

OBTENÇÃO DE ESPUMA METÁLICA DE ALUMÍNIO VIA METALURGIA DO PÓ E COMPORTAMENTO DE COMPRESSÃO

PRODUCTION OF ALUMINIUM FOAM BY POWDER METALLURGY ROUTE AND ITS COMPRESSIVE BEHAVIOR

P. O. BONALDI, L. SCHAEFFER

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Ufrgs, Departamento de Metalurgia, Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM, Av. Bento Gonçalves, 9500 – Centro de Tecnologia Porto Alegre – RS – Brasil, patrik.
bonaldi@ufrgs.br, schaefer@ufrgs.br

RESUMO: Espumas metálicas são materiais de estrutura porosa que combinam as propriedades de materiais celulares com materiais metálicos. Atualmente essas estruturas leves vêm ganhando maior campo de aplicação e mais interesse por parte da indústria. A espuma metálica é produzida através da mistura de pó de alumínio com um agente espumante que posteriormente é expandido através de um processo termicamente ativado. Este trabalho apresenta o método de obtenção de espuma de alumínio através da metalurgia do pó (M/P), diversas aplicações, parâmetros de produção e resultados de propriedades mecânicas. Os melhores resultados foram encontrados com a espuma produzida com 1,0% de hidreto de titânio, pressão de compactação de 450 MPa e espumagem a 710°C por 10 minutos.

Palavras-chave: Estrutura sanduíche, espuma metálica, metalurgia do pó.

ABSTRACT: Metallic foams are materials of porous structure that combine the properties of cellular materials with metallic materials. Currently, these lightweight structures are gaining greater scope and more interest from industry. The metallic foam is produced by mixing aluminum powder with a foaming agent which is subsequently foamed through a thermally activated process. This paper presents a method of producing foam aluminum by powder metallurgy, various applications, production parameters and results of mechanical properties. The best results were found with the foam produced with 1.0% of titanium hydride, compaction pressure of 450 MPa and foaming at 710°C for 10 minutes.

Keywords: Aluminum foam sandwich, metallic foam, powder metallurgy.

1. INTRODUÇÃO

As estruturas sanduíches de alumínio, também conhecidas no inglês como, *Aluminium Foam Sandwich – AFS*, podem produzir peças em diversas formas. Essas formas vão desde simples produtos planos, figura 1a, até geometrias mais complexas, como mostra a figura 1b, que depende do processo de obtenção da estrutura utilizado. As estruturas leves do tipo sanduíches podem melhorar as propriedades de compressão, torção e flexão, além de ser um material com boas propriedades de isolamento acústico e térmico, devido à alta porosidade (1). Com uma grande vantagem que é a redução de peso. Suas propriedades dependem de muitas características morfológicas, como a distribuição do tamanho dos poros, curvatura da parede celular, defeitos (2). Existe atualmente cerca de 150 instituições trabalhando com espumas metálicas pelo mundo, a maioria focando o estudo em fabricação e caracterização. Varias

companhias estão desenvolvendo e produzindo, como Alporas (Japão), Cymat (Canada), Alulight (Alemanha), entre outras. Essa nova classe de material está sendo utilizada em diversas aplicações industriais, como, estruturas leves, implantes biomédicos, filtros, eletrodos, absorvedores de ruído e vibração, trocadores de calor e absorvedores de energia. Esse aumento de interesse por ser visto pelo crescimento anual de 20% nas publicações desde 2000. A Alulight® esta agora produzindo um elemento de *Crashabsorber* para Audi com 100.000 peças por ano (3). A Alcoa (EUA) iniciou no mercado de espumas de alumínio em 2006, apresentando um novo método de fabricação. Atualmente no Brasil não há empresas fabricantes de espumas de alumínio, aumentando o interesse nas pesquisas do LdTM, visto a grande possibilidade de aplicação industrial.

Atualmente muitas aplicações da espuma metálica estão surgindo, como:

Indústria automotiva

A crescente demanda de segurança dos automóveis levou, em muitos casos, a um maior peso do veículo. Este conflito entre novas exigências para o baixo consumo de combustível e aumento de segurança, geram a necessidade de medidas adicionais de redução de peso.

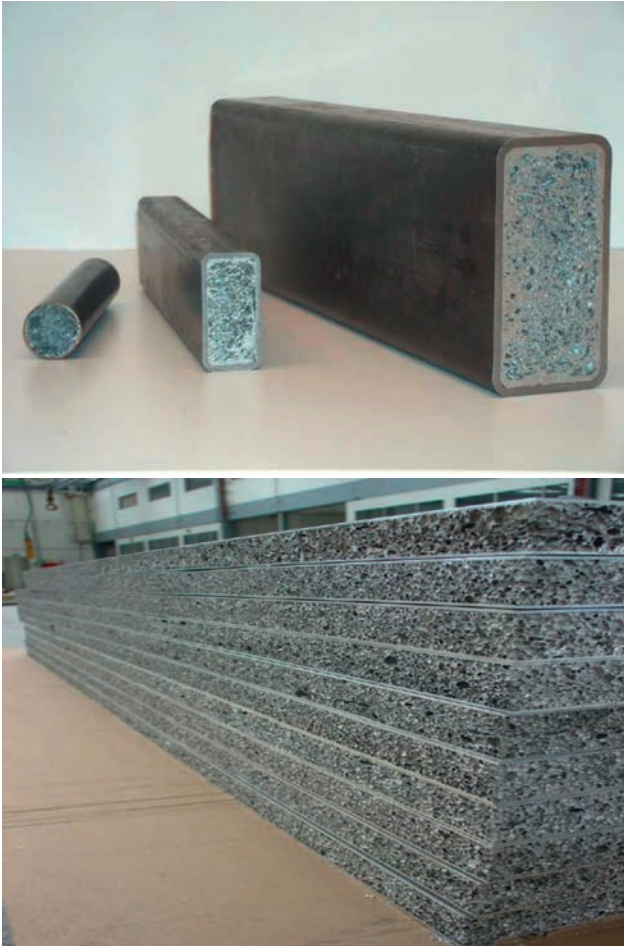


Fig. 1. Exemplos de estruturas sanduíches (Alporas®).

Além disso, especialmente na Europa e no Japão, os automóveis com comprimento reduzido são desejados. Esta redução, no entanto, não deverá reduzir o espaço do compartimento do passageiro, por esse motivo tenta-se introduzir novos motores compactos ou reduzir outras estruturas para manter o conforto dos passageiros. Isto cria novos problemas com a dissipação de calor no compartimento do motor, porque todos os agregados são estreitamente espaçados, ou com falha de segurança, devido ao reduzido tamanho das zonas colisão. Por último, a necessidade de reduzir as emissões de barulho dos automóveis, levou à procura de novos absorvedores de ruído. Alguns exemplos de aplicação são mostrados na figura 2.

Controle de vibração

Existe o problema das vibrações indesejáveis de uma construção (máquinas, veículos, etc) que podem causar danos e levar à emissão de ondas acústicas (ruído). Como o módulo de Young das espumas de metal é mais baixo, comparado com o correspondente metal sólido, a frequência de ressonância de uma estrutura de espuma metálica serão geralmente desloca-

do para frequências mais baixas em comparação a uma construção convencional. Um exemplo é mostrado na figura 3.



Fig. 2. Exemplos de aplicação na indústria automotiva. (Alulight®).

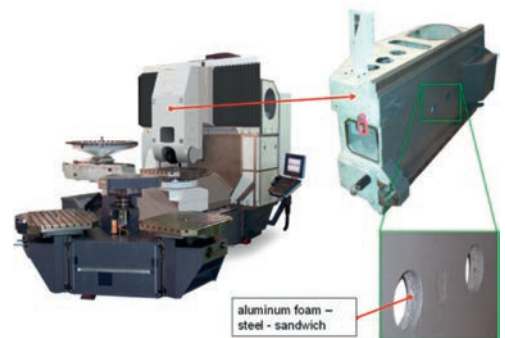


Fig. 3. Controle de vibração em máquinas de usinagem (Schlitten).

Indústria Aeroespacial

A substituição das estruturas por placas de espuma metálica ou painéis sanduíche poderia conduzir a um maior desempenho e custos reduzidos (4).

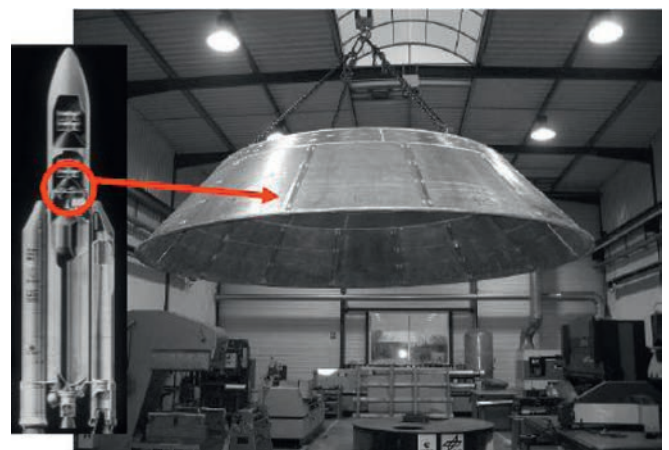


Fig. 4. Exemplo de aplicação aeroespacial (4).

Utensílios de Cozinha

Em uma panela ou uma frigideira, o calor é adicionado a partir de baixo de uma maneira muito localizada, por exemplo, por uma chama. Preparar uma boa comida, muitas vezes exige uma área maior de temperatura constante. Na face inferior da chapa o transporte de calor é direcionado transversalmente, devido à alta condutividade da liga de alumínio densa. O transporte através da camada de espuma será muito mais lento. A condutividade térmica da espuma é da ordem 20 vezes inferior à do material denso (5).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram o pó de Alumínio fornecido pela Alcoa e o pó de hidreto de titânio fornecido pela Brats. As características dos pós são apresentadas na tabela 1. As formas dos pós foram analisadas por microscopia eletrônica por varredura e são mostras na figura 5.

Tabela 1. Características dos pós utilizados.

Pó	Grau de Pureza	Tamanho μm (D90)	Forma
Al	99,9%	64,55	arredondada
TiH ₂	99,97%	52,28	Irregular

As amostras foram compactadas em uma matriz cilíndrica de 19mm de diâmetro. Posteriormente a amostra é colocada no interior do tubo de um sistema em aço inoxidável desenvolvido para formação de espuma, figura 6, onde se pode variar o tamanho e tipo de perfil do tubo, que por sua vez é colocado no em um forno.

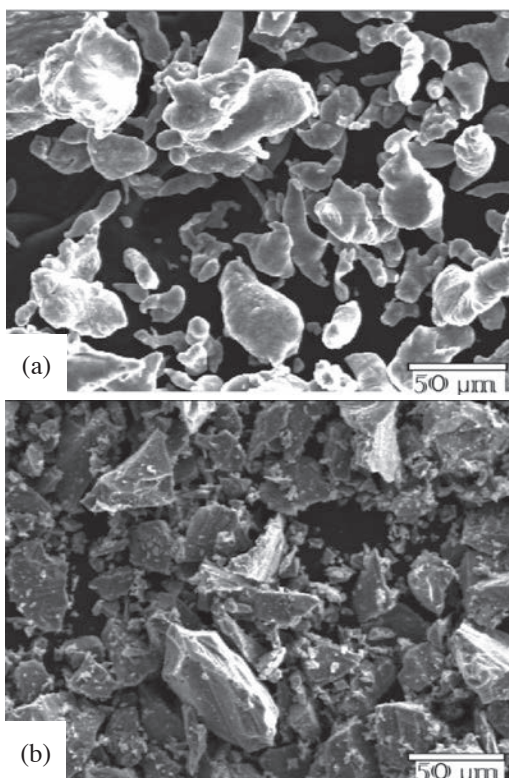


Fig. 5. (a) micrografia do pó de TiH₂ (500X), (b) micrografia do pó de alumínio (500X).

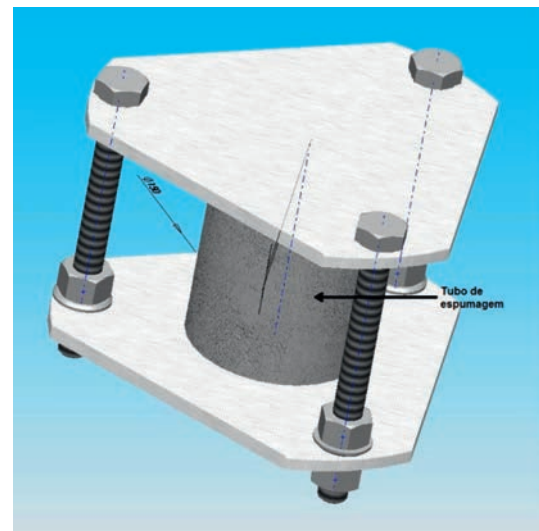


Fig. 6. Sistema de obtenção de espuma.

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O processo para obtenção de espumas metálicas de alumínio utilizado neste trabalho foi através da metalurgia do pó, que podem ser obtidas por diversas rotas, uma delas é a metalurgia do pó (6, 7). A obtenção de espuma metálica via M/P consiste na mistura pó metálico (no caso o alumínio) com um agente espumante, no caso é utilizado o hidreto de titânio (TiH₂). Essa mistura é posteriormente compactada uniaxialmente, chegando a uma densidade relativa de 0,95, suficiente para que o gás gerado na etapa de espumagem fique aprisionado. Em seguida esse compactado é levado a um forno com temperatura superior ao ponto de fusão do alumínio, nesta temperatura ocorre o fenômeno de dissociação do hidreto de titânio, em hidrogênio e titânio, provocando a expansão da espuma pelo gás gerado. A estrutura sanduíche pode ser obtida colocando o compactado junto com as chapas de alumínio ou aço no forno (8), como mostrado na figura 7.

O processo utilizado via metalurgia do pó, conforme figura 7, ocorre primeiramente pela mistura de 3 composições diferentes dos pós de alumínio e hidreto de titânio (0,8, 1,0 e 1,2% TiH₂ em massa) em misturador do tipo duplo V por duas horas com velocidade de 20 RPM. Posteriormente foram compactados axialmente a 450 MPa, melhor condição de acordo com estudos anteriores, e levados ao processo térmico de espumagem em um sistema de espumagem em um forno do tipo mufla, onde o tempo foi fixado em 10 minutos para todas as amostras e a temperatura variou em três níveis (680, 710 e 740°C).

Todas as amostras foram resfriadas rapidamente em água após o tratamento. Para cada situação foi utilizada cinco amostras. O ensaio de compressão foi realizado em uma máquina universal de ensaios da marca KRATOS com velocidade de 1mm/s. A aquisição de dados foi realizada pelo equipamento SPIDER com o sistema CATMAN. Para cada condição de ensaio foi utilizada 5 amostras.

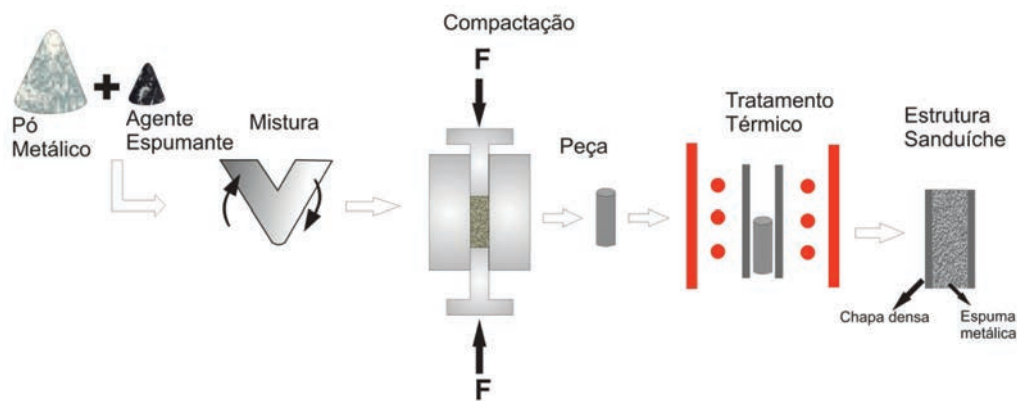


Fig. 7. Esquema do processo de obtenção de estruturas sanduíche de alumínio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após compactação todas as amostras ficaram com altura de 15mm e densidade de $2,55 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05$. Após o processo térmico de espumagem, as amostras foram avaliadas para se obter os melhores parâmetros de fabricação de espuma de alumínio. Todas as amostras obtidas com a temperatura de expansão de 740°C apresentaram colapso, atingindo uma temperatura muito alta provocando o surgimento de alta quantidade de fase líquida e por esse motivo essa condição não foi favorável para obtenção de espumas de alumínio.

Nas condições de 0,8 e 1,0% TiH_2 a 680°C , não apresentaram bons resultados, pois a expansão não foi suficiente para obter poros consideráveis, apresentando uma densidade relativa média alta de 0,46 e 0,41 respectivamente. Provavelmente isso ocorreu devido à temperatura baixa, não sendo suficiente para ocorrer o surgimento de uma fase semisólida que seja possível a formação de poros consideráveis. Nas condições com 1,2% de TiH_2 a 680 e 710°C , apresentaram boa expansão linear e densidade, porém pela avaliação da secção transversal, apresentou poros grandes, devido ao coalescimento dos mesmos, devido ao alto teor de agente espumante, provocando vários pontos de surgimento de poros e posterior coalescimento, talvez se fosse utilizados um tempo menor de espumagem, apresentassem um resultado melhor.

O melhores resultado encontrados foram na condição de 1,0% de TiH_2 com temperatura de espumagem de 710°C , onde ocorreu uma boa expansão linear e a distribuição e tamanho dos poros foram homogêneos e aspecto esférico, com poucos defeitos e densidade relativa entre 0,180 e 0,300, favorável a obter favorável a boas propriedades finais. A figura 8 mostra a amostra expandida, que resultou nas melhores condições, em comparação com a amostra compactada.



Fig. 8. Comparação entre amostra expandida e compactada.

Os resultados do ensaio de compressão das amostras variando a densidade é mostrado pela figura 9. Observa-se que uma maior porosidade, proporciona uma maior deformação com uma tensão praticamente constante. Pode-se observar que a tensão apresenta pequenas oscilações, comportamento típico de espumas, devido a deformação e fechamento dos poros. A energia absorvida durante a deformação pode ser mensurada pela área abaixo da curva até a deformação de densificação, ponto em que todos os poros são fechados. A deformação de densificação depende do comportamento de cada amostra, e pode ser medida diretamente na curva. Quanto menor a densidade relativa da espuma, menor é a tensão de escoamento, porém a energia absorvida pode ser semelhante a de espumas com maior densidade, com a vantagem do menor peso. Verifica-se também que quanto menor a densidade maior é o plateau de deformação, onde há uma grande deformação em uma tensão quase constante, resultando numa grande absorção de energia.

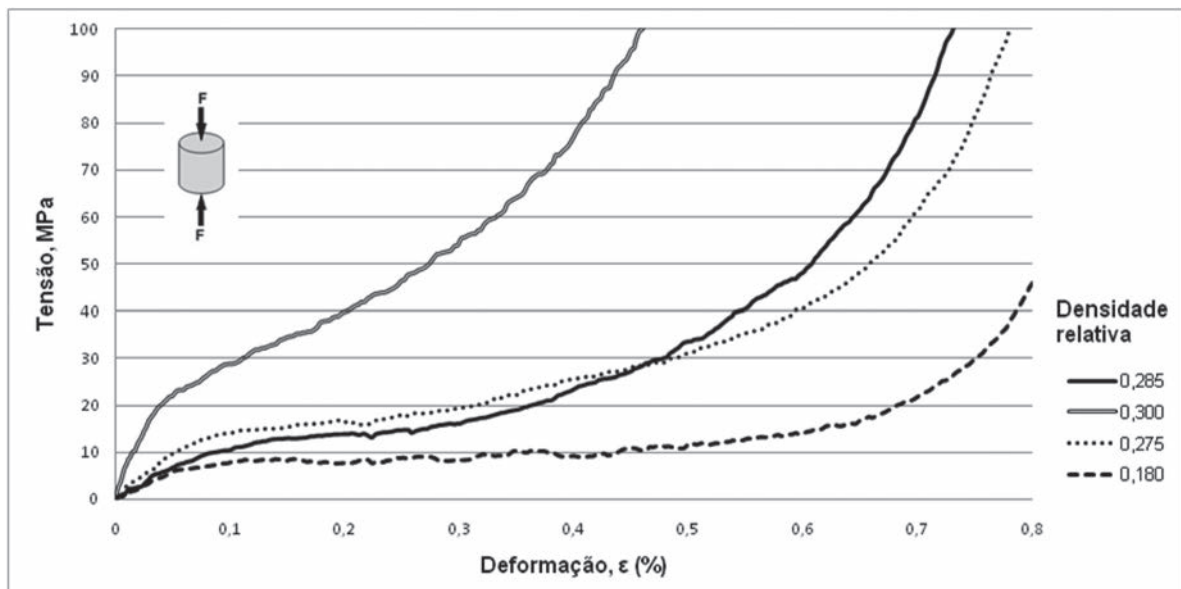


Fig. 9. Curva de compressão de amostras de espumas metálicas de alumínio com diferentes densidades.

5. CONCLUSÕES

- As estruturas sanduíches são uma nova classe de material, mais leve, que vem ganhando mais interesse e aplicações, Isso mostra que se trata de um material leve, podendo levar a redução de peso em estruturas em geral ganhando mais eficiência na absorção de energia em caso de impacto.
- A melhor condição encontrada foi utilizando o 1,0% em massa de TiH_2 como agente espumante, misturado com pó de alumínio por 2 horas, compactado a 450 MPa e espumado a 710°C por 10 minutos, apresentando uma boa expansão linear e distribuição e tamanho de poros homogêneo com aspecto esférico, fator muito importante nas propriedades da espuma metálica.
- As curvas de compressão mostram o comportamento típico de materiais celulares, apresentando um platô de deformação, onde há uma grande deformação com tensão constante, reduzindo a transferência de energia, isso mostra que a espuma de alumínio produzida tem boas qualidades para aplicação em absorvedores de energia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas Alcoa Alumínio Inc. e Brats Filtros Sinterizados e Pós Metálicos Especiais pelo fornecimento de matéria-prima e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] P. Bonaldi, L. Schaeffer. **Estruturas Leves do Tipo Chapas Sanduíches de Espuma de Alumínio**. Corte & Conformação de Metais. n. 65, v. 6. p. 92-97. 2010.
- [2] DAXNER, T., et. al. **Modelling of cellular metals**. **Handbook of Cellular Metals**. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, p. 245-280. 2002.
- [3] J. Banhart, et. al. **Porous metals and metallic foams: Current status and recent developments**. *Advanced Engineering Materials*, n. 9, v. 10, pp. 775-792, 2008.
- [4] D. Schwingel et. al. **Aluminium foam sandwich structures for space applications**. *Acta Astronautica*, n. 61, pp. 326-330, 2007.
- [5] J. Banhart, H. W. Seeliger. **Aluminium Foam Sandwich Panels: Manufacture, Metallurgy and Applications**. *Advanced Engineering Materials*, n. 9, v.10, pp. 793-802, 2000.
- [6] Banhart J.. **Manufacturing routes for metal foams**. *Journal of Metals*. V. 52, p. 22-27, 2000.
- [7] Wadley, H. N. G., **Cellular Metals Manufacturing**. *Advanced Engineering Materials*. V. 4, n. 10, p. 723-733, 2002.
- [8] J. Banhart. **Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams**. *Progress in Materials Science*. n.46, pp. 559-632, 2001.