



ESCOLA POLITÉCNICA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

TRABALHO DE FORMATURA

**Fabricação de moldes de injeção de plástico
pelo conceito de prototipagem rápida
(Rapid Prototyping)**

Hermann Windisch Neto n° 2914796

Professor Orientador- João Paulo Marciano

*Ano vade
João Paulo P. Marciano
São Paulo, 10 de dezembro 1997*

Agradeço à General Motors de Brasil pelo
apoio e pelo equipamento cedido para uso,
ao meu professor orientador, e a todos que
deram apoio e opiniões para este trabalho

Sumário

Listas de tabelas e figuras

1- Introdução.....	1
2- Moldes de injeção	1
2.1- Componentes.....	1
2.2- Solicitações.....	2
2.2.1- Pressão de injeção.....	2
2.2.2- Força de fechamento.....	3
2.2.3- Abrasão.....	3
3- Conceito de prototipagem rápida.....	3
3.1- Aspecto técnico e econômico.....	3
4- Técnicas de geração de peças plásticas.....	4
4.1- Estereolitografia.....	4
4.1.1- Fotopolímero.....	5
4.1.2- Sinterização seletiva.....	6
4.1.3- Deposição de material fundido.....	7
4.2- “Vacuum molding”.....	8
4.3- Molde de alumínio.....	8
4.4- Molde feito por metalização.....	8
5- Escopo de utilização dos moldes.....	9
6-Matriz de decisão.....	10
7- Descrição do Processo	12
7.1- Histórico sobre o processo “Thermal Spray”.....	12
7.2- Aplicações	14
7.3- Método.....	15
7.3.1- Verificações.....	15
7.3.2- Processo.....	15
7.3.2.1- Preparação do modelo.....	15
7.3.2.2- Preparação dos postiços.....	16
7.3.2.3- Aplicação do metal.....	17
7.3.2.4- Adição do material de enchimento.....	17

7.3.2.5- Confecção da segunda parte do molde.....	18
7.3.2.6- Usinagem.....	19
7.3.2.7- Acabamento.....	19
8- Materiais e equipamentos.....	19
8.1- Materiais	19
8.1.1- Materiais para postiços.....	20
8.1.2- Materiais da camada metálica.....	20
8.1.3- Materiais para enchimento.....	21
8.1.3.1- Liga metálica.....	21
8.1.3.2- Material à base de resina epoxi.....	21
8.2- Equipamentos.....	22
8.2.1- Cabine de exaustão.....	22
8.2.2- EPIs.....	23
8.2.3- Forno.....	23
9- Parâmetros de processo.....	23
10- Conclusão.....	25
11- Referências Bibliográficas.....	27

Lista de tabelas

1- Matriz de decisão.....	11
---------------------------	----

Lista de figuras

1- Sistema de fotopolimerização.....	5
2- Sistema de sinterização a Laser.....	6
3- Sistema de deposição de material fundido.....	7
4- Sistema de metalização.....	9
5- Processo de metalização.....	12
6- Máquina de metalização moderna.....	13
7- Camada metálica feita pelo processo de “arc-spray”.....	14
8- Porta matriz com placa suporte.....	18
9- Adesão metalúrgica da camada metálica com o CERROTRU...	25

Lista de Gráficos

2.2.1- Ábaco de pressão de injeção.....	2
---	---

Resumo :

O objetivo deste trabalho será desenvolver um processo adequado para a geração de moldes de injeção de peças plásticas para protótipos.

A base de pesquisa deste trabalho consiste no estágio que vem sendo desenvolvido na área de fabricação de protótipos, na General Motors do Brasil, e sua estrutura consiste em :

- Análise do processo de injeção e sua adaptação para o conceito de prototipagem rápida.
- Análise crítica dos processos de fabricação de moldes.
- Coletânea de processos de geração de modelos.
- Escolha do processo mais adequado.
- Descrição do processo escolhido.
- Estudo de caso com a geração de uma folha de processo.

1- Introdução

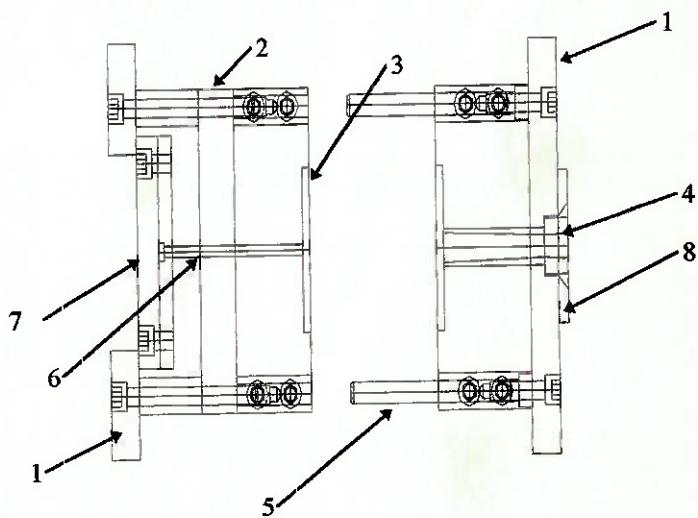
O desenvolvimento da indústria de plástico assumiu uma posição proeminente na produção industrial de todo o mundo, principalmente na indústria automobilística. Na moldagem por injeção são geralmente usados termoplásticos (podem também ser usados materiais termofixos) e consiste basicamente no aquecimento do material plástico até seu ponto de fusão e na subsequente injeção por uma grande pressão específica numa cavidade de molde resfriada. Após o resfriamento da peça, o molde se abre e um sistema extrator retira a peça.

2- Moldes de injeção

2.1- Componentes

Os componentes de um molde de injeção podem variar um pouco mas são basicamente :

- 1- Placas de fixação.
- 2- Placas porta matrizes.
- 3- Cavidade matriz.
- 4- Bucha de injeção.
- 5- Colunas guia.
- 6- Pinos extractores.
- 7- Placas extractoras.
- 8- Anel de centragem.



2.2- Solicitações físicas

Os moldes de injeção sofrem três tipos de solicitações:

- Esforços devidos à pressão do material injetado.
- Esforços devidos à força de fechamento.
- Abrasão do material em contato com o material plástico quente.

2.2.1-Pressão de injeção:

A pressão de injeção deverá ser a mínima possível, suficiente para preencher toda a cavidade do molde e sem causar rechupes na peça.

Para avaliar a pressão de injeção adequada pode-se recorrer a um ábaco que relaciona espessura de parede com percurso de injeção (máxima distância que o material fundido terá de percorrer ao entrar no molde). Este ábaco serve para moldes com poucas restrições de percurso e com materiais de boa fluidez. Para moldes com restrições ou baixa fluidez, poderemos adicionar coeficientes de compensação.

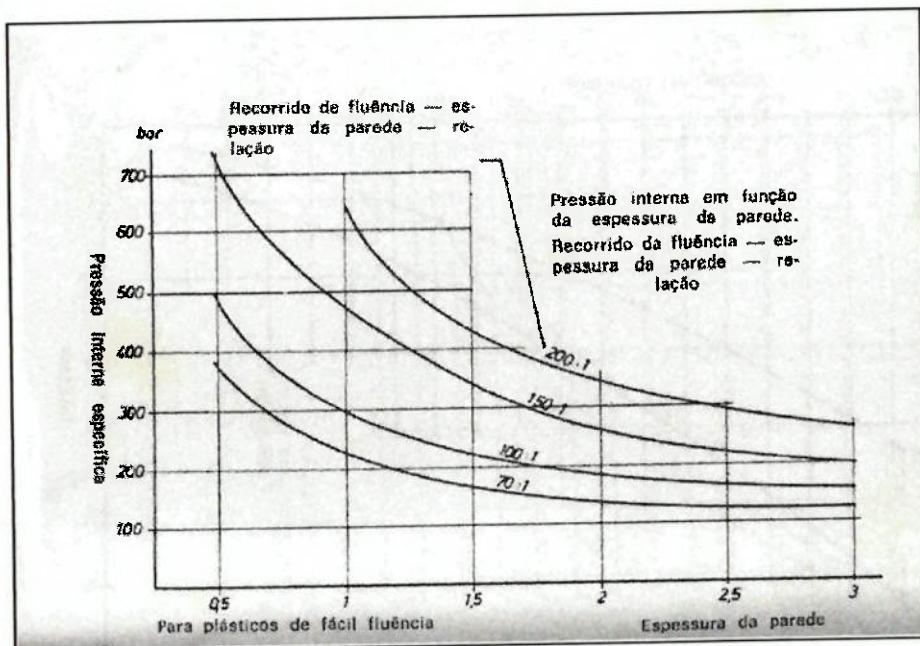


Gráfico 2.2.1- Ábaco para determinação da pressão de injeção

2.2.2- Força de fechamento:

A força de fechamento está diretamente ligada com a pressão de injeção. Ela deve vencer a força aplicada pelo material plástico na cavidade. A princípio usa-se o produto da pressão de injeção pela área projetada da cavidade do molde. Com este valor de força deve-se dimensionar as placas espaçadoras, placas suporte e placas porta matriz para que suas deformações sejam admissíveis.

2.2.3- Abrasão:

A abrasão do material plástico nas paredes da cavidade do molde pode variar bastante pelo tipo de material a ser injetado (é muito diferente o grau de abrasão entre um polietileno e uma poliamida reforçada com fibra de vidro). Geralmente as cavidades são feitas em aços cementados (temperados superficialmente), mas para pequenas produções, tipicamente para peças protótipos, poderemos usar materiais com durezas inferiores desde que suportem bem o número de peças a serem injetadas.

3- Conceito de prototipagem rápida

O conceito de prototipagem rápida pode ser entendido como o conjunto de processos necessários para a geração de peças sólidas (representativas ou para apreciação de geometria e montagem) em prazos muito mais curtos do que nos métodos convencionais, e com custos menores. Estes processos geralmente utilizam um tratamento matemático (CAD) das peças a serem construídas.

3.1- Aspectos técnicos e econômicos

Com a globalização do mercado produtivo, existe cada vez mais a necessidade de se diminuir o tempo de projeto, isto ocorre principalmente na indústria automobilística onde a competição acirrada e os projetos conjuntos entre unidades fabris de todo o mundo exigem prazos curtos e sincronia de atividades.

À primeira vista, os processos de RP (rapid prototyping) podem parecer onerosos, mas com a versatilidade e rapidez na obtenção de peças, estes processos se tornam altamente vantajosos.

4- Técnicas para obtenção de peças plásticas

Aplicando o conceito de RP para a obtenção de peças plásticas poderemos encontrar alguns processos distintos:

4.1- Estereolitografia.

Estes processos utilizam um modelo matemático da peça em formato STL (representa a peça em pequenos polígonos triangulares) e o fatia em camadas finas, geralmente alguns décimos de milímetro. Após isto, uma máquina cria fatia por fatia que são unidas de modo a gerar o sólido desejado. Seu maior inconveniente é o alto tempo de fabricação, sendo somente viável para a geração de algumas unidades pois, para um número um pouco maior, pode ser mais vantajosa a construção de um molde.

Hoje em dia, existem alguns métodos distintos de estereolitografia, e os principais são:

4.1.1- Fotopolímero

Este foi o primeiro sistema de RP do mercado , desenvolvido pela 3D Systems Inc em 1987. Neste processo as peças são construídas a partir de uma resina fotopolimerizável sensível à radiação UV. A velocidade de varrimento do Laser polimerizador pode atingir 10 m/s com potências aplicadas da ordem de 150 mW. Este processo é o que garante melhor controle de dimensões (da ordem de 0,05mm).

Neste processo, podem ser usadas resinas termoplásticas utilizáveis em processos de fundição por cera perdida ou microfusão. Neste caso, pode-se fazer um modelo das cavidades do molde e fundi-las pelo processo conhecido por 3D Keltool™

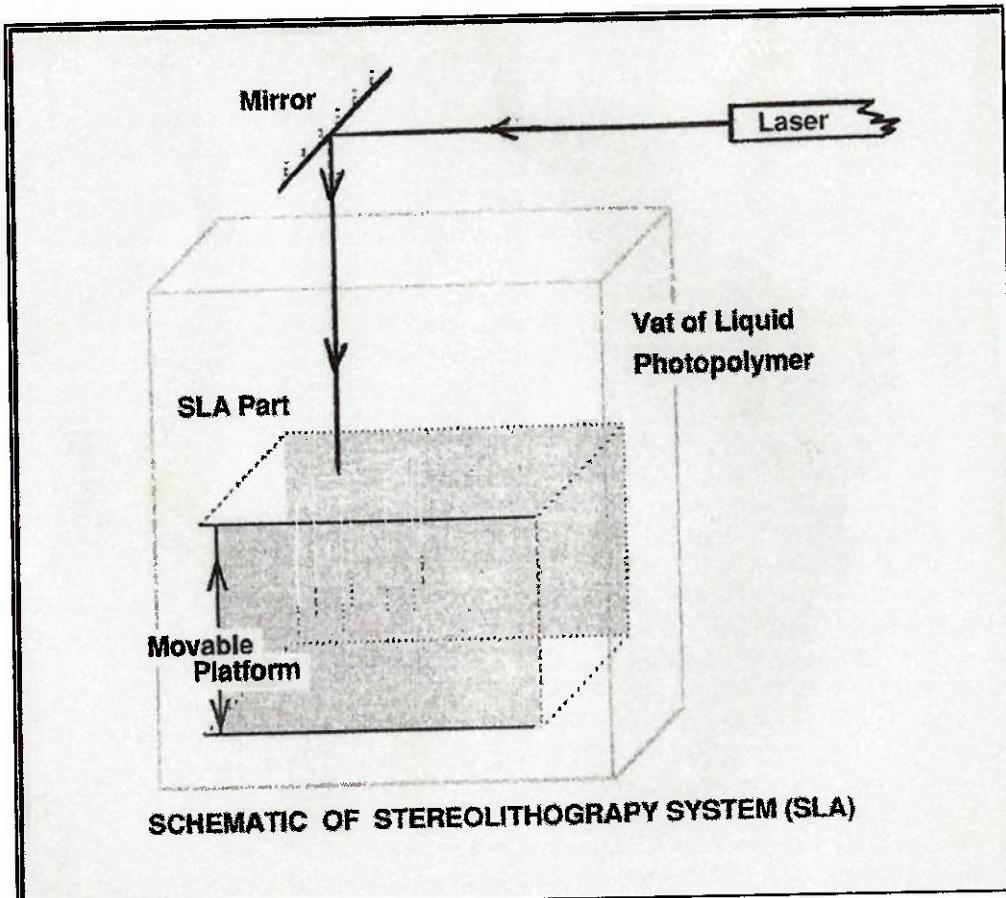


Fig. 1- Sistema de Estereolitografia

4.1.2- Sinterização seletiva por Laser (SLS).

Neste processo utiliza-se como matéria prima pós plásticos ou metálicos que sofram uma sinterização por feixe de Laser . No caso dos plásticos, a peça já sai pronta, necessitando apenas de uma limpeza. Já no caso dos metais, somente é sinterizado um material aglutinante, sendo necessário após isso, que a peça passe por um forno (para evaporar o aglutinante e sinterizar o metal) e ainda receba uma infiltração de cobre para preencher os interstícios. Este último processo gera peças densas capazes de servir como matrizes de injeção (Rapid tool™).

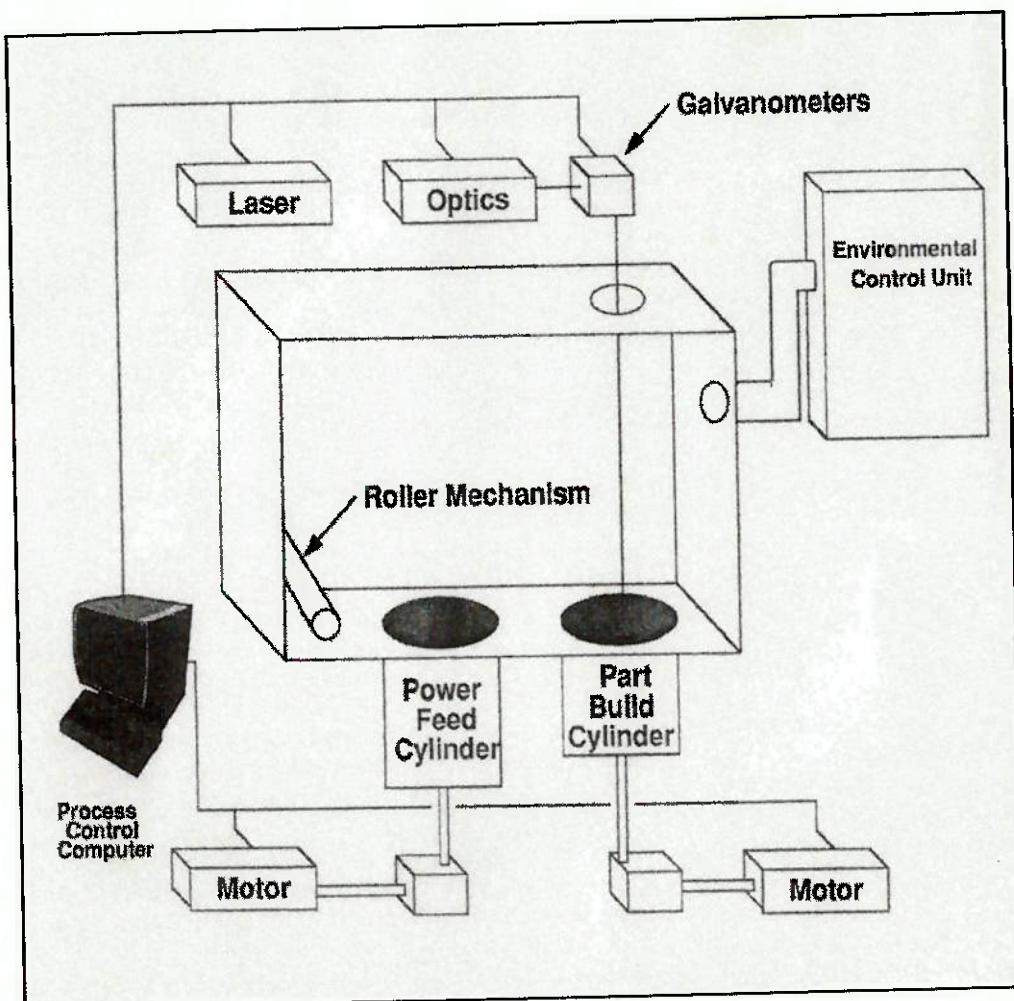


Fig.2-Sistema de sinterização seletiva a Laser

4.1.3- Deposição de material fundido (FDM)

Este processo se parece com uma impressora jato de tinta, pois um cabeçote com material fundido percorre os eixos XY depositando o material de cada camada pelo movimento em Z.

Neste processo também podem ser produzidas peças para utilização direta (ABS) ou peças em cera para fundição em cera perdida.

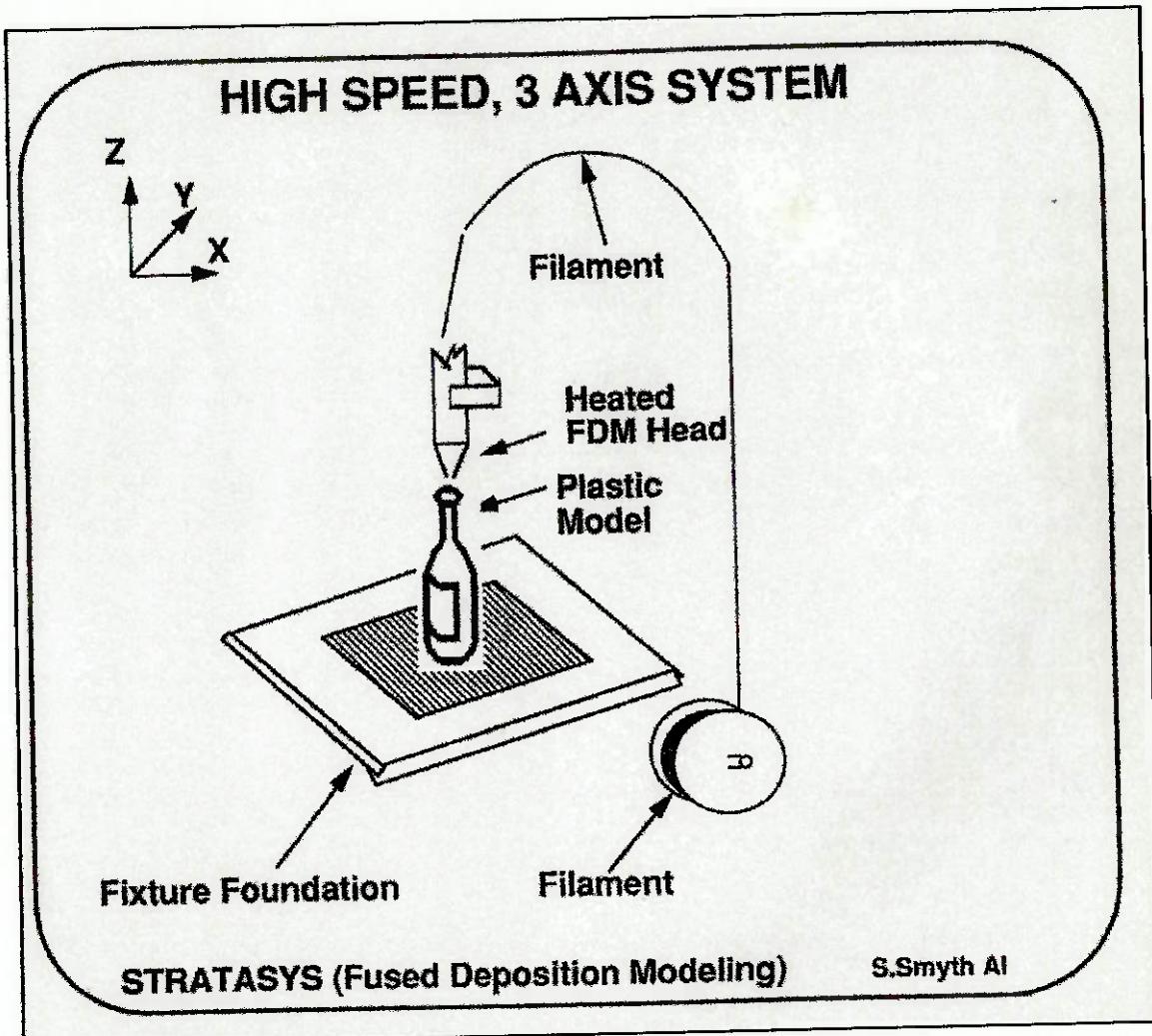


Fig. 3- Deposição de material fundido (FDM)

4.2- Moldagem com molde de silicone.

Este sistema necessita de um modelo da peça em qualquer material ,o qual será imerso em silicone e após a cura, é feita a linha de partição do molde, extraindo o modelo. Normalmente é utilizada uma resina termofixa que é vazada no molde por gravidade, num ambiente de baixa pressão para retirar as bolhas. Este tipo de molde agüenta até 30 moldagens.

4.3- Molde de alumínio

Até a pouco tempo, este era o único método de abaixar o custo de peças para pequenos lotes (até 500 peças).

O processo consiste em construir um molde parecido com os usuais de produção, só que em alumínio. O molde é simplificado ao máximo e a cavidade é atualmente usinada via CNC. O tempo de fabricação do molde é ligeiramente inferior ao do molde em aço.

4.3- Molde com metalização da cavidade.

Neste método a placa porta cavidade é feita copiando-se o modelo pela deposição de metal e subsequente aplicação de um material de suporte à esta “casca”.

No processo por spray térmico a camada metálica é formada pela fusão do metal a ser depositado e sua aceleração por um jato de gás contra o modelo. O impacto faz com que o metal pulverizado forme uma camada por caldeamento já que o material chega no modelo num estado semifundido.

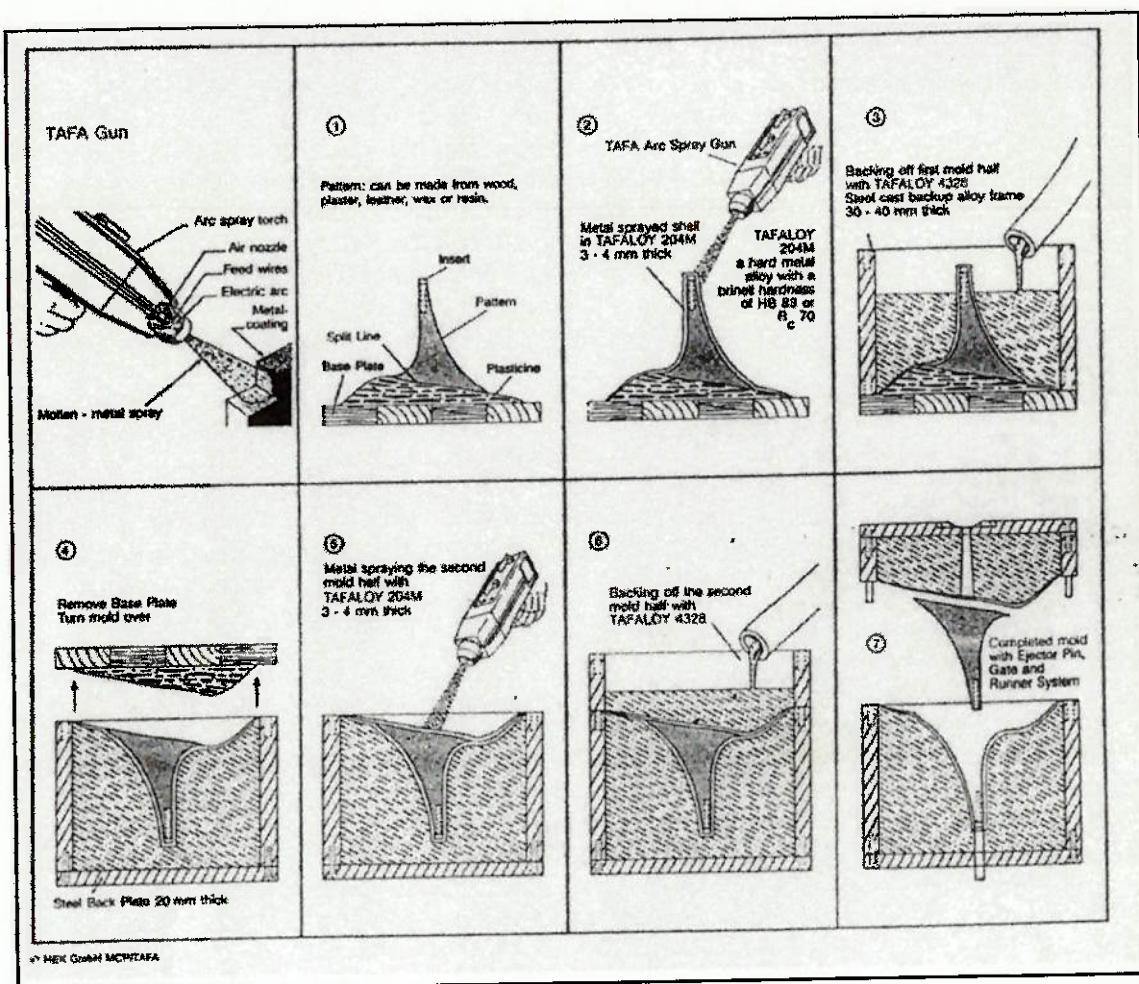


Fig. 4- Sistema de metalização

5- Escopo de utilização do molde

Para escolhermos o processo mais adequado, devemos propor um caso específico de necessidades.

No caso em questão, nos baseamos na produção de peças protótipos para a indústria automobilística, com uma produção limitada a no máximo 50 ou 60 peças e em geral, de dimensões reduzidas (até 150 gr). Estas peças estão disponíveis em sistemas de CAD e aproximadamente metade da produção tem que ser representativa em termos de materiais e resistências).

6- Matriz de decisão

Para elaborar a matriz de decisões iremos considerar os seguintes métodos:

- A- Modelo feito em estereolitografia para fundição da matriz de injeção pelo processo de cera perdida ou microfusão.
- B- Matriz usinada em alumínio
- C- Molde em silicone
- D- Matriz formada por metalização
- E- Sistema Rapid tool

Os ítems a serem analizados serão :

Custo - Custo comparativo para a obtenção do produto acabado.

Representatividade física- Se o material se comportará fisicamente como o de produção.

Tempo- Prazo total entre o pedido e o recebimento da peça.

Precisão- Nível de tolerâncias dimensionais que se pode exigir das peças produzidas.

Ocupação de mão de obra especializada- Tempo a ser gasto por profissionais da área para produzir as peças.

Disponibilidade do equipamento.

Grau de ocupação do molde- Porcentagem da vida útil do molde consumida na produção das peças.

Na matriz de decisão, cada um destes ítems terá um peso comparativo que varia de 1 a 5.

ÍTEM	A	Peso	AxP	B	Peso	BxP	C	Peso	CxP
<u>Custo</u>	7	5	35	5	5	25	8	5	40
<u>Represent.</u>	7	5	35	9	5	45	4	5	20
<u>Tempo</u>	6	3	18	5	3	15	7	3	21
<u>Precisão</u>	6	4	24	9	4	36	5	4	20
<u>Mão de obra</u>	7	2	14	6	2	12	7	2	14
<u>Disponibilidade</u>	7	4	28	9	4	36	6	4	24
<u>Ocupação</u>	6	1	6	5	1	5	9	1	9
TOTAL	-	-	160	-	-	174	-	-	148

ÍTEM	D	Peso	DxP	E	Peso	ExP
<u>Custo</u>	7	5	35	6	5	30
<u>Represent.</u>	8	5	40	7	5	35
<u>Tempo</u>	6	3	18	8	3	24
<u>Precisão</u>	7	4	28	7	4	28
<u>Mão de obra</u>	5	2	10	8	2	16
<u>Disponibilidade</u>	10	4	40	6	4	24
<u>Ocupação</u>	8	1	8	6	1	6
TOTAL	-	-	179	-	-	163

Tabela 1 - Matriz de decisão

Assim procederemos à análise do processo de metalização, que foi considerado o mais adequado.

7- Descrição do processo

7.1- Histórico sobre o método “thermal spray”

No final da década de 40, Adolf Shoupe of Germany desenvolveu o processo de spray metálico, o qual utilizava dois arames eletrizados de metal que faziam contato apenas na ponta. Um arco voltaico então se formava e derretia o metal, que era atomizado através de um jato de ar.

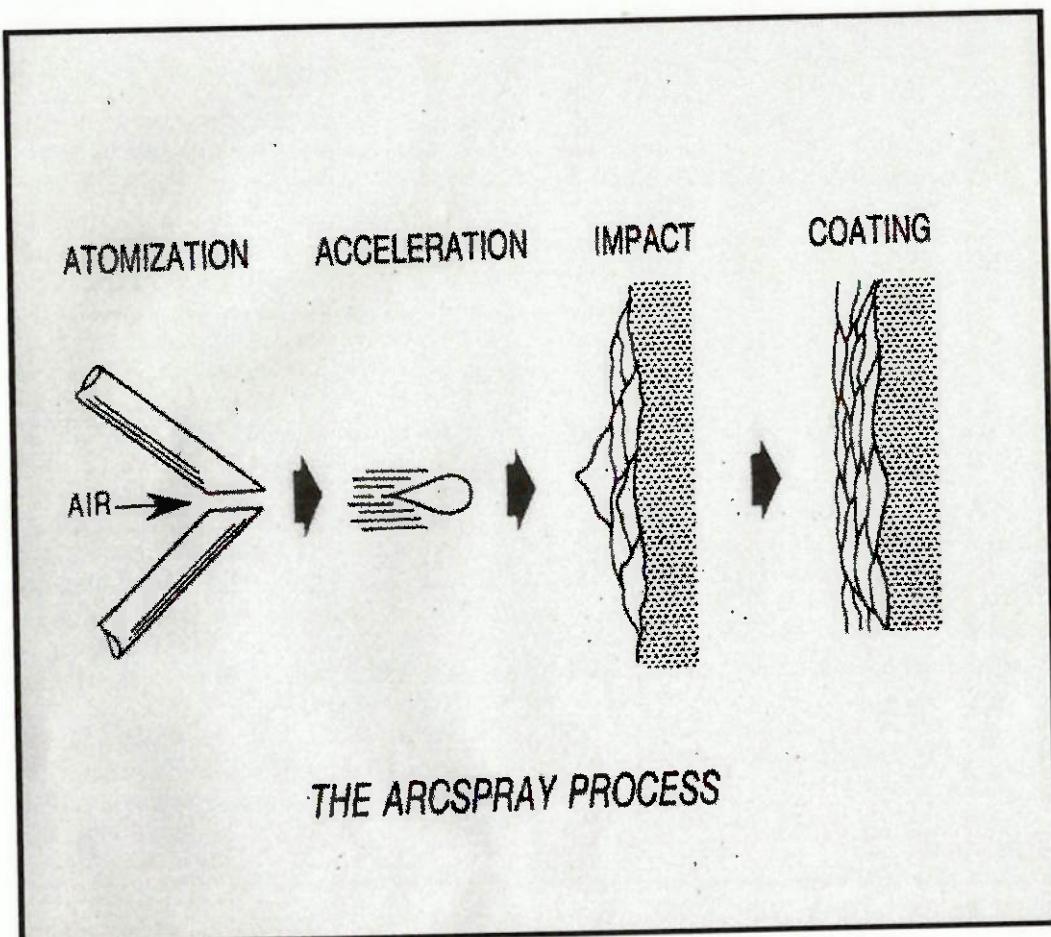


fig. 5- Processo de metalização

Naqueles dias, o interesse era de aplicar metais de alta temperatura (aços ligados) para restaurar grandes mancais ou zinco para proteção contra corrosão de aços. Porém

o sistema era incômodo e instável, sendo somente utilizado largamente depois da década de 60, com o sistema de fusão do metal via combustão oxi-acetilênica.

Durante os vinte últimos anos, várias tentativas de confecção de matrizes foram feitas, porém, sem sucesso. O processo oxi-acetilênico produz muito calor (o arame era aquecido por convecção da chama e somente uma pequena parte do calor era aproveitada para fundir o metal). Isso causava três problemas: deterioração do agente desmoldante aplicado no modelo, distorção da camada aplicada (empenamento, trincas, etc) quando do resfriamento do modelo e até a possível destruição do modelo (às vezes, feito de resina).

Hoje em dia, com um controle mais preciso do arco voltaico, consegue-se uma aplicação fria (geralmente o modelo não ultrapassa 54° C), com uma camada mais homogênea e capaz de reproduzir detalhes a níveis de décimos de milímetro.

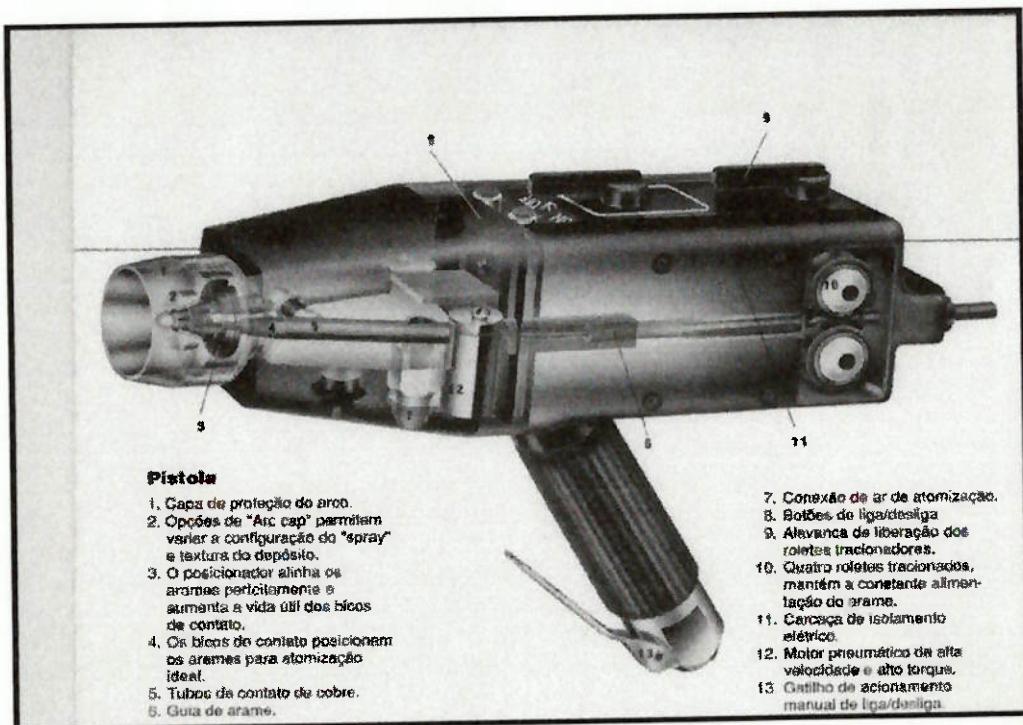


fig. 6- Máquina de metalização moderna

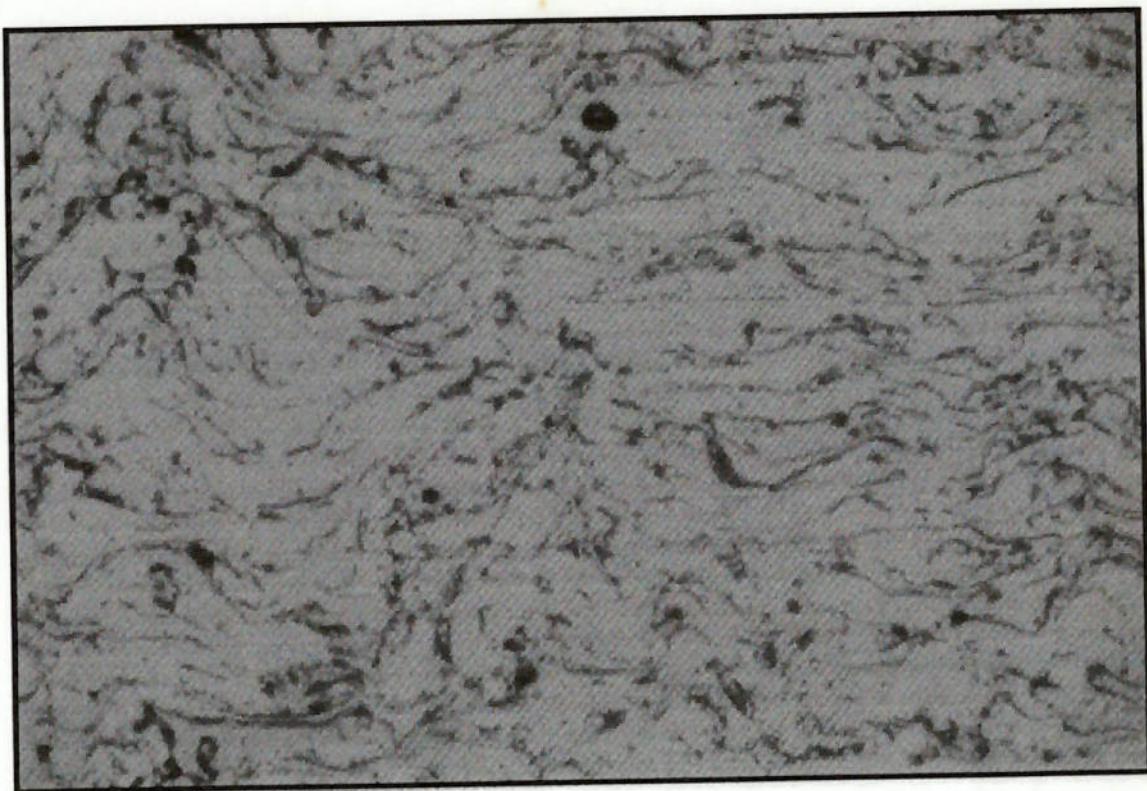


fig.7 - camada metálica aplicada com arc spray

7.2- Aplicações

Atualmente este processo é utilizado em indústrias de tecnologia de ponta que prevêem em projeto, a aplicação de camadas endurecidas de metal em eixos e mancais , na indústria metalúrgica, como método de proteção de chapas , e na confecção de matrizes para moldagem de polímeros.

A aplicação do thermal spray é utilizada principalmente na indústria de confecção de moldes para injeção de Poliuretano espandido, mas estão sendo desenvolvidos processos para utilização deste método na confecção de moldes para injeção de plástico, em geral.

7.3 - Método

7.3.1- Verificações

Antes de iniciar o processo de fabricação, todos os passos do processo devem ser verificados, pois após iniciado, normalmente um erro inicial acaba inutilizando o trabalho feito, sendo necessário recomeçar desde o início. A verificação consiste em:

- Verificar se o modelo é adequado em relação aos ângulos de saída (moldes com contra-saída negativa normalmente necessitam de gavetas, o que pode inviabilizar este processo).
- A montagem do modelo na base deve realçar a linha de partição totalmente.
- O modelo deve ser limpo e livre de qualquer oleosidade. Em caso de modelos porosos, estes devem ter uma camada de material selante para evitar uma adesão irreversível da camada metálica aplicada.

7.3.2- Processo

Uma vez feitas estas verificações, podemos partir para o processo básico de geração das matrizes.

7.3.2.1- Preparação do modelo

A linha de partição do molde deve ser tal que permita uma perfeita saída do modelo. Uma vez determinado isso, deve-se fazer uma base para sustentar o modelo.

A base de sustentação deve ser de madeira ou resina. Suas dimensões devem ser tais que a base encaixe no porta matriz (o porta matriz neste caso, é geralmente um quadrado de placas de aço). O modelo deve ser firmemente colado na base, pois a força do jato de aplicação pode descolá-lo.

O conjunto modelo-base deve ser rígido (se o modelo for oco, recomenda-se forrá-lo com algum material para evitar que a camada depositada quebre com alguma deformação do mesmo). O conjunto deve ser impermeável e sem reentrâncias que possam servir de ancoragem para o metal depositado.

Modelos de gesso devem ser bem impermeabilizados. Alguns gessos úmidos acabam oxidando a camada de zinco, trazendo problemas de deterioração da superfície e problemas de desmoldagem.

O cálculo do tamanho da base deve ser dirigido de modo que o material depositado aguente a pressão causada pela força de fechamento do molde.

A força de fechamento é dada pela pressão de injeção (dada pelo gráfico 2.2.1) multiplicada pela área projetada do modelo no plano de fechamento do molde. Esta força dividida pela área líquida da base (descontando a área do modelo) fornecerá a pressão que será exercida no metal depositado. Esta pressão deve ser comparada com a máxima pressão admissível do material, obtendo-se as dimensões mínimas da base.

Finalmente deve ser aplicado o desmoldante, podendo ser usados compostos a base de PVA. Estes devem ser aplicados com pistola de pintura ou em spray. A camada deve ser uniforme e fina para reproduzir fielmente os detalhes e ter uma aderência satisfatória.

7.3.2.2- Preparação de postiços

Muitos moldes acabam requerendo postiços metálicos por várias razões:

- Existência de saídas negativas no modelo.
- Dificuldade de confeccionar partes intrincadas do molde (muitos detalhes), sendo melhor executá-los à parte;

- Detalhes de parede muito fina poderão ser inviáveis de se produzir pela aplicação da camada metálica, pois a pressão de injeção poderá destruir estas estruturas.

Os postiços então devem ser feitos de aço ou alumínio e colados no modelo.

Notemos que até agora possuímos somente um lado do modelo preparado. O processo exige que façamos um lado primeiro e em seguida, o outro lado.

7.3.2.3- Aplicação do metal

Após a secagem completa do PVA, podemos iniciar a aplicação do metal. Um aprofundamento maior sobre materiais será dado mais a frente.

As camadas devem ser feitas com um intervalo de tempo suficiente para que o metal depositado esfrie bem. Um sobre-aquecimento, como presenciado em alguns testes, provocará o empenamento e o descolamento da camada depositada , principalmente nas bordas da base.

A aplicação deve ser feita o mais uniformemente possível, pois espessuras diferentes podem alterar o comportamento do molde quanto ao empenamento. O spray de metal tem que atingir o modelo o mais perpendicularmente possível pois uma pequena inclinação faz com que as partículas de metal ricocheteiem e pouco material será efetivamente depositado.

7.3.2.4- Adição do material de enchimento

Após terminada a aplicação, deve-se encaixar o quadro feito de chapas no conjunto modelo-base, vedando os interstícios com silicone no caso de usar metais como material de enchimento. Feito isso, procede-se ao enchimento do quadro, tomado-se o cuidado de não deixar vazios no interior.

Se o molde necessitar de refrigeração (principalmente se utilizada resina epoxi como material de backup) deve-se colocar as serpentinas de refrigeração antes de preencher o quadro.

Uma vez endurecido o material de enchimento, poderá ser removido o modelo, sobrando então o quadro de armação com a meia cavidade metálica formada e rígida.

7.3.2.5- Confecção da outra metade da cavidade

Agora teremos de destacar o modelo da base em que havíamos colado e limpando-o novamente, nós o colamos na cavidade que acabamos de fazer.

Colocando o outro quadro (que deve encaixar no primeiro), devemos executar novamente todas as atividades analogamente à primeira cavidade.

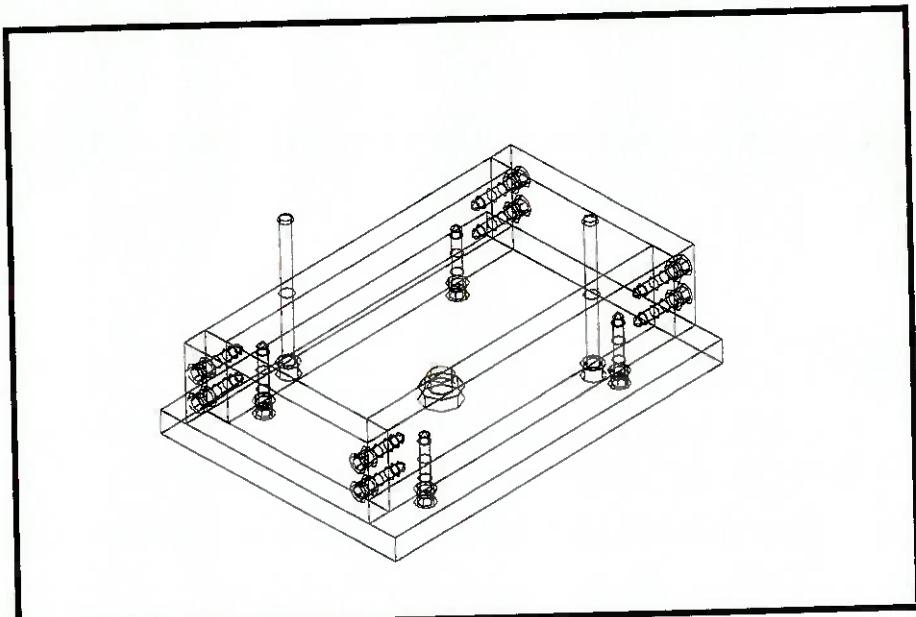


fig. 8- porta matriz com placa de fixação e pinos-guia

7.3.2.6- Usinagem da matriz

Neste processo, devemos usinar o alojamento do bico injetor, dos pinos extratores, dos pinos de retorno da placa extratora, e se for o caso, do pino de retenção do galho de injeção.

7.3.2.7- Acabamento

Depois de usinadas, as matrizes devem ser fixadas no molde (como as matrizes são postiças, várias peças podem ser aproveitadas para futuros moldes : placas de fixação, placas extratoras, placas espaçadoras, anel de centragem, pinos extratores, etc...).

Após isso, o molde só precisa ser polido, estando pronto para sua primeira injeção (try-out).

8- Materiais e equipamentos

8.1 Materiais

Os materiais deste processo são basicamente:

- Material do porta matriz e postiços;
- Material da camada metálica da cavidade
- Material de enchimento da matriz.

8.1.1- Material do porta matriz e postiços

Estas partes podem ser feitas de alumínio ou aço carbono, pois não serão muito solicitadas. Os postiços poderão ser feitos em aços ligados, no caso de serem muito finos e propensos a distorções.

8.1.2 - Material da camada metálica da cavidade

Os materiais a serem depositados devem possuir um baixo ponto de fusão e uma baixa contração no resfriamento. Estes fatores influenciam na capacidade de reproduzir detalhes, na preservação do modelo e no grau de empenamento. Para o sistema adotado (arc thermal spray) existem basicamente os seguintes tipos de materiais (Usaremos a nomenclatura da Hobart Tafa technologies):

- TAFALOY 204M

Material variante do Kirksite com contração de aproximadamente 0,1% e resistência à compressão de aproximadamente 14000 psi. Este tipo é o mais usado por sua fácil aplicação.

- TAFALOY 204ME

Material à base de cobre formando uma pseudo-liga com 204M com contração de aproximadamente 0,5%. Grande parte deste aumento de contração se deve ao seu alto ponto de fusão (1650°F contra 792°F do 204M). Apesar disto, este material tem vantagens sobre o 204M pois é mais duro e mais resistente, podendo ser usado como uma camada de reforço após a aplicação do 204M.

- TAFALOY 205

Material variante do 204M com contração de aproximadamente 0,1% . Este material é usado quando se quer reproduzir detalhes muito precisos. Seu inconveniente é ter uma dureza inferior aos outros materiais, e consequentemente, ter uma menor vida ao desgaste.

8.1.3 - Material de enchimento da matriz

Este material é chamado de material de back-up, e possuímos dois tipos:
Uma liga metálica e um composto de resina epoxi

8.1.3.1 - Material metálico de baixo ponto de fusão

Este material é de contração térmica mínima pois é feito de uma liga de bismuto e estanho (58/42). Esta combinação é chamada de CERROTRU® e proporciona uma contração de apenas 0,06%. Ele deve ser fundido lentamente até 147° C e depois vazado no modelo previamente aquecido.

As grandes vantagens do CERROTRU são:

- Alta condutividade térmica (aprox 0.05 Cal/cm²/cm/°C/s) , isto é aproximadamente 25 vezes mais do que a resina epoxi;
- Pode ser reutilizado indefinidamente.

8.1.3.2- Composto à base de resina epoxi

Este material é altamente recomendado quando o modelo é feito de materiais que não resistem a temperaturas acima de 90° C.

O composto é formado por uma resina epoxi de cura rápida (45 min) e pó de alumínio. O alumínio servirá para aumentar a resistência do material e para aumentar substancialmente a condutividade térmica. A porcentagem de alumínio adicionado pode variar de 60 a 85% em massa.

Este composto consegue ter uma resistência à compressão de 11000 a 17000 psi , uma contração de aproximadamente 0,1% e uma condutividade térmica de 0,8 a 3 BTU/Hr/Ft²/°F, dependendo da concentração de alumínio utilizada.

8.2 - Equipamentos

Os equipamentos necessários para este processo são:

- Aparelho de metalização;
- Cabine com exaustão;
- EPIs (Equipamentos de proteção individual);
- Forno

Como o aparelho de metalização já foi apresentado, nos deteremos nos outros equipamentos.

8.2.1- Cabine de exaustão

A aplicação da camada metálica deve ser feita numa cabine especial que deve possuir uma grande tiragem de ar, pois o processo causa uma dispersão de partículas finas de metal no ar. Esta exaustão deve ser acompanhada de um sistema de filtragem a seco ou úmido.

A cabine também deve ser acusticamente isolada pois o equipamento gera ruidos da ordem de 100 a 150 Db .

8.2.2- EPIs

Como o ambiente dentro da cabine é insalubre, deve-se usar uma roupa de couro para proteção da radiação do arco voltaico, capacete com insuflação de ar e protetores auriculares adequados.

Se for utilizado backup metálico, será necessário usar mangotes, sapatos e roupas de couro para prevenir respingos durante o vazamento do metal fundido.

8.2.3- Forno

Este forno servirá para realizar a cura da resina de back-up ou para fundir a liga de CERROTRU. Neste último caso, o forno deve possuir o controle da velocidade de aquecimento, para evitar que o bismuto superficial evapore, alterando as propriedades da liga.

9- Parâmetros de processo

Através de vários testes com o equipamento, foram detectadas as faixas otimizadas nos parâmetros de utilização dos equipamentos .

9.1- Parâmetros de aplicação da camada

Voltagem - 19 a 20 V

Amperagem do arco - 50 a 75 A

Pressão do Nitrogênio - 70 psi

Destes parâmetros, a relação pressão / amperagem é fundamental para uma boa aplicação. Altas pressões conferem uma dispersão maior das partículas, resultando numa camada mais refinada.

10 - Conclusões

Verificou-se que no caso do CERROTRU, não é eficaz uma simples vazagem do metal fundido no modelo. Por mais rugosa que fosse feita a última camada da aplicação, a aderência mecânica não foi boa. Assim sendo, achamos que é necessário um material que funcione como fluxo de solda para que haja uma aderência metalúrgica. O primeiro fluxo testado (Eutector Flux nº 51 da empresa Euthetic), promoveu uma boa decapagem, possibilitando a ligação metalúrgica, porém, houve um desprendimento de gases que acabou causando a ocorrência de muitos vazios no metal de back-up. Uma nova tentativa poderá ser feita com o fluxo (Superior nº 30 da empresa "Superior Flux Co."), que é menos viscoso e menos reativo.

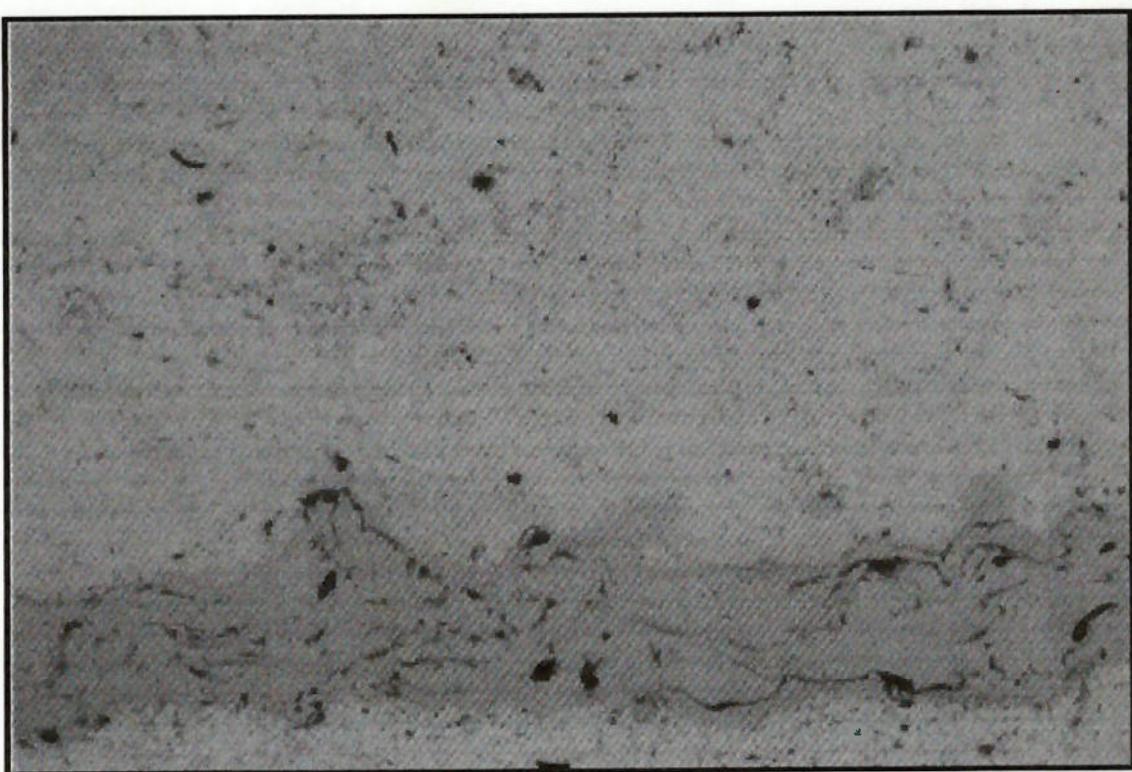


fig. 9- Adesão metalúrgica da camada metálica com o CERROTRU

A resina epoxi no entanto, obteve uma boa aderência em geral.

Para aumentar a aderência do material de backup, foram feitas tentativas de se aplicar a metalização sobre algumas chapas dobradas em L, obtendo-se bons resultados.

A regulagem do equipamento é bastante instável, necessitando-se de experiência para obter-se uma aplicação adequada. A utilização de nitrogênio ao invés do ar comprimido, possibilita uma aplicação mais homogênia e fina.

Como podemos ver, este processo é muito útil para a confecção de moldes para protótipos, onde a rapidez na construção é fundamental.

11- Referências Bibliográficas

Sors, L. ; Bardócz, L. ; Radnóti, I. **Plásticos Moldes & Matrizes.** 1.ed.
São Paulo, Hemus, s.d.

Menezes, J. ; Osório, A. **Prototipagem rápida, tendências actuais e seu impacto na indústria de moldes.** s.l., Iberomoldes, s.d.

Pertersen & CIA. **A injeção em poucas palavras, processos materiais e equipamentos .**
São Paulo, s.d.

Kuae, L. K. N ; Bonésio, M. C. M. ; Villela, M. C. O. **Diretrizes para apresentação de dissertações e teses.** São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1991.

TAFA, Thermal Spray Equipment and Supplies. **Application data book.**
Concord, USA, s.d.

Wohlers, T. **Rapid Guide to rapid prototyping.**
Minneapolis, USA, Wohlers Associates, 1996

USA military standard, **MIL-HDBK-730(MR)** , Item 18- Thermal Spraying.