

DESARROLLO Y ESTUDIO DE PIEZAS CON GEOMETRÍAS COMPLEJAS DE ALEACIONES DE TITANIO FABRICADAS A PARTIR DE POLVO Y ALAMBRE MEDIANTE LA TÉCNICA ADITIVA DE FUSIÓN DE METAL MEDIANTE PLASMA

Dr. Isabel Montealegre-Meléndez¹, Dr. Cristina Arévalo¹, Enrique Ariza^{2*}, Dr. Eva María Pérez-Soriano¹, Dr. Erich Neubauer²

¹ Escuela Politécnica Superior, Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Universidad de Sevilla, Sevilla.

² RHP Technology GmbH, Seibersdorf (Austria).

E-mail de correspondencia: e.ar@rhp.at

RESUMEN

El titanio y sus aleaciones son materiales de gran demanda en la industria aeroespacial que presentan un alto coste de producción. Por ello, en la actualidad, existe un gran interés en el desarrollo de técnicas de fabricación que reduzcan costes como, por ejemplo, evitando pérdidas innecesarias de material durante el conformado de geometrías complejas; este es el caso de las técnicas aditivas. En el ámbito del procesado de materiales mediante estas técnicas, no sólo es importante el conocimiento del proceso y los parámetros de fabricación, sino también del material que se emplea de partida. El presente estudio parte de la manufactura mediante la técnica de *Plasma Metal Deposition* de piezas de titanio con geometrías muy complejas; se analizaron, además de los materiales de partida polvo y alambre, especímenes extraídos de zonas muy concretas. El objetivo era determinar variaciones de propiedades dependientes tanto del material de partida como de la posición dentro de la estructura compleja fabricada de forma aditiva. Los resultados verificaron la hipótesis de partida; existe una dependencia significativa de las propiedades finales de los especímenes extraídos de regiones concretas.

INTRODUCCIÓN

La fabricación aditiva es un proceso de manufactura capa a capa con el que se pueden producir piezas con geometrías complejas. Existen diversas técnicas aditivas que se diferencian, no sólo por la fuente de energía que se emplea durante el procesado, sino por la forma en la que se suministra el material de partida para cada deposición (Ngo *et al.*, 2018). En el ámbito del titanio y sus aleaciones, estos tipos de procesos resultan cada vez más empleados por las ventajas que ofrecen frente a otras técnicas más tradicionales (Li *et al.*, 2018; Attar *et al.*, 2018) strength and wear resistance of conventional titanium alloys can be further enhanced through development of

titanium-based matrix composites (TMCs. En este trabajo se han fabricado dos piezas de Ti6Al4V mediante la técnica aditiva de fusión de metal mediante plasma, conocida como “Plasma Metal Deposition” (PMD), una a partir de polvo y otra de alambre. Además de analizar la importancia de los parámetros de fabricación y la alimentación, se han investigado las propiedades finales de especímenes extraídos de diferentes regiones de la pieza final; el objetivo de este estudio es verificar si existen gradientes de propiedades ligadas a las diferentes deposiciones de material.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material base para la fabricación de ambas piezas fue la aleación Ti6Al4V. Por un lado, se empleó polvo cuya morfología fue esférica, con un tamaño de partícula entre 106 y 180 μm ; el alambre empleado para construir la segunda pieza presentó un diámetro de 1,2 mm. En la Figura 1 se muestran imágenes SEM de cada uno de los materiales de partida. Una vez caracterizados los materiales a emplear, se procedió con la fabricación mediante la técnica PMD; para ello, se utilizó el equipo de la empresa RHP-Technology GmbH que se muestra en la Figura 2. Los parámetros empleados durante el proceso de deposición se muestran en la Tabla 1.

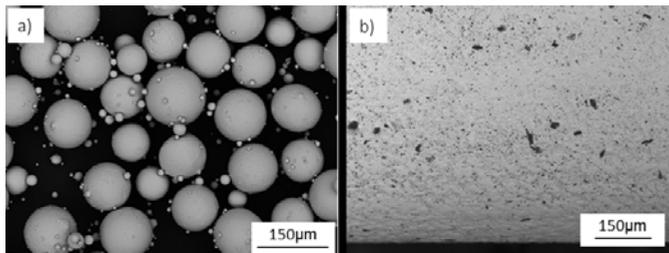


Figura 1. Imágenes SEM de los materiales de partida: a) polvo Ti6Al4V y b) superficie del alambre de Ti6Al4V.

Fuente: elaboración propia.

Tras la fabricación de las dos piezas, ambas se cortaron por la mitad y se sometieron a un tratamiento térmico, que se llevó a cabo bajo las siguientes condiciones: 600°C en atmósfera de Ar durante 2 horas. Posteriormente, de forma precisa, se extrajeron una serie de especímenes para ser analizados. La posición de los especímenes dentro de las piezas fabricadas fue el factor a tener en cuenta a la hora de analizar y comparar las propiedades medidas. Dos grupos representativos de muestras fueron cortadas en dirección vertical y horizontal, respecto a la base de deposición del material. Además, como hecho significativo, se tomaron muestras orientadas diagonalmente dentro de las estructuras fabricadas. Los cortes se realizaron mediante la técnica

de corte por hilo. Para la caracterización de las probetas, se realizaron ensayos de tracción; tras los mismos, se hizo también un estudio de las superficies de fractura.

Tabla 1. Parámetros de la fabricación realizada en RHP-Technology.

Proceso	Corriente arco plasma [A]	Voltaje [V]	Flujo gas piloto [l/min]	Flujo gas protector [l/min]	Flujo gas alimentación [l/min]	Velocidad alimentación [kg/h]
Ti6Al4V polvo	140	20	1.5	10	1.5	1.2
Ti6Al4V alambre	150	20	1.5	10	-	1.5

Fuente: elaboración propia.

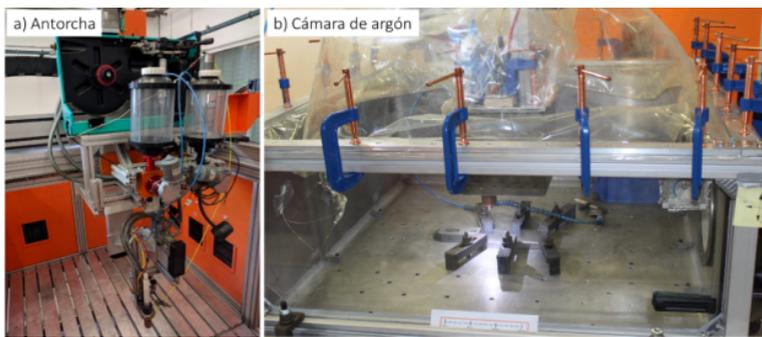


Figura 2. Disposición habitual del equipo de fabricación aditiva PMD: a) antorcha y b) cámara para fabricar en argón.

Fuente: (Neubauer, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirmaron la hipótesis de partida. Las propiedades mecánicas analizadas variaron con la posición dentro de la estructura. Además, se apreció como, al emplear polvo en lugar de alambre como material de partida, la ductilidad de las piezas en general fue mayor. Esto se puede ver en la Tabla 2. En la Figura 3 se muestran las superficies de fractura de las muestras más representativas.



Figura 3. Imágenes ópticas de las superficies de fractura de especímenes extraídos: a) pieza hecha con polvo de Ti6Al4V cortada horizontalmente; b) pieza hecha con polvo de Ti6Al4V cortada diagonalmente; c) pieza hecha con alambre de Ti6Al4V cortada diagonalmente.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resultados de la caracterización mecánica.

Material de partida	Probeta	E [GPa]	σ_y [MPa]	σ_R [MPa]	ϵ_{max} [%]	ΔL_R [%]
Ti6Al4V polvo	A_H	117.56	880.94	963.04	11.21	12.33
	A_V	110.56	875.49	951.20	10.15	13.96
	A_D	115.01	957.60	1064.09	6.01	6.04
Ti6Al4V alambre	B_H	118.16	853.36	909.55	8.23	11.33
	B_V	113.78	833.71	904.12	10.69	9.02
	B_D	116.35	915.17	971.34	3.11	4.67

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

Los resultados verificaron que hay una dependencia significativa de las propiedades finales de los especímenes extraídos de regiones concretas. También se observa que los especímenes extraídos diagonalmente muestran mayor fragilidad y valores inferiores en las propiedades mecánicas. Además, los especímenes producidos a partir de alambre de Ti6Al4V presentan mayor módulo de Young.

AGRADECIMIENTOS

- Ayudas PPIT-2019-I.5 CRISTINA M^a ARÉVALO MORA, PPIT-2019-I.5 ISABEL MONTEALEGRE MELÉNDEZ y PPIT-2020-I.5 EVA M^a PÉREZ SORIANO.
- RHP-Technology GmbH

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Attar, H., Ehtemam-Haghighi, S., Kent, D., y Dargusch, M. S.** (2018). Recent developments and opportunities in additive manufacturing of titanium-based matrix composites: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 133, 85–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2018.06.003>
- Li, X. P., Ji, G., Eder, K., Yang, L. M., Addad, A., Vleugels, J., Van Humbeeck, J., Cairney, J. M., y Kruth, J. P.** (2018). *Additive manufacturing of a novel alpha titanium alloy from commercially pure titanium with minor addition of Mo₂C*. Acta Materialia Inc. Published by Elsevier Ltd. https://limo.libis.be/primo-explore/fulldisplay?docid=LIRIAS2365157&context=L&vid=Lirias&search_scope=Lirias&tab=default_tab&lang=en_US&fromSitemap=1

Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., y Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>

Neubauer, E. (2019). Analysis of the Anisotropy of Properties in Titanium Alloys made by Plasma Metal Deposition. Euro PM2019.