

Monolitos de carbono sostenibles con porosidad jerarquizada

C. Cuesta*, M. Álvarez-Rodríguez, N. Rey-Raap, R. García, E. Rodríguez, M.A. López-Antón, M.R. Martínez-Tarazona, A. Arenillas

Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono, INCAR-CSIC, C/Francisco Pintado Fe, 26, 33011 Oviedo.

crisobal.cuesta@incar.csic.es

Palabras clave: espumas de carbono, geles de carbono, sostenibilidad, porosidad jerarquizada.

Introducción

Los materiales de carbono destacan, entre otras propiedades, por la facilidad con que se puede modular su porosidad (microporos, mesoporos y macroporos). Sin embargo, no es fácil controlar y desarrollar porosidad jerarquizada, es decir, combinar en un mismo material distinto tipo de porosidad, de forma independiente y controlada, y más aún en un monolito obtenido sin el uso de ligantes. Esta combinación de tamaños de poro en un monolito de carbono ampliaría aún más las posibles aplicaciones de estos materiales en multitud de procesos de interés tecnológico. Por otro lado, la utilización de precursores y procesos sostenibles en la fabricación de nuevos materiales es un aspecto fundamental hoy en día. Los precursores deben ser abundantes y no tóxicos, mientras que los procesos deben ser eficientes, evitando condiciones de operación extremas que encarezcan el proceso. En este trabajo se han sintetizado materiales de carbono con porosidad jerarquizada, a partir de compuestos sostenibles, combinando dos metodologías (sol-gel y espumación) sencillas, eficientes y bajo condiciones de operación moderadas.

Experimental

La preparación del material híbrido se llevó a cabo partiendo de esferas de carbono (CS) obtenidas por metodología sol-gel asistida con microondas, modificando un procedimiento ya existente [1], utilizando monómeros sostenibles y reduciendo los tiempos del proceso a 2 horas mediante calentamiento con microondas a 50°C. Las esferas carbonizadas se añaden a una disolución de sacarosa en ácido cítrico en una proporción 2:1 (sacarosa:esferas). Después de evaporar el agua, calentando hasta 170 °C, se obtiene una resina, la cual, una vez enfriada, se somete a un tratamiento térmico en aire a 240 °C durante 20 horas [2]. El producto obtenido se carboniza en Ar a 900 °C, temperatura que se mantiene durante 2 horas para obtener el material final SFCS900. Este material híbrido espuma/esferas fue caracterizado texturalmente mediante isoterma de adsorción/desorción de nitrógeno a -196°C, densidad de He, densidad aparente, etc., y morfológicamente por SEM. Se analizaron también los componentes individuales (las esferas de carbono, CS, y la espuma de sacarosa, SF900) con fines comparativos.

Resultados y discusión

El material híbrido SFCS900 presenta una morfología que mantiene las morfologías de la espuma y las esferas de forma combinada. La Figura 1 muestra dos imágenes representativas obtenidas por SEM del material híbrido SFCS900, en las que se observa la típica morfología de una espuma de carbono formada por una estructura celular conteniendo ventanas de diferentes tamaños, cuyas paredes se encuentran formadas por las esferas de carbono, claramente apreciables a mayores aumentos, unidas por la sacarosa polimerizada.

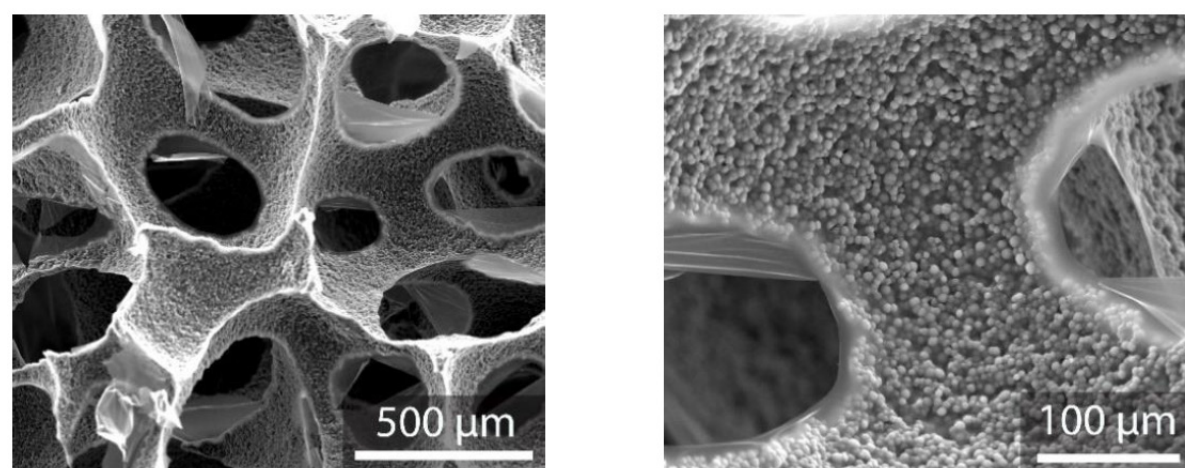


Figura 1. Micrografías SEM del híbrido SFCS900, obtenidas con el detector de electrones retrodispersados.

Las características porosas del material híbrido se comparan con las de los materiales individuales en las Tablas 1 y 2. Mientras que las esferas son materiales exclusivamente microporosos y las espumas son materiales macroporosos, el híbrido espuma/esferas presenta una combinación de micro- y macroporosidad en un único material, y combinando una alta porosidad con una alta superficie externa.

Tabla 1. Parámetros obtenidos mediante porosimetría de Hg y picnometría de He

	ρ_{He} (g cm ⁻³)	ρ_a (g cm ⁻³)	ϵ (%)	V_p (cm ³ g ⁻¹)
CS	1,54	1,19	22	0,19
SF900	1,77	0,37	79	2,14
SFCS900	1,67	0,71	57	0,80

Tabla 2. Caracterización de la textura porosa

	S_{BET} (m ² g ⁻¹)	S_{ext} (m ² g ⁻¹)	V_{micro} (cm ³ g ⁻¹)	V_{meso} (cm ³ g ⁻¹)
CS	26	10	0,01	0,00
SF900	<5	nd	nd	nd
SFCS900	413	46	0,16	0,02

Conclusiones

Mediante la combinación de dos metodologías (sol-gel y espumación) sencillas, eficientes y bajo condiciones de operación moderadas es posible obtener un material híbrido (espuma/esferas) que combina las características morfológicas y porosas individuales de ambos materiales, creando una porosidad jerarquizada y controlada de macroporos y microporos en un mismo material monolítico.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Gobierno de España (PID2020-113558RB-C43 y PID2020-113001RB-I00 (MCIN/AEI/10.13039/501100011033) y del Gobierno del Principado de Asturias (IDI/2021/000031).

Referencias

- [1] A. Maetz, L. Delmotte, G. Moussa, J. Dentzer, S. Knopf, C.M. Ghimbeu, Facile and sustainable synthesis of nitrogen-doped polymer and carbon porous spheres, *Green Chem.* 19 (2017) 2266.
- [2] R. García, E. Rodríguez, M.A. Díez, A. Arenillas, S.F. Villanueva, N. Rey-Raap, C. Cuesta, M.A. López-Antón, M.R. Martínez-Tarazona, Synthesis of Micro- and Mesoporous Carbon Foams with Nanodispersed Metals for Adsorption and Catalysis Applications, *Materials (Basel)*. 16 (2023) 1336.