

PROCESSO DE OBTENÇÃO DE ESPUMA SINTÁTICA COM MATRIZ DE ALUMÍNIO Al 5052 PELO MÉTODO DE TIXOINFILTRAÇÃO

Process to obtain a synthetic foam of aluminium Al 5052 by tixoinfiltration method

RESUMO

Neste trabalho, o processo de tixoinfiltração foi utilizado para obter uma espuma metálica sintática com matriz de alumínio, utilizando micro balões cerâmicos ocas (*Fly Ash*) para obtenção dos poros da espuma, os parâmetros do processo foram definidos a partir da caracterização da liga de alumínio Al 5052 quanto a sua tixohabilidade. Foram analisadas a distribuição dos micro balões e ancoramento mecânico dos mesmos pro microscopia ótica, e foi realizado ensaio de dureza Vickers. Os resultados indicam que o processo e parâmetros foram satisfatórios para a produção de um material final mais leve e com boa propriedade mecânica, justificando o uso desta técnica para obter materiais mais leves para aplicação estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Fly ash. Tixoinfiltração. Espuma metálica.

ABSTRACT

In this work, the tixoinfiltration process was used to obtain an aluminum matrix synthetic metallic foam using hollow ceramic microspheres (*Fly Ash*) to obtain a porosity, the process parameters were defined from a characterization of the aluminum alloy Al 5052 for its tixohability. They were analyzed by electron microscopy and Vickers hardness tests were performed. The results were as follows and the results were satisfactory for the production of a lighter and with good mechanical property, justifying the use of as is for the lighter materials for structural application.

KEYWORDS: Fly ash. Tixoinfiltration. Metallic foam.

Rafael Claudiano de Moraes
rafaelmoraes@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

João Roberto Sartori Moreno
joaosartori@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

João Paulo de Oliveira Paschoal
joaooliveirapaschoal@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

Fabio Gatamorta
fabio.gatamorta@gmail.com
Universidade de Campinas,
Campinas, São Paulo, Brasil

INTRODUÇÃO

Ao longo da história a sociedade tem necessitado de um contínuo desenvolvimento tecnológico como forma de enfrentar os desafios que a própria evolução humana impõe. Uma das principais áreas correlatas a este avanço é o designe e aperfeiçoamento de materiais e ligas, uma vez que, o surgimento de novas tecnologias e aplicações resulta na necessidade da melhoria das características dos materiais, como, aumento da resistência mecânica, resistência a altas temperaturas, redução de peso, melhores resistências a ambientes nocivos, entre outras propriedades.

Como decorrência destes fatores, os centros de pesquisa têm dedicado tempo e recursos para o desenvolvimento de novos materiais de engenharia. As espumas metálicas são uma nova classe de materiais que surgiram devido a estas necessidades, possuindo como características um material com menor densidade, e inovadoras propriedades físicas, mecânicas, térmicas, elétricas e acústicas. Um subgrupo da classe das espumas metálicas é as espumas metálicas sintáticas, que consiste na adição de partículas cerâmicas ocas em uma matriz metálica.

Neste trabalho é desenvolvido um designe de espuma metálica sintática, visando à redução da densidade e melhora de propriedades mecânicas associadas a aplicações estruturais. Está que foi produzida adicionando micro balões cerâmicos em uma matriz de alumínio pelo processo de tixoinfiltração.

MATERIAIS E MÉTODOS

LIGA METÁLICA UTILIZADA

A liga utilizada na matriz metálica foi a liga de alumínio comercial Al 5052, que possui em sua composição o magnésio como principal elemento de liga. Os principais fatores que levaram a sua escolha foram a ampla utilização comercial, ótima resistência a corrosão em atmosfera marinha, e potencial tixohabilidade, este último fator que será melhor explicado a seguir.

Os valores utilizados como referencia das características e propriedades da liga são advindas do *Metals Handbook*. O material utilizado teve sua composição química determinada (tabela 1) pelo equipamento de espectrometria de emissão atômica (EEA).

Tabela 1 – Composição química da liga AL5052 utilizada no trabalho e obtida no laboratório de materiais do campus da UTFPR em Cornélio Procópio.

Elemento	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
% em peso	0.120	0.309	0.0067	0.028	1.882	0.171	0.0041	0.026	0.021	Balanço

Fonte: Autoria própria (2019).

A possibilidade de processamento de ligas metálicas no estado semissólido depende de sua tixohabilidade, isto é, da capacidade de se controlar a relação

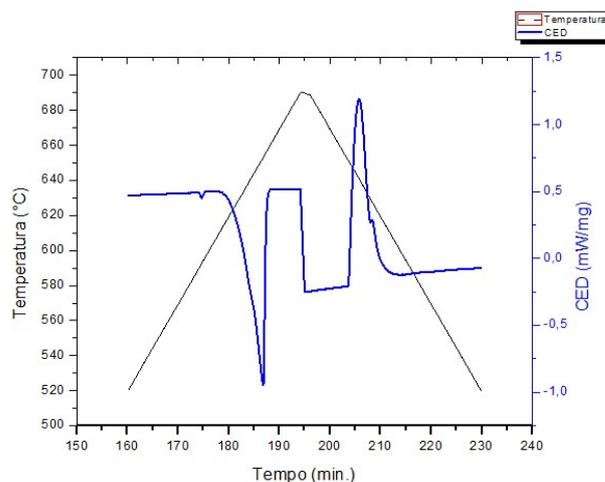
entre as frações líquidas e sólidas da pasta tixotrópica, além do intervalo de solidificação da liga e da sensibilidade da fração líquida com a temperatura.

Neste trabalho foi utilizada a análise térmica de calorimetria exploratória diferencial (CED), figura 1, na qual a linha em cor preta representa a curva de aquecimento e resfriamento durante o ensaio, o qual foi realizado a uma taxa de variação térmica de 5°C/min, e a curva na cor azul representa a variação de energia pelo tempo.

A determinação dos parâmetros térmicos da liga, são feitos a partir da curva de fluxo de energia pela temperatura, encontrando os pontos de inflexão nas curvas de suas derivadas de primeira e segunda ordem. Os valores encontrados da temperatura $T_{solidus} = 603,4^{\circ}\text{C}$ e $T_{liquidus} = 652,2^{\circ}\text{C}$ são coerentes quando comparados com os valores de referência teóricos presente no *Metals Handbook* ($T_{solidus} = 607^{\circ}\text{C}$ e $T_{liquidus} = 649^{\circ}\text{C}$).

A partir de testes empíricos frações líquidas entre 75% a 80% da pasta tixotrópica resultam em melhores condições para o processo de tixoinfiltração, por tanto a temperatura de 644°C foi selecionada como temperatura de trabalho por apresentar 78,142% de fração líquida nesta condição.

Figura 1 – Curva de ensaio de calorimetria exploratória diferencial da liga Al5052 contendo a variação do fluxo de energia (curva de cor azul) na amostra durante aquecimento e resfriamento, e temperatura (curva de cor preta), ambos em função do tempo.



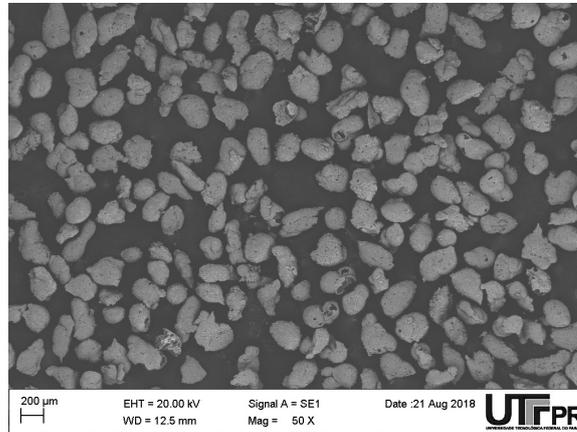
Fonte: Autoria própria (2019).

BALÕES CERÂMICOS

Os micro balões cerâmicos utilizados são provenientes do subproduto da combustão de carvão, conhecidos com *Fly Ash*, por possuir estrutura oca e densidade entre 0,6 e 0,8 g/cm³, são ideais para serem aplicadas na produção de espumas metálicas sintáticas. Os balões utilizados no trabalho foram separados por peneiramento e as diferentes porções adquiridas foram analisadas em

microscopia eletrônica de varredura (MEV), Figura 2, quanto à qualidade e dimensões dos balões.

Figura 2- MEV dos balões do substrato Fly Ash utilizados no trabalho, cujas imagens foram obtidas na própria UTFPR.



Fonte: Autoria própria (2019).

A mesh 100 foi escolhida por apresentar melhor qualidade e dimensão dos balões, tendo média das dimensões A (comprimento do balão) e B (largura) de 266,185 µm e 197,745 µm respectivamente, com espessura da parede de 2,5 µm, estas medidas foram obtidas a partir de uma análise estatística de média simples dos valores medidos pela ensaio do MEV .

PROCESSO DE TIXOINFILTRAÇÃO

Em um molde de aço usinado para o procedimento, foram posicionados dois discos da liga de alumínio, e uma porção de 5% em peso, com relação a porção de alumínio, de balões de *Fly Ash* entre esses discos. O conjunto foi levado ao forno com uma taxa de aquecimento de 5°C/min, até atingir a temperatura de trabalho de 644°C, a qual foi medida por um termopar do tipo K em contato direto com o disco superior da liga de alumínio. Após atingir a temperatura de trabalho o conjunto passou por um processo de infiltração utilizando uma prensa hidráulica, e a força de infiltração foi limitada a 5 kN para não ocorrer o colapso dos balões durante o processo. O produto obtido neste processo é mostrado na figura 3, e o excesso de alumínio presente é posteriormente removido pelo processo de usinagem.

Figura 3 – Pannel sanduíche com interior de espuma sintática obtida pelo processo de tixoonformação a temperaturas de infiltração acima de 644°C.

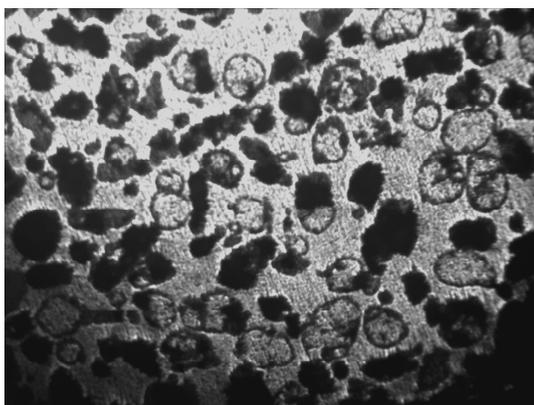


Fonte: Autoria própria (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível obter uma espuma sintática de alumínio pelo processo de tixoinfiltração, como pode ser observado pela microscopia da figura 4, a partir das análises da mesma foi possível observar uma distribuição homogênea dos balões na matriz metálica e total ancoramento dos mesmos, não apresentando defeitos na interface do balão cerâmico com a matriz. Ao fazer a análise das imagens pelo software Image J, utilizando a ferramenta de binarização foi possível determinar a porosidade média e calcular o valor aproximado da densidade obtida 45% e $1,8\text{g/cm}^3$.

Figura 4- Microscopia ótica da espuma metálica com aumento de 5 vezes .



Fonte: Autoria própria (2019).

Para análise de propriedade mecânica foi realizado o ensaio de dureza Vickers, os resultados estão apresentados na tabela 2. O ensaio foi realizado seguindo a norma da ASTM com uma pré carga de 100 gf, com os resultados obtidos é possível constatar que o material teve uma redução de sua dureza quando submetido apenas ao processo de tixoinfiltração uma vez que ocorreu a recristalização dos grãos que estavam deformados devido o processo de laminação na produção do material de base, porém na região da espuma ocorreu o aumento da dureza na matriz metálica.

Tabela 2 – Valores medidos no ensaio de dureza vickers.

	Medida 1	Medida 2	Medida 3
Material laminado	63 HV100	65 HV100	67 HV100
Material tixoconformado	60 HV100	60 HV100	60 HV100
Espuma metálica	70 HV100	75 HV100	75 HV100

Fonte: Autoria própria (2019).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para a produção da espuma metálica foram satisfatórios, uma vez que, foram possíveis determinar os parâmetros ótimos

para a produção de uma espuma com distribuição homogênea dos particulados, assim como uma redução de aproximadamente 30% da densidade com relação a matriz de alumínio, e também foi possível obter um aumento da dureza do material. A próxima etapa para trabalhos futuros é realizar outros ensaios para determinar melhor as outras propriedades mecânicas e físicas presentes no material desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M.F.; EVANS, A.G.; FLECK, N.A.; GIBSON, L.J.; HUTCHINSON, J.W. and H.N.G. Wadley, **Metal Foams: A design guide**, Butterworth-Heinemann, (2000).

ASM METALS HANDBOOK, Vol. 2. **Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**, 10a ed, 1990.

ASTM STANDARD. E384,2011, **Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials**, ASTM International

ATKINSON, H. V. **Alloy development for thixoforming**. In: **6th International Conference on the Semi-solid Processing of Alloys and Composites**. Turin, 2000. Proceedings...Turin, Italy, 2000.p. 443-450.

BANHART, J. **Manufacturing Routes for Metallic Foams**. *Jornal JOM*, (2000).

ORBULOV, I. N.; JLINGER, K.. **Compressive Properties of Metal Matrix Syntactic Foams in Free and Constrained Compression**, *JOM*, (2014).

RASSILI, A.; ROBELET, M.; BIGOT, R. **Thixoforming: Parameters and means for industrialization**. **10th International Conference On Semi-Solid Processing Of Alloys And Composites Conference Proceedings**. Aachen, Germany and Liège, 2008. p. 213-218.

ROHATGI, P. K.; GUPTA, N.; GUPTA, B. F.; LUONG, D. D.. **The Synthesis, Compressive Properties and Applications of Metal Matrix Syntactic Foams**. (2011).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao CNPq e a Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica, e a UTFPR e a faculdade de engenharia mecânica da Unicamp que disponibilizaram o uso dos laboratórios e equipamentos necessários para realizar este trabalho.