

## Desarrollo de espumas metálicas de Al y Cu reciclado con $\text{NaHCO}_3$ cómo agente espumante, mediante técnica de pulvimetalurgia

Espasandin, José Manuel a ; Canteros Ofelia Jessica Soledad b  
Malachevsky, María Teresa c ; Barabas, Leonardo Gastón d  
a Facultad Regional Resistencia, UTN  
b Facultad Regional Resistencia, UTN  
c Centro Atómico Bariloche-Argentina  
d Facultad Regional Resistencia, UTN  
jessicanteros@ca.frre.utn.edu.ar

### RESUMEN

En este estudio, se obtuvieron espumas de aluminio-cobre a partir de materiales reciclados de cables conductores de alta pureza, mediante técnica de pulvimetalurgia, de estructura homogénea y densidades relativas del orden del 35%. Utilizando materiales reciclados con un agente espumante más accesible puede concluir en un aspecto clave en la búsqueda de soluciones innovadoras. Para la obtención de la aleación sustitucional, el proceso comenzó fusionando aluminio con partes de cobre, disolviendo el cobre por difusión para obtener una aleación con un 7% en peso de cobre. Se generaron finas virutas mediante mecanizado convencional y se obtuvo polvo mediante molienda manual, con partículas laminares en el orden de la décima de milímetro. Para el espumado, se utilizó bicarbonato de sodio comercial como agente espumante. Esta alternativa reemplazó al hidruro de titanio, que requería tratamiento térmico previo al mezclado y tenía un alto costo. Además, el hidruro de titanio no funcionaba correctamente con partículas de polvo laminar. Los polvos obtenidos se mezclaron y luego se sometieron a un prensado a temperatura ambiente a diversas presiones. Finalmente, se introdujeron en un horno a temperaturas cercanas a los 900 °C durante un corto tiempo, lo que permitió obtener las espumas deseadas. Este estudio promueve materiales ligeros y sostenibles para la ingeniería. Además, el reciclaje de aluminio tiene un impacto positivo en el medio ambiente, ya que permite ahorrar hasta un 95% de energía en comparación con la producción de aluminio a partir de materias primas vírgenes.

**Palabras clave:** Espumas, aluminio (Al), bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ), cobre (Cu), pulvimetalurgia.

### INTRODUCCIÓN

Con la necesidad de contribuir al cuidado del medio ambiente y a la optimización de los recursos naturales, se trabajó en el desarrollo de un nuevo material (espumas metálicas) mediante el reciclado de los materiales bases para su obtención, estos son el aluminio y el cobre.

Las espumas metálicas son un material novedoso que tiene aplicaciones en la industria automotriz, de la construcción y en la fabricación de piezas como intercambiadores de calor o filtros entre otros. Su amplio empleo se debe a sus propiedades mecánicas y físicas, donde se destacan su baja densidad relativa lo

que conlleva un bajo peso, y su capacidad de absorción al impacto y al sonido [1].

El desafío que se nos presentó con la temática fue desarrollar la técnica de pulvimetalurgia para obtener espuma de aleación de aluminio utilizando un espumante alternativo en lugar del hidruro de titanio ( $\text{TiH}_2$ ). El  $\text{TiH}_2$  se emplea ampliamente en la generación de espumas, pero tiene la limitación de requerir tratamiento térmico antes del proceso de mezclado y de tener un costo significativo [2].

Por lo expuesto se recurrió a alternativas de espumantes tales como el carbonato de calcio [3] y el bicarbonato de sodio. El empleo de este último agente

espumante es el que se desarrollará en el presente trabajo.

## OBJETIVO

Desarrollar una espuma de aleación de aluminio y cobre reciclado mediante técnica de pulvimetalurgia, utilizando bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) como agente espumante el cual resulta económico e innovador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Polvos empleados

La materia prima (polvos) se obtuvo a partir de aluminio y cobre reciclado de cables conductores de alta pureza. Los elementos se introdujeron en un crisol de Fe, en una relación en peso de 93% de Al y 7% de Cu. Se llevó la mezcla dentro del horno a una temperatura de  $700^\circ\text{C}$ . Con el fin de incorporar el cobre mediante un proceso de difusión dentro de la matriz cristalina del aluminio, se mantuvo dentro del horno por 24 horas a temperatura constante.

Con el bloque macizo obtenido se generaron finas virutas mediante mecanizado convencional que luego se redujo a polvo con molienda manual, las partículas laminares obtenidas fueron del orden de la décima de milímetro.

Para el caso del agente espumante, solo se recurrió al bicarbonato de sodio en polvo ( $\text{NaHCO}_3$ ) de uso comercial, de fácil adquisición en el mercado y con un costo económico.

### Metodología del proceso

Con los polvos se desarrolló un material celular, espuma de aleación aluminio-cobre, con la técnica de pulvimetalurgia.

Al polvo obtenido de la aleación metálica se lo sometió a un análisis mediante difracción de rayos X para determinar la calidad del mismo. En la figura 1 se observa el difractograma en el cual se encontró la formación de  $\text{CuAl}_2$  precipitado del proceso de difusión. El resto de los picos no indexados corresponden a óxidos de Fe y Al debido a que el crisol utilizado fue del primer material. Del análisis la altura relativa de los picos de estos óxidos indican que se

encuentran en proporciones que en principio se podrían despreciar.

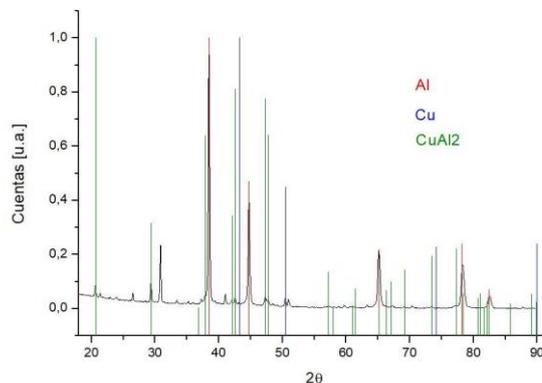


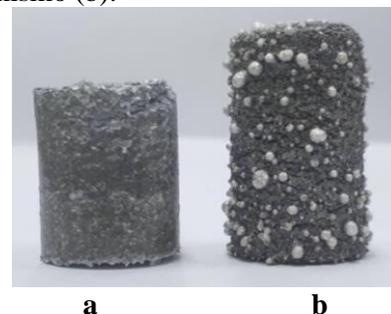
Figura 1: Difractograma de aleación  $\text{CuAl}_2$

Los polvos se sometieron a un proceso de mezclado de las partículas metálicas con su espumante por un periodo de entre 5 y 10 minutos.

Homogeneizada la muestra se introdujo en una matriz cilíndrica de 15 mm de diámetro para la ejecución de la compresión uniaxial. La presión ejercida a temperatura ambiente para la muestra verde fue de 166 MPa. El mantenimiento del prensado varió entre 5 y 10 minutos.

Para el espumado se preparó en el horno una superficie que se encontraba dentro del mismo a la temperatura de  $900^\circ\text{C}$ . La muestra verde se introdujo en el horno a los  $900^\circ\text{C}$  y se analizó el tiempo en el cual se iniciaba la liberación de gas del bicarbonato de sodio por observación directa, resultando entre 2 y 3 minutos. Transcurrido este periodo de tiempo, se retiró la superficie base que sustenta la espuma.

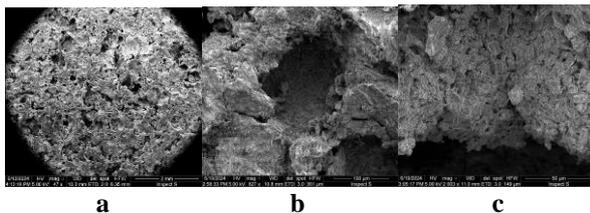
En la figura 2, puede observarse una de las muestras denominado compacto verde antes del espumado (a), y luego del mismo (b).



**Figura 2:** Muestra AlCu-6: a-Compacto Verde previo al espumado. b-Espuma final.

## RESULTADOS

Las espumas obtenidas fueron sometidas a observación mediante microscopía electrónica de barrido. Las imágenes obtenidas revelaron la presencia de poros en el interior de la estructura (figura 3a). Se observa una distribución homogénea de dimensiones que varían desde los 100  $\mu\text{m}$  a los 500  $\mu\text{m}$ . Esto es un indicativo de la distribución del agente espumante en el proceso de mezclado de los polvos y de la efectividad de la reacción del mismo en todo el volumen de la muestra. Es posible que la homogeneidad de la distribución de poros también se deba a que la expansión de la muestra se produce en dirección vertical, en el sentido longitudinal de la misma por lo que el gas producido por el bicarbonato de sodio tiende a escapar por la cara superior. Estos poros podemos considerarlos como macroporos por su dimensión.



**Figura 3:**a- Distribución de poros en la Espuma de AlCu y  $\text{NaHCO}_3$ , b-Macroporos, c- microporos

La escala de la figura 3c es de dos y un orden de magnitud respecto de las figuras 3a y 3b respectivamente. En su parte inferior se observa un macroporo de los antes descriptos y en su resto se observan microporos y partículas de la aleación que no se encuentran totalmente fusionadas entre sí, lo cual puede deberse a la formación de la capa de óxido de aluminio en la superficie. Como la formación de cuellos de conexión entre partículas no logra una sección considerable podría dar por resultado un material mecánicamente frágil.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El reciclado de los metales empleados como material base junto con la técnica de pulvimetalurgia permitió la reutilización de los mismos para la obtención de

espumas metálicas. Esta técnica no genera desperdicio de los materiales lo que conlleva a reducir la huella de carbono.

La obtención de la aleación resultó satisfactoria debido a que la formación de poros se da en las zonas confinadas de material, donde existe la aparición de fase líquida de la aleación según se indica en el diagrama binario Al-Cu para los porcentajes de elementos utilizados a la temperatura de espumado.

Se obtuvieron y replicaron en diez ocasiones espumas de características cualitativas similares. Por lo que el método utilizado llevó al logro del objetivo, obtención de espumas de Al/Cu y  $\text{NaHCO}_3$  como agente espumante.

La densidad relativa obtenida de las muestras fue del orden del 29% al 35%. Resultado que define el límite entre un material poroso y un material celular. Esto demuestra además el elevado porcentaje de poros en las muestras.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fernández, P.; Cruz, L.J.; García Cambronero, L.E. (2010). Uso de aluminio reciclado para la producción a bajo costo de espumas metálicas de poro abierto. *Prospect*, 8, 7-11.
- [2] Fernández, P.; Cruz, L. J.; Coletto, J. (2009). Proceso de fabricación de metales celulares. Parte II: vía sólida, disposición de metales, otros procesos. *Revista de Metalurgia de Madrid*, 45, 124-142.
- [3] Espasandín, J. M.; Canteros, O.J. S.; Malachevsky, M. T.; Barabas, L. G. (2022, 7, 8 y 9 de septiembre). 6<sup>to</sup> Congreso Argentino de Ingeniería y el 12<sup>o</sup> Congreso Argentino de Enseñanza en Ingeniería. Espumas de Al-Cu- $\text{CaCO}_3$  obtenidas por técnica de pulvimetalurgia.