

FUNDIÇÃO

FUNDIÇÃO EM COQUILHA

Índice

PRINCÍPIO DO MÉTODO	4
<hr/>	
FACTORES QUE AFECTAM A SELECÇÃO DO PROCESSO	4
PROCESSOS DE FUNDIÇÃO DE PRECISÃO	4
MOLDE PERMANENTE	5
FUNDIÇÃO POR GRAVIDADE	5
Vantagens	5
Desvantagens	5
FUNDIÇÃO DE BAIXA PRESSÃO	6
Vantagens	6
Desvantagens	7
COMPARAÇÃO DOS VÁRIOS PROCESSOS DE MOLDAÇÃO E DE FUNDIÇÃO	7
MÉTODOS DE FUNDIÇÃO	7
<hr/>	
DISPOSITIVOS SEMIAUTOMÁTICOS	8
DISPOSITIVOS DE FUNDIÇÃO COM APARTAÇÃO HORIZONTAL E INCLINAÇÃO	9
MESAS GIRATÓRIAS	10
SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO	11
<hr/>	
CANAIS DE ALIMENTAÇÃO DE TOPO	11
CANAL DE ALIMENTAÇÃO LATERAL	11
CANAL DE ALIMENTAÇÃO INFERIOR	11
MACHOS	12
<hr/>	
MACHOS DE PEÇAS MÚLTIPLAS	13
SELECÇÃO DOS MATERIAIS DOS MOLDES E DOS MACHOS	13
<hr/>	
MATERIAIS DE ADIÇÃO PARA MOLDES	14
MATERIAIS DOS MACHOS	14
MAQUINAÇÃO	14
VIDA DO MOLDE	14
<hr/>	
INFLUÊNCIA DO DESENHO DO MOLDE	15
REVESTIMENTO DO MOLDE	16
<hr/>	
TIPOS	16
REQUISITOS DO REVESTIMENTO	16
VIDA DO REVESTIMENTO	16
REVESTIMENTOS DO MOLDE PARA FUNDIDOS DE LIGAS ESPECÍFICAS	16

<u>TEMPERATURA DO MOLDE</u>	17
PRÉ-AQUECIMENTO DOS MOLDES	18
CONTROLO DA TEMPERATURA DO MOLDE	18
ARREFECIMENTO AUXILIAR	18
REVESTIMENTO DO MOLDE	18
ARREFECEDORES	19
ANTI-ARREFECEDOR	19
<u>TEMPERATURA DE VAZAMENTO</u>	19
BAIXA TEMPERATURA DE VAZAMENTO	19
ALTA TEMPERATURA DE VAZAMENTO	20
TEMPERATURAS DE VAZAMENTO PARA METAIS ESPECÍFICOS	20
<u>REMOÇÃO DOS FUNDIDOS DOS MOLDES</u>	21
<u>DESENHO DO MOLDE</u>	21
<u>TOLERÂNCIA DIMENSIONAL</u>	21
<u>ACABAMENTO SUPERFICIAL</u>	22
<u>DEFEITOS DO FUNDIDO</u>	22
<u>CUSTO</u>	22
MÉTODOS MANUAL VS AUTOMÁTICO	22
CUSTO VS QUANTIDADE	23
MOLDES PERMANENTES VS FUNDIÇÃO EM AREIA	23
<u>APLICAÇÕES:</u>	23
<u>BIBLIOGRAFIA:</u>	24

Prólogo:

O conhecimento deste processo é bastante importante para termos a percepção do tipo de ligas a utilizar, temperatura, aplicações típicas, equipamentos, componentes e sistemas, vida do molde, revestimento do molde, defeitos do fundido, entre outros.

Síntese:

Este trabalho consistiu na pesquisa e percepção do processo em causa, nomeadamente dos componentes e sistemas, aplicações típicas e equipamentos, vida do molde, revestimento do molde, defeitos do fundido, entre outros.

Objectivo:

Tomar conhecimento do processo de fundição em coquilha.

Princípio do método

Factores que afectam a selecção do processo

Alguns factores importantes que afectam a selecção do processo de fundição são:

- Quantidade de fundidos requerida
- Projecto do fundido
- Tolerâncias requeridas
- Complexidade
- Especificação do metal
- Superfície final requerida
- Custo das ferramentas
- Economia da maquinação versus custo dos fundidos
- Limites financeiros no capital de custos
- Requerimentos de entrega

Mais do que um processo pode ser possível e a distância ou acessibilidade a um fornecedor da fundição pode ser importante. Usualmente é possível projectar uma fórmula simples para ajudar na decisão final. Usando dados como o custo capital do equipamento, o custo unitário do fundido multiplicado pelo volume, e fazer aprovação para factores especiais pode ajudar o comprador a tomar a decisão.⁽¹⁾

Processos de fundição de precisão

Esta secção descreve os processos de moldação que produzem fundidos com uma acabamento superficial melhor, enquanto providenciam detalhes excelentes, com um alto grau de exactidão dimensional.

Molde permanente

O termo “molde permanente” é usado na fundição para descrever um molde que pode ser usado repetidamente. Em contraste com a moldação em areia que tem de ser destruída para remover o fundido, o molde permanente é projectado de maneira que possa ser separado para remover o fundido solidificado. Os fundidos em moldes permanentes podem ser produzidos através de todos os metais incluindo ferro e ligas de cobre, mas são usualmente metais leves, tais como à base de zinco, magnésio, e alumínio. ⁽²⁾

Se o metal é vazado manualmente para o molde sem pressão exterior, os fundidos produzidos em moldes permanentes são chamados "fundidos por gravidade". Se o metal é forçado a entrar para o molde, os fundidos são designados por "fundidos sob pressão". ⁽²⁾

Fundição por gravidade

O fluxo de metal num molde permanente sob condições de gravidade é designado como molde permanente por gravidade. Existem duas técnicas em uso: vazamento estático, onde o metal é introduzido no topo do molde através de gitos de descida similar à areia em fundição; e vazamento inclinável, onde o metal é vazado numa bacia enquanto o molde está numa posição horizontal e flui para a cavidade à medida que o molde é gradualmente inclinado para a posição vertical.

Normalmente, a moldação por gravidade é usada porque é mais precisa do que a moldação por concha. É preferido quase exclusivamente a moldação por concha para componentes de ligas leves.

Vantagens

A moldação permanente produz fundidos densos tendo propriedades mecânicas superiores. Uma vez que o molde é normalmente feito de metal e relativamente estável, os fundidos produzidos são bastante uniformes na forma e muitas vezes têm um grau de exactidão dimensional mais elevado do que fundidos produzidos em areia, o que reduz ou elimina alguma maquinação que possa ser requerida.

O processo de moldação permanente é também capaz de produzir uma qualidade consistente do acabamento dos fundidos. O processo também permite muito bem o uso de machos de peças múltiplas e torna possível a produção de peças que por uma razão ou outra não são apropriados para o processo de fundição em molde sob pressão. ⁽²⁾

O processo pode ser usado para uma grande variedade de ligas ferrosas e não ferrosas. No entanto, a técnica de vazamento de metal por gravidade em moldes reutilizáveis atingiu um elevado grau de perfeição na fundição de alumínio e ferro fundido.

Desvantagens

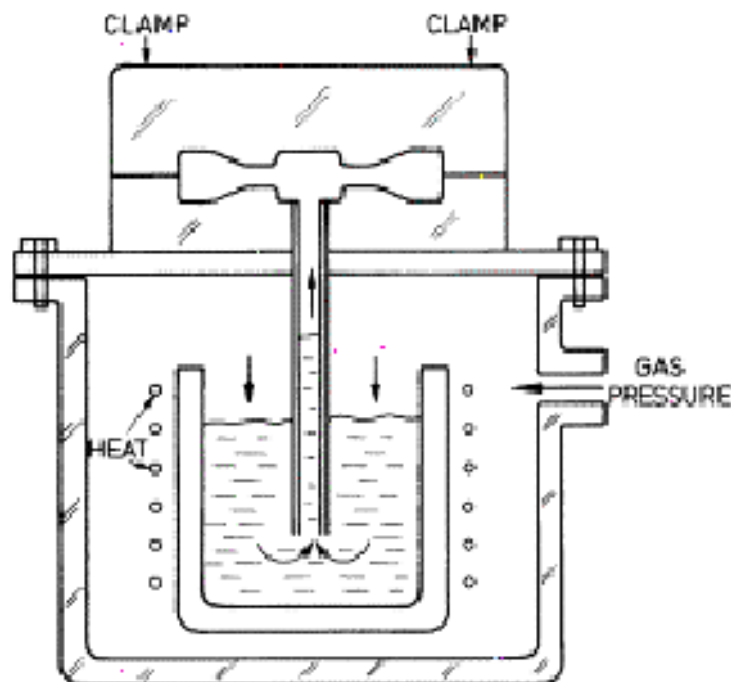
O custo das ferramentas é usualmente mais elevado do que para a fundição em areia e deve ser amortizada ao longo de um vasto número de fundidos. No entanto, existe um requerimento básico para a fundição em moldes permanentes que é o seguinte: o número de fundidos a produzir tem de ser relativamente grande. O processo é geralmente limitado à produção de fundidos com um tamanho pequeno a médio com uma forma exterior simples, apesar de fundidos complexos, tais como blocos e cabeças de motor em alumínio serem agora vulgares. ⁽⁵⁾

Fundição de baixa pressão

A fundição por baixa pressão é exactamente o que o seu nome faz impor. É um método de produzir fundidos usando uma quantidade mínima de pressão (usualmente 5-15 lb/sq in) para encher o molde. É um processo de fundição que ajuda a aumentar a diferença entre fundição em areia e sob pressão.

A fundição por baixa pressão compara-se favoravelmente com a fundição em molde sob pressão, mas tem um ciclo mais lento e por isso é mais apropriado para baixas quantidades requeridas. Deveria ser classificada como um processo suplementar para produzir fundidos economicamente. Muitos fundidos agora produzidos por fundição em areia ou pelo processo de fundição por gravidade podem ser também fundidos pelo processo de baixa pressão. ⁽²⁾ Em fundição de baixa pressão, o molde é colocado num dispositivo de fundição por cima de uma câmara selada com ar que contém um cadinho com metal fundido na seguinte figura.

Um tubo de enchimento estende-se desde a parte de baixo do molde até ao banho de metal fundido. O fundido é produzido através da pressurização da câmara forçando o material a subir até ao molde. O metal no



tubo de enchimento actua como reservatório; isto proporciona à fundição de baixa pressão um rendimento muito favorável. O método de baixa pressão permite a automatização, e trabalha usualmente a temperaturas baixas de molde e com ciclos de tempo mais curtos que os convencionais métodos de moldes permanentes de vazamento por gravidade. As rápidas taxas de solidificação associadas à fundição de baixa pressão dá origem a fundidos com tamanho de grão mais fino, espaços interdendríticos mais pequenos, e a um aumento das propriedades mecânicas. ⁽³⁾

Vantagens

O processo de fundição de baixa pressão produz uma boa exactidão dimensional, e qualidade consistente. É razoavelmente apropriada para fundidos complexos em ligas leves, tais como jantes de alumínio.

Desvantagens

O custo do equipamento para a fundição de baixa pressão é relativamente alto. É comumente usado para fundidos de ligas leves. Apesar de outros metais poderem ser fundidos usando a fundição de baixa pressão, poucas fundições produzem fundidos com outros metais além de ligas leves. ⁽²⁾

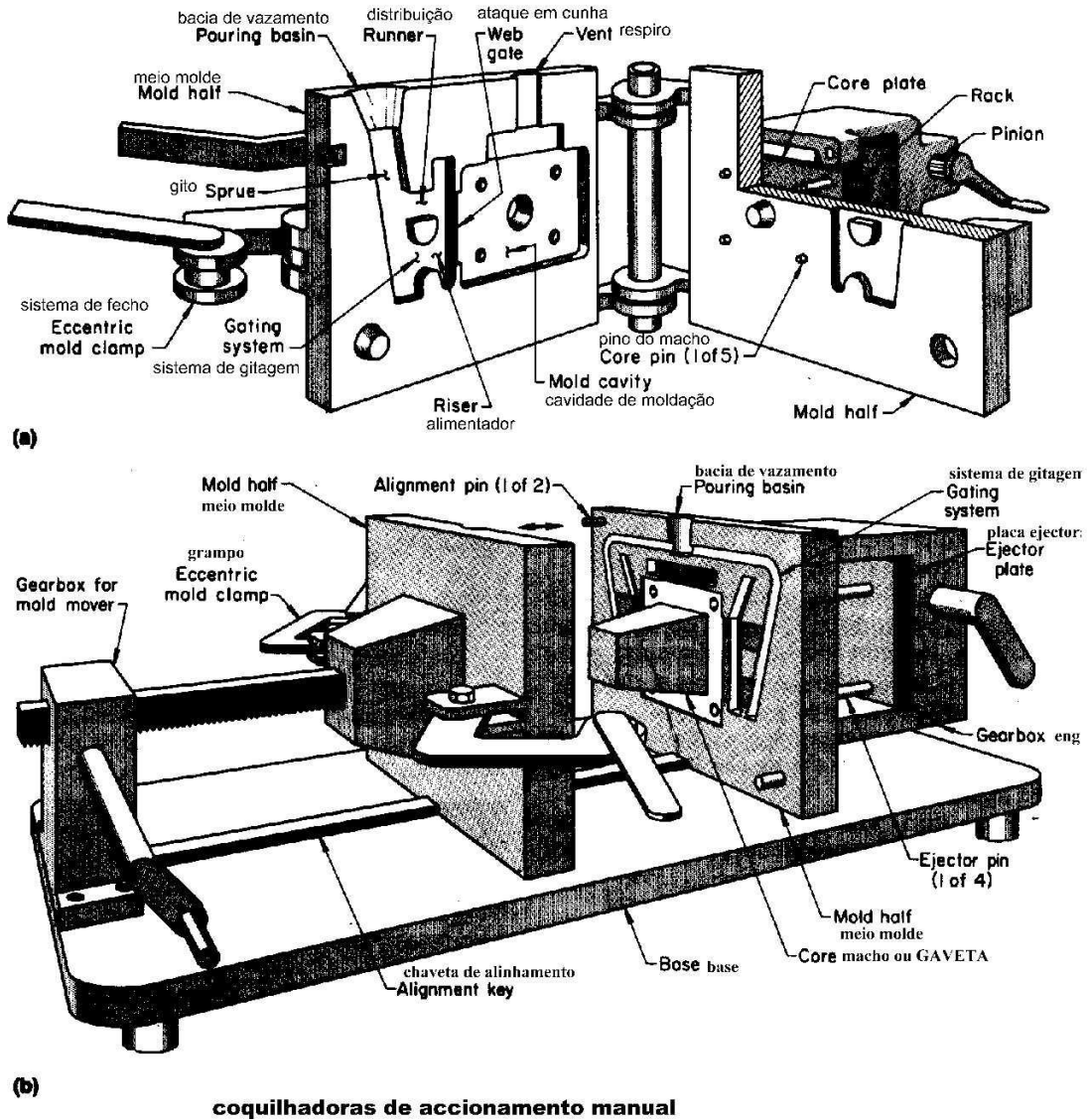
Comparação dos vários processos de moldação e de fundição

	Areia verde	Precisão da moldação			Ligações químicas do molde
	Areia de fundição	Molde permanente	Fundição injectada	Moldação de carapaça cerâmica	concha, CO2 "Nobake"
Tolerância dimensional típica	$\pm.010'' \pm.030''$	$\pm.010'' \pm.050''$	$\pm.001'' \pm.015''$	$\pm.010'' \pm.020''$	$\pm.005'' \pm.015''$
Custo relativo em quantidade	Baixo	Baixo	Mais baixo	Mais alto	Médio alto
Custo relativo para pequenas quantidades	Mais baixo	Alto	Mais alto	Médio	Médio alto
Peso do fundido	Ilimitado	100 lb	75 lb	Oz-100 lb	concha (oz-250 lb.) CO2 & "Nobake" (.5 lb-tons)
Secção mais fina do fundido	1/10''	1/8''	1/32''	1/16''	1/10''
Facilidade de desenhos complexos do fundido	Razoável - boa	Boa	Melhor	Muito boa	Concha - boa CO2 - Razoável
Facilidade de desenhos complexos do fundido	Razoável - boa	Razoável	Boa	Melhor	Boa
Facilidade de mudança do desenho na produção	Melhor	Pobre	Mais pobre	Razoável	Razoável
Gama de ligas que podem ser fundidas	Ilimitado	Ligas de Al e de Cu preferencialmente	Ligas de Al preferencialmente	Ilimitado	Ilimitado
(As características são aproximadas e dependem do metal.)					
* Este artigo foi extraído da publicação, "Casting Buyers' Guide," American Foundrymen's Society, Des Plaines, Illinois. ⁽²⁾					

Métodos de Fundição

Manualmente operados, os moldes permanentes podem consistir num arranjo simples de molde tipo livro (fig.a). Para fundidos com paredes e nervuras altas que requerem uma contracção do molde sem rotação, o

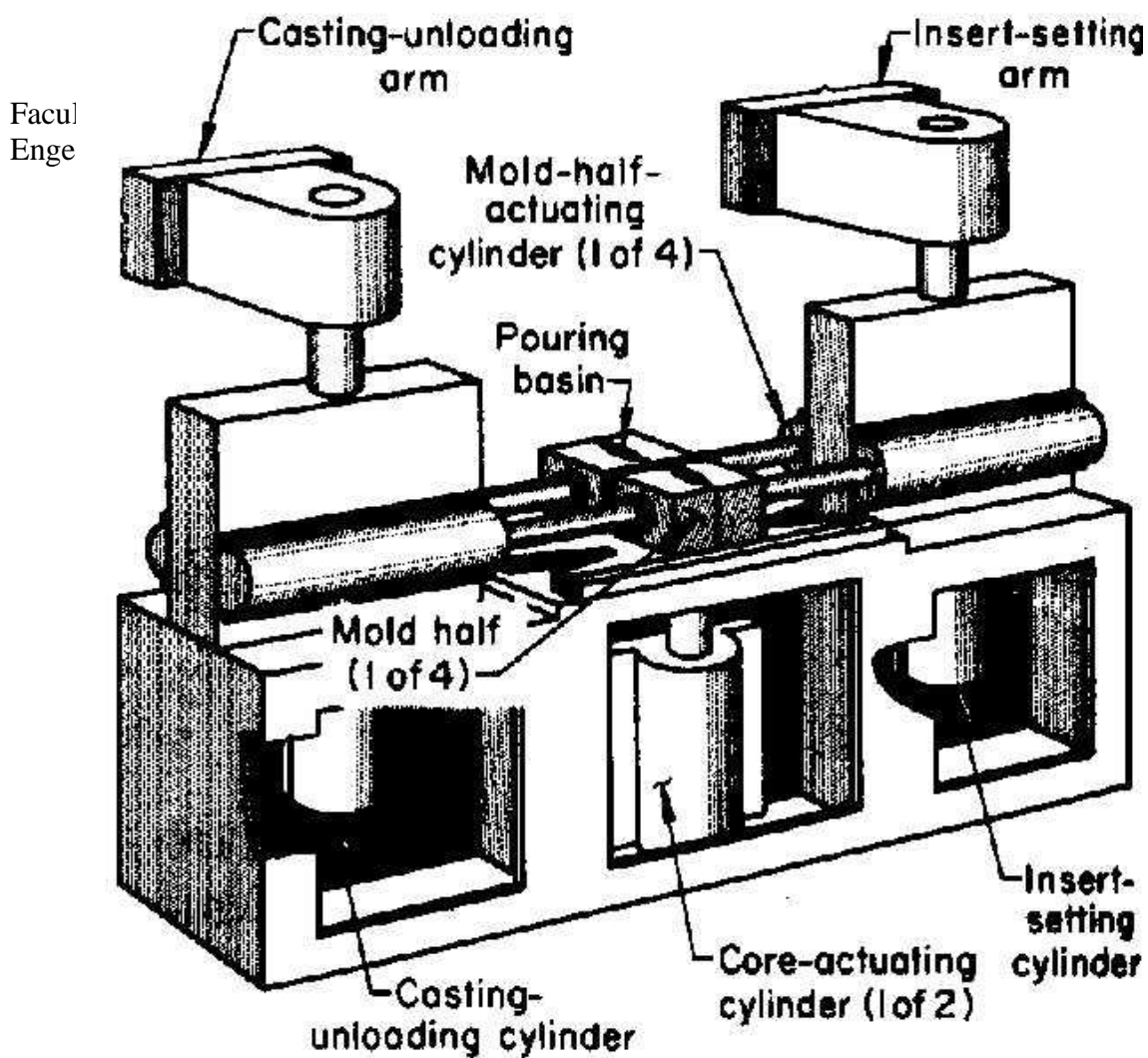
dispositivo manual (fig.b) pode ser usado. Com qualquer tipo de dispositivo, as metades do molde são separadas manualmente após soltar os ganchos excêntricos do metal.



coquilhadoras de accionamento manual

Dispositivos Semiautomáticos

Para grandes volumes de produção, os dispositivos manuais são substituídos por mecanismos de ar em dois sentidos ou hidráulicos. Estas unidades podem ser programadas para abrir e fechar num ciclo pré-definido. Assim sendo a operação é automática excepto no vazamento do metal e na remoção dos fundidos.



coquilhadora de vazamento automático

A figura anterior mostra um dispositivo de fundição automático equipado com um molde automático, macho, e componentes de calibração automáticos; as únicas operações manuais são o vazamento do metal e a colocação de materiais de adição. Para fundidos simples, este tipo de dispositivo pode ser completamente automático.

Dispositivos de fundição com apartação horizontal e inclinação

A apartação do molde para dispositivos de fundição ilustrada nas duas últimas figuras está num plano vertical, sendo muitas vezes a posição preferida para a abertura do molde e para a remoção do fundido. Muitos fundidos, no entanto, são vazados melhor com apartação num plano horizontal. Alguns fundidos com apartação horizontal são vazados usando dispositivos com um mecanismo inclinável; Assim o vazamento é feito com a apartação no plano horizontal, e a posição do molde é então alterada para permitir a remoção do fundido com a apartação no plano vertical.

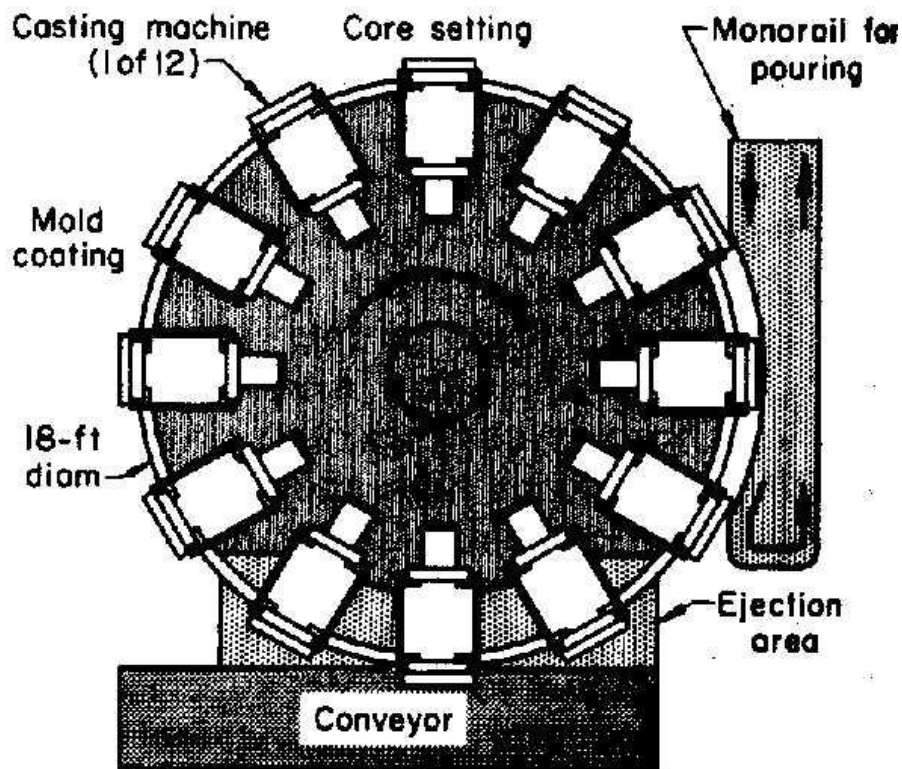
Por exemplo, na fundição de uma peça para uma máquina duplicadora, o vazamento com a apartação no plano vertical requer uma longa queda de metal fundido, fazendo com que salpique e com que crie uma turbulência severa produzindo fundidos inaceitáveis. Para eliminar a longa queda de metal fundido, o molde é colocado num dispositivo inclinável permitindo que o metal seja introduzido no molde com a apartação orientada horizontalmente. O corpo principal do fundido é vazado com o molde nesta posição.

As partes adjacentes do fundido são usualmente preenchidas quando o molde roda 90° para colocar a apartação num plano vertical. Nesta posição, foi permitido ao fundido solidificar sendo posteriormente retirado do molde.

Mesas giratórias

Fundidos pequenos e de baixo peso, podem ser vazados e removidos manualmente, mas o manuseamento manual torna-se cada vez mais difícil à medida que a temperatura e o peso do fundido aumentam. O processo de fundição deve ser então automatizado. Isto é efectuado muitas vezes utilizando máquinas de fundição montadas numa mesa giratória.

Uma mesa giratória comumente usada acomoda 12 dispositivos de fundido, como se mostra na figura seguinte, e completa uma revolução em 2 a 7 minutos.



coquilhadora de vazamento automático em carrossel

Passos no processo de fundição, que incluem vazamento, revestimento do molde, definições do macho, fixação dos machos, solidificação, e ejeção, são progressivamente completados à medida que o dispositivo de fundição passa através das várias estações de trabalho. Com este tipo de equipamento, são alcançadas taxas de produção máximas quando todos os 12 dispositivos têm moldes idênticos. No entanto, moldes diferentes podem ser utilizados em todos os 12 dispositivos.

Sistemas de alimentação

Fundições de molde permanente podem ser alimentadas no topo, no lado lateral, e na parte inferior.

Canais de alimentação de topo

Nesta disposição o gito e o reservatório são normalmente o mesmo. Secções finas são colocadas o mais longe possível do canal de alimentação de modo que a solidificação direccionada seja feita em direcção ao canal de alimentação. Após vazamento, o canal de alimentação funciona como um reservatório. O metal no reservatório é o último a solidificar, assegurando assim a sanidade do metal ao longo do fundido.

Canal de alimentação lateral

É frequentemente usado, particularmente para fundidos de alumínio. Neste sistema de alimentação o reservatório está no topo do fundido. O canal de alimentação estende-se além da parte lateral do fundido aproximadamente 90 % da sua altura, o que assegura que o metal no topo do fundido e no reservatório está mais quente que o primeiro metal a entrar no molde. Secções finas devem estar afastadas do canal de alimentação e do reservatório. A direcção da solidificação é desde a cavidade do molde em direcção ao canal de alimentação e ao reservatório para que a porosidade e contracção seja minimizada.

Os sistemas de alimentação dos moldes permanentes são menos flexíveis do que o dos moldes em areia e estão sempre localizados próximo dos planos de separação. Os canais de alimentação devem abastecer de metal todas as secções do fundido com velocidade suficientemente alta mas com a mínima turbulência. Os sistemas de alimentação que permitem a mínima turbulência são especialmente importantes na fundição de ligas de alumínio e magnésio porque esta cria quantidades excessivas de óxido, que podem causar fundidos defeituosos. Os moldes para as ligas de magnésio e alumínio são vazados na posição vertical ou inclinados sobre a vertical. Com este método, o ar é prontamente deslocado e ventilado para fora da separação do molde.

Canal de alimentação inferior

Se os sistemas de alimentação inferior não forem devidamente projectados, o último metal que entra no fundido (o metal mais quente) vai estar na parte inferior do fundido. Isto vai interferir com a alimentação por gravidade e com a solidificação progressiva e vai produzir fundidos com porosidade e com contracção. O mesmo é verdadeiro, mesmo com um canal de alimentação apropriado, se o fundido for muito espesso. Os moldes permanentes convencionais com canal de alimentação inferior são normalmente usados em fundidos com secções finas.

Com o processo de baixa pressão ou vácuo o canal de alimentação inferior é o sistema mais usado. A diferença é que nestes métodos o metal é introduzido no molde através de uma diferença de pressão. Esta diferença de pressão permite a alimentação do fundido com metal durante a solidificação.

Em adição ao fornecimento de metal líquido para compensar a contracção no fundido, os reservatórios reduzem a velocidade do metal antes de ele entrar na cavidade e ajuda a manter a temperatura do molde. O número de pontos aos quais o metal chega na cavidade do molde depende da espessura das secções e da

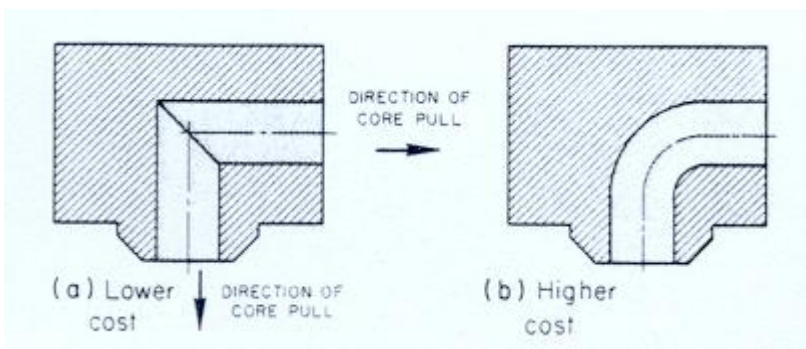
distância que o metal deve fluir. Uma fluência excessiva através de muito poucas entradas pode resultar em pontos quentes e conseqüentemente em contracção. Os gitos são usualmente restritos em área para obstruir e prevenir a entrada de impurezas e ar na cavidade. Devido aos sistemas de alimentação serem muitas vezes mais fáceis de alargar do que reduzir e porque um tamanho excessivo do canal de alimentação pode atrasar o ciclo, é prática comum começar com pequenos canais de alimentação e depois alargá-los se necessário.

Machos

Os machos usados nos processos de moldes permanentes podem ser de ferro cinzento, aço, areia, ou gesso. Machos de metal podem ser móveis ou estacionários. Machos estacionários devem ser perpendiculares à linha de apartação para permitir a remoção do fundido do molde, e devem ter uma forma tal que permita uma libertação rápida do fundido. Machos de metal que não são perpendiculares à linha de apartação devem ser móveis de modo que possam ser retirados do fundido antes dele ser removido do molde.

Quando machos de areia ou gesso são usados em moldes permanentes, o processo é referido como moldes semi-permanentes. Com machos de areia ou gesso, os quais são dispendiosos, podem ser produzidas formas mais complexas do que com machos de metal.

Os dois caminhos de passagem dos machos como se mostra na figura (a) ilustram as limitações dos machos em fundições de moldes permanentes. O caminho de passagem do macho como se mostra na figura (a) pode ser produzido com machos de metal.



Machos de areia ou gesso seriam necessários para prover o raio do caminho de passagem ilustrado na figura (b), que seria ainda mais caro de produzir. Os buracos dos machos em fundição de moldes permanentes podem ter tolerâncias mais apertadas, em ambos tamanho e localização, do que em fundição em areia. Os machos móveis e estacionários podem ser ambos maquinados a dimensões apertadas e podem ser localizados com exactidão. Os machos de aço requerem um revestimento igual ao aplicado ao molde; a exactidão dimensional das cavidades feitas a partir de machos de aço revestido é afectada pelos mesmos factores que afectam a exactidão de dimensões formadas pelos moldes de metal revestido. A não ser que um macho seja estacionário, a separação que se deve prover para permitir a sua remoção do molde permite o movimento do macho, o qual pode afectar as dimensões.

Em termos de tolerância dimensional, os machos em areia têm aproximadamente as mesmas limitações em moldes permanentes assim como em moldes de areia. No entanto, quando um macho em areia se encontra

num molde em areia, algum material do molde pode ser interrompido ou deslocado. Porque o molde permanente é mais rígido, promove um lugar mais exacto para situar o macho.

Os machos em areia permitem ao fundido passagens sinuosas ou câmaras ou passagens que são mais largas na secção do que a abertura através da parede do fundido. Porque os machos em areia não são recuperados, a sua remoção não apresenta problemas maiores. Os machos em gesso são usados em moldes semi-permanentes para promover uma superfície final melhor do que a obtida com machos em areia ou de metal revestido. O uso de machos em gesso permeáveis promove uma superfície final melhor do que a que poderia ser obtida com machos de metal revestido. O gesso tem também excelentes qualidades isoladoras e não arrefece prematuramente o metal nestas secções. Com vista às tolerâncias dimensionais, os machos em gesso não são superiores aos machos em areia.

Machos de peças múltiplas

É preferível evitar projectos que requerem o uso de machos de metal de peças múltiplas em moldes permanentes. Estes machos em adição ao custo dos fundidos, e à sua montagem e remoção aumentam o tempo de produção. Além disso, as variações dimensionais podem resultar do uso de machos de peças múltiplas porque eles não podem ser posicionados com exactidão no molde como machos de peças únicas, ou por causa do movimento dos segmentos de machos quando o metal fundido é vazado. Quando os fundidos têm de ser projectados para serem feitos com machos de peças múltiplas, o projectador deve permitir as menores tolerâncias possíveis.

Apesar das desvantagens dos machos de peças múltiplas, eles são extensivamente usados para fazer determinados fundidos. Por exemplo, aproximadamente todos os pistões de alumínio feitos para a indústria automóvel nos Estados Unidos são fundidos em moldes permanentes usando machos de metal de cinco peças.

Seleção dos materiais dos moldes e dos machos

Quatro principais factores afectam a selecção dos materiais para moldes permanentes e machos:

- a temperatura de vazamento do metal a ser fundido
- o tamanho do fundido
- o número de fundidos por molde
- o custo dos materiais do molde

O ferro fundido cinzento é o material mais comumente usado para moldes. Moldes de alumínio ou grafite são por vezes usado a para produções de pequenas quantidades de fundidos de alumínio e magnésio, e aços são às vezes usados para fundidos de ligas de cobre.

Materiais de adição para moldes

A maior parte dos materiais de adição na cavidade do molde, do mesmo material ou de materiais diferentes são às vezes usados para obter um maior tempo de vida do molde, ou para simplificar a maquinabilidade, manuseamento ou substituição. Materiais de adição podem ser também usados para ventilação, arrefecimento entre paredes finas e aquecimento de porções do molde ou da área total da cavidade.

Materiais dos machos

Um macho destrutível é usado quando a localização ou forma não permitem a remoção do fundido, ou onde um desenho complexo pode ser obtido com um custo menor com materiais para tais machos. A ordem de preferência na utilização destes materiais é:

- 1- Areia
- 2- Gesso
- 3- Grafite e carbono

Maquinação

A maquinação na cavidade do molde é muitas vezes um factor mais significante no custo do molde do que o custo do material do molde.

Vida do molde

Na fundição das ligas de magnésio, a vida do molde é normalmente maior que na produção de forma e tamanho semelhantes de ligas de alumínio, porque o magnésio fundido não ataca os moldes de metais ferrosos. No entanto, a diferença da vida do molde das ligas de magnésio depende numa grande extensão da efectividade do revestimento usado no molde. Na fundição de ferro fundido cinzento, a vida do molde é normalmente menor comparada com fundição de formas semelhantes de ligas de alumínio.

As variáveis mais importantes que afectam a vida dos moldes permanentes são:

- 1- Temperatura de vazamento: quanto mais quente o metal é vazado, mais quente o molde opera, o que leva a um rápido enfraquecimento do metal do molde.
- 2- Peso do fundido: a vida do molde decresce à medida que o peso do fundido aumenta.
- 3- Forma do fundido: as paredes do molde têm de dissipar mais calor dos fundidos que têm secções grossas do que daqueles que têm secções finas. Quando há uma variação significante nas espessuras das secções de um fundido, um diferencial térmico é estabelecido ao longo de diferentes porções do molde.
- 4- Métodos de arrefecimento: arrefecimento com água é mais efectivo que o arrefecimento ao ar, mas diminui substancialmente a vida do molde.

- 5- Ciclos de aquecimento: geralmente, um ciclo contínuo no qual o molde é mantido a uma temperatura uniforme, promove uma vida do molde máxima. Aquecimento repetido e arrefecimento ao longo de uma vasta gama de temperaturas irá diminuir a vida do molde.
- 6- Pré-aquecimento do molde: isto é feito operando a temperatura com a chama de um gás ou aquecedores eléctricos, e isto aumenta grandemente a vida do molde. O choque térmico é uma das causas principais para a falha do molde.
- 7- Revestimento do molde: este protege o molde da erosão e soldadura através da prevenção do metal através do contacto entre as superfícies do molde, e o metal fundido, aumentando assim a vida do molde.
- 8- Material do molde
- 9- Armazenamento: um armazenamento impróprio pode levar a uma oxidação e corrosão excessiva das superfícies do molde, o qual irá reduzir a vida do molde.
- 10- Limpeza: as práticas comuns para a limpeza dos moldes são a projecção abrasiva, mergulho em soluções cáusticas, e limpeza com escova de arame. O mergulho em soluções cáusticas pode ser perigoso para o operador. A limpeza com escova de arame e a projecção abrasiva podem causar um desgaste do molde excessivo se não forem controlados cuidadosamente. "Esferas" de vidro são o material mais seguro de projecção abrasiva; A sua utilização minimiza as alterações dimensionais devidas à erosão da projecção abrasiva.
- 11- Sistemas de alimentação: um sistema de alimentação fraco pode reduzir bastante a vida do molde causando uma turbulência excessiva e fuga nas áreas dos canais de alimentação.
- 12- Métodos da operação do molde: apesar dos mesmos materiais serem utilizados para o fabrico de moldes e machos tanto para o equipamento automático como para o equipamento manual, a vida dos materiais das ferramentas no equipamento manual é menor devido ao mau uso que a ferramenta pode ser sujeita. Ferramentas para equipamento automático podem durar até duas vezes mais do que a vida das ferramentas de equipamento manual.
- 13- Fim do uso do molde: se a função estrutural de um fundido é mais importante do que a sua aparência, o molde pode ser usado para mais vazamentos antes de ser descartado.

Influência do desenho do molde

Em adição aos factores anteriores, o desenho do molde tem um efeito marcante na vida do molde. Variações na espessura das paredes do molde causam tensões excessivas que se desenvolvem durante o aquecimento e arrefecimento, as quais por sua vez causam a prematura falha do molde e quebra. Mudanças abruptas na espessura sem grandes nervuras, também causam uma prematura falha do molde. Pequenas nervuras levam a uma vida do molde mais reduzida devido a fissuras e quebra, assim como à falha definitiva, muitas vezes iniciada nestes pontos.

Usualmente, menos cuidado no desenho é requerido nas superfícies externas do molde do que em superfícies internas do molde por causa da contracção no fundido.

Revestimento do molde

Um revestimento é aplicado ao molde e às superfícies dos machos para servir como barreira entre o metal fundido e as superfícies do molde enquanto uma pele do metal solidificado é formada. Os revestimentos dos moldes são usados por cinco propósitos:

- Para prevenir o arrefecimento prematuro do metal fundido
- Para controlar a taxa e a direcção de solidificação do fundido e por isso a sanidade e a estrutura do mesmo
- Para minimizar o choque térmico ao material do molde
- Para prevenir a soldadura do metal fundido ao molde
- Para permitir a saída de ar preso na cavidade do molde

Tipos

Os revestimentos dos moldes são de dois tipos: isoladores e lubrificantes. Alguns revestimentos realizam ambas as funções.

Os vários requisitos de um revestimento de molde não são sempre obtidos com apenas um revestimento. Estes requisitos são muitas vezes obtidos através da aplicação de diferentes revestimentos em vários locais da cavidade do molde.

Requisitos do revestimento

Para prolongar a vida do molde, um revestimento não deve ser corrosivo. Deve aderir bem ao molde e também ser fácil de remover. Também se deve manter em contacto directo com as superfícies do molde.

Um revestimento do molde deve ser inerte ao metal fundido e livre de materiais reactivos ou de materiais que produzem gás.

Se o isolamento é necessário para prevenir que secções finas, sistemas de alimentação, e reservatórios solidifiquem muito rapidamente, óxidos do metal, mica, talco, entre outros, podem ser adicionados ao revestimento do molde. A grafite é adicionada se é necessário um arrefecimento mais rápido. Lubrificantes, os quais facilitam a remoção dos fundidos dos moldes, incluem esteatite, talco, mica e grafite.

Vida do revestimento

Varia consideravelmente com a temperatura do metal que está a ser fundido, o tamanho e a complexidade da cavidade do molde, e a taxa de vazamento. Alguns moldes requerem um novo revestimento no início de cada turno; outros aguentam vários turnos com apenas reparações pontuais antes do novo revestimento ser necessário.

Uma projecção abrasiva menos severa é usada para preparar o revestimento para remover velhos revestimentos.

Revestimentos do molde para fundidos de ligas específicas

O metal a ser fundido tem uma grande influência no tipo de revestimento a ser seleccionado. Revestimentos lubrificantes são usualmente utilizados para fundição de alumínio e magnésio. Misturas relativamente

complexas são às vezes usadas. Para a fundição de ligas de cobre, devido às suas elevadas temperaturas de vazamento e às suas características de solidificação, um revestimento de molde tipo isolador é normalmente requerido.

Os revestimentos de moldes usados na produção de ferro fundido cinzento estão divididos em duas categorias: revestimento inicial, que é aplicado antes do molde ser colocado na produção, e um revestimento subsequente de fuligem (carbono), o qual é aplicado antes de cada vazamento.

O revestimento secundário é uma camada de fuligem (carbono) depositado na face do molde e nas cavidades sempre que o molde vai ser sujeito a um vazamento. Pode ser aplicado manualmente ou por queimadores automáticos. Esta camada de fuligem promove um isolamento entre o molde e o fundido, permitindo uma fácil remoção do fundido do molde, e previne o arrefecimento rápido dos fundidos. Também promove a selagem entre as faces do molde para minimizar a fuga.

Temperatura do molde

Se a temperatura do molde é muito alta, os fundidos tornam-se muito fracos para serem extraídos sem serem danificados, e as propriedades mecânicas e o acabamento dos fundidos é irreparável. Quando a temperatura do molde é muito baixa, entupimentos e paragens do ciclo de produção ocorrem normalmente e a alimentação é inibida, o que geralmente resulta em contração, fissuras a quentes, e colagem do fundido aos moldes e machos.

As variáveis que determinam a temperatura do molde incluem:

- 1- Temperatura de vazamento: quanto mais alta a temperatura de vazamento mais alta a temperatura do molde
- 2- Frequência do ciclo: quanto mais rápido o ciclo da operação mais quente fica o molde
- 3- Peso do fundido: a temperatura do molde aumenta à medida que o peso de metal fundido aumenta
- 4- Forma do fundido: secções grandes isoladas, cavidades dos machos e cantos aguçados não só aumentam a temperatura total do molde, mas também produzem gradientes térmicos indesejáveis
- 5- Espessura das paredes do fundido: a temperatura do molde aumenta à medida que a espessura das paredes do fundido aumentam.
- 6- Espessura das paredes do molde: a temperatura do molde diminui à medida que a espessura da parede do molde aumenta
- 7- Espessura do revestimento do molde: a temperatura do molde diminui à medida que a espessura do revestimento do molde aumenta.

Após o procedimento do processo estar estabelecido para uma dada operação de fundição, revestimento do molde, frequência de ciclo, arrefecedores, e anti-arrefecedores tem um efeito significativo na temperatura do molde. O revestimento do molde é difícil de manter com uma espessura ótima, principalmente devido ao desgaste durante cada ciclo de vazamento e devido à dificuldade de medição da espessura do revestimento durante a produção. O método mais usado de controlo da espessura do revestimento é a inspeção periódica dos fundidos. Uma espessura do revestimento imprópria reflecte-se num acabamento superficial desagradável e perda da exactidão dimensional.

Pré-aquecimento dos moldes

Em muitas operações de fundição, os moldes são pré-aquecidos aproximadamente até à sua temperatura de operação antes da operação começar. Esta prática minimiza o número de fundidos inaceitáveis produzidos durante o estabelecimento da temperatura de operação. Os moldes podem ser pré-aquecidos através da exposição directa a uma chama, no entanto este método pode ser prejudicial para os moldes devido à severidade e não uniformidade da distribuição do calor. Os aquecedores habituais são muitas vezes construídos para os moldes. O pré-aquecimento das faces do molde no forno é o melhor método porque os gradientes térmicos têm uma menor magnitude. Infelizmente, isto é usualmente impraticável para moldes grandes. As temperaturas finais da operação dos moldes são alcançadas após alguns ciclos de produção.

Controlo da temperatura do molde

Uma temperatura óptima do molde é uma temperatura que vai produzir um fundido são no menor tempo. Para um ciclo estabelecido, o controlo da temperatura é largamente alcançado através do uso de arrefecedores ou aquecedores auxiliares e através do controlo da espessura do revestimento.

Arrefecimento auxiliar

O arrefecimento auxiliar é muitas vezes atingido forçando ar ou água a passar através de secções do molde adjacentes às secções maiores do molde. A água é mais efectiva, mas passado algum tempo as passagens podem ficar revestidas com incrustações, assim sendo são necessários ajustamentos frequentes nas taxas de fluxo de água. Se não se limpar, o fluxo de água pára eventualmente. As passagens de água devem ser examinadas e limpas cada vez que o molde é posto em uso.

O problema da formação de escamas foi resolvido nalgumas instalações através do uso de sistemas recirculadores contendo tanto água desmineralizada ou outro fluido como “ethylene glycol”. No entanto, esses sistemas são raramente usados.

O fluxo de gás é regulado manualmente em cada secção do molde com a ajuda de um medidor de fluxo. Uma válvula de fecho principal é usada para parar o fluxo de água quando o processo de vazamento é interrompido. O ajustamento da taxa de fluxo de água para controlar a taxa de solidificação numa secção grande, dá origem a algum tempo perdido na variação da espessura das paredes que podem ser desenhadas para um só fundido. Em adição ao controlo do fluxo de água, a temperatura da água (ou outro qualquer arrefecedor que possa ser usado) afecta a performance do sistema arrefecedor do molde.

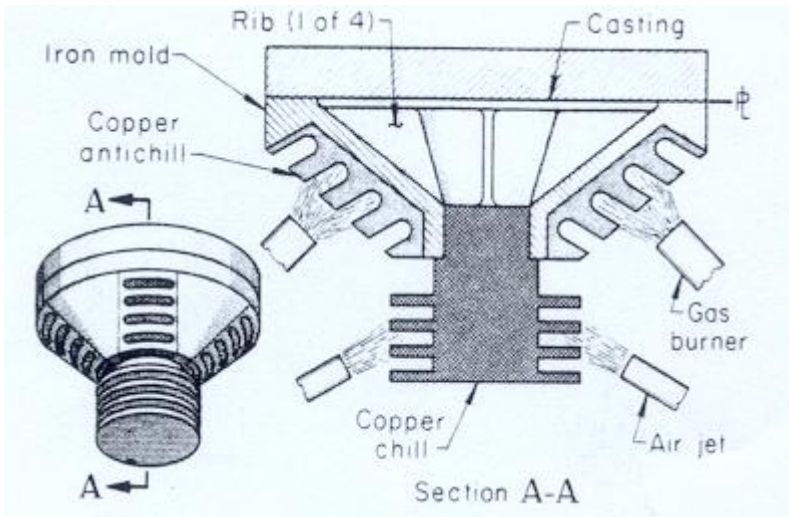
Se for usada água ou outro líquido arrefecedor, nunca deve ser permitido que este contacte o metal a ser vazado, ou uma explosão de vapor vai ocorrer. A intensidade da explosão de vapor aumenta à medida que a temperatura do metal aumenta. Em adição, a água vai reagir quimicamente com o magnésio fundido.

Revestimento do molde

Um revestimento do molde de espessura controlada pode igualar taxas de solidificação entre secções finas e grossas. Arrefecedores e anti-arrefecedores podem ser usados e podem ajustar ainda mais as taxas de solidificação, de modo que o arrefecimento prossiga rapidamente das secções finas para as intermédias e depois para as grossas, e finalmente no sistema de alimentação.

Arrefecedores

Os arrefecedores são usados para acelerar a solidificação num segmento do molde. Isto pode ser feito através de um arrefecimento directo com jactos de ar contra um arrefecedor inserido no molde (figura seguinte) ou, mais simples, usando um metal de adição sem arrefecimento auxiliar.



O arrefecimento pode também ser alcançado através da remoção de algum ou de todo o revestimento de uma área específica para aumentar a condutividade térmica. Os arrefecedores podem ser usados para aumentar a taxa de produção, para melhorar a sanidade do metal, e para aumentar as propriedades mecânicas.

Anti-arrefecedor

Um anti-arrefecedor serve para abrandar o arrefecimento numa área específica. A perda de calor num segmento de um molde permanente pode ser reduzida dirigindo um dispositivo externo de aquecimento, tal como um queimador de gás, contra um anti-arrefecedor inserido no molde (figura acima). O mesmo efeito pode ser produzido através do uso de revestimentos de molde isoladores.

Temperatura de vazamento

Os fundidos de moldes permanentes são geralmente vazados com um metal que é mantido com uma gama de temperatura relativamente apertada. Esta gama é estabelecida pela composição do metal a ser vazado, espessura das paredes do fundido, tamanho e peso do fundido, prática de arrefecimento do molde, revestimento do molde e sistemas de alimentação usados.

Baixa temperatura de vazamento

Se a temperatura de vazamento é, mais baixa que a óptima, a cavidade do molde não irá encher, materiais de adição (se usados) não serão ligados, o sistema de alimentação ou reservatório irá solidificar antes da última parte do fundido, e as secções finas irão solidificar demasiado rapidamente e interromperão a solidificação direccionada. Uma baixa temperatura de vazamento resulta consequentemente em paragens no ciclo de produção, porosidade, pobre detalhe do fundido, e fissuras a quente. Por vezes, só um pequeno aumento na temperatura de vazamento é necessário para prevenir essas fissuras.

Alta temperatura de vazamento

Uma alta temperatura de vazamento causa contracções no fundido e empeno do molde, o que leva à perda de tolerância dimensional. Em adição, variações na composição do metal podem desenvolver-se se o metal fundido tem componentes que se tornem voláteis a altas temperaturas de vazamento. Altas temperaturas de vazamento também diminuem o tempo de solidificação (diminuindo assim a taxa de produção) e quase sempre diminuem a vida do molde.

Temperaturas de vazamento para metais específicos

A temperatura de vazamento para as ligas de alumínio usualmente varia entre 675 a 790°C (1250 a 1450°F), no entanto nas paredes finas dos fundidos podem ser vazadas a temperaturas tão altas como 845°C (1550°F). Uma vez estabelecida para um dado fundido, a temperatura de vazamento deve ser mantida no espaço de $\pm 8^\circ\text{C}$ ($\pm 15^\circ\text{F}$). Se este controle da temperatura de vazamento não pode ser mantido, o ciclo de arrefecimento deve ser ajustado para a máxima temperatura usada. O arrefecimento interno do molde pode ser controlado pelo processo de válvulas solenóides que actuam através de termoelectrónicos inseridos nas paredes do molde. Para as ligas de magnésio, a gama normal de temperatura de vazamento é de 705 a 790°C (1300 a 1450°F). Nas paredes finas o fundido é vazado a uma temperatura próxima do valor mais alto da gama de temperatura. Nas paredes grossas dos fundidos, próximo de valor mais baixo da gama. No entanto, como para qualquer fundição de molde permanente, a temperatura de vazamento é dominada pelas variáveis do processo citadas na secção “ Temperatura do molde”, e alguns ensaios são muitas vezes requeridos para estabelecer a temperatura de vazamento óptima para um fundido específico. Uma vez estabilizada, a temperatura de vazamento deve ser controlada no espaço de $\pm 8^\circ\text{C}$ ($\pm 15^\circ\text{F}$).

As ligas de cobre são vazadas numa gama de temperatura entre 980 a 1230°C (1800 a 2250°F), dependendo da liga assim como das variáveis do processo salientadas na secção “Temperatura do molde”. Uma vez estabelecida a temperatura para determinadas condições específicas, deve ser controlada no espaço de $\pm 15^\circ\text{C}$ (25°F).

A fluidez do ferro cinzento é excelente, e pequenas dificuldades são de conhecimento prático no vazamento de temperaturas de 1275 a 1355°C (2325 a 2475°F). Temperaturas de vazamento excessivas podem causar fugas devidas à distorção do molde. À medida que a temperatura de vazamento aumenta, há um rápido aumento nos defeitos causados por pontos quentes pontuais na superfície da cavidade e insuficiente capa de fuligem.

Porque a temperatura do ferro fundido diminui consideravelmente entre o tempo que as primeiras e as últimas máquinas são servidas, é usualmente necessário libertar o metal para a área do fundido numa colher de transferência. O metal nesta colher de transferência é libertado a mais alta temperatura do que as apropriadas para o vazamento. Para obter a temperatura de vazamento desejada, são adicionados na colher de transferência pequenos pedaços de quando necessário. Se diversas máquinas estão a ser utilizadas, o metal pode ter arrefecido o suficiente de modo que o arrefecimento não seja requerido pelo tempo que a última máquina é utilizada.

Remoção dos fundidos dos moldes

Após a solidificação de um fundido, o molde é aberto e o fundido é removido. Para facilitar a remoção do fundido do molde, um lubrificante é muitas vezes adicionado ou um spray ao longo do revestimento do molde. Para muitos fundidos, cavilhas de expulsão ou alavancas devem ser usadas. As cavilhas dos machos e os machos devem ser desenhados de modo que não interfiram com a remoção dos fundidos dos moldes.

Desenho do molde

O desenho dos fundidos de molde permanente para a produção de qualidade aceitável ao mais baixo custo envolve muitas considerações que se aplicam a qualquer método de fundição. Por exemplo, as secções do fundido devem ser o mais uniforme possível, sem mudanças abruptas na espessura. Secções pesadas não devem ser isoladas e devem ser alimentadas pelos reservatórios. As tolerâncias devem ser mais apertadas do que o necessário.

A produtividade de um fundido pode ser aumentada evitando alterações abruptas nas espessuras das diferentes secções. Bordas pesadas adjacentes a paredes finas causam normalmente arrefecimento e fissuras a quente; em tais casos, pode ser necessário um novo desenho para o fundido. A mínima espessura de uma secção produtível a um custo razoável varia consideravelmente com o tamanho do fundido e com a uniformidade das espessuras das paredes desse fundido.

Tolerância dimensional

A tolerância dimensional dos fundidos em moldes permanentes é afectada por variáveis de pequena duração e longa duração.

As variáveis de pequena duração são aquelas que prevalecem indiferentemente do comprimento do ciclo:

- 1- Variações ciclo-a-ciclo no sistema de alimentação do molde ou no posicionamento de outros elementos móveis do molde
- 2- Variações no sistema de alimentação do molde causadas por um material estranho nas faces do molde ou por distorção dos elementos do molde
- 3- Variações na espessura do revestimento do molde
- 4- Variações na distribuição da temperatura do molde
- 5- Variações na temperatura de remoção dos fundidos

As variáveis de longa duração que ocorrem ao longo da vida do molde são causadas por:

- 1- Distorção gradual e progressiva do molde resultante do alívio de tensões, crescimento, e deformações
- 2- Desgaste progressivo das superfícies do molde principalmente devido à limpeza

Variações dimensionais podem ser minimizadas mantendo as taxas de aquecimento e arrefecimento constantes, operando num ciclo fixo, e mantendo limpas as faces de separação. É particularmente importante seleccionar os procedimentos de limpeza do molde que removam o mínimo material do molde.

Acabamento superficial

O acabamento superficial dos fundidos em moldes permanentes depende principalmente de:

- 1- Superfície da cavidade dos moldes: o acabamento superficial do fundido não será melhor que o da cavidade do molde. Fissuras a quente e outras imperfeições serão produzidas na superfície do fundido.
- 2- Revestimento do molde: um revestimento excessivamente espesso, revestimentos desiguais, ou revestimentos em escamas irão degradar o acabamento do fundido.
- 3- Desenho do molde: suficiente "draft" deve ser estabelecido para prevenir a escoriação e fractura das superfícies do fundido. A localização da linha de apartação pode também afectar a superfície de acabamento do fundido.
- 4- Desenho e tamanho dos sistemas de alimentação: estes factores têm um efeito marcante no acabamento do fundido por causa da influência na taxa de amaciamento do fluxo de metal fundido.
- 5- Ventilação: a remoção de ar preso nas cavidades do molde é importante para assegurar o amaciamento e o total preenchimento
- 6- Temperatura do molde: para um acabamento superficial óptimo do fundido, a temperatura do molde deve ser a correcta para o trabalho e deve ser razoavelmente uniforme
- 7- Desenho do fundido: o acabamento superficial é afectado desfavoravelmente por alterações severas da secção, complexidade, requisitos para alteração da direcção de fluxo do metal, e grandes áreas planas.

Defeitos do fundido

Os defeitos que podem ocorrer nos fundidos de moldes permanentes são porosidade, impurezas, inclusões não metálicas, fissuras a quente, distorção e fractura. Fundidos de ligas de alumínio são sujeitos a todos estes defeitos.

Fundidos de ligas de magnésio podem ter os mesmos defeitos dos fundidos das ligas de alumínio.

Fundidos de ligas de cobre também são susceptíveis à maior parte dos defeitos comuns ao alumínio e magnésio. Devido às elevadas temperaturas de vazamento, as fissuras a quente da cavidade do molde são um problema adicional. Os fundidos de ligas de cobre ficam muitas vezes colados aos moldes; isto pode ser por vezes prevenido por um novo desenho da cavidade do molde.

Custo

O custo total de um fundido em molde permanente inclui o custo do metal, trabalho, combustível, abastecimento, manutenção dos moldes e outros equipamentos, e inspecção.

Métodos manual vs automático

O equipamento operado manualmente é geralmente mais económico para produções de baixa quantidade, mas o equipamento automático custa invariavelmente menos para produções de média a alta quantidade.

Custo vs quantidade

A fundição de molde permanente é principalmente usada para produções médias e altas, apesar do processo ser por vezes usado vantajosamente para baixas produções. O custo por fundido ou por quilo diminui invariavelmente à medida que a quantidade aumenta.

Moldes permanentes vs fundição em areia

O processo de moldes permanentes é muitas vezes escolhido em detrimento da fundição em areia ou outro processo alternativo devido principalmente ao baixo custo por fundido, mas há muitas vezes benefícios adicionais. Para alguns fundidos, uma alteração mínima do desenho pode permitir a mudança da fundição em areia para a fundição em moldes permanentes o que resulta numa diminuição considerável dos custos.

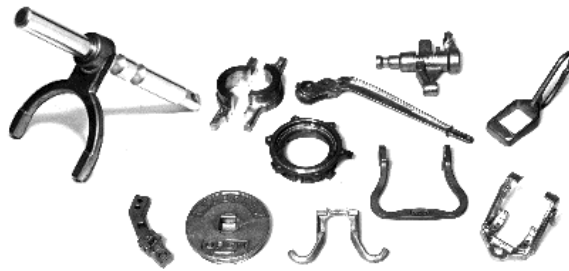
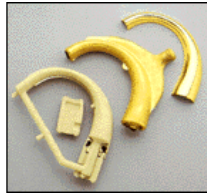
Quando os fundidos devem ser maquinados, o custo significativo é muitas vezes não o do fundido em si mas o do produto final maquinado. A fundição de moldes permanentes é muitas vezes económica porque permite a redução do número de operações de maquinação requeridos ou da quantidade de metal removido.⁽³⁾

Aplicações:



A fundição por gravidade é o processo preferido para produção de peças com alta integridade, tais como, os cilindros dos travões, para grandes peças onde os custos da fundição injectada são proibitivos ou para pequenos volumes de peças que não justificam os elevados custos da produção em fundição injectada. Assim sendo, podem ser fabricadas peças para todos os ramos da actividade industrial, salientando: cabeças de motor, corpos de bomba, pistões, camisas de motor, artigos metalo-sanitários, etc.





Bibliografia:

(1) www.aurorametals.com

(2) www.castsolutions.com

(3) Metals Handbook; Casting; ASM International; volume 15; Ninth Edition; 1998

(4) www.ashworth-diecasting.co.uk/gravity.html