

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA(1)

Francisco Ambrózio Filho(2)

Hélio Goldenstein(3)

Marcelo Gonçalves(4)

Jesualdo Luiz Rossi(5)

Roberto Martins de Souza(6)

Humberto Naoyuki Yoshimura(7)

RESUMO

Compósitos de matriz metálica (CMMs) vêm atraindo crescentemente a atenção da comunidade de materiais nos últimos anos.

No campus do Butantã, três laboratórios pertencentes a diferentes instituições vêm, em um esforço conjunto, produzindo e caracterizando compósitos de matriz metálica por diferentes rotas de fabricação.

Duas rotas em particular foram mais bem exploradas: fabricação por metalurgia do pó e fabricação por solidificação. Neste artigo descrevem-se alguns dos resultados obtidos neste sentido.

A tecnologia de produção de barras extrudadas de compósitos de matriz de alumínio reforçadas com partículas de SiC por metalurgia do pó, já dominada pelos três laboratórios, é descrita. São apresentados alguns resultados recentes de caracterização de materiais produzidos por esta rota.

Descrevem-se ainda um equipamento de infiltração de pré-formados cerâmicos por metal líquido a médias pressões, bem como alguns resultados de infiltração de pré-formados de SiCp por ligas Zn-Al realizados com este equipamento.

Finalizando, discutem-se as perspectivas futuras para o trabalho em CMMs no Campus da USP-Butantã, incluindo a introdução da tecnologia de conformação por "spray".

Palavras Chave: compósitos de matriz metálica, metalurgia do pó, infiltração por metal líquido.

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

(2) - Dr. Eng., Pesquisador do IPEN-CNEN/SP;

(3) - Dr. Eng., Prof. Dr. da EPUSP

(4) - PhD, Pesquisador do IPT do Estado de São Paulo

(5) - PhD, Pesquisador do IPEN-CNEN/SP

(6) - Eng., Pós-graduando na EPUSP

(7) - M. Eng., Pós-graduando na EPUSP

1 - INTRODUÇÃO

Compósitos de matriz metálica (CMMs)¹ têm atraído a atenção de inúmeros grupos de pesquisa no Brasil. Estes materiais aparecem em todas as listas de "Novos Materiais" e de "Materiais Estratégicos", não só no Brasil. Este interesse tem origem na promessa dos CMMs de permitir o projeto de materiais com novas propriedades, superiores às propriedades dos componentes tomados isoladamente. Em particular os CMMs permitiram a obtenção de propriedades específicas (razão entre o valor absoluto de uma propriedade e a densidade do material) mais altas do que os materiais de engenharia convencionais.

Entendem-se aqui como "Compósitos" os materiais estruturais fabricados artificialmente pela combinação de dois ou mais componentes fisicamente distintos, produzidos de forma a permitir o controle da dispersão de um componente junto ao outro (ou outros).

A idéia básica da tecnologia de materiais compósitos é a de otimizar as propriedades dos materiais pelo processo da combinação. No entanto, a exploração satisfatória do princípio da combinação de materiais depende das propriedades obtidas poderem ser acuradamente medidas, serem reprodutíveis e conseqüentemente previsíveis. Atualmente muitas propriedades importantes em engenharia podem ser previstas com base em modelos matemáticos, mas outras não. O comportamento elástico de compósitos reforçados por fibras é bem conhecido, mas a tenacidade, a resistência à fadiga e os comportamentos dependentes do tempo não o são. Estas incertezas levam a perdas de certas vantagens que possibilitariam o uso econômico de materiais compósitos.

Os primeiros compósitos de matriz metálica produzidos industrialmente foram os "cermets", em particular os "cermets" de metal duro (carboneto de tungstênio) para ferramentas de corte, desenvolvidos inicialmente pela Krupp nos anos 20 e produzidos por metalurgia do pó^[1].

O trabalho experimental com materiais compósitos de matriz metálica desenvolveu-se muito na década de 60; os fundamentos da teoria de compósitos reforçados por fibras originaram-se em trabalhos desta época, como por exemplo o de Kelly e Davies em 1965 [2]. Entretanto, o desenvolvimento de materiais para engenharia nesta época foi muito mais restrito. O entusiasmo pelos compósitos caiu a

¹ Existe ainda uma certa confusão a respeito da melhor terminologia em português. Os autores aceitam o termo "compósito" e não "conjugado" para traduzir o termo em inglês "composite", uma vez que compósito é uma palavra latina usada na França, Espanha e Portugal. No Brasil, "compósito" é usada na engenharia naval desde o século XIX para designar navios com casco de material compósito, ou seja, madeira e metal.

níveis bem baixos nos meados da década de 70, devido a dificuldades em utilizar-se "whiskers" como reforço e também em encontrar-se meios de produção que evitassem reações químicas prejudiciais entre a matriz e o reforço. Por um tempo pareceu que os materiais compósitos metálicos mais promissores seriam os baseados em superligas para uso em altas temperaturas. Mais recentemente o desenvolvimento de fibras contínuas de alta qualidade como a alumina "FP" da Dupont e as fibras de SiC produzidas pela Nippon Carbon, bem como o desenvolvimento de fibras descontinuas de alumina com preços razoáveis, como a fibra "Saffil" da ICI e a "Fiberfrax" da UCAR, resultaram em um renovado alento no desenvolvimento de materiais compósitos^[3], com a perspectiva de aplicação destes materiais em diferentes campos da engenharia. Neste contexto ocorreu ainda um grande desenvolvimento de compósitos com reforços particulados (principalmente Al_2O_3 e SiC) e matrizes de alumínio, tanto produzidos por metalurgia do pó como por solidificação.

No campus da USP-Butantã existe uma tradição de pesquisa na produção de "cermets" remontando ao antigo Departamento de Metalurgia Nuclear do IEA, atual IPEN-CNEN, onde foi desenvolvida a tecnologia de produção de briquetes de alumínio contendo uma dispersão de até 50 % de U_3O_8 por metalurgia do pó. Com este material, já em 1965 foi ali produzido o combustível do reator Argonauta instalado no IEN na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro^[4-6]. A partir de 1990, pesquisadores do IPEN-CNEN, da EPUSP e do IPT, o "Grupo de CMM do campus da USP-Butantã", aproveitando-se da existência de facilidades semi-industriais no campus, em particular uma prensa vertical de extrusão de 1500 ton e uma estação de atomização de pós metálicos no IPT, passaram a desenvolver projetos envolvendo a produção e a caracterização de CMMs com matrizes de ligas de Al, reforçados por partículas de carbetos de silício particulado (SiC_p). Estas atividades devem se intensificar a partir deste ano com a implantação do Centro de Processamento de Pós Metálicos e Cêramicos no IPEN-CNEN e com a operação regular do equipamento de infiltração de pré-formados por metal líquido na EPUSP.

2 - Métodos de Fabricação

De uma forma geral, os processos de fabricação de materiais Compósitos de Matriz Metálica podem ser divididos em duas categorias, processos com fase líquida e processos em estado sólido.

Os principais processos com fase líquida, caracterizando-se pelo fato da matriz metálica ficar parcial ou integralmente líquida em pelo menos uma das etapas, estão esquematizados na figura 1 [7]. A presença de um dos componentes no estado líquido em geral garante um melhor contato interfacial e uma melhor ligação entre a matriz e o reforço mas, por outro lado, se não controlado corretamente, pode levar a reações

químicas que degradam o reforço ou permitem o aparecimento de fase frágeis na interface.

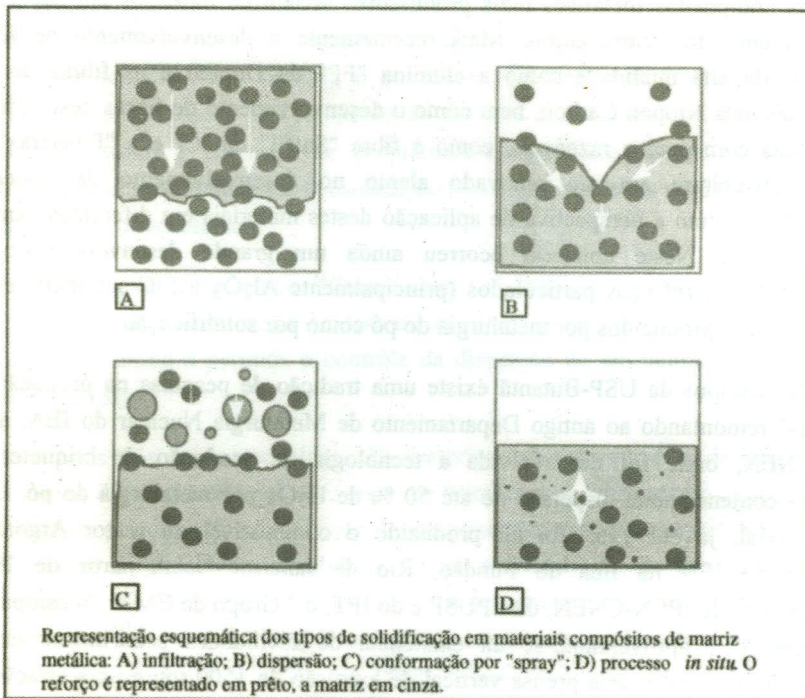


Figura 1: Esquema dos processos de fabricação de Compósitos de Matriz Metálica com fase líquida [7].

Existem vários tipos de processos de infiltração [8], sendo que em todos eles (figura 1A) o metal líquido penetra ou é injetado pelos interstícios de uma estrutura porosa de reforço, a qual recebe o nome de pré-formado. Em sistemas onde o metal líquido "molha" o pré-formado, a infiltração é obtida naturalmente valendo-se apenas das forças de capilaridade. Quando isso não é possível, um diferencial de pressão é criado para forçar a entrada da matriz no pré-formado [8].

A principal vantagem dos processos de infiltração é possibilitar a obtenção de peças com formas próximas à final, o que minimiza as operações secundárias. Além disso, os processos permitem uma grande versatilidade na combinação dos materiais da matriz e do reforço e, principalmente nos casos onde uma pressão alta (cerca de 100 MPa) é aplicada ao metal líquido, garantem boas características microestruturais ao produto final.

Por outro lado, a necessidade do pré-formado ser auto-suportado antes da infiltração praticamente força que os componentes do pré-formado (fibras ou partículas) tenham contato entre si, o que se traduz em uma dificuldade para se obter baixas frações volumétricas de reforço. Paralelamente, nos casos onde se utiliza altas pressões, o investimento em equipamentos e ferramental é elevado e o esforço aplicado por vezes causa a quebra ou compressão do pré-formado, levando a variações de fração volumétrica ao longo da matriz. Nos casos onde se utilizam pressões menores (de 1 a 7 MPa), a solidificação por vezes é lenta e muitas vezes não ocorre nucleação do sólido na interface líquido/ reforço^[9], podendo levar a reações na interface e ao aparecimento de fases frágeis.

Nos processos de deposição por "spray", gotas de metal líquido são projetadas em direção a um substrato, como indicado na figura 1C. Nestes casos, o material compósito é obtido alimentando-se o " spray" com partículas de reforço, que são arrastadas e igualmente passam a incidir sobre o substrato, ou ainda (para o caso de reforços de fibras) fazendo-se com que as fibras venham já incorporadas ao substrato. Em ambos os casos, a incorporação do reforço na matriz é efetivada principalmente pela energia cinética das gotas na movimentação, em um processo onde são possíveis altas velocidades de produção. Como vantagem adicional temos a solidificação rápida da matriz, o que leva a uma microestrutura fina, com baixo teor de óxidos e com pouca ou nenhuma reação na interface. Por outro lado, com a deposição por "spray" dificilmente se obtém peças com formas próximas à final, além de os materiais obtidos apresentarem porosidades e a distribuição de partículas por vezes ser heterogênea. Estas limitações podem no entanto ser minimizadas ou eliminadas através de um processamento secundário.

O processo de dispersão do reforço na matriz metálica (figura 1B), também chamado de "compocasting" ou processo vortex ^[9], constitui-se na mistura de metal líquido com partículas sólidas, seguida da solidificação do conjunto. Durante o processamento, a mistura é agitada continuamente, enquanto as partículas são gradualmente adicionadas. Devido em geral à má molhabilidade do reforço pelo metal líquido, a função da agitação é a de induzir uma molhabilidade forçada entre os dois componentes.

A principal vantagem deste processo é a sua capacidade de produção de grandes quantidades a baixo custo, mas por outro lado apresenta os inconvenientes de freqüentemente causar o aparecimento de heterogeneidades microestruturais, principalmente devido ao arraste das partículas pela frente de solidificação. Além disso, o tempo prolongado de contato entre a matriz e o reforço pode levar ao aparecimento de reações na interface.

Um quarto método de fabricação de compósitos com fase líquida está esquematizado na figura 1D. Estes processos recebem o nome genérico de reativos ou de fabricação "in situ", sendo que o principal é a solidificação direcional de eutéticos [10]. Tomando-se o caso genérico de uma liga binária em cuja composição eutética a solidificação se dá na forma de uma estrutura alinhada de duas fases, se a fração volumétrica de uma das fases for suficientemente baixa (cerca de 5%), a morfologia de solidificação pode se dar na forma de fibras ao invés da clássica forma de lâminas alternadas. Apesar da vantagem de apresentar boa ligação entre a matriz e o reforço, este método apresenta os inconvenientes de necessitar de taxas de crescimento muito baixas para garantir bom controle microestrutural, além de apresentar restrições quanto ao tipo e à fração volumétrica de reforço.

Contrapondo-se às técnicas com fase líquida, nos métodos em estado sólido a matriz metálica não se funde em nenhuma das etapas de processamento. Neste caso, merecem destaque as técnicas de metalurgia do pó e as de ligação por difusão.

A fabricação de compósitos por metalurgia do pó normalmente segue as etapas de mistura das partículas da matriz com o reforço, compactação (uniaxial ou isostática), desgaseificação e por último a consolidação a alta temperatura, que pode ser obtida, por exemplo, por extrusão ou por "Hot Isostatic Pressing" (HIP).

Permitindo o controle da fração volumétrica de reforços em uma faixa relativamente ampla e uma boa homogeneidade de distribuição dos reforços, as técnicas de metalurgia do pó tem no entanto os inconvenientes de ter um maior custo de produção e de necessitar freqüentemente de processamento secundário para obtenção de peças na forma desejada.

Igualmente um método em estado sólido, no processo de ligação por difusão ("Diffusion Bonding") camadas alternadas de fibras contínuas e lâminas metálicas são inicialmente empilhadas de forma a se obter uma estrutura com determinadas orientações e frações volumétricas de fibras. Posteriormente o conjunto é compactado a quente, provocando o "escoamento" da matriz em volta das fibras, levando a um caldeamento de cada lâmina com a lâmina adjacente.

Como vantagens para este processo temos a elevada direcionalidade das propriedades apresentada pelos compósitos assim produzidos. Por outro lado o processo é lento, de alto custo, apresenta problemas para se obter alta fração volumétrica de reforço e pode ser acompanhado do aparecimento de uma significativa camada reagida na interface.

3 - Estágio atual da pesquisa de CMMs pelo grupo do campus do Butantã

Descrevem-se neste ítem os resultados mais recentes obtidos pelo grupo na área de CMM. Grande parte dos desenvolvimentos realizados são relativos aos compósitos com matriz de alumínio reforçados por partículas de SiC, preparados por metalurgia do pó. Inicia-se a descrição por este tipo de CMM, a seguir descrevem-se os desenvolvimentos na infiltração de pré-formas por metal líquido e finalmente apresentam-se alguns dados sobre outros desenvolvimentos na área.

A seqüência de experimentos adotada na preparação de compósitos Al/SiC_p por metalurgia do pó é esquematizada na figura 2.

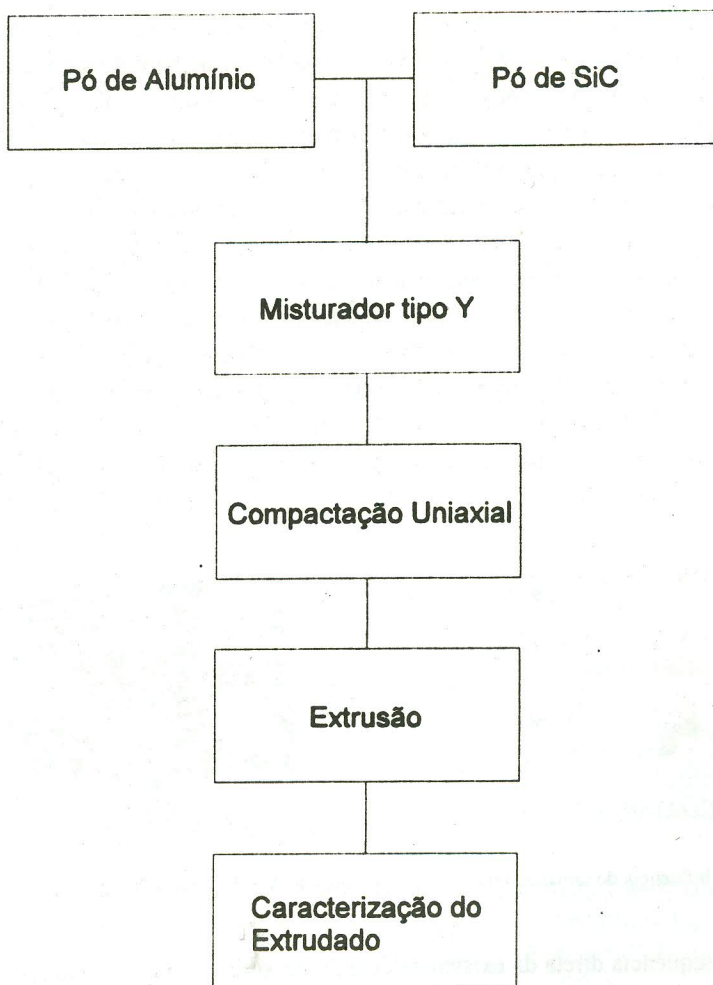


Figura 2. Seqüência de fabricação de CMM por metalurgia do pó utilizada.

Nestes experimentos utilizaram-se as seguintes matérias primas: Al-1100, com granulometria 75% menor do que 44 μm e também com partículas menores do que 180 μm , cujos diâmetros médios (dm) determinados por difração de laser eram de 37 μm e 117 μm , respectivamente, e Al-6063 com partículas menores do que 180 μm , com diâmetro médio de 130 μm ; SiC 320- diâmetro médio de 43 μm , SiC 400-diâmetro médio de 27 μm e SiC 1000-diâmetro médio de 10 μm . Numa série de experiências utilizou-se Al 1100-dm de 37 μm e SiC 1000-dm de 10 μm [11] e noutra série Al 1100-dm de 117 μm , Al6063-dm130m e SiC 320-dm 43m, SiC 400-dm 27 μm e SiC 1000-dm 10 μm [12].

Verificou-se como uma primeira característica importante no processamento por esta técnica, a relação tamanho de pó de alumínio/tamanho de partícula de SiC (RTP Al:SiC). Quanto maior a relação RTP Al:SiC, maior a aglomeração de partículas de SiC e conseqüente heterogeneidade da microestrutura. A figura 3 mostra esquematicamente a influência que teria o uso de partículas de tamanho diferentes para o Al e o SiC. Esta figura apresenta esquema de misturas de Al-dm de 23 μm e SiC-dm de 16 μm e SiC-dm de 5 μm , com relação SiC:Al de aproximadamente 0,7:1 e 0,3:1, respectivamente. A aglomeração de SiC é também dependente de sua fração volumétrica, ou seja, aumenta com o aumento da quantidade de SiC. Preparou-se compósitos com 5%, 10%, 15% e 20% em fração volumétrica de SiC [11,12] sendo que os com menores frações volumétricas de SiC contém menos aglomerados de SiC. A figura 4 apresenta microestruturas de cortes longitudinais de compósito Al/SiC extrudado, com Al 1100-dm de 117 μm e SiC 320-dm de 43 μm , SiC 400-dm de 27 μm e SiC 1000-dm de 10 μm , evidenciando a influência da relação RTP Al:SiC e fração volumétrica do SiC.

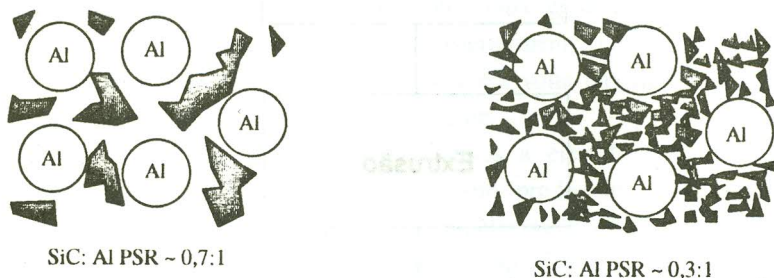
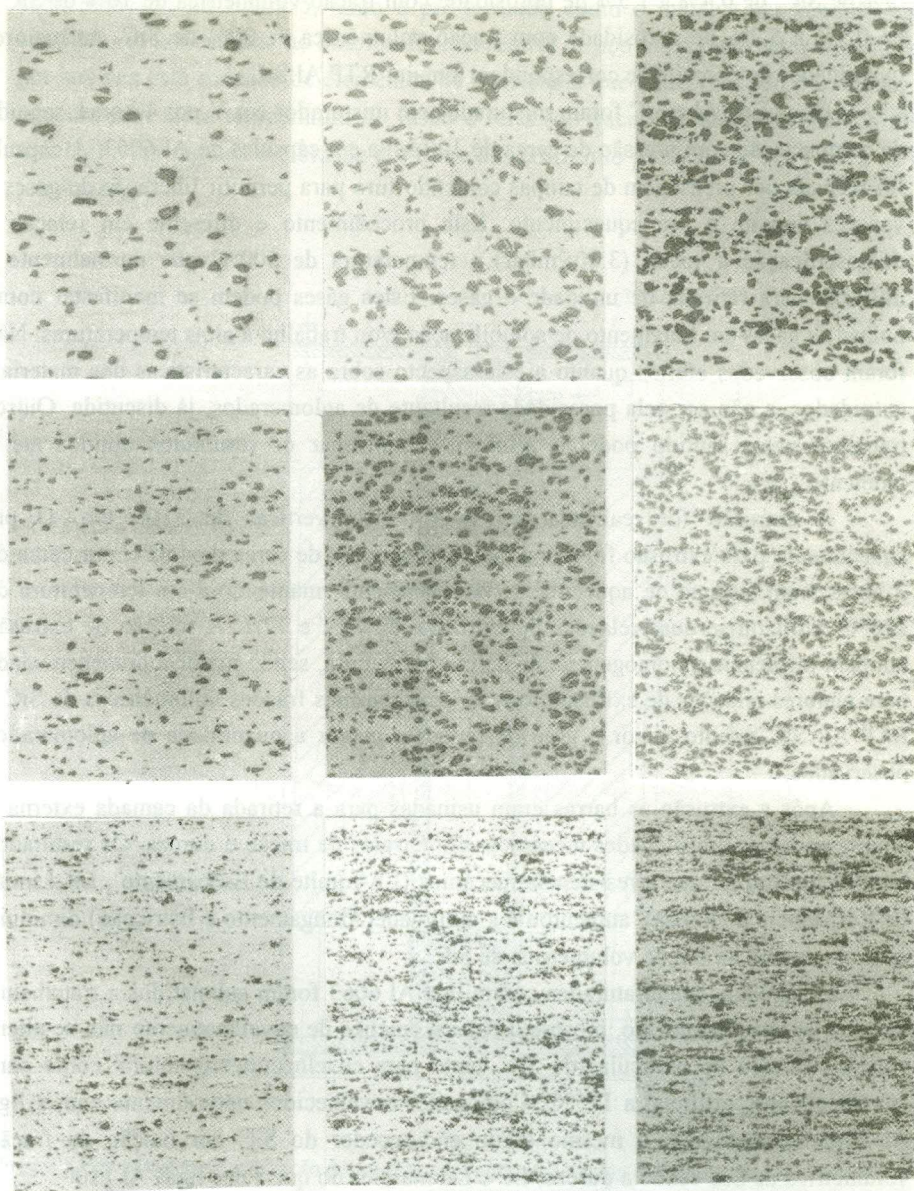


Fig. 3 - Influência do tamanho relativo das partículas de Al e SiC na morfologia.

A consequência direta da existência de aglomerados é o aumento da porosidade do extrudado, verificado sistematicamente com o aumento da fração volumétrica de SiC no compósito, variando de 0,3% a 0, 7% de porosidade com fração volumétrica de



— 200μm

Fig. 4: Micrografias das seções longitudinais dos compostos com matriz 1100.

- a) 5%vSiC-43μm; b) 10%vSiC-43μm; c) 20%vSiC-43μm;
d) 5%vSiC-27μm; e) 10%vSiC-27μm; f) 20%vSiC-27μm;
g) 5%vSiC-10μm; h) 10%vSiC-10μm; i) 20%vSiC-10μm.

5% de SiC, de 0,4% a 1,5% de porosidade com fração volumétrica de 10% de SiC e de 0,9% a 5,2% de porosidade com fração volumétrica de 20% de SiC. As maiores quantidades de porosidade correspondem a maior RTP Al:SiC.

Os pós de Al e SiC foram misturados em misturador em Y por 4 horas, seguido de compactação com pressão de cerca de 100 MPa em cápsulas de Al 6063. A cápsula foi fechada por prensagem de tampas contendo furo para permitir liberação de gases e vapores durante o pré aquecimento. Este procedimento é diferente em relação a desgaseificação a vácuo (3.10^{-5} mbar) a temperatura de 500°C que normalmente é utilizada para retirada de umidade e gases. Estes gases podem se manifestar como bolhas de gases em tratamento de solubilização e/ou trabalho a altas temperaturas. Não foram observados efeitos quanto a este aspecto sobre as características dos materiais extrudados, a não ser pela porosidade resultante de aglomerados, já discutida. Outros trabalhos neste sentido poderão reforçar e confirmar os resultados obtidos até o momento.

A extrusão foi realizada em uma prensa vertical de 1500 ton. O pré aquecimento para extrusão foi realizado a temperatura de cerca de 450°C por cerca de 3 horas, com sistema de aquecimento da ferramenta, mantendo-a em temperatura de 220°C. Utilizou-se duas relações de extrusão, de 48:1 e 17:1. A relação de extrusão também influencia a homogeneidade da microestrutura, sendo maior a homogeneidade para maiores relações de extrusão. Assim, para mesmas frações volumétricas de SiC e RTP Al: SiC quanto maior o grau de redução, menor a quantidade de aglomerados observados.

Após a extrusão as barras eram usinadas para a retirada da camada externa e determinadas as propriedades mecânicas em ensaios de tração e dureza. Os resultados obtidos mostraram que a resistência mecânica (LE-Limite de Escoamento, LR-Limite de Resistência e Dureza), aumentou e a ductilidade (Alongamento e Estricção) diminuiu com o aumento da fração volumétrica de SiC.

Compósitos manufaturados com a liga Al 6063 foram submetidos a tratamento térmico de envelhecimento, mostrando que a cinética de envelhecimento não se altera com a presença de partículas de SiC, tanto para envelhecimento natural como para envelhecimento artificial a 175°C. Compósitos envelhecidos naturalmente com a liga Al 6063 apresentaram o mesmo efeito endurecedor do SiC em função da fração volumétrica de SiC sendo a dureza, LE e LR maiores do que a das ligas Al 1100.

Para a produção de CMMs por infiltração optou-se por utilizar um processo de infiltração a baixas ou médias pressões. Para isto foi construído no Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP um equipamento simplificado, conceitualmente semelhante ao processo PIC [8], onde a infiltração é exercida através de pressão de gás Nitrogênio engarrafado. Neste equipamento,

esquemático na figura 5, tanto o pré-formado como o metal a ser fundido estão contidos em um cadinho no interior de uma retorta de aço inoxidável centrifugado, que por sua vez está rodeada de elementos de resistência que aquecem todo o conjunto. O aquecimento até a temperatura de fusão é feita sob vácuo de bomba mecânica (10^{-1} mm Hg) e em seguida é efetuada a infiltração, utilizando pressões de até 7 MPa de N₂ (ou Argônio).

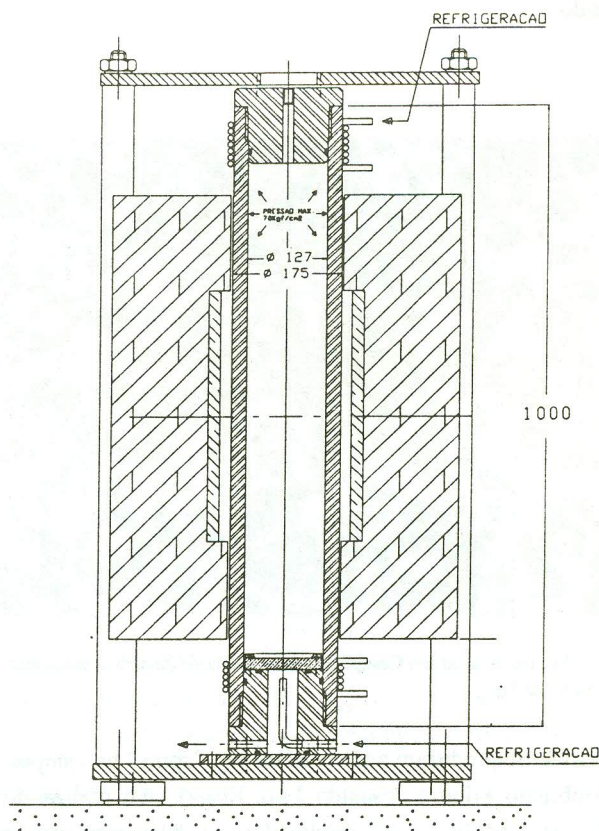


Figura 5 Equipamento de infiltração de pré-formados por metal líquido a médias pressões.

As dimensões das amostras produzidas permitem a usinagem de corpos de prova de tração ASTM E-8. A temperatura alcançada pela retorta permite a fusão de ligas de Zn, Al, Mg e até de alguns latões e bronzes.

Até o momento foram realizados experimentos de infiltração de fibras de sílica aluminosas (fiberfrax) e de partículas de SiC, bem como experimentos com pré-

formados ligados com sílica, de ambos os tipos de reforço. As matrizes estudadas foram ligas Zn-Al (Zamak 5) e Al-Si eutético. Em todos os casos obteve-se um material isento de porosidades, 100% infiltrado.

No caso das partículas de SiC a fração volumétrica de reforço é fixa, dada pelo empacotamento do leito fixo, ao passo que no caso de fibras a fração volumétrica pode variar com o grau de compactação das fibras. A Figura 6 mostra a micrografia de uma amostra de CMM produzida pela infiltração de partículas de SiC 320-dm de 43 μm por Zamak 5 líquido.



Figura 6- Micrografia de um Compósito com matriz de Zamak 5 produzido por infiltração de pré-formado de SiCp.

Embora não se produzam ainda CMMs por "spray" no campus, dois dos autores (Francisco Ambrozio Filho e Jesualdo Luiz Rossi) vêm realizando um trabalho de caracterização de CMMs de Al produzidos na Alemanha por esta técnica [13], preparando-se para a implantação do processo "Osprey" no IPEN-CNEN.

É importante lembrar que além das linhas de pesquisa atuais dos autores, descritas acima, o grupo liderado pelo Dr. L. Ramanathan no IPEN-CNEN tem regularmente realizado experimentos de produção de CMMs utilizando um equipamento do tipo "vortex" ou "compocasting" [14].

4. Perspectivas Futuras

Apresentam-se a seguir as áreas de atuação nas quais este grupo do Campus deverá dedicar esforços para o desenvolvimento de CMMs.

Barras extrudadas

Como resultado das pesquisas realizadas nas três instituições existe atualmente uma tecnologia bem estabelecida de produção de barras de material compósito de ligas leves extrudadas a partir de pré-formados obtidos por metalurgia do pó. Estas barras extrudadas são obtidas em perfis redondos com diâmetros típicos de 15 a 31 mm e comprimentos de até 2 m. Estes materiais podem ter matrizes de Al-1100, 2124 e 6061, e frações volumétricas de SiC de 0 a 20%. Estas barras podem ser usadas como material de partida para a fabricação de peças, podendo hoje ser fornecidas a interessados, para fins de pesquisa e desenvolvimento, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. Paralelamente o Grupo de CMM está continuando a pesquisa visando aperfeiçoamentos do processo. Em particular pretende-se estudar variáveis de mistura dos pós, o efeito de diferentes técnicas de desgaseificação, prensagem isostática a quente, efeito da relação de extrusão, produção de perfis diretamente por extrusão, entre outros temas.

Infiltração de pré-formados por metal líquido

Uma vez terminada a etapa atual de teste e calibração do equipamento de infiltração da EPUSP, pretende-se realizar experimentos de produção de CMM de matriz de ligas de Al bem como ligas de Zn (ZA 12 e ZA24), reforçadas com fibras de carbono, visando aplicações de interesse tribológico (mancais). No momento estão sendo realizadas experiências de produção de fases intermetálicas "in situ" pela infiltração reativa de fibras ou arames de Ni por Al líquido, e experimentos de preparação e caracterização de pré-formados de SiC_p ligados com sílica coloidal.

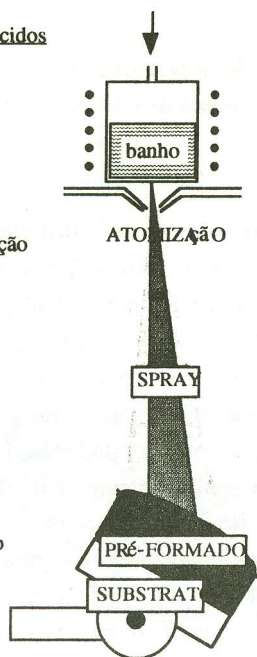
Conformação por "spray"

A técnica de conformação por "spray" constitui um moderno processo para a produção de peças quase acabadas ou material de estoque em diversas geometrias. Por esta técnica, uma vasta gama de materiais incluindo materiais compósitos ou em multicamadas podem ser produzidos. 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, como esquematizado na figura 7.

Parâmetros pré-estabelecidos

- . Diâmetro do bocal
- . Tipo de gás de atomização
- . Projeto do atomizador

- . Geometria do substrato e configuração



Parâmetros de linha

1. Superaquecimento do banho
2. Taxa de fluxo de metal
3. Pressão do gás
4. Movimento do "spray"
5. Altura do "spray"
6. Movimento do substrato

Figura 7 - Esquema do processo Osprey de conformação por "spray"

As propriedades mecânicas dos materiais produzidos por conformação por "spray" são normalmente isotrópicas comparando-se ou excedendo às obtidas em lingotes fundidos. Uma grande atração do processo é a alta taxa de deposição de metal, 0,2-2,0 kg/s.

Em 1994 foi aprovado o Centro de Processamento de Pós Metálicos e Cerâmicos a ser instalado no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN - SP. Este Centro será financiado pelo PADCT e nele está prevista a aquisição de uma planta de conformação por "spray". A aquisição deste equipamento, único no Brasil, permitirá a obtenção de: ligas rapidamente solidificadas de alto desempenho para uso em pistões de motores a explosão; ligas altamente ligadas; aço rápido com alto carbono ou ferro fundido com alto Cr para cilindros de laminadores e outros. Este equipamento também permitirá a obtenção de materiais compósitos de matriz metálica pela co-deposição do reforço.

BIBLIOGRAFIA

- [1] TINKLEPAUGH, J. R. & CRANDALL, W. B. *Cermets*, Reinhold, New York, 1960.
- [2] KELLY, A. & DAVIES, G. J. The principle of the fibre reinforcement of metals. *Metall. Rev.*, 1965, 10: 1-77.
- [3] HARRIS, B. *Engineering Composite Materials*. The Institute of Metals, 1986. p. 15-7.
- [4] BEDWELL, R. M.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T.; SOUZA SANTOS, T. D. Nota preliminar sobre propriedades e estruturas de dispersões de U_3O_8 -Al. *Boletim da ABM* n. 84, set. 1964, 20:567-76.
- [5] SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. Fabricação de elementos combustíveis para o reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear. *Metalurgia ABM*, n. 90, maio 1965, 21:369-76
- [6] ABRAÃO, M. A. S.; AMBROZIO FILHO, F. Análise de variáveis do processo de fabricação de placas com núcleos de dispersões de Al- U_3O_8 . *Metalurgia ABM*, n. 146, jan. 1970, 26:37.
- [7] MORTENSEN, A.; MICHAUD, V. FLEMINGS, M.C. Pressure-infiltration processing of reinforced aluminum. *JOM*, n.45, jan. 1993, 36-43
- [8] MARTINS, R., GOLDENSTEIN, H., Equipamento de laboratório para infiltração de preformados cerâmicos por metais líquidos utilizando-se médias pressões. Trabalho apresentado no Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM), São Paulo, SP, 9 a 14 de Outubro de 1994.
- [9] MORTENSEN, A., JIN, I., Solidification processing of metal matrix composites. *International Materials Reviews*, n. 37, 1985, 85-96.
- [10] McLEAN, M., *Directionally solidified materials for high-temperature service*, The Metals Society - Book 296, London, 1983.
- [11] MOURISCO, A.J., Preparação e caracterização de compósito de matriz de alumínio 1100 com partículas de SiC por metalurgia do pó. Dissertação de Mestrado, IPEN-CNEN/USP, 1995.
- [12] YOSHIMURA, H.N., Produção e caracterização de compósitos de matriz de Al reforçada com partículas de SiC obtidos por extrusão de pós. Dissertação de Mestrado, EPUSP, 1994.

[13] GOMES, E.G., ROSSI, J.L., AMBROZIO FILHO, F., Planta de conformação por "spray" - uma tecnologia disponível. Trabalho a ser apresentado no 50^o Congresso Anual da ABM.

[14] RAMANATHAN, L.U., NUNES, P.C.R., Effect of particle pretreatment and matrix composition on interfacial structure and corrosion behaviour of Al-based MMCs. International Symposium on Control of Interfaces in Metal and Ceramic Composites, TMS Annual Meeting, EUA, 1994.