

## 5. CONCLUSIONES

Los objetivos marcados al iniciar el presente trabajo consistían en obtener unas probetas de aleación Ti-Ni con la mayor cantidad de fase NiTi posible, y cuya porosidad fuera controlada por la cantidad de space-holder y la deshidrogenación de los hidruros de titanio obtenidos durante el aleado mecánico. Además se buscaba mejorar las propiedades de la aleación con un tratamiento térmico, con el fin de aumentar la proporción de NiTi y eliminar el Ni puro que pudiera haber presente en la aleación.

A la vista de los resultados obtenidos se puede llegar a varias conclusiones:

Tras el aleado mecánico, los polvos obtenidos tras un proceso más energético presentan una granulometría más fina, aunque en el caso más extremo (3000208hH2 (0,50)) los polvos forman aglomerados formados por partículas más finas. Para el resto, la distribución normal se centra en los 10  $\mu\text{m}$ .

También se ha observado una tendencia a acumular mayor cantidad de oxígeno conforme mayor es la energía del AM. Por tanto se hace patente la necesidad de controlar la atmósfera durante la molienda para evitar una oxidación excesiva, y el empleo de desoxidantes en la sinterización posterior.

La formación de hidruros de titanio también depende de la energía del AM, absorbiendo el titanio una mayor cantidad de hidrógeno conforme mayor es esta energía. Esto se constata tanto observando los DRX de los polvos aleados como los DSC, en los picos correspondientes a la deshidrogenación, más pronunciados conforme más energía empleo.

En las probetas con space-holder, éste se eliminó casi por completo a las 10 horas de inmersión, siguiendo un comportamiento exponencial inverso.

La densidad relativa de las probetas sinterizadas, con y sin space-holder, no mostraron una influencia notable en las diferentes probetas. Sí se comprobó como una mayor cantidad de space-holder produjo muestras más porosas y de menor densidad relativa. Esta también se vió afectada por la energía del proceso de AM, siendo en este caso menor la densidad cuanto mayor fue la energía de la molienda.

Analizando las fases presentes en las muestras sinterizadas, se comprobó la presencia de varias fases en todas las muestras, habiéndose obtenido NiTi en muchas de ellas.

Las muestras sin space-holder contenían una proporción muy alta de NiTi, aunque también estaban presentes las fases Ni<sub>2</sub>Ti, NiTi<sub>3</sub>, Ni<sub>3</sub>Ti<sub>4</sub>, y en algunos casos níquel metálico y TiH<sub>0,66</sub>. La presencia de hidruros de titanio evidencia

que parte del hidrógeno presente en las muestras durante la sinterización no fue eliminado. Las demás fases cristalizaron durante el enfriamiento lento que sufrieron las probetas tras finalizar el proceso de sinterización, que permitió precipitar las demás fases debido a lo estrecho del rango de existencia del NiTi a temperaturas inferiores a 600°C.

En las muestras con space-holder la proporción de NiTi fue menor que en las anteriores. Las fases mayoritarias fueron el Ni<sub>2</sub>Ti, NiTi<sub>3</sub>, encontrándose también níquel puro e hidruros de titanio. A la vista de los resultados cabe la posibilidad de que el NaCl o el agua empleada en su eliminación hayan inhibido la formación del NiTi.

Tras el tratamiento térmico la proporción de NiTi aumentó en todas las muestras, siendo este aumento mayor en las muestras aleadas con menor energía, cuya proporción de NiTi era menor desde el principio. Además la cantidad de Ni puro también disminuyó. Esto permite pensar en combinar una disminución de la energía durante el AM con el tratamiento de envejecimiento, para hacer el proceso más eficiente.

Cabe pensar en continuar este trabajo introduciendo modificaciones en el proceso seguido:

- Por un lado emplear distintos space-holders (en [1] se emplea urea con resultados bastante satisfactorios) para comparar su eficacia.
- Ampliar los parámetros del envejecido posterior, empleando mayores tiempos y temperaturas.
- Buscar parámetros de molienda que para buscar un aleado mecánico más completo, realizando un mayor rango de ensayos.
- Sustituir el agua destilada por otros líquidos para comprobar si tiene influencia en los resultados posteriores (alcohol, por ejemplo).

## 5.1. BIBLIOGRAFÍA

1. LI, D.S.; ZHANG, Y.P. ; EGGELER, G; ZHANG, X.P. High porosity and high strength porous NiTi shape memory alloys with controllable pore characteristics. Journal of Alloys and compounds 470 (2009) L1-L5.