

INFLUENCIA DE LA MICROESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE METALES CELULARES BASE ALUMINIO

PATRICIA FERNÁNDEZ MORALES

Docente Titular – Investigador GINUMA,

Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana

Circular 1ra. 70-01, Laureles, Medellín (Colombia), Tel: (574)-3544532 ext.0

patricia.fernandez@upb.edu.co

RESUMEN

Los metales celulares son materiales innovadores con gran potencial de aplicación en diversos sectores (automotriz, aeronáutico, procesos térmicos, etc), y de ahí la importancia de indagar acerca de sus propiedades, las cuales, son directamente influenciadas por la propia estructura porosa del metal celular. Adicional a lo anterior, la microestructura del metal propio de la matriz puede llegar a contribuir directamente en las propiedades, tanto físicas y químicas, como mecánicas. En el presente artículo, se analizó el comportamiento mecánico de esponjas metálicas (metales celulares de porosidad abierta) bajo esfuerzos de deformación a compresión y la influencia tanto de la estructura porosa como de la microestructura de la aleación de aluminio. Para lograr lo anterior, se inició con el análisis morfológico y estructural mediante microscopía SEM de las esponjas de aluminio, se obtuvo la densidad relativa, y luego se procedió a realizar ensayos de compresión a probetas cilíndricas.

PALABRAS CLAVE: *Metales celulares, Esponja de aluminio, Infiltración, preformas de sal, ensayo de compresión, microestructura*

THE INFLUENCE OF MICROSTRUCTURE ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF ALUMINUM BASED CELLULAR METALS

ABSTRACT

Cellular metals are innovative materials with a great application potential in several sectors (automotive, aeronautical, thermal processes, etc.), and that is the reason for inquiring on their properties, which are directly influenced by the porous microstructure of the cellular metal. Besides that, the microstructure of the metal itself could directly contribute to properties, chemical, physical and mechanical.

In this paper an analysis is presented of the mechanical behavior of metallic foams (cellular metals with open porosities) under compressive stresses, and the influence of the porous

structure as well as the microstructure of the aluminum alloy. To accomplish that a morphological and microstructural analysis of the aluminum foams was carried out by SEM. Relative density was obtained and then compressive tests of cylindrical coupons were done

KEY WORDS

Cellular metals, aluminum foam, infiltration, preforms, compressive test, microstructure.

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace al menos una década y media, se vienen estudiando los metales celulares (MC) con gran interés, siendo los países de Europa, Norteamérica y el medio Oriente los que han obtenido los mayores avances en éste campo. En principio, la mayor parte de los trabajos se han enfocado hacia los procesos de producción de MC, donde se ha establecido una clasificación en tres tipos de procesos: i) pulvimetalurgia, ii) electrodeposición y, iii) fundición [1-6].

Dado que existen evidentes diferencias entre los MC obtenidos mediante un proceso u otro, otras investigaciones por su parte, se han encargado de determinar las propiedades tanto físicas como mecánicas de los MC, donde precisamente la morfología de su estructura (porosidad abierta o cerrada, tamaño de poro, etc) se constituye en una de las principales influencias en tales propiedades [7-8]. Tales propiedades han propiciado un amplio espectro de aplicaciones de los MC en sectores tales como el automovilístico, aeroespacial, biomédico, etc. [8-10].

El presente trabajo describe el mecanismo de falla de metales celulares de porosidad abierta, denominados esponjas; el cual resultó similar a lo reportado por otros autores. Por otra parte, se obtuvieron los valores de resistencia a la compresión y módulo de Young.

Es importante mencionar que, hasta ahora ha sido poco indagado el posible rol que cumple la microestructura del metal de la matriz en el comportamiento mecánico de las esponjas metálicas. De lo anterior, en ésta investigación se estableció la influencia que llega a tener la microestructura propia del tipo de aleación de aluminio utilizada para la fabricación de las esponjas bajo estudio, en el comportamiento mecánico bajo esfuerzos de compresión.

2. EXPERIMENTACIÓN

2.1. Fabricación del metal celular

Las esponjas metálicas fueron obtenidas mediante el proceso de fundición denominado Infiltración de Preformas Solubles – IPS. Dicho proceso consta de tres pasos básicos: a) preparación de una preforma soluble, en éste caso se utilizó sal comercial (NaCl), b) fusión e

infiltración mediante vacío del metal, para ello se utilizó una aleación de aluminio del tipo AlSiMg como metal matriz, y finalmente, c) disolución de la preforma en agua destilada.

La sal utilizada en la preforma, es tamizada previamente con el fin de obtener los tamaños de partícula requeridos para la esponja deseada, y para éste estudio se usaron tamaños de partícula de 2.0mm, con morfología de grano irregular.

2.2. Ensayos de compresión

Para la realización de los ensayos de compresión, fueron utilizadas muestras de esponjas cilíndricas de 20 mm de diámetro y 20 mm de altura. Dichas muestras fueron sometidas a esfuerzos de compresión con base en la norma ASTM E9, en una máquina universal de ensayo marca *Instron* 5582 y a una velocidad de cabezal de 0.5 mm.s^{-1} .

2.3. Análisis estructural y metalográfico

Con referencia al análisis estructural de las esponjas obtenidas, se utilizaron técnicas de microscopía óptica mediante el uso de un estéreo microscopía marca *Olympus* y un microscopio electrónico de barrido marca *JEOL JSM 6490 LV*. Las microestructuras fueron observadas mediante un microscopio marca *Leica*. En esta etapa también se realizaron medidas de la densidad de las esponjas.

3. RESULTADOS

3.1. Morfología y microestructura

Las esponjas de aluminio obtenidas, mostraron porosidad completamente abierta e interconectada, como se muestra en la figura 1. Adicionalmente, se estableció una clara relación entre la forma y el tamaño de partícula usado en la preforma, con respecto a la morfología y el tamaño de los poros observados en las esponjas obtenidas.

De lo anterior, se obtuvieron esponjas de aleación de aluminio con poros de morfología irregular, con tamaño promedio de 2.0 mm y densidad aproximada de 0.89 gcm^{-3} .



Figura 1. Estructura de poros abiertos e interconectados de la esponja de aluminio

3.2. Comportamiento mecánico

El comportamiento mecánico de las esponjas de aluminio mostró tres fases plenamente identificadas: i) deformación elástica, ii) meseta de deformación y, iii) densificación de la estructura. Esta última fase se muestra en la figura 2.



Figura 2. Estructura densificada, luego del colapso de los poros en la esponja sometida a esfuerzos de compresión

En cuanto a la resistencia a la compresión de las esponjas de aluminio bajo estudio y comparativamente con otras reportadas en la literatura, se obtuvieron valores promedio de 67.8 MPa y Módulo de Young 355.6 MPa, los cuales resultan ser muy satisfactorios en particular para MC base aluminio [11-16].

Con respecto a la microestructura, las fases presentes en la aleación AlSiMg, resultaron tener una fuerte influencia en los mecanismos de falla de las esponjas. Como se muestra en la figura 3, se observaron microconstituyentes en forma de agujas de AlFeSi y placas de Si, las cuales se presentaron igualmente en regiones de fractura posterior a la aplicación de los esfuerzos compresivos. Los microconstituyentes de AlFeSi han sido mencionados por otros autores como fases que afectan las propiedades mecánicas debido básicamente a su morfología y su nivel de dureza [17].

En ese sentido, se aduce que la presencia de fases del tipo AlFeSi y Si, promueven sitios de nucleación de microfracturas, debido a que son fases muy duras y a que su morfología las convierte en concentradores de esfuerzos, dando lugar a un inicio prematuro de la falla y a la propagación de las microgrietas.

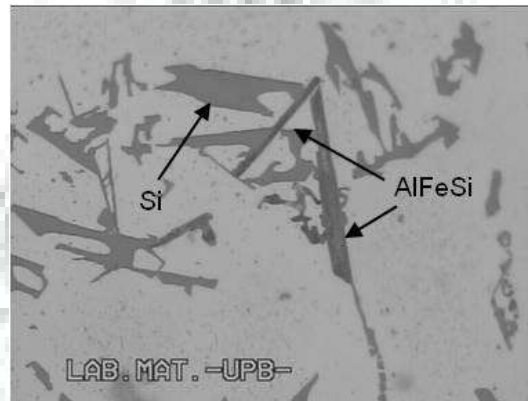


Figura 3. Microestructura de la matriz de aluminio: Agujas de AlFeSi y placas de Si

4. CONCLUSIONES

Se encontró que la estructura porosa de los metales celulares sometidos a esfuerzos de compresión, da origen a un mecanismo de fractura en tres fases: deformación elástica, meseta de deformación y densificación de la estructura, la cual se ha ido consolidando como una tipología propia de estos materiales.

Se obtuvieron valores de resistencia a compresión bastante satisfactorios con respecto a lo encontrado en la literatura para metales celulares base aluminio.

Se evidenció que la presencia de fases del tipo AlFeSi y Si, promueven sitios de nucleación de microfracturas, dando lugar a un inicio prematuro de la falla y a la propagación de las microgrietas en la matriz metálica de la esponja.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Colciencias por su apoyo a éste trabajo, mediante la financiación del proyecto con Contrato: 451-2009, Código: 1210-452-21201.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ashby M. *et al.* Metal foams: a design guide: Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, 2000.
- [2] Banhart, J. Metallic foams: challenges and opportunities, Memorias del congreso *Eurofoam2000*, Bremen, Alemania, 13-20, 2000.
- [3] Davies G. J. and Zhen S. Review Metallic Foams: their production, properties and applications. *J Mater Sci*, 18, 1899-1911, 1983.

- [4] Fernández P., Cruz L. J.; Coletto J. Procesos de Fabricación de Metales Celulares: Parte I, Procesos Por Vía Líquida. *Revista de Metalurgia de Madrid*, 44 (6), 540-555, 2008.
- [5] Fernández P., Cruz L. J.; Coletto J. Procesos de Fabricación de Metales Celulares: Parte II, Vía Sólida, Deposición De Metales, Otros Procesos, *Revista de Metalurgia de Madrid*, 45 (2) 124-142, 2009.
- [6] Wadley H. Cellular metals manufacturing, *Adv. Eng Mater*, 4, 726-733, 2002.
- [7] Gibson L.J. and Ashby M.F., *Cellular solids: structure and properties*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1997.
- [8] Banhart J. Manufacture, Characterisation and Application of Cellular Metals and Metal Foams, *Progr Mater Sci*, 46, 559-632, 2001.
- [9] Körner C. and Singer R. F., Processing of Metal Foams-Challenges and Opportunities, *Adv Eng Mater*, 2, no. 4, 159-165, 2000.
- [10] Banhart, J. Properties and applications of cast aluminium sponges, memorias del congreso *Metal foams and porous metal structures Int. Conf.*, Bremen, Alemania, 159-162, June 1999.
- [11] Andrews E., Sanders W. and Gibson L. J., Compressive and tensile behaviour of aluminum foams, *Mater Sci Eng*, A270, 113-124, 1999.
- [12] San Marchi C. and Mortensen A., Deformation of open-cell aluminum foam, *Acta mater*. 49, 3959-3969, 2001.
- [13] Zhu H. X., Hobdell J.R., Windle A.H., Effects of Cell Irregularity on the Elastic Properties of Open-Cell Foams, *Acta Mater.*, 48, 4893-4900, 2000.
- [14] Cao X-q., Wang Z-h., Ma H-w., Zhao L-m. and Yang G-t., Effects of cell size on compressive properties of aluminum foam, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 16, 351-356, 2006.
- [15] San Marchi C., Despois J.-F., Mortensen A., Uniaxial deformation of open-cell aluminum foam: the role of internal damage, *Acta Mater*. 52, 2895-2902, 2004.
- [16] Ochoa E., López P.; Torres G. y Casolco S., Esfuerzo de compresión en espumas de zinalco, *Memorias del XII Congreso Internacional Anual SOMIM*, Acapulco, México, 2006.
- [17] Lehmhus D. And Banhart J., Properties of heat-treated aluminium foams, *Mater Sci Eng*, 349, 98-110, 2003.