas forças.

A plasticidade é medida pela deformação da areia, e a consistência pela resistência à compressão.

7.3.2. Moldabilidade

É a propriedade que a areia de moldagem tem de ser facilmente socável tomando a forma do modelo. Quanto a moldabilidade da areia não é boa, após a retirada do modelo, verificam-se defeitos no molde e os consertos tomam tempo. Esta propriedade pode requerer diferentes características da areia de moldagem conforme o processo da aplicação das forças externas: socamente normal, compressão e batida (máquinas de moldagem, etc.);

DATA: 30/07/00

Sapo

7.3.9. Inércia Química em relação ao metal líquido

Em princípio o material de moldagem não deve reagir com o metal ou com eventuais produtos de reação entre o metal e os gases presentes na cavidade do molde. O material de moldagem deve resistir à ação dos óxidos formados durante o vazamento.

O magnésio, por exemplo, é um metal altamente reativo, reage não apenas com o oxigênio mas tende a reduzir a maioria dos materiais de moldagem usuais, sendo que para a sua fundição e de suas ligas, exige-se a presença de inibidores do material de moldagem.

7.3.10. Colapsibilidade

É a qualidade que deve ter o molde de ceder sob o esforço a que é submetido pela peça que se contrai ao se solidificar. Se o molde não for colapsível poderá ocorrer o rompimento da peça e formação das "trincas à quente". A colapsibilidade é portanto inversamente proporcional à resistência quando submetido às temperaturas impostas pelas condições de vazamento. Entretanto, as paredes do molde não devem ceder sob os esforços devido aos impactos e empuxo, exercidos pela massa de metal que enche o molde.

8. Composição das areias de moldagem

Os materiais de moldagem podem ser divididos em:

8.1. Material base: Areia Base (Silicosa; Cromita; Zircônia)

8.2. Materiais de adição - Argila, ligantes orgânicos, silicato de sódio, etc.

9. Características de uma areia base

Areia Base: é um elemento granular e refratário, sendo que o de natureza silicosa é o mais comumente usado, para compor uma areia de moldagem. Além de areia silicosa ou areia comum, usam-se areias especiais aluminosa, zirconítica, cromítica e outras.

Numa areia base devemos considerar as seguintes características:

- 9.1. Granulometria - a) Tamanho dos grãos
b) Distribuição granulométrica
c) Percentagem de finos
- 9.2. Teor de argila (AFS)
- 9.3. Pureza
- 9.4. Forma dos grãos
- 9.5. Integridade dos grãos
- 9.6. Refratariedade de Areia Base
- 9.7. Permeabilidade base
- 9.8. Expansabilidade

9.1. Granulometria

a) Tamanho dos grãos - é um dos fatores de maior importância. Sabe-se que quanto mais fina a areia base empregada, tanto melhor será o acabamento da peça. Por outro lado quanto mais grossa a areia base empregada tanto mais elevada será a permeabilidade do molde.

25 diâmetros. Procura-se a presença de minerais estranhos e de película de óxido aderente. Os minerais nocivos são os de baixo ponto de fusão que, em altas temperaturas se fundem e aglutinam os grãos de sílica entre si. Alguns desses minerais são: turmalina, ilmenita, hematita, calcita e feldspato. A mica não prejudica a refratariedade mas apenas a coesão.

Deve-se adotar como limite um máximo de 3% de impurezas. A película de óxido de ferro que envolve a areia só é nociva quando ultrapassa 2%. A impregnação do NaCl nas areias da praia não é prejudicial, sendo às vezes aconselhada a adição de NaCl. As impurezas orgânicas são nocivas por baixarem a coesão da areia. A análise química auxilia a avaliação do grau de pureza.

IMPORTÂNCIA DO ESTUDO GRANULOMÉTRICO

O defeito de "penetração" é típico em uma areia de granulometria grosseira. O metal líquido penetra entre os grãos de areia e ao solidificar parte dessa areia fica aderida à superfície. Essa penetração é tanto maior quanto menor for a tensão superficial. Entretanto, tensão superficial elevada permite que se use areia grossa sem penetração e com um acabamento razoável. Esse mesmo defeito pode provir também, do ataque químico do metal sobre a areia.

Isto ocorre nas peças de aço de baixo teor de carbono vazadas em molde pintado com tinta a base de grafita. Há uma absorção do carbono da tinta pelo metal. Caso inverso ocorre com peças de aço de alto teor em manganês vazadas em molde de areia silicosa. Há reação da sílica, absovendo manganês da liga. Essas reações provocam vazios e a conseqüente penetração.

Quando uma areia contém alto teor de finos, esses finos podem se sintetizar em torno dos grãos maiores e os espaços abertos dão margem à penetração. O teor excessivo de aglomerantes faz com que os grãos se agrupem em torrões deixando vazios entre esses torrões provocando penetração. A areia socada mole dá também, pelo motivo já citado, origem à penetração.

Outros defeitos, provenientes da expansão:

- a) Descascamento (expansão e contração)
- b) Rabo de rato (expansão)
- c) Crosta (expansão e contração)

a) Descascamento: É o defeito causado por expansão seguida de contração. Parte da areia solta do conjunto e há um crescimento na superfície da peça.

b) Rabo de rato: Com a expansão há rachaduras no molde e o metal entra nessas rachaduras produzindo uma saliência chamada rabo de rato.

c) Quando, por efeito da acentuada expansão e contração, uma parte da areia se solta e vem se colocar na superfície da peça em outro local, temos a Crosta.

9.4. Forma dos grãos

Quanto à forma dos grãos as areias podem ser:

- a) De grãos angulares
- b) De grãos sub-angulares
- c) De grãos redondos

d) De grãos agrupados

A distinção do aspecto é feita por observação ao microscópio com aumento de 25 de diâmetros.

a) Os grãos angulares são usados em areias de machos por produzirem maior permeabilidade para um dado grau de socamento. Quando muito socado a permeabilidade cai acentuadamente. É o tipo de grão comum nas areias naturais especialmente usadas para os não ferrosos.

b) Os grãos sub-angulares são os mais usados nas areias de faceamento sintético.

c) Os grãos redondos apresentam menos contato uns com os outros. A permeabilidade não cai muito com a socagem excessiva. As areias apresentam menor resistência devido a não haver grande entrelaçamento entre os grãos.

d) Os grãos agrupados apresentam-se aglutinados por um cimento natural. Geralmente, de baixa resistência os grãos tendem a se separar durante o socamento. Não se apresentam, assim, cobertos uniformemente pelo aglutinante argiloso que se adicionou à areia base.

Esse tipo de grão não deve ser usado.

9.5. Integridade dos grãos

Os grãos fraturados ou que apresentam plano de deslizamento são desaconselhadas pelos motivos já expostos para o caso dos grãos agrupados.

9.6. Refratariedade de areia base

A refratariedade da areia base deve se aproximar da temperatura de fusão do metal.

Especialmente no caso dos grãos redondos, a refratariedade acima da temperatura de vazamento é um inconveniente por favorecer a expansão.

9.7. Permeabilidade Base

A permeabilidade base deve ser tal que permita a ventilação indicada para a areia de moldação. No caso de machos soprados a permeabilidade deve ser elevada de modo a permitir a saída do ar e do possível enchimento das caixas.

9.8. Expansibilidade

As areias que, aquecidas ao vermelho cereja (600°C), fraturam grande parte dos seus grãos têm alta expansibilidade.

10. Preparo das Areias de Moldagem

O preparo das mistruas é feito em misturadores especiais cujas principais funções são as seguintes:

- 10.1 Misturar homoganeamente areia, argila, água e outros aditivos.
- 10.2 Friccionar a argila úmida entre os grãos de areia, de modo a dividir e distribuir suas partículas, para desenvolver ao máximo as propriedades aglomerantes.

Uma areia de moldagem, ao ser preparada, exige uma certa quantidade de energia para que a argila desenvolva suas propriedades aglomerantes. Após a fundição o calor do metal provocará secagem, ao menos parcial, dessa areia e a quantidade de água removida depende da parte e da geometria da pe-

Ob.: Após o vazamento, o calor do metal retira a umidade da areia e a argila volta a ser um pó, e este se na condição ligante.

ça fundida e da temperatura do vazamento do metal. A argila volta a ser um pó e perde a capacidade de ligar os grãos de areia.

11. Moldagem

De maneira genérica, pode-se definir o método de moldagem em areia como sendo uma operação de compactação de uma mistura plástica refratária (a base de areia) em torno de um modelo cuja forma e dimensões obedecem substancialmente às da peça (observadas as tolerâncias de contração) de modo a se obter uma réplica "fiel" em negativo da peça a ser fundida.

Os moldes em areia podem ser executados:

11.1. Manualmente

11.2. Mecanicamente

O método de moldagem consiste de duas operações básicas:

11.3. Compactação (sòcamento), e de ^{Secamento} _{compressão}

11.4. Manuseio do molde durante a moldagem. ^{Set no e Jato}

A compactação se efetua pelo trabalho de socamento ou compressão da areia do molde, o que precisa ser manuseado durante a moldagem para extração do modelo, inversão, fechamento, etc... a fim de que se possa ser vazado o metal fundido.

Na moldagem manual, em bancada ou no chão, todas as operações de compactação e manuseio são efetuadas manualmente, salvo no caso de grandes moldes que requerem talha ou pontes rolantes para serem manobrados.

Na moldagem mecânica, porém, essas operações são efetuadas em parte ou "in totum" por dispositivos mecânicos.

Manuseio consiste na extração do modelo, inversão da caixa, fechamento. As operações executadas normalmente, salvo no caso de grandes moldes, e feita por uma certa altura, talha...

12. Processos de Moldagem

Os processos de moldagem, normalmente usados, podem ser agrupados e classificados como seguem:

- 12.1. Moldagem em areia verde
- 12.2. Moldagem em areia seca ou em Moldes Estufados
- 12.3. Moldagem em areia-cimento
- 12.4. Moldagem em areia de macho (ou óleo)
- 12.5. Moldagem pelo processo CO₂ /silicato de sódio
- 12.6. Moldagem em casca (Shell Molding)
- 12.7. Processo de investimento
- 12.8. Fundição em moldes permanentes
- 12.9. Fundição em moldes semi-permanente
- 12.10. Fundição por centrifugação

Além dos processos básicos acima enumerados, utilizam-se variantes que deles aliam em parte as vantagens e, ainda, atendem a condições especiais. Cada processo apresenta vantagens e limitações no seu emprego; sua escolha deve atender a todos os fatores específicos que entram na produção de determinada peça.

12.1. Moldagem em areia verde

- a) Característica: A areia dita a verde possui, no momento

do vazamento, aproximadamente, o mesmo teor de umidade que tinha ao ser preparada.

É o processo mais conhecido e mais largamente empregado na fundição. É preferido por motivos de economia e pelo fato de permitir a produção de peças de qualidades na maioria dos metais, tanto ferrosos, como não ferrosos, e de se prestar bem à produção em série.

O "molde verde" tal como executado normalmente, está sujeito a uma série de restrições quanto às suas propriedades, limitando sua aplicação à produção de peças pequenas ou médias. Para peças grandes, pesando várias toneladas em que se tornam mais regiosas as especificações quanto ao seu acabamento tolerâncias dimensionais, outros processos de moldagem são mais indicados.

Por outro lado, a colapsibilidade da areia verde favorece o seu emprego para a produção de peças complicadas, pois facilita sua desmoldagem e limpeza após fundição e reduz o risco de rupturas a quente durante sua solidificação.

Quando aplicado à produção em série, o processo de areia verde presta-se otimamente a uma perfeita sincronização entre a operação de moldagem e a fusão do metal, mesmo em fundições de grande produção principalmente devido ao fato dos moldados serem vazados sem preparo ulterior. Em virtude de suas vantagens intrínsecas o processo de moldagem a verde é o que mais tem progredido; vem substituindo outros mais dispendiosos mesmo para atender a produção de peças sujeitas a especificações rigorosas. Uma inovação neste sentido é o processo de moldagem sob alta pressão, no qual se utilizam areias sem adição de água. Este processo vem merecendo grande interesse pelo fato de se prestar à produção de peças de precisão.

Variantes deste processo são os de moldes ao ser submetidos a secagem superficial, nos quais se visa eliminar, em parte, a umidade superficial dos moldes e aumentar a sua rigidez.

A secagem superficial (por meio de queimadores a gás ou por infra-vermelho) é empregado também nas produções em grande escala como em indústrias automobilísticas, por se adaptar a processos contínuos de moldagem. Estes processos reduzem a evolução de gases de molde e reduzem grandemente a erosão pelo metal líquido, pelo que são indicados para a produção de peças médias ou pesadas. Tais moldes devem ser vazados logo após a secagem para evitar infiltração da umidade do resto do molde, para moldes secos no ar é preciso adicionar aglomerantes orgânicos à areia, a fim de obter a resistência necessária na superfície do molde. Com a adição de líquidos voláteis tal com álcool em substituição de parte da água de mistura pode-se secar os moldes superficialmente pela ignição desses voláteis na superfície do molde antes de seu fechamento.

b) Vantagens

1) O processo a verde é o mais econômico e mais simples de aplicar pois que:

- Requer apenas equipamentos mínimo de moldagem
- A areia pode ser natural ou sintética facilmente recuperável e exigindo o mí-

nimo de aditivos.

- Moldes são vazados sem preparação ulterior (posterior)
- A moldagem pode ser feita em bolo, isto é, moldes vazados sem caixa de moldar o que torna o processo simples e econômico.
- A confecção dos moldes pode ser feita por diversos métodos conforme o tipo da peça e conveniência do método de produção adotada.

2) O processo a verde presta-se otimamente ^{à produção,} em grande escala devido à facilidade de sincronização entre as operações de moldagem e de vazamento do metal.

3) Quando necessário, moldes a verde podem ser submetidos a secagem ao ar ou secagem superficial com pequenas modificações da técnica de preparo de areias e sem interromper a sincronização do funcionamento de uma fundição mecanizada.

4) Moldes a verde, pela sua colapsibilidade, são facilmente desmoldados. Esta propriedade também reduz os riscos de ruptura e trincas de peças a quente devido às contrações do resfriamento.

5) As novas técnicas de composição e preparo de areias, aliados aos novos métodos de moldagem a alta pressão, permitem obter, pelo processo a verde, peças de precisão em dimensões e peso e em acabamento comparáveis aos de outros processos mais caros.

c) Limitações (ou desvantagens)

1) O processo a verde não é aconselhável a peças de grandes porte para as quais se recomendam outros processos de moldagem mais adequados.

2) Peças fundidas pelo processo, como é aplicado comumente, são inferiores em acabamento e nas tolerâncias dimensionais e do peso às de outros processos mais caros.

3) Para certas aplicações, nas quais a umidade de areia é indesejável, precisa usar o processo areia verde "sem água" ou recorrer a outros processos.

A) Moldagem a alta pressão

As compactações em pressões elevadas levaram a rever os conceitos básicos referentes às areias de moldagem e ao desenvolvimento de novos tipos de máquinas de moldar.

Classificação quanto a pressão aplicadas sobre o molde:

1. Pressão Normal - até 5,6 kgf/cm²
2. Pressão Alta - de 7 a 10 kgf/cm²
3. Pressão intermediária entre alta e altíssima - até 28 kgf/cm²
4. Pressão altíssima - acima de 140 kgf/cm²

Já são utilizadas, em escala de produção, pressões de 154kgf/cm² e os modelos empregados são de aço cementado.

B) Moldagem a altíssima pressão

Moldagem a altíssima pressão, em escala industrial, já é uma realidade na usina KREMENCHUG (URSS). Produção de até 400 moldes/horário é obtida em prensas automáticas que desenvolvem pressões além de 2200 psi (154kgf/cm²)

*Na Rússia: máquina produz - 400 moldes/h
a pressão - 2200 psi (154kg)
Área do modelo - 650 cm²*

*altura - 4'
material do modelo - Aço*

Observações: Quando se tratar de peças muito pesada utiliza-se também o processo de moldagem em "Barro" (LOAM-MOLDING) no qual se executa o molde aplicando, sobre um núcleo de alvenaria de tijolos, o "Barro"(LOAM), isto é, uma mistura de areias e argila bem plástica, contendo materiais orgânicos inertes (celulose).

A face do molde é trabalhada por um modelo de perfis especiais (chapelonas ou chamblones) até tomar a forma e dimensões correspondentes à peça a ser fundida. O molde é então secado por meio de secadores portáteis como no caso de moldes a seco. Para garantir a colapsidade necessária a fim de evitar rupturas em consequência da contração durante a solidificação da peça, lança-se mão de um artifício mecânico de favorecer a colapsidade da alvenaria.

Outro processo aplicado para a mesma finalidade é o de moldagem em "Chamote" ou "Campo". O processo de "chamote", bastante difundido na Europa para moldagem de grandes peças, utilizando-se como material de moldagem misturas na base de argilas refratárias sílico-aluminosas calcinadas, como tijolo refratário (sílico-aluminoso) moído, aos quais se adiciona argila refratária plástica. Introduce-se também na mistura areia a fim de se conseguir um molde mais compacto.

O "campo", utilizado principalmente na Inglaterra, é aplicado sob a forma de mistura bem plástica de tijolo refratário usado e de chamote calcinado (grog) moídos, argilas refratária plástica, de pó de grafita e água. Peças grandes são moldadas geralmente nesses materiais em grandes poços, sendo os moldes cuidadosamente pintados com tintas refratárias e impermeáveis ao metal, e secados a temperaturas elevadas, de ordem de 500°C, a fim de eliminar, em parte, também a água de constituição da mistura, na face do molde.

12.3. Moldagem em areia cimento

a) Característica: o processo de areia-cimento (também conhecido sob a denominação de "Processo Randupson", desenvolvido na Inglaterra) emprega uma mistura de areia silicosa lavada, cimento Portland (10%) e água (5%).

b) Vantagens: É utilizado para moldagem de peças grandes. Apresenta alta resistência a seco, o que facilita o seu manuseio e os torna apropriados para a moldagem de peças grandes. Dispensa calor e equipamento para secagem dos moldes. A secagem é feita ao ar.

c) As desvantagens deste processo reside no elevado custo da mistura; pela impossibilidade de sua recuperação; ^{na} deficiente colapsibilidade, que muito dificulta a desmoldagem das peças.

12.4. Moldagem em areia de macho

a) Característica: Neste processo é empregada a areia de macho à base do óleo de macho, de linhaça ou outros secativos, com adições de elementos orgânicos e bentonitas de acordo com a composição da liga a ser fundida e de tamanho da peça.

b) Vantagens: O processo de moldagem em areia de macho presta-se otimamente à moldagem de peças complicadas, difíceis de serem moldadas em areia comum, as quais podem ser produzidas com boa precisão dimensional devido à rigidez adquirida pelo molde após a secagem.

O acabamento pode ser dos melhores pois os moldes podem ser pintados conforme o acabamento desejado para a peça.

A boa fluxibilidade da areia de macho facilita a sua conformação a modelos complicados.

Como exemplo de peças moldadas em areia de macho, temos os corpos de compressores resfriados a ar, nos quais as aletas de resfriamento e as pequenas espessuras de parede tornam difícil a moldagem pelos processos convencionais.

A rigidez adquirida pela areia a óleo, após a cura (cozimento), permite confeccionar machos que, incorporados às marcações do molde, formarão furos e cavidades nas peças.

A areia do macho também é utilizada para partes críticas de moldes grandes, cujos detalhes são constituídos de seções e montados na cavidade do molde.

c) Desvantagens: - Necessita-se equipamento para secagem, cuja temperatura deve oscilar entre 150 e 250°C.

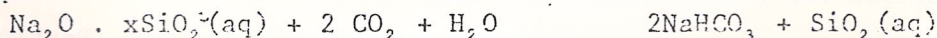
- Requer adição de aglutinantes orgânicos e minerais.

- O tempo e temperatura de estufagem devem ser controlados com rigor.

12.5. Moldagem pelo processo CO₂

a) Característica: A areia usada consiste essencialmente numa mistura de areia lavada e de aglomerante na base de silicato de sódio.

A mistura é feita tal como para areia verde, processando-se a moldagem também de maneira idêntica. Terminando o molde submete-se ao tratamento com CO₂, provocando-se a passagem de uma corrente do gás através do molde. O CO₂, reagindo com o silicato de sódio, produz sílica gel, carbonato de sódio e água.



b) Vantagens:

A passagem da corrente de CO₂ propicia o endurecimento do molde em curto espaço de tempo (Reação química).

A alta resistência do molde que se consegue com tal processo torna-o recomendado para ser usado em substituição a moldes de areia seca ou areia-cimento.

Apresenta a vantagem de dispensar instalações de secagem. Há casos em que há conveniência em secar, em estufa, moldes para eliminar a umidade que poderia prejudicar as peças fundidas. A precisão dimensional que se consegue com o processo CO₂ é boa, e bom acabamento devido a possibilidade de pintar com tinta a Alcool.

c) Desvantagens: Pelo fato da areia CO₂ não ser recondiçãoável e ser de difícil recuperação e o custo de CO₂ tornam o processo caro.

Pode-se contornar esses problemas, com o recurso de utilizar a areia CO₂ somente para faceamento ou para certas partes críticas dos moldes.

- Necessita-se instalações específicas (Tanque, tubulações, etc).

- Baixa colapsidade o que pode ser corrigido com adição de colapsibilizante (Melaço).

12.6. Moldagem em casca (Shell Molding)

Este processo é originário da Alemanha sob a denominação de "Processo Croning" ou processo C. Nos Estados Unidos, sob o nome de "Shell Molding", foi desenvolvido durante a 2ª Guerra Mundial e introduzido em torno de 1940.

Fundição em casca é um processo no qual o molde é formado a partir de uma mistura de areia e uma resina termo-estável como aglomerante a qual é colocada sobre um modelo metálico aquecido.

Quando a mistura for aquecida desta maneira, a resina pura provoca a aglomeração dos grãos de areia entre si, formando uma casca rígida que constitui meia parte do molde. Após ter sido curada e extraída do modelo os machos requeridos são posicionados, as metades dos moldes são ligadas, colocadas em uma caixa suporte onde é adicionado material de apoio, o molde está pronto para ser vazado.

Devido à pequena espessura da casca (desde 5mm), pode-se utilizar areias de módulo de finura elevado, sem prejudicar a permeabilidade, o que permite acabamentos excelentes para as peças fundidas por esse processo.

Também a resistência específica da casca sendo muito elevada, a rigidez daí decorrente permite manter precisões rigorosas no que se refere às dimensões das peças.

A conjugação destes fatores permite produzir, por esse processo, peças que podem dispensar total ou parcialmente a usinagem.

Se, por um lado, as referidas vantagens tornam o processo de moldagem em casca muito atraente, é preciso atentar para certas desvantagens que o tornam caro ou que limitam o seu emprego.

As principais vantagens desse processo são:

- 1) Possibilita precisão dimensional rigorosa; os machos e moldes curam em contato com o próprio modelo.
- 2) O uso de estufa se torna uma possibilidade remota, pois na maioria dos casos, não há necessidade de estufagem posterior.
- 3) Utilizar areia de Módulo de Finura alto sem afetar a permeabilidade.
- 4) Produzir peças que dispensam parcial ou totalmente a usinagem.

As principais desvantagens são:

- 1) Só adaptável a moldes e machos de pequeno porte, (em torno de 100kg/150kg), devido principalmente, a fatores relacionados aos custos de equipamentos e de produção.
- 2) Elevado custo de resina aglomerante.
- 3) Há necessidade de mais equipamentos e acessórios para controle.
- 4) As contrações variam de acordo com a prática de fundição.

12.7. Fundição de investimentos ou de precisão

Antigamente esse processo era denominado de "cera perdida". Esse processo permite grande precisão dimensional e reprodutividade de detalhes. É de aplicação quase nula no caso de ligas de cobre, alumínio, magnésio e zinco.

No entanto, tem sido aplicada com vantagens na produção de pequenas peças de ligas de alta resistência, como pás de turbinas a vapor por exemplo.

O processo consiste, em essência, na produção de modelos de precisão, geralmente, em cera ou em plástico (termo-plástico) que são "investidos" em uma lama (slurry) de matérias refratárias tais como: gesso, pó de sílica, pó de zircônio, pó de chamote. O molde é então submetido a aquecimento, fundindo-se primeiro o modelo, resultando a cavidade do molde. A secagem é terminada a temperatura mais elevada, atingindo 650 a 1000°C para queima final do material do modelo e eliminação total da umidade.

12.8. Fundição em moldes permanentes

A expressão molde permanente (ou coquilha) é aplicada a moldes que podem ser utilizados numerosas vezes na fundição de determinada peça sem que ocorra destruição do molde ou modificação sensível nas dimensões ou detalhes da peça. Geralmente são feitos de aço, ferro fundido ou bronze. Esses moldes são acabados em sua forma definitiva por usinagem, a partir do esboço fundido, blocos ou chapas de ferro ou aço. São geralmente, denominados coquilhas, daí a expressão fundição em coquilha.

12.9. Fundição em moldes semi-permanentes

Geralmente são empregados, nesse tipo de fundição moldes que podem ser utilizados mais de uma vez. Materiais para moldes semi-permanentes são os seguintes: grafita, cerâmica refratária cozida, gesso, vidro, esmalte porcelanizado (frita), borracha.

a) Grafita: fácil de usinar, o molde de grafita pode ser feito a partir do bloco desse material. Aplicação recente de moldes de grafita é no processo de fundição de rodas ferroviárias sob pressão.

b) Cerâmica refratária cozida: empregada na fundição de moldes para pneumáticos, moldes cerâmicos tem aí sua aplicação típica.

c) Gesso: empregado, principalmente, na fundição de estatuária, o processo de fundição a gesso encontra hoje aplicado na fundição de peças de certos metais não ferrosos. Permite bom acabamento e precisão de medidas.

Para contornar o problema de baixa permeabilidade dos moldes de gesso surgiram diversos variantes, entre eles se destaca o "Processo Bean" ou, também chamado "Processo Antioch" que consiste em submeter os moldes de gesso a tratamento em autoclave, com vapor a temperaturas elevadas afim de se provocar a ocorrência de porosidade com consequente aumento da permeabilidade dos mesmos.

d) Vidro: tem emprego limitado para fundição de ligas de baixo ponto de fusão e para pequenas peças de alumínio. Permite bom acabamento das peças, porém com o inconveniente da fragilidade do molde.

b) Esmalte porcelanizado: pode ser feito aplicando esmalte sobre chapas estampadas com a forma da peça a ser produzida ou aplicação do esmalte sobre moldes metálicos permanentes.

f) Borracha: os moldes de borracha são aplicados para pequenas peças de metal de baixo ponto de fusão, tais como chumbo e ligas de estanho.

12.10. Fundição por centrifugação

É aquela fundição em que o metal é vazado em molde em movimento de rotação. O eixo de rotação pode passar peça peça ou pode ser externo

a ela. Durante o vazamento o metal é solicitado pela força centrífuga sendo projetado sobre as paredes do molde girante, com força tanto maior quanto for o seu peso específico, a velocidade da rotação e o raio de giração.

Na fundição o eixo de rotação pode ser horizontal ou vertical. O 1º caso é o mais empregado para produtos tubulares (grande comprimento em relação do diâmetro), enquanto que o segundo, para peças de diâmetro relativamente grande em relação a altura, e também para peças centrifugadas, isto é, que se encontram fora do eixo de rotação.

A centrifugação permite a obtenção de texturas compactas homogêneas. É bastante utilizada na produção de peças em ligas de cobre, ligas de alumínio, ferro fundido cinzento, ferro fundido nodular, etc., sendo estas duas últimas ligas utilizadas na produção de tubos sem costuras, principalmente.

13. Fundição contínua

Há longo tempo trabalhos tinham sido desenvolvidos, no sentido de obter barras em processo de fundição contínua. Por volta de 1840, G.E. Sellers, nos Estados Unidos, patenteava um processo de lingotamento contínuo de tubo de chumbo. Em 1865, era Sir Henry Bessemér que solicitava patente para lingotamento contínuo de ferro maleável para fabricação de chapas.

Na Alemanha, entre 1930 e 1940, Siegfried Junghans conseguiu lingotar continuamente latão, alumínio e depois o próprio aço.

Todos os esforços dos pesquisadores eram canalizados no sentido de se encontrar um processo simples e econômico na obtenção de um material de boa qualidade e que eliminasse os vários inconvenientes do processo de lingotamento intermitente;

Hordiernamente, baseando no processo de fundição contínua, desenvolveu-se o lingotamento contínuo de larga aplicação não só em materiais não ferrosos, (alumínio, cobre, chumbo, etc) bem como para materiais ferrosos, na produção de placas ou tarugos de aço, etc., os quais assim constituídos, reduzem sensivelmente o custo de produção de chapas ou vergalhões. O processo veio eliminar a necessidade de utilizar Lingoteiras, Forno Poço, Laminador Desbastador, etc.

14. Considerações gerais que determinam a escolha do processo de fundição

Os principais fatores a serem considerados, em ordem decrescente de importância, são:

- 14.1. Dimensões da peça, incluindo forma (complexidade) e peso;
- 14.2. Quantidade de peças a serem produzidos;
- 14.3. Ponto de fusão da liga e sua reatividade com o meio ambiente, incluindo-se o próprio molde;
- 14.4. Tolerâncias dimensionais na peça;
- 14.5. Acabamento superficial desejado;
- 14.6. Propriedades mecânicas finais desejadas...

Dependendo das exigências, os fatores poderão sofrer uma alteração. Por exemplo, se o acabamento for de ótima qualidade, este poderá ser o fator predominante, para peças de pequeno porte, vindo, em seguida, os demais.

Handwritten notes: "9m" and "N/A" with arrows pointing to the text.

Handwritten notes: "V" and "400" with a checkmark.

15. Sistema de alimentação

Sabemos que um molde de areia é uma cavidade sem contacto com o meio exterior. Assim, é necessário prover um meio que possibilite a condução do metal da panela de vazamento até o interior do molde, o que se denomina SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE PEÇAS. A elaboração de um sistema eficiente, sem considerar massalotes, requer um certo conhecimento de Mecânica dos Fluidos, bem como, certa prática para um melhor posicionamento dos canais de ataque.

De qualquer maneira, as peças do sistema teriam as seguintes denominações:

{ Bacia de vazamento, canal de descida, barra de distribuição e canais de ataque. }

15.1. Bacia de vazamento

Limitaremos as informações relacionadas à bacia, de vez que, todo o sistema seria objeto do Projeto de Fundição e não é o nosso caso.

{ A Bacia de Vazamento pode ser definida como um recipiente para o metal líquido da panela de vazamento e direcioná-lo ao canal de descida. A bacia tem importância significativa e entre seus vários objetivos podemos citar:

- Propiciar vazamento em condições seguras, reter as eventuais impurezas, suavizar o fluxo metálico, etc.

- Quando devidamente construída a bacia evita o movimento espiralado do fluxo metálico na entrada do canal de descida, impede a entrada de ar atmosférico para o interior do molde, o que se consegue com o arredondamento dos cantos da bacia.

15.2. Tipos de bacia

Basicamente, temos dois tipos de bacia

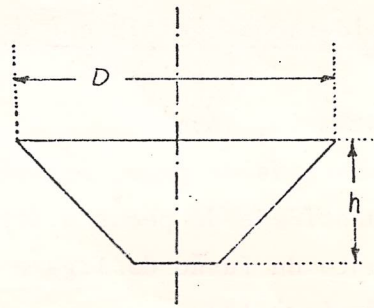
1. Funil { a) Aberto
b) Fechado
c) Funcional

2) Descanso

Para vazamento de peças relativamente pequenas pode-se usar, tomando certos cuidados, a bacia tipo funil o que, de acordo com as dimensões, se divide:

a) Bacia Aberta: Quando o diâmetro é igual a duas vezes a altura temos a bacia aberta. Esse tipo favorece o EXTRAVAZAMENTO do metal e ainda propicia a irregularidade do fluxo metálico.

$$D = 2H$$



b) Bacia Fechada: Temos a bacia fechada quando o diâmetro é a metade da altura. Neste caso, torna-se difícil alimentar a bacia e assim não se consegue regularizar o fluxo metálico.

$$D = \frac{H}{2}$$

