

Fabricación de reactores por impresión 3D para fotocátalisis heterogénea

Fabrication of 3D-Printed Reactors for Heterogeneous Photocatalysis

Doctorando/a:

García Juan José

<https://orcid.org/0009-0000-5442-5790>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, Centro de Tecnologías Químicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
jjgarcia@frba.utn.edu.ar

Director/a:

Nahuel Montesinos

Codirector/a:

Verónica Lombardo

Resumen

En el marco del desarrollo de reactores fotocatalíticos impresos en 3D para el tratamiento de gases de efecto invernadero, se avanzó en la fabricación de dos configuraciones de reactor: uno de geometría plana y otro de tipo casco y tubo, ambos destinados a la fotorreducción de CO_2 en fase gaseosa sobre fotocatalizadores de TiO_2 mesoporoso modificado con óxidos de cobre (Cu_xO). Para garantizar la estanqueidad de las piezas impresas se pusieron a punto dos estrategias de sellado: la primera, mediante la aplicación de un solvente que disuelve parcialmente las capas externas del material impreso, promoviendo su fusión y sellado al evaporarse; la segunda, a través de una modificación del método de impresión (brick-layering), que reduce la porosidad interlamina típica de la fabricación aditiva por deposición fundida. Ambas estrategias fueron evaluadas mediante ensayos de permeabilidad. En paralelo, se avanzó en la puesta a punto de un analizador de NO_x en el laboratorio propio, que permitirá cuantificar subproductos de reacción en los ensayos fotocatalíticos, y se estableció una colaboración con el Centro Atómico Bariloche para la cuantificación de la conversión de CO_2 mediante FTIR y cromatografía gaseosa (GC-TCD/FID). Se cuenta además con una serie de fotocatalizadores de $\text{TiO}_2\text{-Cu}_x\text{O}$ ya sintetizados y caracterizados, listos para su evaluación en los reactores desarrollados. Estos avances constituyen una etapa clave hacia la validación experimental integral del sistema fotocatalítico propuesto.

Palabras clave: reactores fotocatalíticos; impresión 3D; fotorreducción de CO_2

Abstract

As part of the development of 3D-printed photocatalytic reactors for greenhouse gas treatment, two reactor configurations were fabricated: a planar geometry and a shell-and-tube design, both intended for gas-phase CO_2 photoreduction over mesoporous TiO_2 photocatalysts modified with copper oxides (Cu_xO). To ensure the airtightness of the printed parts, two sealing strategies were developed: the first based on applying a solvent that partially dissolves the outer layers of the printed material, promoting their fusion and sealing upon evaporation; the second through a modification of the printing method (brick-layering), which reduces the interlayer porosity typical of fused deposition additive manufacturing. Both strategies were evaluated through permeability testing. In parallel, an in-house NO_x analyzer was commissioned to quantify reaction by-products in the photocatalytic assays, and a collaboration was established with Centro Atómico Bariloche for quantifying CO_2 conversion via FTIR and gas chromatography (GC-TCD/FID). A series of $\text{TiO}_2\text{-Cu}_x\text{O}$ photocatalysts have already been

synthesized and characterized, ready for evaluation in the developed reactors. These advances represent a key step toward the comprehensive experimental validation of the proposed photocatalytic system.

Keywords: photocatalytic reactors; 3D printing; CO₂ photoreduction

Introducción

El incremento sostenido de las concentraciones atmosféricas de CO₂ y su vinculación con el cambio climático han impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de capturar y valorizar este gas como materia prima. En este contexto, la fotocatálisis heterogénea se presenta como una alternativa atractiva para la conversión de CO₂ en productos de valor agregado, dado que permite aprovechar energía solar mediante semiconductores como el TiO₂, cuya actividad fotocatalítica puede potenciarse mediante la incorporación de óxidos de cobre (Cu_xO) que favorecen la separación de cargas fotogeneradas y extienden la absorción hacia el espectro visible.

Sin embargo, el escalado de estos sistemas desde ensayos de laboratorio hacia configuraciones con mayor superficie de contacto gas-catalizador constituye uno de los principales desafíos para su aplicación práctica, y depende fuertemente del diseño del reactor fotocatalítico. La impresión 3D ofrece una vía flexible y de bajo costo para el desarrollo de geometrías de reactor complejas, aunque introduce desafíos propios vinculados a la estanqueidad de las piezas impresas.

El desarrollo de reactores gaseosos impresos por 3D con tecnología FDM se enfrenta al desafío de construir objetos capaces de contener los gases introducidos y generados. En la literatura se encuentran disponibles diversas estrategias de modificación de la permeabilidad, que van desde el curado con solventes hasta el curado térmico, así como el ajuste de los propios parámetros de impresión, los cuales han demostrado influir significativamente en la porosidad y resistencia de piezas impresas por FDM (Erokhin et al., 2019). Sin embargo, es posible alcanzar la hermeticidad deseada también mediante el ajuste de las propias variables de impresión. En este trabajo se presentan los avances en la fabricación de dos configuraciones de reactor fotocatalítico —plano y de casco y tubo— destinadas a la fotorreducción de CO₂ en fase gaseosa, junto con las estrategias desarrolladas para garantizar su hermeticidad y la puesta a punto del equipamiento analítico necesario para la evaluación de su desempeño.

Desarrollo

Con el objetivo de evaluar la influencia de los parámetros de impresión sobre el escape de gases presurizados, se diseñaron piezas testigo que incorporan, en un mismo cuerpo, todo el rango de modos característicos de la impresión FDM: perímetros largos, perímetros cortos, cambios abruptos de trayectoria, perímetros interiores y overhangs. En experimentos preliminares realizados sobre piezas de ABS, presurizadas bajo agua y evaluadas mediante la observación de la evolución de burbujas, el patrón de impresión brick-layering demostró una mayor hermeticidad que el modo habitual de impresión capa sobre capa.

A partir de estos resultados preliminares, se amplió el estudio a probetas fabricadas en tres materiales termoplásticos de uso habitual en impresión FDM: PLA, ABS y PETG. Para cada material se compararon los métodos de impresión normal y brick-layering, evaluando en cada caso tres niveles del parámetro de overflow (0, 10 y 20 %), con el fin de identificar la combinación de material, método y grado de solapamiento entre capas que minimice la porosidad interlaminar. La totalidad de las probetas fue sometida posteriormente a un curado con acetona, mediante el cual el vapor del solvente disuelve parcialmente las capas externas de la pieza, promoviendo su fusión y sellado al evaporarse.

En paralelo, se evaluó el desempeño del reactor de configuración plana curado con acetona mediante ensayos de estanqueidad: se hizo circular gas a través del reactor y se inspeccionaron las uniones y superficies con una solución jabonosa, identificando la formación de burbujas como indicador de posibles pérdidas.

Resultados

A partir de los resultados preliminares obtenidos con las piezas testigo de ABS, donde el patrón de impresión brick-layering mostró cualitativamente una mayor hermeticidad frente al modo de impresión habitual capa sobre capa, se encuentra actualmente en curso la impresión de las probetas correspondientes a las tres combinaciones de material (PLA, ABS, PETG), método de impresión y nivel de overflow definidas para el estudio sistemático, previo al inicio de los ensayos de hermeticidad que permitirán cuantificar la permeabilidad de cada configuración.

Por su parte, el reactor de configuración plana, curado con acetona, fue evaluado mediante ensayos de estanqueidad con circulación de gas y detección de fugas por solución jabonosa, no observándose formación de burbujas en ninguna de las uniones ni superficies inspeccionadas. Este resultado constituye una validación preliminar de la efectividad del curado con acetona como estrategia de sellado, y habilita el avance hacia la evaluación del reactor de casco y tubo bajo el mismo protocolo, como paso previo a los ensayos fotocatalíticos con los catalizadores de $\text{TiO}_2\text{-Cu}_x\text{O}$ ya sintetizados y caracterizados.

Conclusiones

Se avanzó satisfactoriamente en la fabricación de dos configuraciones de reactor fotocatalítico —plano y de casco y tubo— mediante impresión 3D, disponiendo de dos estrategias complementarias para garantizar su hermeticidad: el curado con acetona y la modificación del método de impresión mediante brick-layering. Los ensayos preliminares realizados hasta el momento resultan alentadores: el patrón brick-layering mostró una mayor hermeticidad cualitativa frente al modo de impresión convencional, mientras que el reactor plano curado con acetona no evidenció pérdidas en los ensayos de estanqueidad realizados, validando esta estrategia de sellado para su aplicación en el dispositivo. Los próximos pasos del trabajo incluyen la cuantificación sistemática de la permeabilidad de las probetas actualmente en fabricación, la extensión de los ensayos de hermeticidad al reactor de casco y tubo, y la puesta en marcha de los ensayos fotocatalíticos de reducción de CO_2 sobre los catalizadores de $\text{TiO}_2\text{-Cu}_x\text{O}$ ya sintetizados y caracterizados, para lo cual se cuenta con un analizador de NO_x en puesta a punto en el laboratorio y con una colaboración establecida con el Centro Atómico Bariloche para la cuantificación de la conversión de CO_2 mediante GC.

Utilización de IA generativa / herramientas IA

Declaro la utilización de la herramienta IA Claude (Anthropic) para su uso en la corrección de textos del presente trabajo. Confirmando que luego de la utilización, los contenidos obtenidos fueron revisados, constatados y editados, asumiendo plena responsabilidad por el contenido presentado en el presente trabajo.

Referencias

Erokhin, K. S., Gordeev, E. G., & Ananikov, V. P. (2019). Revealing interactions of layered polymeric materials at solid-liquid interface for building solvent compatibility charts for 3D printing applications. *Scientific Reports*, 9, Article 20177. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56350-w>