

1. A fundição Odontológica

1.1. Introdução

Os metais têm muitas utilidades em Odontologia: fios e braquetes ortodônticos, restaurações diretas em amálgama, próteses removíveis ou fixas, além de instrumentos auxiliares variados, tais como brocas, espátulas, matrizes... Os formatos são muito variados, e também são variados os modos de dar a forma necessária ao metal: corte com disco ou tesoura, desgaste, laminação, deformação com um alicate, galvanoplastia, etc.

Um dos modos de conformar o metal é fundi-lo e deixar que solidifique num recipiente que tenha a forma desejada; pequenos ajustes finais podem ser feitos por desgaste ou deformação. Assim, por exemplo, para produzir lingotes de ouro a liga fundida é derramada em recipientes com o formato do lingote: todos os lingotes que saem do mesmo molde serão praticamente iguais. Quando for necessário produzir peças metálicas que substituam dentes ausentes, não é possível usar recipientes padronizados com o formato do dente, pois cada paciente precisa de uma peça com formato e dimensões específicas para se adaptar com exatidão à sua boca. Isto obriga a que o molde dentro do qual o metal deverá solidificar seja produzido especificamente para aquele caso. Para produzir moldes e peças metálicas adaptadas aos casos específicos utiliza-se desde tempos imemoriais o processo da “cera perdida”.

1.2. Visão geral do processo da cera perdida para fundições odontológicas

O processo inicia-se obtendo uma peça do mesmo tamanho e formato que se deseja para o metal, mas num outro material mais trabalhável. Esta peça, frequentemente construída em cera, é chamada “padrão de fundição”. Suponhamos que a peça seja destinada a substituir uma coroa dental: o primeiro passo será construir em cera uma coroa ajustada ao remanescente de raiz, aos dentes vizinhos e aos dentes antagonistas; ou seja, precisa estar ajustada em todas as direções do espaço tridimensional.

A seguir, é necessário produzir um recipiente para o metal fundido, que tenha as dimensões da coroa: para isso será utilizada a coroa de cera. Cola-se à coroa um pino, que servirá para formar o canal de alimentação da liga líquida (fig.1). O outro extremo do pino é fixado no ápice de uma base cônica (base formadora de cadinho). Sobre a base, já com o pino e a coroa fixados nela, é colocado um anel, que forma um recipiente ao redor do pino e da coroa de cera.

A seguir, o recipiente é preenchido com um material fluido (revestimento) que irá “revestir” o pino e a coroa. Este material endurece em pouco tempo, depois de ter adotado a forma da coroa unida ao pino. No seguinte passo técnico, a base cônica é removida e, ao eliminar a cera do interior do revestimento (daí o nome de “técnica da cera perdida”), fica formado no revestimento um recipiente com o formato da coroa. Este recipiente é chamado “molde de revestimento”, e é constituído por um “cadinho” em formato afunilado, um “canal de alimentação” e o espaço onde será formada a peça metálica de interesse (a coroa, neste caso). A liga, liquefeita (ver item fundição neste capítulo), é colocada no cadinho e forçada a preencher todo o espaço do molde antes de solidificar (ver item injeção).

O revestimento é fragmentado e a coroa metálica pode ser separada do resto do metal. Posteriormente serão realizados eventuais pequenos ajustes por desgaste do metal, o acabamento e o polimento: a coroa metálica está pronta.

1.3. Alterações dimensionais e morfológicas no processo de fundição

Tal como foi descrito, o processo de obtenção de peças fundidas pelo método da cera perdida é aparentemente simples. Mas as dificuldades aparecem, em primeiro lugar, quando consideramos o grau de adaptação que é preciso obter numa peça fundida para uso odontológico. Para que uma coroa metálica fundida seja aceitável não deve haver desajuste maior do que 50micrometros entre ela e o remanescente dentário que a suporta. Esse espaço será vedado pelo cimento auxiliar de fixação (ver capítulo 15). Mas, como o cimento apresenta propriedades mecânicas e físicas inferiores às do metal, uma camada mais espessa de cimento propiciaria uma menor longevidade da coroa, já que a retenção da coroa é altamente dependente do contato direto entre ela e o remanescente dentário, e a durabilidade do cimento é normalmente maior quanto menos exposto ao ambiente bucal, o que se consegue com uma linha de cimentação o mais delgada possível. Se uma coroa de 5mm de tamanho médio-distal pode ter um desajuste de 50micrometros, isto quer dizer que se admite um desajuste de 1%. Consideremos agora que uma liga metálica de uso odontológico

pode contrair mais de 1% durante o resfriamento entre a temperatura de solidificação e a temperatura de uso na boca: portanto, se não for introduzido algum mecanismo compensatório desta contração da liga, todas as coroas fundidas ficariam automaticamente desajustadas.

A liga metálica não é o único material que contrai durante o processo de fundição: existe também a contração inerente ao endurecimento do material utilizado para construir o padrão de fundição. O total das contrações deverá ser compensado, por exemplo, por expansões equivalentes do revestimento. Classicamente temos que:

$$\text{Contração da liga sólida} + \text{contração do padrão de fundição} = \\ = \text{expansão do revestimento} + \text{outras expansões}$$

O processo de fundição pode lançar mão ainda de uma outra expansão: a do modelo de gesso, quando confeccionado com gesso tipo V (ver capítulo 10). Neste caso parte-se de uma réplica levemente expandida dos tecidos bucais. O inconveniente é que a exatidão da peça não pode ser posta à prova no modelo, mas apenas no paciente, pois o modelo não reproduz com exatidão as dimensões do paciente.

O balanceamento de alterações dimensionais é fundamental para o ajuste, mas não será suficiente se as alterações dimensionais não forem exatamente proporcionais em todas as direções, pois nesse caso apareceriam distorções (alterações de forma), que também prejudicam o ajuste. As distorções também podem ser geradas se ocorrer libertação de tensões induzidas no material para padrão (ver seção à frente neste capítulo).

1.4. Material para padrão de fundição

Os principais requisitos que deve preencher um material para poder ser usado na confecção de um padrão de fundição são: 1) a reprodução exata do tecido dentário a ser substituído e a estabilidade morfológica, já que não há como obter uma peça fundida que seja melhor que o seu padrão; 2) a possibilidade de remoção completa do interior do molde de revestimento; 3) a facilidade de trabalho.

A estabilidade morfológica não deve ser confundida com a estabilidade dimensional: enquanto a morfológica é sempre desejável para evitar distorções, a falta de estabilidade dimensional pode ser aproveitada para compensar a contração da liga sólida.

A possibilidade de eliminação completa depende da sua capacidade de se queimar sem deixar resíduos, já que, normalmente, o padrão é eliminado por aquecimento do molde de revestimento.

Para que o material seja considerado trabalhável deve permitir ser esculpido com facilidade e admitir acréscimos para correção da sua forma. Se o material for resistente mecanicamente, permitirá a prova do padrão na boca, ou até a construção na própria boca do paciente ao invés de no modelo, que em alguns casos pode ser desejável.

1.4.1. Ceras para padrão de fundição

As ceras são muito usadas para confeccionar padrões de fundição, apesar de serem precisos cuidados técnicos redobrados para evitar a distorção.

A ADA (especificação número 4) considera três tipos de cera para padrão: tipo A, dura e de baixo escoamento, raramente usada; tipo B de dureza intermediária, recomendada para padrões construídos diretamente na boca; tipo C, mole, recomendada para técnicas indiretas. Esta divisão é antiga e leva em consideração uma época em que, às vezes, confeccionavam-se padrões mais simples diretamente na boca dos pacientes. Nestes casos exigia-se que a cera tivesse uma temperatura de amolecimento mais alta, de modo que fosse suficientemente rígida à temperatura bucal (37°C) como para permitir sua remoção da cavidade sem que ocorressem distorções (ceras mais duras). Já as ceras tipo C poderiam ter a mesma rigidez à temperatura ambiente (25°C), pois seriam removidas dos modelos nesta temperatura (ceras mais moles).

A manipulação da cera é feita normalmente aquecendo-se em calor seco. Existem vários modos de aplicar o calor seco. Em qualquer um deles deve ser evitado o superaquecimento, que provoca a volatilização ou queima de componentes e alteram a composição e propriedades iniciais.

O uso de ceras mais duras ou mais moles determina detalhes técnicos posteriores do processo de fundição: como o total da contração efetiva depende do produto do c.e.t.l. (o α das ceras é da ordem de $350 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}^\circ\text{C}$) pelo salto térmico entre a temperatura de amolecimento (variável conforme a dureza da cera) e a temperatura em que o padrão é incluído em revestimento (fixa: temperatura ambiente), a contração efetiva das ceras duras é maior e exige expansões maiores para ser corretamente compensada. Por outro lado, as ceras mais duras, sendo também mais resistentes à deformação, são capazes de se opor de modo mais efetivo às forças de expansão do revestimento, o que pode contribuir para limitar a expansão realmente obtida e para a ocorrência de distorção. No entanto, as ceras duras podem ser expandidas com menor risco de distorção se aquecidas até 37°C durante os momentos iniciais da inclusão da peça no revestimento, quando este ainda não tomou presa, como recomenda uma das técnicas de fundição. Existem técnicas de confecção do padrão que combinam o uso de ceras de diferentes durezas.

A cera tem a vantagem de ser facilmente conformável: admite escultura com instrumentos cortantes manuais e permite realizar com rapidez acréscimos de material. No entanto, a manutenção da forma é um problema, devido a propriedades inerentes ao material: as ceras são compostas de uma grande variedade de moléculas de hidrocarbonetos, tais como parafina, resina dammar e cera de carnaúba, além de corantes; cada um desses componentes tende a produzir alguma das propriedades desejáveis, mas apresenta temperatura de amolecimento própria. Assim, a cera apresenta um grande intervalo de temperatura entre o início do seu amolecimento e a total liquefação. Isto é desejável para torná-la um material moldável, mas também lhe confere o inconveniente de escoar (até sob ação de apenas seu próprio peso) com o passar do tempo e, pior ainda, a possibilidade de que sejam induzidas tensões residuais ([link com o capítulo de propriedades](#)) durante o manuseio. As tensões residuais são induzidas quando se aplica alguma deformação a uma cera que não esteja completamente liquefeita (por exemplo, num estado moldável: quanto mais fria estiver ao ser deformada, mais tensões serão induzidas). As deformações podem ser aplicadas de modo imperceptível. Por exemplo, ao segurar na mão o padrão, ao esculpir a cera com instrumento mal afiado, ou mesmo ao acrescentar uma porção de cera liquefeita sobre a cera sólida, pois ao se contrair durante o resfriamento pode repuxar a cera sólida. As tensões também são induzidas (e de modo muito irregular nas diferentes regiões do padrão) quando a contração térmica da cera é restringida ou até impedida pelo próprio modelo, que não contrai enquanto a cera resfia.

Um padrão de cera inicialmente bem ajustado pode perder seu ajuste se forem liberadas as tensões induzidas nele durante sua confecção. A liberação de tensões é favorecida pelo aumento de temperatura e pelo passar do tempo. Por estes motivos, recomenda-se que, ao utilizar a cera como material para confeccionar um padrão, seja evitada tanto a indução quanto a liberação de tensões eventualmente induzidas. Como uma certa indução de tensões resulta inevitável apesar dos cuidados técnicos, recomenda-se fazer a inclusão em revestimento imediatamente depois de concluída a confecção do padrão, especialmente em dias quentes. Pelo mesmo motivo, o aquecimento do padrão provocado ao adaptar o pino formador do canal de alimentação também deve ser reduzido ao mínimo.

Para garantir a completa eliminação do padrão de cera, normalmente por aquecimento do revestimento, a especificação nº4 da ADA exige que a cera queime a 500°C deixando menos de 1% de resíduo sólido.

1.4.2. Outros materiais para padrão de fundição

Podem ser adquiridas no mercado peças pré-formadas em cera ou em plástico, que servem para confeccionar regiões estandarizadas como, por exemplo, o canal de alimentação ou a região que rodeia o parafuso de fixação em coroas sobre implantes.

Existem também resinas acrílicas ([link com capítulo 11](#)) especiais que podem ser usadas para construir total ou parcialmente o padrão de fundição. Os fabricantes garantem a cor contrastante com o modelo (geralmente são vermelhas), o nível de resíduos menor que 1% a 500°C e os menores níveis possíveis de contração de polimerização. Isto é conseguido melhorando a combinação de tamanhos das esferas do pó, de modo a exigirem a menor proporção de monômero para formar a massa plástica. O uso de acrílico tem a vantagem de permitir a prova e o ajuste do padrão na boca. Porém, o acrílico é mais difícil de ser esculpido e, por sua maior resistência mecânica é mais capaz de provocar distorção durante a expansão de presa do revestimento já que, como veremos ([página](#)), a restrição mecânica diminui a expansão efetiva do revestimento, de um modo parecido a como a restrição mecânica do modelo é capaz de diminuir a contração efetiva da cera que solidifica em contato com ele.

1.5. Revestimentos para fundição odontológica

O revestimento é o material que, colocado numa fase plástica em volta do padrão de fundição, forma – depois de endurecido – o molde no qual se injetará a liga fundida. Assim, ele precisará ter as seguintes características:

- Resistente quimicamente para não se degradar na alta temperatura em que a liga é injetada (material refratário).
- Capaz de se expandir para compensar as contrações da liga sólida e do padrão de fundição.
- Resistente mecanicamente, em temperatura alta, para suportar o impacto da liga quando injetada: como a liga solidifica muito rapidamente, é preciso introduzi-la muito rapidamente no molde, o que provoca um impacto.
- Ter escoamento para copiar os detalhes do padrão, e produzir superfícies suficientemente lisas. A lisura está relacionada com a microporosidade do material: revestimentos porosos tendem a produzir superfícies rugosas, pois o metal fundido copia a textura do revestimento. Quanto mais rugosa a superfície, mais trabalhosos serão o acabamento e polimento. Além do mais, como o polimento não é realizado nas superfícies que ficam em contato com o dente, a rugosidade presente nestas áreas faz com que as peças se comportem como de maior tamanho (mais expandidas) nas regiões intra-coronárias e como de menor tamanho (menos expandidas) nas extra-coronárias. Apesar deste inconveniente, é desejável certo grau de porosidade do revestimento para facilitar o rápido escape de gases do interior do molde no momento em que a liga é injetada. Se a porosidade for insuficiente, exige-se a confecção de canais de ventilação (“ventings”), que complicam um pouco a execução do molde.

Os revestimentos são principalmente compostos por um aglutinante e um material refratário (normalmente sílica). São adicionados opcionalmente corantes e modificadores para ajustar o tempo de presa, a resistência mecânica, a expansão de presa e a térmica normal, além de modificadores específicos para diminuir a oxidação da liga durante sua entrada no molde.

As funções principais do refratário são conferir expansão durante o aquecimento do molde e resistência química ao contato com a liga fundida. O aglutinante é responsável pela presa do material e sua resistência mecânica, mesmo a alta temperatura; além disso, escolhem-se aglutinantes que apresentem expansão durante a presa, para colaborar com a compensação das contrações. Os modificadores que produzem um ambiente redutor durante a entrada da liga são normalmente o grafite e o cobre pulverizados. Algumas ligas, como por exemplo a de cobalto-cromo, não admitem o grafite, pois se contaminam produzindo carbeto que alteram significativamente suas propriedades.

Existem três formas alotrópicas de sílica (SiO_2) que podem ser utilizadas para produzir expansão nos revestimentos durante o aquecimento: cristobalite, tridimita e quartzo cristalino. Uma quarta forma alotrópica, o quartzo fundido, não expande praticamente nada com o aumento da temperatura: é utilizado raramente, como material para controlar a expansão. As sílicas que expandem quando aquecidas, o fazem por dois mecanismos diferentes: 1) expansão térmica normal, com as características de ser gradativa e proporcional ao aumento da temperatura; 2) expansão “isotérmica”, assim chamada porque ocorre abruptamente quando é atingida uma temperatura determinada, própria para cada tipo de sílica (575°C para o quartzo; $200\text{--}270^\circ\text{C}$ para a cristobalite e, para a tridimita em duas temperaturas: 117 e 163°C).

O pó de sílica sozinho, mesmo compactado, não apresentaria resistência mecânica suficiente para suportar o impacto da liga quando injetada. Para conferir resistência mecânica é adicionado o aglutinante. Existem vários tipos de aglutinante, que são selecionados conforme sua resistência à alta temperatura em que as ligas são injetadas. Normalmente, as ligas metálicas mais resistentes mecanicamente, que permitem a confecção de peças maiores e mais complexas, fundem a temperaturas bem acima de 1000°C e exigem aglutinantes especiais. Já as ligas que fundem até 1000°C são muito usadas para confeccionar coroas e próteses fixas menores ([link com capítulo de ligas](#)) e podem ser fundidas sobre revestimentos aglutinados por gesso, apesar de o gesso começar a se degradar quimicamente (libera gases de enxofre), perder resistência mecânica e contrair acentuadamente quando aquecido acima de 700°C . Normalmente é utilizado o hemidrato α (a matéria prima do gesso tipo V, sem agentes anti-expansivos), mais resistente mecanicamente e com maior potencial de expansão ([link com capítulo de gessos](#)).

A expansão própria do gesso ao tomar presa ([link cap 10](#)) pode ser

aproveitada nos revestimentos para compensar as contrações. Apesar de o gesso representar apenas 25 a 45 % do total, o revestimento apresenta uma expansão muito maior que a do gesso, pois a sílica diminui a coesão do material e permite que se manifestem mais as forças expansivas. A magnitude da expansão de presa do revestimento é regulada pelos mesmos fatores que regulam a do gesso. Os tipos de expansão que podem ocorrer durante a presa do revestimento podem ser classificados em:

1) Expansão normal, quando o revestimento não entra em contato, até o final da presa, com outro líquido senão a própria água usada na espaturação.

2) Expansão higroscópica plena, que é maior que a normal, ocorre quando o revestimento recém espaturado é colocado em contato com excesso de água adicional, de modo que possa absorver o máximo possível. O estágio da presa deve ser muito inicial, ou seja, pouco antes ou imediatamente depois da perda de brilho. O mecanismo das expansões higroscópicas está relacionado com a eliminação de uma certa restrição à expansão causada pelas interfaces água-ar que surgem no interior da massa, à medida que a água de espaturação vai sendo consumida pela reação de presa.

3) Expansão higroscópica parcial ou semi-higroscópica, quando o revestimento toma presa em contato com uma quantidade de água menor que o máximo que conseguiria absorver. A expansão higroscópica também não será máxima se o contato com água adicional ocorrer em estágios mais avançados da presa, pois o potencial de expansão é ligado à proporção da presa que ainda não aconteceu (a chamada “expansão tardia”). É também interessante lembrar que as expansões higroscópicas ocorrem também quando o revestimento entra em contato com outros líquidos diferentes da água (querosene, vaselina líquida, por exemplo) e, nesses casos, a magnitude da expansão é menor. Por este motivo a expansão higroscópica poderia também ser chamada de “hidráulica”.

4) Existe um outro modo de provocar expansão maior que a normal, que recentemente foi caracterizado como expansão “exo-hídrica”. Acontece quando é removida, usando um material absorvente, parte da água de espaturação antes que ocorra o estágio da presa caracterizado pela perda de brilho na massa. Neste caso a perda de água conduziria à aproximação dos núcleos de cristalização do gesso, e o revestimento se comportaria como se tivesse sido espaturado com uma menor proporção de água, o que produz maior expansão.

5) Existe ainda a possibilidade de combinar a expansão exo-hídrica com a higroscópica, pois, como vimos, a exo-hídrica remove água antes da perda de brilho e a higroscópica pode adicionar logo depois da perda de brilho. O que não faria sentido seria pensar em combinar alguma das higroscópicas ou exo-hídricas com a expansão normal, pois, por definição, já não seria normal. É importante destacar que as expansões higroscópicas só podem ocorrer enquanto o revestimento está tomando presa: qualquer contato com água adicional após a presa não irá promover expansão alguma significativa.

O revestimento expande também quando aquecido. A expansão é resultante da combinação das alterações dimensionais da sílica e do aglutinante. E as alterações dimensionais do gesso são uma resultante de dois fenômenos: a) a expansão térmica normal, inerente à maior agitação molecular; b) contrações decorrentes de alterações químicas da gipsita, que ocorrem em faixas específicas de temperatura: há uma contração acentuada entre 200-400°C (que pode ser amenizada com a adição de cloreto de sódio como modificador), e outra a partir dos 700°C, coincidindo, como vimos, com a liberação de gases de enxofre.

Os aglutinantes usados em revestimentos para ligas de alta temperatura de fusão precisam apresentar maior resistência (química e mecânica) à alta temperatura que a do gesso. Existem dois tipos básicos (fora os especiais, indicados para fundição de ligas de titânio, que são muito reativas): os fosfatos e os silicatos. Os revestimentos fosfatados são espaturados com um líquido próprio (solução de sílica coloidal) cuja diluição controla parcialmente as expansões de presa e a térmica normal. A reação de presa é muito exotérmica e acelerada pelo calor. O aquecimento no forno provoca reações químicas que podem beneficiar a resistência do aglutinante. Uma característica destes materiais é a baixa porosidade, o que frequentemente exige a confecção de canais de ventilação. Os aglutinantes à base de silicatos têm uma química até mesmo mais complexa e toleram temperaturas ainda maiores, próximas a 1200°C.

1.6. As “técnicas de fundição”

Pelo nome de “técnicas de fundição” tem sido normalmente designados os “pacotes” de procedimentos, coerentes e justificados, recomendados por alguns autores para compensar as expansões, contrações e distorções do processo de fundição, de modo a obter peças ajustadas. Por serem baseadas no tipo de expansão do revestimento, são normalmente divididas em

técnicas térmicas e técnicas higroscópicas, embora sempre combinam vários tipos de expansão, como será visto. Esta divisão tradicional parece querer indicar na realidade que não se devem somar alguns tipos de expansão, para evitar excesso de expansão que ocorreria, por exemplo, se uma técnica combinasse a expansão higroscópica plena e a isotérmica.

Como são muitas as possíveis alterações dimensionais e, muitas vezes, as alterações morfológicas podem depender da interação entre os materiais, a quantidade de técnicas possíveis é muito grande. Trataremos aqui apenas de algumas das técnicas; os protéticos utilizam às vezes com bons resultados as misturas de várias técnicas: o verdadeiramente importante é obter peças ajustadas, sem prejuízo das propriedades mecânicas e físicas máximas; quando é verificada uma falha, é preciso saber em que ponto do processo se pode interferir para corrigi-la em futuras fundições.

O Quadro 1 resume algumas das técnicas de fundição que se podem usar com revestimentos aglutinados por gesso.

1.7. O problema do forro de amianto

Para contrabalançar eventual falta de resistência mecânica dos revestimentos aglutinados por gesso quando já aquecidos à temperatura em que a liga é injetada, os idealizadores das primeiras técnicas propuseram o vazamento do revestimento no interior de anéis de ferro para formar o molde. O cilindro de revestimento formado assim, terminaria ficando protegido pela parede do anel, o que permitiria sua manipulação com menor risco de se trincar. O ferro expande termicamente numa magnitude aproximadamente igual à expansão térmica normal do revestimento; mas não acompanha nem a expansão isotérmica nem a expansão de presa: isto criaria um problema evidente de distorção, já que a expansão do cilindro de revestimento seria restringida pela presença do anel de ferro na direção transversal ao longo eixo do cilindro e livre na direção longitudinal. Foi para evitar este problema que se idealizou forrar internamente o anel de ferro com uma tira de material macio, resistente à alta temperatura, mas que se deformasse com facilidade quando comprimido durante a ocorrência das expansões ligadas à presa ou à expansão isotérmica. A tira deveria ser mais curta, de maneira a não forrar toda a altura do anel: o revestimento precisa tocar no anel nos últimos dois milímetros de cada extremidade. Deste modo o revestimento fica retido no anel; esse travamento também opõe alguma resistência à expansão do revestimento na direção do longo eixo do anel, semelhante à restrição que o forro exerceria no sentido transversal, e assim se minimizaria a distorção.

O primeiro material usado como forro foi o amianto. Para torná-lo mais macio e diminuir a oposição que poderia exercer à expansão de presa, é normalmente embebido em água depois de ajustado ao anel de ferro e antes de vazarem o revestimento. Esta embebição provoca um certo intumescimento do material. Mas, quando o revestimento entra em contato com o forro molhado, uma certa quantidade de água poderá ser absorvida pelo revestimento, o que provoca expansão semi-higroscópica cuja magnitude não se pode prever com exatidão porque nem se conhece a quantidade exata de água absorvida do forro nem a quantidade exata de revestimento que irá formar o cilindro

O amianto secará junto com o revestimento e facilitará a expansão do molde na direção transversal quando for atingida a temperatura de inversão da sílica.

O amianto é um material fibroso de baixa densidade. As poeiras de amianto inaladas se acumulam nos pulmões provocando um quadro clínico chamado de asbestose, que pode chegar a ser muito grave e facilitar 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. Na área odontológica é muito utilizado no Brasil, pois raramente os protéticos o substituem por forro de celulose (que queima quando aquecido) ou por mantas cerâmicas resistentes ao calor, mas facilmente compressíveis. Outra solução para o impasse é lançar mão de artifícios técnicos que evitam o uso de amianto (link quadro técnicas).

Existem outras duas fontes de restrição às alterações dimensionais que também devem ser consideradas ao analisar a ocorrência de distorções: 1) o material do padrão dificulta a expansão de presa do revestimento; 2) o revestimento pode restringir a contração da liga sólida.

Quadro 1: resumo de algumas técnicas de fundição

Técnicas	TÉRMICAS		HIGROSCÓPICAS		DEPARTAMENTO
	TAGGART	CONTROLADA (PHILLIPS)	IMERSÃO (HOLLEMBACK)	ADIÇÃO CONTROLADA (ASGAR, MHALER, PEYTON)	
Particularidades					
TEMPERATURA de INJEÇÃO da LIGA	700	700	480	480	600 (OU MENOR)
TIPOS de EXPANSÃO	- Semi-higroscópica - Térmica(: - normal - isotérmica)	- Semi-higroscópica - Térmica (com uso de pó controle): - normal - isotérmica	- Do padrão de fundição (térmica) - Higroscópica - Térmica normal	- Higroscópica parcial controlada - Térmica normal	- Higroscópica tardia - Térmica: - normal - isotérmica
ELIM. DO PADRÃO	Calor seco	Calor seco	Calor seco	Água fervente	Calor seco
VALOR EXPANSÃO	1,95%		2,05%	1,33-2,55%	
FORRO AMIANTO	sim	sim	sim	não	não
EQUIP. AUXILIAR	não	Balança, tabelas para cálculo	- Panela de Hollemback - Incluser a vácuo	- Anel de borracha, cuba - Bureta, chupeta - Incluser a vácuo	não
OBSERVAÇÕES					0 min. – boneca 30 min. – molha a boneca e inclui 60 min. – seca na boca forno 90 min. + secagem – já a 480°C +15 min. – (homogeniz.) injeção

1.8. Detalhes técnicos importantes na construção do molde de revestimento

Alguns detalhes são comuns a todas as técnicas:

A angulação do canal de alimentação em relação à parede de revestimento onde a liga irá se chocar ao entrar é importante para minimizar a erosão da parede de revestimento. A erosão altera o formato do molde e mistura partículas de revestimento com a liga. Recomenda-se ângulo ao redor de 45º para reduzir o impacto. Isto deve ser levado em consideração ao fixar o pino formador do canal.

A escolha do local de fixação do pino formador do canal de alimentação é importante para evitar a porosidade por contração localizada no metal. Esta porosidade é inevitável e forma-se sempre no último ponto em que o metal solidifica, devido a uma falta de suprimento de liga líquida que compense a redução de volume do metal ao resfriar enquanto líquido. Por este motivo, a porosidade por contração localizada forma-se também em todos os locais da peça que solidificam depois de ter perdido alguma conexão com regiões ainda líquidas que possam fornecer liga. Por tanto, a alimentação de liga líquida é um problema de difícil solução, que em muitos casos obriga a construir vários canais de alimentação. Como o local mais volumoso da peça tende a acumular calor e ser o último a solidificar, nesse local deve existir obrigatoriamente um canal de alimentação. Se o canal tivesse pequeno diâmetro, poderia solidificar antes que a peça, o que impediria o fornecimento de liga líquida. Nesse caso recomenda-se aumentar o diâmetro do canal ou fazer uma “câmara de reserva” de volume igual ao daquela região da peça. A câmara de compensação é um alargamento do canal, com formato esférico, posicionado a uma distância mínima da peça (ao redor de 1mm). Para garantir que a região da câmara de reserva seja a última a solidificar recomenda-se que ela fique situada na última região a resfriar do cilindro de revestimento, normalmente chamada de “centro térmico”. Prever com exatidão o local do centro térmico nos casos práticos pode ser quase impossível, já que até o calor da liga injetada influi nesta determinação.

Para melhorar o contato do revestimento com o material do padrão recomenda-se “pintar” o padrão com uma camada de líquido tensoativo, cuja tensão superficial é bem menor que a da cera. Este procedimento minimiza a ocorrência de bolhas de ar entre o padrão e o revestimento, que resultam em irregularidades superficiais de formato esférico no metal, chamadas de nódulos.

O amianto deve ser ajustado internamente ao anel antes de ser embebido em água, de modo a evitar que seja comprimido e perca o intumescimento que produz a embebição.

A distância entre o padrão e o topo do cilindro de revestimento não deve ser menor que 2mm para garantir que a parede de revestimento resista ao impacto da liga sem se romper. Essa distância não deve ser maior que 5mm para não prejudicar o escape de gases durante a entrada da liga, que impede a cópia fiel do molde. Se isto não for possível ou se for necessário melhorar a ventilação do molde, pode ser construído um canal de ventilação que termine a 2mm de distância da superfície do revestimento (“venting” fechado) ou que termine se abrindo na região de maior diâmetro do cadinho do cilindro (“venting” aberto), como mostra a figura DDD. As máquinas de injeção por pressão (ver item 1.10) só permitem canais de ventilação fechados.

1.9. Parâmetros para o aquecimento no forno

As técnicas de fundição costumam também indicar os detalhes a serem seguidos para aquecimento do cilindro de revestimento no forno. Os motivos que sustentam estas recomendações serão expostos a seguir:

Se o padrão foi confeccionado em cera e o revestimento já estiver seco, devemos mergulhar em água o cilindro até que fique saturado de água antes de levá-lo ao forno. Este cuidado, associado ao detalhe de deixar o cilindro com o cadinho voltado para baixo, permite a saída da maior parte da cera do interior do molde. Assim, os resíduos da queima do padrão não contaminarão a liga nem interferirão na ventilação do molde. Se o cilindro estivesse seco, a cera, ao fundir, impregnaria o revestimento, e os resíduos da sua queima poderiam trazer os inconvenientes mencionados.

Os revestimentos fosfatados e os aglutinados por silicatos podem apresentar reações piroquímicas que demorem em acontecer e das quais dependa sua resistência mecânica a quente. As recomendações do fabricante devem ser

rigorosamente seguidas.

Não se deve aquecer muito rapidamente o revestimento úmido: quando a água evapora com violência, o vapor pode trincar o revestimento. É mais garantido que o forno não ultrapasse os 150ºC antes que pare de sair vapor de água.

O cadinho deve estar voltado para cima e a porta do forno aberta (ou sua ventilação ligada, em fornos mais sofisticados) para facilitar a queima do material do padrão, que ocorre até 400ºC. O final da queima é identificado porque pára de sair fumaça decorrente da combustão: nesse momento o forno pode ser fechado, até o momento da injeção da liga.

O aquecimento muito rápido prejudica a expansão térmica normal do revestimento e deve ser evitado.

Na dependência da composição do revestimento utilizado, a(s) temperatura(s) de inversão da sílica devem ser ultrapassadas muito lentamente. Não se deve esquecer que o revestimento não transmite bem o calor; por tanto, é fácil produzir nele um gradiente de temperaturas muito diferentes. Se uma região do cilindro tiver ultrapassado a temperatura de inversão e outra ainda não a tiver atingido, as diferenças de expansão poderão provocar trincas no revestimento.

Pelo mesmo motivo, para garantir que a temperatura (e a expansão) seja homogênea em todo o revestimento é preciso aguardar algum tempo depois que a temperatura de injeção da liga foi alcançada. Porém, não se deve esperar durante um tempo tão longo que o aglutinante se deteriore e eventuais agentes redutores sejam totalmente consumidos.

1.10. Técnicas de fusão e injeção da liga

A técnica escolhida para fusão da liga durante o processo depende de dois parâmetros: 1) a temperatura de fusão da liga, que condiciona a temperatura e a potência da fonte de calor necessária; 2) a reatividade da liga quando fundida, que pode ser causa da alteração significativa da sua composição e propriedades, caso o ambiente circundante não esteja livre de contaminantes.

Ligas com intervalo de fusão até 700ºC são raras em Odontologia, mas podem ser fundidas com maçarico gás-ar; até 1000ºC são normalmente fundidas com maçarico gás-ar comprimido. O maçarico gás-oxigênio é mais calórico, pois a chama não precisa esquentar o lastro de mais de 70% de gases presentes no ar que não participam da reação de combustão: permite fundir ligas com ponto de fusão pouco acima de 1000ºC. O maçarico mais eficiente é o de oxigênio-acetileno, que permite fundir ligas com intervalo ao redor de 1500ºC. Qualquer tipo de maçarico terá sempre o inconveniente de criar ao seu redor um ambiente mais ou menos oxidante que pode prejudicar a liga até o ponto de se tornar totalmente contra-indicado, como é o caso das ligas à base de titânio, que não podem ser fundidas com maçarico sem perigo de reação violenta que chega à explosão. Na chama de um maçarico bem regulado não é barulhenta e aparecem nela nitidamente três regiões cônicas: a primeira, próxima ao maçarico, escura e fria, na qual os gases se misturam mas ainda não queimam. O seguinte cone, de cor azul clara e brilhante, é a região mais quente e redutora da chama, onde ocorre a combustão: é a região que deve entrar em contato com o metal que se deseja fundir, por ser mais quente e quimicamente menos reativa. O cone mais externo, de cor azul lilás, é menos calórico e oxidante, por causa da combustão incompleta dos gases; o contato da liga com esta região deve ser evitado, especialmente nas ligas mais reativas.

A liga pode ser fundida também num forno aquecido com resistência elétrica. Este sistema permite mais facilmente a criação de um ambiente inerte ao redor da liga, mas tem o inconveniente de não permitir alcançar temperaturas acima da qual ocorre a fusão da própria resistência elétrica, que normalmente é de metal (níquel-cromo), que não suporta temperatura acima de 1200ºC.

Outra fonte de calor possível é a passagem de corrente numa descarga elétrica através de um gás, formando um arco voltaico. Este sistema consegue fundir as ligas com mais alto ponto de fusão e permite estabelecer ambiente inerte ao redor da liga fundida, desde que seja injetado algum gás apropriado (nitrogênio ou argônio) no recipiente. Neste caso, os contaminantes podem provir do cadinho em que a liga é fundida, dos eletrodos que conduzem a corrente ou de impurezas presentes no gás.

A fonte de calor teoricamente mais limpa, embora exija máquinas caras, é a indução eletromagnética de correntes elétricas no próprio metal a ser

fundido (ou no cadinho). Isto é conseguido submetendo a liga a um campo eletromagnético variável de alta frequência produzido por uma bobina, normalmente resfriada com água. A variação do campo magnético induz a formação de correntes elétricas de alta intensidade no próprio metal que se deseja fundir, aquecendo-o até a fusão por efeito Joule.

A liga deve ser injetada no molde imediatamente depois de concluir sua fusão completa, para evitar problemas decorrentes do superaquecimento, oxidação e inclusão ou adsorção de gases circundantes. As máquinas mais comuns para injeção são as centrífugas, que podem girar num plano horizontal ou num vertical. Se a liga for fundida num cadinho totalmente fechado, aquecido com resistência elétrica, a centrífuga pode ser de braço reto, sem articulação (figura AAA). Se for aquecido com maçarico, o cadinho precisa ser necessariamente aberto, para permitir a entrada da chama e o escape de gases. Nesse caso, existem duas soluções possíveis para evitar a saída da liga para fora do cadinho no momento em que a centrífuga começar a girar: 1) centrífuga horizontal de braço articulado (figura BBB); 2) centrífuga com braço sem articulação que gire num plano vertical (figura CCC). A velocidade com que a liga é impulsionada para dentro do molde e a pressão que exercerá para copiar as paredes do molde dependerão da velocidade angular de giro da centrífuga, seu raio e a densidade da liga: ligas de menor densidade exigem velocidade de giro maior. Existem dois inconvenientes incontornáveis neste tipo de máquina de injeção: 1) a pressão que a liga exerce sobre as paredes do molde não é uniforme (é maior nas regiões mais distantes do centro de giro e menor nas situadas à frente da região de avanço); 2) a força centrífuga tende a provocar também distorções no molde de revestimento (especialmente quando é necessário aumentar a velocidade para poder fundir ligas menos densas).

Os dois inconvenientes anteriores não existem para as máquinas de injeção que impulsionam a liga fundida usando pressão de gás ou combinação de pressão aplicada do lado da liga com vácuo aplicado no lado oposto do cilindro de revestimento (figura DDD). As máquinas de injeção por pressão podem utilizar teoricamente qualquer uma das fontes de calor para fundir a liga.

1.11. Falhas de fundição

Para aceitar uma peça fundida como perfeita ela deve apresentar excelente adaptação e as propriedades mecânicas, físicas e químicas esperadas. As falhas do processo de fundição podem se refletir de modo evidente na peça fundida: é importante saber reconhecer as possíveis causas das falhas para poder introduzir as correções necessárias no processo.

Erros graves, como a falta de eliminação total do padrão ou a fusão incompleta da liga, causam falhas grosseiras como a fundição incompleta.

Falhas de adaptação podem ter origem muito variada: erros na compensação de contrações e expansões, distorções ou irregularidades superficiais tais como nódulos.

As porosidades na liga podem enfraquecer mecanicamente a peça e, se aparecerem na superfície, facilitarão a corrosão.