

Manual de Fundição das Pré-Ligas

Versão atualizada I





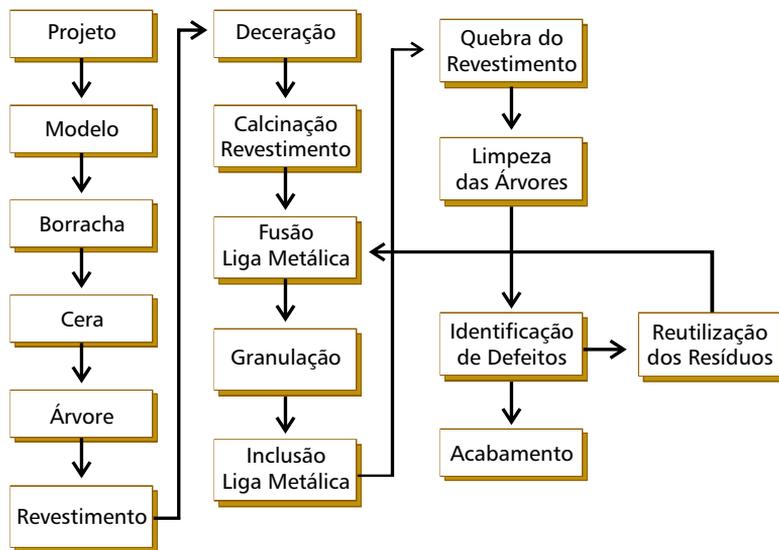
HISTÓRIA

A 3M Recuperadora nasceu para pesquisar e apresentar uma tecnologia de ponta que traduz melhor desempenho na indústria joalheira. Como objetivo, estruturamos uma empresa que entendesse seus clientes e suas necessidades com um compromisso de qualidade, sempre atualizada com as tendências de mercado e com as inovações tecnológicas. Esta filosofia nos permitiu crescer e chegar até aqui.

LIGAS

As pré-ligas são produzidas com material de alta qualidade e pureza.

Considerando-se a particularidade de cada empresa, é de real interesse conhecer os princípios básicos do processo de fundição de pré-ligas metálicas. É isso que pretendemos mostrar nesse material.

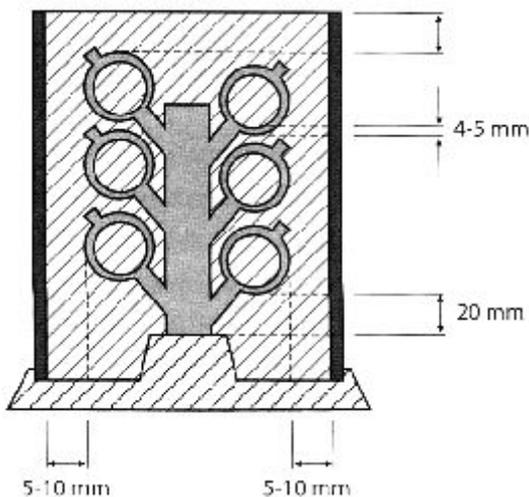


Montagem das árvores

As peças em cera devem ser montadas, formando árvores, de forma que isso possibilite todo o seu escoamento – restos de cera no interior do cilindro aquecido podem gerar porosidades. Prefira sempre bases cônicas, assim evitará turbulência na inclusão do metal, conforme mostra a figura abaixo:



Os modelos precisam ter espaçamentos mínimos entre um e outro para que se evite o superaquecimento do molde, conforme mostrado abaixo:



O talo deve ter entre 6 e 8 mm para evitar dispersão térmica, gerando porosidade gasosa e sempre que possível, cônico.

Mistura do Revestimento

O revestimento é comercializado em forma de pó, que deve ser misturado com água para formar uma massa viscosa e homogênea. O pó deve ser mantido em local seco e em recipiente fechado; antes de ser utilizado, deve ser misturado e desaglomerado. Em geral o pó é adicionado a água e não o contrário, para evitar a formação de pelotas.

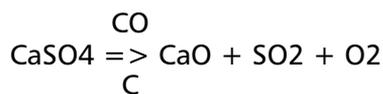
Obs.: Sempre siga as recomendações do fabricante.

Deceração

A eliminação total da cera é necessária para que se evite a formação de monóxido de carbono e / ou resíduos de carbono na calcinação do revestimento. Essa má eliminação da cera aceleram a desintegração do revestimento.

Antes da deceração os tubos devem repousar por no mínimo duas horas.

Como consequência observa-se a seguinte reação:



- Misturado à liga metálica o CaO formará inclusões sólidas
- Os gases liberados reagirão com os componentes da liga metálica promovendo a inclusão de sulfetos e óxidos (porosidades).

Calcinação do Revestimento

Sem Pedras

O aquecimento dos tubos deve ser lento e gradual a fim de evitar trincas e rachaduras e deve atingir os seguintes patamares:

- Secagem **100 a 150°C por 2 horas**
- Resistência mecânica **350 a 400°C por 2 horas**
- Calcinação dos resíduos **730°C por 4 horas**
- A temperatura de inclusão varia dependendo da máquina e pré-liga utilizada.

$$T_{\text{cilindro}} = \frac{T_{\text{líquido}}}{2} + 50^{\circ}\text{C}$$

$T_{\text{líquido}}$ é a temperatura em que o material ligado passa ao estado líquido e T_{cilindro} é a temperatura ideal do tubo. Por exemplo, uma liga de ouro 750 amarelo com $T_{\text{líquido}}$ 895°C deve ser vazado num tubo com temperatura aproximada de 500°C. Variações de temperatura devem ser feitas em função dos tipos de peças que serão fundidas.

Com Pedras

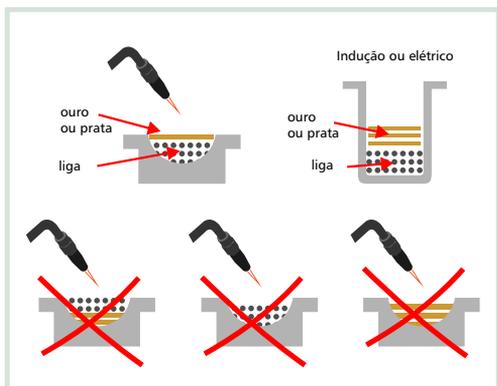
A fundição com pedras cravadas na cera exigem alguns cuidados. É recomendado a utilização de revestimentos especiais, ou a adição de ácido bórico a mistura, afim de proteger as pedras.

Algumas mudanças devem ser feitas no ciclo de calcinação:

- Para **diamante** e **esmeralda**, no ciclo de calcinação a temperatura do tubo não pode exceder **630°C** e deve permanecer no forno por pelo menos **8 horas**.
- Para **zircônia**, **rubi**, **safira** e **pedras sintéticas**, a temperatura do tubo não pode exceder **630°C** e deve permanecer no forno por pelo menos **8 horas**.

Fusão e Granulação

Sempre que possível o material deve ser granulado. Isso possibilita uma maior homogeneidade na mistura e melhora na fundição das peças. A granulação deverá respeitar o forno de fundição. Sempre depois que o metal e a liga forem derretidas, use um bastão de grafite para misturar o material. Um vídeo completo sobre a forma de homogeneizar o material você encontra no nosso site.



1- Sempre fundir a pré-liga e o ouro ou a prata em conjunto, observando que a pré-liga sempre deverá estar abaixo do metal para que receba a quantidade correta de oxigênio.

2- O metal nunca deverá ser fundido primeiro e a pré-liga depois, nem fundir a pré-liga e colocar o metal após.

Composição das ligas

As pré-ligas metálicas contêm micro componentes que agirão como:

- **Nucleadores** (Ir, Co, Ga)
- **Fluidificantes** (In, Sn, Zn)
- **Antioxidantes** (Si, Zn, B, Ge, Ti)

Os elementos **nucleadores** diminuem o tamanho das dendritas formadas durante a solidificação das ligas metálicas, tendo assim melhor compactação das ligas, maleabilidade, ductibilidade e brilho mais intenso.

Os elementos **fluidificantes** baixam o ponto de fusão das ligas metálicas, diminuindo a probabilidade de desintegração do revestimento e a possibilidade de interação entre liga metálica e revestimento.

Os elementos **antioxidantes** têm a função de capturar o oxigênio existente na câmara de fusão, preservando a liga metálica.

O limite de concentração dos micro-componentes é extremamente sensível – qualquer excesso pode prejudicar o processo e a liga metálica. Portanto, é necessário conhecer o equipamento a ser utilizado para uma indicação mais adequada da pré-liga a ser utilizada.

Inclusão da liga metálica

Temperaturas

As pré-ligas da **3M Recuperadora** são extremamente fluidas, não necessitando de temperaturas elevadas de fusão e tubo.

- **Ouro 18k**: a fundição não deve exceder 1.025°C para ouro amarelo e 1.035°C para o ouro branco. A temperatura do tubo deve estar no máximo a 630°C na máquina a vácuo e 580°C na centrífuga.

- **Ouro 9 a 14k**: elevar a temperatura para até 1.035°C e a temperatura dos tubos até 680°C por essas ligas serem menos fluidas.

- **Prata**: a fundição não deve exceder 1.020°C. A temperatura do tubo deve estar no máximo a 620°C na máquina a vácuo e 580°C na centrífuga.

Utilizando corretamente essas temperaturas você conseguirá peças desoxidadas, com maior brilho e livre de porosidades.

A temperatura da liga não pode ultrapassar 1.050°C no caso do revestimento à base de gesso, a fim de se evitar a interação dos metais com o revestimento.

De maneira geral, devemos evitar a temperatura da liga acima de 1.050°C e a temperatura do tubo acima de 650°C, a fim de inibir a formação de porosidades.

A temperatura do tubo deve ser a menor possível para que a liga solidifique rapidamente. Mas a temperatura ideal deverá ser encontrada por cada empresa, dependendo do tipo de peça ou equipamento utilizado.

Dessa forma:

- Diminui-se o tamanho das dendritas, com maior brilho final;
- Tem-se uma liga mais maleável, não quebradiça;
- Diminui-se a probabilidade de desintegração do revestimento, inibindo a porosidade por formação de gás

Quebra do revestimento

A quebra do revestimento é simples, mas requer cuidado. Após a inclusão da liga metálica, o tubo pode ser imerso em água fria da seguinte forma:

- **Ouro amarelo:** quebrar o revestimento após 10 minutos.

- **Ouro branco:** quebrar o revestimento após 25 minutos. A escolha do melhor tempo depende do tipo de peça a ser fundida: no caso de tubos muito grandes, esperar por mais tempo.

- **Ouro rose / vermelho:** quebrar o revestimento imediatamente. Não exceder mais do que 40 segundos para esta operação. Isso evitará que a peça fique quebradiça. Sempre que for dado fogo para soldagem, o mesmo deverá ser resfriado imediatamente em água fria para que não fique quebradiço (isto se deve a mudança estrutural que as moléculas de cobre sofrem entre as temperaturas de 550°C a 250°C criando dendritas instáveis, tornando o metal extremamente quebradiço).

- **Prata:** quebrar o revestimento após 15 minutos.

Fora dessas condições a liga metálica torna-se frágil e quebradiça.

Após a quebra do revestimento, proceda a limpeza.

Na fundição com pedras, respeitar o resfriamento total do tubo para depois romper o revestimento (aproximadamente 2 horas). No caso de ouro vermelho ou rose, cuidados especiais devem ser tomados, como por exemplo resfriar o tubo em água fervente.

Limpeza da árvore

Depois da fundição o revestimento deve ser retirado para liberar as peças fundidas.

Se parte do revestimento ficar retida nas peças metálicas a árvore pode se lavada com um jato água sob pressão (até 50 bar) em uma câmara apropriada.

Caso isto não seja suficiente o material pode ser submerso em uma solução de 10% de ácido sulfúrico a 70°C, ou ainda passar por um banho de ultra-som, com uma frequência de vibração de cerca de 35 kHz.

Uma solução econômica e não tóxica para retirar restos de refratário e também adequada para retirar parte da

oxidação superficial de ligas de prata e ouro é:

- **150 g/l:** sulfato de amônia
- **25ml/l:** glicerol
- **1litro:** água

Dependendo do método de fundição após a fusão as peças podem estar superficialmente oxidadas. Uma operação que se segue a limpeza do revestimento é a de banhos ácidos de limpeza, em geral realizados em recipientes de vidro pirex por cerca de 10 minutos:

- **Para ligas de prata:** 1 parte de ácido sulfúrico para 8 partes de água.

- **Para ligas de ouro:** 1 parte de ácido clorídrico em 10 partes de água.

Finalmente as árvores podem ser imersas em solução alcalina de carbonato de cálcio e água, lavadas em água corrente e depois secas.

As peças são cortadas dos seus canais de alimentação com o uso de um alicate ou de uma tesoura pneumática, se o espaço entre os canais permitir, e seguem para a etapa de acabamento.

Recozimento

O tratamento térmico (normalmente chamado recozimento) tem como função fazer com que apareçam novos grãos na estrutura deformada. Estes grãos vão crescendo e limpando a microestrutura, re-arranjando os átomos de forma a eliminar as discordâncias formadas na deformação.

Conforme o material é aquecido, ocorre um processo chamado recristalização, onde o metal passa a ficar mais macio e dúctil. A ocorrência da recristalização depende de alguns fatores:

- **Grau de deformação:** é necessária uma deformação mínima, que deve estar distribuída de forma homogênea no material. Para a maioria das ligas de joalheria esta deformação mínima é de 30%.

- **Temperatura e tempo de tratamento de recristalização:** Em temperaturas abaixo de 450°C a recristalização não ocorre, a redução de dureza não é significativo e não há formação de novos grãos. Na prática se o recozimento é feito em um forno, o recomendado é ajustar a temperatura para que o tempo de tratamento seja de 30 minutos.

Se o recozimento é feito por maçarico, temperaturas mais altas devem ser alcançadas porque o tempo de tratamento deve ser muito curto. Neste caso o julgamento da temperatura é feito pela cor do metal.

O tempo e temperatura de tratamento são importantes no controle do tamanho de grão. Como o objetivo final é a obtenção de grãos da ordem de 30 microns (0,03 mm) para evitar o efeito casca de laranja, isto limita o último tratamento de recristalização a temperaturas mais baixas ou tempos curtos.

É recomendado ainda que ligas de ouro amarelo e vermelho com teores de 18k ou inferiores sejam

resfriadas em água ou álcool depois de recozidas se for realizada alguma deformação após o recozimento, pois irão endurecer se resfriadas lentamente. Já as ligas de ouro branco com níquel têm grande tendência a trincar se resfriarem rapidamente e se recomenda que sejam resfriadas naturalmente sobre uma placa de aço.

A adição de elementos de liga modifica as características de recristalização. Portanto as características de tratamento específicas de cada material devem ser fornecidas pelo fabricante das ligas.

TABELA PARA RECOZIMENTO

Pré-Liga	Temp. Forno	Cor Maçarico
Prata 925	540 - 650°C	Vermelho escuro
Amarelo 18k	540 - 600°C	Vermelho vivo
Vermelho 18k	540 - 600°C	Vermelho vivo
Branco 18k	670 - 700°C	Vermelho cereja
Amarelo 9-14k	650°C	Vermelho escuro
Vermelho 9-14k	650°C	Vermelho escuro
Branco 9-14k	670 - 700°C	Vermelho cereja

A temperatura de tratamento térmico quando feita em forno é de 10 a 15 minutos.

Reutilização dos resíduos

Se colocarmos resíduos sujos no cadinho, o revestimento se desintegrará e contaminará a liga.



Atenção para a figura abaixo: é normal a porosidade por contração na base da árvore – esses poros podem aprisionar resíduos de revestimento. Certifique-se de limpá-los completamente antes de reutilizá-los.



É aconselhável não utilizar uma quantidade superior a 50% de resíduos.

A escolha da quantidade de resíduos a ser usado depende do grau de limpeza, das técnicas de fundição aplicadas e do estado de oxidação do material além do grau de defeitos tolerados nos itens a produzir.

É recomendável uma limpeza bem cuidadosa dos resíduos para se retirar qualquer sobra de revestimento que ficou na peça, caso contrário reduzirá o número de refundições que o metal poderá suportar.

É muito importante e necessário que seja feito a limpeza do talo da árvore no tambor magnético, rola-rola ou ultra-som, caso contrário a pré-liga poderá ser contaminada com os resíduos do revestimento.

Dicas de fundição

1- Utilize cadinho previamente seco, o que evita que o material espirre para fora durante a fundição.

2- Aqueça o cadinho e coloque a pré-liga no fundo deste. Cubra com ouro fino ou prata fina. Nunca coloque a pré-liga por cima do metal e muito menos funda os componentes isoladamente: a fusão deve acontecer com os dois materiais no cadinho, observando a ordem de colocação (pré-liga - metal)

3- A fundição pode ser feita em forno de indução, elétrico, maçarico e forja a gás ou elétrica. Se houver a necessidade de uma limpeza superficial na fundição, utilize uma pequena quantidade de ácido bórico. Não utilize bórax.

4- Ajuste a temperatura de tubo em função do tamanho das peças (para as mais pesadas é aconselhável temperaturas mais baixas, para peças mais leves é aconselhável temperaturas mais altas); cada uma dessas temperaturas deve ser otimizada em função do modo de fabricação de cada um.

As pré-ligas **3M Recuperadora** podem ser utilizadas em qualquer processo de fundição, tais como centrifugação, vácuo, vácuo/pressão, maçarico e forjas.

As temperaturas mencionadas servem apenas como parâmetro para a fundição.

Otimizações devem ser feitas pelo fundidor levando em consideração o equipamento utilizado, peso e formato da peça a ser fundida.



Sempre à frente do seu tempo





Sustentabilidade
um posicionamento sério
que cria hoje as condições
de sobrevivência
no amanhã.

RESPONSABILIDADE AMBIENTAL

A responsabilidade ambiental de nossa
empresa vai além de nossas fronteiras.
Só assim conseguiremos vencer barreiras,
ainda que distantes.

A 3M Recuperadora optou pelo uso de tecnologias mais econômicas e menos impactantes, tendo em vista a melhoria de qualidade de vida no planeta. Há mais de 28 anos busca a harmonia entre o desenvolvimento e o meio ambiente.



Sempre à frente de seu tempo

Fone (55 11) 4016.3151

www.3mrecuperadora.com.br