

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS DA LIGA DE ALUMÍNIO AA7075 REFORÇADOS COM ALUMINA E NITRETO DE SILÍCIO ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE METALURGIA DO PÓ*

Elton Ítalo Vieira Xavier¹
Lorene Ester Fernandes²
Diogo Monteiro do Nascimento³
Moisés Euclides da Silva Júnior⁴
Oscar Olimpio de Araujo Filho⁵

Resumo

Foi estudado o desenvolvimento e caracterização de um material compósito com matriz metálica da liga de alumínio AA7075 e reforço cerâmico tanto de Alumina (Al_2O_3) quanto de Nitreto de Silício (Si_3N_4), as amostras foram fabricadas a partir de pós comerciais utilizando técnicas de moagem de alta energia e metalurgia do pó. Os pós foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e as amostras já compactadas e sinterizadas por microscopia ótica (MO) e ensaios de microdureza Vickers. Foram obtidos pós compósitos com morfologia irregular e a dureza do compósito se mostrou predominantemente crescente com o aumento tanto da composição do reforço quanto do tempo de moagem.

Palavras-chave: Compósitos de matriz metálica; Liga de Alumínio AA7075, Metalurgia do pó; Moagem de alta energia.

DEVELOPMENT OF ALUMINUM ALLOY AA7075 COMPOSITES REINFORCED BY ALUMIN AND SILICON NITRIDE THROUGH POWDER METALLURGY TECHNIQUES

Abstract

The development and characterization of a composite material with metal matrix of the aluminum alloy AA7075 and ceramic reinforcement of both Alumina (Al_2O_3) and Silicon Nitride (Si_3N_4) were studied, the samples were manufactured from commercial powders using mechanical alloying and powder metallurgy. The powders were characterized by scanning electron microscopy (SEM) and the samples already compacted and sintered by light microscopy (LM) and hardness Vickers tests. Composite powders with irregular morphology were obtained and the composite hardness showed to be predominantly increasing with increase of both the reinforcement composition and the milling time.

Keywords: Metal matrix composites; AA7075 Aluminum Alloy, Powder metallurgy, Mechanical alloying.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de engenharia mecânica, UFPE, Recife, PE.

² Graduanda em Engenharia Mecânica, Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de engenharia mecânica, UFPE, Recife, PE.

³ Bacharel em Engenharia Mecânica, Mestrando em Engenharia Mecânica, Departamento de engenharia mecânica, UFPE, Recife, PE.

⁴ Bacharel em Engenharia Mecânica, Mestrando em Engenharia Mecânica, Departamento de engenharia mecânica, UFPE, Recife, PE.

⁵ Bacharel em Engenharia Mecânica, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutor em Tecnologia Nuclear - Materiais, Professor Associado I, Departamento de engenharia mecânica, UFPE, Recife, PE..

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a constante necessidade de se dispor de materiais com melhores propriedades propicia um grande número de pesquisas com o objetivo de se otimizar os materiais tradicionais e de se obter e caracterizar novos materiais, melhorando e combinando características mecânicas, tais como a rigidez, tenacidade e resistência nas condições ambientes e a altas temperaturas. Isso se dá principalmente nas últimas décadas, onde os materiais compósitos constituíram em tema de grande interesse na área de novos materiais. [1]

Materiais compósitos são materiais multifásicos feitos artificialmente, ou seja, são feitos pela combinação entre materiais que são dotados de diferentes propriedades e insolúveis entre si, no qual deve conter no mínimo duas fases distintas, de modo que uma das fases aparece contínua, denominada de matriz, e a outra apresenta na forma de fibras, partículas e “whiskers”, denominada de reforço. Características como o controle da proporção, da forma, do tamanho e da distribuição do reforço na matriz vai garantir a obtenção de propriedades desejadas para determinadas aplicações. [1, 2]

Os compósitos com matriz de alumínio e reforço cerâmico são de grande interesse industrial, principalmente os formados com as ligas de alumínio das séries 2XXX, 6XXX e 7XXX, que são endurecíveis termicamente, estes conseguem aliar a baixa densidade, boa ductilidade e boa resistência mecânica destas ligas com a resistência ao desgaste e dureza do reforço, estes materiais são encontrados em diversas aplicações na indústria aeronáutica e automobilística. Os materiais compósitos são de extrema importância para a obtenção de algumas combinações específicas de propriedades mecânicas que não são encontradas nas classes de materiais convencionais, pois estes vão adquirir as propriedades de interesse tanto da matriz quanto do reforço. [3]

A metalurgia do pó, método de processamento utilizado para a obtenção das amostras é um processo de fabricação que utiliza como matéria prima pós, sejam eles metálicos, cerâmicos ou metal-cerâmicos (cermet), neste processo os pós depois de misturados e homogeneizados são compactados no formato desejado em um conjunto de matriz e prensa e em seguida submetidos a um tratamento térmico chamado sinterização. Na compactação existem duas etapas básicas, na primeira os pós se reorganizam no interior da matriz aumentando a sua área de contato superficial, na segunda os pós sofrem deformação plástica uns contra os outros reduzindo a porosidade, entre os vários métodos de compactação destacam-se a uniaxial a frio, onde a pressão é exercida unidirecionalmente pelo punção na matriz, e a isostática, onde a pressão é aplicada de forma uniforme em todas as regiões da peça a ser fabricada por meio de um fluido. A sinterização é feita por um tempo e a uma temperatura suficiente para que os pós no compactado verde se unam aos adjacentes fechando os poros remanescentes da compactação, fazendo este vir a adquirir melhores propriedades mecânicas. [2, 3, 4]

No processo de mistura e homogeneização dos pós é necessário se obter uma incorporação completa do reforço na matriz, principalmente quando se trabalha com cermets, quando o reforço tem baixa solubilidade na matriz, esta incorporação só é possível se utilizando de um processo de mecanossíntese, como a moagem de alta energia (MAE), este processo é realizado em moinhos onde choques de alta energia geram um ciclo repetitivo de solda e quebra que garante um contato em nível atômico e sem a necessidade de fusão entre os materiais constituintes, garantindo um pó final com o reforço coerentemente incorporado à matriz. [2, 5]

O presente trabalho consiste na fabricação e caracterização de amostras de um compósito da liga de alumínio AA7075 com reforço tanto de nitreto de silício quanto de alumina por meio da metalurgia do pó, onde os pós compósitos são obtidos através da moagem de alta energia. A pesquisa consiste em caracterizar as amostras, avaliando a influência tanto da concentração do reforço quanto do tempo de moagem sobre as propriedades e estruturas das amostras finais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente foram utilizados como pós de partida para a moagem os pós comerciais da liga de alumínio AA7075 e dos reforços, Alumina (Al_2O_3) e Nitreto de Silício (Si_3N_4), foi fixada uma quantidade de 12 gramas de pó para cada amostra a ser estudada, amostras estas definidas para o presente trabalho tendo uma concentração de 5%, 10% e 15% em massa de dos reforços.

Utilizando uma balança com precisão de centigramas (0,01g) disponível no laboratório de materiais compósitos (COMPOLAB) da UFPE, foram pesadas as quantidades indicadas dos pós para cada concentração de reforço, são elas:

- 3 amostras: 11,40g de Al7075 + 0,60g de Si_3N_4 = 12,00g
- 3 amostras: 10,80g de Al7075 + 1,20g de Si_3N_4 = 12,00g
- 3 amostras: 10,20g de Al7075 + 1,80g de Si_3N_4 = 12,00g
- 3 amostras: 11,40g de Al7075 + 0,60g de Al_2O_3 = 12,00g
- 3 amostras: 10,80g de Al7075 + 1,20g de Al_2O_3 = 12,00g
- 3 amostras: 10,20g de Al7075 + 1,80g de Al_2O_3 = 12,00g

A cada conjunto de três amostras foi designado os três diferentes tempos de moagem a serem estudados posteriormente, que são de 30, 60 e 120 minutos. Totalizando então, dezoito amostras diferentes, que foram devidamente identificadas.

Na etapa seguinte, a moagem de alta energia dos pós se faz necessário a utilização de um agente para controlar a tendência de soldagem a frio do alumínio, este agente atuará como lubrificante e também reduzindo a energia superficial do material, evitando a soldagem das partículas de alumínio, com o recipiente e entre as próprias partículas de pó. Foi utilizado como agente controlador do processo (*PCA – Process Control Agent*) o ácido esteárico ($\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$) que é um lubrificante sólido, este foi adicionado a todas as mostras em uma quantidade de 2% do total da mesma, ou seja, 0,24 gramas.

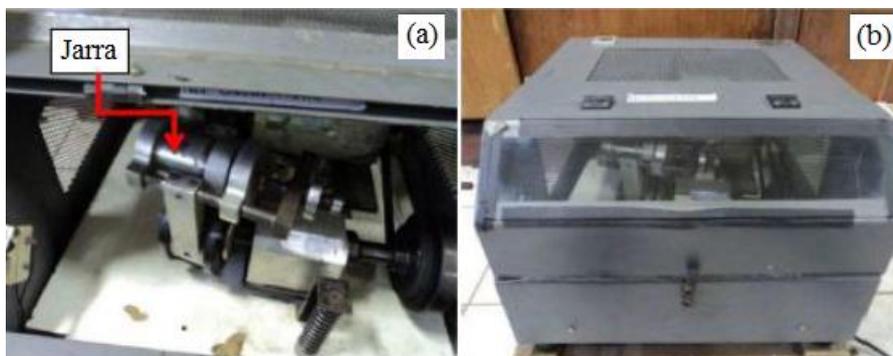


Figura 1. Moinho vibratório. (a) vista interna com destaque para a jarra. (b) vista externa

A moagem de alta energia (MAE) foi realizada em moinho de alta energia do tipo Spex, ou vibratório, disponível no laboratório de metalurgia do pó da UFPE e mostrado na figura 1, neste moinho os pós a serem processados são colocados

dentro de uma jarra de aço inoxidável juntamente com esferas do aço SAE 52100, o moinho então agita a jarra em alta velocidade e em formato de “infinito” fazendo com que os choques das esferas com as partículas de pó venham a gerar uma deformação e posterior solda entre os pós, o excesso de deformação plástica provoca o encruamento das partículas e então os choques passam a quebra-las e as reduzir de tamanho, o ciclo de solda e quebra das partículas gera um pó fino e composto por uma ligação íntima entre os materiais adicionados inicialmente ao processo.

A quantidade de esferas utilizadas na jarra é de dez vezes a massa de pó a ser processado, como se utilizou 12 gramas de pó para cada amostra foi necessário 120 gramas de esferas de aço para a realização do processamento por moagem de alta energia. Após executada a MAE foi obtido um pó compósito com o reforço cerâmico completamente incorporado a matriz a partir deste pó serão fabricadas as amostras a serem estudadas nas etapas seguintes deste projeto de pesquisa. O meio de moagem utilizado, esferas e jarra são mostrados na figura 2.



Figura 2. Meio de moagem. (a) Jarras de aço inox. (b) Esferas de aço inox

Para a caracterização e avaliação dos pós já processados das amostras foram utilizadas as técnicas de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) juntamente com a Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS) no laboratório de microscopia da UFPE. No MEV foram geradas imagens dos pós com aumento de 100x, 200x, 500x, 1000x, 1500x e 2000x de onde se pode observar a morfologia e o aspecto dos pós, assim como estabelecer uma relação entre os tamanhos destes, principalmente por comparação das imagens dos pós com diferentes tempos de processamento na moagem de alta energia, também pode se obter um efeito comparativo entre a presença do reforço para diferentes composições e tempos de processamento.

Acoplado ao microscópio eletrônico de varredura existe o espectrômetro de de energia dispersiva de raios-X, com esse acessório foi realizada a detecção e o mapeamento dos raios-x característicos por EDS, por esta técnica avaliou-se a incorporação do reforço cerâmico na matriz em suas devidas proporções, além de poder avaliar a presença de alguns elementos indesejáveis que tenham contaminado a amostra durante as etapas de manuseio e processamento anteriores.

A compactação dos pós foi realizada no laboratório de materiais compósitos (COMPOLAB) da UFPE, que dispõe tanto da prensa hidráulica quanto da matriz de compactação utilizada, esta etapa do processamento é onde se obtém o compactado verde, com baixas propriedades mecânicas, porém já com a forma da amostra final. O tipo de compactação utilizada foi a uniaxial a frio, onde os pós compósitos são introduzidos na matriz e a pressão é aplicada por meio de apenas um punção superior no sentido axial do mesmo. A matriz utilizada nesta etapa foi do

tipo cilíndrica, com furo concêntrico, fabricada em três partes e em aço AISI D6, mostrada na figura 3. A prensa hidráulica utilizada tem capacidade nominal de 30 toneladas, para a compactação do compósito foi utilizada uma carga de 14 toneladas e como a área da matriz é de 2 centímetros, a pressão aplicada durante o processo de compactação foi de 7 ton/cm², que é um valor usualmente utilizado para ligas de alumínio, a pressão foi aplicada durante um tempo de 10 minutos.

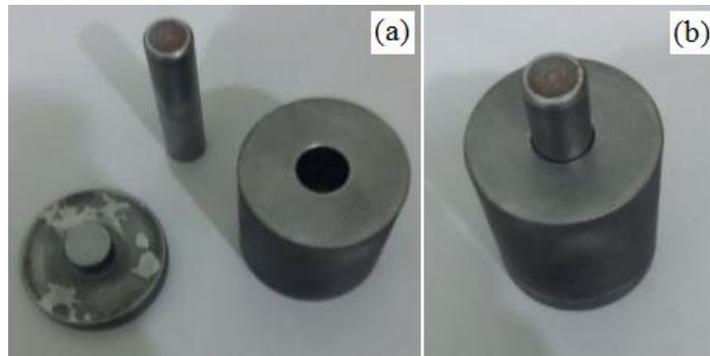


Figura 3. Matriz de compactação (a) Desmontada. (b) Montada

Também no COMPOLAB foi realizada em forno do tipo mufla sob atmosfera de nitrogênio (N₂) o tratamento térmico de sinterização, processo no qual se obtêm as propriedades mecânicas finais. A sinterização é realizada em torno de 2/3 da temperatura de fusão da matriz do compósito, no caso o alumínio, sendo assim, esta foi realizada a uma temperatura de 500 °C, durante 5 horas e com resfriamento lento dentro do próprio forno, tempo este necessário para o completo fechamento dos poros. Com a sinterização completa obtêm-se as 18 amostras finais sinterizadas, como mostrado na figura 4, amostras estas diferentes em reforço, composição e tempo de moagem.



Figura 4. Amostras compactadas e sinterizadas

Para o estudo e análise das pastilhas fabricadas se faz necessário o processo de preparação metalográfica, toda esta etapa foi realizada no laboratório de metalografia da UFPE e engloba as etapas de corte, embutimento, lixamento e polimento das pastilhas. O processo de lixamento foi realizado em politriz mecanizada em meio úmido e foi utilizada uma sequência de seis lixas com granulometria diferente, de modo que a cada lixa as superfícies das amostras fossem sendo mais refinadas. Foram utilizadas lixas com a granulometria de 180, 220, 380, 420, 600 e 1000, respectivamente, as amostras foram lixadas em uma posição fixa e a cada troca de lixa a superfície foi rotacionada de 90 graus em relação a anterior. O polimento é responsável por dar o acabamento final à amostra, eliminando por completo os riscos remanescentes do lixamento e garantindo uma

superfície livre de imperfeições, plana e pronta para a utilização das técnicas de microscopia, as amostras de alumínio quando polidas apresentam um aspecto fosco. O polimento foi realizado em politriz mecanizada e utilizando pasta de diamante de 3 μ m e 1 μ m em sequência.

No laboratório de microscopia da UFPE foi realizada em microscópio ótico, mostrado na figura 5, a avaliação das seções superficial e transversal das 18 amostras, com o objetivo de observar e comparar a estrutura dos compósitos, como microestrutura e contorno dos grãos, distribuição do reforço e homogeneidade na estrutura da amostra. A microscopia ótica foi realizada com cinco diferentes aumentos (50x, 100x, 200x, 500x e 1000x).

Para a avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos estudados foi utilizado o ensaio de microdureza Vickers, que foi realizado em microdurômetro, mostrado na figura 6, disponível no laboratório de microscopia da UFPE, o ensaio de microdureza Vickers é um ensaio por penetração que relaciona a carga aplicada à área superficial da impressão para obter o valor da dureza em escala própria (HV – kgf/mm²), este ensaio utiliza um penetrador de diamante em formato piramidal e se diferencia do ensaio convencional de dureza Vickers apenas pela magnitude da carga aplicada.

Para a avaliação experimental da dureza dos compósitos fabricados foi utilizada uma carga nominal para todas as amostras de 0,2 kgf e foram feitas 5 indentações em cada superfície estudada de cada amostra por um tempo de 15 segundos e foi considerado como valor da dureza para as respectivas superfícies o valor médio destas.



Figura 5. Microscópio ótico e Microdurômetro utilizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise pela técnica de MEV dos pós compósitos fabricados pode ser avaliado o tamanho dos pós, podemos atestar que, como o esperado, o tempo de processamento na moagem de alta energia (MAE) é inversamente proporcional ao tamanho das partículas de pó, ou seja, quanto maior o tempo de processamento menor é o tamanho dos pós compósitos, isso fica claro ao se comparar as imagens dos pós com diferentes tempos de moagem em uma mesma magnificação e para uma mesma composição, como mostrado para os pós reforçados com alumina nas figura 6.

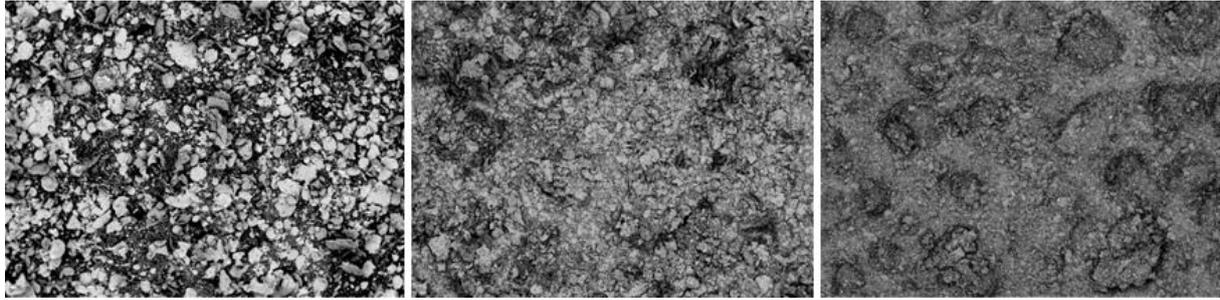


Figura 6. MEV da amostra com 10% de reforço de Al_2O_3 , mostrando a variação do tamanho das partículas de pó com o tempo de moagem. Ampliação 100x. (a) 30 minutos de moagem. (b) 60 minutos de moagem. (c) 120 minutos de moagem.

Com a utilização do MEV podemos analisar além do tamanho a morfologia dos pós compósitos após o processamento por MAE e relaciona-los a composição e principalmente ao tempo de moagem, a morfologia do pó é uma variável de interesse para o processo de fabricação por metalurgia do pó, o processo da MAE tende a levar as partículas a uma forma equiaxial devido ao processo de solda e quebra sucessiva das partículas, esta morfologia de pó reduz a densidade aparente do mesmo e também garantirá melhor empacotamento no processo de compactação, diminuindo assim as porosidades e resultando em melhores propriedades mecânicas, pois reduz a presença de propriedades direcionais, após a sinterização.

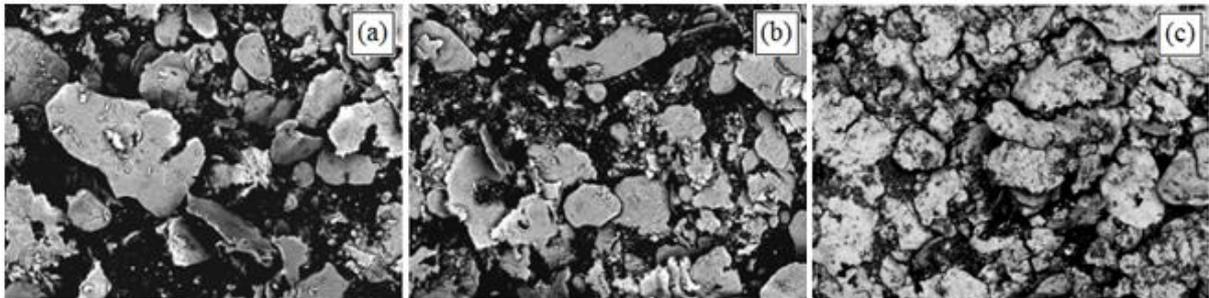


Figura 7. MEV das amostras com reforço de Si_3N_4 e 30 minutos de MAE, ampliação de 500x. (a) 5% de reforço. (b) 10% de reforço. (c) 15% de reforço.

Para as amostras que passaram pelo processamento de MAE por 30 minutos, os pós para todas as concentrações de reforço de nitreto de silício, mostrado na figura 7, e de alumina apresentaram uma morfologia achatada e irregular, observa-se então que este tempo não foi suficiente para se estabelecer um equilíbrio entre o processo de solda e quebra do processamento, equilíbrio este que levaria a uma morfologia próxima a equiaxial.

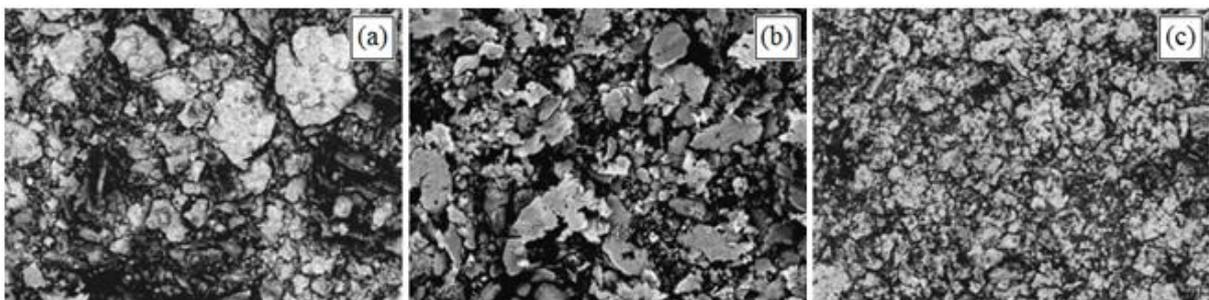


Figura 8. MEV das amostras com reforço de Si_3N_4 e 60 minutos de MAE, ampliação de 500x. (a) 5% de reforço. (b) 10% de reforço. (c) 15% de reforço.

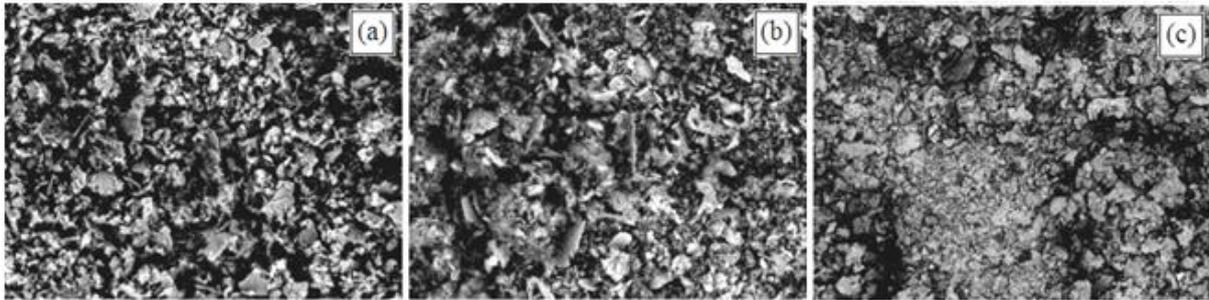


Figura 9. MEV das amostras com reforço de Si_3N_4 e 30 minutos de MAE, ampliação de 500x. (a) 5% de reforço. (b) 10% de reforço. (c) 15% de reforço.

Para as amostras que passaram pelo processamento de MAE por 60 minutos, vistas na figura 8, os pós para as amostras com maiores concentrações de reforço (10% e 15%) apresentaram uma morfologia bastante próxima a equiaxial e o tamanho de partícula apresentou uma regularidade maior quando comparado às amostras com 30 minutos de moagem, esta morfologia dos pós vai garantir melhores resultados no processo de compactação e espera-se que isso leve estas amostras a melhores resultados na avaliação das propriedades mecânicas, a amostra com 15% de reforço apresentou, em comparação com as outras, menor tamanho de partícula o que pode ser explicado pela maior concentração do reforço cerâmico que torna o compósito mais frágil e faz com que o processo de quebra se sobressaia em relação ao de solda durante a moagem, a amostra com 5% apresentou maior conglomerados de partículas, o que pode ser explicado pela ductilidade da matriz combinada a um baixo reforço cerâmico.

Para as amostras que passaram pelo processamento de MAE por 120 minutos, vistas na figura 9, os pós para todas as concentrações de reforço apresentaram uma morfologia pontiaguda em uma forma similar a uma estrutura dendrítica, mas ainda assim próxima a equiaxial, todas as amostras aparentaram uma estrutura bastante quebradiça, as amostras com reforço de 5% e 10% apresentaram uma estrutura mais regular e refinada. Pelo observado nas figuras 7, 8 e 9 as amostras com tempo de moagem de 30 minutos apresentaram de maneira geral uma estrutura mais grosseira, enquanto as com 120 minutos revelaram uma estrutura mais refinada, entretanto as amostras com 60 minutos de moagem se mostraram mais eficazes em relação à soldabilidade se tornando quebradiças com a moagem de 120 minutos.

Pela técnica de microscopia ótica foi possível avaliar as microestruturas das amostras já sinterizadas. As micrografias das amostras com 5% de reforço, mostradas na figura 10, permite observar a microestrutura tanto da seção superficial como da seção transversal, na seção transversal podemos observar uma estrutura lamelar proveniente da soldagem em camadas comum ao processo de fabricação e que a inserção do reforço na matriz se apresenta como partículas mais escuras, em formato nodular e bem distribuído nas regiões entre as camadas da matriz, vistas apenas com os maiores aumentos. Com o aumento do tempo de moagem pode-se observar que na seção superficial a estrutura passa a apresentar contornos de grão cada vez menos definidos formando uma estrutura onde não se identifica claramente os contornos, já na seção transversal a estrutura lamelar permanece, mas se apresenta cada vez mais deformada e com lamelas mais finas em virtude do alto tempo na moagem de alta energia.

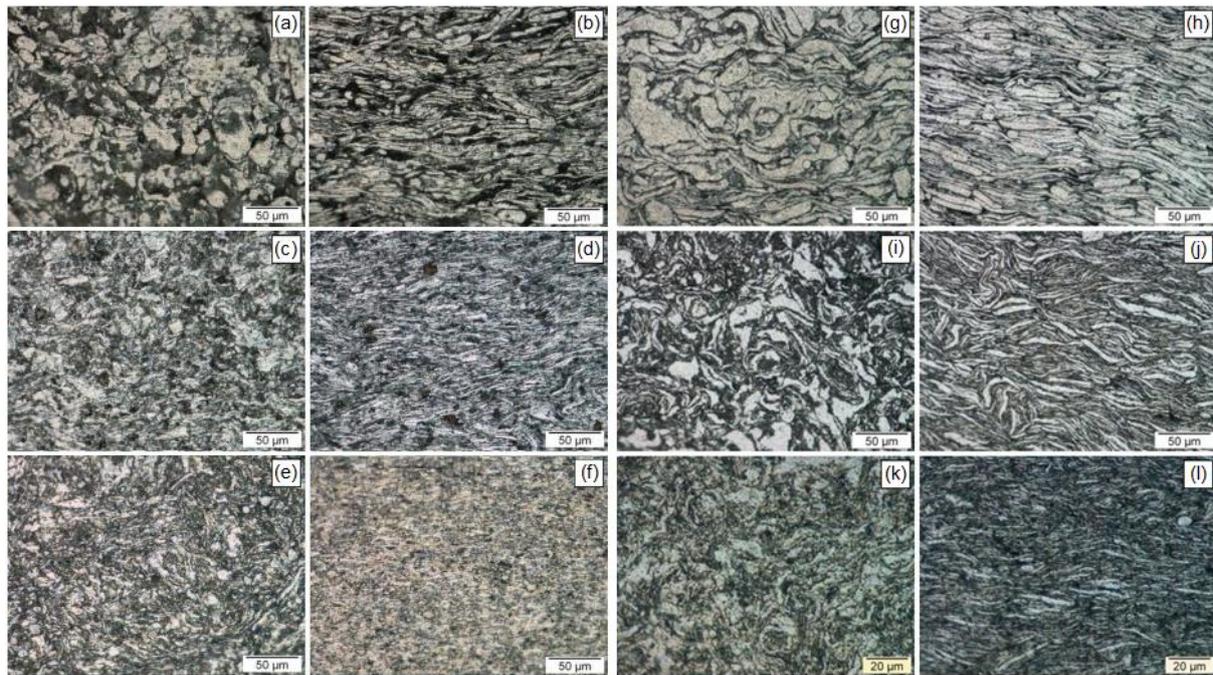


Figura 10. Micrografias das seções das amostras com 5% de reforço. 30min de moagem e reforço de Al_2O_3 (a) Superficial e (b) Transversal. 60min de moagem e reforço de Al_2O_3 (c) Superficial e (d) Transversal. 120min de moagem e reforço de Al_2O_3 (e) Superficial e (f) Transversal. 30min de moagem e reforço de Si_3N_4 (g) Superficial e (h) Transversal. 60min de moagem e reforço de Si_3N_4 (i) Superficial e (j) Transversal. 120min de moagem e reforço de Si_3N_4 (k) Superficial e (l) Transversal.

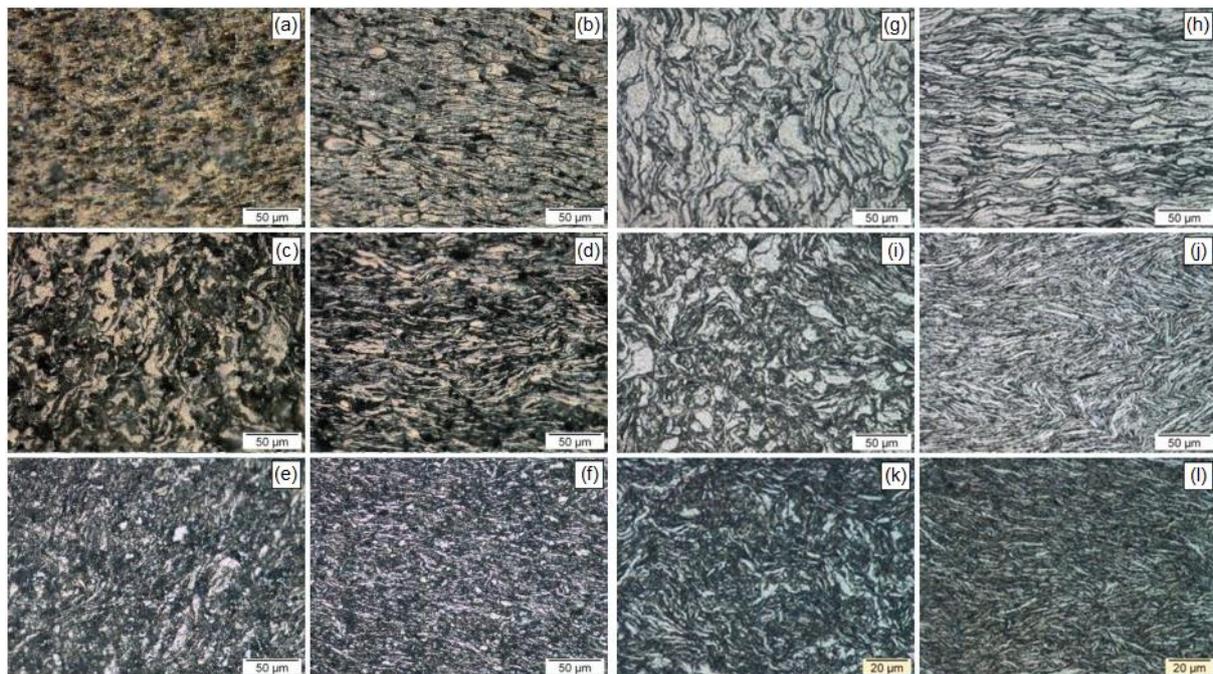


Figura 11. Micrografias das seções das amostras com 10% de reforço. 30min de moagem e reforço de Al_2O_3 (a) Superficial e (b) Transversal. 60min de moagem e reforço de Al_2O_3 (c) Superficial e (d) Transversal. 120min de moagem e reforço de Al_2O_3 (e) Superficial e (f) Transversal. 30min de moagem e reforço de Si_3N_4 (g) Superficial e (h) Transversal. 60min de moagem e reforço de Si_3N_4 (i) Superficial e (j) Transversal. 120min de moagem e reforço de Si_3N_4 (k) Superficial e (l) Transversal.

As micrografias das amostras com 10% de reforço, mostradas na figura 11, permite uma observação bastante similar da amostra anterior, na seção transversal a estrutura lamelar proveniente da soldagem em camadas permanece e a inserção

do reforço na matriz se apresenta nas regiões entre as camadas da matriz e aparentemente bem distribuídas. Com o aumento do tempo de moagem pode-se observar que na seção superficial a estrutura continua a apresentar contornos de grão cada vez menos definidos, já na seção transversal a estrutura lamelar se apresenta mais deformada, comparando-se a amostra com 60 minutos de moagem em relação à amostra anterior a deformação apresentada foi visualmente maior, resultado da maior concentração de reforço e o que provavelmente vai gerar melhores propriedades mecânicas devido ao encruamento da matriz gerado por tal deformação.

As micrografias das amostras com 15% de reforço, mostradas na figura 12, permite uma observação bastante similar das amostras anteriores, na seção transversal a estrutura lamelar proveniente da soldagem em camadas permanece, porém ainda mais deformada e também mais fina à medida que aumentamos o tempo de processamento, devido a maior concentração do reforço cerâmico e a inserção do reforço na matriz se apresenta nas regiões entre as camadas da matriz e aparentemente bem distribuídas. Com o aumento do tempo de moagem pode-se observar que na seção superficial a estrutura continua a apresentar contornos de grão cada vez menos definidos onde já para a amostra com 30 minutos de moagem não se consegue definir claramente os contornos.

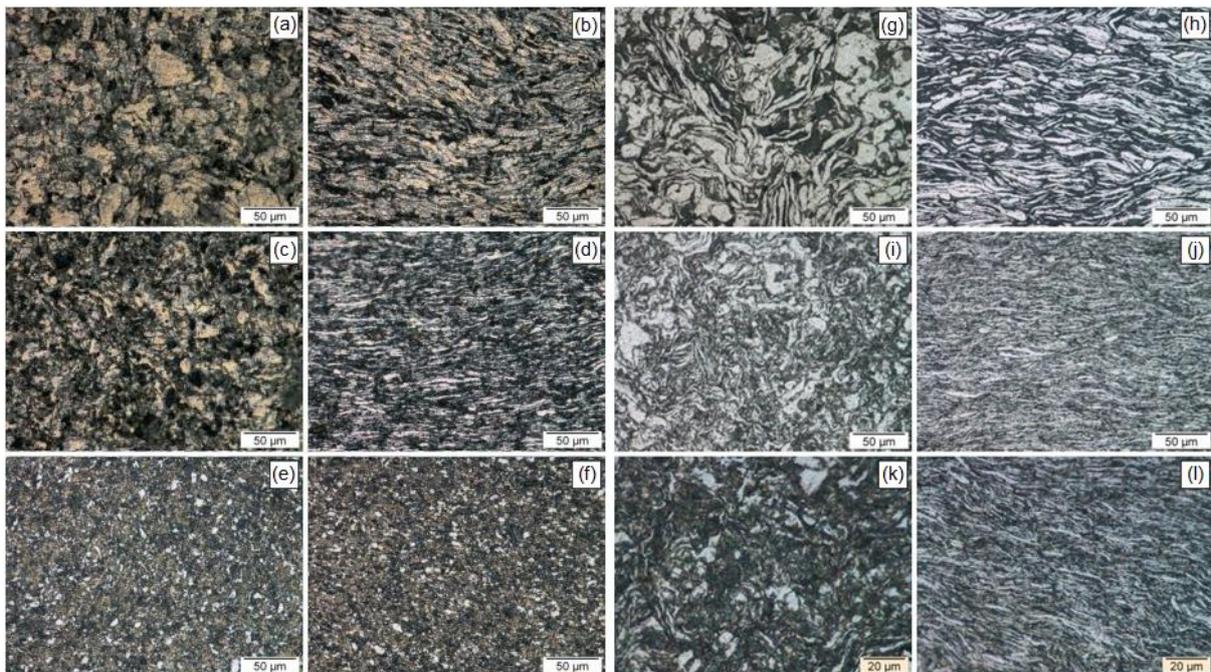


Figura 12. Micrografias das seções das amostras com 15% de reforço. 30min de moagem e reforço de Al_2O_3 (a) Superficial e (b) Transversal. 60min de moagem e reforço de Al_2O_3 (c) Superficial e (d) Transversal. 120min de moagem e reforço de Al_2O_3 (e) Superficial e (f) Transversal. 30min de moagem e reforço de Si_3N_4 (g) Superficial e (h) Transversal. 60min de moagem e reforço de Si_3N_4 (i) Superficial e (j) Transversal. 120min de moagem e reforço de Si_3N_4 (k) Superficial e (l) Transversal.

A análise por meio de propriedades mecânicas, neste caso a dureza, nos permite observar como as principais variáveis do processo (tempo de processamento em MAE e concentração do reforço cerâmico) irão influenciar na propriedade em questão, as amostras foram ensaiadas por meio da microdureza Vickers a média dos dados obtidos são apresentados em forma de gráfico nas figuras 13 e 14.

Pode-se observar que no intervalo especificado de 5% a 15% de composição em massa do reforço cerâmico o valor da dureza para ambas as seções permanece predominantemente crescente para as amostras com 30 e 60 minutos de moagem de alta energia, como esperado, porém para as amostras com 120 minutos de moagem os valores apresentam um pico para o valor de 10% na composição do reforço e uma queda para a amostra com 15% de reforço, esta queda foi mais acentuada nos compósitos reforçados com nitreto de silício e pode ser explicada pela combinação entre o alto teor de reforço cerâmico que fragiliza a amostra e o elevado tempo de processamento que levou a amostra a um numero bastante elevado de quebras e soldas podendo assim causar uma menor incorporação do reforço à matriz.

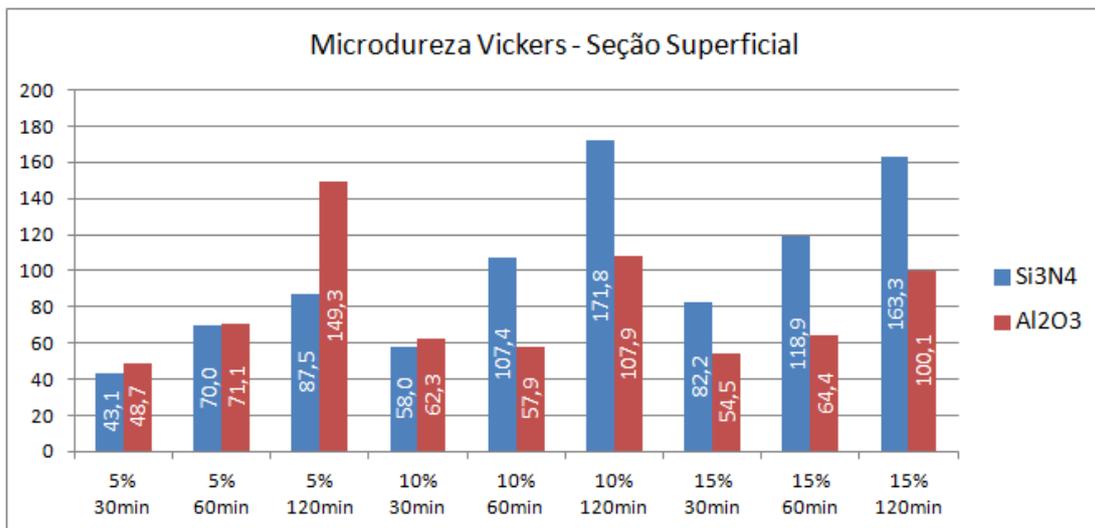


Figura 13. Resultados obtidos para a Microdureza Vickers das seções superficiais

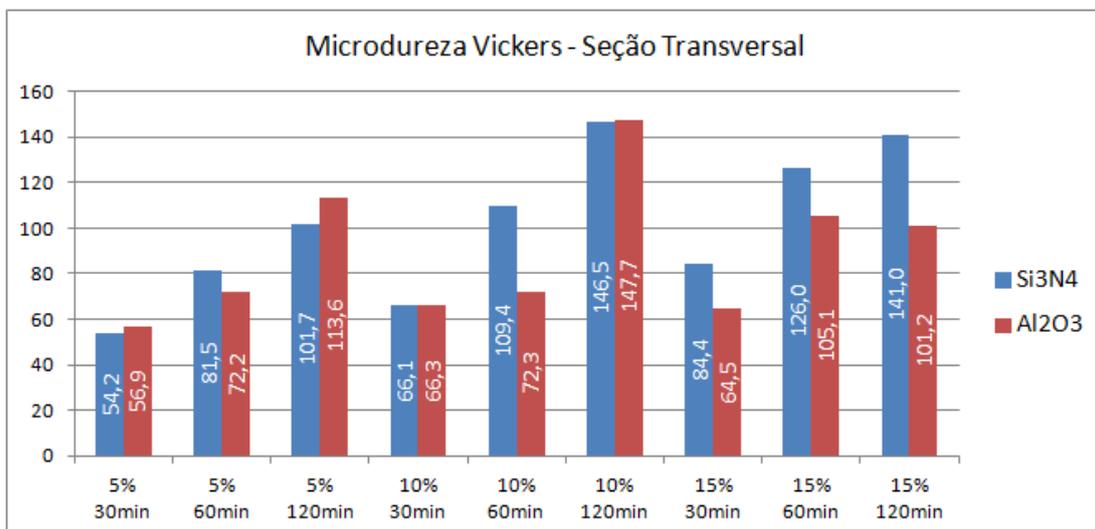


Figura 14. Resultados obtidos para a Microdureza Vickers das seções transversais

De maneira geral o tempo de processamento melhorou a dureza para todas as composições de reforço cerâmico e as amostras reforçadas com nitreto de silício apresentaram melhores propriedades mecânicas em comparação com o reforço de alumina. Quando se comparam as propriedades transversais e superficiais, observa-se que o compósito reforçado com alumina gerou um compósito com melhor anisotropia.

4 CONCLUSÃO

Foi constatado que o tempo de 30 minutos de moagem de alta energia é insuficiente tanto para a correta incorporação do reforço na matriz quanto para a obtenção de uma morfologia equiaxial para os pós compósitos, sendo mais adequados o processamento durante 60 ou 120 minutos. As amostras com 30 minutos de moagem apresentaram os menores resultados no que diz respeito à dureza do compósito.

Fica evidente, como já era esperado para compósitos de matriz metálica e reforço cerâmico, que a maior concentração de reforço na amostra leva ao aumento da dureza da mesma, pode-se observar que este aumento foi mais acentuado para o reforço de Nitreto de Silício em relação ao de Alumina, em compensação o reforço de alumina apresentou melhor anisotropia.

Quanto maior o tempo de processamento na moagem de alta energia menor é o tamanho das partículas dos pós aumentando o contato entre as mesmas e produzindo um pó compósito mais refinado, a microestrutura das amostras também tende a apresentar maior deformação na matriz metálica de alumínio, estes dois fatores colaboram para a melhoria de propriedades mecânicas, no caso a dureza.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBIC/UFPE e ao CNPq pelo apoio financeiro e aos técnicos e colegas de laboratório do DEMEC/UFPE pelo apoio dado durante a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

- 1 Callister WD, Rethwisch DG. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC; 2012.
- 2 Fogagnolo JB. Estudo do processo de fabricação de materiais compósitos de matriz de liga de alumínio por metalurgia do pó, via moagem de alta energia e extrusão [Tese]. Campinas: Unicamp; 2000.
- 3 Bezerra CA. Fabricação de compositos da liga de alumínio AA2124 com reforço de nitreto de silício através de técnicas de metalurgia do pó [Dissertação]. Recife: UFPE; 2013.
- 4 Chiaverini V. Metalurgia do pó: Técnica e produtos. 3. ed. São Paulo: ABM; 1992.
- 5 Suryanarayana C. Mechanical alloying and milling. Progress in Materials Science. 2001; 46:1–184.