

# Calentamiento microondas de polvo metálico para impresión 3D

Antonio Albero-Ortiz, Juan David Reverte Ors, Alejandro Díaz-Morcillo, Juan Monzó-Cabrera, Juan Luis Pedreño Molina  
Grupo de Electromagnetismo y Materia (GEM), Universidad Politécnica de Cartagena  
Plaza del Hospital, 1. 30202 - Cartagena (España)  
Teléfono: + 34 968325376  
e- mail: antonio.albero@upct.es

**Resumen.** En este trabajo se describe el diseño de un sistema de pre-calentamiento en el aire para flujos de polvo metálico estrechos por radiación de microondas. Se realizó una caracterización dieléctrica sobre temperaturas de 20 a 800°C mediante medida de permitividad inversa. El aplicador de calentamiento está formado por una guía de onda WR340 cortocircuitada, alimentada por un magnetrón mediante un launcher. Entre estos dos sistemas, se introduce un aislador (circulador más carga de agua) evitando daños en el magnetrón. La zona donde se realiza el procesamiento de los materiales se encuentra en el lóbulo central del modo TE<sub>103</sub> excitado en la cavidad. Se realizó un control de temperatura, obteniéndose imágenes con microscopio electrónico de barrido (SEM) para analizar el efecto de calentamiento en las partículas de polvo tanto en un escenario estático como dinámico. A pesar de las condiciones casi de vacío en el aplicador se logró una buena sintonización y altas velocidades de calentamiento del polvo.

## 1. Introducción

El proyecto europeo NANOMICRO tiene como objetivo desarrollar un proceso de fabricación de pequeñas piezas metálicas con una alta resolución (10µm) y una alta productividad por sinterización de un flujo de polvo capa a capa, a través un capilar. Mientras que la sinterización final de los polvos sobre el sustrato se realiza por medio de un láser, es necesario un precalentamiento de dicho flujo de polvo para un mejor rendimiento del sistema. El trabajo aquí descrito se refiere al diseño de este sistema de precalentamiento por medio de radiación de microondas.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Caracterización dieléctrica y calefacción estática

En una primera etapa, se caracterizaron dieléctricamente los diferentes micro-polvos metálicos nanoestructurados. Para las medidas a temperatura ambiente se utilizó una sonda coaxial 87070C de Agilent. La Fig. 1 muestra este proceso de medida y los resultados para una muestra de FeCu6040 con un tamaño de partícula medio de 5µm.



**Fig. 1.** Medida de polvos metálicos con la sonda coaxial para una muestra FeCu6040

Estos resultados y los de otros polvos muestran una buena relación de los materiales con las microondas, puesto que la constante dieléctrica es relativamente baja para un material conductor y la tangente de pérdidas es lo suficientemente alta para proporcionar una disipación calorífica sustancial en el polvo. Por otra parte, se observa un aumento de la permitividad con la densidad del polvo y una disminución de la permitividad cuando se añaden aditivos cerámicos a los mismos. Sin embargo, no se observó ningún comportamiento claro según el tamaño de partícula. Para mayores temperaturas, se desarrolló un sistema combinado de calentamiento y medida. La Fig. 2 muestra el esquema y el sistema real, que se compone de:

- Una cavidad rectangular primaria donde la muestra se calienta en el interior de un tubo de cuarzo con un diámetro de 2 mm. Dicho calentamiento es monitorizado por un pirómetro láser.
- Una cavidad rectangular secundaria conectada a un analizador de redes vectorial con el fin de medir los parámetros de dispersión.

A partir de estos parámetros se puede obtener la permitividad de la muestra por medio de técnicas inversa de optimización (algoritmos genéticos y de descenso de gradiente) [1]. Ambos subsistemas están conectados por medio de un tubo de hierro. Este tubo permite situar el polvo calentado rápidamente en el sistema de medida de propiedades dieléctricas. Además de la fuente y de la cavidad, el sistema de calentamiento se compone de un aislador, un triple-stub y un acoplador direccional para adaptar el sistema. La cavidad fue diseñada para excitar el modo TE<sub>103</sub> a 2,45 GHz, con un máximo de campo eléctrico en el centro de la cavidad. En este máximo se coloca el tubo de cuarzo lleno de polvo metálico. Una vista del

conjunto de la cavidad del tubo + pirómetro se muestra en la Fig. 3.

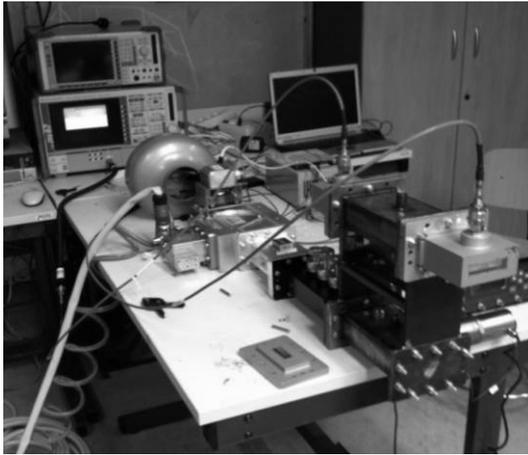


Fig. 2. Sistema combinado de calentamiento y caracterización de materiales

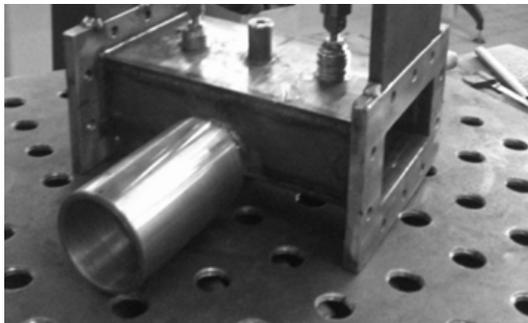


Fig. 3. Cavidad de calentamiento y sistema de enfoque pirómetro

## 2.2. Calentamiento dinámico

Una vez que el sistema de calentamiento por microondas está integrado en la máquina de micro-fabricación, el polvo se introduce en la cavidad por un alimentador primario y cruza la cavidad hacia un sistema de sonotrodo el cual alimenta el capilar final. En este escenario es necesario un calentamiento dinámico o en vuelo. El desafío de este calentamiento dinámico consiste en aumentar la temperatura de la corriente de polvo en el tiempo que nos limita la altura de la cavidad (4.34cm)

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Caracterización dieléctrica a altas temperaturas y pruebas de calentamiento estáticas

Los resultados de la caracterización dieléctrica de temperatura ambiente a 1000 ° C para la muestra FeCu6040 (5µm) se presentan en la Fig. 4. Se observa que, tanto la constante dieléctrica como la tangente de pérdidas, aumentan rápidamente con la temperatura. Este comportamiento cambia en la zona C 400-600 ° donde, tanto la constante dieléctrica como la tangente de pérdidas, comienzan a disminuir. Esto puede ser debido, probablemente, a aglomeraciones y a fenómenos parciales de fusión en el polvo. Se tomaron varias imágenes de los polvos mediante un microscopio electrónico de barrido

(SEM) a diferentes temperaturas con el fin de estudiar estos cambios.

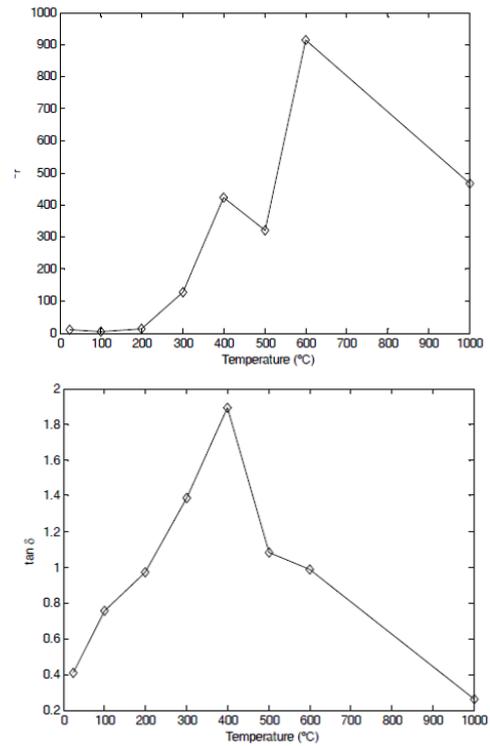
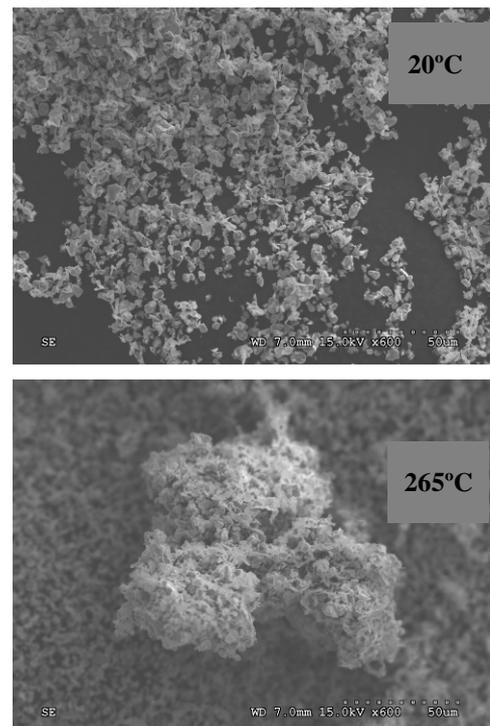
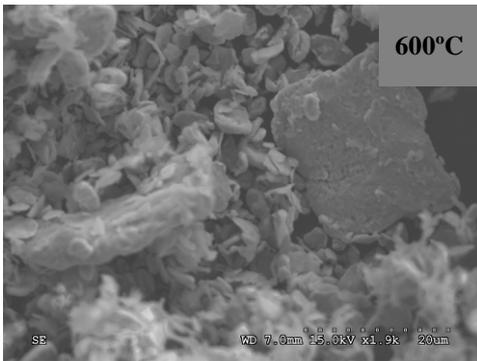
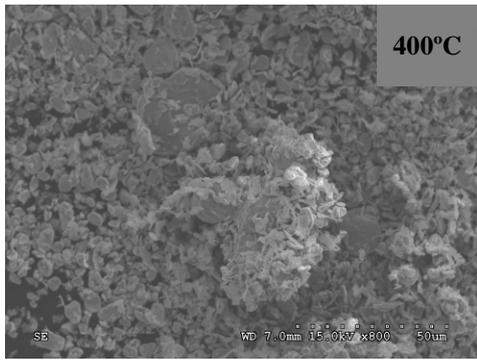


Fig. 4. Resultados de permitividad obtenida para una muestra FeCu6040 en el rango de 20 a 1000 ° C

En la Fig. 5 podemos observar el proceso para la muestra FeCu6040 5µm. A temperatura ambiente el polvo se distribuye uniformemente, mientras que a 265 ° C aparece alguna aglomeración. A 400°C se observan partículas mayores de 5µm, probablemente formadas por la fusión parcial de otras partículas más pequeñas. Por último, a 600°C, se observan partículas mayores de 10 o 20µm.

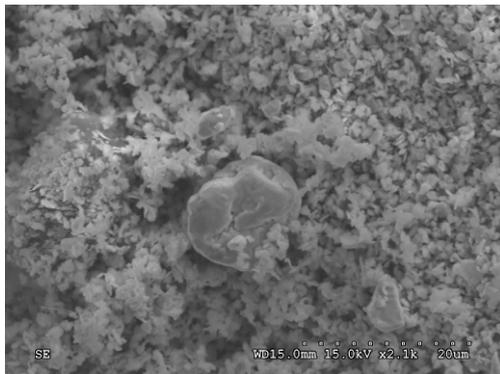




**Fig. 5.** Imágenes SEM de la muestra FeCu6040 para diferentes temperaturas (calefacción estática)

### 3.2. Pruebas de calentamiento dinámico

Aunque no fue posible medir la temperatura de la fina corriente de polvo mientras salía de la cavidad, se obtuvieron imágenes SEM de las muestras (Fig. 6). Estas imágenes muestran aglomeración y partículas más grandes, típico de un proceso de calentamiento, lo que demuestra que la muestra se calienta por la radiación de microondas.



**Fig. 6.** Imágenes SEM de la muestra FeCu6040 para diferentes temperaturas (calefacción dinámica)

## 4. Conclusiones

Se ha diseñado y probado un sistema de calentamiento estático y dinámico de micro- polvos. Mientras que calentar de forma estática es más sencillo, de forma dinámica es mucho más difícil, ya que el tiempo que el polvo está dentro de la cavidad es muy pequeño. A pesar de las condiciones casi de vacío en la cavidad (lo que provoca una resonancia muy fuerte) se logró una buena sintonización y altas velocidades de calentamiento del polvo en ambos casos. Se necesitó alimentar a mayor potencia para aumentar la velocidad de calentamiento el caso dinámico, por lo que podrían ser necesarias dos o más cavidades separadas por una guía al corte para conseguir el calentamiento deseado.

## Agradecimientos

La investigación que lleva a estos resultados ha recibido financiación del Séptimo Programa Marco de la Unión Europea en virtud de acuerdo de subvención n ° 228815. Los autores desean dar las gracias a la Comisión Europea y a los socios del proyecto.

## Referencias

- [1] María E. Pérez - Requena , Antonio Albero - Ortiz, Juan Monzo - Cabrera y Alejandro Díaz-Morcillo , Combined use of genetic algorithms and gradient descent optimization methods for accurate inverse permittivity measurement, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques 54 ( 2 ) , pp 615-624 , 2006 .