



**Pesquisa**  
**Os fornecedores**  
**de ferramental**

**Materiais**  
**Chapas de alta resistência**  
**laminadas a frio**

**Uma análise**  
**da ZTA no**  
**corte a plasma**  
**de aço-carbono**

**Tolerâncias**  
**dimensionais**  
**e de forma**  
**na estampagem**



## Tecnologia

# Estruturas leves do tipo chapas-sanduíche com espuma de alumínio

As chapas do tipo sanduíche de alumínio são constituídas por um "recheio" de alumínio com alta porosidade (espuma) e por duas faces de chapas feitas nesse mesmo material ou em aço, que podem ser obtidas por diversas formas. Recentemente essas estruturas leves vêm ganhando maior campo de aplicação e despertando o interesse de indústrias e institutos de pesquisa. A espuma metálica pode ser produzida com a mistura de pó de alumínio e um agente espumante, que posteriormente é expandido por meio de um processo termicamente ativado. Este artigo apresenta os resultados obtidos em uma pesquisa sobre a fabricação de espumas e de chapas-sanduíche para aplicação industrial, realizada no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM/UFRGS).

P. O. Bonaldi e L. Schaeffer

**A**s estruturas do tipo sanduíche em alumínio, também conhecidas no inglês como AFS (*aluminium foam sandwich*), podem ser usadas para produzir peças em diversas formas. Essas formas vão desde simples produtos planos, como mostra a figura 1a, até geometrias mais complexas (figura 1b), que dependem do processo empregado para a obtenção da estrutura. As estruturas leves do tipo sanduíche podem apresentar boas



Fig. 1 - Exemplos de aplicação de estruturas-sanduíche

características de compressão, torção e flexão, além de ser um material com propriedades de isolamento acústico e térmico, devido à sua alta porosidade, e com uma grande vantagem que é a redução de peso.

Existem atualmente cerca de 150 instituições trabalhando com espumas metálicas pelo mundo, a maioria concentran-

do os estudos em sua caracterização e fabricação. Várias empresas estão desenvolvendo e produzindo essas estruturas, como a Alporas (Japão), a Cymat (Canadá) e a Alulight (Alemanha), entre outras. Essa nova classe de material está sendo utilizada em diversas aplicações industriais, como estruturas leves, implantes

Patrik Oliveira Bonaldi (contato por e-mail: patrik.bonaldi@ufrgs.br) e Lirio Schaeffer são pesquisadores no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), vinculado à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Reprodução autorizada pelos autores.



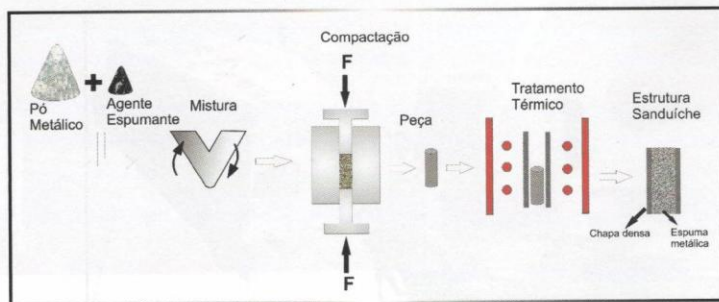


Fig. 2 – Esquema do processo de obtenção de estruturas-sanduíche de alumínio

biomédicos, filtros, eletrodos, absorvedores de ruído e vibração, trocadores de calor e absorvedores de energia. O aumento desse interesse pode ser visto pelo crescimento anual de 20%, desde 2000, nas publicações sobre o tema. A Alulight atualmente está produzindo 100.000 componentes de "crashabsorber" para a Audi por ano<sup>(1)</sup>. Já a Alcoa (EUA) entrou em 2006 no mercado de espumas de alumínio, apresentando um novo método de fabricação. No Brasil não existiam, até o momento da confecção deste artigo, empresas fabricantes de espumas de alumínio, o

que amplia a importância das pesquisas do LdTM, tendo em vista as suas crescentes possibilidades de aplicação industrial.

### Método de obtenção da estrutura-sanduíche

As espumas metálicas podem ser produzidas de diversas formas, e uma delas é a metalurgia do pó<sup>(2)</sup>. Nesta técnica, a espuma metálica é obtida a partir da mistura do pó metálico (no caso, o alumínio) com um agente espumante, que neste caso é o hidreto de titânio ( $TiH_2$ ) produzido no próprio LdTM/UFRGS. Essa mistura é

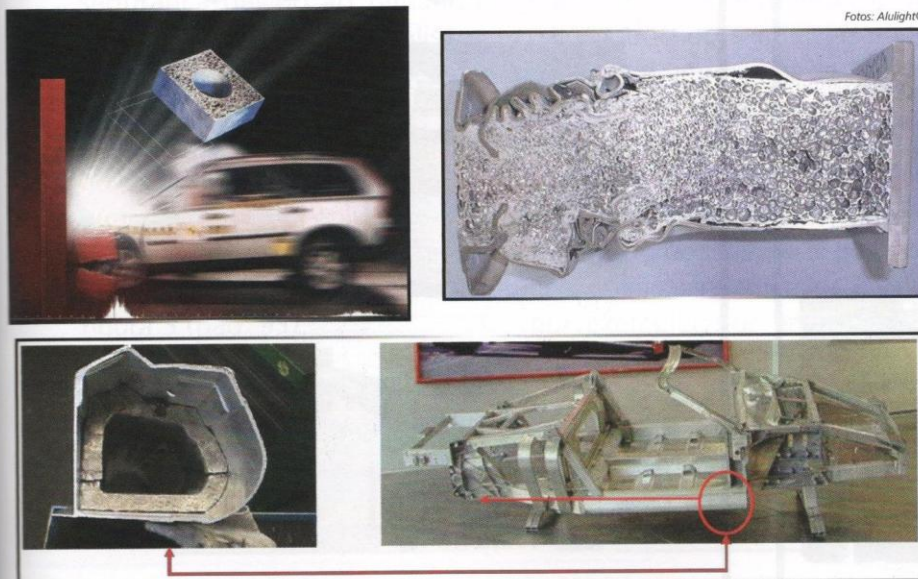
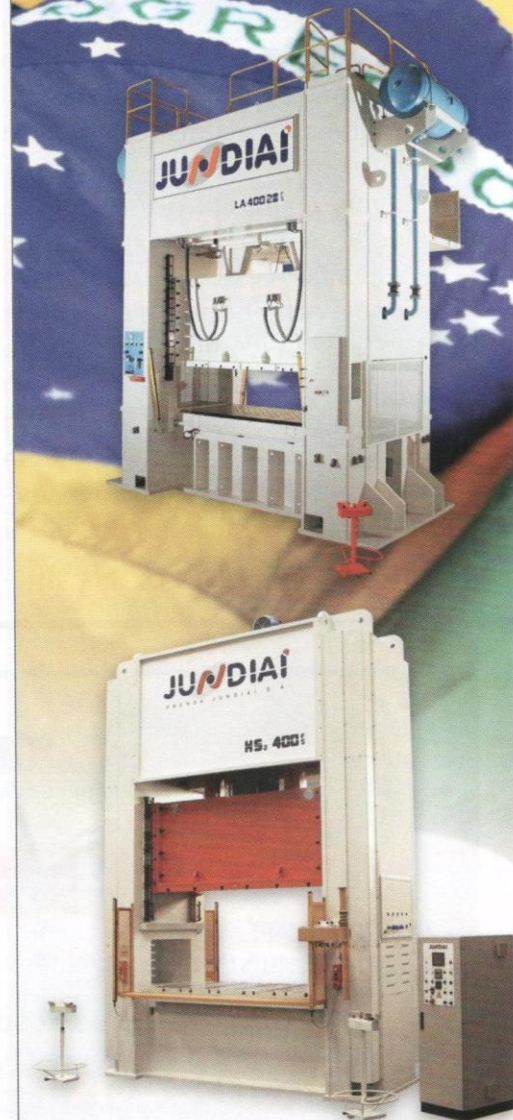


Fig. 3 – Exemplos de aplicação na indústria automotiva

## 60 anos de tecnologia e inovação, estampadas na história do Brasil.

Qualidade e tecnologia tem nome e marca registrada no mercado. Prensa Jundiaí, há 60 anos comprometida com a sua produtividade e o seu progresso.



# JUNDIAI

Rod. Edgard Máximo Zamboto Km 55  
nº 5500 - Campo Limpo Paulista - SP  
Tel.: 11 4039.8200  
vendas@prensajundiai.com.br  
www.prensajundiai.com.br



## Tecnologia

compactada uniaxialmente e chega a uma densidade relativa de 0,95, o que é suficiente para que o gás gerado na etapa de espumação fique aprisionado. Em seguida a estrutura é levada a um forno com temperatura superior ao ponto de fusão do alumínio, sob a qual ocorre um fenômeno de dissociação do hidreto de titânio em hidrogênio e titânio, provocando a geração de gás e a expansão da espuma. A estrutura-sanduíche pode ser obtida colocando a estrutura compactada junto às chapas de alumínio ou aço no forno<sup>(3)</sup>, como o mostrado pela figura 2 (pág. 93). Essa estrutura-sanduíche pode então ser utilizada como está ou transformada por conformação

para que se obtenham peças nas mais variadas formas.

### Aplicação

Muitas aplicações são possíveis com as espumas metálicas e

chapas-sanduíche, algumas delas são descritas a seguir.

### Indústria automotiva

A crescente demanda pela segurança nos automóveis levou, em muitos casos, a um maior



Fig. 4 - Controle de vibração em máquinas de usinagem

Foto: Schlitten

Chapa-sanduíche de aço e espuma de alumínio



Prensa Excêntrica de 630 ton adquirida com previsão de chegada para Março/2011

**LICAV**  
CONFORMAÇÃO DE METAIS

ISO 9001

BUREAU VERITAS  
Certification



### PARA AUMENTAR SEUS RESULTADOS?

A Licav tem a solução ideal para sua empresa na terceirização de serviços de estamparia e no desenvolvimento de novos produtos de estamparia.

Possui prensas Excêntricas de 12 à 400 toneladas com até 200 GPM e ferramentaria própria, proporcionando para seus clientes desempenho máximo nas entregas e na qualidade dos produtos.

Entre em contato conosco, seja nosso parceiro.



**LICAV**  
CONFORMAÇÃO DE METAIS

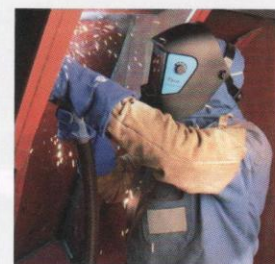
Rod. SP 330 Via Anhanguera  
Km 145 - Limeira - SP -Brasil  
Fone: +5519.3446-4455  
www.licav.com.br



**Tbi Industries**

Ready for Tomorrow

■ Inovação ■ Ética ■ Qualidade ■ Confiança ■ Tradição



■ MIG/MAG ■ WIG/TIG ■ PLASMA ■ ROBOTIC ■ HIGH-END

www.tbi-brasil.com 31 3303 5600 tbi@tbi-brasil.com **KEMPER Focus**





Fig. 5 - Exemplo de aplicação aeroespacial<sup>(4)</sup>

peso do veículo. O conflito entre as novas exigências para o baixo consumo de combustível e para o aumento da segurança gera a necessidade de medidas adicionais de redução de peso. Além disso, especialmente na Europa e no Japão, os automóveis menores são desejados. A redução de peso, no entanto, não deverá diminuir o espaço do compartimento do passageiro, e por esse motivo tenta-se criar motores compactos ou reduzir outras estruturas para manter o conforto dos passageiros. Isso cria novos problemas com a dissipação de calor no compartimento do motor, já que todos os componentes são estreitamente espaçados, ou leva a falhas de segurança devido ao tamanho reduzido das zonas de colisão. Por último, a necessidade de se reduzir a emissão de barulho dos automóveis levou à procura de novos absorvedores de ruído. Alguns exemplos de aplicação das chapas-sanduíche no segmento automotivo são mostrados na figura 3 (pág. 93).

### Controle de vibração

As vibrações indesejáveis de uma construção (máquinas, veículos etc.) podem causar danos e levar à emissão excessiva de ondas acústicas (ruído). Como o módulo de Young das espumas de metal é mais baixo, se comparado com o correspondente metal sólido, a frequência de ressonância de uma estrutura de espuma metálica é geralmente mais baixa em comparação com uma construção convencional. Um exemplo dessa aplicação é mostrado na figura 4 (pág. 94).

### Indústria aeroespacial

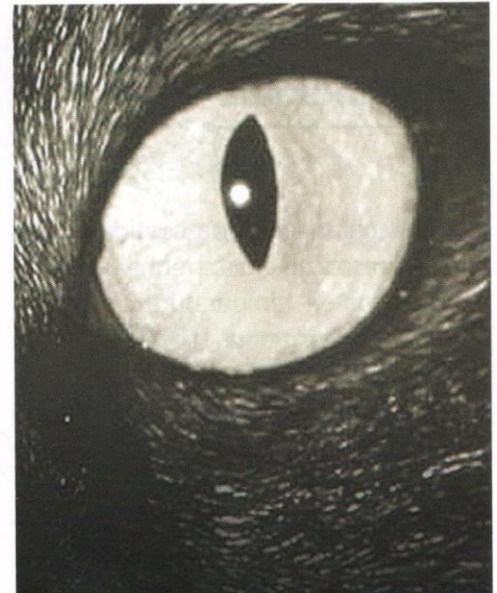
A substituição das estruturas por placas de espuma metálica ou painéis do tipo sanduíche pode conduzir a um melhor desempenho e a custos reduzidos<sup>(4)</sup>.

### Utensílios de cozinha

Em uma panela ou uma frigideira, o calor é fornecido a partir de baixo de uma maneira muito localizada, por exemplo, por uma chama.



Fig. 6 - a) Panela convencional, b) panela de chapas-sanduíche e c) condutividade de calor na estrutura-sanduíche<sup>(5)</sup>



## Deixe-nos FIXAR os olhos em você!

Desde 1974 a **SPECIALINSERT** tem se despojado como um dos principais fabricantes e distribuidores europeus de sistemas de fixação para peças em chapas metálicas, peças prismáticas, materiais plásticos e compósitos.



## Specialinsert

Sistemas avançados de fixação

[www.specialinsert.it](http://www.specialinsert.it)  
[export@specialinsert.it](mailto:export@specialinsert.it)

PROCURAMOS DISTRIBUIDORES

Milão (Itália)  
+39 02 646 8476

Torino (Itália)

Maerne di Martellago  
(VE-Itália)





## Tecnologia

Preparar uma boa comida muitas vezes exige que se tenha uma área maior de temperatura constante. Usualmente na face inferior da chapa o transporte de calor é direcionado transversalmente, devido à alta condutividade da liga de alumínio convencional, mais densa. O transporte através da camada de espuma será muito mais lento. A condutividade térmica da espuma é cerca de 20 vezes menor do que a do material mais denso<sup>(5)</sup>.

### Resultados obtidos no LdTM

As espumas metálicas produzidas no LdTM são obtidas a partir da mistura de pó de alumínio e hidreto de titânio, em uma proporção determinada. Essa

mistura é compactada em uma matriz cilíndrica e posteriormente levada ao forno para aquecimento a uma temperatura próxima de 700°C por um determinado

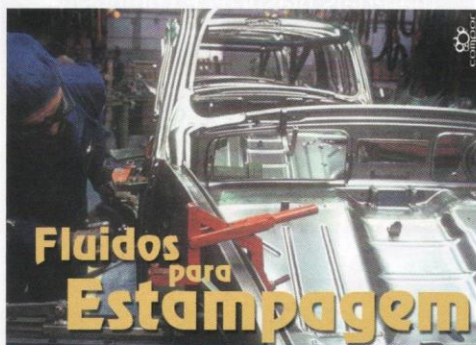


Fig. 7 - Amostra de espuma metálica de alumínio obtida no LdTM

tempo, o que proporciona a expansão da espuma e resulta em uma alta porosidade, de aproximadamente 70%. Os melhores resultados foram obtidos com

uma pressão de compactação de 450 MPa e tempo no forno de 15 minutos. A figura 7 traz uma amostra de espuma metálica de alumínio obtida de dentro de um tubo de aço inoxidável, na qual observa-se uma alta porosidade, que pode variar conforme alguns parâmetros, como força de compactação, tempo e temperatura de espumação e tamanho da partícula de pó<sup>(6)</sup>.

Após a obtenção de amostras de espumas com densidades variadas, foi realizado um ensaio mecânico de compressão uniaxial, no qual os níveis de densidade foram medidos pelo princípio de Arquimedes. Os resultados são mostrados na figura 8 (pág. 97). Observa-se que uma maior porosidade proporciona



## Fluidos para Estampagem

Fluidos sintéticos, biodegradáveis, não tóxicos e secativos.

**TecnoFluid**  
Tecnologia em Fluidos Industriais

Há 20 anos, a Betim Química está presente nas maiores estamparias do país. Através de sua Linha TecnoFluid, fornece fluidos para processos industriais como conformação e estampagem, usinagem, proteção, desengraxe e desmoldagem.

Elabora seus produtos com o melhor custo benefício, atendendo a todas as demandas operacionais, respeitando sempre o Homem e o Meio Ambiente.

Solicite uma visita técnica ou acesse o site.



[www.betimquimica.com.br](http://www.betimquimica.com.br)

Av. Ápio Cardoso, 1305 - Cincão - Contagem/MG  
CEP: 32371-615 - Fone: 55 31 3358 8500

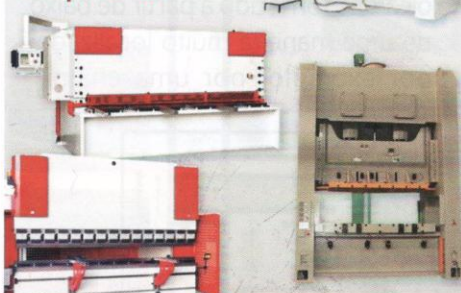
## KLM

**KLM Manutenção de Máquinas Indl. Ltda.**

Manutenção preventiva, corretiva e emergencial, assim como geometria geral em prensas horizontais, verticais, de ação de joelho, de fricção (PF), tipo "C", "H", mecânicas, hidráulicas, etc.

Dobreadeiras, guilhotinas, dupla coluna (portais), centro de usinagem, fresadora CNCs em geral.

Todas nacionais e importadas



Tel.: || 2012-2987 Fax: || 2019-3165  
[www.klmmanut.com.br](http://www.klmmanut.com.br) | [klmmanut@klmmanut.com.br](mailto:klmmanut@klmmanut.com.br)

Av. Nossa Senhora do Desterro, 29 | Jd. Sta. Adélia  
CEP 03973-070 | São Paulo | SP

## SOS LASER

[www.soslaser.com.br](http://www.soslaser.com.br)

### Peças e Acessórios para Máquinas de Corte a Laser

- Lentes • Espelhos • Bicos para corte • Filtros
- Cerâmicas • Papéis para limpeza • Óleos
- Exclusiva lente Black Magic e Clear Magic



Clear Magic

Lente Similar à Black Magic com laser visível.  
Absorção igual ou inferior a 0,13%  
Indicado para alta potência (acima de 4000w).

Consumíveis

Central de vendas  
11 4229-4029 - 11 4229-3957

Representantes:

Interior São Paulo:  
19 9179-2466 - 19 9784-3373

Paraná-SC: 41 3332-4373 41 8423-9575

Rio Grande do Sul:  
Serra Gaúcha 54 3227-5550  
Porto Alegre 51 9807-8520  
Sta Rosa/Horizontina 55 9659-3500



uma maior deformação, com tensão praticamente constante. É possível observar que a tensão apresenta pequenas oscilações, um comportamento típico de espumas devido à 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 é a densidade relativa da espuma, menor é a tensão de escoamento, porém a energia absorvida pode ser semelhante à de espumas com maior densidade, com a vantagem de ter um menor peso.

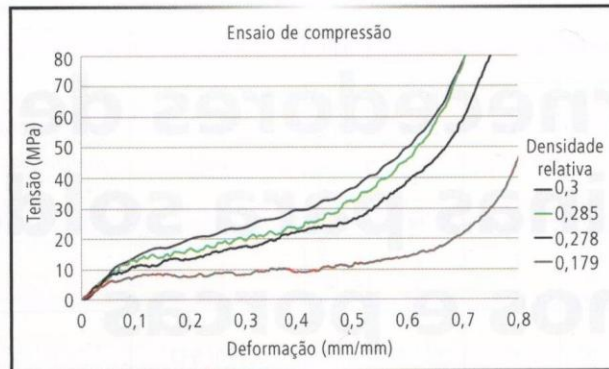


Fig. 8 – Ensaio de compressão da espuma metálica de alumínio

## Conclusão

As estruturas do tipo sanduíche são uma classe inovadora de material mais leve, que vem despertando interesse e ganhando novas aplicações, haja visto o aumento do número de instituições trabalhando nesta área. As espumas metálicas obtidas neste estudo possuem densidade até 5,5 vezes menor quando comparadas ao material denso convencional. Isso mostra que se trata de um material leve, que pode levar à redução de peso

em estruturas em geral. Outra grande vantagem é a absorção de energia observada durante a sua deformação, que pode ser de grande utilidade em aplicações que demandam amortecimento em caso de colisão ou impacto.

## Referências

- 1) J. BANHART et. al. Porous metals and metallic foams: Current status and recent developments. *Advanced Engineering Materials*, n. 9, v. 10, p. 775-792, 2008.
- 2) C. YANG, H. NAKAE. Foaming characteristics control during production of aluminium alloy foam. *Journal of Alloys and Compounds*, n. 313, p. 188 – 191, 2000.
- 3) J. BANHART. Manufacture, characterisation and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*. n. 46, p. 559–632, 2001.
- 4) D. SCHWINGEL et. al. Aluminium foam sandwich structures for space applications. *Acta Astronautica*, n. 61, p. 326 – 330, 2007.
- 5) J. BANHART, H. W. SEELIGER. Aluminium Foam Sandwich Panels: Manufacture, Metallurgy and Applications. *Advanced Engineering Materials*, n. 9, v.10, p. 793-802, 2000.
- 6) Z. WANG. Effect of heat treatments on the crushing behaviour and energy absorbing performance of aluminium alloy foams. *Materials and Design*. n. 30, p. 977–982, 2009.

**MESSER**

Cutting Systems

Líder em tecnologia e qualidade

**OmniMat**<sup>®</sup>  
para cortes em chanfro



### AGORA FABRICADA NO BRASIL

- Capacidade para até três cabeçotes chanfradores com processo plasma (Skew Rotator)
- Cabeçotes chanfradores com processo oxicorte
- Dispositivo de furação com trocador automático para até 12 brocas
- Marcadores por jato de tinta, punção e plasma
- Máquina de corte térmico CNC com capacidade para até 32 eixos
- Alta dinâmica e velocidade de posicionamento de até 35m/min
- Financiada por FINAME ou Leasing

Seu melhor investimento em cortes

Tel. (11) 4525 6680  
info@messer-cs.com.br  
www.messer-cs.com.br

**MESSER**  
Cutting Systems