

Título del Trabajo Final: Diseño, fabricación y caracterización de esponjas pseudoelásticas

Lugar en donde se realizará el Trabajo Final: División Física de Metales, Centro Atómico Bariloche

Director: Dr. Graciela Bertolino, Conicet – Instituto Balseiro, UNCuyo, bertolin@cab.cnea.gov.ar, tel: 0294 444 5157.

Codirector:

Introducción:

Las esponjas metálicas forman parte de la familia de los materiales celulares. El método más sencillo empleado para la obtención de materiales con celda abierta es el que utiliza separadores que luego de fundido el metal son eliminados por disolución o quemado.

Las aleaciones con memoria de forma (AMF) presentan propiedades mecánicas no habituales en los materiales utilizados en aplicaciones de ingeniería. Ejemplos de estas propiedades son la pseudoelasticidad y la recuperación de forma. Ambas reflejan la capacidad de estos materiales de absorber grandes deformaciones a través de transformaciones de fases sólido-sólido.

Asociando los materiales celulares con las aleaciones con memoria de forma llegamos a la obtención de esponjas pseudoelásticas o con memoria de forma. Este componente tan especial es el centro del trabajo propuesto.

Objetivos del Trabajo: En este trabajo se plantea trabajar con materiales metálicos capaces de absorber energía considerando su posible utilización en dispositivos amortiguadores o actuadores. Para ello se plantea el estudio de materiales con propiedades pseudoelásticas, que responden a sollicitaciones mecánicas disipando energía debido a los procesos internos desarrollados. La propuesta es combinar este comportamiento con el de los materiales celulares (esponjas) bien conocidos en aplicaciones de amortiguación.

Los objetivos que se plantean para el presente trabajo son:

- » Optimización del método de fabricación de esponjas de Cu-Zn-Al por el método de infiltración de separadores, de manera de lograr propiedades térmicas, morfológicas y microestructurales determinadas. En particular, se desea controlar el tamaño de grano, el tamaño y la disposición de los huecos, así como la densidad del material.
- » Caracterización de los materiales mediante combinaciones de técnicas, incluyendo: estudio composicional (localizado y extendido: químico, SEM-EDS, activación neutrónica), morfológico (microscopía óptica y SEM), microestructural (SEM, TEM), estructural (DRX) y estabilidad térmica (DSC, DTA, TG) del material en distintas etapas de preparación.
- » Caracterización de propiedades mecánicas mediante ensayos convencionales y no convencionales.
- » Análisis del comportamiento frente a fatiga mecánica. Se analizarán las evoluciones de las tensiones de transformación y de los ciclos de histéresis mecánica debidos al ciclado mecánico de los materiales. Se estudiará el efecto de la aplicación de diversos tratamientos térmicos, antes y después de los ensayos mecánicos.

Descripción sucinta de los conocimientos y habilidades que el alumno adquirirá:

De la lectura de los objetivos se desprende claramente que el alumno utilizará una gran variedad de técnicas experimentales utilizadas en la caracterización de materiales. Al finalizar el trabajo el alumno será capaz de preparar sus propias muestras, desde la fundición hasta el estado final y caracterizarlas tanto microestructural, morfológica como mecánicamente.

Trabajos a realizar: Para completar el trabajo será necesario, preparar aleaciones de Cu-Zn-Al mediante fundición, preparar esponjas utilizando el método sugerido en hornos de inducción. Estudiar

las propiedades de las mismas luego de diversos tratamientos térmicos. Realizar ensayos mecánicos para evaluar la respuesta de las esponjas a solicitaciones cuasiestáticas y cíclicas.

Técnicas experimentales o de cálculo que se usarán: Para el desarrollo del trabajo será necesario utilizar hornos de fusión, resistivos e inductivos, SEM-EDS, TEM, DRX, DSC, DTA, TG, ensayos de compresión, ensayos de fatiga, entre otros.

Cronograma estimado de cada una de las actividades:

Tareas	Mes											
	1		2		3		4		5		6	
Estudio bibliográfico del tema	x	x	x									
Producción de esponjas base Cu		x	x	x	x	x	x					
Caracterización química, morfológica y microestructural de las esponjas (análisis químico, rayos-X, temperaturas de transformación, microscopía)		x	x	x	x	x	x	x				
Caracterización del comportamiento mecánico de distintas esponjas			x	x	x	x	x	x	x	x		
Caracterización de las muestras ensayadas mecánicamente				x	x	x	x	x	x	x		
Estudio de posibilidades de mejora del material (esponjas)							x	x	x	x	x	
Análisis de los resultados							x	x	x	x	x	
Redacción del trabajo final									x	x	x	x

Material e Infraestructura con que se cuenta: se cuenta con el material e infraestructura necesaria para llevar adelante el trabajo, empleando todas las técnicas mencionadas, dentro de la división Física de Metales o dentro de otros grupos del Centro Atómico Bariloche

Experiencia previa del grupo de trabajo en el tema propuesto:

En los últimos años, se ha explorado en forma exitosa la posibilidad de producir esponjas de Cu-Zn-Al con memoria de forma. El método de producción se basa en preparar un material compuesto, sumergiendo esferas pequeñas de sílica gel (SiO_2) en la aleación fundida. Luego de solidificar solidificar la aleación estas esferas, que quedan embebidas en el metal, son disueltas en forma completa sumergiendo el compuesto en una solución de ácido fluorhídrico que no afecta a la parte metálica. El resultado es un material poroso, con una densidad inferior al 25% de la del material sólido. El Grupo ha realizado la primera caracterización mecánica de este material novedoso, encontrando que luego de su procesamiento, las esponjas poseen un marcado efecto pseudoelástico. Son capaces de recuperar el 95% de una deformación del 4% impuesta a temperatura ambiente, estos primeros resultados han sido publicados en: “*Mechanical properties of martensitic Cu-Zn-Al foams in the pseudoelastic regime*”, G. Bertolino, P. Arneodo Larochette, E. M. Castrodeza, C. Mapelli, A. Baruj, H. E. Troiani. Materials Letters 64 (2010) 1448 - 1450. Seguidamente se estudió la dependencia de parámetros críticos, como la tensión de transformación y área del ciclo de histéresis mecánica, en función de la densidad de las esponjas de Cu-Zn-Al con efecto memoria. Se encontró que las propiedades muestran una dependencia proporcional a la densidad relativa con un exponente del orden de 2.5, lo cual es un comportamiento

típico de materiales porosos. En este caso, ese hallazgo es particularmente importante pues permite tener una herramienta para el diseño de esponjas específicas. Se estudió también el efecto de la frecuencia de sollicitación mecánica en la respuesta mecánica, especialmente en la capacidad de amortiguamiento específica. Se encontró que dentro de un amplio rango de frecuencias esta propiedad se mantiene invariante, lo cual es también importante pensando en posibles aplicaciones. Estos resultados fueron publicados en: “*Cyclic pseudoelastic behavior and energy dissipation in as-cast Cu-Zn-Al foams of different densities*”, G. Bertolino, A. Gruttadauria, P. Arneodo Larochette, E.M. Castrodeza, A. Baruj, H. Troiani, *Intermetallics* 19 (2011) 577-585. Se exploró la posibilidad de producir esponjas por diferentes métodos, ya sea fundiendo en horno de inducción o bien en horno resistivo. Se compararon las diferencias morfológicas y funcionales de las esponjas generadas por ambos métodos. Se encontró que al utilizar el horno inductivo se producen esponjas más homogéneas y con mejores propiedades mecánicas. Este estudio fue publicado en: “*Characterization and comparative study of pseudo-elastic Cu-Zn-Al foams synthesized by two different methods*” B. Weiss; P Arneodo Larochette, G. Bertolino; E. Castrodeza; A. Baruj; H. E Troiani, *Materials science forum*; (2013) 738 p. 172 – 176.

Bibliografía general:

- [1] Engineering aspects of shape memory alloys. Ed: T. W. Duerig, K. N. Melton, D. Stöckel, C. M. Wayman. Butterworth-Heinemann, London, UK (1990)
- [2] Shape memory materials. Eds.: K. Otsuka and C. M. Wayman. Cambridge University Press, Reino Unido (1998)
- [3] S. Miyazaki and K. Ohtsuka en: “Shape Memory Alloys”, Ed.: H. Funakubo. Gordon and Breach Science Publishers, New York, EE UU (1987), 116-175
- [4] T. Tadaki en: “Shape memory materials” (1998). Eds.: K. Otsuka and C. M. Wayman. Cambridge University Press, Reino Unido, 97-116
- [5] Y. Suzuki en: “Shape memory materials” (1998). Eds.: K. Otsuka and C. M. Wayman. Cambridge University Press, Reino Unido, 133-148
- [6] R. Elst, J. Van Humbeeck, M. Meeus and L. Delaey; *Z. Metallkde.* 77 (1986), 421-424
- [7] G. Bertolino, P. Arneodo Larochette, E. M. Castrodeza, C. Mapelli, A. Baruj and H. E. Troiani; *Materials Letters* 64 (2010), 1448 - 1450
- [8] G. Bertolino, A. Gruttadauria, P. Arneodo Larochette, E.M. Castrodeza, A. Baruj and H. Troiani; *Intermetallics* 19 (2011), 577-585
- [9] B. Weiss, P Arneodo Larochette, G. Bertolino, E. Castrodeza, A. Baruj and H. E Troiani; *Mat. Sc. Forum* 738 (2013), 172–176