

Processos de conformação metalúrgica

A maioria dos produtos metálicos apresenta formas diferentes das geometrias fabricadas e fornecidas regularmente. Portanto, é necessário alterar a forma da matéria-prima conforme a geometria necessária para o produto, ou seja, é preciso conformar o material. Esses processos de conformação podem acontecer tanto durante o processo de solidificação do material, quanto por sua deformação plástica ou retirada mecânica de parte dele.

A escolha do processo de conformação a ser utilizado dependerá de diversos fatores, tais como a resistência mecânica do material, ponto de fusão, reatividade química, entre outros. Portanto, dispor de conhecimentos sobre as principais características e peculiaridades dos processos de conformação permite ao profissional escolher com fundamentação o processo mais adequado ao produto a ser fabricado.

Objetivo

Ao final desta unidade, você deverá ser capaz de:

- Diferenciar os processos de conformação metálica para compreensão de suas características primordiais e aplicações.

Conteúdo Programático

Esta unidade está organizada de acordo com os seguintes temas:

- Tema 1 - **Fundição: modelagem em areia, molde metálico (permanente)**
- Tema 2 - **Fundição por centrifugação (coquilhas), fundição de precisão: em casca (shell molding), cera perdida**
- Tema 3 - **Metalurgia do pó: sinterização**



O processo de fundição é o caminho mais rápido entre a matéria-prima e a forma final desejada. Apesar de ser um processo muito antigo, a partir do avanço no controle de parâmetros sua execução se tornou cada vez mais sofisticada e, atualmente, permite um nível de qualidade elevado.

Tema 1

Fundição: Modelagem em areia, molde metálico (permanente)

Quais são os metais e tipos de peças mais indicados para o processo de fundição?

Um breve histórico sobre a fundição

A história do processo de fundição possui registros de 6.000 anos a.C., quando houve a transição do Período Neolítico para a Idade do Bronze. O cobre foi um dos primeiros metais empregado em processos rudimentares de fundição. Com ele, utensílios e ferramentas foram fabricados, o que permitiu melhoria nos processos agrícolas.

Posteriormente, tentativas de misturas de metais foram feitas, tendo-se concluído que a mistura de cobre e estanho — o bronze — apresentava melhor resistência.

Em um momento posterior o ferro foi empregado no processo de fundição para a confecção de armas e ferramentas. Seu processamento era mais sofisticado, pois envolvia a retirada de impurezas e ajuste, mesmo que grosseiro, do teor de carbono nele contido.

Processo de fundição

O processo de fundição consiste em liquefazer um metal ou liga metálica e colocá-lo em um molde com a forma e medidas desejadas, para que, durante o processo de resfriamento e posterior solidificação, o metal tome a forma desejada.

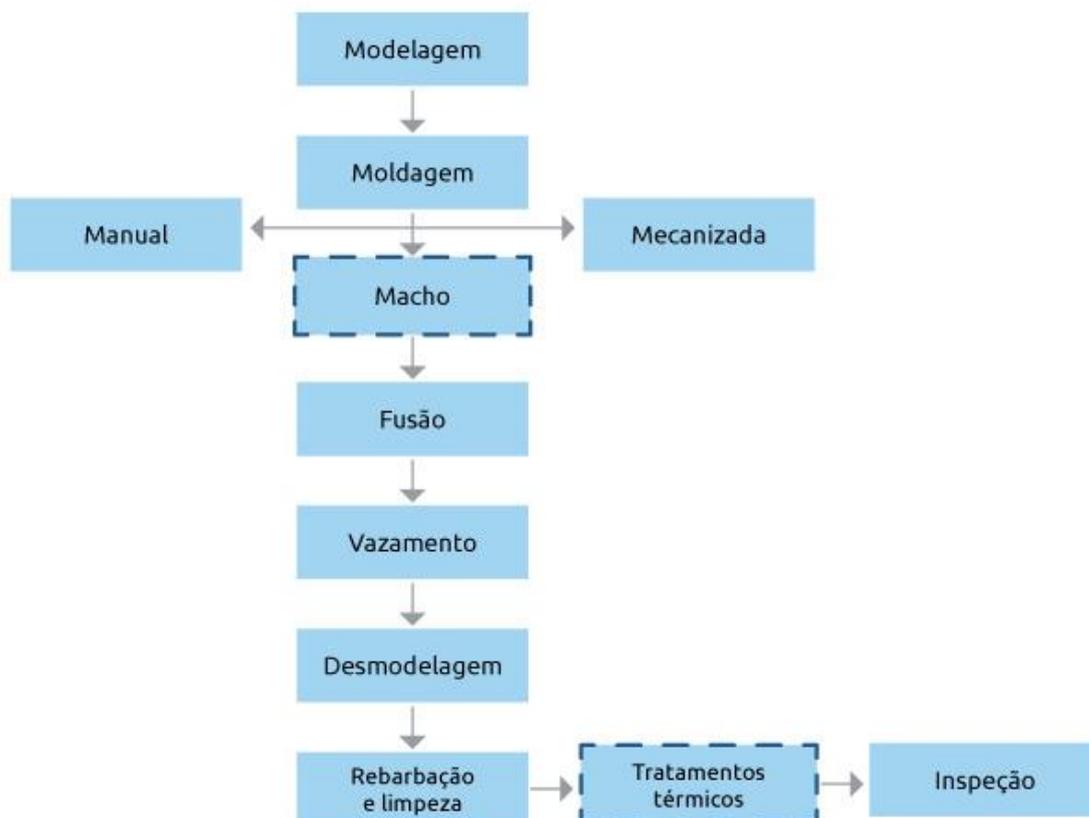
A **fundição** é um dos modos mais econômicos de obtenção de peças com geometrias complexas, sendo o caminho mais curto entre a matéria-prima e a peça em seu formato acabada.

Em geral, esse processo é empregado em metais cujo ponto de fusão não seja muito elevado e que apresentem boa fluidez, para facilitar o processo de preenchimento de espaços do molde.

O processo de fundição pode ser classificado de acordo com o tipo de força empregada ou pelo tipo de molde utilizado, conforme tabela a seguir:

Tipo de Força	Tipo de Molde
Por gravidade	Areia (molde descartável).
	Em casca (<i>Shell Molding</i>).
	Molde permanente (molde metálico, bipartido).
	Cera perdida (molde e modelo descartáveis).
Por pressão	Injeção (molde metálico).

O processo de fundição pode ser resumido nas etapas genéricas apresentadas no fluxograma a seguir.



- Modelagem** - É a etapa que consiste na construção de um modelo. O modelo deve prever que haverá contração do metal quando de sua solidificação. Em geral, o modelo é feito de madeira, alumínio, aço, resina plástica, gesso ou isopor.

- **Moldagem** - É a etapa referente à construção de um molde. O **molde** é o dispositivo no qual o metal fundido é colocado para obtenção da peça desejada, podendo ainda ser confeccionado de material refratário ou metal. O molde é moldado sobre o modelo, que, após retirado, deixa uma cavidade com o formato da peça a ser fundida.

Importante!

Os moldes metálicos, também chamados de permanentes, são empregados em situações em que a quantidade de peças idênticas é muito grande, pois justifica o custo mais elevado desse tipo de molde. Já nas situações com maior variedade de dimensão e menor quantidade de peças, o molde de areia é aplicável.

- **Macho** - Dependendo da geometria da peça, pode ser empregado um macho. Esse dispositivo (feito também de material refratário ou metal) tem a finalidade de formar os vazios, furos e reentrâncias da peça. Os machos são posicionados nos moldes antes de seu fechamento.
- **Fusão** - Essa etapa de fusão do metal ou liga ocorre em fornos específicos, tais como forno cubilô, forno à indução ou forno a arco voltaico.
- **Vazamento** - Após a fusão do metal, ocorre a etapa de vazamento. Nela, o molde é preenchido com metal líquido, conforme mostrado na figura a seguir.



- **Desmoldagem** - Após a solidificação do metal ocorre a etapa de desmoldagem. Nela, ocorre a retirada da peça do molde. Essa etapa pode ser manual ou mecânica.

- **Rebarbação e limpeza** - A peça desmoldada ainda precisa passar por uma etapa para a retirada de sobremetal; essa etapa é a rebarbação. Nela, há a retirada dos canais de alimentação, massalote (cabeça quente) e rebarbas. Essa etapa é realizada em temperaturas próximas à temperatura ambiente. Ao final dessa etapa de ajuste grosseiro da superfície, ocorre a etapa de limpeza. Nessa etapa são retiradas as incrustações, tais como incrustações de areia. A limpeza pode ser feita por jateamento abrasivo, por exemplo.
- **Tratamentos térmicos** - As peças, embora estejam com forma e tamanho desejados, ainda possuem uma microestrutura bruta de fusão; assim, tratamentos térmicos são realizados a fim de adequar a microestrutura e as propriedades mecânicas do material.
- **Inspeção** - Finalmente, inspeções destrutivas ou não destrutivas podem ser realizadas a fim de verificar a adequação do produto ao grau de qualidade desejado.

Tema 2

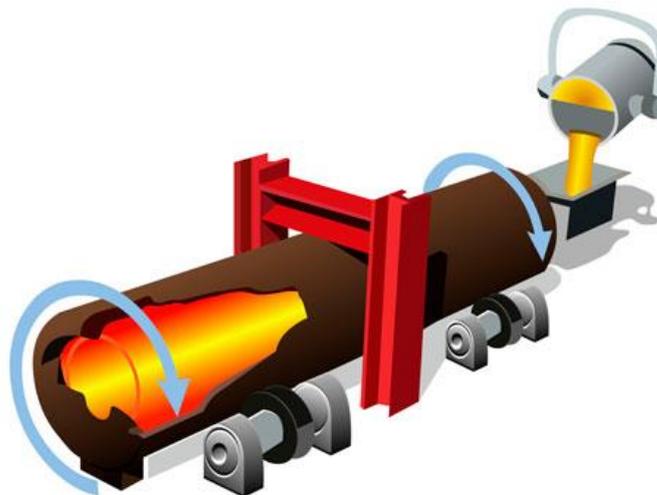
Fundição por centrifugação (coquilhas), fundição de precisão: em casca (shell molding), cera perdida

Como é possível diminuir a quantidade de areia utilizada no processo de fundição?

Fundição por centrifugação

A fundição por centrifugação consiste em um processo em que o metal líquido é vazado em um molde em movimento circular uniforme; com a força centrífuga resultante, mantém o metal líquido na parede do molde, formando a peça.

A figura esquemática a seguir resume o processo de fundição por centrifugação.



Esse processo pode ser classificado pela posição do eixo de rotação em:

- Horizontal.
- Vertical.
- Inclinada.

Saiba mais

A utilização da força centrífuga para a confecção de peças fundidas foi revelada na patente de AG Eckhardt, em 1809. Utilizando esses princípios, em 1852, Alfred Krupp, iniciou um processo de fabricação de pneus de aço para rodas ferroviárias.

O processo é controlado por algumas variáveis fundamentais, que veremos a seguir:

- O tamanho e a forma a serem produzidas fazem com que haja a necessidade de variação da velocidade de rotação e da velocidade do vazamento do metal.
- Quanto maior a força centrífuga, melhor será a alimentação e o preenchimento de detalhes geométricos da superfície.
- A fundição por centrifugação foi particularmente adaptada à produção de peças com formato cilíndrico, eliminando a utilização de portas, tirantes e núcleos.
- Esse processo não é adequado para peças cuja geometria não permita o fluxo linear de passagem de metal.

Cabe destacar que o material produzido pelo processo de fundição por centrifugação apresenta menor densidade de defeitos, além de segregar as impurezas para o furo da peça, permitindo a retirada posterior. A perda de material é menor quando comparada ao processo de fundição convencional. O produto apresenta melhores propriedades mecânicas do que o fabricado por processos convencionais de fundição. Observa-se um menor tempo gasto no preparo do molde quando comparado a outros processos.

Observação

A velocidade de rotação da moldação impacta diretamente a qualidade da peça fundida. Aplicando-se uma velocidade adequada, haverá uma rápida solidificação, com um mínimo de vibrações.

Exemplo

Esse processo de fundição por centrifugação permite a fabricação de tubos bimetalicos, tais como os empregados na indústria do petróleo.

Fundição de precisão

A utilização de uma grande quantidade de areia verde no processo de fundição convencional, incentivou a busca por alternativas mais eficientes. Inventado na Alemanha por Johannes Croning, em 1941, o processo de fundição de precisão – em casca (*shell molding*) é também conhecido como processo Croning, ou processo C.

A principal diferença entra a moldagem de areia tradicional é a adição de resina (1 a 6%) na areia, garantindo a aglomeração dos grãos. A resina fenol-formaldeído é a mais utilizada no processo de fundição de precisão. Essa resina é polimerizável a quente, dispensando a etapa de compactação da areia. Assim, é possível fabricar moldes mais finos, de 3 a 10 mm de espessura, com elevada resistência. Outra vantagem é a possibilidade de reciclagem da mistura areia-resina a partir da queima da resina a temperaturas elevadas.

O processo pode utilizar dois tipos de equipamentos:

- Caixa de areia basculante (*dump box*).
- Sopro de areia (*sand blowing*).

No processo utilizando a **caixa de areia basculante**, o modelo é feito de metal para resistir ao calor e, às vezes, à chama. O modelo é acoplado a uma placa de separação.

Na sequência, a placa e o modelo são aquecidos entre 200 e 250 °C e, ao bascular a caixa de areia sobre o conjunto aquecido, a areia com resina é depositada sobre o conjunto. Com a fusão da resina e aderência à areia, forma-se uma casca sobre o molde e a placa.

A casca de areia e a resina, ainda fixada ao modelo, é curada em estufa entre 350 e 450 °C. Após, com a retirada do modelo, a casca forma o molde. O molde é montado em uma caixa de areia e pode receber o metal líquido. Com a solidificação do metal e esfriamento da peça, o molde é quebrado e a peça retirada.

Podemos citar algumas vantagens desse processo:

- Ele confere excelente acabamento superficial às peças e apresenta tolerâncias dimensionais estreitas.
- Possibilidade de armazenamento dos moldes e emprego de menor quantidade de areia.
- Possível automatizar o processo, gerando maior produtividade.
- Não há a necessidade de mão de obra especializada, o que confere menor custo operacional ao processo.

Apesar das vantagens apresentadas, o processo de fundição em casca é um dos mais caros no que diz respeito à moldagem, apresentando maior custo com materiais e energia. Outro destaque é a limitação quanto ao peso e dimensões máximas das peças a serem fundidas. É um processo que não se justifica para pequenas quantidades de peças. Pela característica do molde, há maior dificuldade na retirada de gases do material. Na verdade, as resinas aumentam a emissão de gases.

Fundição por cera perdida

No processo de fundição por cera perdida, modelos são fabricados em cera e posteriormente os moldes são montados/fabricados contendo esses modelos. O metal líquido é injetado no molde, vaporizando a cera e ocupando o seu lugar.

Em geral, esse processo é utilizado quando as peças possuem muitos detalhes, quando há necessidade de precisão dimensional e existe uma exigência de excelente padrão de acabamento. Um exemplo de aplicação deste processo pode ser visto na figura a seguir.



Vídeo

Para saber mais, assista ao vídeo publicado na unidade da disciplina no Ambiente Virtual de Aprendizagem.

Tema 3

Metalurgia do pó: sinterização

Em quais situações devemos utilizar a metalurgia do pó em vez da fundição tradicional, ou seja, utilizando o metal totalmente líquido?

Existem situações nas quais os metais ou ligas, quando fabricados por fusão e vazamento em um molde, geram muitas perdas. É o caso de metais muito reativos com o oxigênio, por exemplo. Nesses casos, a fabricação é feita pela mistura dos componentes metálicos pulverizados e posterior união em um sólido compactado. O mesmo ocorre com pós cerâmicos, que, por sua temperatura de fusão elevada, inviabilizam sua fusão. Esse processo é conhecido como **sinterização**.

Assim, o processo de sinterização consiste na fabricação de peças por meio da consolidação de pós metálicos; por esse motivo, também é conhecido como **metalurgia do pó**.

Na sinterização, o material pulverizado é compactado na forma desejada e posteriormente submetido a um tratamento térmico, sendo a temperatura desse tratamento sempre inferior do que a temperatura de fusão do metal.

Em geral, a temperatura de processamento da sinterização fica na faixa de metade a 2/3 da temperatura de fusão, pois é suficiente para a difusão atômica ou fluxo viscoso do material, ou seja, há a união de superfícies que estejam em contato.

Em 1949, acidentalmente George Kuczynski deixa cair partículas de Cu sobre um substrato quente. A partir desse incidente, observou que as partículas se aglomeravam. Em 1950, Herring determinou a cinética da sinterização, concluindo que a velocidade de sinterização (união das partículas) é maior quando as partículas são menores.

Etapas do processo de sinterização



O processo de sinterização se inicia pela etapa de **obtenção dos pós**. Essa etapa de fabricação dos pós pode ser realizada pelos seguintes processos:

- **Moagem:** as partículas resultantes desse processo apresentam forma angular.
- **Atomização:** neste caso, as partículas são na forma de gotas.
- **Redução:** o resultado desse processo são partículas na forma esponjosa irregular.
- **Eletrólise:** neste processo as partículas formadas são na forma dendrítica.

Com a matéria-prima na forma pulverizada, podemos realizar a mistura com as quantidades desejadas. Essa mistura deve ser tal que haja homogeneidade de composição.

A partir do material misturado na quantidade desejada, ocorre a etapa de **compactação**. Nesta etapa, o pó é compactado na forma desejada.

Um detalhe importante é que as dimensões devem ser maiores do que as dimensões finais, visto que haverá diminuição quando da sinterização propriamente dita.

Após a compressão, a peça é direcionada para o forno para que a **sinterização** ocorra; em geral, as temperaturas variam de 800 a 1.150 °C.

Após o **resfriamento** da peça, podemos ajustar as dimensões da peça por meio de uma etapa de **calibragem**. A calibragem consiste na compressão da peça, deformando-a até as dimensões desejadas.

Encerramento

Quais são os metais e tipos de peças mais indicados para o processo de fundição?

Os metais com menor ponto de fusão e com melhor fluidez são os mais indicados para serem submetidos ao processo de fundição. Pelo número pequeno de etapas, emprega-se o processo de fundição às geometrias mais complexas.

Como é possível diminuir a quantidade de areia utilizada no processo de fundição?

A fim de diminuir a quantidade de areia utilizada no processo de fundição, foi inventado o processo de fundição em casca. Há a adição de resina à areia, conferindo maior resistência ao material. Assim, é possível fabricar um molde com uma espessura relativamente pequena, gastando menos areia.

Em quais situações devemos utilizar a metalurgia do pó em vez da fundição tradicional, ou seja, utilizando o metal totalmente líquido?

Nas situações em que os metais ou ligas, quando fabricados por fusão e vazamento em um molde geram muitas perdas, devemos empregar o processo de sinterização, pois a temperatura menor do processo diminui as perdas.

Resumo da Unidade

Nesta unidade falamos sobre os processos de conformação metalúrgica. Você aprendeu que o processo de fundição é uma das formas mais antigas e tradicionais para a obtenção de produtos metálicos de formas variadas. Para um volume elevado de peças iguais, costuma-se empregar moldes permanentes; caso contrário, os moldes de areia são empregados, sendo possível diminuir a quantidade utilizada por meio do emprego de resinas fenólicas. Para geometrias nas quais a força de centrifugação pode auxiliar o preenchimento dos espaços, empregamos a fundição por centrifugação. Em casos particulares, nos quais elevadas temperaturas geram muitas perdas, empregamos o processo de metalurgia do pó.

Referências da Unidade

- KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos Processos de Fabricação de Produtos Metálicos**. São Paulo: Blucher, 2013. Minha Biblioteca.

Para aprofundar e aprimorar os seus conhecimentos sobre os assuntos abordados nessa unidade, não deixe de consultar as **referências bibliográficas básicas e complementares** disponíveis no **plano de ensino** publicado na página inicial da disciplina.