

A METALIZAÇÃO POR ASPERSÃO TÉRMICA NA CONFECÇÃO DE MOLDES¹

Luiz Cláudio de Oliveira Couto²

Resumo

O presente trabalho demonstra como os processos de metalização por aspersão térmica podem ser utilizados na confecção de moldes (inclusive resfriados) e insertos voltados à fundição de metais, plásticos e compósitos. Os moldes são voltados à prototipagem e produção, desde partes de telefones celulares, até pás de turbinas e peças automotivas. A grande vantagem deste processo, também conhecido como modelagem por aspersão, ferramentaria rápida ou prototipagem rápida, é reproduzir detalhadamente o modelo, reduzindo o seu tempo de fabricação em 40% a 60% e seu custo em 30% a 60% em relação aos processos convencionais. Produzidos de forma manual ou automatizada (utilizando-se robôs industriais), os moldes são executados em torno dos modelos, que podem ser fabricados em resina, madeira, cera, cerâmica ou materiais estereolitográficos. Os processos de metalização por aspersão térmica são utilizados principalmente na fabricação de moldes de baixo volume de injeção, moldes de sopro, de fundição e de estampagem, voltados basicamente para ferramentas com contornos complexos ou de grandes dimensões. A casca gerada pode ser formada por pseudoligas ou através da deposição de metais distintos, com espessuras que variam de 3 mm a 30 mm.

Palavras-chave: Modelagem por aspersão; Ferramentaria rápida; Prototipagem rápida; Metalização por aspersão térmica.

THERMAL SPRAYING IN THE MANUFACTURING OF MOLDS

Abstract

This paper shows how thermal spraying processes may be used in the manufacturing of molds, including the cooled ones, and inserts for the casting of metals, plastic materials and composites. The molds are used in prototyping and production, from cellular telephones to turbine blades and car parts. The greatest advantage of this process, also known as thermal spraying modeling, rapid tooling or rapid prototyping, is to thoroughly reproduce the pattern, reducing its manufacturing time by 40% to 60% and its cost reduced by 30% to 60% in comparison with conventional processes. Manufactured manually or in an automated way, with the use of industrial robots, the molds are made based on the patterns, which may be manufactured with the use of resins, wood, waxes, ceramics or stereolithographic materials. Thermal spraying processes are mainly used in the manufacturing of low volume injection molds, blow moulds, die cast and stamping, basically used by tools with complex edges or with large dimensions. The shell made may be composed of pseudo alloys or by means of deposition of different metals, with thickness that ranges from de 3.0mm to 30.0 mm.

Key words: Modeling by thermal spraying; Rapid tooling; Rapid prototyping; Thermal spraying

¹ *Contribuição técnica ao 11º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 14 e 15 de agosto de 2013, São Paulo, SP.*

² *Engenheiro metalurgista. Consultoria Técnica e Treinamentos em Metalização por Aspersão Térmica. São Paulo, SP, Brasil; metalizacao@metalizacao.eng.br.*

1 INTRODUÇÃO

O sistema a ser discutido neste artigo, trata de uma significativa mudança no modo de produção de moldes quando comparado a sistemas convencionais, onde é de grande importância a difícil e contínua intervenção do programador do CNC e do operador, resultando num processo caro e demorado.⁽¹⁾

A AWS - American Welding Society,⁽²⁾ apresenta a seguinte definição: “Aspersão Térmica é um grupo de processos nos quais se divide finamente materiais metálicos e não-metálicos que são depositados em uma condição fundida ou semi-fundida, sobre um substrato preparado para formar um depósito aspergido”.

Partindo desta definição e adaptando-a a produção de moldes, observamos que os Processos de Metalização por Aspersão Térmica podem ser utilizados na formação de moldes em casca (ou *shell moulding*). Assim, todo o sistema, quando automatizado, torna-se integrado, desde a prototipagem até o acabamento da ferramenta.⁽¹⁾

Devido à característica de reprodutibilidade de superfícies, própria das camadas termicamente aspergidas, modelos confeccionados em resina, madeira, cera, cerâmica ou materiais estereolitográficos podem ser recobertos, transformando-se posteriormente em moldes. Sua utilização, está principalmente direcionada à prototipagem, produção de moldes de baixo volume de injeção, moldes de sopro, de fundição e de estampagem, voltados basicamente para ferramentas com contornos complexos ou de grandes dimensões.⁽³⁾

Este processo de produção rápida de moldes pode contar com um sistema CAD/CAM para produção do modelo, que agiliza a confecção de todo o conjunto, principalmente como apoio ao processo estereolitográfico. A estereolitografia cria modelos, com formas tridimensionais, através da solidificação gerada por um feixe de laser de varredura aplicado sobre polímeros líquidos. O processo estereolitográfico permite ainda, por exemplo, que partes de difícil recobrimento sejam identificadas e modificadas antes de sua fabricação.⁽¹⁾

Segundo Weiss et al.:⁽¹⁾ “O objetivo da integração é reduzir o número de ciclos interativos através de projeto, prototipagem e fabricação”.

Complementando o sistema, o equipamento de metalização por aspersão térmica a arco, pode ser acoplado a um robô, alcançando assim a velocidade e a repetibilidade necessárias a um conjunto de alto desempenho.

As principais características deste conjunto de sistemas proporcionam à confecção de moldes, rapidez e baixo custo, podendo, inclusive ser utilizadas com vantagens, na produção de partes ou peças, que necessitem ser rapidamente lançadas no mercado.

Setores como: automotivo, aeroespacial, transporte de massa, agrícola e construção, são alguns dos segmentos industriais que podem obter grandes vantagens de mercado, devido ao reduzido tempo de fabricação e custos de moldes e matrizes.⁽⁴⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 O Processo de Formação do Molde

O molde, ou casca, é formado a partir da deposição de um determinado metal, liga ou pseudoliga metálica, sobre um modelo que leva em conta todas as alterações dimensionais que serão sofridas pela camada aplicada.

Dois são os processos de Metalização por Aspersão Térmica mais utilizados para a confecção de cascas de moldes, o processo à chama a gás e o processo a arco elétrico.

2.1.1 O processo de metalização/aspersão térmica

Embora conhecido há várias décadas, o processo de formação de moldes por Aspersão Térmica apresentou dificuldades devido à utilização inicialmente do Processo à Chama. O excessivo calor gerado por este processo, causava a deformação do modelo o que levou, anos depois à utilização com sucesso do Processo de Aspersão Térmica a Arco Elétrico. A grande vantagem em relação ao Processo a Chama é sua superior eficiência térmica e reduzida transferência de calor para o substrato, quer seja através de materiais específicos ou até em combinação com sistemas de resfriamento.⁽¹⁾

2.1.1.1 Metalização/aspersão térmica à chama a gás

O processo mais simples dentre os atualmente utilizados, tem como forma de combustão a queima de gases tais como: hidrogênio, propileno, propano ou acetileno, sendo este último o mais utilizado no Brasil, devido ao seu alto poder calorífico e facilidade de fornecimento no país.

O objetivo é obter a fusão com sobreaquecimento da matéria-prima, que pode ser fornecida na forma de pó, barras, cordões ou principalmente arame, quando voltado à produção de moldes (Figura 1).

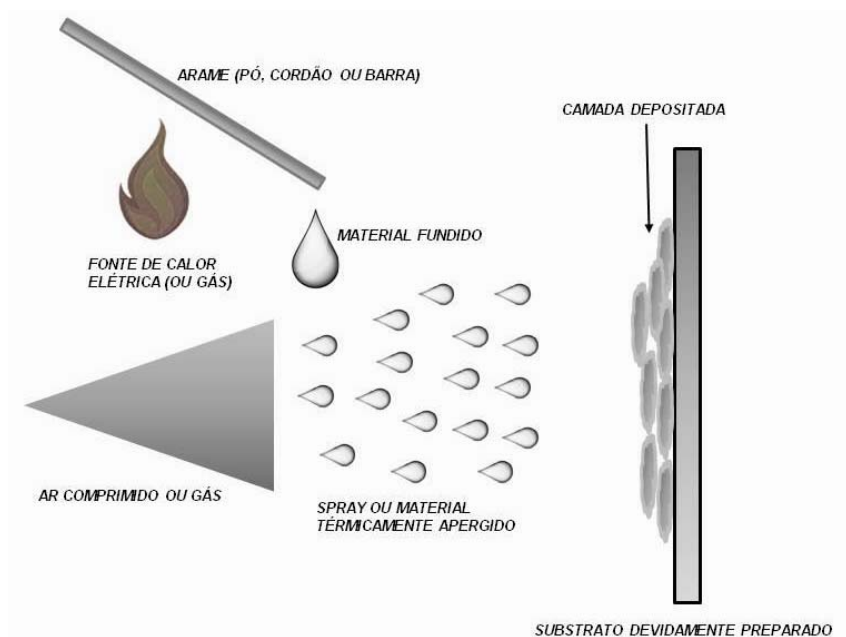


Figura 1. Esquema de deposição por metalização/aspersão térmica.

O processo de Metalização/Aspersão Térmica à Chama à Gás, ocorre, neste caso, com a fusão do arame no interior da pistola à temperaturas de cerca de 2.300°C. A atomização das partículas, após a fusão da matéria-prima, é obtida através da utilização de gases a pressões suficientes para impelir as partículas de encontro ao substrato, neste caso o modelo a ser copiado, em forma de casca. O jato gerado, com temperatura de cerca de 2.500°C e velocidades de até 100m/s, acelera as partículas a velocidades de até 80m/s (Figura 2).

Após diversos passes sobrepostos, a camada formada por partículas que se “achata” contra a superfície do modelo, ganha espessura e forma, aproveitando outra das características do processo voltada à confecção de moldes, ou seja, a reprodutibilidade de superfícies, geometrias e texturas.

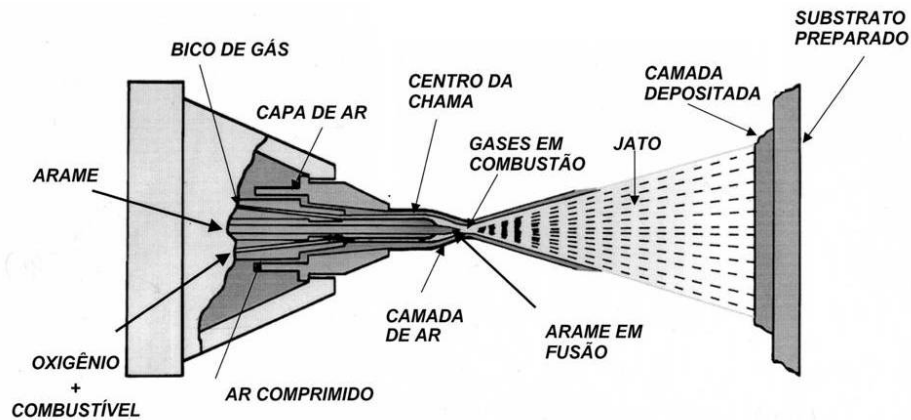


Figura 2. Esquema de funcionamento de equipamento de metalização/aspersão térmica à chama a gás

Os equipamentos de Metalização/Aspersão Térmica à Chama a Gás, possuem como vantagens principais, baixo custo, facilidade de operação e mobilidade. Embora além de manuais, possam ser acoplados a sistemas semi ou totalmente automatizados, como p.ex.: robôs, estes equipamentos são limitados a reduzidos níveis de produtividade, maiores níveis de óxidos e porosidades da camada e maior transferência de calor ao substrato, quando comparados ao sistema de Metalização à Arco Elétrico.

2.1.1.2 Metalização/aspersão térmica à arco elétrico

Devido à melhor qualidade de camada obtida quando levada em conta características como a redução na quantidade de óxidos e de poros, a opção mais utilizada atualmente para a confecção de moldes é a Metalização por Aspersão Térmica a Arco Elétrico.

A fonte de calor gerada pelo arco elétrico formado entre dois arames bons condutores de eletricidade, é utilizada para fundi-los. Posteriormente atomizados e impelidos através de gases, alcançam na forma de gotículas esféricas, a superfície devidamente preparada. Da mesma forma que nos demais processos de Metalização por Aspersão Térmica, as partículas achatam-se contra a superfície resultando na camada aplicada, cuja estrutura apresenta-se lamelar (Figura 3).

Camadas sobrepostas formam a casca ou molde por aspersão sobre um modelo previamente preparado, tomando o seu formato.

Altas temperaturas obtidas no interior do arco elétrico garantem a fusão e a sobretemperatura ao material de deposição. Esta característica, somada às velocidades de jato e partícula, que podem alcançar os 100m/s, resultam na obtenção de uma camada mais densa do que aquela obtida pelo processo à chama. Levando em conta as altas taxas de alimentação obtidas nos equipamentos de Metalização/Aspersão Térmica a Arco Elétrico, entre 150 e 2.000 g/min, esta pode ser também uma solução aplicada quando se deseja altos índices de produtividade.

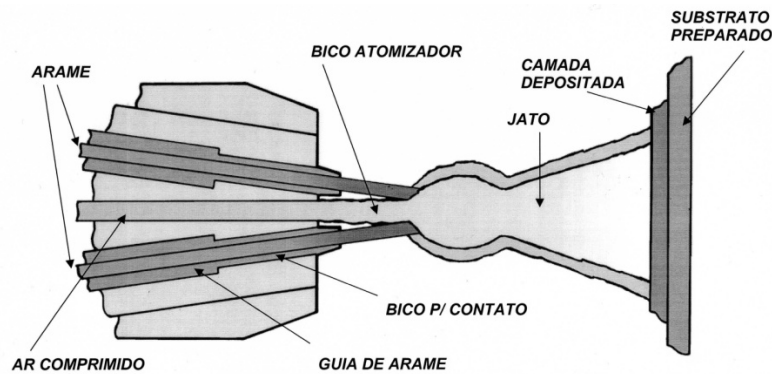


Figura 3. Esquema de funcionamento de equipamento de Metalização/Aspersão Térmica a Arco Elétrico

2.2 Materiais de Aplicação

Os materiais mais comumente utilizados na confecção de moldes através do processo de Metalização por Aspersão Térmica, são zinco e ligas de ferro.

2.2.1 Zinco

Material de baixo módulo de elasticidade e baixo ponto de fusão, o zinco permite a deposição de espessas camadas termo aplicadas. A cada nova aplicação, a camada sofre os efeitos das tensões resultantes, desde a fusão das partículas até o seu resfriamento sobre a superfície do modelo, com suas respectivas contrações.⁽⁵⁾

2.2.2 Ligas de ferro

As ligas de ferro aderem inicialmente, por exemplo, a superfícies de materiais cerâmicos, grafite e metal. Porém, após determinado número de camadas aplicadas, o material pulverizado normalmente sofre descolamento do substrato devido a tensões ocorridas na interface.⁽⁵⁾

Ligas especiais estão sendo desenvolvidas para operar juntamente com as ligas de ferro, com o objetivo de evitar os problemas citados.

A grande quantidade de óxidos presente nas ligas de ferro somadas às características de oxidação, próprias do Processo de Metalização por Aspersão Térmica, levam à utilização de aços como os inoxidáveis, por exemplo, o AISI 420. Os níveis de óxidos presentes nesta liga encontram-se na faixa de 26% a 31%, quando o gás de atomização utilizado é o ar. Ao utilizarmos o nitrogênio como gás de atomização e transporte, estes índices são reduzidos e passam a situar-se entre 10% e 13%, ainda resultando em propriedades mecânicas insuficientes. Porém, tais índices podem ser ainda melhorados, atingindo 3%, ou totalmente eliminados caso a operação seja efetuada em câmara de vácuo.⁽⁵⁾

O passo seguinte, caso necessário, poderá ser a eliminação da porosidade da casca, o que proporcionará ao molde, aumento de sua vida útil. Tal providência deve levar em conta mudanças significativas no processo ou sua complementação através de pós-tratamentos.

2.2.3 Pseudoligas

Formadas pela deposição simultânea de dois arames de materiais diferentes, através do Processo de Metalização por Aspersão Térmica a Arco Elétrico, as pseudoligas unem partículas fundidas de ambos os materiais, sem, contudo, criar

uma liga verdadeira. As suas características finais de desgaste e abrasão, situam-se entre as características de ambos os materiais utilizados em sua composição.

O objetivo é obter, através do material resultante, uma casca com estabilidade dimensional combinada com resistência à deformação e à trincas. A combinação de materiais de alta resistência mecânica, como por exemplo, o aço, e materiais dúcteis, mas de alta capacidade de acompanhar a geometria dos modelos, como por exemplo, o zinco, também é considerada uma das possíveis evoluções do processo.⁽⁴⁾

2.2.4 Materiais autoligantes

Estão sendo desenvolvidas ligas metálicas não ferrosas, não eutéticas e dúcteis, com baixo ponto de fusão, com o objetivo de servir como ligação entre aços e o modelo, confeccionado em materiais não metálicos. Esta interface deverá contar com elasticidade suficiente para facilitar a adesão entre o revestimento e a superfície do modelo, uma vez que ambos os materiais devem ter contrações compatíveis.

Ensaio realizado com aço SAE 1080 depositados sobre tais ligas obtiveram como resultado, cascas com espessura de camada variando entre 1,2 e 6,0 mm,⁽⁵⁾ cujo maior valor agora passa a ser limitado pelo material depositado.

2.3 Automação do Processo

A necessidade de precisão dimensional durante a aplicação com equipamentos de deposição a arco elétrico bem como do reconhecimento do melhor itinerário a ser percorrido pelo conjunto pistola de metalização + robô⁽¹⁾, fazem parte das vantagens a serem oferecidas pela automação do processo.

A automação permite ainda, além da seleção da trajetória, o controle dos parâmetros de aplicação, tais como: tensão do arco elétrico, taxa de alimentação do arame, escolha de seu melhor diâmetro e do melhor bico de aspersão, pressão do gás de atomização etc.⁽¹⁾

Os ajustes destes parâmetros em função dos resultados desejados, quer sejam de forma individual ou em conjunto, visam a obtenção da otimização dos resultados obtidos.⁽¹⁾

2.4 Fases do Processo

A sequência utilizada no processo de confecção em zinco de cascas formadoras de moldes por Metalização por Aspersão Térmica pode ser resumido nas seguintes fases (Figuras 4a a 4c):

- obtenção de um modelo que possua a geometria negativa do molde a ser confeccionado,⁽³⁾ ou seja uma cópia da peça final, levando em conta as diferenças de dimensões resultantes das contrações do material utilizado do molde. O modelo deve ser construído em duas metades, e devido aos curtos períodos de tempo geralmente disponíveis, preferencialmente através de processo estereolitográfico;⁽¹⁾
- aplicação de um desmoldante sobre a superfície do modelo a ser revestida, prevendo facilitar a remoção da casca a ser formada;⁽³⁾
- montagem de um quadro metálico em volta da base do modelo;⁽¹⁾
- deposição sobre o modelo em resina, madeira, cera, cerâmica ou materiais esteliográficos, de uma camada de 6,0 a 10,0 mm de zinco, formada por

aspersão térmica.⁽³⁾ O tipo de equipamento, utilizado na deposição, pode ser à chama a gás ou preferivelmente a arco elétrico;

- instalação de tubos de cobre quando necessário, visando seu aquecimento ou resfriamento, e/ou outros tais como pinos, insertos etc.;⁽¹⁾
- aplicação de material de enchimento no lado posterior do molde.
- separação da primeira metade da casca de seu respectivo modelo, ou parte dele;⁽³⁾
- parte da primeira metade da casca deve ser utilizada na montagem do modelo da segunda metade do molde, prevendo completar posteriormente o conjunto de cascas bipartidas que servirão como futuro molde da peça;
- repetição dos passos de **b.** a **g.** para a segunda metade da casca do molde a ser formado; e
- remoção do modelo e obtenção da respectiva cavidade que servirá como molde do produto a ser confeccionado.

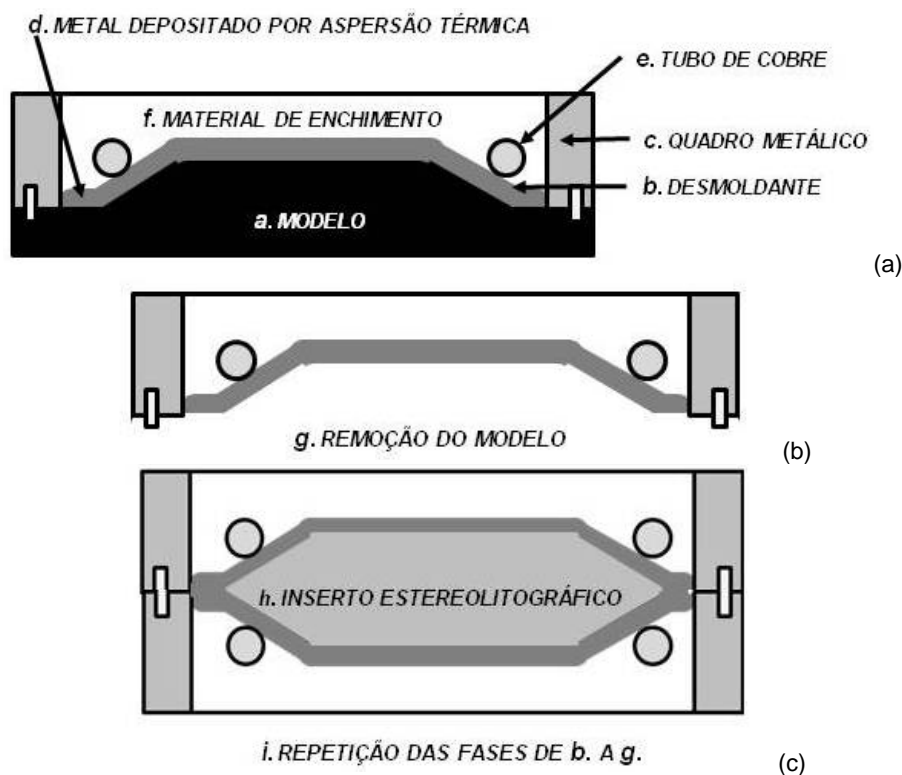


Figura 4. (a) Fases do processo - construção da casca; (b) fases do processo - remoção do modelo; e (c) fases do processo - construção da 2ª casca.

2.5 Vantagens do Processo

Devido a sua grande facilidade de acompanhar superfícies sobre as quais se deposita, o revestimento térmicamente aspergido, reproduz com precisão detalhes de geometria e textura do modelo.

Desta forma o molde pode ser produzido num intervalo de tempo cerca de 40% a 60% menor e 30% a 60% inferior, quando comparado ao processo convencional, que utiliza usinagem a partir de blocos de aço.

Segundo Yang e Hannula:⁽⁶⁾ “Estima-se que a totalidade dos lucros sobre os novos produtos seja muitas vezes reduzida em cerca de 60%, devido à incapacidade da empresa em obter o produto para o mercado rapidamente”.

Uma vez que a pressão de injeção do material pode ser suportada pelo enchimento do molde, mesmo com pequena espessura, o conjunto pode resistir ao esforço necessário.

Sistemas CAD/CAM e de estereolitografia podem ser utilizados para a produção de modelos e os equipamentos (pistolas de metalização/aspersão térmica) responsáveis pela formação da casca podem ser acopladas a robôs devidamente programados para tirar o melhor proveito das vantagens do sistema.

2.6 Limitações do Processo

Embora de rápida confecção, a produção de moldes através dos Processos de Metalização por Aspersão Térmica sofreu ao longo do tempo algumas limitações que aos poucos vão sendo eliminadas.

A confecção do modelo pode ser realizada, utilizando diversos processos, porém a prototipagem rápida ou estereolitografia é o mais indicado. As demais formas de confecção do modelo podem consumir grande parte do tempo total a ser utilizado na produção do molde,⁽³⁾ o que levaria a perda de uma das grandes vantagens estratégicas oferecidas pelo processo.

Outra limitação é a dificuldade do processo em formar estreitas paredes ou camadas em torno de pequenos raios, arestas e no interior de frestas ou furos. Muitas vezes devem ser criados insertos adaptados ao conjunto de forma a servirem de base à aspersão.⁽³⁾

Considerava-se até pouco tempo como limitação também a utilização de ligas de baixo ponto de fusão e dúcteis, o que podia prejudicar a durabilidade dos moldes.⁽³⁾ Materiais como o aço podem, devido à tensões internas que ocorrem durante a deposição de revestimentos pelos Processos de Metalização por Aspersão Térmica, sofrerem trincas e destacamentos nesta fase.

Ligas ou materiais dúcteis podem ser utilizados como base, para a posterior deposição de materiais de maior resistência mecânica em relação ao desgaste a ser sofrido pelo molde durante sua operação. Tais materiais devem apresentar compatibilidade entre si ou geradas situações apropriadas para que a ligação entre ambos ocorra, de forma a facilitar a criação da casca, sem causar prejuízos ao conjunto.

A casca deverá suportar cargas tangenciais, uma vez que resiste bem à compressão distribuída de carga, mas possui pouca resistência à flexão e à tensão.⁽⁵⁾

Durante a formação da casca, a deposição é realizada através de passes sobrepostos do metal, quando então ocorrem a sua solidificação, resfriamento e contração.⁽⁵⁾ Este cenário possibilita a ocorrência de destacamentos com consequentes falhas na produção do molde. Atualmente, graças a equipamentos alimentados através de sistemas automatizados, entre outras vantagens, são controladas as temperaturas envolvidas, o que tende a eliminar tal problema .

A formação de óxidos durante a deposição, característica do processo de aspersão térmica, inicialmente prejudicava as propriedades mecânicas do molde e a maior utilização em sua fabricação.⁽²⁾ Atualmente os processos de deposição podem ser realizados em atmosferas controladas, o que pode resultar inclusive na eliminação de óxidos na camada.

Temperaturas elevadas de trabalho exigem que o material de suporte do molde, possua coeficientes de expansão semelhantes à casca formada.⁽⁵⁾ o que vem sendo obtido através do uso de ligas ou pseudoligas especialmente criadas para este fim..

A precisão alcançada na produção de moldes através do processo de aspersão térmica, avança para atender também aplicações voltadas para fundição a vácuo.

2.7 Desenvolvimentos Recentes

Atualmente alguns dos processos de formação de ferramentas por aspersão utilizam até 4 a 6 pistolas a arco elétrico, acopladas a robôs de 6 eixos, operando em diferentes ângulos em torno do modelo.⁽⁶⁾ Esta mudança na ênfase do processo tem como objetivo a melhoria na qualidade do molde e um desempenho previsível da casca.⁽¹⁾ Desta maneira o processo adapta-se a geometria do substrato de forma a otimizar a trajetória da pistola, minimizando as variações térmicas e as tensões. Utilizando as expansões volumétricas das transformações de fase, o processo compensa as contrações do material durante e após a formação da camada. São obtidas distorções dimensionais desprezíveis e como consequência, a casca pode atingir cerca de 20 mm de espessura.⁽⁶⁾

Quando utilizado na produção de ferramentas de estampagem, o tempo de fabricação das cascas pode ser reduzido de 4 a 8 semanas para 1 a 2 semanas, alcançando tolerâncias de +/- 0,076 mm com redução de custos devido aos prazos, entre 25 e 30%. Neste caso, as camadas apresentam, nas melhores aplicações, cerca de 2 a 5% de porosidade, quantidades consideráveis de óxidos e espessuras de camada variando entre 10 e 30 mm.⁽⁶⁾

O LPPS, uma variação do Processo de Aspersão por Plasma a Vácuo, em estudos, poderá também ser utilizado, na aplicação de compósitos com matriz de alumínio, também conhecidos como MMCs (Metal-Matrix Composites). Contudo o custo, ainda bastante elevado do equipamento, é uma das limitações para a sua utilização.⁽⁷⁾

O Processo de Aspersão Térmica à Alta Velocidade conhecido como HVOF (High Velocity Oxy-Fuel), também em estudos, para a deposição de pseudoligas, ainda é considerado de alto custo para confecção de moldes.

Processos diferenciados como o RSP Tooling™, desenvolvido pela INEEL (Idaho Nacional de Engenharia e Ambiental Laboratory, EUA), parte de um arquivo CAD, cria o modelo em cerâmica e o reproduz através de pulverização de aço. Foi possível com este sistema a produção de moldes de injeção e de fundição com vida útil apreciável, sem, contudo, obter o mesmo resultado em matrizes de forjamento.⁽⁶⁾

Outro processo, o Osprey™, segundo define Gabele Tapphorn:⁽⁷⁾ "...é utilizado para a formação por aspersão de componentes de alumínio, que usa estágios sequenciais de atomização e consolidação das gotículas atomizadas". A conformação precisa por aspersão (PSF Precision Spray Forming) conhecida como VTT, utiliza um equipamento duplo Osprey™ de aspersão modificado para aplicação de aços ferramenta e para trabalho a quente.⁽⁶⁾

Segundo Weiss⁽¹⁾ estes processos também incluem: [...] sinterização seletiva a laser, fabricação de objetos por laminação, metalurgia do pó por projeção, impressão tridimensional...", etc.

3 RESULTADOS

Os moldes formados através do processo de Metalização por Aspersão Térmica têm apresentado expressiva evolução em seu desenvolvimento, conforme demonstrado neste trabalho.

Esta evolução é clara quando verificamos que no início de seu desenvolvimento, a utilização do processo a chama com a formação de cascas de zinco era

praticamente a sua única alternativa. Com o passar do tempo, o processo passou por melhorias importantes, como a utilização de outros materiais como as ligas e pseudoligas metálicas e processos mais avançados como o equipamento a arco elétrico.

Outras melhorias vieram a se somar ao sistema, tais como alternativas de novos processos e materiais de prototipagem com base em CAD/CAM, bem como a automação do processo como um todo, utilizando inclusive robôs de última geração. Desta forma, as desvantagens iniciais do processo foram paulatinamente reduzidas em prol de sua melhoria, sob diversos aspectos, tais como: avanços na produção dos modelos, automação e conseqüente aumento no controle de parâmetros de deposição, materiais diferenciados, deposição sob atmosferas controladas, etc.

4 DISCUSSÃO

Ao compararmos, sob diversos aspectos, os processos convencionais de produção de moldes ao de sua formação através da aspersão térmica, percebemos que a tecnologia atualmente agregada a esta alternativa de processo, evoluiu e tornou ainda mais vantajosa a sua utilização.

Processos de fabricação convencionais de moldes que ao partir de blocos de aço, utilizam entre operações de usinagem e ajustes, cerca de 4 a 18 semanas, podem contar atualmente com alternativa de redução deste prazo para 1 a 2 semanas.⁽⁶⁾

Resultado da forma de obtenção de detalhes na geometria dos moldes, através da facilidade com que são copiadas as formas dos modelos através da termodeposição, a redução no tempo de confecção de moldes permite, atualmente, reverter enormes prejuízos gerados por atrasos em lançamentos de produtos.

Deve-se levar em conta também a interferência no meio-ambiente, com a redução de material necessário à produção de moldes, uma vez que apenas uma casca de metal termicamente aspergida, realiza a mesma operação que um bloco de aço, muitas vezes de grandes dimensões, totalmente usinado.

5 CONCLUSÃO

Independente das diversas razões demonstradas neste trabalho, sejam elas a redução no tempo ou no custo de produção, quer seja na minimização das interferências no meio-ambiente, o processo de formação de moldes por aspersão térmica deve ser olhado como uma alternativa cada dia mais viável e vantajosa na construção de moldes.

Agradecimentos

Agradeço a minha sempre amiga, Débora Correia, que de Dublin, na Irlanda, colaborou com este trabalho, gentilmente fornecendo a versão em inglês do texto referente ao seu resumo (abstract).

REFERÊNCIAS

- 1 WEISS, LEE E.; GURSOZ, E. LEVENT; PRINZ, F. B.; MAHALINGHAM, SWAMI; FUSSELL, PAUL S. Rapid Prototyping of Tools. Carnegie Mellon University. Pittsburgh, Pennsylvania. October 1989.
- 2 ANSI/AWS A3.0, Standard Welding Terms and Definitions. AWS Thermal Spraying: Practice, Theory and Application. AWS - American Welding Society.

- 3 WEISS, L. E.; THUEL, L. SCHLITZ; PRINZ, F. B. Arc-sprayed steel-faced tooling. *Journal of Thermal Spray Technology*, Volume 3, September 1994.
- 4 WICHMANOWSKI, STEVE. Pseudo-alloys for spray metal tooling. *Advanced Materials & Processes*. April 2003 (33-34).
- 5 FUSSELL, P. S.; WEISS, L. E. Steel-based sprayed metal tooling. The Engineering Design Research Center, and The Robotics Institute of Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1990.
- 6 YANG, YUNFENG; HANNULA, SIMO-PEKKA. Development of precision spray forming for rapid tooling. *Materials Science and Engineering A* 477 (2008) 63–68.
- 7 GABEL, HOWARD; TAPPHORN, RALPH. Solid-state spray forming of aluminum near-net shapes. *Innovations in Aluminum, Part II. JOM* - August 1997.