

ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS PARÁMETROS DE FABRICACIÓN EN LAS PROPIEDADES FINALES DE PIEZAS DE TITANIO COMERCIALMENTE PURO CON GEOMETRÍAS SENCILLAS PRODUCIDOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE “ADDITIVE MANUFACTURING”

Pérez-Soriano, Eva María¹; Arévalo, Cristina¹; Montealegre-Meléndez, Isabel^{1*}; Kitzmantel, Michael²; Neubauer, Erich²

¹ TEP-123 Metalurgia e Ingeniería de los Materiales.

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

² RHP-Technology GmbH.

Forschungs-und Technologiezentrum, 2444 Seibersdorf, Austria.

*E-mail: imontealegre@us.es

RESUMEN

La necesidad de fabricar piezas de geometrías complejas empleando materiales ligeros con altas propiedades, en el sector aeroespacial conlleva al uso de técnicas cada vez más flexibles y con mayor complejidad técnica. Este es el caso de los procesos de fabricación aditiva capa por capa (Additive Manufacturing, AM). La posibilidad de diseñar piezas partiendo de diseños en 3D, llevándolas a una realidad física, la ventaja frente a otras técnicas de fabricación convencionales.

En el presente trabajo, se ha desarrollado un estudio preliminar en piezas de titanio comercialmente puro, fabricadas mediante AM, en particular la técnica de “Plasma Transferred Arch”, bajo diferentes parámetros de fabricación. Dichas piezas se han fabricado a partir de un sustrato de titanio sobre el cual se han ido depositando capa a capa de material (titanio) de una forma específica. El objetivo de dicho estudio es evaluar las posibles diferencias en las piezas de titanio fabricadas con estas geometrías tan sencillas similares a un cordón de soldadura. Desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo se han comparado entre sí dichas piezas; de dichas comparativas se ha podido observar la gran influencia que tienen los parámetros de fabricación como el arco de transferencia en los especímenes fabricados.

PALABRAS CLAVE

Additive Manufacturing, Titanio, Plasma Transferred Arch.

ABSTRACT

The need to manufacture complex geometry pieces using lightweight materials with high properties, leads in the aerospace sector to the use of techniques increasingly flexible with greater technical complexity. This is the case of Additive Manufacturing processes (AM). The possibility of designing pieces based on 3D designs, taking them into a physical reality, is its main advantage over other conventional manufacturing techniques.

In the present work, a preliminary study has been developed on commercially pure titanium pieces, manufactured by means of AM, the “Plasma Transferred Arch” technique, under different manufacturing parameters. The substrate was made from titanium, on which titanium layers were deposited, one by one, in a specific disposition. The objective of this study is to evaluate the possible differences in the titanium pieces manufactured with these simple geometries similar to a weld bead. From a qualitative and quantitative point of view, these pieces have been compared; it is possible to observe the great influence that manufacturing parameters have, as the transferred arc, in the manufactured specimens.

KEYWORDS

Additive Manufacturing, Titanium, Plasma Transferred Arch.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Los factores peso y coste económico son dos pilares fundamentales a tener en cuenta en el sector del diseño aeronáutico; están estrechamente ligados con los materiales a utilizar y sus respectivos procesos de fabricación. En este contexto, se presenta al Ti y a sus aleaciones como candidatos a la hora de realizar una selección de materiales en el sector aeroespacial [1].

Los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas han posicionado a la impresión en 3D en la cabeza de la lista de los procesos de producción. Destacando en este grupo el Additive Manufacturing (AM), tecnología de producción que se encuentra en auge. Dicha tecnología consigue, sin crear material residual, producir elementos tridimensionales desde un modelo diseñado mediante programas informáticos, añadiendo material capa a capa. Esto ofrece beneficios, como, por ejemplo, la adaptabilidad a construir elementos geoméricamente complejos que no podrían desarrollarse con otras tecnologías de producción, tales como la fundición con molde o la forja [2]. La peculiaridad de estas tecnologías de fabricar un producto semi-acabado por capas, evitando el despilfarro de material [3] además de tener la posibilidad de controlar las características mecánicas del producto final, es lo que hace de este proceso una buena forma de tratar el titanio [4-5].

De entre las diversas variables existentes de fabricación AM, en el presente estudio se aborda la técnica de plasma transferido por arco de soldadura o “Plasma Transferred Arch” (PTA). Dicha técnica es una técnica de fabricación por adición basada en el proceso “Blown Powder Technology”. Se basa en el soplado de polvos de material de forma coaxial con una fuente de energía que funde las partículas en el sustrato. La boquilla desde donde son soplados los polvos tiene dos aberturas: una es para el soplado de material y, la otra, para producir una corriente de un gas de protección. El soplado del polvo suele realizarse por gravedad, siendo su velocidad de soplado controlada por un dosificador similar a una barrena. El flujo de gas protector trata de eliminar el oxígeno de la zona de trabajo evitando así la oxidación y la degradación de la pieza. En el proceso de fabricación PTA, la energía proviene del arco transferido por la antorcha; siendo este uno de los parámetros más influyentes en las propiedades finales de las piezas fabricadas [6-10].

En el presente trabajo se procesan piezas de titanio grado 1 y titanio grado 5, considerando variaciones en los parámetros de fabricación que pudiesen afectar de forma significativa a las propiedades de las piezas fabricadas.

METODOLOGÍA

Para la realización de las piezas se han empleado polvos de partida de alta calidad de Ti grado 1 y Ti grado 5; la morfología de ambos polvos es esférica. El tamaño medio de partícula para el titanio grado 1 es 110 μm y, para el titanio grado 5, 140 μm ; ambos valores fueron obtenidos tras el análisis del polvo en el equipo de láser Mastersizer 2000.

Los parámetros de fabricación seleccionados como objeto de estudio son: el arco transferido, la velocidad de movimiento de la antorcha y la altura de la antorcha respecto a la deposición de material; además, los especímenes fueron fabricados por deposición de una capa (especímenes “S”) y varias capas (especímenes “M”). Con ello se pretende estudiar y comparar el efecto de los parámetros de fabricación anteriormente citados, no sólo en el sustrato, sino también en las diversas capas de material depositado.

La lista de especímenes producidos queda reflejada en la Tabla 1. Dicha tabla muestra los parámetros empleados para la producción de las muestras, así como la identificación que se hizo de las mismas siguiendo una nomenclatura de fabricación en función del orden de procesado.

Tabla 1. Parámetros de fabricación.

	Arco Transferido [A]	Velocidad [mm/min]	Altura antorcha-sustrato [mm]
S18	150	200	14
S19	150	100	14
S20	150	50	14
S21	150	75	16
S24	180	75	18
S25	200	75	18
S26	130	75	18
S27	100	75	18
S28	100	75	18
S29	150	75	18
S1	150	100	18
S2	180	100	18
S3	210	100	18
S4	180	75	18
S5	180	50	20
M1	150	100	18, 20, 22, 24, 26
M2	180	100	18, 20, 22, 24, 26

	Arco Transferido [A]	Velocidad [mm/min]	Altura antorcha-sustrato [mm]
M3	210	100	18, 20, 22, 24, 26
M4	180	75	18, 20, 22, 24, 26

Una vez fabricadas las distintas muestras, se procedió a la caracterización de las mismas. En primer lugar, se realizaron cortes perpendiculares al sustrato, de los cuales se extrajeron los especímenes pertinentes (ver Figura 1).



Figura 1. Imagen de la extracción de los distintos especímenes para su estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se determinaron las densidades de los especímenes, y se pudo apreciar que todos alcanzaron casi el 100% de densificación. Estos valores fueron calculados mediante análisis de imagen de las muestras. Por otro lado, de forma cualitativa, se evaluaron factores como la unión entre el sustrato y la capa o capas depositadas. Además, se valoró la anchura del cuello de dicha unión y la existencia de porosidad en dicha zona.

Una comparativa entre sustratos reveló aspectos muy significativos de los parámetros de fabricación estudiados. Como se puede apreciar en la Figura 2, los especímenes fabricados a una mayor velocidad de deposición (velocidad de antorcha) y una menor energía de arco transferido, presentan un menor tamaño de cuello (véase en S18 Figura 2). Si la energía de dicha fuente es aumentada, su efecto queda reflejado en el material del sustrato, a pesar de encontrarse la antorcha a una mayor separación en altura del sustrato (véase en S24 Figura 2).



Figura 2. Imágenes de especímenes de titanio de una sola capa fabricado bajo diferentes parámetros.

Un efecto negativo del déficit de energía de procesado, considerado como un bajo valor de arco transferido, 100 A, puede ser observado en la Figura 3 (muestra S28). En este caso, no existe una unión real entre el sustrato y la capa de titanio grado 1 depositada.

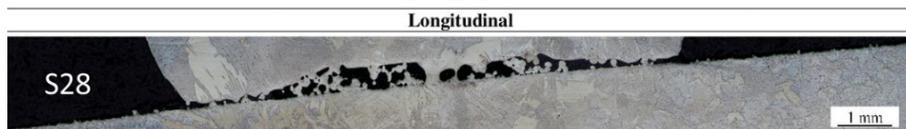


Figura 3. Imagen de un espécimen de titanio fabricado bajo un arco transferido de 100A.

En el caso de piezas fabricadas a partir de titanio grado 5, el efecto de los parámetros de fabricación es similar al observado en piezas de titanio grado 1. Se vuelve a reflejar la importancia de la energía de la antorcha en la morfología del cuello de los especímenes. En la Figura 4, se pueden comparar piezas monocapa y multicapa procesadas bajo una energía de arco transferido de 210 A. Es importante destacar que, el efecto de disipación térmica que ofrecen las capas se traduce en un crecimiento de grano columnar para este tipo de especímenes multicapa. Se podría considerar como que la deposición de una segunda, tercera y cuarta capa impide que la zona se enfríe rápidamente, lo cual origina esas modificaciones en la morfología de los grados observados.

En el caso de muestras monocapa, la microestructura presenta un tipo de grano equiaxial en general en la zona del cuello. Debido a un alto valor de arco y a una baja disipación de calor en la zona de contacto con el aire, los granos formados presentan morfología columnar. Además, se puede observar en la muestra S1 cómo el sustrato se ve afectado térmicamente, manifestando cambios sustanciales en su microestructura.

A la hora de realizar una comparativa de la morfología de los granos observados en especímenes monocapa y multicapa, los granos columnares (nucleación homogénea) son mayores cerca del eje vertical de simetría. En los extremos, el calor se libera rápidamente haciendo decrecer el tamaño de grano (morfología equiaxial, nucleación heterogénea). En los especímenes monocapa, los granos columnares son más delgados en el cordón. En cambio, en los multicapa, los granos más grandes se aprecian precisamente en el cordón. El enfriamiento es más lento ya que el calor liberado se difunde a través del espécimen; por lo tanto, la velocidad de enfriamiento decrece bruscamente haciendo que el tamaño de grano sea mayor y que tenga forma columnar.

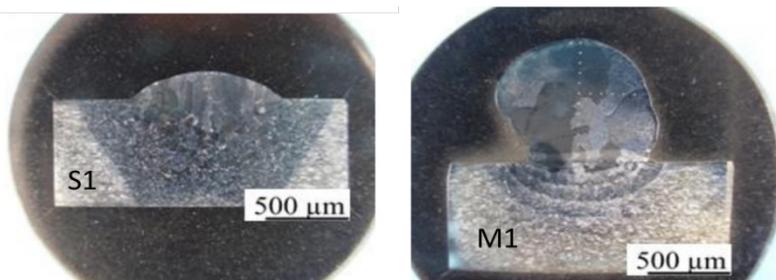


Figura 4. Imagen de dos especímenes de titanio grado 5, monocapa (S1) y multicapa (M1), fabricados bajo un arco transferido de 210A.

CONCLUSIONES

Al aumentar el arco transferido, se genera más calor y, consecuentemente, se afecta la microestructura. Aparecen granos más grandes y la morfología de los granos columnares tiende a ser más alargada; consecuentemente, la dureza disminuye.

Con una menor velocidad de deposición, hay una disminución en la velocidad de difusión del calor. El tamaño de grano aumenta, mientras que la dureza se ve reducida.

Aumentando el arco o disminuyendo la velocidad de deposición, se ensancha el cordón, dando lugar además a granos columnares más grandes.

Todas las muestras han alcanzado una densificación total.

Se ha observado una microestructura típica de soldadura con granos columnares en la zona central y equiaxial por los bordes. El tamaño de grano decrece desde el cordón hacia el sustrato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Leyends, C. y Peters, M. (2003). *Titanium and Titanium Alloys: Fundamentals and Applications*. Weinheim (Alemania): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [2] Frazier, W.E. (2014). Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), p. 1917.
- [3] Fina, F., et al. (2017). Selective laser sintering (SLS) 3D printing of medicines. *International Journal of Pharmaceutics*, 529, p. 285.
- [4] Williams, S.W., et al. (2016). Wire + Arc Additive Manufacturing. *Materials Science and Technology*, 32, p. 641.

- [5] Katou, M., *et al.* (2007). Freeform fabrication of titanium metal and intermetallic alloys by three-dimensional micro welding. *Journal of Materials and Design*, 28, p. 2093.
- [6] Jhavar, S., *et al.* (2014). Development of micro-plasma transferred arc (μ -PTA) wire deposition process for additive layer manufacturing applications. *Journal of Materials Processing Technology*, 214, p. 1102.
- [7] Alberti, E., *et al.* (2014). Additive manufacturing using Plasma transferred arc. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 83(9-12), p. 1861.
- [8] Feng, Y., *et al.* (2018). The double-wire feed and plasma arc additive manufacturing process for deposition in Cr-Ni stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 259, p. 206.
- [9] Martina, F., *et al.* (2012). Investigation of the benefits of plasma deposition for the additive layer manufacture of Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(6), p. 1377.
- [10] Mok, S.H., *et al.* (2008). Deposition of Ti-6Al-4V using a high power diode laser and wire, Part I: Investigation on the process characteristics. *Surface and Coatings Technology*, 202(16), p. 3933.