

MICROESTRUTURA DE COMPÓSITOS ALUMÍNIO CARBETO DE SILÍCIO OBTIDOS POR MOAGEM DE ALTA ENERGIA

Barbosa, L. P.⁽¹⁾, Mourisco, A. J.⁽¹⁾ Ambrozio Filho, F.⁽¹⁾
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – CNEN/SP
Cidade Universitária – USP
Travessa R 400 05508-900

RESUMO

A obtenção de compósitos de matriz metálica com bom desempenho do produto final depende, em parte, da escolha do reforço utilizado e da forma como o mesmo é incorporado à matriz metálica.

Os métodos mais utilizados para a fabricação de compósitos contendo partículas dispersas são: dispersão do reforço no metal líquido, seguido da solidificação da matriz, e via metalurgia do pó, onde o pó do metal a ser utilizado e o reforço são misturados, seguidos de compactação, desgaseificação e consolidação a quente do material, normalmente, por extrusão a quente.

Dentre as alternativas de mistura dos componentes, podem ser utilizadas duas maneiras, mistura simples dos pós em misturadores convencionais ou através de moagem de alta energia. Neste caso, optou-se pela moagem de alta energia. Os materiais utilizados foram pó de alumínio (AA 1100) e pó de carbeto de silício (SiC) como reforço, na proporção de 20% em volume.

O objetivo deste estudo foi observar a distribuição das partículas de carbeto de silício no pó de alumínio obtida após a moagem de alta energia e sua distribuição no produto final. Os resultados mostraram que os compósitos obtidos apresentaram uma distribuição bastante uniforme das partículas de carbeto de silício (SiC) na matriz, com poucos aglomerados de carbeto de silício.

Palavras chaves:- compósitos, metalurgia do pó, alumínio, SiC, moagem

ABSTRACT

The production of composites with metallic matrix with high performance of the final product depends, partially, on the choice of the reinforcement used and the manner how it is incorporated to the metallic matrix.

The most used methods for the fabrication of composites containing dispersed particles are dispersion of reinforcement in liquid metal followed by matrix solidification and by powder metallurgy, where the metal powder to be used and the reinforcement are mixed, followed by compaction, degassing and hot consolidation, usually by hot extrusion.

Among the alternatives for components mixings, simple mixing of the powders in conventional mixers or high energy milling can be used. In this case, high-energy milling was chosen. The materials used were aluminum powder (AA 1100) and silicon carbide powder (SiC) as reinforcement (20 vol %).

This study aimed to observe the silicon carbide particle distribution in the aluminum powder obtained after high-energy milling and in the final product. The results showed that the composites produced have a homogeneous distribution of silicon carbide particles (SiC) in the matrix, with few silicon carbide agglomerates.

Keywords:- composite, powder metallurgy, aluminum, SiC, milling

INTRODUÇÃO

As características dos compósitos de matriz metálica (MMC) estão relacionadas com as rotas de processamento e características dos materiais, como a matriz do compósito, a forma e o tipo de reforço e a interface entre a matriz e o reforço^(1,2).

Mechanical Alloying (MA) é um processo de moagem de alta energia no qual as partículas do pó são forte e repetidamente deformadas, resultando em um contato íntimo entre as partículas.

Esta técnica foi originalmente desenvolvida em meados da década de 60 por Benjamin et al.⁽³⁾ para produzir super ligas a base de níquel, combinando dispersão de óxido e compostos intermetálicos para endurecimento.

Compósitos de matriz metálica tem aplicações consideráveis na indústria aeroespacial, como parte estrutural em aviões e espaçonaves, e, mais recentemente, está encontrando aplicação na indústria automotiva e eletrônica. Um interesse considerável tem sido observado

no desenvolvimento de ligas de alumínio e seus compósitos, principalmente devido a suas propriedades mecânicas⁽⁴⁾.

A moagem de alta energia tem se mostrado uma excelente técnica na produção de compósitos de pós metálicos com microestrutura fina. Este processo tem sido utilizado também para a obtenção de ligas com solubilidade estendida, materiais amorfos, estruturas nanocristalinas e na síntese de compostos orgânicos⁽⁵⁾.

A obtenção de compósitos de matriz metálica com bom desempenho do produto final depende, em parte, da escolha do reforço utilizado, tamanho da partícula de reforço em relação a matriz e da forma como o mesmo é incorporado à matriz metálica.

Os métodos mais utilizados para a fabricação de compósitos são: dispersão do reforço no metal líquido e a solidificação da matriz, ou via metalurgia do pó, onde o pó metálico a ser utilizado e o reforço são misturados, como mistura simples ou através de moagem de alta energia, seguido de compactação, desgaseificação e consolidação a quente do material, normalmente por extrusão.

O carbeto de silício é uma alternativa interessante em relação a outras cerâmicas comuns, semelhante ao carbeto de tungstênio, por ser mais duro, por ser encontrado em diversas granulometrias e ter um custo relativamente baixo⁽⁶⁾.

Neste estudo utilizou-se moagem de alta energia e observou-se o efeito desta técnica sobre a distribuição das partículas de carbeto de silício no pó de alumínio e também no produto final.

MATERIAIS E MÉTODOS

Como materiais de partida utilizou-se pós de alumínio AA 1100 e de carbeto de silício (SiC). A composição química desses pós foi fornecida pelos fabricantes e as suas distribuições granulométricas foram determinadas através de analisador Malver.

A mistura simples foi realizada em misturador em Y, tendo sido utilizado o tempo de 1 hora. Para a moagem empregou-se um moinho de bancada, Neztch PE075 Attritor, com capacidade de 1,5 litros. A carga para moagem foi preparada utilizando-se 20 % em volume de carboneto de silício e cada carga foi preparada com 77 g de alumínio e 23 g de carbeto de silício. A moagem foi feita com esferas de aço ao cromo SAE 52100, com diâmetro de 7 mm. A relação esferas/pó foi de 9:1 e a velocidade de rotação 1400 rpm por um tempo de 2 horas. Foram feitas 21 corridas para a obtenção de massa suficiente para extrusão. A massa total obtida passou por uma etapa de homogeneização em misturador tipo Y por 2 horas.

O pó foi compactado uniaxialmente com pressão de 100 MPa. Após a compactação a caneca foi selada e aquecida por 3 horas à temperatura de 415 °C.

A extrusão foi feita em prensa vertical de 15 MN. A relação de extrusão foi de 48:1. As barras obtidas tiveram seu diâmetro reduzido de 18 mm para 15 mm com a retirada do material utilizado na compactação.

A análise microestrutural foi realizada através de microscopias ótica e eletrônica de varredura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os pós de partida foram caracterizados, quanto a morfologia, através de microscopia de varredura, e são apresentados na figura 1. A figura 2 mostra os resultados de suas análises granulométricas, com um tamanho médio de 414 μm para o alumínio e 9,5 μm para o carbeto de silício. As tabelas I e II mostram a composição química dos pós de partida.

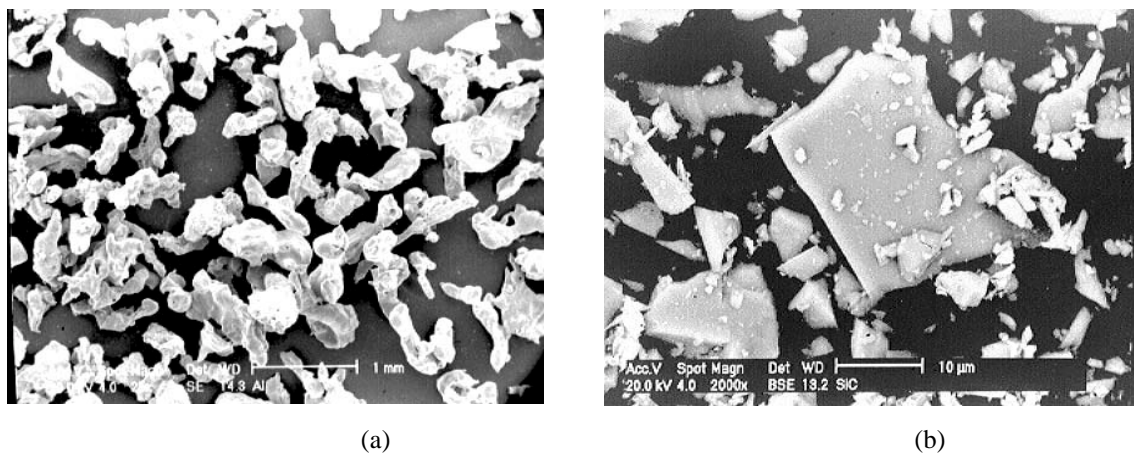


Figura 1. Pós utilizados como material de partida (a) pó de alumínio (b) carbeto de silício.

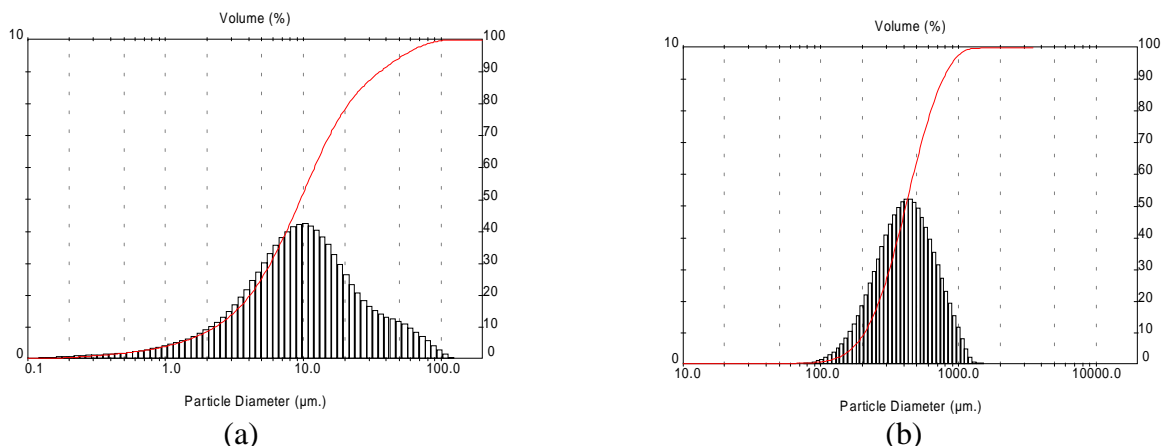


Figura 2. Resultado da análise granulométrica do material de partida: (a) carbeto de silício e (b) alumínio 1100.

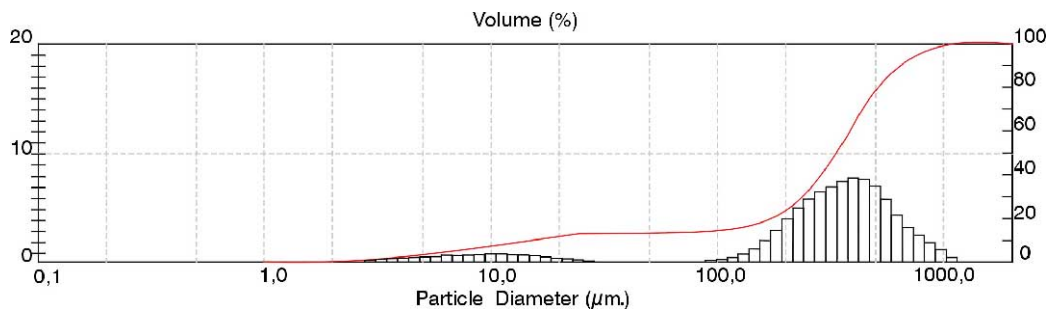
Tabela I – Composição química do pó de carboneto de silício (SiC).

Elemento	SiC	SiC – SiO ₂	C _{livre}	Fe	Al
% em peso	98,87	0,60	0,20	0,18	0,15

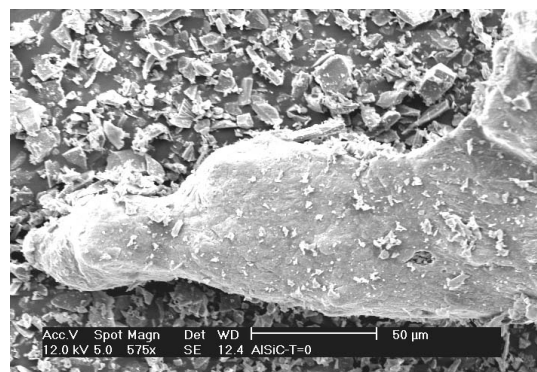
Tabela II – Composição química do pó de alumínio 1100.

Elemento	Al	SiC	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn
% em peso	bal.	0,26	0,52	0,07	0,02	0,02	0,04

Uma avaliação através de análise granulométrica e microscopia eletrônica de varredura foi feita com amostra retirada do misturador Y. A figura 3 mostra os resultados obtidos. Como pode ser visto na figura 3(a), temos uma distribuição bimodal bem definida das partículas, onde nota-se claramente a distribuição dos dois componentes da mistura. A figura 3(b) mostra que o carbeto de silício não está incorporado às partículas de alumínio.



(a)



(b)

Figura 3. Resultados obtidos das análises granulométrica e microscopia eletrônica de varredura.

A dispersão de partículas cerâmicas em um pó metálico tem como principal parâmetro de controle o tempo de processamento sob uma dada condição de moagem. Quando o material é processado por pouco tempo, a incrustação das partículas cerâmicas no pó metálico não

acontecerá. A incorporação das partículas duras no pó metálico é de fundamental importância no processo, pois sem este contato entre as partículas pode ocorrer aglomerados de partículas cerâmicas no produto final.

Durante a moagem foram retiradas pequenas quantidades da mistura para se observar o grau de redução do diâmetro das partículas. Foram coletadas amostras com tempos de 15, 30, 60, 90 e 120 minutos. A redução no tamanho das partículas pode ser observado na figura 4.

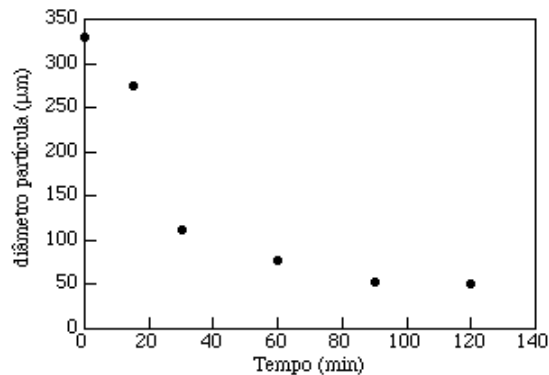


Figura 4. Redução no diâmetro de partícula com o tempo de moagem.

De acordo com Rodrigues⁽⁷⁾, que utilizou M.A. para pó de Al, foi observado um aumento no tamanho médio das partículas com o tempo de moagem. A distribuição do tamanho de partícula muda continuamente durante a moagem, com uma dada tendência ao crescimento das partículas. Rodrigues⁽⁷⁾ observou que após 10 horas de moagem, o tamanho médio de partícula aumentou de 50 µm para aproximadamente 100 µm. No nosso caso não se acompanhou a evolução do tamanho de partícula de alumínio sem reforço para crescentes tempos de moagem. No entanto, observou-se qualitativamente um comportamento bem diferente na moagem quando se tinha somente alumínio mais SiC. Notou-se um aumento do tamanho de partícula de alumínio e diminuição acentuada de seu tamanho com a presença de SiC. A cominuição das partículas de Al, deve estar relacionado à presença de carbeto de silício (SiC) que atua como agente controlador do processo. Um mecanismo provável para este fato, são as partículas de SiC cortando continuamente as partículas de Al. A redução do tamanho da partículas de SiC também foi observado, e esta redução foi da ordem de 30 % (tamanho médio de partícula após moagem 2,9 µm). Esta redução se deve provavelmente ao atrito entre SiC/SiC e, conseqüentemente, com as bolas de moagem. A figura 5 mostra o alumínio moído por 2 horas e o pó da mistura Al/SiC, onde a diferença na morfologia das

partículas pode ser claramente observada. . A partir de 60 min de moagem há uma clara diminuição na taxa de cominuição das partículas componentes da mistura. As partículas menores de SiC continuariam a cortar as de alumínio, mas passaram também a se encrustrar nas de Al. Com o passar do tempo e menor tamanho do SiC, tem-se o final da função de elemento cortante destas partículas, pode-se desta forma explicar porque a taxa de cominuição da mistura diminuiu.

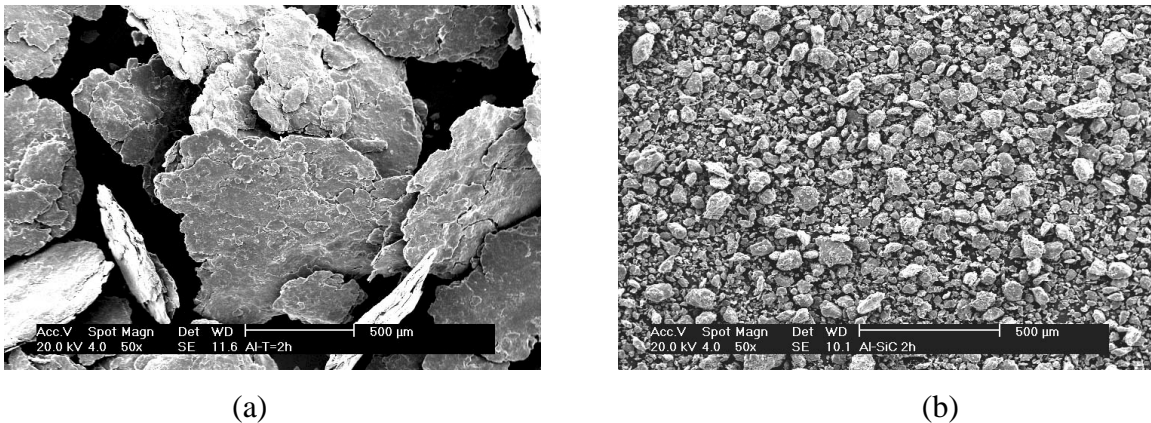


Figura 5. (a) Alumínio moído por 2 horas e (b) mistura Al/20% SiC moído por 2 horas.

Após a moagem (2 horas) retirou-se uma amostra para se observar a distribuição das partículas de carbetto de silício nas partículas de alumínio. O pó obtido mostrou uma dispersão relativamente homogênea, como pode ser visto na figura 6.

Observou-se, após a extrusão, uma distribuição homogênea do SiC na matriz. Uma boa dispersão das partículas de reforço na matriz pode evitar regiões com acúmulo de tensões, onde pode-se ter início de formação de trincas. A uniformidade na distribuição das partículas de reforço e o uso de partículas finas também melhoram a usinabilidade do produto final⁽⁴⁾.

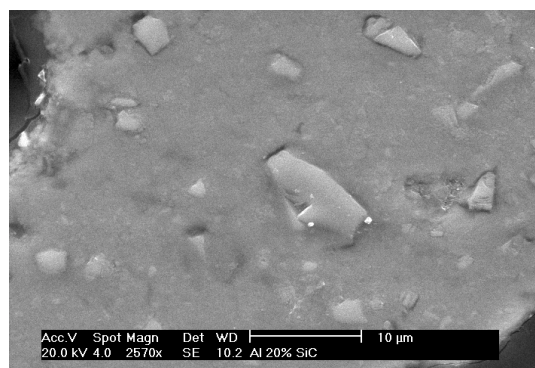


Figura 6. Pó obtido após 2 horas de moagem, mostrando distribuição de SiC sobre Al.

A figura 7 mostra microestrutura obtida após extrusão. Nota-se uma distribuição bastante uniforme das partículas de SiC, o que demonstra que a técnica de moagem de alta energia é eficiente na produção deste tipo de compósito.

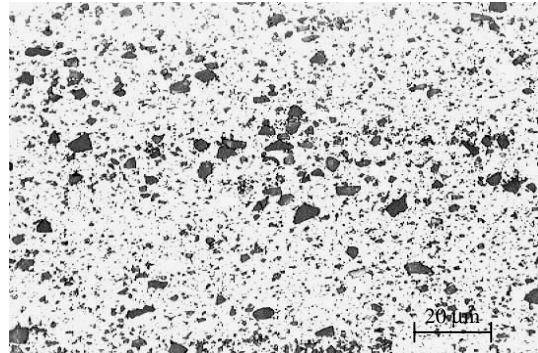


Figura 7. Distribuição de partículas de carbeto de silício (SiC) após extrusão.

Um dos problemas causados pela heterogeneidade da mistura é a formação de vazios associados a aglomerados de carbeto de silício. Yoshimura⁽⁸⁾, utilizando mistura simples para o processamento de compósito Al-SiC, mostrou que esta técnica apresenta problemas microestruturais, como vazios e aglomerados de SiC, como mostrado na figura 8 (esta amostra nos foi gentilmente cedida por Yoshimura). Estas formações, segundo o autor⁽⁸⁾, geram interfaces SiC/SiC que diminuem a densidade do compósito e, conseqüentemente, deteriora as propriedades mecânicas do produto final.

Segundo Yoshimura⁽⁸⁾ e Mourisco⁽⁹⁾, quanto menor o tamanho das partículas de reforço e quanto maior sua quantidade, maior será o grau de segregação no compósito.

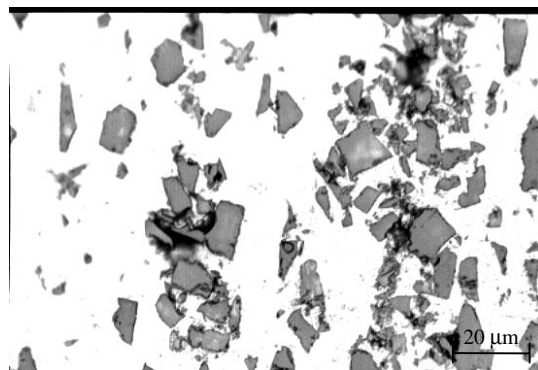


Figura 8. Compósito Al SiC obtido através de mistura simples, mostrando vazios e aglomerados de SiC⁽⁸⁾.

CONCLUSÕES

- 1 - A moagem de alta energia para pó de alumínio puro, mostrou um aumento no tamanho médio de partícula, que diminui acentuadamente na presença de SiC.
- 2 - A técnica de moagem de alta energia se mostrou eficiente na produção de compósitos Al/SiC. O produto final apresentou uma distribuição homogênea das partículas de reforço na matriz metálica, ausência de vazios e discretos aglomerados de SiC.
- 3 - Do ponto de vista de aplicação tecnológica, 60 min de moagem de alta energia fornecem uma mistura onde o SiC está homogeneamente disperso e o tamanho das partículas de SiC são significativamente menores que o SiC de partida.
- 4 - Não há necessidade de adição de agentes controladores de aglomerados quando se produz compósitos desta natureza via moagem de alta energia, uma vez que o próprio SiC desempenha este papel.

Agradecimentos

Agradecemos ao Dr. Humberto N Yoshimura pelas amostras cedidas para utilização neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wilsdorf, H. G. F., Dispersion Strengthened Aluminum Alloys, ed. by Y. W. Kim and W. M. Griffith, The Min., Met. Mat. Soc., p. 3–29, 1988.
2. Goodrich, R. S.; Ansell, G. S., Acta Met., v.12, p. 1097, 1964.
3. Benjamin, J. S.; Bomford, M. J., Met. Trans., 8 A, p. 1301, 1977.
4. Boey, J. S.; Yuan, Z.; Khor, K. A., Mater. Sci. Eng., A 252, p. 276, 1998.
5. Lee, H. F.; Boey, F., Khor, K. A., Sano, T., Mater. Sci. Eng. A 189, p. 173, 1994.
6. Banhart, J.; Grütznert, H., P/M Sci. Technology Briefs, v.2, n. 3, July 2000.
7. Rodrigues, J. A.; Gallardo, J. M., Herera, E. J., J. Mater. Sci., 32, p. 3535, 1997.
8. Yoshimura, H. N., Produção e Caracterização de Compósitos de Matriz de Al Reforçada com Partículas de SiC Obtidos por Extrusão de Pó, Dissertação, Universidade de São Paulo, USP, 1994.
9. Mourisco, A. J., Preparação e Caracterização de Compósitos de Matriz de Alumínio 1100 com Partículas de SiC por Metalurgia do Pó, Dissertação, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN, Abril, 1995.