

Materiais

Como são obtidas as espumas metálicas para formação de estruturas do tipo sanduíche

As estruturas-sanduíche são identificadas como uma nova classe de material, mais leve, que se soma aos recursos já existentes na busca por componentes de menor peso e com alta resistência mecânica. O desenvolvimento de novas tecnologias na indústria automobilística tem sido fortemente influenciado pela necessidade de redução do consumo de combustível, que passa necessariamente pela utilização desses materiais. Dentre eles destacam-se as estruturas formadas com espumas metálicas, particularmente com matriz de alumínio para aplicações em automóveis e trens, atingindo até a indústria aeronáutica, caso em que é necessário aliar a redução de peso à confiabilidade estrutural. Este trabalho visa esclarecer como são obtidas essas espumas e contribuir para a melhor utilização das estruturas-sanduíche, tanto pela indústria automobilística como naval e aeronáutica.

S. E. Silveira Netto, L. R. Neto e L. Schaeffer

Em chapas-sanduíche metálicas, a estrutura intermediária é porosa (figura 1) e conhecida como espuma metálica. Ela propicia uma larga gama de aplicações industriais e tem suas propriedades físicas determinadas pela sua natureza metálica em combinação com a sua estrutura celular (aberta ou fechada), o que resulta em

excelente desempenho em diferentes aplicações industriais.

Estado da arte

Redução de peso

No ano de 2004, o setor de transportes como um todo foi responsável por cerca de um

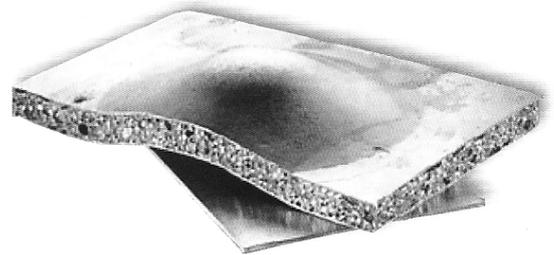


Fig. 1 – Chapa sanduíche⁽²⁾

quarto do consumo mundial de energia primária e pela emissão de quase 8.000 Mt de CO₂. Os veículos automotivos e rodoviários tiveram contribuição razoável com cerca de 75% do consumo total de combustível do setor⁽³⁾. O

Sergio Eglan Silveira Netto é engenheiro mecânico e responsável pelo grupo de estampagem do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). É aluno de doutorado vinculado ao PPGEM/UFRGS e o tema de sua tese é produção de estruturas metálicas mais leves. Luiz Rebelatto Netto é acadêmico de engenharia mecânica na UFRGS e bolsista de iniciação científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Lirio Schaeffer é coordenador do LdTM, professor da UFRGS e pesquisador nível 1A do CNPq. Reprodução autorizada pelos autores.

incentivo à diminuição do consumo de combustível influencia a redução de emissões gasosas que tanto têm agredido o meio ambiente⁽⁴⁾. Estima-se que a redução das emissões mais relevante ocorrerá em 2015, com a completa renovação da frota de automóveis e utilitários. A condição ideal se dará entre 2030 ou 2040, quando também a frota de aviões e trens estará renovada. Para isso, duas rotas têm sido seguidas pela indústria automobilística mais conservadora: a utilização de aços novos e mais dúcteis, propícios para grandes deformações, assim como aços com altíssima resistência e baixíssimo peso. Assim, esforços devem ser direcionados para diminuir a participação nociva deste setor com relação às questões ambientais, razão pela qual estão sendo estudadas pelas indústrias deste segmento tecnologias inovadoras, que permitam reduzir ao máximo o peso dos veículos.

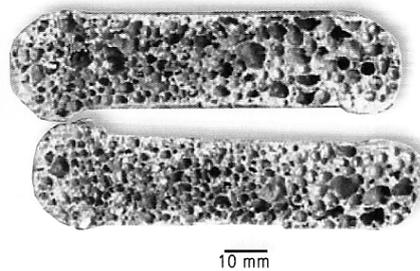


Fig. 2 – Amostra de espuma metálica⁽⁵⁾

Tipos de estruturas-sanduíche: tecnologia inovadora

Estruturas mecânicas conhecidas como espumas metálicas são materiais porosos (figura 2), que apresentam bolhas de gás inseridas em uma matriz metálica.



Fig. 3 – Chapa sanduíche unida por soldagem MIG⁽⁷⁾

A espuma forma o miolo das chapas-sanduíche. Devido à presença da espuma no miolo, as chapas-sanduíche apresentam combinações de propriedades mecânicas e físicas muito interessantes. A elevada rigidez estrutural da camada externa – determinada por um ensaio de compressão – aliada à absorção de energia térmica da espuma metálica é um bom exemplo de vantagem deste material composto⁽⁶⁾. Para as chapas exteriores pode-se optar por aço ou alumínio⁽⁷⁾. No caso de chapas exteriores de alumínio, com baixo peso específico, busca-se como vantagem principal a redução de peso. Nessa situação, a resistência mecânica é posta em segundo plano. Já quando se opta por chapas externas de aço busca-se aproveitar, junto com o baixo peso, a sua resistência mecânica. Outra vantagem das chapas-sanduíche é a capacidade de redução de ruído, amortecimento de vibrações e isolamento térmico provenientes da espuma. Estas

Materiais

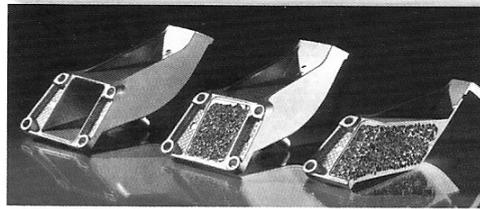
chapas podem ser unidas entre si por soldagem a *laser*, TIG, MIG (figura 3, pág. 47) ou por rebites e parafusos.

O aproveitamento das espumas dentro de componentes ocios como tubos com perfis cilíndricos ou retangulares também é possível (figura 4). Isto acarretaria um aumento da resistência à torção aliado a uma maior estabilidade mecânica sem aumento significativo do peso.

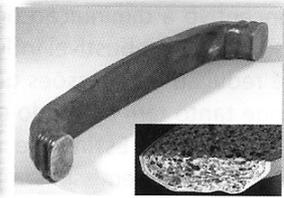
Assim como as chapas-sanduíche com miolo de espuma metálica, os componentes preenchidos com espuma também apresentam redução de ruídos, melhor absorção de impacto e isolamento térmico, pois as bolhas presentes nas espumas representam a ausência de material sólido.

Obtenção da estrutura-sanduíche

A espuma é produzida via metalurgia do pó⁽⁵⁾, a partir do pó de alumínio fornecido pela Alcoa e do hidreto de



a) Peça do motor de um automóvel BMW⁽⁸⁾



b) Estrutura preenchida com espuma⁽⁹⁾

Fig. 4 – Espuma metálica como preenchimento de perfis ocios

titânio produzido no LdTM/UFRGS. Misturam-se os dois pós em um moinho de bolas e depois as amostras são compactadas e levadas ao forno com temperatura superior à de fusão do alumínio. A esta temperatura ocorrem um fenômeno termodinâmico (o alumínio se torna líquido) e outro metalúrgico (a dissociação

do hidreto de titânio em gás de hidrogênio e titânio), o que provoca a expansão da espuma. A estrutura-sanduíche é confeccionada a partir da colocação da amostra compactada entre chapas de alumínio ou de aço e do posterior aquecimento até a expansão.

Por meio desta técnica podem ser obtidos sanduíches de espuma de alumínio entre chapas (externa superior e/ou inferior) de aço, titânio ou alumínio⁽²⁾, na forma de uma estrutura com três camadas.

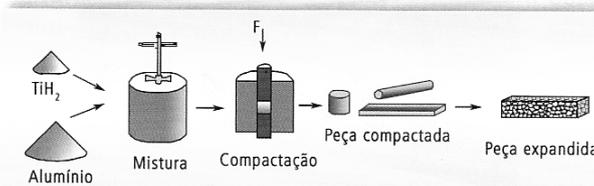


Fig. 5 – Esquema de obtenção de espuma metálica entre chapas

Potencial de utilização das estruturas-sanduíche

Existem duas rotas principais de utilização das estruturas-sanduíche. A primeira trata da colocação da espuma como enchimento de perfis tubulares (figura 4, pág. 48) e a outra como “miolo” entre chapas (figura 6). No primeiro caso a espuma é inserida em um perfil tubular buscando aumentar a resistência ao amassamento devido à elevada quantidade de massa associada à redução do peso da estrutura final, uma vez que a combinação entre espuma e tubo é mais leve do que um perfil tubular maciço.

No caso das chapas também objetiva-se a redução de peso, sempre com a intenção de manter a resistência mecânica do conjunto, semelhante a uma chapa de aço⁽⁹⁾. Na figura 7 são apresentados exemplos de partes de um automóvel que

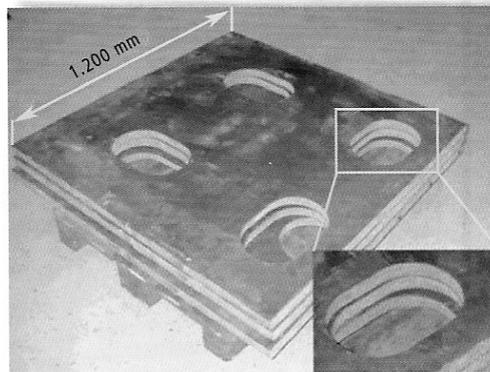


Fig. 6 – Chapa sanduíche feita com utilização de espuma metálica⁽⁹⁾

podem ser substituídas com o uso de chapas-sanduíche. São partes relacionadas com o as-

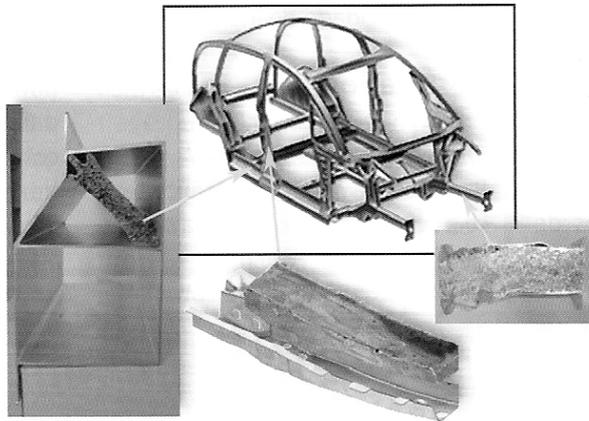


Fig. 7 – Amostras de onde utilizar chapas sanduíche em automóveis⁽¹¹⁾

soalho, a sustentação das portas, do teto, do capô e das longarinas. Também é possível obter componentes mecânicos como, por exemplo, o quadro de bicicletas esportivas (figura 8, pág. 50), bóias marinhas (figura 9, pág. 51), plataformas elevatórias, plataformas de antena e compartimentos pirotécnicos. Também no caso das máquinas pesadas, aproveita-se a capacidade de amortecimento de ruído e vibração.

As aplicações de chapas-sanduíche na indústria aeroespacial são semelhantes às encontradas na indústria automobilística. A substituição de estruturas do tipo favo de mel por espuma metálica (tanto de alumínio como titânio) entre chapas tem sido testada pela empresa Boeing. Também na indústria espacial se utiliza a estrutura-sanduíche. Aproveita-se na absorção

Materiais

de energia (calços para aterrissagem de veículos espaciais) e no reforço nas estruturas de coleta de amostra nos satélites. Neste caso opta-se por ligas de LiMg para confecção das espumas devido às condições adversas encontradas no espaço⁽¹⁰⁾.

Infra-estrutura

O LdTM conta com duas células de carga confeccionadas internamente para medir forças de compactação e/ou compressão e sensores de deslocamento para acompanhar a variação de altura das amostras durante a compactação e/ou compressão. As medições de força e deslocamento do punção tanto durante a compactação como posteriormente, nos ensaios de

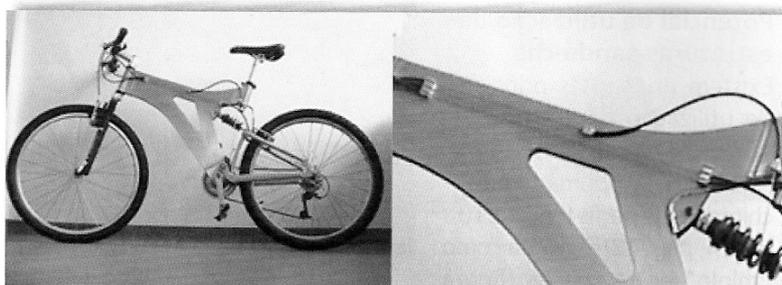


Fig. 8 – Amostras da aplicação de chapas-sanduíche em bicicletas⁽¹¹⁾

compressão, são feitas nas prensas disponíveis no LdTM.

Para a expansão das espumas no LdTM utiliza-se o forno Heraeus com capacidade de 1.300°C.

Resultados

Obtenção da espuma

Para obter a espuma metálica fez-se a compactação, em uma matriz

cilíndrica, de várias amostras de pó de alumínio combinado com hidreto de titânio. Essas amostras compactadas foram levadas ao forno por um tempo de 15 minutos para serem espumadas (expandidas). Fez-se uma avaliação para determinar qual pressão de compactação permite a formação de espuma. Foram registrados a força e o movimento do punção

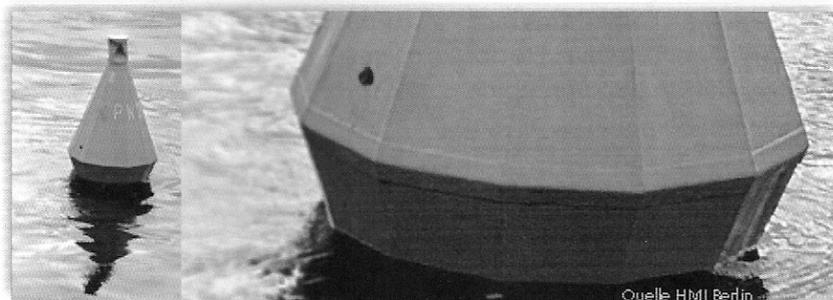


Fig. 9 – Amostras de aplicação de chapas-sanduíche em bóias marinhas⁽¹¹⁾

durante a compactação. Constatou-se que o melhor resultado de força de compactação para estas amostras, em números redondos, foi de 160 kN.

A escolha da força de compactação foi baseada no aumento do comprimento ou da expansão linear. Com forças menores não há compactação suficiente do pó de alumínio, isto é, à medida que a amostra tem sua temperatura elevada, dentro do forno, o hidrogênio escapa de dentro da amostra, o que impede a formação das bolhas. Com forças na faixa de 160 kN houve expansão das amostras.

Na figura 10a vê-se uma amostra compactada sendo espumada dentro do forno. Nas figuras 10b e 10c pode-se ver a amostra no instante em que foi retirada do forno. A maior expansão obtida foi de quatro vezes. Tem-se a figura 10c, que corresponde a uma das melhores amostras espumadas. Nesta figura mos-

tra-se uma comparação entre a amostra a ser espumada e a já espumada.

Densidade da espuma

Para estimar a densidade das amostras espumadas utilizou-se o princípio de Arquimedes. Constatou-se uma relação praticamente linear entre a densidade dos corpos-de-prova espumados e a expansão linear das respectivas amostras (figura 11, pág. 52).

A expansão linear (equação 1) corresponde à razão entre a variação do comprimento da espuma e o comprimento inicial da amostra compactada.

$$\text{Expansão linear} = \frac{h1 - h0}{h0} \quad (1)$$

Obtenção da chapa sanduíche

Após a obtenção das amostras cilíndricas foram feitos ensaios com



Fig. 10 – Espuma sanduíche

Materiais

amostras retangulares. Partindo de uma matriz de compactação retangular buscou-se manter a pressão de compactação. E com amostras retangulares compactadas, objetivou-se produzir os sanduíches (figura 12, pág. 53). Para isso, uma amostra compactada foi levada ao forno e inserida entre chapas de aço para expansão e, no mesmo momento, obtenção da adesão entre amostra em expansão e chapas externas. O procedimento foi o mesmo executado para obtenção da espuma.

O material das chapas externas é aço carbono com 0,75 mm de

espessura e é chamado de aço de estampagem média. Ele foi escolhido devido a seu ponto de

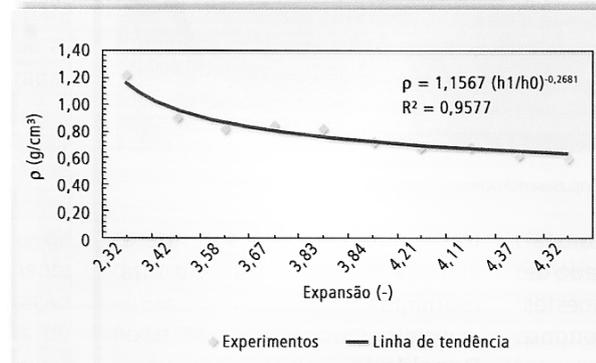


Fig. 11 – Relação entre densidade e expansão das espumas metálicas

fusão ser superior ao da espuma. As dimensões da chapa-sanduíche encontram-se na tabela 1 (pág. 53).

Com os dados da tabela 1 chega-se a um volume de $31,06 \text{ cm}^3 \pm 0,33 \text{ cm}^3$. A massa do sanduíche obtido (figura 5.9) é de $44,36 \text{ g} \pm 0,02 \text{ mg}$. A densidade da chapa sanduíche é $1,42 \text{ g/cc} \pm 0,04 \text{ g/cc}$. Tem-se então uma chapa com densidade 5,5 menor que a do aço ($7,88 \text{ g/cc}$) e 1,9 vezes menor que a do alumínio ($2,7 \text{ g/cc}$).

Conclusões

As estruturas do tipo sanduíche são identificadas como uma nova classe de material, mais leve, que desperta grande interesse devido ao seu



Fig. 12 – Chapa-sanduiche

desempenho mecânico. A chapa-sanduiche obtida neste trabalho tem uma densidade 5,5 menor que a de uma chapa de aço. Comparada com uma chapa de alumínio, tem densidade quase duas vezes menor. Logo, trata-se de um material inovador e mais leve, que pode levar à redução do peso de toda a estrutura em que vier a ser utilizado. Este artigo tem por objetivo contribuir

Tab. 1 – Dimensões da estrutura-sanduiche obtida

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
12,76 ± 0,07	44,18 ± 0,90	55,11 ± 0,27

para a obtenção e melhor utilização dessas estruturas-sanduiche em nível nacional, tanto pelas indústrias automobilísticas como naval e aeronáutica.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo financiamento das bolsas. À Alcoa pelo fornecimento de matéria-prima para confecção deste trabalho. Aos bolsistas Dhiones Marca e Guilherme Barbieri pelo auxílio nos experimentos.

Referências

- 1) YANG, C. C.; NAKAE, H. Foaming characteristics control during production of aluminium alloy foam. *Journal of Alloys and Compounds*, 313, 2000, p. 188-191.
- 2) BANHART, J. Manufacturing routes for metallic foams. *Solidification Science*, 2000. p.22-27.
- 3) HELMS, H.; LAMBRECHT, U. *Energy savings by light-weighting - II: Final Report*. Heidelberg: Institute for Energy and Environmental Research, jun. 2004.
- 4) RICHTER, A. Advanced steel solutions for future car-bodies. In: VIII Conferência Nacional de Conformação de Chapas. *Anais*. Porto Alegre: Gráfica Metrópole, 2005, p. 41-52.
- 5) HAAG, F. C.; GALIO, A. F.; SCHAEFFER, L. Uniaxial Compression tests of aluminium foams. *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, v. 216, part B. *J. Engineering Manufacture*, 2002. p. 633-636.
- 6) PAPADOPOULOS, D. P.; KONSTANTINIDIS, I. CH.; PAPANASTASIOU, N. Mechanical properties of Al metal foams. *Materials Letters*, 58, 2004, p. 2574-2578.
- 7) Banhart, J.; BEICHEL, C.; SEELIGER, W. Aluminum Foam Sandwich Panels (AFS). Disponível no site <http://www.karmann.com>. Data de acesso: 19 de dezembro de 2002.
- 8) BANHART, J. Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*, n. 46, 2001, p. 559-632.
- 9) NEUGEBAUER, R.; HIPKE, T. Foam Production-Experimental Property Analysis. Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik Disponível em: <http://www.iwu.fraunhofer.de/schaumzentrum/english/index.htm>. Data de acesso: 09 de outubro de 2005.
- 10) DUARTE, I. *Espumas metálicas: processo de fabrico, caracterização e simulação*. Tese para doutoramento em Ciências de Engenharia. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Portugal). Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, 2005.
- 11) www.metalfoam.net. Acesso em 15 de janeiro de 2006.