

ANÁLISIS DE MÓDULO ELÁSTICO Y RESISTENCIA A LA FLUENCIA DE ALUMINIO PLEGADO CON MEDIANAS DENSIDADES RELATIVAS

Carmen Betsabe Rodríguez Cisneros

Instituto Tecnológico Celaya
betsa.cisne@gmail.com

Roberto Edú Arriaga Medina

Instituto Tecnológico Celaya
roberto.edu.arriaga.medina@gmail.com

Luis Alejandro Alcaraz Caracheo

Instituto Tecnológico Celaya
Alejandro.alcaraz@itcelaya.edu.mx

Resumen

El aluminio plegado es un material que debido a su baja densidad y bajo costo de fabricación podría representar una alternativa al uso de materiales celulares como la espuma de aluminio. Debido a esto, en el presente trabajo se realizaron algunos ensayos de compresión, con la finalidad de analizar el comportamiento mecánico de aluminio plegado con medianas densidades relativas, complementando la información aportada por estudios previos.

Palabra(s) Clave(s): Aluminio plegado, densidad relativa, módulo elástico, resistencia a la fluencia.

Abstract

Crumpled aluminum is a material which, due to its low density and low manufacturing cost, could represent an alternative to the use of cellular materials such as aluminum foam. Because of this, in this paper some compression tests were conducted in order to analyze the mechanical behavior of crumpled aluminum

with medium densities, complementing the information provided by previous studies.

Keywords: *Crumpled aluminum, relative density, elastic modulus, yield strength.*

1. Introducción

En la actualidad la industria busca materiales con una combinación adecuada entre baja densidad, bajo costo de fabricación y buena resistencia mecánica, como son los materiales celulares. La espuma de aluminio es un material celular que hoy en día tiene gran demanda en la industria, pero al ser un material costoso en su fabricación los investigadores se han tomado la tarea de analizar algunas otras alternativas, como lo es el aluminio plegado. Estos estudios son muy recientes dado que sus propiedades mecánicas comenzaron a analizarse a partir del 2013 con el trabajo de Bouaziz et al [1], en donde se analizaron el módulo elástico y resistencia a la fluencia bajo ensayos de compresión de probetas cilíndricas de aluminio plegado, variando la densidad relativa de 0.019 a 0.11, y se compara este material con los materiales celulares, concluyendo que el aluminio plegado presenta un comportamiento híbrido entre las espumas y los materiales fibrosos. En 2015, en el trabajo de Balankin et al [2] utilizaron probetas cilíndricas con la misma cantidad de aluminio variando las densidades relativas de 0.03 a 0.12 utilizando diferentes alturas, donde se obtuvieron módulo elástico y resistencia a la fluencia, además que se realiza un estudio de relajación del material. En el 2015 en el trabajo de Arriaga [3] se realizó el análisis del módulo elástico y la resistencia a la fluencia variando la densidad relativa de 0.05 a 0.09 y con probetas de 16 mm de diámetro en ensayos libres y confinados. En ese mismo año en el trabajo Cruz [4] se determinaron las mismas propiedades pero con probetas de 32 mm de diámetro, llegando a la conclusión de que conforme aumenta la densidad relativa, aumentan las propiedades mecánicas.

Todos estos estudios sobre el aluminio plegado han variado la densidad relativa por debajo de 0.12, por esto, la importancia de esta investigación se centra analizar las propiedades mecánicas de este material a densidades relativas medias, entre 0.09 y 0.5.

2. Métodos

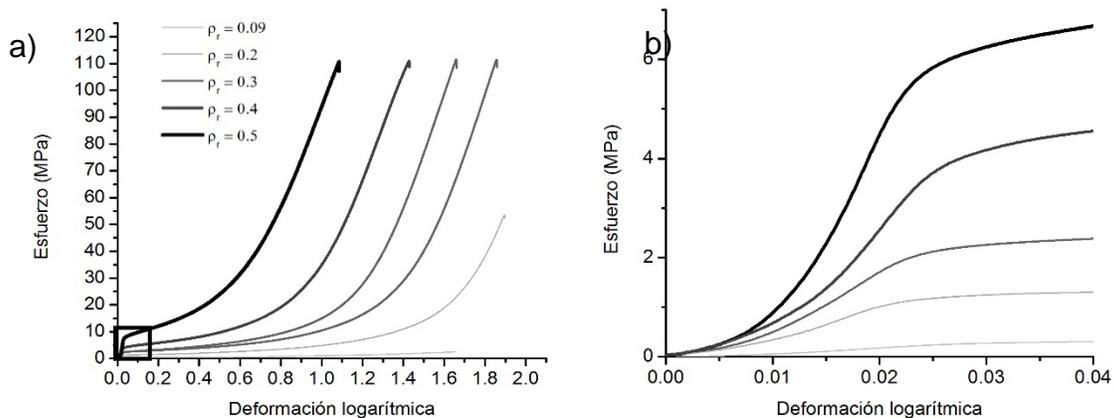
En este estudio se utilizaron hojas de aluminio con espesor estándar $e = 0.018$ mm, densidad de $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ y un módulo elástico de $E_s = 70 \text{ GPa}$. Cada hoja se cortó con forma cuadrada y para variar la densidad relativa ρ_r se utilizaron diferentes longitudes de lado (81 mm, 100 mm, 115 mm y 129 mm). Después, las hojas se doblaron (plegaron) aleatoriamente y posteriormente se comprimieron en un molde con un diámetro interior de 7 mm, con la intención de darles forma cilíndrica con ese diámetro nominal y una altura de 14 mm.

Los ensayos se realizaron en la modalidad de compresión uniaxial en una máquina de pruebas universal con celda de carga de 5 kN, con una velocidad de prueba constante de 10 mm/min. Se ensayaron tres probetas de cada densidad relativa.

3. Resultados y discusión

La máquina de ensayos universal proporcionó los datos de fuerza y desplazamiento que se utilizaron para la construcción de la curva esfuerzo-deformación logarítmica para cada probeta.

En la figura 1 se pueden apreciar curvas esfuerzo-deformación logarítmica representativas del aluminio plegado ensayado a las diferentes densidades relativas consideradas. Como puede observarse, mientras mayor sea la densidad relativa utilizada mayor es su resistencia a una misma deformación.



a) Curva completa.

b) Ampliación de la primera parte de la curva.

Figura 1 Esfuerzo-deformación a diferentes densidades relativas de aluminio plegado.

A partir de las curvas mostradas (figura 1), el módulo elástico E_0 se obtuvo de la pendiente de la recta obtenida a partir de la regresión lineal realizada sobre los datos de la zona elástica y la resistencia a la fluencia σ^* para cada densidad relativa, los cuales se graficaron según se aprecia en la figura 2, donde puede observarse que mientras incrementa la densidad relativa, tanto el módulo elástico como la resistencia a la fluencia aumentan. También se consideró que estas propiedades mecánicas siguen una ley de potencia, ya que el aluminio plegado presenta una estructura interna en forma de celdas, como ocurre con los materiales celulares.

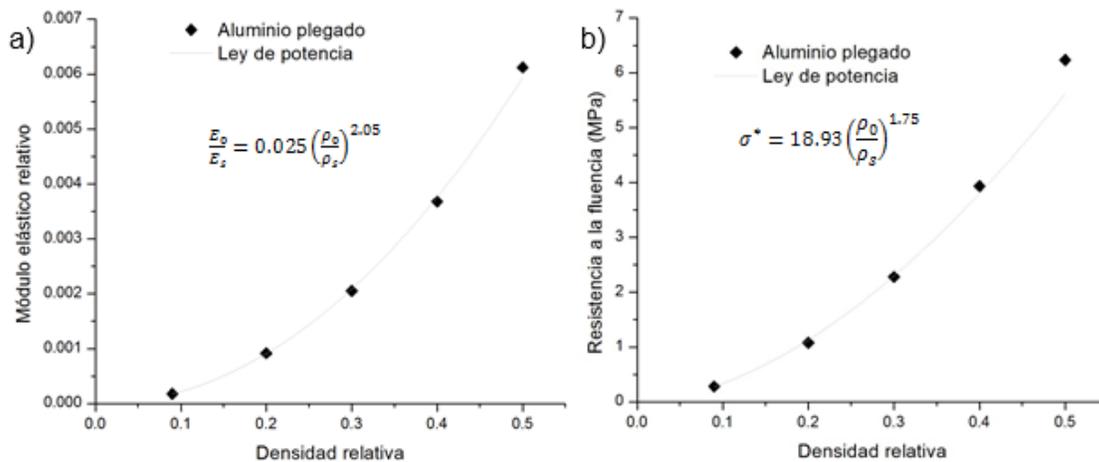


Figura 2 Aluminio plegado función de la densidad relativa.

De acuerdo a como ha sucedido en estudios anteriores sobre aluminio plegado [1], se puede realizar un análisis de su mesoestructura al comparar el valor del exponente de cada modelo empírico. Para la ley de potencia del módulo elástico se obtuvo un exponente $n = 2.05$, el cual es muy cercano a 2; buscando este valor en la tabla 1, se puede decir que el mesomecanismo de deformación predominante en la zona elástica es la flexión de las aristas de la celda formada por los pliegues. De la misma forma, para la resistencia a la fluencia, el exponente es $m = 1.75$, el cual es un valor intermedio entre los valores $3/2$ y 2 de la tabla 1. Esto puede significar que al llegar a la fluencia existe una transición de las aristas a flexión, a

las paredes a flexión en las celdas formadas por los pliegues, como mesomecanismos de deformación predominantes.

Tabla 1 Clasificación de exponentes para la compresión de materiales celulares como función de su arquitectura y mesomecanismos de deformación [1].

Materiales	Mesomecanismos de deformación	n	m
Espuma celda abierta	Dominado por flexión de las aristas de la celda	2	$3/2$
Armadura	Dominado por estiramiento de las aristas de la celda	1	1
Espuma celda cerrada (con engrosamiento de los bordes)	Flexión de las aristas y estiramiento de las paredes de la celda	$1 < n < 2$	$1 < m < 3/2$
Espuma celda cerrada ideal (sin engrosamiento de los bordes celulares)	Dominado por flexión de las paredes de la celda	3	2
Panal hexagonal	Dominado por flexión de las paredes de la celda	3	2

4. Bibliografía y Referencias

- [1] Bouaziz, O.: Compression of crumpled aluminum thin foils and comparison with other cellular materials, *Materials Science & Engineering A*, N° 570 pág. 1–7, 2013
- [2] Balankin, A.: Mechanical properties and relaxation behavior of crumpled aluminum foils, *Journal of Materials Science*, N° 50, 13 pág. 4749-4761, 2015
- [3] Arriaga, R. Efecto de la densidad relativa en las propiedades mecánicas de materiales plegados. Tesis Ing. Mec., Instituto Tecnológico de Celaya, 2015.
- [4] Cruz, D. Análisis del comportamiento a compresión de aluminio plexoplegado para aplicaciones de absorción de energía. Tesis M.C. en Ing. Mec., Instituto Tecnológico de Celaya, 2015.