

APROXIMACIÓN A LA FABRICACIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA *FUSED FILAMENT FABRICATION*

Cristina Arévalo¹, Eva M^a Pérez-Soriano¹, Michael Kitzmantel², Isabel Montealegre-Meléndez^{1,*}

¹Escuela Politécnica Superior; Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte; Universidad de Sevilla; Sevilla (España)

²RHP-Technology GmbH, Seibersdorf (Austria)

E-mail de correspondencia: imontealegre@us.es

RESUMEN

Dentro de las técnicas más innovadoras de fabricación aditiva, va cogiendo fuerza la denominada *Fused Filament Fabrication* (FFF) o Fabricación por Filamento Fundido. Tradicionalmente, sólo se han producido piezas en materiales poliméricos (FDM, *Fused Deposition Modelling*), pero las ventajas que presenta han estimulado la investigación y desarrollo de su uso para el procesado de materiales metálicos. Aun así, hay diferencias significativas en la fabricación, como son el uso de filamento multi-componente a base de material metálico y aglutinante polimérico o la necesidad de post-procesado, etapas de *debinding* y sinterizado, para eliminar dicho aglutinante y mejorar la unión entre las partículas del metal respectivamente. Este estudio se ha centrado en la fabricación de un conjunto de muestras de acero austenítico 316L y acero endurecido por precipitación 17-4PH. Las probetas se han caracterizado mediante diversos ensayos para estudiar la influencia de los parámetros de procesado. En base a los resultados, se recomiendan cambios en los parámetros decisivos en las fases de impresión, *debinding* y sinterizado para mejorar los resultados futuros.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los procesos de manufactura aditiva, se encuentra la técnica conocida como *Fused Filament Fabrication* (FFF). Este tipo de método de producción de componentes, en sus orígenes se limitaba a materiales muy específicos, en su mayoría materiales poliméricos (Tanikella *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2017). Sin embargo, gracias a avances en la técnica, el abanico de posibles materiales se ha ido abriendo. En la actualidad materiales de base metálica son posibles candidatos para la producción de componentes.

El diseño de piezas con geometrías muy complejas no supone un obstáculo para su producción mediante FFF; las bondades de esta técnica quedan patentes en el ahorro sustancial de material y el tiempo de procesado. Al evitar operaciones secundarias de conformado, la pérdida de material deja de ser notoria y el tiempo de acabado de

las piezas finales se ve reducido. Ello hace que este tipo de manufactura sea cada vez más demandada por el tejido productivo industrial.

La principal limitación de la técnica es el control de los parámetros de procesado en función de la geometría a generar. Es por ello que se hace necesario un estudio sistemático de estos parámetros en función de la tipología del material base de las piezas conformadas vía FFF. El principal objetivo del presente trabajo es poder desarrollar en un inicio materiales conocidos de base metálica, como son dos aceros inoxidable muy empleados en el sector industrial, el austenítico 316L y el acero endurecible por precipitación 17-4PH, realizando un estudio preliminar de los parámetros de fabricación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales empleados, como se ha comentado en el apartado anterior, han sido las aleaciones de acero 17-4PH y 316L, con la composición estándar de los mismos. El interés en el estudio de estas aleaciones comúnmente conocidas radica en la particular y novedosa forma de ser tratados en la técnica de fabricación FFF. No se puede entender esta técnica de fabricación de metales sin pasar por los distintos aspectos que conciernen al filamento a extruir. Así, muchas de las cuestiones que suelen surgir al hablar de esta tecnología está relacionadas con el filamento, su composición y su sinterización.

Además, debido a los múltiples requerimientos de la tecnología FFF en cuestión de imprimibilidad, los cuales se distancian de las típicas propiedades de los metales al uso (Godec *et al.*, 2020), surgen más cuestiones relacionadas con este tipo de filamentos. Esta razón hace llegar a la conclusión de que el filamento no estará formado únicamente por material metálico, sino que tendrá que ser un material multicomponente que cumpla todos los requisitos. Así, se distingue entre dos partes muy distintas dentro del filamento: material metálico (en forma de polvo) y aglutinante. Este último será un material polimérico que ayudará a cumplir las propiedades para una extrusión eficaz (Thompson *et al.*, 2019). El material debe tener capacidad de fluir, no ser demasiado caro, suficiente rigidez para no producir deformaciones por pandeo mientras la extrusión está en curso y suficientemente sólido y flexible para poder ser almacenado y conservado de forma compacta.

Las diferentes etapas en las que se divide la fabricación son: i) Generación del G-Code; ii) Impresión (extrusión del material con el modelo EL-11 3D Printer de EVO-Tech a través de un cabezal caliente capa a capa, hasta lograr la geometría deseada);

iii) *Debinding* (postproceso para eliminar el aglutinante de la pieza; en este caso se realizan dos, catalítico y térmico); iv) Sinterizado (proceso térmico que tiene como objetivo densificar la pieza); v) Tratamiento térmico.

Tabla 1. Parámetros del procesado.

PARÁMETROS	
SINTERIZACIÓN	DEBINDING
Porcentaje de relleno: 100%	Medio: HNO ₃
Velocidad impresión: 1.500mm/min	Temperatura: 110°C
Altura de capa: 0,2mm	Tiempo: 5h, 9h o 12h
Temperatura del extrusor: 250°C	Número de procesos: 1 ó 2
Temperatura de plataforma: 88-92°C	
Porcentaje de solapamiento: 40%	

Fuente: elaboración propia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La empresa RHP-Technology ha llevado a cabo la fabricación de un conjunto de muestras en dos tipos de acero. Se ha utilizado *feedstock* a base de acero 17-4PH, y filamento multicomponente a base de acero 316L con aglutinante. Los especímenes se procesaron de forma individual o en bloque (para ser cortados posteriormente con hilo), con la geometría estándar normalizada para ensayos de tracción. Además, también se fabricaron con distinta orientación, en XY o en Z.

Posteriormente a la fabricación, los especímenes se han caracterizado microestructural y mecánicamente. A continuación, se presenta una pequeña muestra de este estudio mostrando la superficie de fractura para las diversas condiciones de procesado.

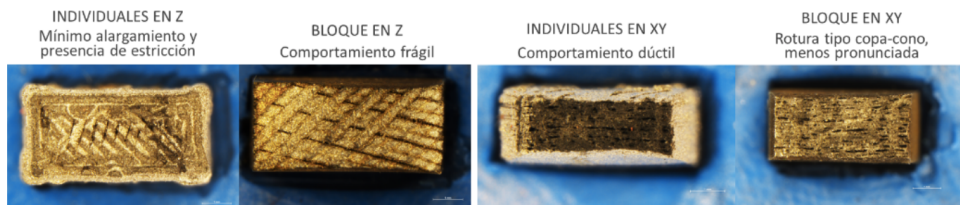


Figura 1. Superficies de fractura de probetas de acero 316L.

Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

Se ha podido establecer que el FFF es una técnica de fabricación multidisciplinar. Con respecto a la impresión, se ha comprobado que produce una buena adhesión entre capas. En cuanto al proceso de eliminación de aglutinante, hay que seguir estudiando estos procesos, ya que se han detectado fenómenos de corrosión indeseados. A mayor tiempo de *debinding*, se logran alcanzar mejores propiedades; pero un exceso de este puede llegar a provocar la fragilización del material. Las probetas fabricadas en dirección XY presentan las mejores propiedades. En la fabricación individual se observa que una menor porosidad, con lo que se obtienen mayores valores de dureza.

AGRADECIMIENTOS

- Ayudas PPIT-2020-I.5 y PPIT-2021-I.5
- RHP-Technology GmbH

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Tanikella, N.G., Wittbrodt, B. & Pearce, J.M.** (2017). Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing. *Additive Manufacturing*, 15, 40-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.03.005>
- Jiang, D. & Smith, D.E.** (2017). Anisotropic mechanical properties of oriented carbon fiber filled polymer composites produced with fused filament fabrication. *Additive Manufacturing*, 18, 84-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.08.006>
- Godec, D., Cano, S., Holzer, C. & González-Gutierrez, J.** (2020) Optimization of the 3D Printing Parameters for Tensile Properties of Specimens Produced by Fused Filament Fabrication of 17-4PH Stainless Steel. *Materials*, 13(3), 774. doi: <https://doi.org/10.3390/ma13030774>
- Thompson, Y., González-Gutierrez, J., Kukla, C. & Felfer, P.** (2019) Fused filament fabrication, debinding and sintering as a low cost additive manufacturing method of 316L stainless steel. *Additive Manufacturing*, 30, 100861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100861>