



Técnica de fundição Introdução

- Técnicas de fundição – “Pacotes” de procedimentos recomendados para compensar as expansões e contrações e minimizar distorções do processo de fundição, de modo a obter peças ajustadas.
- Justificativas da escolha da técnica que utilizamos no laboratório de aulas práticas (Técnica do Departamento – boneca espessa):
 - Uso de revestimento aglutinado por gesso – é mais fácil de manipular, especialmente no que se refere à desinclusão; e é mais barato do que os revestimentos aglutinados por fosfatos ou silicatos. No entanto, o revestimento aglutinado por gesso apresenta algumas limitações importantes: não pode ser utilizado com ligas de alta fusão (por isso é um revestimento pouco utilizado atualmente nos laboratórios de prótese); é utilizado com anel, que confina a expansão de presa e a expansão isotérmica do revestimento (a térmica normal é acompanhada pelo ferro).
 - Não usa forro de amianto – Há alguns anos, para evitar distorções devido ao confinamento do anel de fundição (não uniforme nas diferentes direções), o Departamento utilizava uma técnica com forro de amianto. O amianto é um material fibroso de baixa densidade. As poeiras de amianto inaladas se acumulam nos pulmões diminuindo a elasticidade do tecido (quadro clínico chamado de asbestose) e facilitando a ocorrência de câncer. Por este motivo o uso de produtos à base de amianto deve ser evitado e vem sendo proibido em todo o mundo.
 - A realização da boneca espessa¹, como preconizada pela técnica do departamento, possibilita que boa parte da expansão de presa do revestimento (que no caso é uma expansão higroscópica tardia) ocorra sem confinamento.
- Quando é verificada uma falha, é preciso saber em que ponto do processo se pode interferir para corrigi-la em futuras fundições.

1 Técnica da boneca espessa - técnica do departamento

1.1 Cuidados técnicos na construção do molde de revestimento

- Inclinação do pino formador do canal de alimentação
 - Como? Colocar a 45° em relação à parede oposta do futuro molde de revestimento.
 - Por quê? Se o pino ficar a 90° (ou próximo disso) existe um grande risco da liga atingir a parede oposta com muito impacto e provocar uma erosão localizada no revestimento. A peça apresentaria uma saliência na região correspondente à da área da erosão, o que impediria a adaptação da peça.
- Local do pino formador do canal de alimentação
 - Como? na região mais volumosa do padrão.
 - Por quê? para que a região mais próxima ao pino formador do canal de alimentação seja a última região da peça a solidificar. Este será um dos cuidados que garantirá o suprimento de liga líquida pela câmara de reserva durante a contração da liga líquida e durante a solidificação da peça.
- Posição da câmara de compensação no pino
 - Como? a câmara deve estar a 1mm do padrão (“pescoço” curto).

¹ Existem outras técnicas chamadas de técnica da boneca que utilizam uma boneca fina, cujo objetivo é garantir que não ocorra incorporação de bolhas entre padrão e revestimento durante a inclusão.

- Por quê? Se a distância for maior do que 1 mm existe um grande risco do canal entre câmara e molde se solidificar antes da solidificação completa da peça, impedindo o suprimento de liga líquida existente na câmara de compensação para a peça.
- Posição da câmara de compensação no cilindro
 - Como? a câmara de compensação deve ficar no centro térmico do anel (último lugar do revestimento a esfriar)
 - Por quê? para que a câmara de compensação seja o último local a solidificar e, assim, a porosidade por contração localizada fique na câmara e, portanto, fora da peça. Quando a câmara é volumosa e está no centro térmico, tem dois motivos para ser a última a esfriar; os outros pontos terão apenas um motivo
- Distância entre padrão e topo do cilindro
 - Como? entre 3 mm e 5mm.
 - Por quê? quando esta distância é menor do que 3mm, o revestimento fica muito fino, com maior risco de fratura. Quando é maior do que 5mm, prejudica a ventilação, aumentando o risco de falta de preenchimento total do molde (especialmente das regiões onde o ar que está saindo tende a acumular), por causa da pressão gerada pelo ar que ficou aprisionado.
- Passar umectante
 - Como? passar uma camada fina de umectante
 - Por quê? facilita o molhamento do revestimento no padrão (sem o umectante o molhamento seria prejudicado pelo caráter hidrofóbico da cera), o que diminui o risco de nódulos superficiais na peça devido às porosidades na interface entre revestimento e padrão.
- Imersão da boneca em água
 - Como? imergir a boneca na água uns 5 minutos depois da perda do brilho.
 - Por quê? para obter expansão higroscópica tardia (não plena, porque a expansão higroscópica plena seria muito para o tipo de liga que utilizamos) sem o confinamento do anel de fundição.

1.2 Cuidados técnicos no aquecimento do forno (no ciclo que realizamos na aula prática)

- Imersão do anel em água antes de levá-lo ao forno
 - Como? imergir em água até parar de sair bolhas de ar
 - Por quê? Para a água ocupar as porosidades do revestimento, impedindo que a cera, ao ficar fundida, entre nestas porosidades, impregnando o revestimento. Se isto ocorresse, os resíduos da queima da cera ficariam dentro do molde, o que prejudicaria a ventilação (saída de ar) do molde de revestimento na hora de injeção da liga.
- pré-aquecimento
 - Como? forno foi pré-aquecido a 150°C, anel é colocado com abertura para baixo
 - Por quê? Não pode aquecer a uma temperatura muito acima de 100°C para não ocorrer um aquecimento muito rápido do revestimento úmido, o que poderia provocar fraturas ou trincas no revestimento por ebulição rápida da água. Primeiro a cera escoava para fora do molde pela abertura do anel (por isso o anel tem que ficar com a abertura para baixo) e depois a água evapora das porosidades do revestimento. Esta temperatura é mantida até parar de sair vapor.
- Passagem lenta pela(s) temperatura(s) de inversão térmica:
 - OBS: o ideal seria utilizar um revestimento a base de quartzo (cuja temperatura de inversão é 575°C) e aquecer o anel só até 500°C, para evitar um excesso de expansão pela associação de expansão higroscópica com isotérmica. Entretanto o revestimento disponível na faculdade era o revestimento de cristobalita (cuja inversão ocorre a 270°C). Sempre que for passar pela temperatura de inversão, a passagem tem que ser lenta.
 - Como? Foi realizado um aquecimento rápido até 250°C e depois esta temperatura foi mantida por 20 minutos. Em seguida, foi realizado um aquecimento lento até 300°C,

seguido novamente por um platô de 20 minutos. Este ajuste garante que o revestimento passe de forma lenta e uniforme pela faixa de temperatura próxima a 270°C. Um grande gradiente de temperatura neste momento seria crítico, pois provocaria um comportamento muito diferente entre as porções mais superficiais (mais quentes, já teriam expandido muito ao atingirem a temperatura de inversão) e as porções mais internas (mais frias, que ainda estariam longe de alcançar a temperatura de 270°C e ainda não teriam expandido isotermicamente).

- Aquecimento rápido até a temperatura de injeção e homogeneização da temperatura
 - Como? Foi realizado aquecimento rápido até 600°C (porque o revestimento não contém quartzo), deixando o anel com abertura para cima e a porta do forno ligeiramente aberta. Quando parou de sair fumaça a porta do forno foi fechada e foi mantida a temperatura de 600°C até a hora da fundição propriamente dita.
 - Por quê? O aquecimento foi rápido, até 600°C, para acelerar a eliminação dos resíduos da cera e resina acrílica. É importante que o revestimento esteja quente na hora da injeção da liga para diminuir a velocidade de resfriamento da mesma, e garantir que a liga não solidifique antes de preencher as partes mais finas do molde. Anel para cima: para fuligem não ficar no molde. A porta do forno deve ficar aberta até parar de sair fumaça para que o oxigênio entre para fazer a combustão dos resíduos de cera e resina acrílica (formação da fuligem). Depois de parar de sair fumaça, o forno deve ser fechado para garantir que todo o revestimento esteja a 600°C no momento da injeção da liga.

1.3 Expansões x contrações na técnica da boneca espessa

- contrações
 - da liga sólida (a mais importante): a contração que deve ser compensada com expansão é a contração da liga sólida. A contração da liga líquida é compensada com suprimento de mais liga líquida pela câmara de compensação.
 - do material para padrão (polimerização da resina e contração térmica da cera)
- expansões
 - de presa - higroscópica tardia (quando tem expansão higroscópica não tem a expansão **normal** de presa).
 - térmica
 - isotérmica? - a princípio esta expansão não deveria existir, mas vai existir por ter sido utilizado revestimento de cristobalita. A nossa expectativa é que esta expansão não seja tão crítica neste caso porque será de baixa magnitude, por estar muito confinada (transversalmente pelo anel de ferro e longitudinalmente pelo travamento do revestimento no anel).

2 Cuidados com fonte de calor, regulação da chama e centrífuga

- Maçarico gás/ar:
 - pode ser utilizado para fundir ligas que apresentam temperatura de fusão de até 1000°C.
 - A liga deve ser fundida na zona redutora da chama, que apresenta cor azul e diminui riscos de oxidação da liga.
- Centrífuga: a centrífuga que utilizamos gira na horizontal, portanto tem um braço articulado, onde é colocado o anel e o cadinho (semi-cilindro onde se funde a liga). O braço tem que estar dobrado no momento da injeção para que a liga seja empurrada para dentro do anel. Os parâmetros recomendados para nossa fundição são: aceleração 100% (mas foi utilizada uma aceleração menor, 95%, para não forçar o equipamento), velocidade 450rpm e tempo de centrifugação 20 segundos (mas foi utilizado um tempo um pouco menor, para acelerar o processo). O ajuste dos parâmetros depende da quantidade de liga (em massa) e sua densidade (quanto menos densa a liga maior tem que ser a velocidade).

3 Considerações finais

- CAD-CAM: presente ou futuro.

4 Onde saber mais:

- Texto de apoio disponível no Stoa.

Glossário

- **Encruar:** deformar plasticamente um metal frio.
- **Forjar:** deformar plasticamente um metal quente (acima da temperatura equi-coesiva)
- **Molde:** continente com formato desejado dentro do qual é colocada uma substância líquida, que endurecerá posteriormente, adotando sua forma.
- **Padrão de fundição:** peça construída em material facilmente conformável, com o formato e tamanho da futura peça metálica.
- **Cadinho:** peça de refratário onde a liga é fundida, ou região afunilada do cilindro de revestimento, por onde a liga fundida é conduzida em direção ao molde do padrão.
- **Canal de alimentação:** comunicação entre o cadinho do cilindro e o molde do padrão de fundição.
- **Refratário:** material que suporta altas temperaturas sem se degradar.
- **Revestimento:** material refratário com função de obter um molde do padrão da fundição, dentro do qual uma liga metálica é injetada no estado líquido, adotando seu formato.
- **Aglutinante:** componente de um material responsável por manter unidos seus constituintes; confere cremosidade enquanto o material se encontra na sua fase plástica e confere rigidez e resistência mecânica na fase sólida.
- **Expansão:** aumento de dimensão
 - **térmica:** provocada pelo aumento de temperatura.
 - **isotérmica:** provocada ao alcançar uma temperatura característica de certos materiais, na qual ocorre um rearranjo cristalino com aumento de volume.
 - **normal de presa:** aumento de volume que ocorre durante o endurecimento de um material que não toma contato com substâncias que possam interferir com a magnitude da expansão.
 - **higroscópica:** expansão maior do que a normal motivada pelo contato com água.
 - **higroscópica controlada:** expansão higroscópica limitada pela quantidade (menor do que a máxima possível) de água adicionada ao material, que é deliberadamente inferior ao máximo que o material conseguiria absorver.
 - **higroscópica tardia:** expansão higroscópica pelo menor do que a máxima possível produzida pela entrada em contato com água em estágios avançados da presa (por exemplo, meia hora).
 - **Semi-higroscópica:** expansão higroscópica menor do que a máxima possível, produzida pelo contato com materiais que contém água (amianto, celulose, etc.) mas não transferem o máximo que poderia absorver o material que está tomando presa.
 - **Exo-hídrica:** expansão maior do que a normal produzida quando a massa plástica é vazada em contato com material absorvente; inicialmente é removida água da mistura, que poderá voltar ao interior da massa no decorrer da presa.