



Bloco em Alumínio para Motores

SOLIDIFICAÇÃO

Professor Dr. Gilberto Coelho

Alunos:

Augusto Sakuragi

Rochel

Felipe Martins

Bonjorni

Guilherme Zago

Manuel Maciel

Pietro Magalhães

Rodolfo Botti

Introdução

O bloco do motor é uma peça fundida em ferro ou alumínio que aloja os cilindros de um motor de combustão interna bem como os suportes de apoio do virabrequim. O bloco do motor apresenta formas complexas pois além de alojar os cilindros no seu interior existem cavidades tubulares através das quais circula a água de resfriamento, bem como o óleo de lubrificação. Os materiais utilizados para produção dos blocos de motor devem suportar as elevadas temperaturas geradas pela deflagração do combustível e permitir a rápida dissipação do calor.

A indústria de fundição cada vez mais vem desenvolvendo processos que geram fundidos de melhor qualidade, de baixo custo de produção, menor consumo de energia e mínima agressão ao meio ambiente. Essa constância, na busca de melhor qualidade aliada a um baixo custo de fabricação levou ao desenvolvimento do processo Molde Cheio. O processo Molde Cheio apresenta como características menores consumo de energia, custo de produção e impacto ambiental quando comparado a outros processos de fundição.

O processo Molde Cheio é um processo de fundição em areia sem aditivos, em que se emprega um modelo (réplica da peça) confeccionado em poliestireno expansível. Este modelo é pintado com uma tinta refratária e permanece no molde durante o vazamento, sofrendo uma degradação térmica pelo metal líquido que penetra no molde através do sistema de canais de alimentação, reproduzindo fielmente a forma do modelo degradado.

Durante a queima, os gases gerados devem escapar através da camada de tinta e penetrar na areia solta, que deve permitir o seu escape com facilidade e o reaproveitamento da mesma sem tratamentos e descartes onerosos. Nos anos 80, grandes companhias norte-americanas, européias e asiáticas iniciaram a fase de testes e implantação do processo Molde Cheio na produção de coletores de admissão, cabeçotes de motor e trocadores de calor fundidos em alumínio. A produção de fundidos em ferro cinzento e nodular concentra-se em coletores de escape, blocos de motor, conexões, carcaças de motores elétricos e válvulas. Dessa forma o processo de fundição com molde em areia, para obtenção dos blocos de motor, vem sendo substituídos gradativamente pelo o processo de molde cheio.

Seleção da Liga de Alumínio

O alumínio é o metal mais adequado para a confecção do bloco, pois ele confere ao conjunto:

- Redução em peso
- Boa usinabilidade
- Dissipa melhor a temperatura ao longo do bloco
- Tenacidade a fratura
- Resistência mecânica

Tais os requisitos somados a questões de manufatura irão conduzir a escolha de uma liga de alumínio específica.

Há uma grande variedade de ligas diferentes que são comumente usados para a fundição de alumínio. O projetista do motor deve selecionar a liga de alumínio que oferece a melhor combinação de propriedades mecânicas, fluidez e usinabilidade. As propriedades da liga podem indicar níveis de desempenho mecânico, mas o desempenho real pode variar devido ao tamanho da seção, porosidade e fluidez no molde, tamanhos de seção grossa e tempo de resfriamento, que pode alterar os contornos de grão modificando também as propriedades mecânicas do material. As porosidades que surgem no processo de fundição são conseqüentes do conteúdo de hidrogênio, óxidos e de composição de metal. Níveis elevados de porosidade conferem propriedades inferiores às peças fundidas, por isso o nível de impurezas na liga deve ser muito bem controlado. A propagação do fluxo é necessária para aperfeiçoar a solidificação direcional e manter a pressão hidrostática através da solidificação do metal.

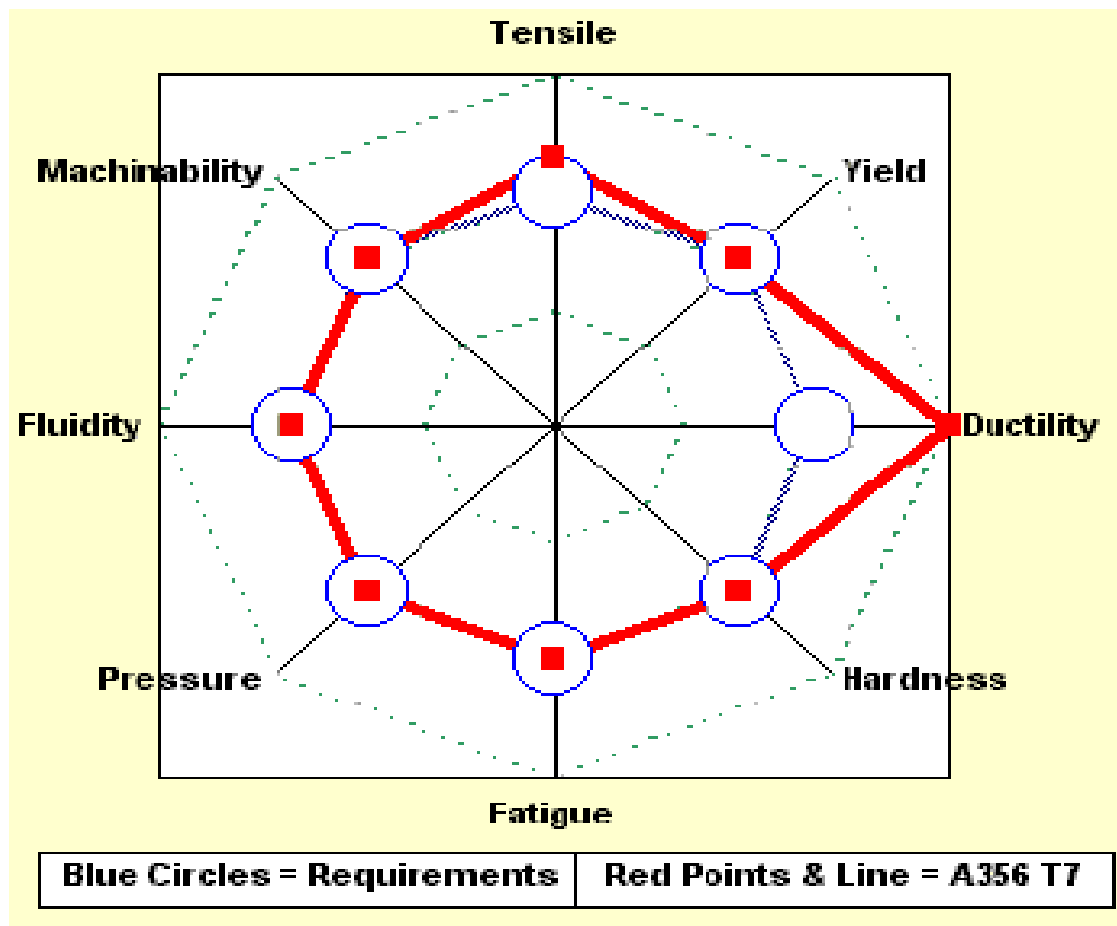
Tabela 1- Comparação entre diferentes tipos de liga de alumínio, e as propriedades requeridas para o projeto de um bloco de motor.

Liga	Condição	242 – T77	319 – T5	A356 – T6
Desempenho				
Resistência a Tração	245MPa	205MPa	205MPa	280MPa
Limite de Escoamento	215MPa	157MPa	178MPa	215MPa
Ductilidade	1,6%	2%	1,5%	6%
Dureza Brinell	80	75	80	80
Resistência a Fadiga	60MPa	74MPa	77MPa	70MPa
Resistência a Pressão	1	3	2	1

Manufaturabilidade				
Fluidez	1	3	2	1
Usinabilidade	3	2	3	3

A liga de A356 é uma liga de 7Si-0,3Mg com 0,2 Fe (Max) e 0,10 Zn (Max). O tratamento T6 é um recozimento seguido por um envelhecimento a 320°F. As aplicações incluem cárteres de motores a diesel; tanques de gasolina e óleo, e painéis de petróleo e para as especificações requeridas essa liga se torna a melhor escolha dentre as ligas apresentadas.

A liga A356 atende ou excede todos os requisitos para resistência mecânica, ductilidade, dureza, resistência à fadiga, resistência à pressão, fluidez e usinabilidade. Portanto, ela é a melhor escolha na seleção do material a se usar.



Processo Molde Cheio

O processo Molde Cheio é um processo de fundição em areia, sem aditivos, no qual se emprega um modelo (réplica da peça) que é confeccionado em poliestireno expansível. Este modelo é pintado com uma tinta refratária e com o auxílio de uma vibração externa o molde é confeccionado com o modelo no seu interior. Ao vazarem o metal no molde, o modelo sofre uma degradação térmica pelo metal líquido que penetra no molde através do sistema de canais de alimentação, reproduzindo a forma do modelo degradado. Durante a queima, os gases gerados devem escapar através da camada de tinta e penetrar na areia solta, o que permite a sua saída com facilidade. Esta areia solta pode ser reaproveitada sem tratamentos e descartes onerosos. Após a solidificação, as peças podem ser facilmente desmoldadas requerendo pouca ou quase nenhuma rebarbação. A sequência do processo é mostrada esquematicamente no fluxograma.



Figura 1- Fluxograma referente ao processo de fundição por molde cheio.

Confecção dos modelos em poliestireno expansível

Como no processo Molde Cheio o modelo permanece dentro do molde durante o vazamento do metal líquido, há necessidade deste ser eliminado durante o vazamento do molde. Para assegurar a eliminação rápida e sem resíduos dentro da cavidade do molde, são empregados materiais poliméricos que apresentam uma degradação térmica rápida frente ao calor do metal líquido. Assim os polímeros que melhor adaptam-se à produção de modelos para fundição são o poliestireno expansível e o polimetilmetacrilato ou mistura de ambos.

Os polímeros empregados em modelos de fundição devem apresentar certas características para produzir peças fundidas de qualidade, sendo as principais: estabilidade

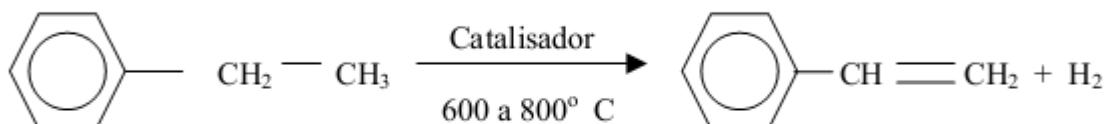
dimensional, produzir um baixo volume de gases, excelente acabamento superficial e resistência mecânica. Nos itens a seguir serão discutidos os processos de obtenção do poliestireno expansível (polímero empregado no trabalho) e a fabricação de modelos para o processo Molde Cheio.

Poliestireno expansível (EPS)

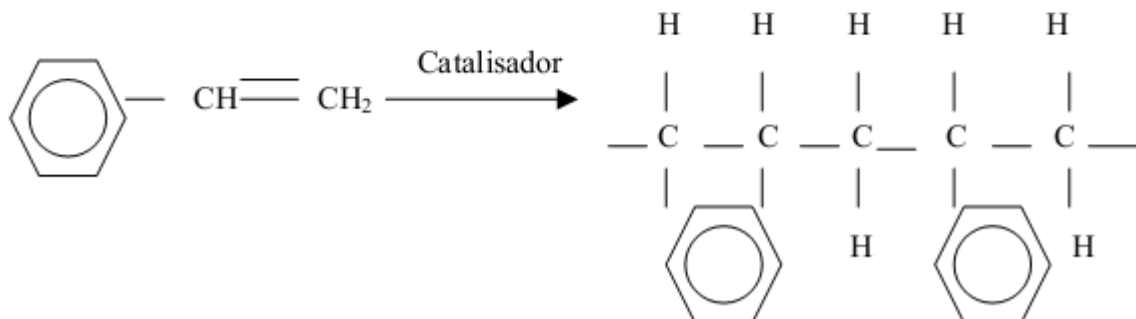
A obtenção do poliestireno inicia com a reação de Friedel- Craft entre o benzeno e o etileno na presença de cloreto de alumínio, na temperatura de 90°C e na pressão de 1atm de pressão, formando-se então o etilbenzeno, reação 1. Este com posto é desidrogenado na presença de óxido de ferro e nitrogênio, formando o estireno, reação 2. O estireno é destilado na presença do peróxido de benzoíla, transformando-se em um polímero de cadeia longa, o poliestireno, reação 3. Os canais de enchimento podem ser divididos em três partes: canal de descida, canal de distribuição e canal de ataque. O sistema de enchimento pode apresentar outros dispositivos, como bacia de vazamento, filtros de retenção, massalotes ou montantes, poços coletores e respiros. Na concepção do projeto de um sistema de enchimento define-se primeiramente a menor secção transversal do sistema.



Reação 1 – Reação de Friedel – Craft para formação do etil benzeno



Reação 2 – Reação de desidrogenação do etil benzeno



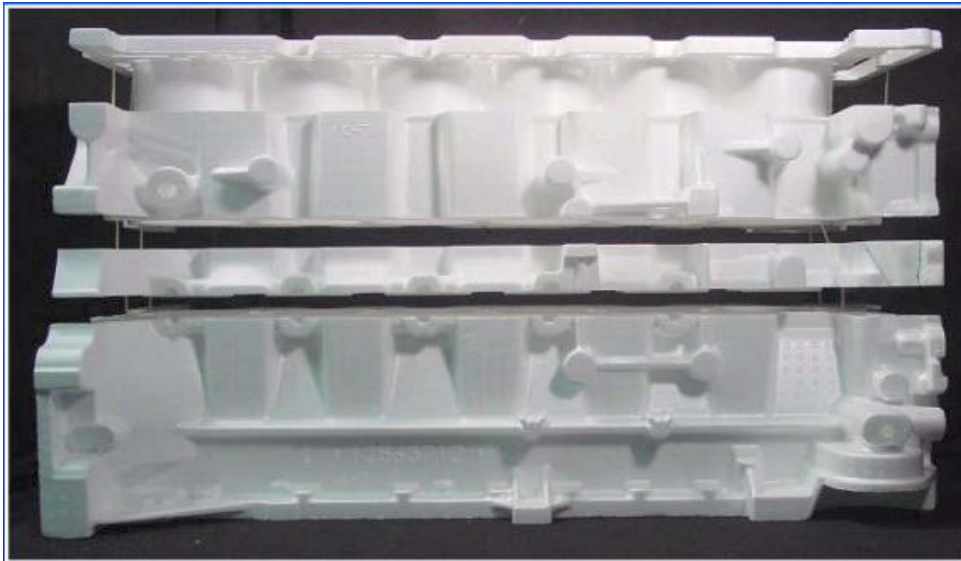
Reação 3 – Reação de polimerização do estireno

O estireno é um líquido transparente, com 92% de carbono e 8% de hidrogênio em peso. A sua polimerização é do tipo em suspensão, pois no reator estão presentes o estireno, água e um tensoativo. Para se obter o poliestireno expansível adiciona-se no reator um expensor, o pentano. Esta reação necessita de forte agitação e calor. O polímero absorve entre 5 a 8 % do agente

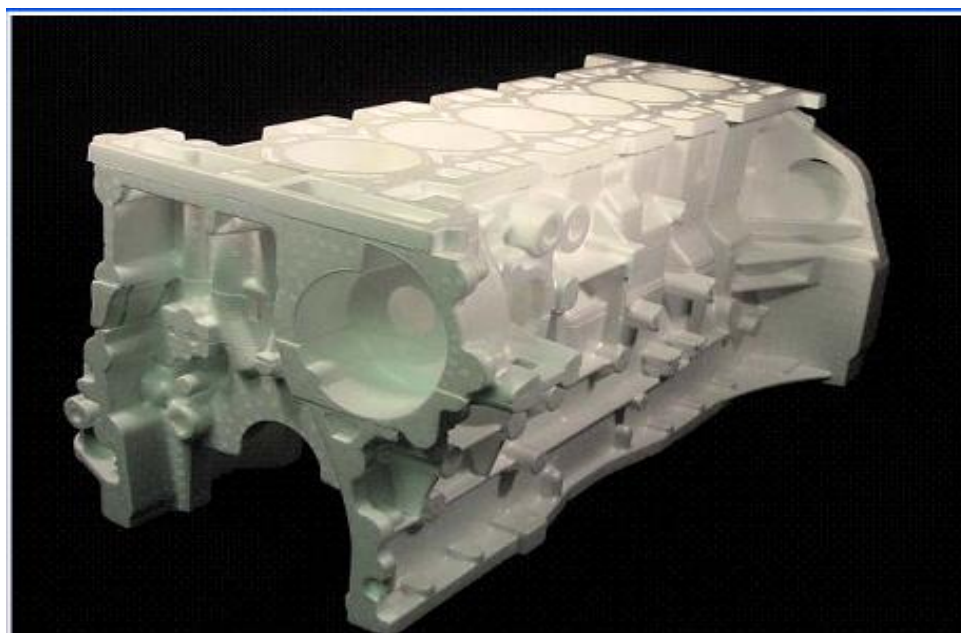
expansor. Obtêm-se o poliestireno na forma de pequenas esferas (pérolas), com um diâmetro que pode variar entre 0,4 a 1,3 mm .

Modelo em poliestireno expansível (EPS)

Após a pré-expansão, as pérolas são submetidas a uma estabilização por um período mínimo de 1 hora [4,6-10] antes de serem sopradas no molde que apresenta a forma do modelo desejado. No molde as pérolas são submetidas a uma segunda expansão, agora pela ação de vapor d'água. O molde é resfriado ocorrendo uma acomodação do poliestireno expansível e a seguir o modelo é extraído do molde



a)



b)

Figura 2- Modelos do bloco de motor em poliestireno expandindo. a) Modelo feito em várias partes, antes da colagem, b) Modelo com suas partes já coladas e usinadas.

Mecanismo de gaseificação do poliestireno expansível (EPS)

O EPS normalmente é um polímero que funde a 164 °C, volatiliza a 316 °C e queima a 576 °C. Na fundição, no entanto, quando o metal, por exemplo o ferro fundido a 1400 °C, entra em contato com o EPS ocorre uma passagem instantânea pelos três estados físicos a 740 °C. O estireno pode sofrer um craqueamento em temperatura acima de 500 °C, formando 12 carbono sólido e hidrogênio. Com o conseqüência, pode haver a formação de defeitos superficiais nas peças fundidas, com o, por exemplo; o “carbono lustroso”.

Sistema de canais de enchimento e alimentação

O sistema de canais de enchimento é parte fundamental na obtenção de um fundido de qualidade e com baixo custo de produção. O sistema de canais deve reduzir a turbulência do fluxo metálico, evitar a aspiração de gases, promover um enchimento no tempo adequado, não apresentar erosão, gerar um gradiente térmico adequado e eliminar os aspectos subjetivos da prática do vazamento. Os fatores que condicionam a aplicação dos canais são o rendimento metálico, o espaço na placa ou molde, a geometria da peça e a altura da caixa de moldar.

Canal de descida

O canal de descida consiste em um canal vertical que recebe o metal fundido no ato do vazamento e o conduz para os canais de distribuição. A entrada do canal pode ser em forma cônica ou apresentar uma bacia de vazamento. Quando o canal for longo a velocidade aumenta, podendo descolar o metal da parede, e criar um vácuo dentro do canal arrastando vapores, gases e areia, Figura 3.

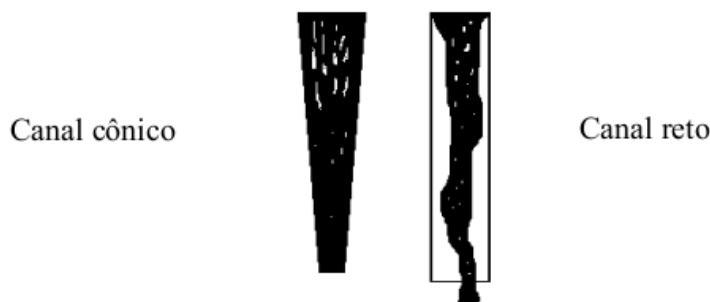


Figura 3- Canal de descida Cônico e não Cônico

Canal de distribuição

O canal de distribuição inicia a partir da base do canal de descida, onde ocorre a mudança de direção do fluxo do metal líquido de vertical para horizontal, diminuindo a turbulência. Normalmente, apresenta uma bacia para reduzir o impacto do metal líquido. O canal de distribuição pode apresentar uma redução de seção por escalonamento, figura 4, ou de forma

contínua como se observa na figura 2.10, para evitar o retorno do metal líquido sobre o fluxo. Na extremidade pode apresentar um poço coletor ou até respiros.

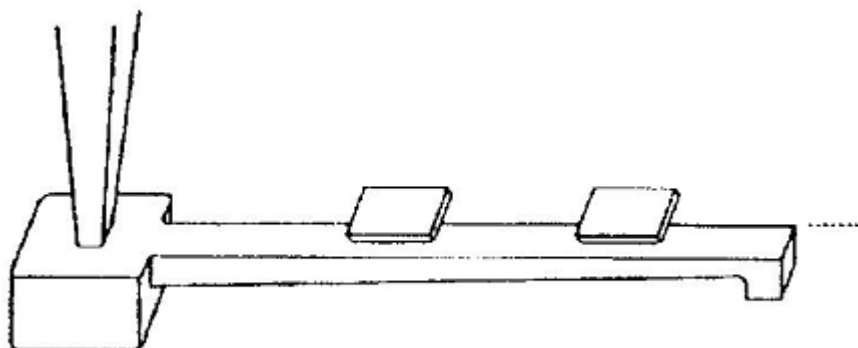


Figura 4- Canal de distribuição Contínuo

Canal de ataque

O canal de ataque é definido em função das combinações de velocidades e turbulências desejadas para que se mantenha dentro dos limites pré-estabelecidos pelo número de Reynolds. A posição do canal de ataque deve estar na parte de cima do canal de distribuição e antes do final deste, o que evita os problemas de inclusões. As proporções das dimensões dos canais de ataque devem evitar a entrada de partículas não-metálicas e facilitar a separação na desmoldagem. Além disso, a conexão com o canal de distribuição deve ser perpendicular, para evitar choques no vazamento do metal.

Montagem do modelo e do sistema de enchimento

A montagem de partes de modelos e do sistema de enchimento (canais de ataque, distribuição, massalotes e canal de descida ao modelo) é normalmente realizada com. É fundamental que o adesivo não reaja com o poliestireno, não deixe cinzas quando em contato com o metal líquido, possibilite a selagem das superfícies internas e externas do modelo evitando reentrâncias na peça fundida, e seja de fácil aplicação para não comprometer a produtividade.

Os adesivos mais indicados são do tipo termoplástico, denominados de “cola quente”, pois não apresentam solventes aromáticos, acetonas e nem ésteres que atacam o poliestireno expansível. A aplicação mecanizada é a mais indicada para assegurar velocidade na aplicação e a quantidade necessária de cola para fixar o modelo. Uma técnica comum é a de carimbo, onde este é submerso em um tanque com cola e a seguir aplicado na superfície do modelo.

Pintura dos modelos e do sistema de enchimento

Os modelos em poliestireno expansível são pintados com tinta refratária. Esta tinta controla a velocidade de escape dos gases produzidos pela gaseificação do EPS durante o vazamento, além disso evita defeitos como sinterização e erosão do molde.

O desenvolvimento das tintas para molde e machos iniciou-se em 1952, quando foram desenvolvidas tintas à base de zirconita para a fundição em areia a verde. Estas encontraram rapidamente um espaço nas fundições de aço e ferro fundido. Neste mesmo período surgiram novos aglomerantes para moldes e machos que apresentaram problemas de reação metal/molde, como porosidades e bolhas de gases. O emprego de zirconita, hidrossilicato de magnésio e combinações de grafita em pó e de coque calcinado na pintura de moldes e machos confeccionados com esses novos aglomerantes reduziram estes problemas.

Os últimos avanços em formulações de tintas geraram produtos com menor produção de gases, maior isolamento térmico e uma baixa deformação em altas temperaturas, de modo a obter-se uma superfície lisa e limpa do fundido e reduzir os defeitos superficiais relacionados com a expansão da sílica.

Nas composições básicas das tintas de fundição estão incluídos materiais com características diluentes, refratárias e os aditivos específicos. Os aditivos possuem funções específicas, de atuar como espessantes, fixadores, fungicidas e antiespumantes. Nas tintas empregadas no processo Molde Cheio, o diluente não pode reagir com o polímero, sendo normalmente empregados água ou álcool.

A camada de tinta assume papel importante no escape dos gases e na resistência a erosão. Se for espessa pode provocar defeitos, tais como gases, rugas superficiais e carbono lustroso. A espessura da película deve ser de 0,25 a 1,5 mm. Quanto menor o módulo de finura da areia base (tamanho dos grãos médios da areia) e quanto maiores as temperaturas de vazamento e da coluna metalostática, mais espessa deverá ser a película da tinta.

A permeabilidade da tinta é um fator que controla o preenchimento do molde. As densidades das tintas devem poder ser de 1,073 e 1,324 kg/cm³ para revestimento de alta e baixa permeabilidade, respectivamente. Um modo de efetuar-se o controle tanto da espessura como da permeabilidade da camada de tinta é através da densidade da tinta, que é normalmente medida em graus Baumé.

Técnicas de aplicação das tintas

As técnicas de aplicação das tintas como imersão, por jorro e por pulverização, podem ser empregadas no processo Molde Cheio. No entanto o método de imersão é considerado o melhor, por promover uma uniformidade de espessura de camada.

Nas tintas à base d'água empregadas, as partes pintadas devem ser submetidas a secagem em temperaturas que não ultrapassem os 50 °C, para evitar distorções dos modelos. Pode-se empregar até fornos de microondas para secagem de modelos complexos. Em qualquer um dos casos a tinta deve ser suficientemente elástica para resistir a expansão e contração, se m apresentar trincas, que podem levar ao deslocamento da mesma.

Vazamento da peça

No processo Molde Cheio a temperatura de vazamento tende a ser ligeiramente mais alta que nos outros processos em areia para compensar o calor consumido na evaporação do poliestireno expansível, o que pode provocar a oxidação das ligas de alumínio e inoculação em

ferros fundidos. Entretanto, existem tintas que promovem um isolamento térmico possibilitando vazamentos em temperaturas mais baixas.

É necessário que desde o início do vazamento se mantenha o canal de descida cheio para evitar o colapso da areia e conseqüente perda do molde. A velocidade de vazamento é determinada pela densidade do modelo, pelas permeabilidades da tinta e da areia, pelo tipo e temperatura do metal vazado e pelo número de ataques empregados na peça. A utilização de vácuo na areia para reduzir o efeito da pressão de ar nos espaços existentes entre os grãos de areia aumenta a força de contato grão com grão, gerando maior fricção interna e conseqüente redução da fluxibilidade da areia. A combinação de vácuo e vibração aumenta a rigidez do molde, tornando desprezível o efeito da pressão metalostática.

O vácuo evita a fluidização da areia, a emissão de fumos, defeitos de gases e o perigo do retorno do metal durante o vazamento. A sua aplicação pode ser realizada de duas maneiras, selando o topo da caixa de moldar com uma folha plástica ou deixando livre o topo da caixa de moldar. No segundo método, a diferença de pressão entre a base da caixa e as camadas subseqüentes geram uma corrente continua de ar que retira os gases por arraste e cria uma atmosfera oxidante que auxilia a combustão dos mesmos .

Desmoldagem/ Limpeza das peças

No processo Molde Cheio a desmoldagem é uma operação simples que envolve a separação da areia compactada por vibração do conjunto fundido. Após o resfriamento do conjunto injeta-se ar através da areia, fluidificando-a e separando-a do conjunto fundido. A caixa pode ser esvaziada pelo fundo ou tombada em uma tela de aço, para reter o conjunto fundido e deixar passar a areia.

A areia pode ser reaproveitada, considerando que os produtos da degradação do poliestireno expandido não estão na areia, bastando resfriá-la abaixo de 50 o C, remover os finos gerados e os respingos de metal. A areia necessita apenas uma adição de areia nova para compensar as perdas. Após a quebra de canais, as peças são submetidas a limpeza superficial com jatos de granalha, visando remover a tinta levemente aderida à peça. Desta forma as peças estão prontas para rebarbação e usinagem.

Defeitos gerados pela degradação do modelo de poliestireno

Os defeitos típicos gerados pela degradação do modelo de poliestireno são: defeito de superfície, solda fria, porosidade, rugosidades, carbono lustroso e deformações no modelo devido ao excesso de compactação da areia. Os defeitos de superfície são próprios do modelo, devido ao tamanho das pérolas e da densidade do modelo, eles são a cópia fiel da superfície do modelo na peça.

As soldas frias se formam quando duas frentes de solidificação do metal se encontram ou não há escape do filme de poliestireno queimado.

As rugosidades (wrinkles) ocorrem na superfície fundida devido a camadas de tintas espessas, onde no local ocorre um a alta concentração de gases do modelo de poliestireno degradado. Este tipo de defeito sempre aparece na última região preenchida.

A porosidade é agravada pela liberação de gases e líquidos durante a degradação do polímero e do adesivo, se esses gases forem absorvidos pelo me tal podem provocar porosidades de até 5 mm de diâmetro.

O carbono lustroso, figura 2,17, é típico dos ferros fundidos e aços, e surge em função do craqueamento do estireno que foi liberado na queima do EPS e não escapou através da camada de tinta. Estes resíduos carbonáceos aparecem na superfície do me tal líquido em ascensão, causando um enrugamento das superfícies planas do fundido e apresenta-se com aspecto brilhante.

Tabela 2- Comparação entre a fundição pode molde cheio molde em areia

Propriedades	Molde de Areia	Molde Cheio
Complexidade das Peças	Complexidade determinadas pela limitação do núcleo de areia como geometria e custo	Extensas e complexas características internas disponíveis em molde cheio com bases na facilidade da produção do molde e do preenchimento pelo metal
Tolerâncias Dimensionais	Aproximadamente 0,03"	Entre 0,005 a 0,01"
Acabamento de Superfície	250 a 600 micro polegadas	60 a 250 micro polegadas
Precisão	Movimento do Núcleo e mudança entre as metades do molde em toda a linha de partição limitando a precisão	Não há núcleos ou metade de molde a mudar o que aumenta a precisão
Linhas de Partição e ângulo de Inclinação	Linhas de partição e ângulos de inclinação são necessários para a moldagem	Não há linhas de partição no molde e ângulo de inclinação mínimo das ferramentas
Vida dos equipamentos	O desgaste ocorre mais a severamente devido a abrasão da areia	Baixo desgaste e longa vida da ferramenta

Referências Bibliográficas

http://www.sfsa.org/tutorials/eng_block/GMBlock.pdf

http://3.bp.blogspot.com/_kY_N889j_EY/TJKkmiXntrI/AAAAAAAAADiQ/WgdAmsEitwo/s1600/Bloco+do+Motor+Veyron+-+Origintimes+1.jpg

http://pt.wikipedia.org/wiki/Bloco_do_motor

<http://www.retificaanastacio.com.br/imagens/home/bloco-do-motor.jpg>

BAILEY,R.,Understanding the Evaporative Pattern Casting Process (EPC), art. Modern casting, Abril , 1982, pg.58, 72.