

CONSOLIDACAO DE POS DE AL / SiC POR EXTRUSAO

A. J. Mourisco, F. Ambrózio Filho, Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Reatores Nucleares de Potência, IPEN- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN-SP.

O objetivo deste trabalho é a caracterização do compósito alumínio reforçado por partículas de carbeto de silício, Al/SiC (mecânica e microestrutural) e do processo de produção do mesmo através de extrusão a quente de misturas de pós. Para isso utilizou-se um pó de alumínio não ligado (AA1100) para se excluir a influência de elementos de liga no presente estudo.

Uma crescente demanda por materiais com maior relação resistência/peso, maior módulo de elasticidade específico (E/ρ), portanto, maior rigidez, levou a estudos que resultaram em *MATERIAIS COMPÓSITOS*, onde se visa combinar materiais com propriedades muitas vezes bem diferentes (metais-cerâmicos, cerâmicos-cerâmicos, metais-metais, metais-polímeros) que quando juntos em dadas proporções, resultam em materiais com a combinação das propriedades dos materiais constituintes [1,2,3]. A filosofia dos materiais compósitos, muitas vezes chamados de *compostos* ou *conjugados*, é de conjugar propriedades de dois ou mais materiais discimilares de forma a se obter propriedades mecânicas intermediárias.

Os principais tipos de reforços nos CMM são nas formas de fios metálicas, de whiskers, fibras e partículas cerâmicas, onde se busca combinar as propriedades dos cerâmicos (ex: SiC, Al_2O_3 , TiO_2 , TiB_2 , B_4C), tais como, elevados módulos de elasticidade, elevadas durezas, com as dos metais (ductilidade, tenacidade, conformabilidade). (1,6)

Devido à esta possibilidade de combinação de características de diferentes materiais, os compósitos têm sido alvo de intensas investigações nos últimos 10 anos, e mais recentemente, os Compósitos de Matriz Metálica (CMM) de Alumínio reforçados com partículas SiC (SiC).

Sem dar atenção ao tipo e forma de reforço, os CMM de alumínio oferecem como vantagens principais: (3,6)

- boa condutividade térmica
- alta resistência ao cisalhamento
- boa resistência à abrasão
- atuação em mais altas temperaturas
- não inflamáveis
- não atacáveis por compostos orgânicos como combustíveis e solventes
- possibilidade de ser conformado e tratado como qualquer outra liga metálica

* -as propriedades acima são em comparação com as respectivas ligas de Al produzidas de maneira convencional.

Os principais processos de obtenção são por Metalurgia do Pó (M/P), Fundição com agitação do banho, Fundição Semi-Sólida (Squeeze-Casting), Infiltração e Deposição por Spray. (4,7,8)

A Metalurgia do Pó (M/P) tem despertado grande interesse na produção destes compósitos devido ao fato de se poder combinar maiores quantidades de elementos de liga na atomização dos pós de

Al, menores efeitos de segregação no material consolidado e a introdução do óxido de alumínio da camada que recobre o pó de Al de uma maneira homogênea resultando num segundo tipo de reforço destes compósitos.(9,16)

As principais aplicações são estruturais nas indústrias aeroespacial, aeronáutica (componentes de precisão para sistemas de guia inerciais), bélica (espelhos para lasers e espelhos rotatórios de alta velocidade, automobilística (bielas e pistões), óptica e esportiva.

No caso dos CMM o critério de seleção para o material cerâmico inclui propriedades como módulo de elasticidade, limite de resistência a tração, densidade, temperatura de fusão, estabilidade térmica, compatibilidade com a matriz, coeficiente de expansão térmica, tamanho e forma, e custos.(9)

O SiC pode ser encontrado na forma de fibras, whiskers e partículas, sendo os dois últimos os mais usados nos CMM's Al/SiC.

As partículas de SiC mais utilizadas têm tamanho médio entre 0.1 e 25 μ m e a diferença de tamanhos entre esta e as do pó de Al leva à formação de uma dispersão de partículas cerâmicas.

As frações volumétricas utilizadas variam entre 5 e 55% nos processos via M/P, no entanto, acima de 25% ocorre uma diminuição acentuada da ductilidade.(3,4)

A faixa granulométrica dos pós de Al utilizados variam bastante, no entanto, conforme o processo de obtenção do pó tem-se usado granulometrias menores do que 74 μ m, mas na maioria dos casos estas partículas são menores do que 44 μ m. As ligas de Al mais utilizadas com reforços são aquelas de maior resistência mecânica como as séries 2XXX, 6XXX, 7XXX, 8XXX. (6,7,9,10,11,16)

O principal problema para a sinterização de pós de Al é a camada de óxido (Al₂O₃) existente na superfície das partículas e que atrapalha os mecanismos de sinterização e não é reduzido por H₂ ou CO nas temperaturas de sinterização (~ 500°C). A concentração de óxido nos contornos das partículas pré-existent causa uma redução na tenacidade do sinterizado (7).

Objetivando romper a camada de óxido que envolve cada partícula do pó de Al e fazer com que ocorra a consolidação do produto é que se tem utilizado a **extrusão a quente** de misturas de pós de Al e suas ligas com o de SiC. (9,10,11,14,15,16)

Um procedimento muito usado no processamento por M/P é o de mistura de pó de Al e SiC, compactação até se atingir 55 a 65% da densidade teórica, seguido de encapsulamento ou não, para posterior desgaseificação (10⁻² mbar). Faz-se então, um aquecimento a 450°C em atmosfera de argônio ou nitrogênio seco e extruda-se para se obter o material consolidado.(10,11,14,15,16)

As temperaturas utilizadas na desgaseificação estão entre 300 a 400°C, variando conforme a presença de elementos facilmente oxidáveis no pó de liga (ex: Zn, Mg); em extrudados onde não se faz desgaseificação pode-se encontrar formação de bolhas após tratamentos térmicos. (15,16)

Uma vantagem adicional do processamento via M/P é o reforço adicional fornecido por partículas de alumina de 20 a 100nm distribuídas uniformemente pela matriz, e que formam um segundo tipo de reforço. (15)

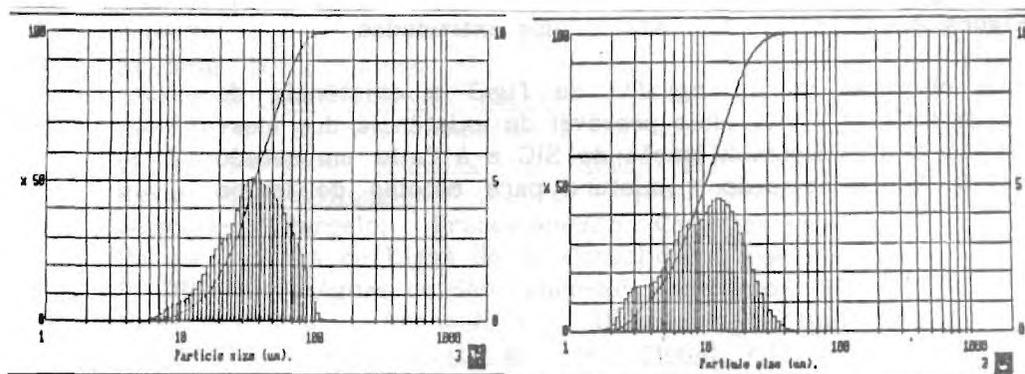
Quando estes compósitos são sujeitos a esforços mecânicos é muito importante que a interface AL/SiC resista aos mesmos e transfira a carga aplicada à matriz para o reforço. O descolamento da interface gera locais favoráveis à propagação de trincas.

Tem havido algumas controvérsias sobre o tipo de interface

existente entre SiC e Al. Estudos da interface Al/SiC feitos por Porte (12) revelaram penetração de Al no SiC e formação de carbeto de alumínio tipo Al_4C_3 na superfície para temperaturas na faixa de 600 a 800°C. Arsenault (13) concluiu que o Al tinha difundido para dentro do SiC dando origem a uma aderência mecânica entre o Al e o SiC, *sem formação de um composto na interface.*

Após o processo de fabricação por extrusão destes compostos seguem-se alguns outros processos de conformação mecânica como laminação e forjamento, bem como tratamentos térmicos de solubilização e envelhecimento. Desta forma, faz-se necessário compreender o processo de deformação destes materiais, assim como sua recuperação e recristalização.(5,15)

No procedimento experimental utilizou-se pó de alumínio comercial puro (AA1100) produzido por atomização a gás inerte pela ALCOA (MG) e pó de carbeto de silício (SiC) produzido pela EMAS/CARBORUNDUM. A distribuição granulométrica dos pós w mostrada na figura 1.



(a)

(b)

Figura 1.-Distribuição granulométrica dos pós: (a)-Al, (b)-SiC

O procedimento adotado para mistura e compactação dos pós constou de homogeneização em misturador tipo "V" girando a 2173 rph's por 4 horas seguido de compactação/encapsulamento em caneca de Al 6063. Em seguida a caneca era fechada por interferência com um tampa na mesma liga de Al da caneca.

Cada carga homogeneizada e encapsulada pesava 2.5 Kg.

Fez-se uma extrusão utilizando-se somente pó de Al homogeneizado e de misturas contendo 5, 10 e 15% em volume de SiC.

As extrusões foram feitas utilizando-se uma prensa vertical de 1500 ton. pertencente ao Laboratório de Transformação Mecânica do IPT.

Os encapsulados foram aquecidos em mufla por 5 horas a temperatura de 450°C. A prensa utilizada tem sistema de aquecimento da ferramenta (aço SAE H12) por resistências elétricas e era mantida a 220°C para a extrusão. A relação de redução utilizada foi de 17:1.

Utilizando-se o método de densidade hidrostática para medida da densidade de cada extrudado obteve-se a curva da fig.2. As diferenças da densidade medida para a calculada se deve à existência de vazios no interior de aglomerados de SiC devido à não penetração do fluxo de alumínio por entre estas partículas.

DENSIDADE HIDROSTATICA

Grão 800

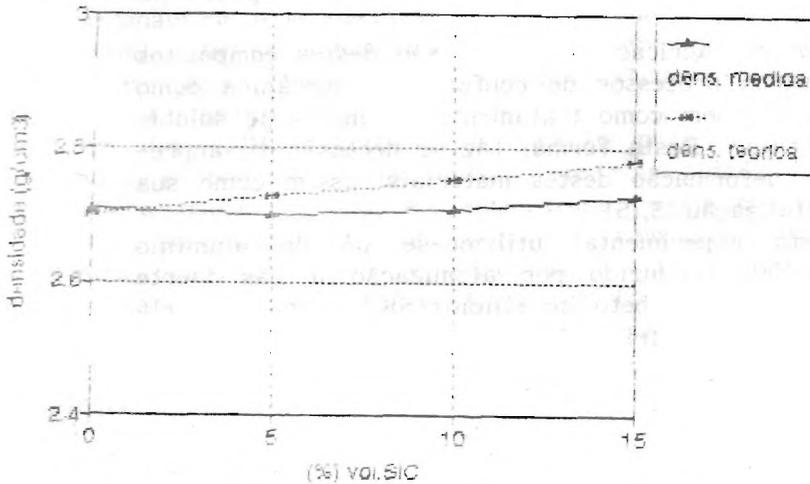


Figura 2.- Densidade hidrostática dos extrudados.

Podemos observar na micrografia da fig.3 a existência de aglomerados de SiC. A causa mais provável da existência dos mesmos é atribuída à não desumidificação do SiC e à falta um estudo do processo de homogeneização e mistura para escolha do tempo ótimo.

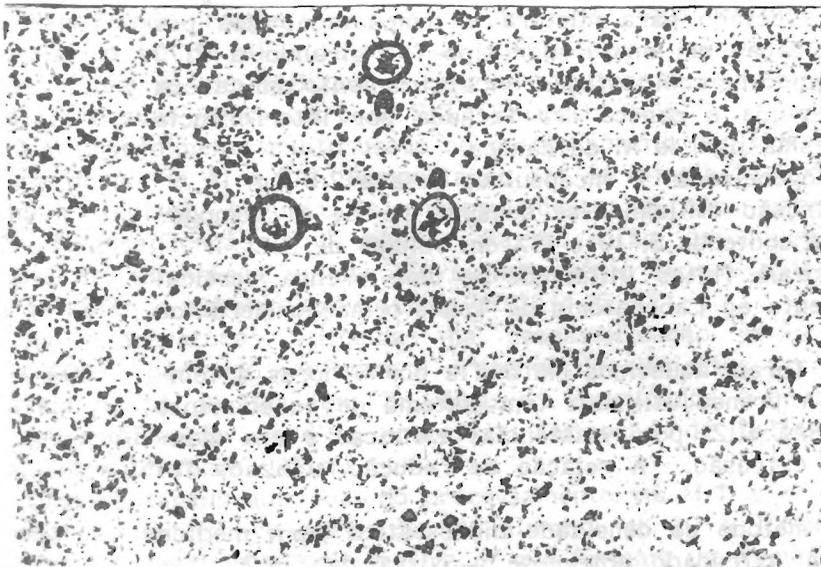


Figura 3.- Microestrutura de um extrudado contendo 10% Vol.SiC (A) evidenciando clusters (100X).

- [1].- Rack, H.J.; "Fabrication of High Performance Powder-Metallurgy Aluminium Matrix Composites"; Advances in Material Technology: Monitor, Compilado por UNIDO, v.17, p.80-91, (1990).
- [2].- Bacon, M. "Metal Matrix Composites - Engineering Materials Solutions", Materials Edge, July/August (1989) p.33 - 41.
- [3].- Hunt Jr., Warren H., "A Perspective on the Development of Metal Matrix Composites", Meeting of the Detroit Section of The Metallurgical Society, 07/03/1988
- [4].- Flemings, M.C.; Mortensen, A.; Cornie, J.A.; Solidification Processing of Metal-Matrix Composites; Journal of Metals, Feb. (1988), p.12-19.
- [5].- Hunt Jr., W.H.; Osman, T.M.; Lewandowski, J.J. Microstructure-Property Relationships for an Al/SiC Composites With Different Deformation Histories", Fabrication of Particulates Reinforced Metal Composites, ASM International Conference, Proceedings... Montreal, september (1990).
- [6].- Yoshimura, H.N., Goldenstein, H., Gonçalves, M. "Produção e Características de Materiais Compósitos de Matriz Metálica Al/SiC Obtidos Por Extrusão de Pós", 46º Congresso Anual da ABM, setembro-1991.
- [7].- Neubing, H.C.; Jangg, G.; Sintering of Aluminium Parts: The State of-the-Art; Metal Powder Report; maio-1987.
- [8].- Dermakar, S.; Les composite à matrice aluminium: développements et perspectives; Mémoire et Études Scientifiques de la Revue de Métallurgie, v. ,n. , p. , août, 1990.
- [9].- Gonçalves, Marcelo; Processamento, Caracterização e Propriedades Básicas de Pós de Ligas de Al Consolidados por Extrusão; 9º CBECIMAT; Águas de São Pedro-SP; dezembro-1990.
- [10].- Baumgarten, J.; Arnhold, V.; Dispersion Strengthened Aluminium Extrusions; Powder Metallurgy International; v.17, n 4, 1985.
- [11].- Jokinen, A. "Extrusion of High-Strength Aluminium P/M Alloys and Composites", Modern Developments in Powder Metallurgy, v.19, p.547-563.
- [12].- Porte, L.; Photoemission spectroscopy study of the Al/SiC interface; Journal of Applied Physics; 60, (1986), 635-638.
- [13].- Arsenault, R.J. "Interfaces in Metal Matrix Composites", Scripta Metallurgica, v.18, p.1131-1134, (1984).
- [14].- Fujiwara, C. Processing, Microstructure and Mechanical Properties of Silicon Carbide Particulate Reinforced Aluminium Alloys, Dissertação de Mestrado apresentada no Massachusetts Institute of Technology (USA), (1986).
- [15].- Humphreys, F.J., Miller, W.S., Djazeb, M.R., "Microstructural Development During Thermomechanical Processing of Particulate Metal Matrix Composites", Materials Science and Technology, v.6, (1990) p.
- [16].- Morgan, T.J. et al Consolidation of Metalworking Preforms of X7091 (CT-91) Aluminum Powders, in: High-Strength Powder Metallurgy Aluminum Alloys, The Metallurgical Society of AIME, (1982), p.193-206.