

Obtención de esponjas metálicas con morfología controlada

Lauramaria Echeverri Ramírez

Facultad de Diseño Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia

* Autor de correspondencia: lauramaria.echeverri@upb.edu.co

Resumen

En este trabajo se plantea un procedimiento para la obtención de esponjas de aluminio con geometría interna controlada como alternativa de procesamiento para la fabricación de materiales celulares mediante la combinación de herramientas como la fabricación digital aditiva, la simulación y la fundición. Durante el proceso de exploración se realizaron diferentes experimentaciones haciendo uso de métodos de fabricación de esponjas empleando técnicas como la metalurgia de polvos y fundición de precisión. Para esto se empleó el método de fundición por cera perdida, el cual involucró la fabricación de preformas en cera y ABS, las cuales fueron obtenidas como resultado de la modelación digitales de estructuras celulares con patrones definidos. Adicionalmente, se empleó el programa FLOW 3D para establecer los valores de temperatura, los cuales se garantizan el llenado del molde, encontrando que el metal debe vaciarse a una temperatura de 720 °C en un molde que debe estar a 500 °C. Esto, permitió la optimización del proceso de fundición de precisión lográndose obtener resultados bastante aproximados en cuanto a la reproducción de la forma de la esponja que se diseña inicialmente.

Abstract

In this paper a method for obtaining aluminum sponges alternatively controlled internal geometry processing for manufacturing cellular materials by combining tools such as digital additive manufacturing simulation and casting arises. During the scanning process different experiments were conducted using manufacturing methods sponges using techniques such as powder metallurgy and precision casting. For this method lost wax casting, which involved the manufacture of preforms wax and ABS, which were obtained by means of the digital modeling of cellular structures with defined patterns was used. Additionally, the FLOW 3D program was used to establish the temperature values for which the mold filling is guaranteed, finding that the metal

must be drained at a temperature of 720 ° C in a mold must be at 500 ° C. This allowed optimization precision casting process achieving fairly approximate results obtained regarding the reproduction of the shape of the sponge initially designed.

Palabras Clave: *Espojas de aluminio, morfología controlada, aluminio, fundición de precisión.*

1. INTRODUCCIÓN

Conceptos como prefabricación, ensamblaje rápido, estructuras de peso ligero, simulación, fabricación digital, entre otros, están incrementando en campos relacionados con el Diseño Industrial. Entre estos conceptos, uno de los más relevantes es el diseño de estructuras de peso ligero, las cuales requieren de menos material y, por lo tanto de menos tiempo y energía para ser transportadas. Desde este punto de vista, se presentan diversos modelos de exploración formal de los objetos, con el fin de rediseñar o generar nuevos diseños a partir de un análisis estructural, donde la simulación y la fabricación digital son herramientas para la optimización del proceso. Es por esto que por medio de una experimentación objetiva con el aluminio se pretende entender las relaciones que existen entre sus propiedades mecánicas, estéticas y funcionales, y su método de fabricación, con el fin de obtener elementos conceptuales y metodológicos que favorezcan un proceso creativo del diseño de nuevos productos, tomando como base componentes derivados de la geometría y la ciencia de los materiales. El aluminio representa aproximadamente el 8% de nuestra corteza terrestre, convirtiéndolo en el tercer elemento más común después del silicio y el oxígeno, aunque siempre combinado con otros elementos, formando diversos minerales. (Nordberg et al., 2001). Este material es muy atractivo gracias a sus propiedades mecánicas y físicas, su ligereza, resistencia a la corrosión, alta conducción de electricidad y calor, no es magnético ni tóxico, es impermeable e inodoro, y es muy dúctil, y además, tiene como gran atractivo ser un material 100% reciclable, es decir, se puede reciclar indefinidamente sin que por ello pierda sus cualidades. El aluminio es utilizado para la fabricación de esponjas metálicas, las cuales se obtienen a partir de un metal puro o de una aleación, que pueden formar una estructura de poros abiertos, llamadas esponjas metálicas, o una de poros cerrados, espumas metálicas. Estas estructuras porosas se caracterizan por sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, las cuales han sido de gran interés para el mundo industrial en los últimos años. Por lo tanto, los metales celulares han sido

reconocidos como materiales “Multifuncionales”. Esta multifuncionalidad les permite a las esponjas metálicas participar en diversos campos de aplicación, son utilizadas como materiales funcionales, es decir para cubrir propiedades relacionadas con la absorción de sonido y vibraciones y el intercambio de calor, como también en aplicaciones relacionadas con sus propiedades mecánicas, es decir, de tipo estructural, como por ejemplo la absorción de impacto y la disminución de peso. (Fernández, Cruz, & Coletto, 2008).

Uno de los métodos de fabricación de estas esponjas de aluminio se conoce como fundición de precisión (*investment casting*), la cual es una técnica industrial de fabricación de piezas de alta calidad, consiste en revestir una preforma de cera, con varias capas construidas por una mezcla de elementos refractarios y un barro aglomerante. El material cerámico reacciona químicamente durante el secado para formar una red de gel que sostiene el material cerámico. Posteriormente la preforma es removida y la cerámica calcinada para formar una estructura rígida en donde se vierte el metal fundido conformando así una réplica exacta de la preforma inicial (E.V, 2003). Por otra parte, las herramientas digitales tales como el modelado digital, la impresión 3D y la simulación plantean una alternativa que permite la optimización del proceso facilitando la obtención de las piezas fundidas con mejor calidad y menor presencia de defectos, permitiendo además ahorrar costos de proceso adicionales que podrían generarse mediante el ensayo y el error. Es por ello la simulación es comúnmente utilizada para ayudar en este proceso, para esto suele emplearse programas como el FLOW 3D, que utiliza aproximaciones de diferencia finita o volumen finito para resolver numéricamente el fluido y ecuaciones de solidificación (Grande, 2009). Por medio de estas herramientas se pretende entonces, experimentar y complementar aún más las investigaciones que ha habido hasta el momento de las esponjas metálicas. El proceso de fabricación de éstas ha sido estudiado desde el siglo XX con el fin de profundizar y analizar sus propiedades más significativas, para así tener potenciales aplicaciones a nivel industrial. Las esponjas de aluminio son aún más livianas al ser fabricadas de materiales como el aluminio y tienen una mayor resistencia mecánica, lo cual las hace atractivas para múltiples aplicaciones. (Castro & Alejandro, 2012). A pesar de esto el uso de las esponjas metálicas en algunos sectores ha sido netamente funcional, como por ejemplo en sectores relacionados con la construcción, medicina y transporte, donde ciertos elementos, estructuras o componentes del diseño son fabricados internamente con este tipo de material. En estos casos los componentes se encuentran ocultos, por

lo tanto la exploración formal de las esponjas metálicas es nula, su uso es 100% funcional, no generan un aporte estético al objeto. Lo anterior ha limitado el uso de este tipo de materiales en diversos campos industriales, específicamente en la fabricación de productos de consumo que involucren una mayor intervención desde su composición morfológica.

Con este trabajo de investigación se busca desarrollar una metodología para la obtención de esponjas de aluminio con geometría interna controlada mediante la combinación de herramientas como la fabricación digital aditiva, simulación y fundición. Lo anterior, con miras a potenciar el uso de este tipo de materiales en el diseño de productos industriales que puedan ser aplicados en sectores tales como el mobiliario, decoración, iluminación, aislantes acústicos, absorbentes de impacto, entre otros.

2. METODOLOGÍA

Por medio de revisión literaria y vigilancia tecnológica se llevó a cabo una interpretación de los procesos de fabricación de las esponjas de aluminio con el fin de realizar experimentaciones iniciales haciendo uso de algunos métodos de fabricación, como lo son pulvimetalurgia y fundición de precisión. Para obtener la esponja por medio de polvos (pulvimetalurgia) se empleó el método descrito en la Figura 1. Los materiales utilizados para realizar esta experimentación fueron polvos de aluminio, urea y etanol; y los equipos que hicieron parte en el desarrollo de la misma fueron: estufa de secado, prensa, plancha de calentamiento, molde para la prensa y un horno.

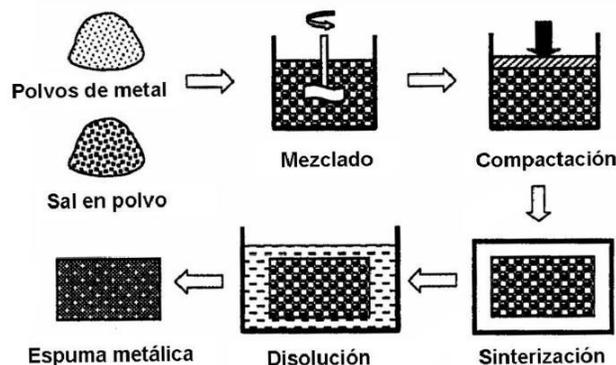


Figura 1. Método empleado para la fabricación de esponjas a partir de polvos metálicos
(Fernández, Cruz, & Coletto, 2009).

Por otra parte, para obtener las esponjas mediante fundición de precisión se realizó inicialmente el diseño de las estructuras internas en programas de modelación digital, Rhino y Grasshoper, para finalmente obtener preformas de ABS impresas en 3D. Posteriormente se ejecutó el proceso de fundición de precisión, el cual se muestra en la Figura 2.

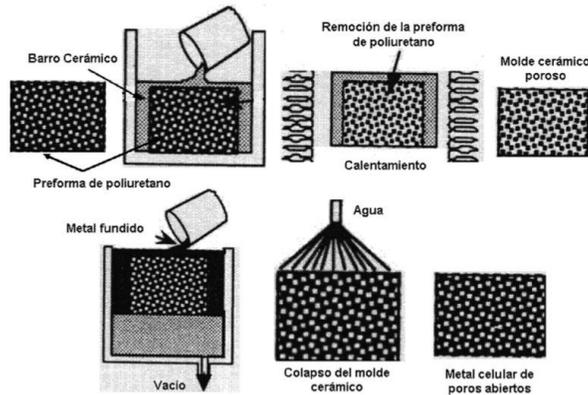


Figura 2. Fundición de precisión

Luego de definir la estructura del modelo en 3D (*.stl), se realizó una impresión en 3D de la preforma en ABS con el fin de ser utilizada para generar el molde de cerámica. El revestimiento utilizado fue SatinCast 20 marca KerrCast (De, Productos, La, & La, 2008), compuesto de cristobalita y cuarzo, el cual permite un acabado de alta calidad en la pieza final y permite conseguir moldes resistentes, permeables y con un acabado superficial fiel a la del modelo inicial. Para la preparación del molde cerámico se emplearon las cantidades de agua y polvo en relación 1:2.5, y de acuerdo con las medidas de los moldes donde se iba a verter la mezcla, en este caso cilindros de acero de 125 mm de diametro y 130 mm de altura. Este molde cerámico se dejó reposar por 2 horas para ser luego ser quemado a 730 °C. Durante el proceso de quema, el modelo en ABS y cera perdida es degradado permitiendo la formación del espacio que posteriormente fue llenado por el metal. Adicionalmente, con el fin de identificar los valores temperatura del metal y del molde que permitieran el llenado del molde, se realizó la simulación del proceso de fundición utilizando el programa FLOW 3D. (Con, Carbono, & Mecanicamente, 2012).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar una revisión de la literatura y vigilancia tecnológica para conocer los métodos de fabricación de las esponjas, se escogieron dos métodos para llevar a cabo las experimentaciones, pulvimetalurgia y fundición de precisión. Para la realización de éstos se realizó un análisis de los procesos de fabricación, las ventajas y desventajas de los mismos y el resultado final se analizó desde sus componentes estéticos y estructurales.

El primer método consiste en en mezclar polvos en una relación determinada, según la porosidad deseada, de un metal y de un material que permita su remoción al final del proceso. Una vez mezclados los polvos del metal con los de el material removible, se compactan, obteniéndose una preforma que posteriormente pasa a ser sinterizada a una temperatura por debajo de la temperatura de fusión del material removible y cercana o igual a la temperatura de fusión del metal. Luego, se procede a la disolución de este material en agua para obtener una esponja de aluminio. (Fernández et al., 2009). El resultado final de esta experimentación se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Resultado sinterización de polvos metálicos y rellenos removibles.

A partir de esta experimentación se observó que la ventaja de realizar este método con úrea es que se necesitó menos tiempo durante la etapa de disolución, es más fácil la eliminación del espaciador de la espuma, se genera menos contaminación y no hay corrosión del metal base. En esta experimentación se encontró que la obtención final de la esponja se logra de altas porosidades, sus propiedades son reproducibles y a pesar de que el proceso tiene una buena relación costo/beneficio, toma mucho tiempo la disolución del molde y las esponjas finales tienen bajas propiedades mecánicas. La forma y el tamaño del espaciador controlan el tamaño de poro y la morfología de la estructura porosa, que por consiguiente afectan las propiedades físicas y mecánicas de la esponja, e igualmente no se logran poros abiertos y visibles en la capa exterior sino solamente en la parte interna. Sin embargo a pesar de ser un método atractivo para la obtención de esponjas se identificaron limitaciones morfológicas, ya que no era posible obtener variaciones en la geometría

de los poros, su disposición era irregular e imposible de asemejar a formas complejas, organizadas y geométricas.

Posterior a esta experimentación se realizó el método de fundición por precisión, el cual parte de una preforma de ABS y cera con las características que son requeridas en el componente final (poros por mm, tamaño de poro, % de porosidad). La preforma de la esponja deseada se modeló en Rhinoceros (Figura 4) para lograr la impresión en 3D en ABS y se simuló en Flow 3D el proceso de fundición, donde se consideraron variables relacionadas con la temperatura del molde y el metal, como también el tiempo de vaciado.



Figura 4. Modelación en Rhino y preforma en cera.

Se encontró que el proceso de impresión es costoso y requiere de un tiempo prolongado, pero aún así se logra la forma deseada en los poros en muy buena calidad. Para simular el proceso de llenado en Flow 3D se tuvieron en cuenta variaciones en la temperatura del molde y de vaciado (ver Figura 5). Teniendo en cuenta esto, y como parte del proceso de validación de la simulación, se decidió proceder con el vaciado de un molde para el cual las condiciones de simulación mostraron un llenado parcial del mismo. Esto se consideró debido a que la complejidad morfológica proporcionada por un llenado parcial del molde era mayor y permitían observar si los detalles de la forma durante el proceso de llenado obtenidos experimentalmente se aproximaban a los simulados, aspecto que no podría ser validado si el modelo era llenado totalmente. Las temperaturas de procesamiento del molde y el metal para la condición descrita anteriormente fueron 440 °C y 720 °C, respectivamente.

Temperatura del molde (°C)	Temperatura de la colada (°C)	
	690	720
400		
420		
440		

Figura 5. Resultados de la simulación empleando el software Flow 3D.

Posterior a la simulación, se siguió con el proceso experimental. A la preforma se le ensambló el sistema de alimentación y otras partes que requería el componente final mediante técnicas tradicionales como el moldeo por inyección a la cera perdida, dando lugar al modelo propiamente dicho. Posteriormente, este modelo se llenó con una arcilla refractaria, llamada Satin Cast 20 marca Kerr Cast, la cual es altamente resistente a la temperatura para, luego, proceder mediante un tratamiento térmico a la eliminación del modelo de cera y de la preforma de ABS, se encontró que el material se removía satisfactoriamente, sin dejar residuos que no permitieran el llenado del molde rigidizando y finalmente, la estructura de refractario. El metal fundido fue colado en el molde precalentado. Finalmente, se removió el molde cerámico cuidando de no causar daños a la delicada estructura metálica, ya que al humedecer el molde podría perjudicar las propiedades mecánicas de ésta. Para la elaboración del molde y con el fin de ser precisos tanto en la mezcla de agua/polvo se tuvo en cuenta la siguiente tabla (Tabla 1):

Tablas de proporciones	Altura del frasco							
	50 mm	75mm	100 mm	125 mm	150 mm	175 mm	200 mm	
Diámetro del frasco								
50 mm	150 57	220 84	290 110	-- --	-- --	-- --	-- --	Polvo (gr) Agua (cc)
75mm	340 129	510 194	680 258	850 323	910 346	1250 475	-- --	Polvo (gr) Agua (cc)
100mm	510 194	770 293	1020 388	1300 494	1590 604	1820 692	2050 779	Polvo (gr) Agua (cc)
125mm	--	--	1700 646	2160 621	2500 959	2950 1121	3400 1292	Polvo (gr) Agua (cc)

Tabla 1. Proporciones, mezcla polvo agua para molde cerámico

Los valores resaltados fueron los tenidos en cuenta para la fabricación del molde, el proceso se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Elaboración molde cerámico

Los resultados obtenidos luego de esta experimentación fueron muy aproximados a la simulación realizada en Flow 3D como se muestra en la Figura 8.

Luego de demostrar que la experimentación arrojó resultados bastante aproximados a los indicados por la simulación, se continuó con este proceso, mediante el cual se logró establecer que las condiciones óptimas de temperatura de la colada y del molde son: 720 °C y 500 °C, respectivamente y el tiempo de llenado total fue de 4 segundos.

Investment casting - Colado por gravedad - Cera (ABS) pedida

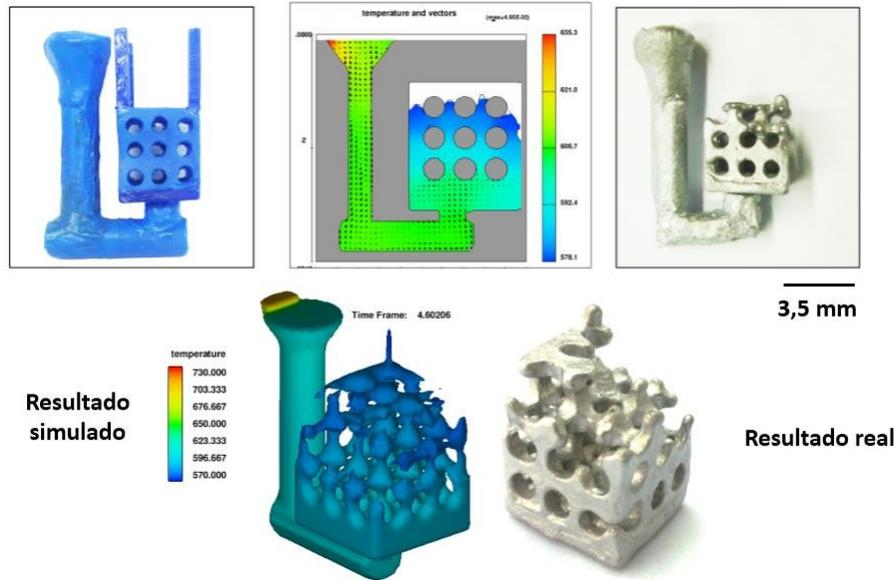


Figura8. Resultado final por el método de fundición de precisión.

Además de este proceso con la preforma mencionada, se realizaron varias preformas para llevar a cabo el proceso de fundición de precisión, con el fin de proponer diferentes patrones o estructuras geométricas controladas, es decir, generar poros abiertos en las esponjas para crear diseños con un alto componente estético. En la Figura 9 se muestran otro modelo propuesto e impreso en ABS. En esta propuesta se observa más complejidad formal en la disposición de los poros.



Figura 9. Preforma ABS

Luego de esto se procedió con la obtención de una esponja de morfología interna controlada. En la Figura 10 se observa el resultado final del proceso de optimización y variaciones morfológicas, en esta propuesta se observa cómo la preforma se asimila en tamaño, textura y estructura a la esponja

metálica obtenida finalmente.

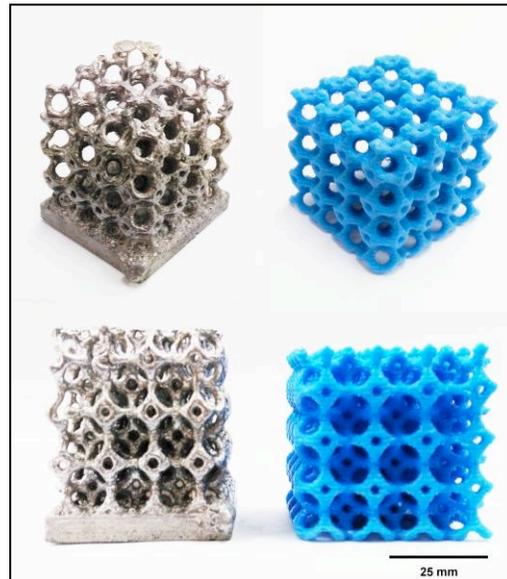


Figura 10. Esponjas metálicas obtenidas.

Este método brindó una gran libertad en el diseño, fue posible generar una alta porosidad, es totalmente reproducible, se creó una estructura homogénea y totalmente controlable, la densidad y el tamaño del poro es variable según la preforma utilizada. A pesar de estas ventajas mencionadas, el proceso tiene un costo elevado por componente o bloque y además es necesario un gran número de etapas que requieren de un tiempo prolongado, así como la etapa de la remoción de la preforma y el ciclo de quemado del molde cerámico.

4. CONCLUSIONES

Los modelos fabricados en cera y ABS empleados para la construcción de los moldes demostraron ser adecuados para la fabricación de moldes cerámicos que permiten el vaciado del aluminio.

La optimización del proceso de fundición de precisión por medio de la identificación de valores de temperatura permite que se logren resultados bastante aproximados en cuanto a la reproducción de la forma de la esponja que se diseña inicialmente.

Programas como Flow 3D, Rhino son herramientas de moldeación y simulación que facilitan y permiten optimizar el proceso de obtención de esponjas con morfología controlada.

El diseño personalizado de las esponjas de aluminio, le permiten al diseñador un sin fin de aplicaciones industriales, lo cual hace que el proceso sea innovador y tenga un alto nivel de creatividad. Gracias a esto los objetos industriales logran un componente estético atractivo junto a unas altas propiedades mecánicas y físicas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es resultado del esfuerzo y dedicación de muchas personas. Agradezco especialmente a la Universidad UPB y UdeA por su disponibilidad y apertura ante esta propuesta y a mi profesor Alejandro Zuleta por su apoyo incondicional, su excelente criterio y su direccionamiento.

6. REFERENCIAS

- Castro, I., & Alejandro, I. (2012). Caracterización mecánica de espumas metálicas y su aplicación en sistemas de absorción de energía.
- Con, R., Carbono, N. D. E., & Mecanicamente, O. (2012). Revista Colombiana de Materiales N.5 pp. 93-99 Edición Especial Artículos Cortos. *Revista Colombiana de Materiales*, 93–99.
- De, I. M., Productos, H. Y., La, P., & La, I. D. E. (2008). Satin Cast Diamante® - Instrucciones, (7).
- Fernández, P., Cruz, L. J., & Coletto, J. (2008). Manufacturing processes of cellular metals. Part I: Liquid route processes. *Revista de Metalurgia*, 44(6), 540–555.
<http://doi.org/10.3989/revmetalm.0767>
- Fernández, P., Cruz, L. J., & Coletto, J. (2009). Procesos de fabricación de metales celulares. Parte II: Vía sólida, deposición de metales, otros procesos. *Revista de Metalurgia*, 45(2), 124–142. <http://doi.org/10.3989/revmetalm.0806>
- Nordberg, G., Langard, S., Sunderman, F. W., Mager Stelman, J., Osinsky, D., Markkanen, P., ... Atsdr. (2001). Metales: propiedades químicas y toxicidad. *Enciclopedia de Salud Y Seguridad En El Trabajo*, 1–76.