

Roteiro Aula Prática



**FUNDIÇÃO
E PROCESSOS
SIDERÚRGICOS**

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: FUNDIÇÃO E PROCESSOS SIDERÚRGICOS

Unidade: U3 _ UNIDADE DA DISCIPLINA RELACIONADA A AULA PRÁTICA

Aula: A2_ Contração, concentração de impurezas, desprendimento de gases

Tempo previsto de execução de aula prática: 5h (CAMPO OBRIGATÓRIO – NÃO APARECER EM NENHUM RAP)

OBJETIVOS (campo obrigatório – exibição para todos)

Definição dos objetivos da aula prática:

Os massalotes são elementos importante no processo de fundição, utilizados para compensar a contração do metal durante a solidificação e o resfriamento dentro do molde. Eles funcionam como reservatórios de metal líquido, fornecendo material adicional para preencher as cavidades que se formam à medida que o metal esfria e se contrai. O posicionamento e o dimensionamento adequados dos massalotes são essenciais para evitar defeitos como porosidade e cavidades internas nas peças fundidas, garantindo a integridade estrutural e a qualidade da peça final. O projeto eficiente dos massalotes é, portanto, um aspecto vital no planejamento de moldes para a produção de componentes metálicos de alta precisão.

Os objetivos desta aula prática, são:

1. Compreender os princípios do massalote;
2. Realizar os cálculos para dimensionamento dos sistemas de canais e dos massalotes;
3. Determinar a eficiência do dimensionamento.

INFRAESTRUTURA (OBRIGATÓRIO SE HOUVER – EXIBIÇÃO DOCENTE/TUTOR)

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Materiais de consumo:

NSA.

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

Computador - 1 para cada 2 alunos

Microsoft Excel (ou similar) - 1 para cada computador

SOLUÇÃO DIGITAL (OBRIGATÓRIO SE HOUVER - APARECER PARA TODOS)

Infraestrutura mínima necessária para execução.

- Planilha Eletrônica (Microsoft Excel)

As planilhas eletrônicas, como o Microsoft Excel, são ferramentas fundamentais na engenharia, permitindo a manipulação eficaz e precisa de dados para uma variedade de aplicações técnicas. Engenheiros utilizam essas planilhas para calcular cargas, dimensionar componentes, analisar dados experimentais e modelar sistemas complexos. O Excel suporta funções avançadas que facilitam desde análises estatísticas até simulações de cenários, e sua capacidade de integração com outras ferramentas técnicas amplia seu uso na automação de tarefas repetitivas e na otimização de processos. Além disso, as planilhas oferecem visualizações gráficas de dados, essenciais para a apresentação e interpretação de resultados em projetos de engenharia.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) (CAMPO OBRIGATÓRIO – APARECER PARA TODOS)

NSA

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS (OBRIGATÓRIO – TODOS)

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Projetar um sistema de canais e massalotes, a fim de garantir uma melhor eficiência para a fundição da peça atracadador porca-borboleta.

Procedimentos para a realização da atividade:

Link do vídeo ilustrativo da aula:

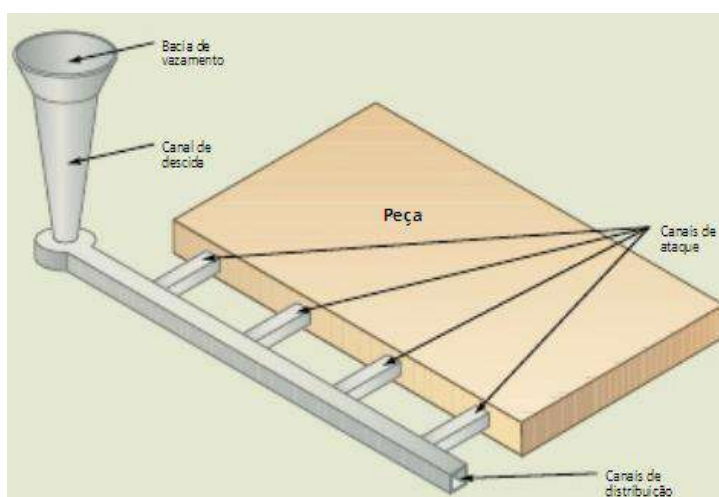
Passo-a-passo do procedimento para a execução da atividade/procedimento prático.

INTRODUÇÃO

O sistema de canais tem como função permitir o completo enchimento da cavidade do molde prevenindo o surgimento de defeitos, inclusão de areia ou escória, não permitindo que a contratação líquida provoque falhas internas na peça. Ele deve ser eficiente,

evitando a absorção de gases, entrada de partículas estranhas e ter peso mínimo em relação à peça. Sendo projetado de forma que o metal seja solidificado do ponto mais distante da alimentação para o ponto mais próximo. Na figura 1 vemos que, este é formado por bacia de vazamento, canal de descida, canal de distribuição e canal de ataque. Sendo pelo canal de ataque que o metal líquido escoar para atingir e preencher a cavidade do molde.

Figura 1 - Elementos básicos de um sistema de alimentação



Fonte: Bastos (2013, p. 7)

- **Critérios para o dimensionamento do sistema de canais de entrada:**

Temos dois sistemas de canais de entrada: pressurizado e não-pressurizado. O sistema pressurizado nos dá uma maior garantia de que os canais de mantenham sempre cheios, evitando aspiração de ar, neste tipo de sistema há uma diminuição gradativa da área ou somatório de áreas, dos canais ao passarem do canal de descida para o ataque. Porém, com aumento da pressão e velocidade do líquido, aumentam os riscos de lavagem da areia e turbulência. Quando se prioriza o enchimento lento, a fim de evitar formação e arraste de filmes de óxidos, a melhor opção é pelo sistema não-pressurizado. Os sistemas pressurizados são geralmente utilizados em ligas ferrosas (aços e ferros fundidos), enquanto para ligas não ferrosas, os sistemas são quase todos despressurizados.

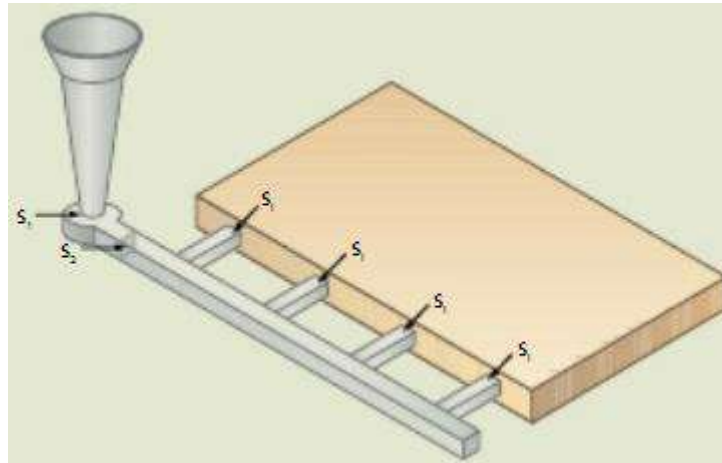
Na figura 2 pode se observar um sistema de canais de entrada e as áreas S1, S2 e Si como sendo:

S1 – área da seção mínima do canal de descida;

S2 – área da seção máxima do canal de distribuição. Se há mais de um canal de distribuição, essa área é a soma das seções máximas dos canais de distribuição que convergem para um mesmo canal de descida;

S_i – área da seção mínima de cada canal de ataque.

Figura 2 - Sistema de Canais de Alimentação



Fonte: Bastos (2013, p. 9)

A eficiência do sistema de canais é devidamente alcançada quando se é evitado, a entrada de partículas estranhas, absorção de gases e peso mínimo em relação à peça

É necessário que, o canal de descida tenha uma forma cônica para se conferir a pressurização e assim evitar a aspiração de ar, e em sua base um formato de ovo, amortecendo a turbulência que pode gerar gases.

Para minimizar a turbulência e aspiração de ar é necessário que o sistema tenha as seguintes ferramentas: bacia de vazamento, fundo de canal, canal de descida cônico e cantos arredondados. Podemos optar pelo sistema de canais pressurizado ou não-pressurizado. No sistema de canais pressurizado temos um enchimento gradativo, mantendo assim os canais sempre cheios e evitando aspiração de ar. Aumentando a velocidade do líquido e pressão, aumentam os riscos de turbulências e arrastes de areias. Porém, no sistema de canais não-pressurizado é utilizado para ligas fortemente oxidáveis e seu enchimento é lento, com finalidade de se evitar formação e arraste de filmes óxidos.

- **Critérios para o dimensionamento do Massalote**

O massalote é uma reserva de metal líquido adjacente à peça, que tem a função de compensar a contração líquida e de solidificação. O dimensionamento dos massalotes

deve considerar que a solidificação dos massalotes ocorra após a solidificação da peça. O massalote deve se localizar em partes da peça que se solidificam por último, conter metal líquido suficiente para compensar o efeito da contração e representar mínima massa relativa à massa da peça, por questões de custo do material empregado. Para o dimensionamento e o uso de alimentadores, utilizaremos a equação de Chvorinov, o método dos módulos e a regra da contração. O tempo de solidificação da seção de uma peça pode ser expresso pela equação de Chvorinov.

$$t = C \cdot \left(\frac{V}{S} \right)^2$$

Como C é uma constante, isso indica que a relação (V/S) é que determina a sequência de solidificação da peça. Essa relação é chamada de módulo parcial de solidificação da peça. Pela regra dos módulos, o cálculo dos módulos de cada segmento é feito da seguinte forma: M é o módulo do segmento da peça em cm; V é o volume do segmento da peça em cm³; S é a área do segmento da peça em contato com o molde em cm². O tempo de resfriamento de uma peça ou o elemento da peça é a função de seu módulo parcial de resfriamento M. Para que o massalote solidifique após a peça, é preciso que ele tenha um módulo (M_m = módulo do massalote) superior ao módulo da peça (M_p). Após definido que o massalote se solidificará depois da peça, verificamos por meio da “regra da contração” se ele terá volume suficiente para alimentar a parte da peça à qual se destina. Para o cálculo do massalote da região a alimentar, usamos a regra dos módulos, que deve expressar a seguinte relação:

$$M_m = k' \cdot M_p$$

Em que: k é um coeficiente que depende das condições de funcionamento do massalote e é representada pela Quadro 1.

Quadro 1 - Valores do coeficiente K para condições de funcionamento do massalote

Caso geral	K = 1,2
Massalote aquecido pelo ataque	K = 1,1
Massalote com luva exotérmica	K = 0,9 a K = 0,8
Massalote para peça de ferro fundido da grafita lamelar vazado em molde rígido	K = 0,6
Massalote com luva exotérmica para peça de ferro fundido de grafita lamelar vazado em molde rígido	K = 0,5

Fonte: Livro didático

Depois de obter o valor do módulo do massalote pode-se determinar o diâmetro d e demais dimensões, a partir das fórmulas:

- Massalote de topo aberto, com pó isolante: $d = 4.Mm$
- Massalote lateral cego: $d = h = 4,56.Mm$; $H = 1,5.d$; $I = (\pi.d^2) / 10$

Onde h é a distância do topo da peça ao fim da seção cilíndrica; H , distância topo da peça ao topo do massalote e I área da seção estrangulada.

A regra da contração é aplicada para confirmar o requisito volumétrico. Em que o massalote deve conter metal líquido suficiente para compensar a contração metálica

$$V_m = k'' \cdot r \cdot V_p$$

V_m = volume do massalote

r = coeficiente de contração volumétrica.

V_p = volume da peça

Sendo, k'' depende das condições do massalote conforme mostra a Quadro 2.

Quadro 2 - Valores de K'' para diversas condições

CONDIÇÕES DO MASSALOTE	k''
caso geral	6
aquecido pelo ataque	5
com luva exotérmica	4
para ferro fundido em molde rígido	3
idem com luva exotérmica	2

Fonte: Bastos (2013, p. 22)

Quadro 3 - Contração Volumétrica para diversas ligas

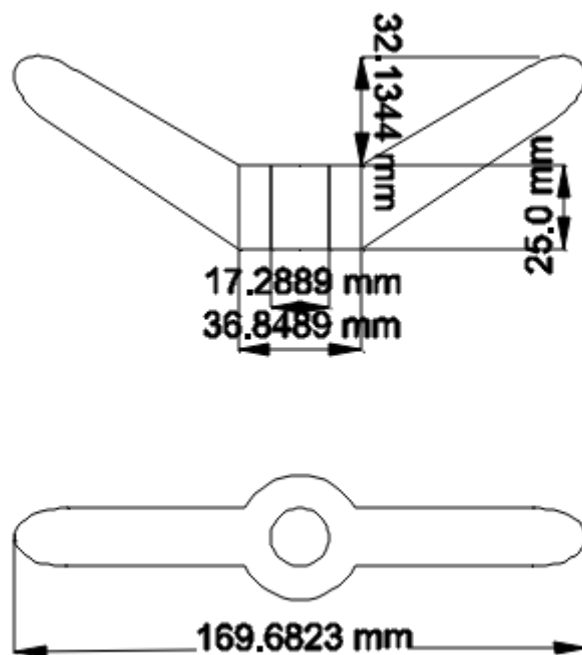
MATERIAL	% de contração
aço-carbono	2,5-3,5
alumínio	6,5
cobre	5,0
ferro fundido branco	4,0-5,5
ferro cinzento	0-2,0

Fonte: Bastos (2013, p. 23)

DIMENSÕES DA PEÇA A SER FUNDIDA

A atividade a ser desenvolvida é baseada no atracador porca-borboleta feita de cobre.

Figura 3 - Desenho com as dimensões da peça atracador porca - borboleta

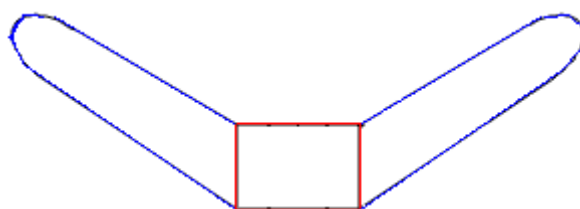


Quadro 4 - Composição da liga da peça atracador-porca borboleta

Elemento	Porcentagem
Cobre	60
Zinco	37
Alumínio	1
Ferro	1
Manganês	1

Inicialmente, e com o intuito de determinar as zonas a ser alimentada pelos massalotes a peça é dividida em geometrias simples. Neste estudo a peça atracador borboleta foi dividida num cilindro central (vermelho) e dois retângulos para as hastes da peça (azul).

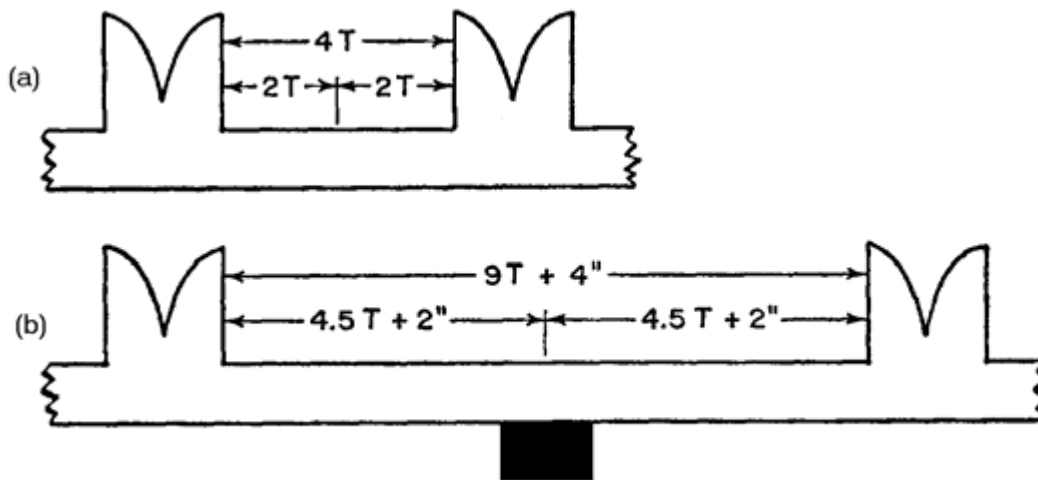
Figura 4 - Divisão da peça em geometrias simples para os cálculos



A ordem de solidificação é determinada pelo cálculo dos módulos das variadas partes da peça e os pontos quentes que se solidificam por último e que serão alimentados pelos massalotes. O módulo é a relação entre o volume (cm^3) e a área (cm^2) que efetivamente participa do resfriamento, ou seja, a área superficial que está em contato com o molde. Quanto menor for o módulo, menor será o tempo de solidificação e peças de mesmo módulo M se solidificam no mesmo tempo, independentemente de sua geometria.

A quantidade mínima de massalotes é definida através da regra da zona de ação, existe uma região no entorno do massalote definida por um círculo de raio r que define a distância ao longo da peça, na qual o massalote é efetivo. O raio de ação de um alimentador pode se determinar em função da espessura de uma placa de aço, sendo o raio igual a 2 vezes a espessura da placa. Pode não ser suficiente a colocação de apenas um massalote para eliminar rechupes em toda a peça. As alternativas seriam a colocação de um segundo massalote, a utilização de resfriadores ou o isolamento térmico da seção mais fina. A utilização de resfriadores aumenta o raio de ação do alimentador sendo neste caso igual a 4,5 vezes a espessura da placa mais duas polegadas, como se esquematiza na figura 5

Figura 5 - (a) Raio de ação em função da espessura de uma placa de aço e (b) Efeito do resfriador



PROJETO DO SISTEMA DE CANAIS E MASSALOTES

• DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO

- Coeficiente de contração do cobre = 1,14
- $r_{cilindros} = 1,94 \text{ cm}$
- $h_{cilindros} = 2,5 \text{ cm}$
- $r_{tampa} = 0,775 \text{ cm}$
- $h_{borboleta} = 7,16 \text{ cm}$
- $H_{sist.canais} = 4,5 \text{ cm}$

DETERMINAÇÃO DO MASSALOTE

Devemos assumir que a peça será alimentada com ataque por baixo através do massalote, devido a indicação de aplicação para o latão, cobre e alumínio.

Para iniciar o dimensionamento, devemos calcular o módulo do cilindro e das borboletas usando as dimensões obtidas no desenho da peça. O módulo está definido como:

$$M = \frac{\text{Volume}}{\text{Área que dissipa calor}}$$

- Módulo dos cilindros

$$\text{Área}_{base} = \pi r^2$$

$$\text{Área}_{lateral} = 2\pi rh$$

$$\text{Área}_{total \text{ que dissipa calor}} = 2 * (\text{Área}_{base}) + \text{Área}_{lateral}$$

$$\text{Volume}_{cilindro} = \text{Área}_{base} * h$$

$$\text{Módulo}_{cilindro} = \frac{\text{Volume}_{cilindro}}{\text{Área}_{total \text{ que dissipa calor}}}$$

- Módulo das borboletas

$$\text{Área}_{tampa} = \pi r^2$$

$$\text{Área}_{lateral} = 2\pi rh$$

$$\text{Área}_{dissipa \text{ calor}} = 2 * (\text{Área}_{tampa}) + \text{Área}_{lateral}$$

$$\text{Volume}_{borboleta} = \text{Área}_{base} * h$$

Para calcular a área efetiva que dissipa calor deve se levar a consideração que uma das tampas (a que une o cilindro com a borboleta) não dissipa calor, pois não está em contato direto com o molde, assim:

$$\text{Área}_{efetiva \text{ que dissipa calor}} = \text{Área}_{dissipa \text{ calor}} - \text{Área}_{tampa}$$

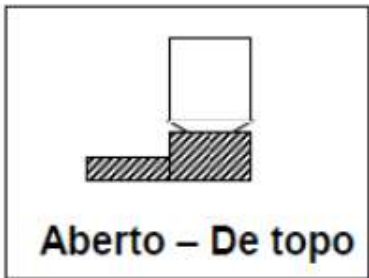
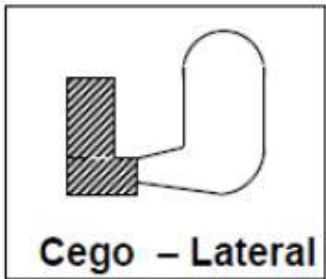
$$\text{Módulo}_{borboleta} = \frac{\text{Volume}_{borboleta}}{\text{Área}_{efetiva \text{ que dissipa calor}}}$$

As hastes são as primeiras a se solidificarem por possuírem um menor módulo e consequentemente, devido a possuir um módulo maior o cilindro solidifica por último. No cilindro encontramos o ponto quente da peça, ou seja, está é a região da peça que deve ser alimentada e corresponde ao lugar onde o massalote será acoplado.

- Módulo do Massalote

$$\text{Módulo}_{massalote} = k' * \text{Módulo}_{peça \text{ a ser alimentada}}$$

Assim se assegura o cumprimento do requisito térmico, pois o módulo do massalote deve ser maior que o módulo da parte da peça a ser alimentada. Sendo o tempo de solidificação do massalote maior que o da parte a ser alimentada. Conhecendo o módulo (M) do massalote podem-se calcular as dimensões do alimentador.

Massalote de topo aberto	
 Aberto – De topo	$Diâmetro_{massalote} = 4 * M_{massalote}$ $Altura_{massalote} = 1,5 * diâmetro$ $I = \frac{\pi * d^2}{10}$
Massalote lateral cego [11]	
 Cego – Lateral	$Diâmetro_{massalote} = 4,56 * M_{massalote}$ $Altura_{massalote} = 1,5 * diâmetro$ $I = \frac{\pi * d^2}{10}$

Com I área da seção estrangulada.

Pode-se observar que para cumprir os requisitos térmicos o massalote lateral cego precisa tanto um diâmetro quanto uma altura maior que o massalote de topo aberto, o que afetará a eficiência em termos econômicos.

- **Regra da Contração**

$$Volume_{massalote} = k'' * r * Volume_{peça a ser alimentada}$$

$k'' = 6$; para as condições do massalote escolhido, neste projeto o caso geral.

$r = 5$; coeficiente de contração volumétrica do cobre.

No requisito volumétrico, também foi obtido êxito, pois no cálculo de regra da contração, o volume do massalote excedeu o volume total da peça. Tendo o massalote, a quantidade de metal líquido suficiente, para compensar a contração volumétrica.

- **VOLUME DO MASSALOTE**

$$Volume_{massalote} = \frac{\pi * (diâmetro do massalote)^2 * altura do massalote}{4}$$

- **TEMPO DE SOLIDIFICAÇÃO**

Para ter certeza de **que** o massalote serve como reservatório de metal líquido enquanto a peça solidifica, é necessário calcular o tempo de solidificação da parte a ser alimentada assim como do massalote. A continuação se apresenta os cálculos realizados para sabermos o tempo em que a peça e massalote se solidificam:

$$Tempo_{solidificação} = K * M^2$$

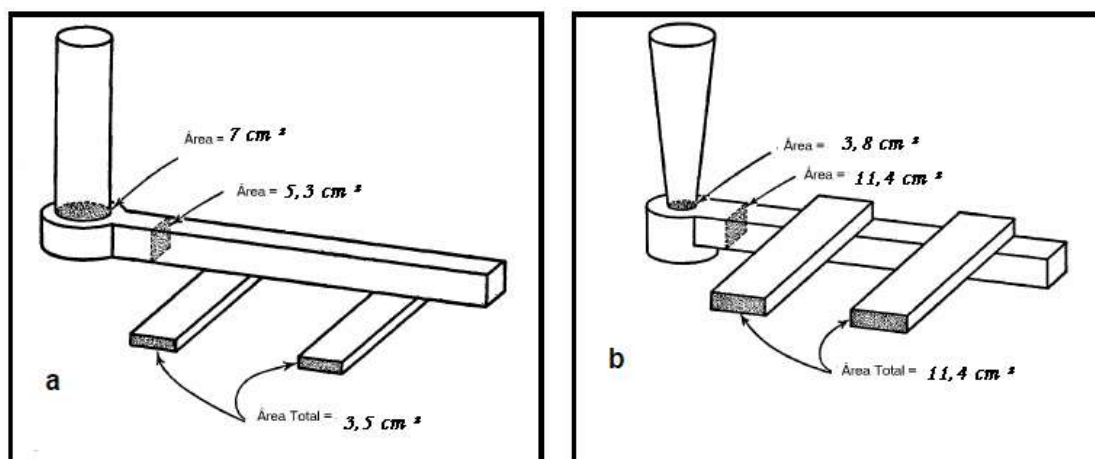
Onde: K – coeficiente de tempo de solidificação.

Aqui é importante determinar o tempo de solidificação para o cilindro (peça de maior volume) e do massalote.

- **SISTEMA DE CANAIS**

Serão avaliados os sistemas pressurizados e não pressurizados, portanto é necessário identificar as seções transversais do sistema de alimentação. Na Figura, podemos observar as áreas da base do canal de descida, do canal de distribuição e do ataque, para ambos os sistemas. A razão usada para o sistema pressurizado foi 1:0,75:0,5 e para o sistema não pressurizado foi de 1:3:3.

Figura 6 - a) Sistema Pressurizado – razão 1:0.75:0.5 e (b) Sistema Não Pressurizado – razão 1:3:3



- Sistema Pressurizado

$$\text{Área}_{\text{canal de descida}} = \pi r^2 = \text{Área}_{\text{base}}$$

$$\text{Área}_{\text{canal de distribuição}} = 0,75 * \text{Área}_{\text{canal de descida}}$$

$$\text{Área}_{\text{canal de ataque}} = 0,5 * \text{Área}_{\text{canal de descida}}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de descida}} = \text{Área}_{\text{base}} * \text{altura}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de distribuição}} = \text{Área}_{\text{canal de distribuição}} * \text{altura}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de ataque}} = \text{Área}_{\text{canal de ataque}} * \text{altura}$$

- Sistema Não – Pressurizado

$$\text{Área}_{\text{canal de descida}} = \pi r^2 = 3,8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Área}_{\text{canal de distribuição}} = 3 * \text{Área}_{\text{canal de descida}}$$

$$\text{Área}_{\text{canal de ataque}} = 3 * \text{Área}_{\text{canal de descida}}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de descida}} = \text{Área}_{\text{base}} * \text{altura}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de distribuição}} = \text{Área}_{\text{canal de distribuição}} * \text{altura}$$

$$\text{Volume}_{\text{canal de ataque}} = \text{Área}_{\text{canal de ataque}} * \text{altura}$$

- MASSA DO SISTEMA DE CANAIS E MASSALOTES

O cálculo de massas foi realizado com o valor da densidade do cobre fundido, sendo de 8,85 g/cm³, por volumes respectivos.

- Massa dos alimentadores (topo e lateral)

$$Massa_{peça} = \rho * volume$$

- Massa dos sistemas de canais

(a) Sistema Pressurizado

$$Massa_{sistema\ pressurizado} = Massa_{canal\ de\ descida} + Massa_{canal\ de\ distribuição} + Massa_{canal\ de\ ataque}$$

(b) Sistema Não-Pressurizado

$$Massa_{sistema\ não\ pressurizado} = Massa_{canal\ de\ descida} + Massa_{canal\ de\ distribuição} + Massa_{canal\ de\ ataque}$$

- EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE CANAIS E MASSALOTES

A partir destas massas, calculamos a eficiência de cada um desses sistemas, a fim de determinar qual garante a melhor eficiência.

A partir da soma de todas as massas que compõem o sistema de fundição da peça atracador - porca borboleta se obteve uma massa total. Em seguida calculamos a eficiência para cada sistema e respectivos massalotes, onde a massa da peça foi dividida a massa total.

Figura 7 - Eficiência dos sistemas de alimentação para fundição da peça atracador-porca borboleta

Pressurizado com massalote de topo	Mtotal = Mpeça + Mmassalote + Msistemacanaís
	$\eta = Mpeça / Mtotal$
Pressurizado com massalote de lateral (cego)	Mtotal = Mpeça + Mmassalote + Msistemacanaís
	$\eta = Mpeça / Mtotal$
Não- Pressurizado com massalote de topo	Mtotal = Mpeça + Mmassalote + Msistemacanaís
	$\eta = Mpeça / Mtotal$
Pressurizado com massalote de lateral (cego)	Mtotal = Mpeça + Mmassalote + Msistemacanaís
	$\eta = Mpeça / Mtotal$

Checklist:

1. Determinar os módulos para dimensionar o massalote;
2. Calcular a regra da contração;
3. Identificar o tempo de solidificação;
4. Dimensionar o sistema de canais;
5. Identificar as massas totais do sistema;
6. Encontrar as eficiências para otimização do projeto.

RESULTADOS (obrigatório – aparecer para todos)

Resultados de Aprendizagem:

Espera-se que o aluno compreenda os conceitos por trás do dimensionamento para aplicação da fundição.

ESTUDANTE, VOCÊ DEVERÁ ENTREGAR (não obrigatório – aparecer para todos)

Descrição orientativa sobre a entrega da comprovação da aula prática:

Olá, estudante, como vai?

Para esta aula, você deverá elaborar um relatório detalhado contendo o memorial de cálculos para o dimensionamento do sistema de canais e do massalote. O relatório deve incluir todas as etapas de cálculo, desde a determinação dos módulos até o dimensionamento final dos canais e do massalote, conforme especificado no procedimento prático da aula.

Requisitos do Relatório:

1. Introdução, explicando o que são os massalotes e canais
2. Descrição da peça que será fundida e necessita do projeto de massalotes e canais.
3. Memorial de cálculo do dimensionamento.
4. Discussão sobre a escolha do sistema de canais (pressurizado ou não-pressurizado) e a forma do massalote.
5. Conclusão resumindo os resultados e aprendizados chave.

OBS: Recomendo o uso de uma planilha eletrônica para auxiliar nos cálculos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (não obrigatório – aparecer para todos)

Descrição (em abnt) das referências utilizadas

AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. **Engenharia de fabricação mecânica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA Estéfano Aparecido. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

DOS SANTOS, Givanildo Alves. **Tecnologias mecânicas: materiais, processos e manufatura avançada**. São Paulo: Érica, 2021.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da moderna manufatura**: versão SI: volume 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

ROTEIRO DE AULA PRÁTICA

NOME DA DISCIPLINA: FUNDIÇÃO E PROCESSOS SIDERÚRGICOS

Unidade: U4 _ PROCESSOS DE FUNDIÇÃO DE LIGAS METÁLICAS

Aula: A1_ Fundição em areia a verde

Tempo previsto de execução de aula prática: 5h (CAMPO OBRIGATÓRIO – NÃO APARECER EM NENHUM RAP)

OBJETIVOS (campo obrigatório – exibição para todos)

Definição dos objetivos da aula prática:

A fundição em areia verde é um processo essencial na fabricação de metais, destacando-se pela sua versatilidade e custo-eficiência. Essa técnica utiliza uma mistura de areia, argila e água, que pode ser reutilizada, reduzindo o impacto ambiental. Permite a produção de peças complexas com alta precisão dimensional, essencial para indústrias como automotiva, aeroespacial e de equipamentos pesados. A flexibilidade do processo de moldagem e a capacidade de rápida adaptação a diferentes formas tornam a fundição em areia verde uma escolha preferencial para prototipagem e produção em pequena escala, garantindo uma implementação eficaz no desenvolvimento de novos produtos.

Os objetivos desta aula prática, são:

1. Compreender os princípios básicos da fundição em areia verde;
2. Desenvolver habilidades práticas de moldagem;
3. Identificar as aplicações dos modelos e machos.

INFRAESTRUTURA (OBRIGATÓRIO SE HOUVER – EXIBIÇÃO DOCENTE/TUTOR)

Instalações – Materiais de consumo – Equipamentos:

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Materiais de consumo:

NSA.

LABORATÓRIO DE INFORMÁTICA

Equipamentos:

Computador - 1 para cada 2 alunos

Simulador Algetec - 1 para cada computador

SOLUÇÃO DIGITAL (OBRIGATÓRIO SE HOUVER - APARECER PARA TODOS)

Infraestrutura mínima necessária para execução.

VirtuaLab - disponível na Biblioteca Virtual no parceiro ALGETEC – Simulador PROJETO DE FUNDIÇÃO.

O laboratório virtual é uma plataforma para simulação de procedimentos em laboratório.

Ele deve ser acessado por computador e não deve ser acessado por celular ou tablet. o requisito mínimo para o seu computador é uma memória ram de 4 gb. O primeiro acesso será um pouco mais lento, pois alguns plugins são buscados no navegador. A partir do segundo acesso, a velocidade de abertura dos experimentos será mais rápida.

1. Caso utilize o Windows 10, dê preferência ao navegador Google Chrome; 2. Caso utilize o Windows 7, dê preferência ao navegador Mozilla Firefox; 3. Feche outros programas que podem sobrecarregar o computador; 4. Verifique se o navegador está atualizado; 5. Realize teste de velocidade da internet.

EQUIPAMENTO DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL (EPI) (CAMPO OBRIGATÓRIO – APARECER PARA TODOS)

NSA.

PROCEDIMENTOS PRÁTICOS (OBRIGATÓRIO – TODOS)

Procedimento/Atividade nº 1 (Virtual)

Atividade proposta:

Desenvolver a atividade do laboratório virtual Algetec: PROJETO DE FUNDIÇÃO.

Procedimentos para a realização da atividade:

- Acessar o laboratório virtual Algetec;
- Procurar o laboratório de Engenharia Mecânica;
- Acessar a prática virtual PROJETO DE FUNDIÇÃO que está disponível na Biblioteca Virtual ALGETEC;



Link do vídeo ilustrativo da aula:

Passo-a-passo do procedimento para a execução da atividade/procedimento prático.

INTRODUÇÃO TEÓRICA

Para Callister (2002), “a fundição é um processo de fabricação no qual um metal totalmente fundido é derramado no interior da cavidade de um molde que possui a forma desejada; com a solidificação, o metal assume a forma do molde, porém experimenta algum encolhimento”.

Nos processos de fundição, é fundamental conhecer qual metal será vazado, pois para cada material existem moldes distintos, bem como métodos e processos específicos. Dentro desse cenário, destacam-se:

- O molde em areia com diferentes elementos ligantes: para a fabricação das peças oriundas desse molde, é necessária a confecção de um molde para cada, que é descartado após o vazamento do material;
- O molde em areia sem elementos de liga: o seu método de fabricação é semelhante ao molde em areia com elementos ligantes, sendo necessária a compactação da areia, que, por sua vez, utiliza um equipamento de pressão mecânica; após o seu vazamento, é indispensável fabricar um novo molde;
- O molde cerâmico: nesse processo são utilizados modelos permanentes, formados por materiais cerâmicos, contando em sua composição com lama

cerâmica e usando elementos ligantes específicos com granulometrias controladas.

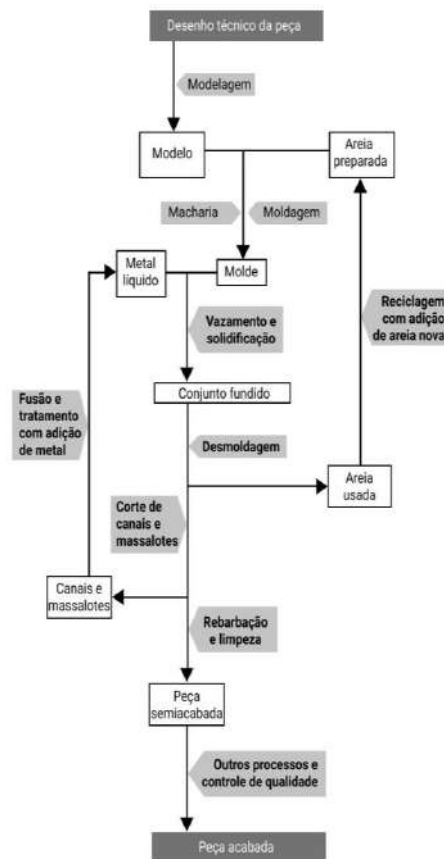
Na fundição por gravidade, como apresentado na Figura 1, o metal é vazado utilizando a própria ação da gravidade. Nesse processo, o molde é impermeável e, considerando essa característica, apresenta dificuldades da saída do ar na hora do vazamento. Por esse motivo, é importante trabalhar com respiros no molde, assim como controlar a velocidade do vazamento e em relação à sua inclinação.

Figura 8 - Processo de fundição por gravidade.



Na Figura 2 é apresentado o fluxo das operações fundamentais para a produção de uma peça pela maioria dos processos de fundição.

Figura 9 - Fluxo do processo de fundição.



Na etapa de moldagem, o molde apresenta a cavidade com as características geométricas da peça a ser fabricada. Para moldes de areia, geralmente a produção apresenta parâmetros de produtividade de baixa escala. Com isso, são usados modelos no formato da peça a ser produzida, que comumente é de madeira, auxiliando na conformação da areia no molde. Quando há alguma parte oca na peça a ser produzida, é feito um macho, que é uma peça de areia aglomerada. O nome dessa etapa é “macharia”. É importante conhecer o fator de contração dos materiais no processo de fundição, pois, quando estes se solidificam e resfriam, há um processo de contração dimensional volumétrica da peça, e entender essa contração é fundamental para obter as medidas corretas da peça a ser fabricada. Por exemplo, a contração linear dos aços fundidos varia em torno de volume no estado sólido de 2,18 a 2,47%. Em relação aos ferros fundidos, sua contração sólida linear varia entre 1 a 1,5% do seu volume.

Cabe salientar que a etapa de moldagem em areia verde é o processo mais utilizado dentro da fundição, devido à sua baixa complexidade, mas também por ter uma baixa resistência mecânica, além de umidade em sua composição. De acordo com Kiminami, Castro e Oliveira (2013), a compactação da areia verde pode ser realizada

manualmente ou por auxílio de máquinas para moldar, e a mistura é composta basicamente de 100 partes de areia silicosa, 20 partes de argila (a mais usada é a bentonita) e 4 partes de água.

Na etapa de vazamento, o material fundido deve preencher todas as partes da cavidade antes da sua solidificação. Se essa parte do processo do material líquido não for bem controlada, a peça gerada poderá apresentar imperfeições em sua forma. Esse controle deve ser realizado ao ponto de fluidez do material. Cabe salientar que cada material tem um ponto de fluidez característico, dependendo dos seus elementos de liga, da sua temperatura de fusão, da sua temperatura de solidificação e, principalmente, da sua temperatura de superaquecimento.

Após o resfriamento e a solidificação, ocorre a desmoldagem, retirando a peça do molde e, porventura, do macho (se houver); essa atividade pode ser manual ou mecânica. Por fim, ocorre a rebarbação e a limpeza da peça, em que são retirados os canais de alimentação do material fundido, além de massalotes e rebarbas que se formaram no processo de fundição, bem como possíveis incrustações do molde na peça fundida.

PASSOS PARA A REALIZAÇÃO DA PRÁTICA – PROJETO DE FUNDIÇÃO

- **TRANSFERINDO AREIA PARA A CAIXA 1**

- Despeje a água na bacia clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o béquer.
- Misture a areia clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a concha e selecionando
- a opção “Misturar areia”.
- Posicione o molde 1 na caixa clicando com o botão esquerdo do mouse sobre ele e selecionando a opção “Colocar na caixa”.
- Aplique talco sobre o molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o frasco com talco e selecionando a opção “Colocar na caixa 1”.
- Coloque uma camada de areia na caixa 1 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a concha e selecionando a opção “Colocar areia na caixa 1”.
- Compacte a camada de areia clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o bastão de madeira e selecionando a opção “Compactar areia da caixa 1”.
- Repita o procedimento para adicionar outra camada de areia na caixa 1 com a concha e compactar com o bastão de madeira.

- **TRANSFERINDO AREIA PARA A CAIXA 2**

- Rotacione a caixa 1 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre ela.

- Acople a caixa 2 sobre a caixa 1 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a caixa 2 e selecionando a opção “Acoplar na caixa 1”.
- Posicione o molde 2 na caixa 2 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o molde e selecionando a opção “Colocar na caixa”.
- Aplique talco sobre o molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o frasco com talco e selecionando a opção “Colocar na caixa 2”.
- Posicione os canos de PVC na caixa clicando com o botão esquerdo do mouse sobre eles
- e selecionando a opção “Colocar tubos de PVC”.
- Adicione uma camada de areia na caixa 2 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a concha e selecionando a opção “Colocar areia na caixa 2”.
- Compacte a camada clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o bastão de madeira e selecionando a opção “Compactar areia da caixa 2”.
- Repita o procedimento para adicionar outra camada de areia com a concha e compactar com o bastão de madeira.
- Remova os canos de PVC clicando com o botão esquerdo do mouse sobre eles e selecionando a opção “Retirar tubos de PVC”.
- Desacople a caixa 2 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre ela e selecionando a opção “Colocar na bancada”.
- Escave a passagem clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a espátula.
- Retire os dois moldes da caixa clicando com o botão esquerdo do mouse sobre cada um deles e selecionando a opção “Tirar da caixa”.

• **TRANSFERINDO AREIA PARA O MOLDE MACHO**

- Aplique talco sobre o molde macho clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o frasco com talco e selecionando a opção “Colocar no molde”
- Preencha o molde macho com areia clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a concha e selecionando a opção “Colocar areia no molde”.
- Compacte a areia do molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o bastão de madeira e selecionando a opção “Compactar areia do molde”.
- Repita o procedimento para adicionar outra camada de areia com a concha e compactar com o bastão de madeira.

- Retire o macho do molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre o molde.
- Acople novamente a caixa 2 clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a caixa 2 e selecionando a opção “Acoplar na caixa 1”.
- Posicione os massalotes clicando com o botão esquerdo do mouse sobre eles.
- **FUSÃO (ENVASE) DO METAL LÍQUIDO**
- Visualize o forno clicando com o botão esquerdo do mouse na câmera com o nome “Forno” localizada dentro do painel de visualização no canto superior esquerdo da tela. Se preferir, também pode ser utilizado o atalho do teclado “Alt+6”.
- Abra o forno clicando com o botão esquerdo do mouse sobre ele.
- Verta o metal líquido no molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a tenaz.
- Perceba que surgirá uma janela no canto superior direito da tela com o cronômetro. Aguarde até que essa janela desapareça.
- Visualize a bancada clicando com o botão esquerdo do mouse na câmera com o nome “Bancada” ou através do atalho do teclado “Alt+1”.
- Retire a peça do molde clicando com o botão esquerdo do mouse sobre a areia.

Checklist:

1. Misturar areia
2. Posicione o molde 1 na caixa 1
3. Aplique talco sobre o molde
4. Coloque uma camada de areia na caixa 1
5. Compacte a camada de areia
6. Repita o procedimento para adicionar outra camada de areia na caixa 1 com a concha e compactar com o bastão de madeira.
7. Rotacione a caixa 1
8. Acople a caixa 2 sobre a caixa 1
9. Posicione o molde 2 na caixa 2
10. Aplique talco sobre o molde
11. Posicione os canos de PVC
12. Adicione uma camada de areia na caixa 2
13. Compacte a camada
14. Repita o procedimento para adicionar outra camada de areia com a concha e compactar com o bastão de madeira.
15. Remova os canos de PVC

16. Desacople a caixa 2
17. Escave a passagem
18. Retire os dois moldes da caixa
19. Aplique talco sobre o molde macho e preencha com areia
20. Compacte a areia do macho
21. Retire o macho do molde
22. Acople novamente a caixa 2
23. Posicione os massalotes
24. Pegue o metal líquido do forno e faça a fusão no molde, aguarde o término do cronometro
25. Retire a peça do molde

RESULTADOS (obrigatório – aparecer para todos)

Resultados de Aprendizagem:

Espera-se que o aluno assimile os conceitos por trás da fundição em areia verde, por meio experimental.

ESTUDANTE, VOCÊ DEVERÁ ENTREGAR (não obrigatório – aparecer para todos)

Descrição orientativa sobre a entrega da comprovação da aula prática:

Prezados alunos,

Como parte do nosso curso de Fundição e Processos Siderúrgicos, realizaremos uma simulação prática do processo de fundição em areia verde utilizando o simulador Algetec. Esta atividade é crucial para entender as nuances técnicas e práticas deste método de fundição.

Atividade Proposta:

Você deve elaborar um relatório detalhado da simulação realizada. O relatório deverá seguir a estrutura fornecida, incluindo uma análise detalhada de cada etapa do processo simulado, acompanhada de capturas de tela, e uma resposta ao Questionário de Autoavaliação.

Instruções Específicas:

1. Siga a estrutura do relatório fornecida.
2. Inclua evidências visuais (capturas de tela) das etapas chave da simulação.
3. Responda ao Questionário de Autoavaliação de maneira reflexiva e crítica.
4. Formate o relatório conforme as normas ABNT e submeta-o em formato PDF.

Estrutura do Relatório:

1. Introdução:

- Breve descrição do processo de fundição em areia verde.

- Objetivos da simulação realizada.

2. Descrição Detalhada do Procedimento:

- Detalhamento da Simulação (Qual é a plataforma de simulação? Qual o processo simulado? Quais peças serão fundidas?)
- Passo a passo das etapas seguidas na simulação, incluindo preparação do molde, compactação da areia, vazamento do metal, e quaisquer outras etapas relevantes.
- **Capturas de tela que ilustram cada etapa importante.**

3. Questionário de Autoavaliação:

- Q1: Qual foi a parte mais desafiadora da simulação para você e por quê?
- Q2: Como você avalia a utilidade da simulação para o entendimento do processo de fundição em areia verde?
- Q3: Houve alguma discrepância entre a teoria aprendida e a prática simulada? Se sim, como isso afetou seu aprendizado?
- Q4: Que habilidades você acredita ter desenvolvido com esta atividade?
- Q5: Como você aplicaria os conhecimentos adquiridos nesta simulação em um contexto real de engenharia?

4. Conclusão:

- Resumo das principais aprendizagens e reflexões pessoais sobre a experiência de simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS (não obrigatório – aparecer para todos)

Descrição (em abnt) das referências utilizadas

AGOSTINHO, Oswaldo Luiz. **Engenharia de fabricação mecânica**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA Estéfano Aparecido. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

DOS SANTOS, Givanildo Alves. **Tecnologias mecânicas: materiais, processos e manufatura avançada**. São Paulo: Érica, 2021.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da moderna manufatura: versão SI: volume 1**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.