

ALUMINIO EMPREGADO A ESTRUTURA SANDUICHE EM NUCLEOS DE PEÇAS CONFORMADAS PELO PROCESSO DE ESTAMAGEM DE CHAPAS

André Carvalho Tavares¹
Monir Göethel Borba²
Francieli Peruchi³
Lírio Schaeffer⁴

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. andre.tavares@ufrgs.br

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. monir.borba@ufrgs.br

³ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. franciele.peruchi@ufrgs.br

⁴ Prof. Dr. -Ing. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Depto. de Metalurgia, PPGEM, UFRGS. Av: Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. schaefer@ufrgs.br

Resumo

A busca por materiais mais leves e com propriedades de resistência ao impacto, bem como conforto e proteção térmica e acústica faz com que cientistas e pesquisadores busquem o desenvolvimento de materiais que aliem as propriedades de materiais metálicos (resistência, dureza e tenacidade) à estruturas celulares (absorção, não propagação acústica e térmica) deu origem as espumas metálicas. As espumas metálicas possuem em sua estrutura uma porosidade superior a 70%, para obtenção de materiais com estas características são utilizados como matéria prima originaria ligas metálicas em estado líquido ou em atomizado em forma de pó a onde estes são compactados juntamente com um agente expensor. O presente trabalho traz como estudo a utilização de espumas de alumínio, produzidas através de compactação de pós-metálicos com adição de TiH₂, para ser empregado em estruturas sanduiches como núcleo de peças conformadas por estampagem de chapas AISI 1010 com espessura de 0,4 mm, de forma a avaliar a viabilidade da utilização do processo de estampagem de chapas para obtenção de estruturas do tipo sanduiche, utilizando entre duas chapas como núcleo da peça uma estrutura celular de alumínio.

Palavras-chave: Conformação mecânica, Estampagem de chapas, Metalurgia do pó, Estruturas Sanduiches, Materiais celulares

ALUMINUM SANDWICH IN EMPLOYEE STRUCTURE OF NUCLEOS FORMED PARTS ESTAMAGEM THE PROCESS OF PLATES

Abstract

The search for lighter materials and properties of impact resistance as well as comfort and thermal and acoustic protection makes scientists and researchers seek to develop materials that combine the properties of metallic materials (strength, hardness and toughness) to the cellular structures (absorption, thermal and acoustic propagation not) gave the metal foams. The metal foams have in their structure a porosity greater than 70% to obtain materials with such characteristics are used as raw materials originate metal alloys in the liquid state or in the form of atomized powders to where they are compressed together with a blowing agent. This research study has as the use of foams of aluminum, produced by compacting metal powders with the addition of TiH₂ to be used in sandwiches and core structures formed parts of sheet metal by stamping AISI 1010 with a thickness of 0.4 mm in order to assess the feasibility of using the sheet metal stamping process to obtain sandwich structures using core between two sheets as part of a cellular structure aluminum.

Key words: Mechanical forming, stamping plates, Powder Metallurgy, Sandwiches Structures, Materials phones

1 INTRODUÇÃO

A aplicação das chamadas "Espumas metálicas", vem sendo estudados ao longo dos últimos anos, sendo a estrutura desse material uma estrutura celular, formada a partir de duas fases. O termo "espuma" em seu sentido original está reservado a uma dispersão de bolhas de gás em um líquido. A morfologia das espumas, todavia, pode ser preservada durante a solidificação, obtendo-se o que é chamado de "espuma sólida". O termo "espuma metálica" geralmente significa uma espuma sólida, que é mais comumente chamada de "sólidos celulares". Portanto, trata-se de um material que ainda em estado líquido contém a presença de bolhas gasosas dispersas com certa homogeneidade, de forma que esse material preserve essa dispersão a se solidificar formando grandes poros (Matej Vesenjok, 2008).

A estrutura porosa vem ganhando nas últimas décadas cada vez mais aplicabilidade a nível mundial, em substituição a materiais de estrutura sólida rígida, por suas propriedades únicas de absorção de impactos e isolamento. Pesquisa do seu comportamento sob taxas de deformação quase-estáticos, tem sido de grande valia para aplicações de engenharia. Seu comportamento mecânico depende principalmente do tipo de material de base escolhido, essa escolha acarretará também na a densidade relativa (ρ/ρ_0) que o material irá adquirir, bem como morfologia e topologia da estrutura que será gerada. A figura 1 traz alguns modelos matemáticos de possíveis estruturas celulares (Matej Vesenjok, 2008) (Q.M. Li*, 2002), (A. Radman, 2011)

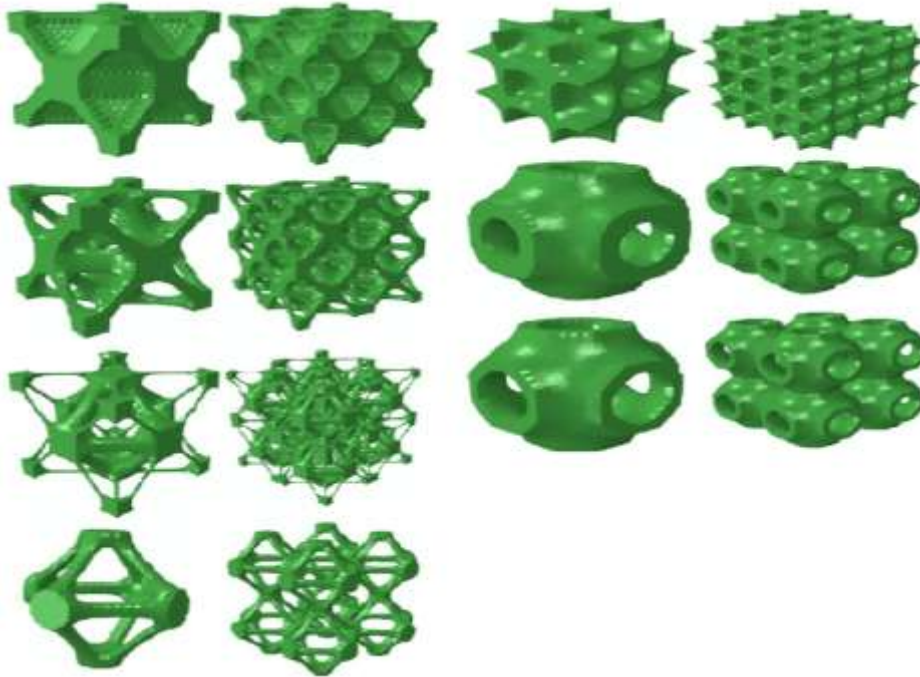


Figura 1: Alguns modelos de possíveis estruturas celulares (A. Radman, 2011)

Cabe dizer que essa tecnologia não proporciona uma estrutura completamente homogênea, pois a estrutura de material celular não pode ser completamente controlada, o que irá resultar em um material contendo mais de um modelo de estrutura, podendo conter certa predominância ou podem surgir estruturas sem qualquer predominância, uma vez que a maior parte das tecnologias produções existente não permitem um controle preciso da forma em que a estrutura se desenvolveu, em relação ao tamanho e distribuição de poros celulares. Isto resulta em larga dispersão de características físicas e entre outras, destes materiais estruturas (Matej Vesnjak, 2008).

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 30% ele passa a ser considerado na classe dos metais de celulares. Quando temos uma estrutura com aproximadamente 70% de seu corpo constituído de poros interligados este passa a pertencer a 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 mantendo a forma dos poros e distribuição destes ao longo da estrutura celular ao se solidificar temos uma espuma metálica. Quando temos interligação dos poros temos o material passa a ser chamado de esponja metálica (Banhart, 2002)

Para conseguir propriedades adequadas de materiais com estrutura celular, o metal de base deve ser cuidadosamente escolhido em função das propriedades mecânicas (resistência, rigidez) e térmica (Condutividade térmica). As principais vantagens do material celular em estruturas leves são a baixa densidade, isolamento

acústico e amortecimento, grau relativamente alto de deformação, elevada absorção de energia, durabilidade a cargas dinâmicas e fadiga e capacidade de reciclagem (X. Badiche, 2000), (Karsten Stöbener, 2008).

Meios de se obter espumas metálicas.

Atualmente existem dois métodos de se obter estruturas celulares em forma de espuma, com o metal fundido ou em forma sólido. No primeiro caso onde o metal em estado fundido é preparado para que se possa injetar um gás de forma homogeneia no metal liquido formando bolhas gasosas na massa fundida e quando esta solidificar, têm-se a formação de estrutura celular porosa podendo ou não formar uma espuma já que não se tem o controle total do processo . O segundo caso, a fabricação é através da metalurgia do pó com adição do agente espumante (Gergely, 2000) (Baumgärtner, 2000, (Zeppelin, 2003)

A utilização de espumas metálicas provenientes do alumínio vem sendo estudada a 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 enfoque para obtenção de estruturas com características de absorção de energias, com baixa densidade, podendo ter grande aplicabilidade em veículos automotivos (Sosnick, 20 de Janeiro de 1948.)

Os agentes para se obter o alumínio em forma de uma estrutura celular em forma de espuma utilizados com mais frequência são o Hidreto de titânio (TiH₂), Hidreto de zircônio (ZrH₂) , carbonato de cálcio (CaCO₃), 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, e o agente espumante se transforma em gás ocasionando a expansão do material e formação de poros. A figura 2 demonstra esse processo (Baumgärtner, 2000), (Gergely, 2003.).

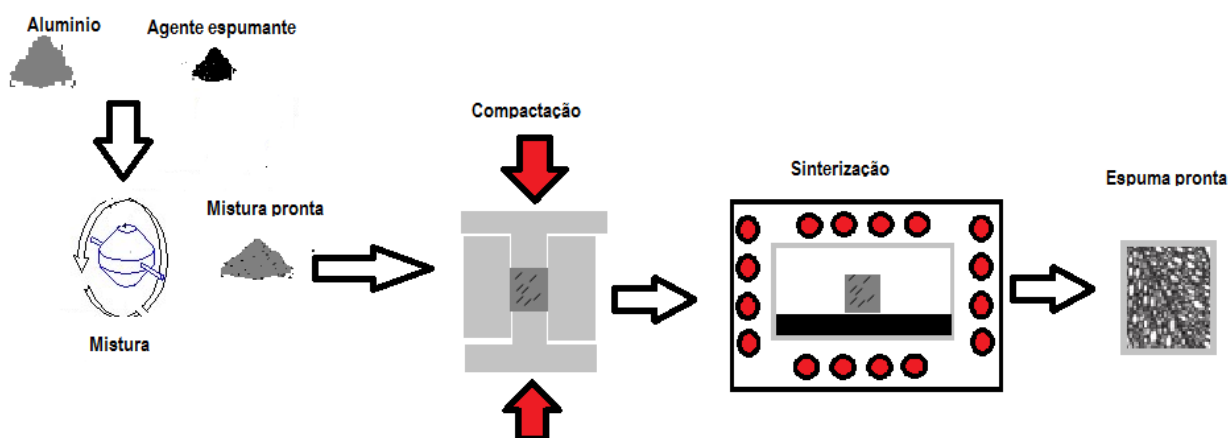


Figura 2: Processo de obtenção de espumas metálicas através da metalurgia do pó

Uma outra técnica através da metalurgia do pó associado a extrusão de perfis é usualmente empregado, as paredes da fieira juntamente com o pistão são

responsáveis por compactar o pó e dar uma leve resistência mecânica, posteriormente esse corpos são cortados e levados a um forno para que ocorra o processo de espumagem, o processo completo dessa técnica pode ser visto na figura 3 (Baumgärtner, 2000) (Kennedy, 2002),(Banhart, 1996),(Koza, 2003.)

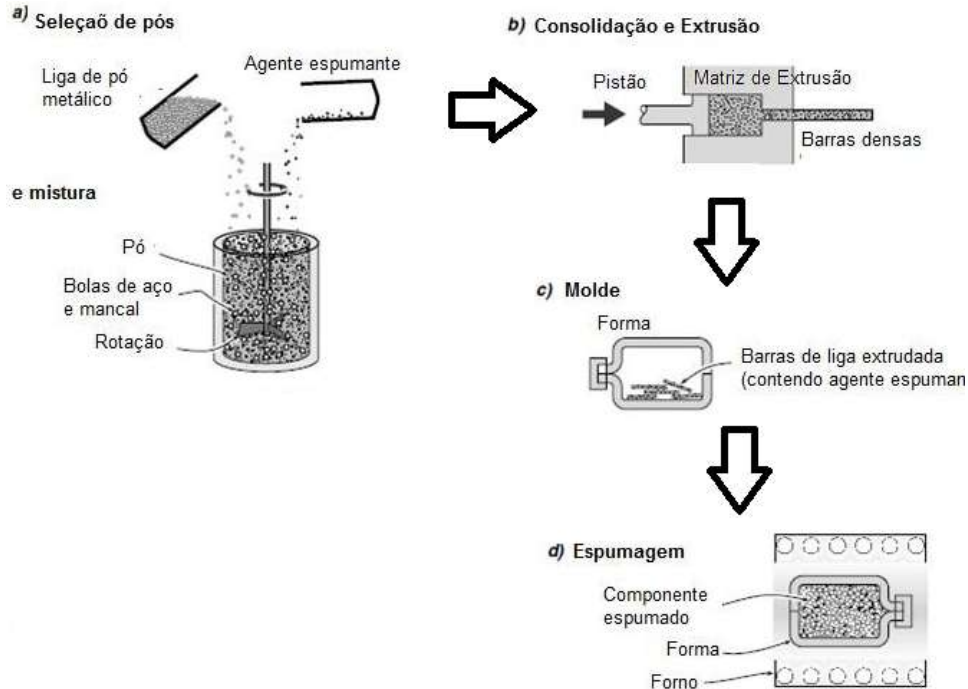


Figura 3: Processo de obtenção de espumas metálicas através da extrusão de pós-metálicos (Koza, 2003.)

Estruturas / chapas sanduíche

A principal finalidade de se produzir espumas metálicas é a produção de estruturas sanduíches, vistas na figura 4, que traz dois exemplos de estruturas sanduíches.



Figura 4: Estruturas Sanduíches: A - Chapas com estruturas sanduíches simples (ALUlight®), B - Estruturas sanduíches complexas (Metcomb® Nanostructures). (Bonaldi, 2012.)

Estruturas sanduiches entre chapas densas podem melhorar as propriedades de compressão, tração, torção ou flexão das espumas metálicas. Espuma também pode se mostrar uma ótima combinação com chapas, como mostra a figura 5. As estruturas regulares à esquerda são mais resistentes do que as espumas irregulares à direita.

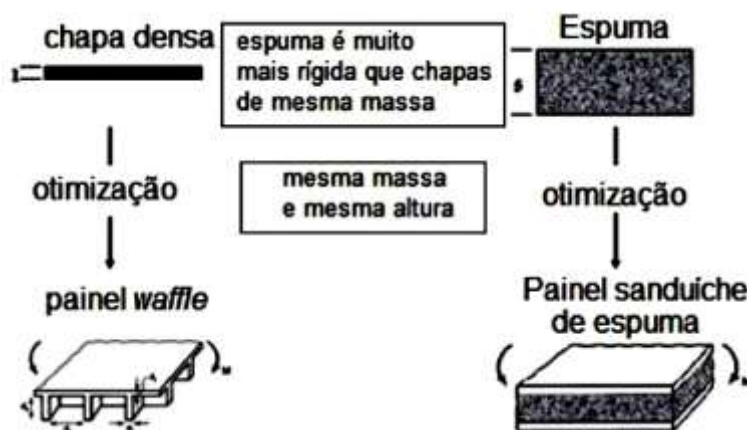


Figura 5: Estruturas Sanduiches comparada a estruturas waffle (Bonaldi, 2012.).

Quando falamos de aplicações industriais, as espumas metálicas se mostram muito interessantes, pois sua reprodutibilidade 3D, custo acessível, limite elástico, bem como sua tolerância a danos se mostram vantajosas com relação a estruturas Waffle. Avaliando todos estes fatores, aplicações para estruturas sanduiche de espuma de alumínio podem ser visualizados se tornando viáveis industrialmente. A montadora alemã Karmann, no ano de 1996, se tornou pioneira a utilizar a tecnologia na aplicação desse produto na indústria automobilística, apresentando um carro-conceito baseado em painéis sanduíche. Atualmente as pesquisas vêm se intensificando, surgindo novas aplicações deste produto nessa mesma cadeia produtiva (Banhart, 2008.).

Conformação de Chapas Sanduíche

O grande desafio na utilização de estruturas sanduiches, é o emprego destas em formas complexas, pois a obtenção destes produtos em painéis sanduiches 3D com arestas abertas ou seção transversal constante esta quase que por inteiro dominada, as dificuldades se dão quando tentamos aplicar em estruturas complexas fechadas. A estampagem proporciona uma opção de fabricar peças fechadas com formas mais complexas, mantendo um núcleo poroso. Para isso, painéis sanduiche são cortados em geometrias próximas ao formato final da peça, cuidando para que se mantenham as propriedades iniciais da espuma intactas, exemplo de um possível utilização da técnica vista na figura 6 (Banhart, 2001.), (Nassar, 2012)



Figura 6: Estruturas sanduíche aplicada à conformação de chapas (Banhart, 2001.).

Pesquisa Atualmente

Pesquisadores alemães do Instituto Fraunhofer têm experimentado com um pó de alumínio leve poderia substituir as placas de aço em navios e reduzir o peso em até 30% . Para um navio de carga de tamanho médio, com uma capacidade de 7000m³, isso corresponde a uma redução de peso de mais de 1000 toneladas. (Civantos, 2011)

Um barco mais leve significa mais carga, menos viagens, menos consumo de combustível e menores emissões de CO² para o nosso planeta. O experimento faz parte de um projeto de pesquisa chamado da UE a criação , que foi criado para fortalecer a pesquisa de interior mais limpo em nosso continente.

Fraunhofer pesquisadores foram capazes de produzir um pó de metal composta de de alumínio e hidreto titânio, formando um material que é segundo eles mais leve do que a água , que ao ser aquecido se expande e tem textura de espuma possuindo alta rigidez mesmo sob extrema pressão. (Civantos, 2011)

O pó é inicialmente foi extrudado em barras, que são colocados entre duas placas de aço e este "sanduíche" é levado ao forno e aquecida a cerca de 650 ° C. Com essas temperaturas o alumínio inicia sua fase líquida e o hidróxido de titânio expande a essa temperatura , o material se expande e cria ligações de placas metálicas de aço , sem o auxílio de processos completos como soldas. (Civantos, 2011)

Segundo os pesquisadores, o material não se quebra mesmo com tensões elevadas, apenas deformado, o que significa que o casco de um navio poderia ainda suportar o choque de gelo na água , o que abriria a navegação norte da Europa durante ao longo do ano. (Civantos, 2011)

Navios modernos que podem viajar através de águas geladas tendem a pesar entre 770-900 mil toneladas e transportar 2.700 toneladas de carga dos outros. O projeto da UE CRIAÇÃO visa reduzir o peso de navios de até 450 mil toneladas , mantendo uma capacidade de carga de 2.600 toneladas. (Civantos, 2011)

O Fraunhofer Instituto Laboratórios também desenvolveu um implante de titânio espuma com características semelhantes que podem ser utilizados para reparar ossos danificados de forma mais eficaz do que as placas utilizadas atualmente. (Civantos, 2011)

A espuma tem uma estrutura interna complexa que permite que os vasos sanguíneos e células ósseas cresçam nos poros se fundir em um só ser, como acontece (de forma), que compatível em costeletas .(Civantos, 2011)

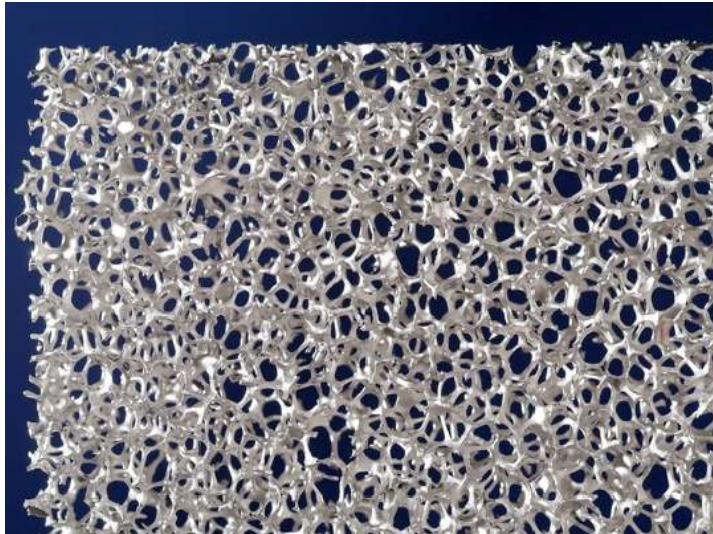


Figura 7: Estruturas celular aplicada à implantes (Civantos, 2011)

Aplicações na indústria automotiva com finalidade de aplicação dos materiais celulares, na indústria automotiva vem se mostrando como um dos campos mais prósperos para a emprego e entemos de custo beneficio da produção em massa para um grande mercado. A grande demanda por segurança no setor automotivo impulsionou a busca por veículos mais resistentes e ao mesmo tempo mais de menor peso. De acordo com Banhart, as espumas metálicas proporcionam a possibilidade de solução para alguns destes problemas. Uma aplicação ideal seria quando um mesmo componente, com peso reduzido, capaz de absorver energia em caso de impacto também é isolante de som e/ou calor. Tem-se assim, como potenciais aplicações das espumas metálicas na indústria automotiva (Figura 8) em painéis sanduíches, reforços estruturais, elementos absorvedores de impacto, amortecimento de vibrações etc.

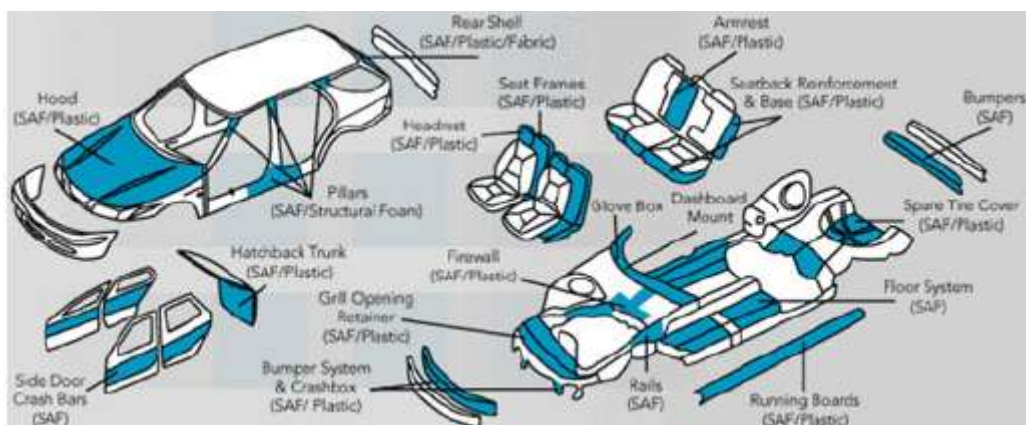


Figura 8: Aplicação de espumas metálicas no design automotivo. (Eduardo Cardoso)

3 RESULTADOS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a possível utilização de espumas metálicas empregadas a 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, se adicionando ao alumínio cedido pela Alcoa liga 1221. Sua composição química pode ser visualizado na Tabela 1, como agente espumante fora utilizado 1% de TiH_2 fornecido pela Brats Filtrors e pós especializados.

Tabela 1. Composição química do pó de alumínio fornecido pela Alcoa.

Elemento	Al	Fe	Si	Outros
Min. (%)	99,7	-	-	-
Máx. (%)	-	0,25	0,15	0,15

Fonte: Alcoa

A morfologia dos pós de Al e TiH_2 pode ser vista através de um ensaio de microscopia eletrônica de varredura realizada no Centro de Microscopia eletrônica da UFRGS, conforme mostra a figura 8.

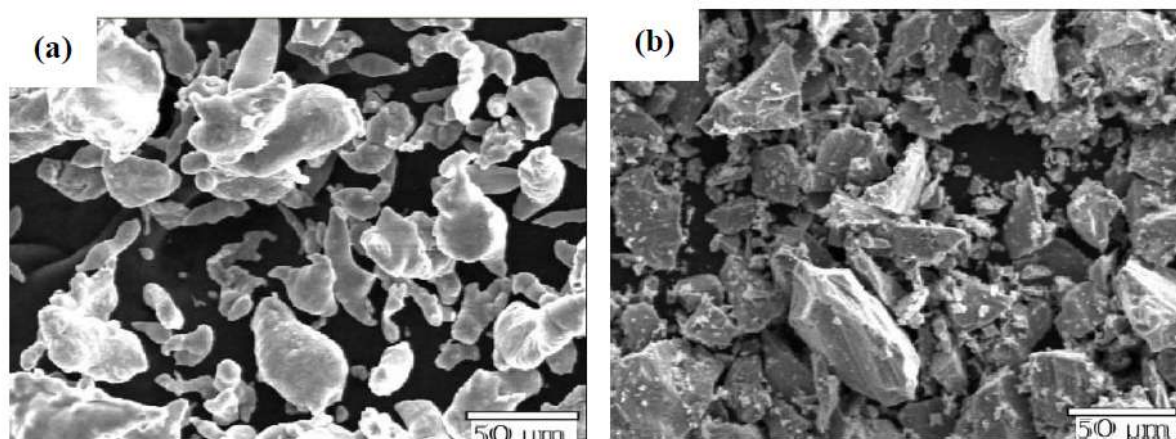


Figura 8: (a) micrografia do pó de alumínio, (b) micrografia do pó de TiH_2 (Bonaldi, 2012.)

A pureza dos pós utilizados é de aproximadamente 99,9% tendo seu D90 de 64,55 μ m para o Al, tendo um formato arredondado e o D90 TiH_2 tem tamanho de 52,28 μ m com uma forma irregular.

Os corpos foram compactados a uma pressão de 400 MPa e levados a um forno a temperatura de 700°C, as espumas então foram cortadas em formas de pedaços de chapas planas conformadas conforme mostra a figura 9 (Bonaldi, 2012.).



Figura 9: Amostras de espumas compactadas e cortadas.

Nem todas as espumas saíram com a mesma qualidade e porosidade adequada, 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 10.

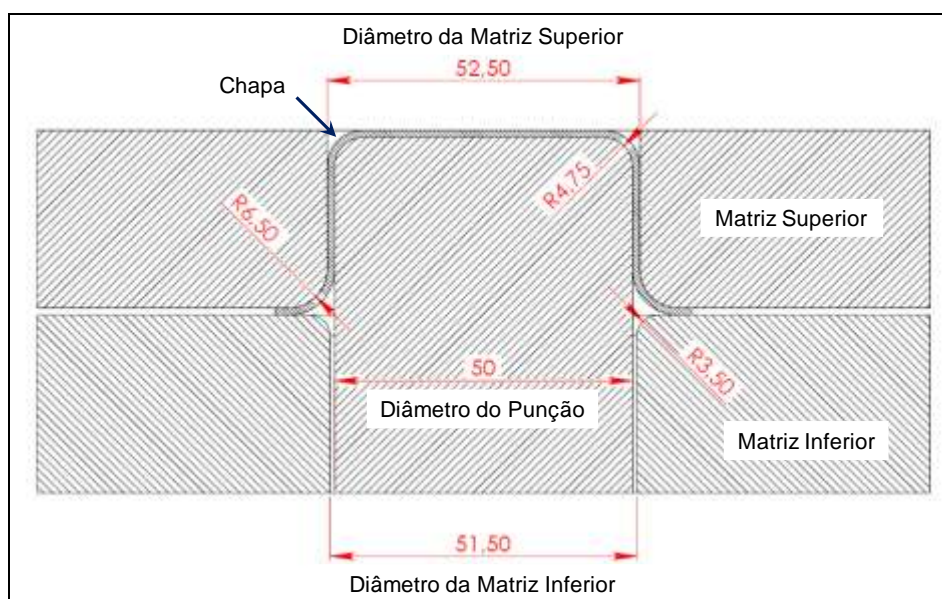


Figura 10: Vista em corte do ferramental do ensaio prático (Folle, 2008).

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

Tabela 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.

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. São indicados em aplicações em que ocorrem deformações relativamente pequenas, caso de uma estampagem média (EM) até processos de estampagem profunda (EP). Na Tabela 3 estão expressas as propriedades mecânicas do aço AISI 1010.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do aço AISI 1010.

Características Mecânicas	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (% mín.)
AISI 1010	320	270 - 390	26

Fonte: Usiminas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Procedimento experimental e resultados :

Para efetuar a conformação das chapas em formatos circulares, utilizou-se uma Prensa Hidráulica da Marca DAN-PRESSE com capacidade de 200kN. As chapas foram lubrificadas com 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, onde foram introduzidas as espumas metálicas, conforme mostrado na figura 11.



Figura 11: A) Estrutura sanduiche de chapas sem espuma metálica; B) Estrutura metálica com espuma metálica.

As amostras foram então cortadas a fim de se verificar se ocorreu algum comprometimento da estrutura, conforme a figura 12.



Figura 12: a) Corte da Estrutura sanduiche de chapas sem espuma metálica; b) Corte da estrutura metálica com espuma metálica.

Verificou-se que mesmo após o processo de estampagem, a estrutura da espuma não sofreu nenhum dano a sua estrutura, comprovando assim que possível conformar espumas metálicas através do processo de estampagem de chapas de forma a obter estruturas sanduiches.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho demonstrou uma nova rota de fabricação de componentes de estruturas sanduiches , mostrando que o processo de conformação chapas pode ser realizado sem que a estrutura celular nas espumas metálicas sejam comprometidas . Surgindo assim uma nova alternativa em produção de componentes a onde se queira propriedades de isolamento térmico ou acústico bem como estruturas leves e resistentes que possam absorver impactos e resistir a estes sem uma falha catastrófica.

Agradecimentos

Aos meus colegas de mestrado ao meu orientador professor Lirio Schaeffer a em especial a minha ex-bolsista Ruth Agustini e meu colega de Uilian Boff aos meus pais minha e minha namorada , agradeço ainda ao CNPq que financia minha bolsa e possibilitou essa pesquisa .

REFERÊNCIAS

A. Radman, Y.M. Xie,., 2011. Topological design of microstructures of cellular materials for maximum bulk or shear modulus- X. Huang. *Computational Materials Science* . 50, 2011, pp. 1861–1870.

Banhahrt, J., Seeliger, H. W. 2008.. Aluminium Foam Sandwich Panels: Manufacture, Metallurgy and Applications. *Advanced Engineering Materials*. 9, 2008., Vol. 10, pp. 793 - 802 .

- Banhart, J. 2002.** Functional applications. Handbook of Cellular Metals: production, processing, application,. Weinheim : H.-P. Degischer, B. Kriszt, Wiley-VCH,, 2002, pp. 313-320.
- Banhart, J. Manufacture,. 2001..** Characterisation and application of cellular metals and metallic foams. *Progress in Materials Science*,. 2001., Vols. 46,, pp. 559–632,.
- Banhart, J., Baurneister, J., Weber, M. . 1996.** Damping properties of aluminium foams. *Materials Science and Engineering A*. 1996, Vols. 205, p., pp. 221-228.
- Baumgärtner, F., Duarte, I., and Banhart, J. 2000.** Industrialisation of P/M foaming process. *Advanced Engineering Materials*, . 2000, Vols. 2,, pp. 168–174.
- Bonaldi, P. O. 2012..** 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.
- Civantos, Daniel. 2011.** Una espuma de aluminio y titanio puede revolucionar el transporte marítimo reduciendo el peso de los buques en un 30%. *lain formacion*. [Online] fevereiro 17, 2011. [Cited: junho 2013, 07.] <http://blogs.lainformacion.com/futuretech/2011/02/17/una-espuma-de-aluminio-y-titanio-puede-revolucionar-el-transporte-maritimo-reduciendo-el-peso-de-los-buques-en-un-30/>.
- Eduardo Cardoso, Branca Freitas de Oliveira.** Estudo do emprego da espuma metálica no design automotivo. *ABAL*. [Online] [Cited: Junho 07, 2013.] <http://www.abal.org.br/aluauto/ed20/ensaio.htm>.
- Folle, L. F. 2008.** 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.
- Gergely, V., Clyne, T.W. 2000.** The FORMGRIP process: foaming of reinforced metals by gas release in precursors. *Advanced Engineering Materials*. 2000, Vol. 2, pp. 168-174.
- Gergely, V., Curran, D. C., Clyne, T. W. 2003..** The FOAMCARP process: foaming of aluminium MMCs by the chalk-aluminium reaction in precursors. *Composites Science and Technology*. 2003., Vols. 63,, pp. 2301 –2310.
- Karsten Stöbener, Dirk Lehmus, Massimiliano Avalue, Lorenzo Peroni, Matthias Busse, . 2008.** Aluminum foam-polymer hybrid structures (APM aluminum foam) in compression testing,. *International Journal of Solids and Structures*. 45, 2008, pp. 5627–5641.
- Kennedy, A. R. 2002.** Effect of compaction density on foamability of Al-TiH₂ powder compact. *Powder metallurgy*. 1,, 2002, Vols. 45,, pp. 75 - 79.
- Koza, E., Leonowicz, M., Wojciechowski, S., Simancik, F. 2003. .** Compressive strength of aluminium foams. *Materials Letters*,. 2003. , Vols. 58, p., pp. 132– 135.

Matej Vesenjaj, Andreas Öchsner , Zoran Ren. 2008. Characterization of open-cell cellular material structures with pore fillers. *Materials Letters* . 62, 2008, pp. 3250–3253 .

Nassar, H., Albakri, M., Pan, H., Khraisheh, M. 2012. On the gas pressure forming of aluminium foam sandwich panels: Experiments and numerical simulations. *CIRP Annals. Manufacturing Technology*. 1, 2012, Vols. 61,, pp. 243-246.

Q.M. Li*, H. Meng, . 2002. Attenuation or enhancement—a one-dimensional analysis on shock transmission in the solid phase of a cellular material. *International Journal of Impact Engineering* . 27, 2002, pp. 1049–1065.

Sosnick, B. 20 de Janeiro de 1948.. Process for Making Foamlike Mass of Metal. - *United States Patent*. 2, 20 de Janeiro de 1948., Vol. No. 2, pp. 434,775, .

X. Badiche, S. Forest, T. Guibert , Y. Bienvenu, J.-D. Bartou , P. Ienny, M. Croset , H. Bernet. 2000. Mechanical properties and non-homogeneous deformation of open-cell nickel foams: application of the mechanics of cellular solids and of porous materials. *Materials Science and Engineering*. 289, 2000, pp. 276-288,.

Zeppelin, F. Von., Hirscher, M., Stanzick, H., and Banhart, J. 2003. Desorption of hydrogen from blowing agents used for foaming metals. *Composite Science and Technology*,. 2003, Vols. 63, p., pp. 2293–2300.