

## Materiais

# Aplicação de estrutura de alumínio em núcleos de peças estampadas

A combinação das propriedades dos materiais metálicos com materiais celulares deu origem às espumas metálicas, que possuem uma porosidade superior a 70% em sua estrutura. Para obtenção desses materiais são utilizadas ligas metálicas, em estado líquido ou em forma de pó. Este trabalho investiga o emprego de espumas de alumínio, produzidas por compactação de pós-metálicos com adição de  $TiH_2$ , para a confecção de estruturas do tipo sanduíche. Essa estrutura celular de alumínio é usada como núcleo das peças do tipo sanduíche, que foram feitas a partir de chapas AISI 1010 com espessura de 0,4 mm, sendo estampadas em seguida. O objetivo do estudo foi avaliar a viabilidade da estampagem de chapas para obtenção de estruturas do tipo sanduíche.

*A. Tavares, U. Boff, R. Agustini e L. Schaeffer*

**A** aplicação das chamadas “espumas metálicas”, que possuem estrutura do tipo celular, formada a partir de duas fases, vem sendo estudada ao longo dos últimos anos. O termo “espuma”, em seu sentido original, está relacionado à dispersão de bolhas de gás em um líquido. A morfologia das espumas, toda-

via, pode ser preservada durante a solidificação, resultando na chamada espuma sólida. O termo espuma metálica geralmente refere-se a uma espuma sólida, que é mais comumente chamada de “sólidos celulares”. Portanto, trata-se de um material que, ainda em estado líquido, apresenta bolhas gasosas dispersas com certa

homogeneidade, e que preserva essa dispersão ao se solidificar, formando grandes poros<sup>(1)</sup>.

A estrutura porosa vem ganhando cada vez mais aplicações em todo o mundo nas últimas décadas, em substituição a materiais de estrutura sólida rígida, devido às suas propriedades únicas de absorção de impactos e isolamento. Pesquisas sobre o seu comportamento sob taxas de deformação quase estáticas têm sido de grande valia para

André Tavares (andre.tavares@ufrgs.br) é mestrando e Uilian Boff é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGE3M) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Ruth Agustini é acadêmica do curso de Engenharia de Energias, vinculado ao Departamento de Metalurgia da UFRGS; Lírio Schaeffer é professor doutor e coordena o Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da UFRGS. Reprodução autorizada.

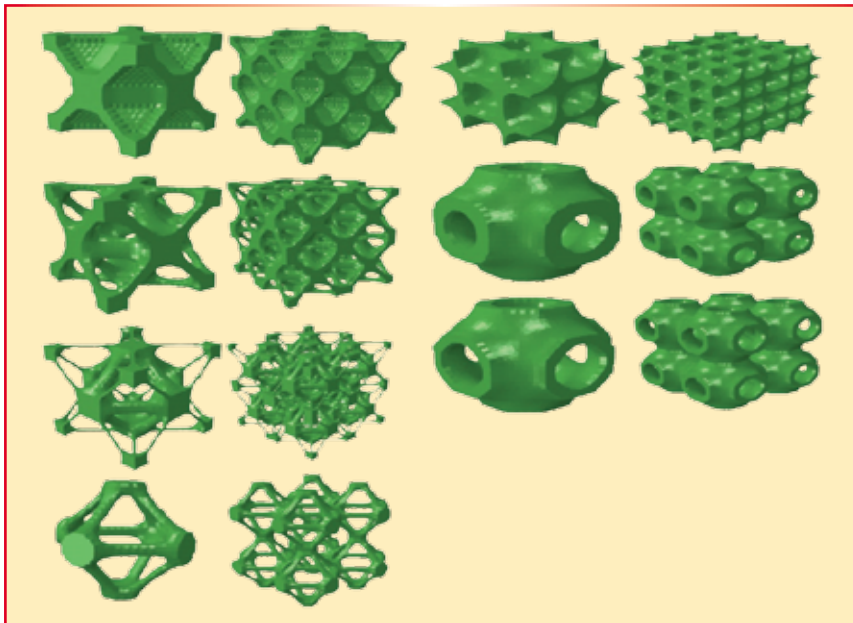


Fig. 1 – Alguns modelos de possíveis estruturas celulares<sup>(3)</sup>

aplicações de engenharia. Seu comportamento mecânico depende principalmente do tipo de material de base escolhido, e essa escolha se refletirá também na densidade relativa ( $\rho/\rho_0$ ) que o material irá adquirir, bem como na morfologia e na topologia da estrutura que será gerada. A figura 1 traz alguns modelos matemáticos de possíveis estruturas celulares<sup>(1, 2, 3)</sup>.

Cabe dizer que essa tecnologia não proporciona uma estrutura completamente homogênea, pois a organização do material celular não pode ser totalmente controlada. Isso resulta em um material com mais de um modelo de estrutura, podendo conter certa predominância, ou mesmo em estruturas sem qualquer predominância, uma vez que a maior parte das tecnologias de produção existentes não permite um controle preciso da

forma com que a estrutura se desenvolve em relação ao tamanho e distribuição de poros celulares. Isso causa uma grande dispersão de características físicas – e também outras – nesses materiais estruturais<sup>(1)</sup>.

### Classificação de estruturas porosas

Um sólido contendo vazios não necessariamente será uma espuma metálica. Quando um metal alcança uma perda de densidade maior ou igual a 30% ele passa a ser considerado da classe dos metais celulares. Já quando

temos uma estrutura com aproximadamente 70% de seu corpo constituído de poros interligados, esse passa a pertencer à classe dos metais porosos.

Quando temos uma estrutura de alta porosidade, com poros bem definidos não interconectados entre si, com formato esférico ou poliédrico, separados por uma fina membrana metálica que mantém a forma e a distribuição dos poros ao longo da estrutura celular ao se solidificar, essa pode ser considerada uma espuma metálica. Já quando temos a interligação dos poros, o material passa a ser chamado de esponja metálica<sup>(4)</sup>.

Para que sejam alcançadas propriedades adequadas nos materiais com estrutura celular, o metal de base deve ser cuidadosamente escolhido de acordo com suas propriedades mecânicas (resistência, rigidez) e térmicas (condutividade térmica). As principais vantagens do material celular em estruturas leves são a sua baixa densidade, isolamento acústico e amortecimento, grau relativamente alto de deformação, elevada absorção de energia, durabilidade a cargas dinâmicas

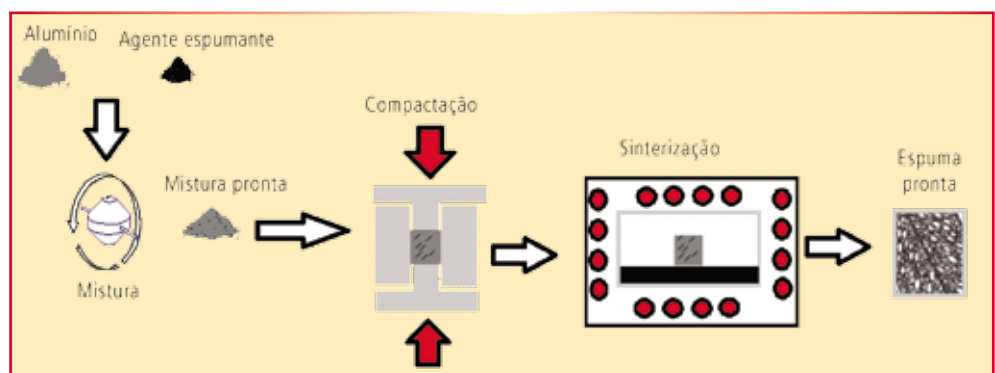


Fig. 2 – Processo de obtenção de espumas metálicas por metalurgia do pó

## Materiais

e fadiga e capacidade de reciclagem<sup>(5, 6)</sup>.

### Meios de se obter espumas metálicas

Atualmente existem dois métodos de obter estruturas celulares em forma de espuma: com o metal fundido ou em forma sólida. No primeiro caso, o metal em estado fundido é preparado para que se possa injetar um gás de forma homogênea no metal líquido, formando bolhas gasosas na massa fundida. Quando ela se solidifica, tem-se a formação de estrutura celular porosa, que pode ou não formar uma espuma, já que não se tem o controle total do processo. No segundo caso a fabricação é feita por metalurgia do pó, com adição do agente espumante<sup>(7, 8, 9)</sup>.

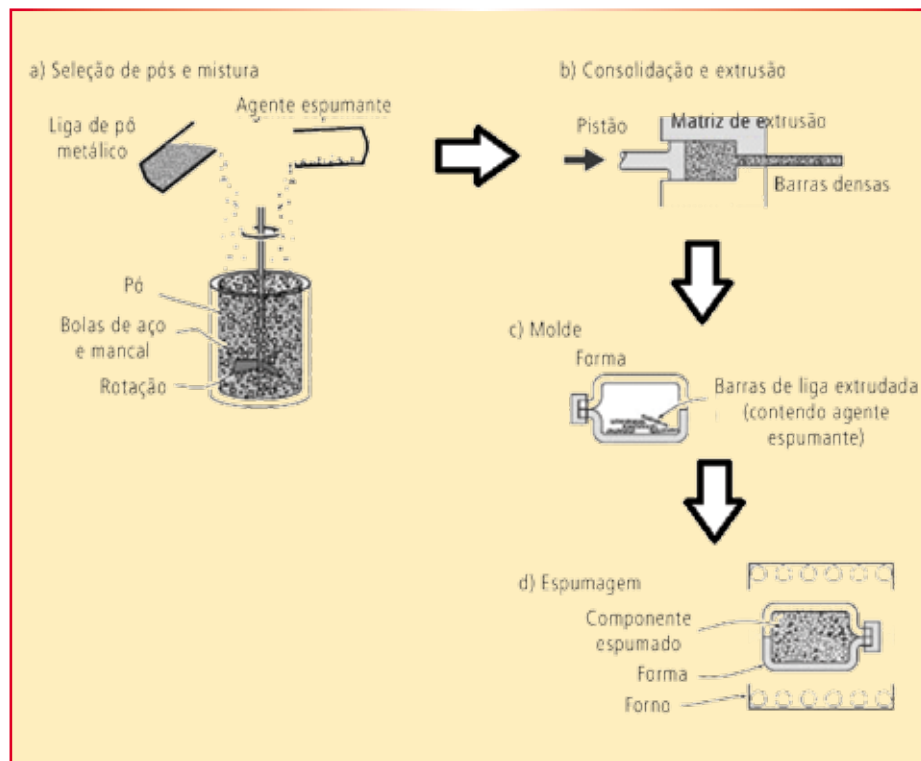


Fig. 3 – Processo de obtenção de espumas metálicas por extrusão de pós metálicos<sup>(14)</sup>

A utilização de espumas metálicas provenientes do alumínio vem sendo estudada há anos, e os primeiros experimentos com esse material foram realizados no início da década de 1940 pelo

cientista Benjamin Sosnick. Nos últimos anos, esse material vem ganhando um maior destaque devido à possibilidade de obtenção de estruturas com características de baixa densidade e alta



## O avanço preciso para sua estamperia!

- ▶ Solução personalizada de negócio
- ▶ Equipamentos de alta performance
- ▶ Equipe técnica capacitada à disposição
- ▶ Pagamento facilitado, cartão BNDES, financiamento bancário



Guilhotina Hidráulica



Alimentador Eletrônico



Linha Compacta 2x1



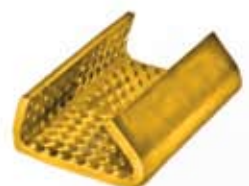
Linha Compacta 3x1

E ainda: Alimentadores Pneumáticos, Desbobinadores e Endireitadores

www.ngautomacao.com.br  
11 3578 5600 • 3645 4448

# Seus produtos pedem nossas embalagens

**Felifer**  
EMBALAGENS



www.feliferembalagens.com.br



www.feliferembalagens.com.br  
+55-11-2966-7444

## Materiais



Fig. 4 – Estruturas do tipo sanduíche:  
(a) Chapas com estrutura tipo sanduíche simples (ALUlight); (b) Estruturas tipo sanduíche complexas (Metcomb Nanostructures).



absorção de energia, podendo ter grande aplicabilidade em veículos automotivos<sup>(10)</sup>.

Para obter alumínio com uma estrutura celular em forma de espuma, os agentes utilizados com mais frequência são o hidreto de titânio ( $TiH_2$ ), o hidreto de zircônio ( $ZrH_2$ ) e o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ), entre outros. Posteriormente esse material é misturado ao alumínio, as pré-formas são compactadas e levadas a um forno, onde o metal ganha energia térmica para se transformar. Lá, o agente espumante se transforma em gás, ocasionando a expansão do material e a formação de poros. A figura 2 (pág. 51) demonstra esse processo<sup>(8, 11)</sup>.

Uma outra técnica, que associa a metalurgia do pó e a extrusão de perfis, é usualmente empregada, e nela as paredes da fiação, juntamente com o pistão, são responsáveis por compactar o pó e dar a ele

uma leve resistência mecânica. Posteriormente, esses corpos são cortados e levados a um forno para que ocorra o processo de espumação. O processo completo utilizando essa técnica pode ser visto na figura 3<sup>(8, 12, 13, 14)</sup>, (pág. 52).

### Estruturas tipo sanduíche em chapas

A principal finalidade de se produzir espumas metálicas é a fabricação de estruturas do tipo sanduíche, como os dois exemplos que podem ser vistos na figura 4. Estruturas

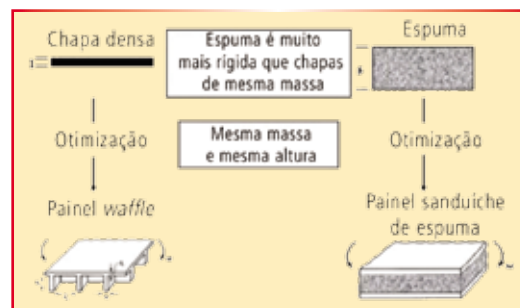


Fig. 5 – Estruturas tipo sanduíche comparadas com estruturas tipo waffle<sup>(18)</sup>

## Materiais



Fig. 6 – Estruturas tipo sanduíche aplicadas à conformação de chapas<sup>(15)</sup>

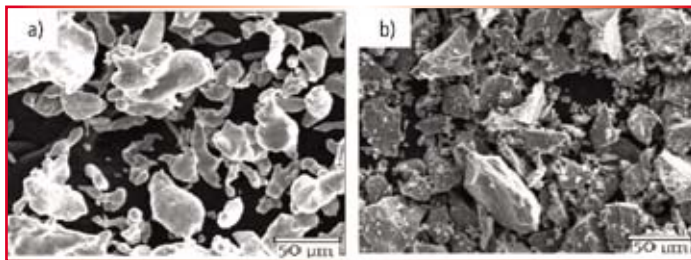


Fig. 7 – (a) Micrografia do pó de alumínio; (b) Micrografia do pó de  $TiH_2$ <sup>(18)</sup>.

tipo sanduíche usadas entre chapas densas podem melhorar as propriedades de compressão, tração, torção ou flexão das espumas metálicas. A espuma também pode se mostrar uma ótima combinação com chapas, como mostra a figura 5 (pág. 54). As estruturas regulares à esquerda da figura são mais resistentes do que as espumas irregulares, mostradas à direita.

Quando falamos de aplicações industriais, as espumas metálicas se mostram muito interessantes, pois sua reprodutibilidade 3D, seu custo acessível e seu limite elástico, bem como sua tolerância a danos, se mostram vantajosos em relação às estruturas do tipo *waffle*. Avaliando todos esses fatores, muitas aplicações podem ser idealizadas para estruturas tipo sanduíche de espuma de alumínio, o que as torna viáveis industrialmente. A montadora alemã Karmann tor-

nou-se pioneira ao utilizar essa tecnologia aplicada à indústria automobilística em 1996, quando foi apresentado um carro-conceito baseado em painéis do tipo sanduíche. Atualmente, as pesquisas vêm se intensificando e gerando novas aplicações do produto nessa mesma cadeia produtiva<sup>(16)</sup>.

Tab. 1 – Composição química do pó de alumínio fornecido pela Alcoa

Elemento	Al	Fe	Si	Outros
Mínimo (%)	99,7	–	–	–
Máximo (%)	–	0,25	0,15	0,15

Fonte: Alcoa

## Conformação de chapas tipo sanduíche

O grande desafio para a utilização de estruturas do tipo sanduíche é o emprego dessas estruturas em formas complexas. A tecnologia para obtenção desses produtos em painéis 3D com arestas abertas ou seção transversal constante já está praticamente dominada; as dificuldades se dão quando tentamos aplicar a técnica em estruturas complexas fechadas.

A estampagem proporciona a opção de fabricar peças fechadas com formas mais complexas, mantendo um núcleo poroso. Para isso, painéis do tipo sanduíche são cortados em geometrias próximas ao formato final da peça, com o cuidado de que se mantenham as propriedades



Fig. 8 – Amostras de espumas compactadas e cortadas

## Materiais

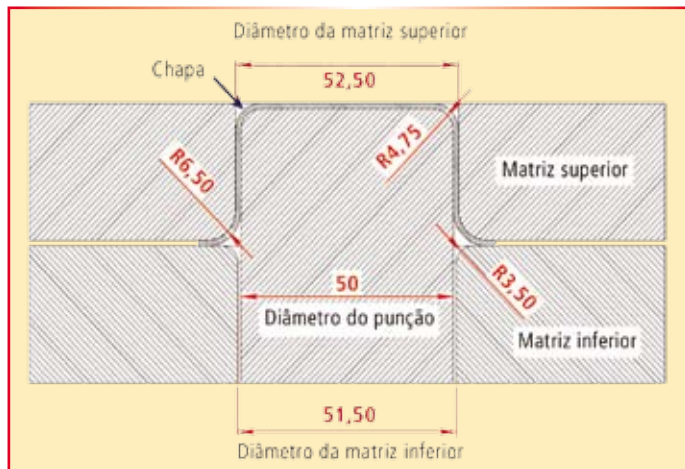


Fig. 9 – Vista em corte do ferramental do ensaio prático<sup>(19)</sup>

Tab. 2 – Composição química do aço AISI 1010

	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (máx.)	P (máx.)
AISI 1010	0,08 ~ 0,13	0,30 ~ 1,00	0,10 ~ 0,20	0,05	0,04

Fonte: Usiminas

Tab. 3 – Propriedades mecânicas do aço AISI 1010

Características mecânicas	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência (MPa)	Alongamento (% mínimo)
AISI 1010	320	270 – 390	26

Fonte: Usiminas

iniciais da espuma intactas. Um exemplo da utilização da técnica pode ser visto na figura 6<sup>(15, 17)</sup>, (pág. 56).

## Materiais e métodos

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a possível utilização de espumas metálicas na estampagem de uma geometria de relativa complexidade, sem que haja comprometimento da estrutura da espuma. A espuma foi obtida por meio do processo de metalurgia do pó, compactada e adicionada ao alumínio cedido pela Alcoa, liga 1221. A composição química da liga é apresentada na tabela 1 (pág. 56). Como agente espumante foi utilizado 1% de  $TiH_2$ , fornecido pela Brats Filtros e Pós Especializados.

A morfologia dos pós de Al e  $TiH_2$  pode ser vista por meio de um ensaio de microscopia eletrônica de varredura realizado no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS, conforme mostra

a figura 7 (pág. 56). A pureza dos pós utilizados é de aproximadamente 99,9%, e neles observa-se que o D90 do alumínio é de 64,55  $\mu\text{m}$ , com grãos com formato arredondado, enquanto o D90 do  $\text{TiH}_2$  tem tamanho de 52,28  $\mu\text{m}$  e forma irregular.

Os corpos foram compactados a uma pressão de 400 MPa e levados a um forno sob temperatura de 700°C. Em seguida, as espumas foram cortadas em formatos de pedaços de chapas planas conformadas, conforme mostra a figura 8<sup>(18)</sup>, (pág. 56). Nem todas as espumas saíram com a mesma qualidade e com a porosidade adequada, e este fato é inerente ao processo. Inicialmente, as amostras tinham o formato quadrado, sendo depois lixadas de forma a ficarem arredondadas para se adequar ao processo de estampagem, como mostra a figura 9 (pág. 58).

Para o processo de estampagem, as espumas foram colocadas entre as chapas, e só então estampadas. A escolha por utilizar chapas de aço baixo carbono AISI 1010 deve-se à aplicabilidade e à boa conformabilidade do metal. A espessura da chapa foi definida pela disponibilidade de material e também pelas limitações do ferramental. A tabela 2 (pág. 58) apresenta a composição química do aço AISI 1010.

Como característica, o aço AISI 1010 possui baixa resistência e dureza e alta tenacidade e ductilidade. Esse material não tem suas propriedades mecânicas afetadas pela adição de elementos de liga, apresentando um baixo custo de produção. É indicado para aplicações em que ocorrem deformações relativamente peque-

# CORTE DE CHAPAS LASER



## AÇO, AÇO INOX, ALUMÍNIO, ACRÍLICO, MADEIRA, COURO.

- Espessura: até 20 mm • Comprimento: até 3.000 mm • Largura: até 1.500 mm
- Qualquer Quantidade • Rapidez, Precisão e Qualidade • Baixo Custo

### SERVIÇOS

**DOBRADORA** Capacidade: 1350 kn - Compr. de trabalho 3100mm  
**PUNÇONADORA** CNC-TPC 25 Graphics

Capacidade: 22 toneladas; espessura: 6,5mm  
 Curso em X: 2000mm com reposição infinita, em Y: 1500mm  
 Cabeçote Hidráulico



### EMBREAGENS, FREIOS, LIMITADORES DE TORQUE, POLIAS VARIADORAS.



#### Fabricação e Reforma de Freios e Embreagens:

- Eletromagnéticas, Mecânicas, Multidisco, Hidráulicas e Pneumáticas.
- Polias Variadoras de Velocidade, Limitadores de Torque, Discos em Aço, Bronze ou Lona conforme amostra ou desenho.
- Nacionalizamos e desenvolvemos qualquer tipo de peça.

**GRANDE ESTOQUE DE PEÇAS NACIONAIS E IMPORTADAS**



## MIR Indústria e Comércio Ltda.

lasermir@lasermir.com.br / www.lasermir.com.br

**PABX 11 2029 7773**

## Materiais

nas, como em uma estampagem média (EM), até processos de estampagem profunda (EP). Na tabela 3 (pág. 58) estão expressas as propriedades mecânicas do aço AISI 1010.

### Procedimento experimental e resultados

Para a conformação das chapas em formatos circulares foi utilizada uma prensa hidráulica da marca Dan-Press, com capacidade de 200 kN. Antes da estampagem, as chapas receberam o lubrificante vegetal Clarus Stampymax RPX-21. Somente foram lubrificadas os lados da chapa que entrariam em contato com as matrizes. Foram produzidas três amostras, nas quais foram introduzidas as espumas metálicas, conforme mostra a figura 10.

As amostras foram então cortadas, a fim de se verificar se ocorreu algum comprometimen-



Fig. 10 – (a) Estrutura tipo sanduíche de chapas sem espuma metálica; (b) Estrutura metálica com espuma metálica.

to da estrutura, como mostrado na figura 11 (pág. 61). Verificou-se que, mesmo após o processo de estampagem, a espuma não sofreu nenhum dano em sua estrutura. Isso comprova que é possível conformar espumas metálicas pelo processo de estampagem de chapas, de forma a obter estruturas do tipo sanduíche.

### Referências

- 1) MATEJ VESEJAK, ANDREAS ÖCHSNER, ZORAN REN. Characterization of open-cell cellular material structures with pore fillers. *In: Materials Letters* v. 62, p. 3250–3253, 2008.
- 2) Q.M. LI\*, H. MENG. Attenuation or enhancement – a one-dimensional analysis on shock transmission in the solid phase of a cellular material. *In: International Journal of Impact Engineering*, v. 27, p. 1049–1065, 2002.
- 3) A. RADMAN, Y.M. XIE. Topological design of microstructures of cellular materials for maximum bulk or shear modulus- X. Huang. *In: Computational Materials Science* v. 50, p. 1861–1870, 2011.
- 4) BANHART, J. Functional applications. *In: Handbook of Cellular Metals: production, processing, application*. Editores: H.-P. Degischer, B. Kriszt, Wiley-VCH, Weinheim, p. 313-320, 2002.
- 5) X. BADICHE, S. FOREST, T. GUIBERT, Y. BIENVENU, J.-D. BARTOU, P. IENNY, M. CROSET, H. BERNET. Mechanical properties and non-homogeneous deformation of open-cell nickel foams: application of the mechanics of cellular solids and of porous materials. *In: Materials Science and Engineering A289*, p. 276-288, 2000.
- 6) KARSTEN STÖBENER, DIRK LEHMUS,

 **Wiring Laser**  
Soluções em Laser

A **WIRING Laser**, Indústria metalúrgica estabelecida desde 1994, oferece agora os serviços de **corte de tubos a LASER** com equipamento de última geração.



Rua José Maria de Melo, 290 - CEP 06786-350 - Taboão da Serra - São Paulo  
Fone / Fax (11) 4788-2553 / 4137-3201 - [www.wiringlaser.com.br](http://www.wiringlaser.com.br)



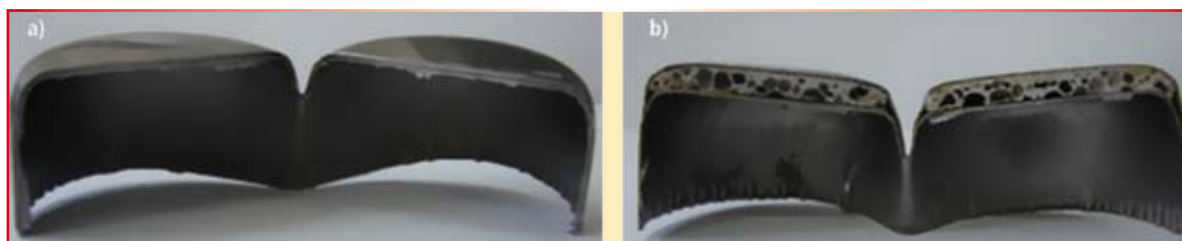


Fig. 11 – (a) Corte da estrutura tipo sanduíche de chapas sem espuma metálica; (b) Corte da estrutura metálica com espuma metálica.

- MASSIMILIANO AVALLE, LORENZO PERONI, MATTHIAS BUSSE. Aluminum foam-polymer hybrid structures (APM aluminum foam) in compression testing. *In: International Journal of Solids and Structures* v. 45, p. 5627–5641, 2008.
- 7) GERGELY, V., CLYNE, T.W. The Formgrip process: foaming of reinforced metals by gas release in precursors. *In: Advanced Engineering Materials*, v. 2, p. 168-74, 2000.
  - 8) BAUMGÄRTNER, F., DUARTE, I., AND BANHART, J. Industrialisation of P/M foaming process. *In: Advanced Engineering Materials*, v. 2, p. 168–174, 2000.
  - 9) ZEPPELIN, F. VON., HIRSCHER, M., STANZICK, H., AND BANHART, J. Desorption of hydrogen from blowing agents used for foaming metals. *In: Composite Science and Technology*, v. 63, p. 2293–2300, 2003.
  - 10) SOSNICK, B. *Process for Making Foamlike Mass of Metal* – United States Patent No. 2,434,775, 20 de Janeiro de 1948.
  - 11) GERGELY, V., CURRAN, D. C., CLYNE, T. W. The Foamcarp process: foaming of aluminium MMCs by the chalk-aluminium reaction in precursors. *In: Composites Science and Technology*, v. 63, p. 2301–2310, 2003.
  - 12) KENNEDY, A. R. Effect of compaction density on foamability of Al-TiH<sub>2</sub> powder compact. *In: Powder metallurgy*, v. 45, n. 1, p. 75–79, 2002.
  - 13) BANHART, J., BAURNEISTER, J., WEBER, M. Damping properties of aluminium foams. *In: Materials Science and Engineering A*, v. 205, p. 221–228, 1996.
  - 14) KOZA, E., LEONOWICZ, M., WOJCIECHOWSKI, S., SIMANCIK, F. Compressive strength of aluminium foams. *In: Materials Letters*, v. 58, p. 132–135, 2003.
  - 15) BANHART, J. Manufacture, Characterisation and application of cellular metals and metallic foams. *In: Progress in Materials Science*, v. 46, p. 559–632, 2001.
  - 16) BANHART, J., SEELIGER, H. W. Aluminium Foam Sandwich Panels: Manufacture, Metallurgy and Applications. *In: Advanced Engineering Materials*, v. 10, n. 9, p. 793–802 2008.
  - 17) NASSAR, H., ALBAKRI, M., PAN, H., KHRAISHEH, M. On the gas pressure forming of aluminium foam sandwich panels: Experiments and numerical simulations. *In: CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 61, n. 1, p. 243–246, 2012.
  - 18) BONALDI, P. O. *Estudo da obtenção de espuma de alumínio através do processo de Metalurgia do Pó e propriedades mecânicas de estruturas sanduíche*. Tese de Doutorado. PPGEM – UFRGS, Porto Alegre/RS, 2012.
  - 19) FOLLE, L. F. *Metodologia de medição do coeficiente de atrito em estampagem e avaliação da influência da lubrificação e condições superficiais via simulação numérica*. Dissertação de mestrado. PPGEM – UFRGS, Porto Alegre/RS, 2008.



PROJETOS ESPECIAIS FAZEM  
PARTE DA NOSSA ROTINA



Consulte-nos sobre flanges e conexões  
em aço carbono, inox e aço liga.



PABX:  
55 (11) 3385-8700

FAX:  
55 (11) 2717-3433

SITE: [www.buzas.com.br](http://www.buzas.com.br)

e-mail:  
[comercial@buzas.com.br](mailto:comercial@buzas.com.br)

Certificados



FULL  
SERVICE  
UMA GAMA COMPLETA  
DE SERVIÇOS

CORTE A LASER  
CORTE POR JATO DE ÁGUA  
CORTE DE TUBO A LASER  
DOBRA  
PUNÇONADEIRA  
SOLDA  
CALANDRAGEM  
GUILHOTINA  
CALDEIRARIA  
USINAGEM  
JATEAMENTO EM INOX  
GRAVAÇÃO A LASER  
MONTAGEM