

DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DE LOS COMPACTOS DE TI-AL SINTERIZADOS MEDIANTE RESISTENCIA ELÉCTRICA Y PREPARADOS A PARTIR DE POLVO AMORFIZADO MEDIANTE MOLIENDA MECÁNICA

Petr Urban¹, Eduardo S. Caballero², Fátima Ternero² y Raquel Astacio López²

¹ *Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Sevilla, Virgen de África 7, 41011 Sevilla.*

² *Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Camino de los Descubrimientos s/n, 41092 Sevilla.*

E-mail de correspondencia: purban@us.es

RESUMEN

Se ha aplicado un método novedoso para aumentar la dureza de una aleación de aluminio y titanio partiendo de polvo amorfo obtenido mediante molienda mecánica de alta energía y posterior consolidación mediante sinterización por resistencia eléctrica. Los polvos amorfos de TiAl, fabricados mediante molienda mecánica durante 75 horas, mostraron una alta dureza y baja capacidad de deformación plástica, por lo que resulta imposible lograr compactos en verde mediante prensado uniaxial seguido de sinterizado convencional. Para poder sinterizar este tipo de polvos se ha utilizado un novedoso método de sinterización por resistencia eléctrica.

INTRODUCCIÓN

La transformación de la fase cristalina de los materiales metálicos en una fase amorfa puede mejorar propiedades como la resistencia a la corrosión, la dureza o la resistencia mecánica. Un método ideal para obtener la fase amorfa en cantidades significativas es la molienda mecánica. La molienda mecánica (MM) es un proceso de molienda peculiar que emplea un molino de bolas de alta energía que es capaz, en ciertas condiciones, producir un polvo metálico amorfo (Urban, 2018). La estructura amorfa obtenida es termodinámicamente inestable, y para preservar el carácter amorfo del polvo molido, es muy conveniente contar con una técnica de consolidación rápida en relación a los procesos convencionales, como la sinterización por resistencia eléctrica (SRE) (Cintas, 2015). En este trabajo se prepara la aleación amorfa TiAl mediante MM y se analiza el efecto de diferentes parámetros del proceso de SRE sobre la porosidad, microestructura, formación de compuestos intermetálicos, cinética de desvitrificación y endurecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fabricación y caracterización de los polvos amorfos de $Ti_{50}Al_{50}$ está escrita en el artículo de Urban, 2013.

Para el proceso SRE se ha utilizado una máquina de soldadura por resistencia (Serra Soldadura S.A., España) que proporciona los requisitos eléctricos (alta intensidad y baja tensión) y mecánicos (carga por compresión) necesarios. Durante la consolidación de polvos mediante SRE, la presión de compactación se fijó en 80 MPa. Se probaron varias combinaciones de intensidad de corriente (7.0, 7.5 y 8.0 kA) y tiempo de permanencia de la corriente (de 40 a 80 ciclos, con 50 ciclos = 1.0 s). Solo se utilizó un pulso para consolidar cada muestra.

Se realizaron ensayos de dureza después de cortar los compactos cilíndricos por el plano diametral y montarlos en resina de baquelita.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La amorfización de la aleación cristalina $Ti_{50}Al_{50}$ está descrita en el artículo de Urban, 2013.

El polvo amorfo, molido durante 75 horas, se ha sinterizado eléctricamente con intensidades entre 7 y 8 kA durante 0.8 y 1.6 s. La porosidad global (Figura 1) varía entre 16.5% (8 kA, 1.6 s) y 20.1% (7 kA, 0.8 s).

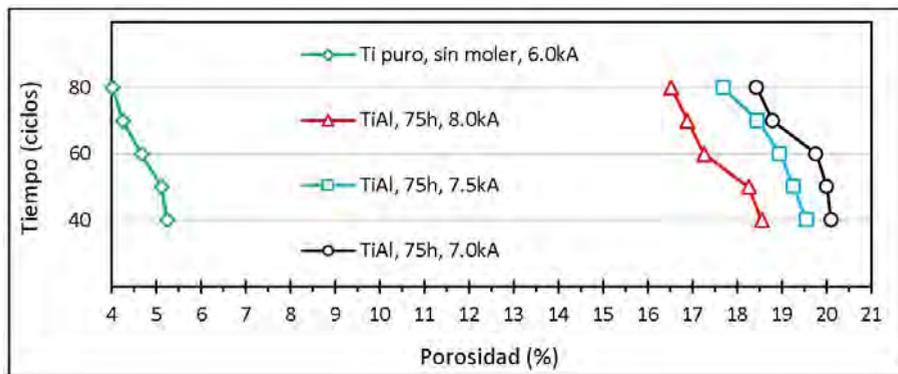


Figura 1. Porosidad global de los compactos sinterizados mediante SRE.

Con el aumento de la intensidad de la descarga eléctrica y del tiempo aumenta también la densificación del compacto. Sin embargo, la porosidad de titanio puro cristalino aplicando tan solo 6 kA ha sido mucho más baja, entre 4.0 y 5.2%. Además, en los compactos amorfos la distribución de la porosidad no es uniforme debido

al gradiente de temperatura generado en el compacto durante el proceso de sinterización.

Los resultados de dureza de los compactos SRE se muestran en la *Figura 2*.

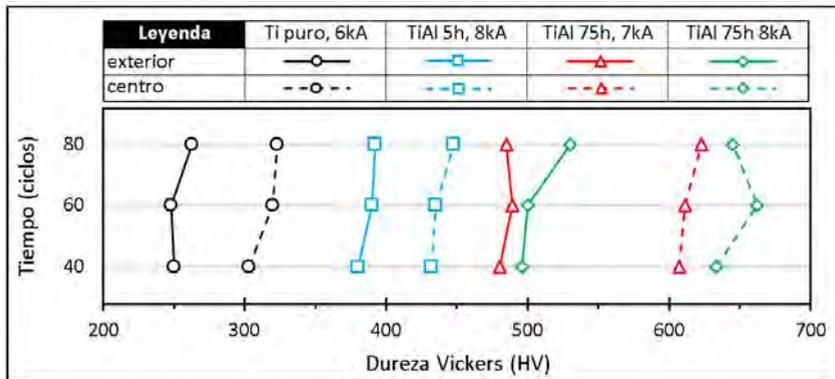


Figura 2. Dureza de los compactos sinterizados mediante SRE.

Independientemente de la estructura inicial del polvo, cristalina o amorfa, con la mayor intensidad de la corriente durante la SRE aumenta la dureza de los compactos. Sin embargo, el efecto del tiempo de sinterización no tiene mucha influencia sobre la dureza. En todas las probetas SRE, hay dos zonas de porosidad bien diferenciadas. Hay una amplia zona alrededor del centro del compacto con porosidad baja y homogénea. Entre la zona central y la zona externa, hay un cambio brusco de porosidad. La dureza más alta corresponde al centro del compacto SRE a 8 kA de polvo amorfo molido durante 75 horas. La microestructura contiene principalmente nanocristales de aluminio y compuestos de Al_3Ti , AlTi y AlTi_3 con posibles residuos de fase amorfa (*Figura 3*).

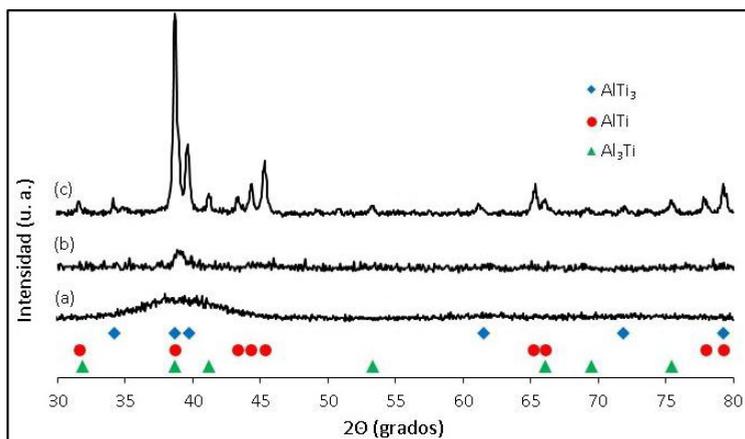


Figura 3. XRD (a) del polvo molido durante 75 hora, (b) del compacto SRE (7kA y 40s) y (c) del compacto SRE recocido a 850°C.

La dureza Vickers alcanza valores entre 633 y 662 HV para diferentes tiempos de sinterización. Si se aplica una corriente eléctrica menor (7 kA), la dureza en el centro del compacto disminuye ligeramente a valores entre 607 y 623 HV debido a la menor densificación. La dureza en la capa exterior del compacto disminuye considerablemente tanto para 8 kA como para 7 kA. Los valores de dureza varían entre 480 y 530 HV. La prevalencia de una estructura amorfa en esta área debido a la menor temperatura alcanzada, frente al desarrollo de una estructura nanocristalina o cristalina, debería explicar una mayor dureza. Sin embargo, el factor predominante es el aumento de la porosidad, lo que afecta negativamente a la dureza. Para los compactos SRE preparados a partir de polvo de Al-Ti molido durante 5 h, la dureza alcanza valores entre 392 y 448 HV en el interior y periferia, respectivamente. Finalmente, los compactos de Ti puro alcanza durezas de entre 248 y 323 HV. Estos compactos cristalinos están altamente densificados, pero no se ha desarrollado ningún mecanismo de endurecimiento.

CONCLUSIONES

Se ha investigado un nuevo método de endurecimiento por fase amorfa de la aleación TiAl obtenida mediante molienda mecánica y posteriormente consolidada mediante sinterización por resistencia eléctrica. Los compactos sinterizados eléctricamente con diferentes intensidades, entre 7 y 8 kA, y tiempos de sinterización, entre 0.8 y 1.6 s, muestran una distribución de la porosidad no uniforme con una capa exterior más porosa y un centro densificado. Por ejemplo, el compacto SRE 7/40 tiene una porosidad global de unos 20.1%, sin embargo, la porosidad en la capa exterior es de unos 32.8% y en el centro de unos 8.5%. La dureza Vickers máxima de 662 HV se alcanza en el centro de un compacto sinterizado eléctricamente con 8 kA y 1.2 s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cintas, J., Montes Martos, J. M., Gómez, F., y Urban, P.** (2015) A one-dimensional model of the electrical resistance sintering process. *Metallurgical and Materials Transaction A*, 46(2), 963-980.
- Urban, P., Gómez, F., Montes, J. M., y Cintas, J.** (2013) A study of crystalline-amorphous phase transformation of $Ti_{75}Al_{25}$ and $Ti_{50}Al_{50}$ alloys by mechanical alloying. *Materials Science and Technology*, 3, 1705-1702.
- Urban, P., Sánchez, E., Ternero, F., Viña, F. J., y Gómez, F.** (2018) Amorphous Phase Formation and Heat Treating Evolution in Mechanically Alloyed Al-Ti. *Key Engineering Materials*, 772, 118-122.