

Capítulo 7

Conclusiones

Contenido

7.1	CONCLUSIONES GENERALES	105
7.2	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	106

Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

El método de sinterización eléctrica por resistencia se ha revelado como un procedimiento prometedor y válido para la realización de compactos de distintos metales, presentando una serie de ventajas respecto a la sinterización convencional:

- *Tiempos cortos de sinterización.* La compresión y calentamiento del espécimen se realizan simultáneamente, lo que supone un ahorro de tiempo. Además, el tiempo de calentamiento dura, en cualquier caso, menos de dos segundos. Esto supone una mejora considerable respecto al proceso convencional en el que sólo el periodo a temperatura máxima, dura como mínimo 30 minutos.
- *Sinterización sin atmósfera de protección.* El proceso es tan breve que los compactos no se oxidan durante la sinterización por lo que no necesitamos ningún tipo de vacío ni atmósfera protectora.
- *Enfriamiento rápido.* La refrigeración de los electrodos nos permite manipular el compacto casi inmediatamente después de la sinterización. Lo mismo sucede con la matriz de sinterizado, cuya temperatura apenas varía durante el proceso.
- *Presión de compactación baja.* Trabajamos con presiones de compactación pequeñas, sobre los 100 MPa, ya que realizamos la densificación en caliente.

Todos los beneficios anteriores se traducen, a priori, en unos menores costes de producción. Así, si comparamos (para casos generales) la energía necesaria para producir un espécimen sinterizado entre un horno convencional y la máquina de sinterización eléctrica, obtenemos:

- *Horno convencional:*
 $E = (12000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}) / 10 \text{ probetas por hornada} = 4320 \text{ kJ por probeta.}$
- *Sinterización eléctrica:*
 $E = 100000 \text{ W} \cdot 1.6 \text{ s} = 160 \text{ kJ por probeta.}$

A un precio de 0.079213 € / kW·h, obtenemos un coste para las probetas tradicionales de 0.095 € / probeta, mientras que el coste energético de una probeta sinterizada eléctricamente es de sólo 0.004 €.

La técnica, no obstante, no está exenta de inconvenientes, de entre los que podemos nombrar:

- *Cerámica como material aislante.* La durabilidad de la cerámica se reduce a unos pocos ciclos de sinterizado, lo que nos obliga a efectuar la reposición de al misma regularmente. La operación de cambio de matriz retarda y encarece el proceso.
- *Obleas y punzones.* Quedan muy dañados conforme se van realizando experiencias debido a la electroerosión que sufren, por lo que necesitan ser sustituidas o tratadas.
- *El problema de la regulación.* La forma con la que crece la intensidad en cada experiencia puede ser muy diferente aun con los mismos parámetros.
- *Limitaciones en la geometría de los compactos.* La geometría de los compactos en el presente trabajo fue siempre cilíndrica, en consonancia con la forma de la cerámica. Por ello, no se realizaron estudios sobre la resistencia a la tracción o a la compresión.
- *Falta de uniformidad en la distribución de la porosidad.* Aunque los valores de la porosidad final en las probetas sinterizadas eléctricamente sean menores que en la sinterización convencional, la porosidad no siempre se distribuye uniformemente, sino que a pueden aparecer zonas muy densificadas y otras zona con mayor porosidad.

En particular, el elevado costo del tubo cerámico eleva mucho el costo de producción.

Teniendo en cuenta el coste de los tubos cerámicos utilizados en el presente proyecto, constatamos que éste supone el handicap a superar para hacer rentable la sinterización eléctrica.

En todo el presente trabajo, se han empleado 1.175 m de tubo cerámico y se han realizado 125 probetas. Así pues al coste energético de cada experiencia debe añadirse la cantidad:

$$(1.175 \text{ m} / 125 \text{ probetas}) \cdot 80 \text{ €} / \text{m} = 0.752 \text{ €} / \text{probeta como coste adicional.}$$

Dando un coste total de 0.756 € / probeta, superando con creces el coste por vía tradicional.

7.2 Líneas futuras de investigación

A continuación se muestran algunas de los posibles líneas de trabajo que podrían abordarse a raíz de los resultados del presente trabajo:

- *Desarrollo de nuevos elementos para las matrices.* Es necesario la investigación de otros tipos de materiales que combinen la capacidad de aislar eléctricamente con

una buena resistencia mecánica, así como la posibilidad de realizar probetas de geometrías diferentes.

- *Ampliación del estudio a nuevos tipos de polvos.* Como los polvos aleados mecánicamente, aleaciones o polvos que contengan materiales no conductores.
- *Determinación de la distribución del campo de temperaturas y evolución mediante modelado teórico y simulación por ordenador.* Esto permitiría seleccionar antes del ensayo, los parámetros (intensidad y tiempo) más adecuados para el proceso.
- *Estudio de los parámetros adecuados para el Aluminio.* La mayoría de las probetas obtenidas de aluminio, presentaban media probeta densificada y la otra media porosa.