

ANÁLISE MICROESTRUTURAL DE PÓ DE ALUMÍNIO SINTERIZADO OBTIDO PELA MOAGEM DE ALTA ENERGIA DE LATAS DE BEBIDAS

José Raelson Pereira de Souza¹; Mauricio Mhirdauí Peres²

¹ Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
raelsonsouza@hotmail.com

² Departamento de Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
mauricioperes@ct.ufrn.br

A reciclagem de alumínio no Brasil destaca-se com resultados acima da média mundial, visto que a maior parte dos produtos à base de alumínio são reciclados ao final do ciclo de consumo. Utilizando as técnicas de metalurgia do pó, tal como a moagem de alta energia, para fragmentação da sucata por processo mecânico de impacto entre bolas e carga, é possível produzir os pós, para posterior compactação e sinterização obtendo o produto compacto. O objetivo proposto, é o estudo do efeito do tempo de moagem de alta energia sobre a sinterização de alumínio proveniente de latas de bebidas. As latas de alumínio selecionadas foram cortadas e submetidas a moagem de alta energia sob atmosfera comum (ao ar). Na moagem foram usados 3 gramas de alumínio para manter a relação 10/1 entre massa das esferas e do material. Variou-se o de tempo de moagem em 1h, 1,5 h e 2h, mantendo as outras variáveis constantes. A distribuição de tamanho de partícula foi medida por granulometria a laser, para posterior compactação e sinterização à temperatura de 600°C por 2h. As amostras foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). A análise granulométrica dos pós, constatou que, maiores tempos de moagem produziram partículas mais finas. Foram obtidos pós com granulometria menor que 45 µm, nos tempos de 1h, 1,5 h e 2h. Os tempos de 1,5h e 2h promoveram partículas mais finas e com melhor distribuição do tamanho. As análises em MEV demonstraram pouca variação na forma das partículas em função da variação dos tempos de moagem, apresentando-se irregulares na geometria de plaquetas. O tempo e temperatura de sinterização foram efetivos na densificação das partículas de pó, que foram influenciados pelo tamanho médio das partículas.

Palavras-chave: Reciclagem, alumínio, sinterização, moagem de alta energia.

INTRODUÇÃO

O alumínio é encontrado na crosta na forma de óxido, sendo seu principal minério a bauxita, que pode conter até 45% de óxido de alumínio. O Brasil é um dos maiores produtores, pois têm grandes reservas de bauxita, as principais são encontradas nos estados Minas Gerais e Pará ⁽¹⁾.

Além do fato de ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, o alumínio é o metal não ferroso mais consumido devido as suas características físico químicas, que favorecem sua utilização ⁽²⁾.

Quando comparada a outros metais o alumínio apresenta: baixa densidade, baixo ponto de fusão, resistência mecânica, resistência à corrosão, alta condutividade térmica e elétrica. Além disso, é durável, atóxico, versátil, pode ser reciclado infinitamente, economicamente viável pela aparência e pela gama de propriedades desenvolvidas a partir do alumínio puro e suas ligas ⁽³⁾.

A reciclagem de alumínio no Brasil tem altos índices de aproveitamento, em 2014 foram reciclados 98,4% das latas de bebida. Sendo que a sucata é oriunda, além das latas de alumínio para bebidas, dos setores de transporte e construção civil ⁽¹⁾. A reciclagem permite grande economia de energia, pois utiliza apenas 10% da energia usada no processo de beneficiamento da bauxita que resulta no alumínio ⁽⁴⁾. Os fatores sociais, ambientais e econômico torna a reciclagem um processo viável, visto que diminui os impactos da exploração desse metal, gera empregos e economia na fabricação de produtos ⁽⁵⁾.

Uma via de processamento que pode ser utilizada para reciclar sucata de alumínio é a metalurgia do pó, sendo que esta técnica parte do processamento do pó, portanto, faz-se necessário primeiramente, a transformação da sucata em pó metálico.

A metalurgia do pó é uma técnica de processamento a qual permite a fabricação de peças a partir da utilização de pós metálicos e não-metálicos, através da aplicação de pressão e calor. As etapas que a técnica envolve são a obtenção e moagem do pó, a compactação e sinterização. A composição química, o tamanho médio de partículas, morfologia são características relevantes à obtenção do pó.

O que torna viável essa técnica é a possibilidade de fabricar peças metálicas sem necessidade de fundição, sendo que a presença de fase líquida, quando ocorre, é apenas parcial. As peças fabricadas a partir da metalurgia do pó dispensam

usinagem ou acabamentos, e podem ser produzidas em série, mesmo tendo geometria complexa ⁽⁶⁾.

Nesta técnica o pó é compactado por aplicação de uma pressão uniaxial ou isostática, em um molde com formato da peça desejada, e sinterizado a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão.

As vantagens deste processo incluem, possibilidade de utilizar metais de alto ponto de fusão, controle de porosidade, viabilidade de confeccionar compósitos de matriz metálica, controle rígido do acabamento do produto ⁽⁶⁾.

As limitações deste processo se dá pela dimensão das peças e complexidade geométrica, pois demanda cargas maiores para prensagem eficiente, podendo gerar inviabilidade para o produto desejado. A metalurgia do pó apresenta variações no processamento, como por exemplo: compactação a frio, compactação a quente, prensagem uniaxial e isostática, moldagem por injeção do pó (misturado com ligantes).

A compactação dos pós é realizada, em uma matriz com formato da peça a ser fabricada em que a cavidade é preenchida com o pó, por aplicação de uma carga que varia de 350 a 700 Mpa num movimento axial de punções. A pressão promove a junção das partículas pelo mecanismo da solda a frio dando forma final ao componente ⁽³⁾.

A sinterização é realizada objetivando a consolidação das partículas por meio de difusão. O componente prensado é definido produto verde, o qual passará pela sinterização em uma temperatura menor que a temperatura de fusão, geralmente 1/3, o mecanismo de difusão dos átomos permite que as partículas se unam e forme os grãos, promovendo a resistência mecânica do produto ⁽³⁾.

Os pós podem ser obtidos por várias técnicas, e uma delas é a moagem de alta energia que tem como objetivo reduzir o tamanho das partículas, misturar ligas, modificar forma da partícula, aglomerar pós. A moagem de alta energia em moinho de bolas, tem vários parâmetros, que são: razão bola/carga, velocidade de rotação, tempo de moagem, atmosfera do sistema ⁽⁷⁾.

A moagem de alta energia provoca a quebra do material pelo mecanismo de deformação e soldagem que inicia com lamelas achatadas e a posterior quebra em pequenos grãos, causada pelo aumento da dureza, principalmente quando o material é dúctil. O impacto das bolas com a matéria resulta numa sequência de soldagem e fratura que leva o refinamento da microestrutura ⁽⁷⁾.

Componentes dúcteis, como é o caso do alumínio, ocorre um micro forjamento entre as partículas, com o aumento do tempo de moagem as partículas tornam-se frágeis e se fragmentam em partículas equiaxiais ⁽⁷⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram selecionadas latinhas de alumínio de um mesmo fabricante, o qual possui em sua composição Al, Mn, Mg, Fe e Si como elemento de liga. Estas foram picotadas com tesoura em tamanho de aproximadamente 5 a 10 mm, como mostra a Figura 1.



Figura 1 – Sucata de alumínio antes da moagem

Em seguida a moagem de alta energia foi realizada utilizando um moinho Spex de alta rotação, com relação 10/1 entre o peso das bolas e o peso do material, sendo assim para bolas com total de 30 gramas foram moidos 3 gramas de sucata de alumínio, em atmosfera comum (ao ar). Foram realizados três tempos de moagem diferentes 1h, 1,5h e 2h, mantendo se a mesma velocidade, a atmosfera comum (ao ar) e relação bola/carga. Na Figura 2 pode-se observar o aspecto dos pós obtidos.



Figura 2 – Pó de alumínio após moagem

A identificação dos tamanhos de partículas dos pós obtidos foi realizada pela técnica de granulometria a laser, utilizando o analisador de tamanho de partículas por difração de laser (Granulômetro), modelo CILAS 920.

Os pós obtidos foram submetidos a análise em microscópio eletrônico de varredura (MEV), utilizando O MEV de bancada HITACHI TM 3000. Foram feitas análise da morfologia das partículas e utilizando-se o recurso de espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS), foi realizada a identificação dos elementos presentes no material após a moagem.

Os corpos de prova foram compactados em molde metálico com formato cilíndrico com 5 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento. Adicionou-se 0,5 g de pó de alumínio na matriz e aplicou-se uma força de 800 kgf utilizando uma prensa hidráulica. Os corpos de prova a verde foram levados ao forno para sinterização a uma temperatura de 600 °C, por 2 horas, em atmosfera de argônio.

Os corpos de prova foram analisados no MEV para análise da sinterização e utilizando o recurso do EDS foram identificados os elementos presentes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A técnica de granulometria a laser revelou a distribuição de tamanho da partícula dos pós obtidos em diferentes tempos de moagem.

O diâmetro médio de partícula obtida com tempo de moagem de 1h (amostra 1) foi de 119,3 μm . A Figura 3 mostra a curva de distribuição granulométrica.

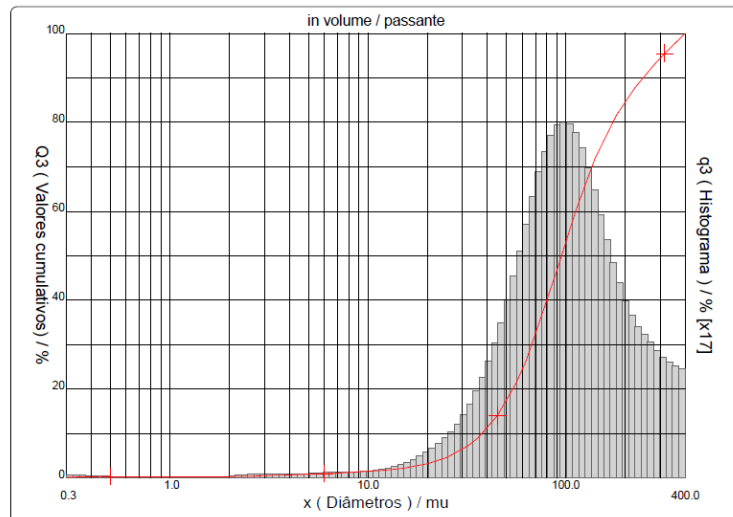


Figura 3 - Curva de distribuição granulométrica com 1h de moagem

O diâmetro médio de partícula obtida com tempo de moagem de 1,5h (amostra 2) foi de 114,0 μm , a curva de distribuição do tamanho de partícula pode ser vista na Figura 4.

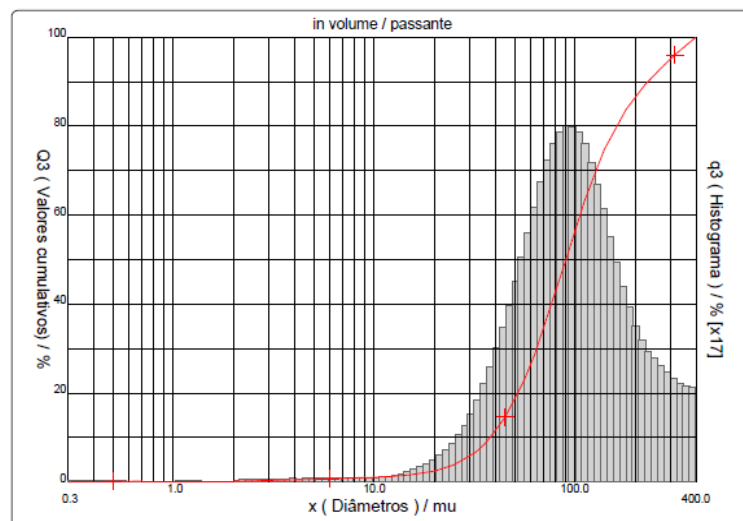


Figura 4 - Curva de distribuição granulométrica com 1,5h de moagem

O diâmetro médio de partícula obtida com tempo de moagem de 2h (amostra 3) foi de 104,5 μm . A Figura 5 mostra a curva de distribuição granulométrica.

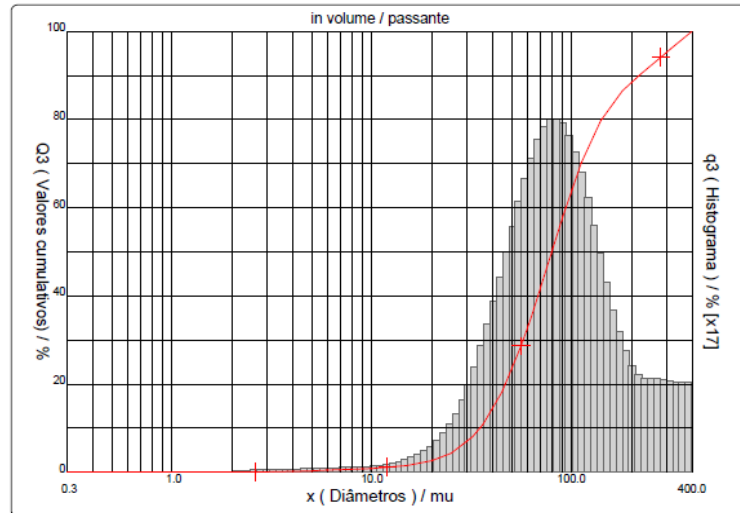


Figura 5 - Curva de distribuição granulométrica com 2h de moagem

Este resultado afirma que o tempo de moagem tem influência sobre o tamanho da partícula obtida em processo de moagem de alta energia, onde as partículas mais refinadas foram mais frequentes nos maiores tempos de moagem. Assim nos tempos de moagem de 1,5h e 2h a presença de partículas finas é mais frequente, isso tem influência sobre porosidade dos corpos de prova.

A análise da morfologia das partículas demonstra que a moagem resultou em pós com forma irregular e de plaquetas, com dimensões menores nas amostras que tiveram maior tempo de moagem, visto que houve mais tempo para a fratura da partícula. A morfologia dos pós nos três tempos de moagem pode ser observada na Figura 6.

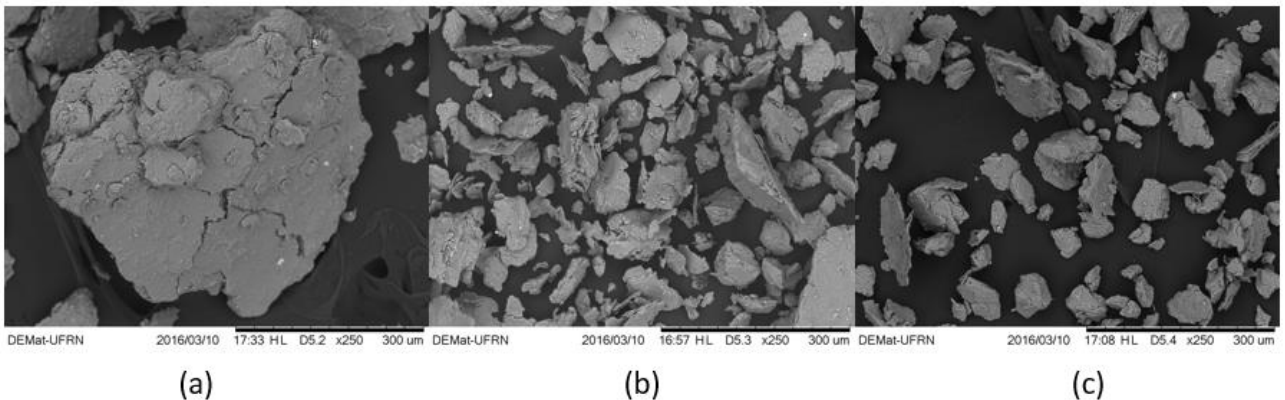


Figura 6 – Morfologia das partículas, (a) 1h de moagem, (b) 1,5h de moagem, (c) 2h de moagem

A sinterização dos corpos de prova promoveu a união das partículas de pó, pelo mecanismo de difusão, e ocorreu da mesma forma em todas as amostras independentemente do tempo de moagem. No entanto há diferença no tamanho dos poros, devido as diferenças no tamanho das partículas, para as diferentes amostras. Pode-se verificar que durante a sinterização ocorreu a presença de fase líquida, preenchendo assim os espaços entre as partículas. Na Figura 7 é possível observar a micrografia da amostra (2h de moagem) sinterizada. É perceptível a união das partículas por ação da alta temperatura a qual foi submetida, e também a presença de fase líquida nos contornos das partículas que é a parte cinza escuro.

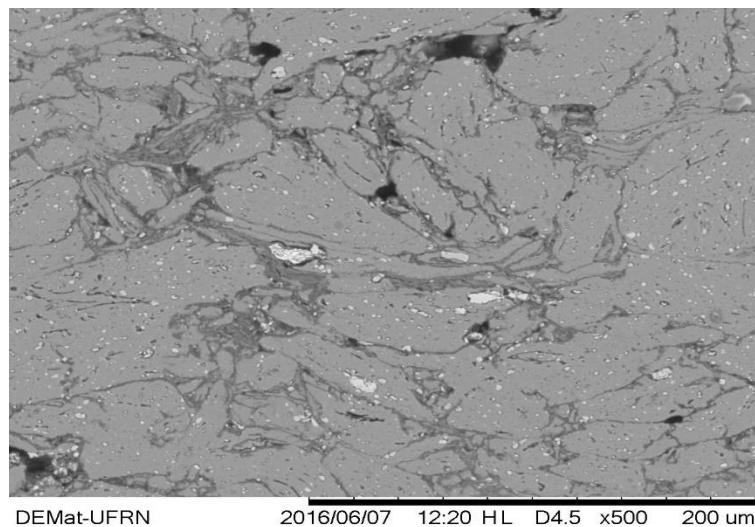


Figura 7 – Micrografia da amostra (2h de moagem) sinterizada

A análise de EDS foi feita nas amostras em pó e nos corpos de prova sinterizados. Os elementos detectados foram os mesmos em todas as amostras, apresentando um aumento no teor de Fe, nas amostras que passaram mais tempo na moagem. Isso pode ter ocorrido por contaminação do material por atrito e impacto contra a parede do cubo de moagem e das bolas.

CONCLUSÃO

Os resultados das análises granulométricas demonstraram o esperado, visto que para maiores tempos de moagem a distribuição de tamanho de partícula apresentou partículas mais finas e melhor distribuída. A morfologia das partículas na

forma irregular e de plaquetas ocorre devido o impacto das bolas com o material de que provoca a deformação e fratura das partículas, levando ao aumento de dureza.

As amostras sinterizadas apresentaram difusão entre partículas e formação de fase líquida, que podem ter contribuído para densificação dos corpos de prova. A distribuição de tamanho de partícula com partículas mais finas resultou em compactos com menos poros, isso foi benéfico para uma sinterização eficiente.

REFERÊNCIAS

1. ABAL. Fundamentos e Aplicações do Alumínio, 68p 2007
2. HYDRO Aluminium Metal and Aluminium Products. Disponível em: <http://www.hydro.com/en/Products/Bauxite-and-alumina/> Acesso em: 14 mar. 2015.
3. METALS HANDBOOK, ASM, 9 th printing, v.14, Metals Park, p.317-319. Ohio, 1988.
4. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral-SGM. Relatório Técnico 83: Reciclagem de metais no país. 2009.168p.
5. SHAZAREL, S.; Lajis, MA.; Zhong, Z.W. Evolutionary in Solid State Recycling Techniques of Aluminium: A review.
6. CHIAVERINI, V. Metalurgia do Pó. 3.ed. São Paulo: Editora ABM, 1992.
7. SURYANARAYANA, C. Mechanical Alloying and Milling. Progress in Materials Science, 46:1-184. 2001
8. FOGAGNOLO, J. B. Estudo do processo de fabricação de materiais compósitos de matriz de alumínio por metalurgia do pó, via moagem de alta energia e extrusão.2000 231 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, SP. 2000.
9. ESTEVES, P. J. C.; PONDER, P. L.; COELHO, R. E. Transformação de sucatas de alumínio utilizando técnicas de processamento no estado sólido. In Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2., 2007. João Pessoa.