

PLANTA DE CONFORMAÇÃO POR "SPRAY" UMA TECNOLOGIA DISPONÍVEL (1)

Edson Garcia Gomes (2)
Jesualdo Luis Rossi (3)
Francisco Ambrozio Filho (4)

RESUMO

A planta para conformação de metais por "spray", é uma técnica ainda inédita no Brasil. O objetivo primeiro da conformação por "spray" é obter um produto depositado com uma densidade mais próxima possível da teórica, simultaneamente à maximização da taxa de resfriamento. Este equipamento pode permitir a obtenção de ligas rapidamente solidificadas de alto desempenho, ligas altamente ligadas, superligas e outros. Este equipamento também permite a obtenção de materiais compósitos de matriz metálica pela co-deposição do reforço. A técnica de conformação por "spray" será revisada e exemplos de ligas e aplicações serão fornecidos. Dados sobre um material compósito em estudo serão apresentados.

Palavras chaves: conformação por "spray", liga de alumínio, materiais compósitos.

INTRODUÇÃO

A técnica de conformação por "spray" é um moderno processo para a produção de peças e material de estoque na forma quase acabada "near net shape" em diversas geometrias. Por esta técnica, uma vasta gama de materiais incluindo materiais compósitos ou em multi camadas podem ser produzidos. O desenvolvimento do processo até a produção industrial foi conduzido pela Osprey Metal Ltd. - Reino Unido e por suas licenciadas. A deposição por "spray" é caracterizada pela solidificação de pequenas partículas de metal e imediata obtenção de um produto, sem a necessidade da etapa de fundição ou produção de pós.

Atualmente pelo menos três vias de processamento via solidificação rápida possuem a capacidade de oferecer produção em escala suficiente para a produção massiva de componentes para a indústria automobilística. Uma delas é a conformação por "spray" e as outras duas são metalurgia do pó e forjamento de pós [1].

(1)- Contribuição técnica a ser apresentada no 50º Congresso Anual da ABM, São Pedro, SP, 01/08/95 à 04/08/95

(2)- Físico, aluno de Pós-Graduação IPEN-USP

(3)- Membro da ABM, Engenheiro de Materiais, M.Sc., Ph.D., pesquisador IPEN-CNEN/SP.

(4)- Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, Dr. Pesquisador IPEN-CNEN/SP

Os produtos produzidos por conformação por "spray" são caracterizados por suas boas propriedades tecnológicas e alto desempenho a um custo relativamente baixo[2].

Em 1994 foi proposto pelo IPEN e aprovado de acordo com o Processo FINEP ref.: 1154/94 PADCT o Centro de Processamento de Pós Metálicos e Cerâmicos. Este Centro prevê a aquisição de uma planta para a conformação de metais por "spray", técnica inédita no Brasil.

PROCESSOS FUNDAMENTAIS E PRINCÍPIOS METALÚRGICOS

Metalurgicamente, o material como fabricado apresenta uma densidade $> 98\%$ da densidade teórica, que é o objetivo primeiro do processo, isto é, obter um produto depositado com uma densidade mais próxima possível da teórica, simultaneamente a maximização da taxa de resfriamento. Sob estas condições, gotas do metal colidem com a superfície de um substrato antes que as previamente depositadas estejam completamente solidificadas. Dessa forma ocorre uma fusão entre as gotículas projetadas e o preenchimento de irregularidades superficiais, o que propicia a alta densidade do produto. A porosidade residual do depósito pode ser eliminada por uma conformação mecânica subsequente. O material também exibe uma distribuição uniforme de grãos equiaxiais finos, a priori não apresenta efeitos de segregação macroscópica. As propriedades mecânicas são normalmente isotrópicas comparando-se ou excedendo as obtidas em lingotes fundidos. Uma grande atração do processo é a alta taxa de deposição do metal da ordem de 0,2-2,0 Kg/s.

Esta técnica de conformação por "spray" envolve estágios sequenciais de atomização e consolidação das gotículas para a produção dessas peças quase acabadas "near net shape", numa etapa única do processo, vide Fig. 1.

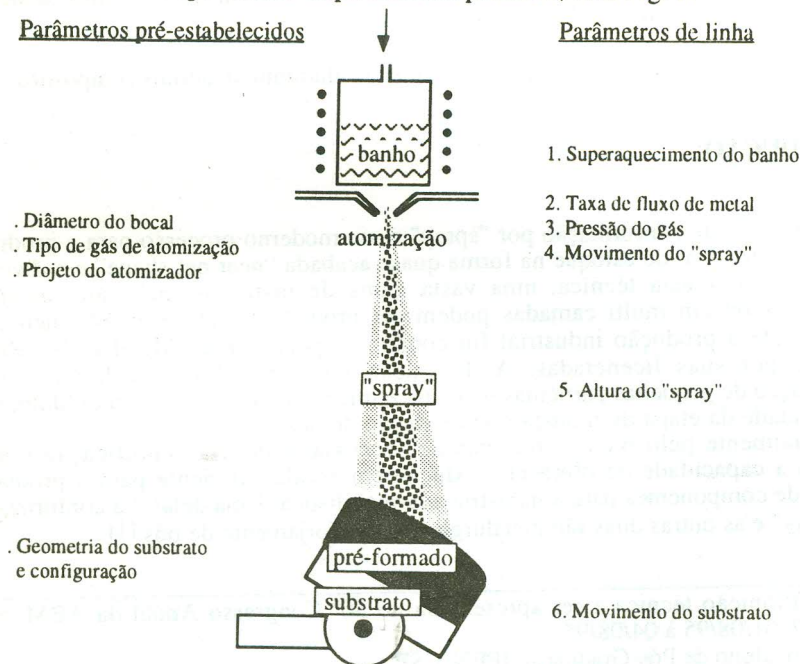


Figura 1. Esquema de uma planta de conformação por "spray"[3].

O sucesso da técnica depende da obtenção de pré-formados onde as tolerâncias dimensionais, microestruturas e rendimento sejam consistentes. É admitido tipicamente para tarugos de 150-200 mm de diâmetro e 400 mm de comprimento, uma variação de 3 a 4 mm no diâmetro em 90% do comprimento. Isto requer um entendimento e o controle de vários parâmetros, a saber^[3]: superaquecimento do banho, razão do fluxo do metal, pressão do gás, movimento do "spray", distância do bocal ao gás ao substrato e movimento do substrato (velocidade do substrato e inclinação angular). Além disso, existem outros parâmetros importantes que podem ser relacionados, antes, mas não durante a operação do processo. Estes incluem o diâmetro do tubo de filete, tipo do gás de atomização (nitrogênio ou argônio), tipo do atomizador; tipo de substrato e razão metal gás.

A consolidação e subsequentemente a microestrutura, são governados primeiramente por:

- i) O estado do "spray" junto a deposição (% líquida do "spray" antes do impacto) e
- ii) O estado da superfície de deposição (% líquida no topo da superfície do depósito)

Os parâmetros do spray que afetam o processo são: distribuição dos tamanhos das gotículas, velocidade das gotículas e a fração do "spray" que é líquida. No depósito os parâmetros críticos são: saltos das gotículas, a espessura da camada mushi e o movimento do substrato.

Para otimizar a conformação por "spray" em termos de microestrutura e propriedades do produto é necessário um modelamento do processo. Isto tem sido feito dentro de seis etapas sequenciais discretas ou sub-modelos^[3]. Estes sub-modelos podem ser matemáticos ou conceituais, a saber: a atomização, o "spray", a consolidação das gotículas, a forma do pré-formado, a solidificação do pré-formado e desenvolvimento da microestrutura.

Aqui é dado um breve resumo dos seis sub-modelos para ilustrar a metodologia.

Atomização

Existe um modelo de atomização usado para prever a distribuição do tamanho das gotículas em função dos parâmetros do processo de conformação.

A princípio os modelos matemáticos são baseados em uma aproximação fundamental que não prevê exatamente a distribuição do tamanho das gotículas para as condições experimentais, portanto, uma simples aproximação é adotada para correlacionar empiricamente a distribuição do tamanho das gotículas com os parâmetros do processo.

O "spray"

O modelo "spray" é um modelo matemático que descreve o "spray" metálico e prevê a condição do "spray" sobre o impacto com o substrato. Pequenas gotículas frescas se solidificam mais rapidamente do que as outras devido a sua larga área superficial. O "spray" compreende uma mistura das gotículas sólidas, mushi e líquidas.

A condição do "spray" é representada em uma escala microscópica pela proporção de gotículas / sólidas / mushi / líquidas no "spray".

Os resultados sugerem que, sob condições normais de operação, aproximadamente 50-70 % do "spray" é solidificado durante o voo na forma de gotículas totalmente solidificadas e parcialmente solidificadas. Este modo de solidificação ocorre em razões altas de resfriamento (~104 °C/s) e resulta em uma microestrutura de pequena escala nas gotículas solidificadas e parcialmente solidificadas que chegam na superfície de deposição.

Consolidação das gotículas

A consolidação das gotículas que é provavelmente o mais crítico e menos entendido estágio na deposição por "spray" ocorre quando uma mistura de gotículas sólidas, mushi e líquidas do "spray" sofrem impacto na superfície. Somente uma porção das gotículas se prendem e contribuem para o aumento do depósito.

O modelo de consolidação das gotículas exhibe a eficiência de agarramento das gotículas como uma função de dois termos: um componente geométrico e um componente térmico. Qualitativamente o coeficiente térmico da eficiência de agarramento é uma função tanto da condição do "spray" no impacto como das condições da superfície do pré-formado

Forma do pré-formado

A forma do pré-formado é controlada pela configuração e movimento do substrato / "spray". Discos cilíndricos ou tarugos acima de 300 mm em diâmetro x 1 m de altura são produzidos por "spray" oscilante conjuntamente a um disco giratório coletor (substrato), que é inclinado para o eixo do "spray". Placas ou tiras de até de 1 m de largura e espessura maior que 5 mm podem ser produzidas em um modo semi contínuo por oscilação do "spray" através da largura de uma correia horizontal. Produtos tubulares são fabricados por deposição na superfície de um mandril rotativo pré-aquecido.

Este modelo prediz dinamicamente a evolução da forma do pré-formado por diferentes combinações de substrato e movimento do "spray".

Solidificação do pré-formado

A solidificação dos depósitos formados por "spray" (a fração do líquido no "spray" que não se solidificaram no vôo) é governada pela magnitude relativa do tempo de solidificação e o intervalo de tempo do impacto das gotículas sucessivas. No estágio inicial de deposição, as gotículas chegam na superfície sólida fria, consequentemente o líquido respingado irá solidificar-se rapidamente antes do impacto da outra gotícula. Portanto o contorno dos respingos são bem definidos e os depósitos são relativamente porosos por causa de interstícios entre respingos.

Com a continuação do depósito, a temperatura e tempo de solidificação para o respingo na superfície do depósito aumenta gradualmente. Quando o tempo de solidificação excede o tempo de chegada entre as gotículas, uma camada mushi se desenvolve na superfície do depósito. A presença de líquido na camada mushi elimina a porosidade.

Microestrutura

A formação da microestrutura durante a deposição por "spray" se inicia durante o vôo das gotículas e se completa após a solidificação completa dessas gotículas na superfície de depósito resultando em uma microestrutura em pequena escala devido as altas razões de resfriamento.

Sob condições ótimas, a microestrutura do material depositado exhibe pouca ou nenhuma evidência de individualidade ou de extratificação das partículas. É usual obter-se uma microestrutura uniforme, com grãos finos e com pouca segregação, contrastando fortemente com a estrutura grosseira, segregada e dentrítica dos materiais fundidos convencionalmente. O trabalho a quente do material bruto de deposição torna a microestrutura ainda mais uniforme minimizando a segregação. Em ligas mais complexas, contendo duas ou mais fases (como por exemplo superligas ou

aços envelhecidos com carbonetos), o efeito da conformação por "spray" é o de produzir uma distribuição uniforme das fases endurecedoras, com ou sem o benefício de tratamentos termodinâmicos pós solidificação.

PRODUTOS OBTIDOS

Uma vasta gama de produtos são obtidos pelo processo de conformação por "spray":

- produtos na forma tubular incluem: tubos cilíndros; formas cilíndricas; anéis de turbina e pistas de rolamentos.
- produtos na forma de tarugo como: material para extrusão e pré-formados monolíticos.
- produtos planos tipo, placas de aço, placas de material não ferrosos, placas de metal duro e tiras.

Os materiais produzidos são: aços de baixa liga; ligas de aço ao silício, aços ferramenta; aços rápidos; aços alta liga, ferro fundido, ligas de Cr, Co e Ni, ligas de cobre, ligas de Al, materiais compósitos de matriz metálica e ligas de magnésio.

Atualmente existem cerca de 19 plantas de conformação por "spray" licenciadas e destas, são produzidos comercialmente:

- tubos de aço inoxidável e ligas de níquel (e.g. 625) pela Sandvik na Suécia;
- cilindros de laminação em aço rápido com alto carbono ou ferro fundido com alto Cr pela Sumitomo no Japão;
- tarugos e anéis de superligas tipo IN 100, IN713, IN 718, Rene 125 e outras pela Howmet nos EUA;
- tarugos de alumínio nas séries 6xxx, 7xxx, 8xxx e ligas modificadas pela Peak na Alemanha.
- ligas de cobre tipo Cu-Fe, Cu-Cr e Cu-Zr pela Olim nos EUA.

O processo de conformação por "spray" é um processo de solidificação rápida que resulta em depósitos que são caracterizados imediatamente após a deposição por tamanhos finos e uniformes de grãos sem macrosegregações, independente da espessura do depósito. É por esse benefício, isto é, a habilidade que permite a composição de novas ligas sem as restrições impostas por segregações e/ou fases primárias grossas em metalurgia do lingote, ou os problemas associados com óxidos, que o processo é viável^[4].

Muitas poucas informações tem sido publicadas sobre ligas de cobre produzidas por conformação por "spray", mas experimentos feitos com chapas de liga de cobre produzidos por este processo, tem demonstrado que propriedades de tração de ligas Cu-Fe, Cu-Cr e Cu-Zr e propriedades de relaxação - tensão de ligas de Cu-Zr, podem ser aumentadas significativamente comparadas as ligas produzidas convencionalmente^[2].

Com respeito a comercialização, os principais avanços tem sido feito com tarugos de extrusão em diversos perfis. Ligas que tem sido produzidas são Cu-Ni-Sn e Cu-Cr-Zr, principalmente para aplicações que exigem alta resistência e / ou alta condutividade elétrica, tais como conectores ou eletrodos de soldagem^[2].

Ligas de alta resistência, tais como Cu-15%Ni-8%Sn em peso, exibem frequentemente segregações durante a solidificação convencional, que limita o desenvolvimento comercial de tais ligas. A metalurgia do pó fornece uma solução para este problema, mas é um processo dispendioso, em parte devido aos muitos processos intermediários envolvidos e dos produtos obtidos com forma simples (tiras e placas). O processo de conformação por "spray" tem sido proposto para a produção dessas ligas^[5].

Ligas de Al podem ser depositados por "spray" sem filmes óxidos e com precipitados finos, e o processo para essa ligas podem ser descritas como uma incorporação de vantagens da metalurgia do pó sem a desvantagem de degasificação e consolidação[2].

PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA (CMM)

A maioria dos compósitos de matriz metálica são produzidos por metalurgia do pó, por colagem de barbotina ou por mistura de partículas de reforço dentro de uma massa fundida ou parcialmente fundida de metal. Estas técnicas são efetivas e amplamente usadas, mas todas elas tem a desvantagem de manter a altas temperaturas as partículas de reforço em contato com a matriz por um período considerável de tempo. A temperatura é usualmente mais baixa nas duas primeiras técnicas, devido a sinterização poder ser efetiva a temperaturas mais baixas em relação ao ponto de fusão da matriz, embora o tempo envolvido possa ser maior. Dependendo da solubilidade intrínseca das partículas de reforço na sinterização ou na temperaturas dos sólidos, difusão ou dissolução irá ocorrer em uma extensão maior ou menor.

Há muitas combinações interessantes que não poderiam ser produzidos pelos três métodos convencionais citados acima, por causa da alta solubilidade intrínseca da fase particular na matriz na temperatura de sinterização. A técnica de co-deposição por "spray" é viável para a produção destas combinações especiais, devido a razão de resfriamento da matriz ao redor do reforço ser alta, fazendo com que matriz e reforço permaneçam em contato a altas temperaturas somente por poucos milissegundos. Este tempo de contato pode ser regulado manipulando-se as variáveis do processo[6].

No processo de produção, a liga da matriz é fundida a uma atmosfera inerte. Durante a atomização, jatos de um gás inerte emergem a altas velocidades de bicos concêntricos de atomização. Simultaneamente, partículas de reforço são injetadas dentro de uma câmara de atomização, a uma razão ajustável do fluido, através de injetores cônicos colocados dentro da câmara. A combinação resultante de partículas metálicas e partículas de reforço injetadas é a acumulação no substrato resfriado, no qual sofrem impacto e formam um depósito sólido. O "spray" contém uma quantidade limitada de fase líquida, no vô e no curso dos processos simultâneos de solidificação e co-deposição, as partículas de reforço podem penetrar (sob condições apropriadas) dentro do líquido da matriz e dispersar-se. O CMM sólido é obtido no substrato[7].

O tamanho das gotículas, o tamanho de grão do material depositado e a fração de volume das partículas de cerâmica incorporada dependem das condições térmicas durante a solidificação. Portanto, isto é de interesse para estimar a influência dos vários parâmetros do processo no modo de solidificação.

Para obter um depósito sólido contínuo (não uma acumulação de pós), as gotículas, com ou sem partículas de reforço, tem que atingir o substrato antes da total solidificação. A razão de resfriamento no substrato é mais baixa que durante o vô. Isto poderá causar uma certo grau de não uniformidade na microestrutura resultante no depósito. Para minimizar este efeito, os parâmetros do processo de atomização e a distância entre o tubo do filete e o substrato são então escolhidos de maneira que uma fração de gotículas líquidas (0,15 - 0,20 em volume) ainda esteja presente durante o tempo de deposição. Esta condição é possível para gotículas com diâmetro de 50, 80 e 120 mm, contendo 10, 25 e 35 % de reforço de cerâmica respectivamente, atomizados a uma pressão de 120 atm e depositados a uma distância de 0,40 m do substrato. Gotículas de 50 mm também preenchem o limite da fração líquida, se atomizados a 25 atm e contendo 20% do volume de partículas de reforço de cerâmica[7].

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O material para este trabalho foi produzido por co-deposição em "spray" de uma liga de alumínio AA 7475 com partículas de carboneto de silício. Esta matriz é uma liga de alumínio de alta resistência Al-Zn-Mg-Cu endurecível por precipitação.

As amostras para metalografia foram preparadas utilizando-se de procedimentos de corte, lixamento e polimento com pasta de diamante de até 1 μm . As amostras sem ataque foram observadas por microscopia óptica, vide Fig. 2.

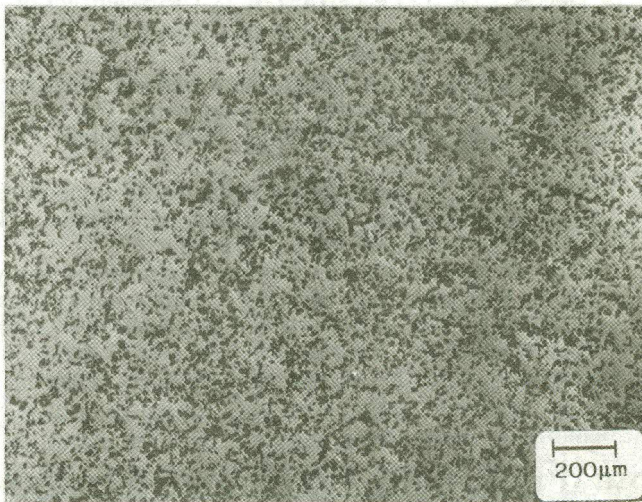


Figura 2. Micrografia de material compósito (Al 7475 / SiC_p) produzido por co-deposição por "spray" mostrando a distribuição do reforço.

CONCLUSÕES

Esta-se adquirindo conhecimento referente aos princípios de operação de uma planta de conformação por "spray", como também desenvolvendo-se metodologia para a caracterização de materiais produzidos por tal processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio em forma de bolsa para E. G. G. e a Peak - Alemanha pelas amostras de material compósito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SARABANDA, J. V. L.; ROSAS, E.; CARVALHO, A. D.; HUMMERT, C. The application of rapidly solidified aluminium alloy to automotive pistons. Powder Metallurgy World Congress. Paris 6-9 July 1994, Peak information leaflet.
- [2] LEATHAM, A. G. & ELIAS, L.. The Osprey process current status and future possibilities. P/M in Aerospace Defense and Demanding Applications- 1993. Metal Powder Industries Federation, Princeton, N. J. p. 165-75.
- [3] LEATHAM, A. G. & LAWLEY, A. The Osprey process: principles and applications. The International Journal of. Powder Metallurgy. American Powder Metallurgy Institute - 1993, Vol. 29, No. 4. p. 321-29.
- [4] ESTRADA, J. L.; DUSZCZYK, J.; LEATHAM, A. G. Characteristics of. Al-20Si-X preform processed by the Osprey route. Powder Metallurgy World Congress. Paris 6-9 July 1994, Vol. III. p. 1945-48.
- [5] HERMANN, P. & MORRIS, D. G. Relationship between microstructure and mechanical properties of. a spinodally - decomposing Cu-15Ni-8Sn alloy prepared by spray deposition. Powder Metallurgy World Congress. Paris 6-9 July 1994. Vol. III. p. 1851-54.
- [6] OZBEK, S. & SINGER, A. R. E. Some special metal matrix composites (MMCs) produced by spray co-deposition. The Institute of. Metals. The Royal Aeronautical Society. 23-24 November 1987. p. 9/1-9/3.
- [7] ERVKNIMOVITCH, V. & BARAM, J. Critical study of the spray and co-deposition process for the production of metal - matrix composites. Powder Metallurgy World Congress- Paris 6-9 July 1994. Vol. III. p. 1889-93.

SPRAY COMPACTION PLANT - AN AVAILABLE TECHNOLOGY

ABSTRACT

The spray compaction plant is an inedited technique in Brazil. The main purpose of the spray compaction process is to obtain preforms at densities close to the theoretical, keeping the cooling rate at minimum. This equipment will allow the obtention of high performance rapidly solidified alloys, high alloyed alloys, superalloys and others. The equipment will also permit the production of metal matrix composites by co-deposition of the reinforcement particles. The spray compaction technique will be discussed and product examples and applications will be mentioned. Some experimental results will be presented.

Key words: spray compaction, aluminium alloy, composite materials.