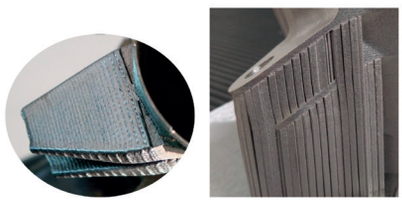
Combinación de procesos de fabricación aditiva metálica para la fabricación de componentes complejos de turbinas aeronáuticas



Combination of metal additive manufacturing processes for producing complex components of aeronautical turbines

Silvia Martínez-Rodríguez[1*], Sara Sendino-Mouliet[1], Aitzol Lamikiz-Mentxaka[2], Jose-Exequel Ruiz-Salas[2], Carlos Zayas-Quintana[1] y Eneko Ukar-Arrien[2]

[1] Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica CFAA. Parque Científico y Tecnológico de Bizkaia. Edificio 202 - 48170 Zamudio (España).
[2] Universidad del Pais Vasco UPV/EHU. Escuela de Ingeniería de Bilbao. Dpto. de Ingeniería Mecánica. Plaza Torres Quevedo, 1 - 48001 Bilbao (España).

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/9377 | Recibido: 10/09/2019 • Inicio Evaluación: 12/09/2019 • Aceptado: 02/12/2019

ABSTRACT

- Two of the processes of metallic additive manufacturing that are currently in a strong industrial development are the Selective Laser Melting (SLM), within the additive process category assigned as "Powder Bed Fusion (PBF)" and the Laser Metal Deposition (LMD), as part of "Direct Energy Deposition (DED)" processes.
  Thus, in this paper the combination of both additive manufacturing techniques (SLM + LMD) is studied, so that, a hybrid method that combines the advantages of both processes is applied. To analyze the applicability of this methodology, the case of a turbine component manufactured by SLM, to which structures have been added later by means of LMD, is presented. On the other hand, the critical areas of the part in which there is a concurrence of problems that force a change in the process have been analyzed. In addition, a technique to prepare the areas where material is going to be supplied by LMD has been applied to reduce the possible thermal damage that is generated during this process.
- **Keywords:** SLM, LMD, additive manufacturing, Inconel 718®, aeronautical turbines.

RESUMEN

Dos de los procesos de fabricación aditiva metálica por láser que se encuentran actualmente en un fuerte desarrollo industrial son el proceso de Selective Laser Melting (SLM), dentro de la categoría de procesos aditivos designada como "Power Bed Fusion (PBF)" y el proceso de Laser Metal Deposition (LMD), dcomo parte de los procesos de"Direct Energy Deposition (DED)".

Así, este trabajo estudia la combinación de ambas técnicas de fabricación aditiva (SLM+LMD) de forma que se aplica un método híbrido que combina las ventajas de ambos procesos. Para analizar la aplicabilidad de esta metodología, se presenta el caso de un componente de turbina fabricado por SLM al que posteriormente se han añadido estructuras mediante LMD. Por otro lado, se han analizado las zonas críticas de la pieza en las que se da una concurrencia de problemas que obligan a cambiar de proceso. Además, se ha aplicado una técnica de preparación de las zonas donde se va a aportar material por LMD para reducir el posible daño térmico que se genera en este proceso.

Palabras clave: SLM, LMD, fabricación aditiva, Inconel® 718, turbinas aeronáuticas.

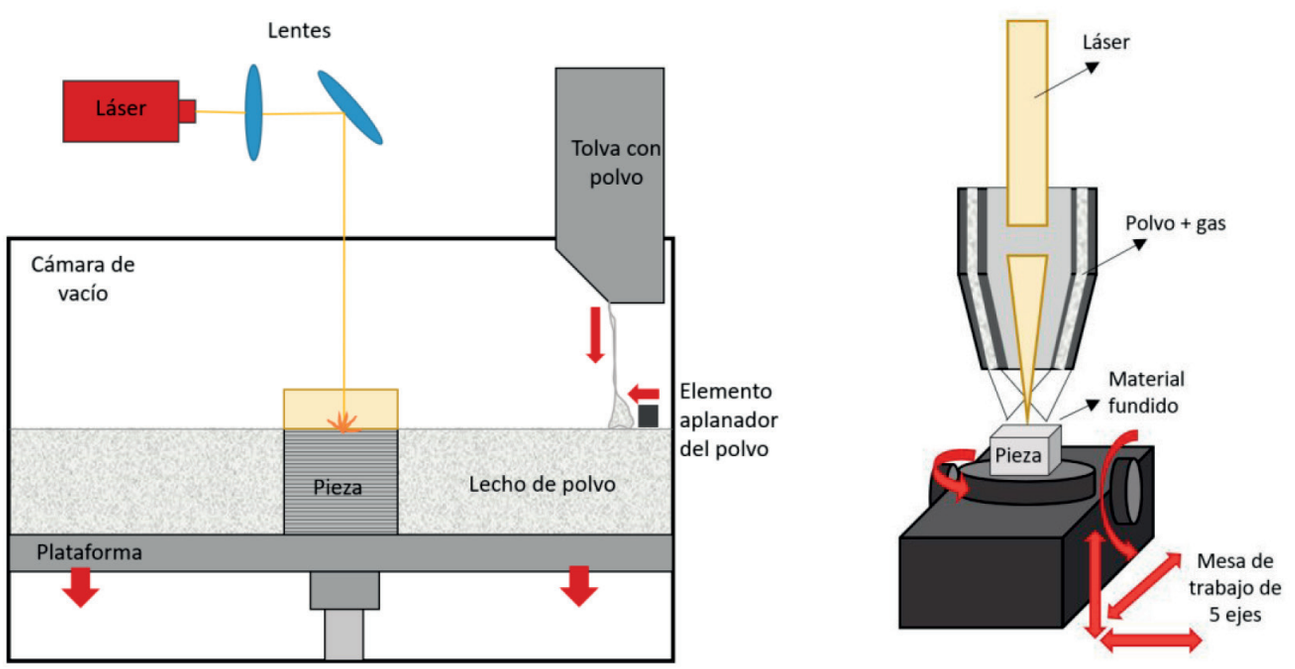


Fig. 1: Izq. Esquema del proceso SLM; Dcha. Esquema del proceso LMD

1. INTRODUCCIÓN

Dos de los procesos de fabricación aditiva metálica por láser que se encuentran actualmente en un fuerte desarrollo industrial son el proceso de Selective Laser Melting (SLM), dentro de la categoría de procesos aditivos designada como "Power Bed Fusion (PBF)" y el proceso de Laser Metal Deposition (LMD), como parte de los procesos de "Direct Energy Deposition (DED)". [1] [2] [3].

Se trata de dos procesos con características y aplicaciones muy diferenciadas. Aunque ambos se basan en la fusión de polvo metálico mediante una fuente láser, como se muestra en la Figura 1, en el proceso SLM se emplea el láser para fundir selectivamente el polvo metálico depositado en el lecho de polvo, según lo especificado en el archivo CAD hasta lograr la geometría deseada. En este proceso tras extender la primera capa de polvo y fundir el área especificada, se deposita una segunda capa de polvo y se vuelve a fundir el área especificada. Este proceso se repite capa a capa hasta lograr toda la pieza diseñada. Tras la fabricación, la pieza se encuentra enterrada en un lecho de polvo que es necesario retirar para obtener la pieza [1] [3] [4]. En cambio, en el proceso LMD el polvo pasa continuamente por las boquillas dirigidas al láser de alta potencia que va fundiendo el polvo. Este material fundido, gracias al sistema de control de movimiento, se va depositando en el área deseada capa a capa [3][5].

Cada proceso tiene sus ventajas y desventajas, que pueden llegar a limitar su aplicabilidad. Así, el proceso de SLM se suele orientar a la fabricación de piezas pequeñas completas, muy cercanas a la forma final, en las que es habitual encontrar piezas de geometría muy compleja, de paredes delgadas y que requieren mejor acabado superficial [6] [7]. Mientras que la tecnología LMD es un proceso más rápido y adecuado para añadir material a piezas ya existentes o para aplicar recubrimiento de zonas [5].

Como puede verse en la Figura 2, la principal desventaja de los procesos SLM es la baja tasa de aporte y que, frente a la creencia generalizada y a pesar de la complejidad geométrica alcanzada en las piezas, presentan una serie de restricciones geométricas, limitando mucho la capacidad de fabricar formas libres [8], lo que se representa con una elipse roja en la Figura 2. Esto es debido a que esta tecnología cuenta únicamente con 2.5 ejes: primero funde en XY la capa correspondiente y tras esto baja en Z la altura de capa para fundir la siguiente capa. Además, los ángulos superiores a 40º - 60º respecto a la vertical no son auto soportados [9]. Así, para poder construir voladizos mediante el proceso SLM es necesario construir soportes. Los soportes son estructuras del mismo material que la pieza, pero más debilitadas debido a las características de fabricación, que posteriormente se eliminan mediante costosas operaciones manuales o de mecanizado.

Por otro lado, la principal ventaja del proceso LMD con respecto al SLM es una mayor tasa de aporte [5] y la mayor libertad de forma debido a la posibilidad de implantarlo en máquinas en 5 ejes continuos o robots. Esto, posibilita la generación de voladizos en cualquier dirección, dando una libertad de forma muy superior a la lograda mediante procesos SLM. Sin embargo, este tipo de procesos presentan peores resultados en cuanto a tolerancias y acabado superficial de la pieza [10].

Tras analizar las ventajas y desventajas de las dos tecnologías mencionadas se ha visto que la gran limitación de forma que tiene la tecnología SLM podría ser suplida por la tecnología LMD. Así, este trabajo estudia la combinación de ambas técnicas de fabricación aditiva (SLM+LMD) de forma que se aplica un método híbrido que combina las ventajas de ambos procesos. Para ello, a continuación, se inicia contextualizando las piezas dónde es posible aplicar esta tecnología para acabar con un caso práctico.

2. CONTEXTUALIZACIÓN Y APLICABILIDAD DE LA TECNOLOGÍA COMBINADA

A medida que las tecnologías aditivas encuentran mayor incidencia en diferentes sectores se está volviendo cada vez más evidente la necesidad de combinar las diferentes tecnologías para poder hacer frente de la manera más eficiente a los distintos retos que se presentan en la actualidad. Así, la combinación entre las tecnologías SLM y LMD es un claro ejemplo de ello. En ocasiones, por las especificaciones de la pieza, es necesario fabricarla mediante tecnologías SLM, como es el caso de piezas completas con geometrías complejas o paredes finas.

Por lo tanto, las piezas fabricadas mediante SLM tienen un rediseño previo, para adaptar las geometrías diseñadas para tecnologías tradicionales a las características y limitaciones de forma de la tecnología SLM. Con este rediseño, además de un aligeramiento de la pieza manteniendo las propiedades mecánicas, se intentan minimizar o evitar las zonas que requieren soportes. En zonas donde se han eliminado los soportes la rugosidad superficial es muy alta y se requiere un mecanizado posterior. Además, estas zonas sufren las mayores deformaciones termo-mecánicas durante el proceso, siendo las zonas donde es más probable que se produzca un fallo de fabricación. Estas deformaciones termo-mecánicas dependen del material de fabricación, siendo muy pronunciadas en superaleaciones base Ni.



Fig. 2: Comparativa entre la tecnología SLM y LMD[8]

Pero en ciertas piezas no es posible rediseñar toda la geometría y adaptarla completamente a la tecnología SLM. Uno de los mayores problemas actuales para la fabricación de las piezas mediante SLM, en el sector aeronáutico, son las zonas de amarre de estas piezas. Estas zonas no pueden rediseñarse para adaptarse a esta tecnología, ya que van unidas de forma precisa a un conjunto que puede ser muy complejo, por ejemplo, un motor aeronáutico. Esto a menudo provoca dificultades a la hora de fabricar piezas, siendo imposibles de fabricar esas zonas de amarre sin soportar.

En la Figura 3 se observan dos piezas diseñadas para ser fabricadas mediante SLM. Ambas, cuentan con zonas de unión al conjunto imposibles de fabricar sin soportes, y

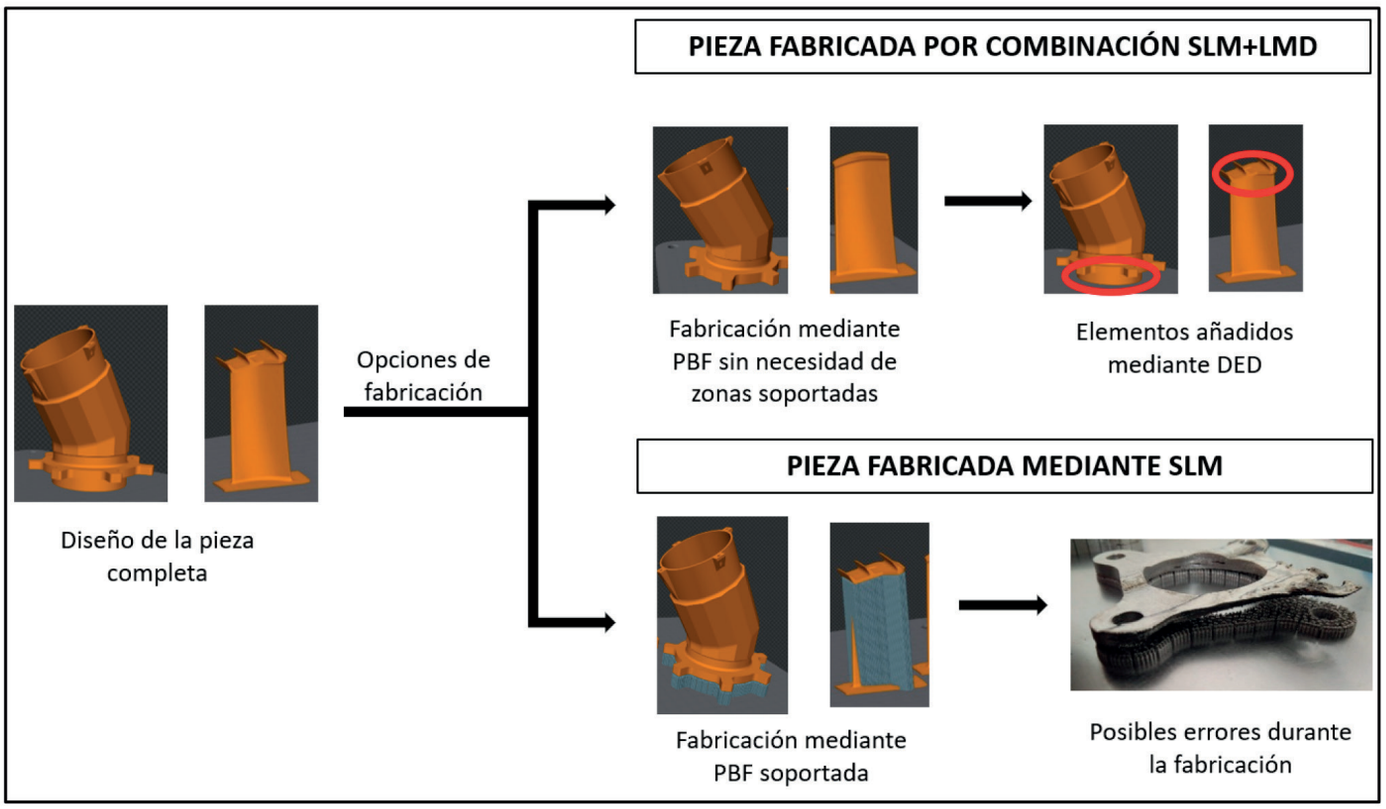


Fig. 3: Opciones de geometrías para procesos aditivos combinados, SLM+LMD

como puede verse en la Figura 3, la incorrecta elección de soportes puede provocar, debido a las tensiones termo-mecánicas durante el proceso, que la zona de soportes y la pieza no se adhieran con suficiente fuerza y la pieza se levante provocando un fallo significativo en la fabricación que puede dañar componentes de máquina. La generación de tensiones termo-mecánicas durante la fabricación depende del material que se esté utilizando y, sobre todo, de la geometría de la pieza a fabricar. Las tensiones generadas son mayores cuanto mayor sea el área de pieza a fabricar sobre los soportes por cada capa y cuanto más alargada sea la geometría, en superficies circulares la generación de tensiones termo-mecánicas es menor.

Para evitar esa cantidad de soportes la tecnología LMD parece una opción muy interesante. Esta tecnología, gracias al trabajo en máquinas con 5 ejes o robots y a la capacidad de posicionamiento local de la pieza, permite una libertad de forma mucho mayor. En la Figura 3 se muestra la opción de fabricar piezas diseñadas para SLM de manera combinada entre las dos tecnologías. Estas piezas fabricadas por procesos aditivos combinados cuentan con las ventajas de la tecnología SLM, pero evitarían las zonas de unión que deben de ser soportadas, añadiéndolas localmente mediante LMD una vez fabricado el resto de la pieza.

Así, la opción de emplear un sistema combinado entre las tecnologías LMD y SLM es muy interesante sobre todo en geometrías, como las que se muestran en la Figura 3, que tienen una zona de orientación muy clara para ser fabricadas a lo largo del eje Z y que no es posible rediseñarlas ya que son funcionales, como es el caso de un perfil alabeado. En caso de girar estas piezas, para poder fabricar sin soportar las zonas de amarre o aletas que crecen en otra dirección a la zona funcional, debería de ser soportada la zona funcional, empeorando su calidad superficial y aumentando las deformaciones por no ser la orientación idónea. Es por ello por lo que se ve como una opción muy interesante en piezas concretas la combinación de ambos procesos aditivos.

3. CASO PRÁCTICO

Para analizar la aplicabilidad de esta metodología para la combinación de procesos aditivos, se presenta el caso de un componente complejo de forma con tendencia tubular que consta de 6 bridas de amarre en forma de aleta en la zona central con posicionamiento circunferencial. El material utilizado para la fabricación de las piezas es polvo metálico de Inconel® 718, una superaleación base Ni para trabajo en caliente muy utilizada en las partes calientes de conductos y motores aeronáuticos.

En este apartado se describen todos los pasos para la fabricación de una pieza por la combinación de procesos aditivos, desde la modificación del CAD de pieza hasta la fabricación del componente final pasando por un ajuste de parámetros y por la fabricación de una aleta de prueba.

3.1. PREPARACIÓN DEL CAD

En lo que respecta a la preparación del CAD que se introduce en el programa de fileteado y creación de trayectorias para la fabricación SLM, es necesario eliminar la superficie que luego se añadirá mediante LMD. Para la geometría de brida en forma de aleta sobre una superficie cilíndrica se valoran 3 opciones:

· Opción 1: Aporte en 3 ejes

En este caso la superficie creada es plana, con mayores espesores de pared en los extremos. En este caso, ver Figura 4, el crecimiento del álabe es perpendicular a la superficie creada Esto provoca que la orejeta tras el aporte sea más voluminosa, volumen que posteriormente hay que mecanizar, ya que debe de contener a la aleta con sus pequeñas inclinaciones. Además, provoca una diferencia importante de espesor entre el centro y los extremos que puede dificultar el aporte si el espesor por el centro es pequeño.

· Opción 2: Aporte en 4 ejes

En este caso se realiza un corte a la aleta por una superficie cilíndrica concéntrica a la tubería. La orejeta final también será

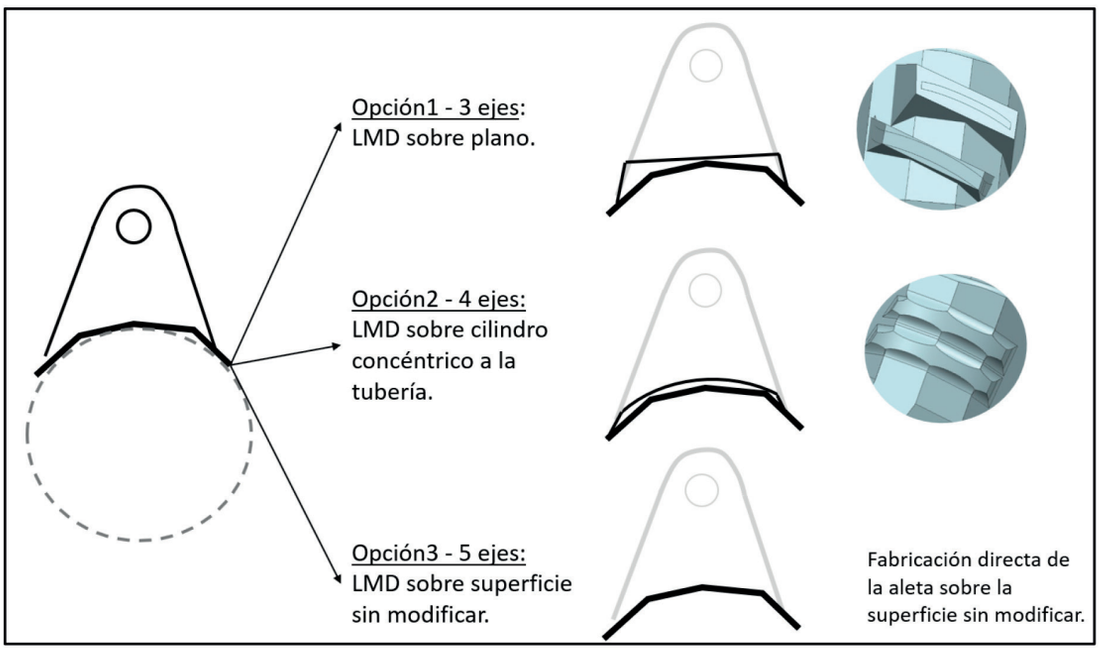


Fig. 4: Opciones de preparación de superficie para su posterior aporte por LMD

más voluminosa, pero se crea un espesor de pieza constante sobre el que luego se va a realizar el aporte.

· Opción 3: Aporte en 5 ejes

En este caso se elimina completamente la aleta y el aporte se realiza en 5 ejes sobre la superficie cilíndrica con caras planas. La orejeta resultante tendrá prácticamente la forma final sin excesivo material sobrante a mecanizar.

Para la fabricación del componente, por simplicidad de programación posterior de las trayectorias LMD, se ha elegido la Opción 1 de aporte en 3 ejes sobre cara plana, a la que se le añade un sobre espesor al material para intentar minimizar problemas de calentamiento de la superficie por la zona central.

3.2. FABRICACIÓN POR SLM

Para la fabricación de la parte de la geometría del componente por la tecnología de cama de polvo fundido, SLM, se ha utilizado la máquina *Renishaw AM400*, ubicada en las instalaciones del CFAA. El material utilizado es polvo de Inconel® 718 con granulometría para procesos SLM y los parámetros utilizados son, entre otros: una potencia de 200 W, un tiempo de exposición por punto de 70 µs, una distancia entre puntos de 80 µm, una distancia entre líneas de barrido de 90 µm y una altura entre capas de 60 µm. La estrategia utilizada en el barrido de la pieza son bandas de 5 mm de anchura.

3.3. FABRICACIÓN POR LMD

En lo que respecta a las bridas en forma de aleta fabricada por aporte directo de polvo, LMD, se ha realizado en la máquina de 5 ejes *Kondia AKTINOS 500* ubicada en las instalaciones del departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU de Bilbao. El material utilizado es polvo de Inconel® 718 con granulometría mayor, específica para procesos LMD, y los parámetros de fabricación se ajustan en posteriores apartados ya que es un proceso con dependencia de múltiples factores. Entre estos factores se encuentran el estado superficial y el espesor de pieza sobre el que se realiza el aporte.

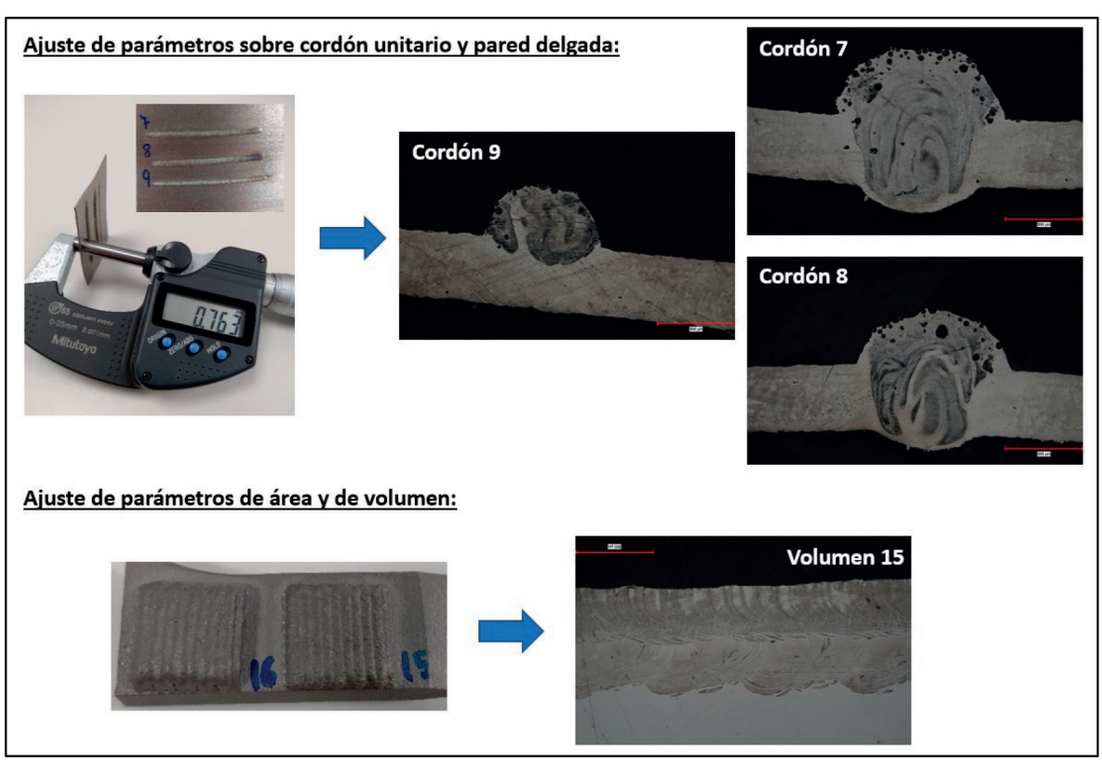


Fig. 5: Ajuste de parámetros LMD sobre sustrato fabricado por SLM

3.3.1. Ajuste de parámetros de proceso

En el caso de aporte de material por LMD sobre una pieza fabricada por SLM se considera que la única variable de pieza que puede requerir de un ajuste de parámetros de proceso es el espesor de la zona aportada. Por el contrario, no se considera el posible cambio en el estado superficial de la pieza ya que se homogeniza previamente mediante el chorreado del componente y no se realiza ningún otro mecanizado previo al apor-

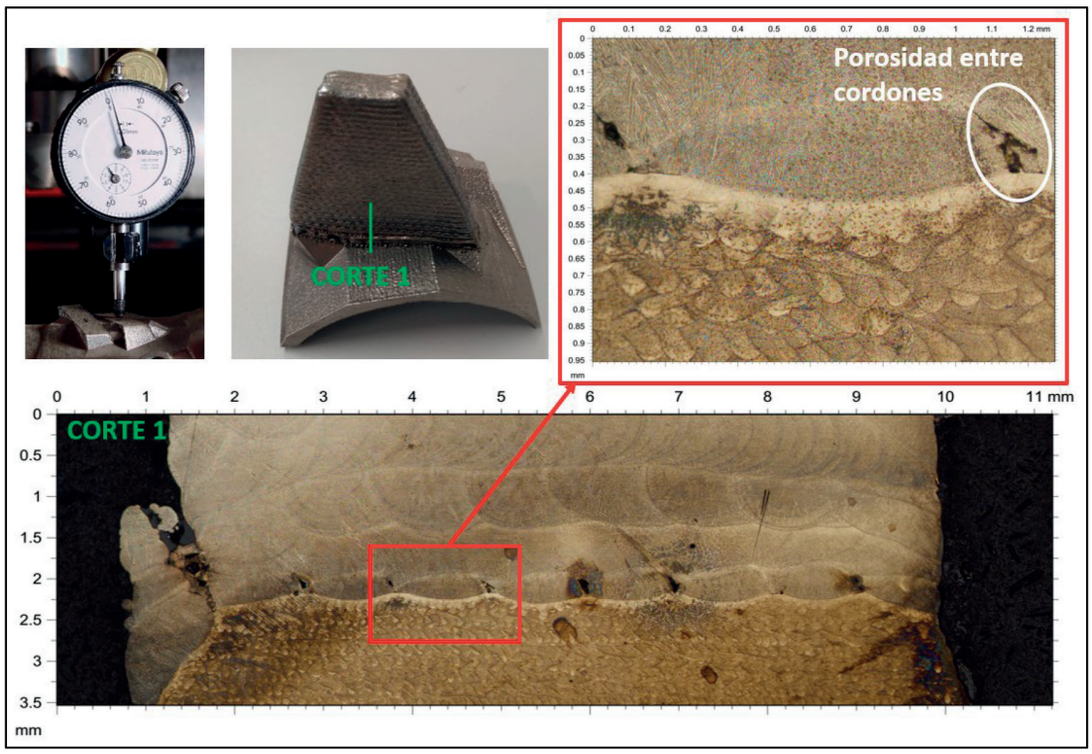


Fig. 6: Posicionamiento en máquina, resultado de la fabricación y metalografía de la brida de prueba

te por LMD, únicamente un chorreado para eliminar las partículas de polvo adheridas a la superficie tras el proceso SLM.

Para ello se decide realizar un ajuste inicial de parámetros sobre paredes con el mínimo espesor que se podría dar en el componente real y de esta forma ver las limitaciones en espesores de pared de este proceso combinado. En la Figura 5 se observa que es posible aportar cordones sobre sustratos fabricados por SLM de espesor menor de 0.8 mm, Cordón 9. La elección de este espesor de pared es debido a que es la pared mínima que se encuentra en el tubo en la opción 3 de aporte en 5 ejes del apartado 3.1. En paredes delgadas se ha observado que la ventana de parámetros válidos es muy estrecha, produciéndose una soldadura pasante con un pequeño aumento de la densidad de energía suministrada, Cordón 7 y Cordón 8. Pero, por el contrario, con un buen ajuste, la relación entre altura de cordón aportado y espesor de sustrato puede llegar a ser prácticamente uno.

Además, en la Figura 5 se muestra el resultado del ajuste de parámetros en paredes de 1.5 mm de espesor y aportes volumétricos, ya que1.5 es el espesor mínimo de la opción 1 de aporte en 3 ejes del apartado 3.1. Esta opción se considera de aporte más masivo, por ello se ha incrementado el espesor de las pruebas en los aportes volumétricos. Por otro lado, en el corte metalográfico no se observan discontinuidades ni porosidad en la zona de transición entre el sustrato fabricado por SLM y la zona aportada por DLMD.

3.3.2. Fabricación de una brida en forma de aleta

Tras el análisis de la pieza se propone el aporte de una geometría aproximada a la forma final con forma de orejeta rectangular, sin el redondeo de la parte superior que se creará durante el mecanizado. Para la preparación de la superficie se ha elegido la Opción 1, una preparación de superficie plana para un aporte LMD más sencillo, en 3 ejes, pero que crea una orejeta más ancha ya que no sigue la forma de la aleta, que posteriormente habrá que mecanizar a su forma final. Tras esto, se ha fabricado por SLM la zoma de tubo donde se va a realizar la aleta por LMD, se chorrea la pieza para uniformizar la superficie y eliminar el polvo adherido sobre esta, y la superficie plana se posiciona en la máquina mediante el ajuste con un reloj comparador como se observa en la Figura 6.

Los parámetros utilizados durante la fabricación de la orejeta como resultado del ajuste son un diámetro de láser de 1 mm, una potencia de 450 W, una velocidad de avance de 525 mm/min, un aporte de polvo de 7.5 g/min, un solapamiento entre cordones del 20% y una altura de capa estimada de 0.5 mm.

En la Figura 6 se observa el resultado de la orejeta junto con imágenes de un corte metalográfico transversal. En general, la zona fabricada por SLM y la zona fabricada por LMD están libres de impurezas, poros y discontinuidades ajenas al proceso, pero en la zona de transición se observan faltas de material (faltas de fusión) debidas a un incorrecto ajuste de parámetros. Esto se debe a que el ajuste se realizó con sustratos más finos y con la elección de la Opción 1 en la preparación de la superficie se ha incrementado considerablemente el espesor del sustrato. Esta porosidad se ha anulado con un aumento del solapamiento al 30% como se muestra en la Figura 7.

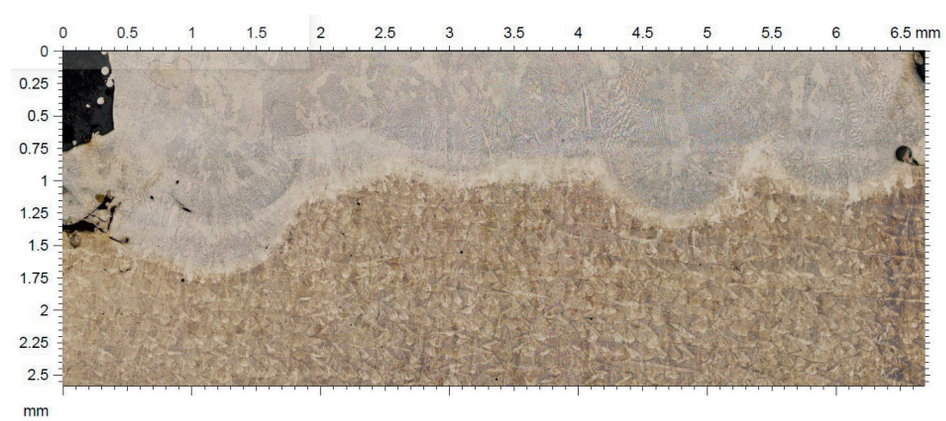


Fig. 7: Metalografía de la brida de prueba. Con un aumento del 30% en el solapamiento de las trayectorias de LMD

3.4. FABRICACIÓN DEL COMPONENTE COMPLETO

Tras la fabricación y análisis de la aleta se ha fabricado el componente completo aumentando el solape en los cordones de las primeras

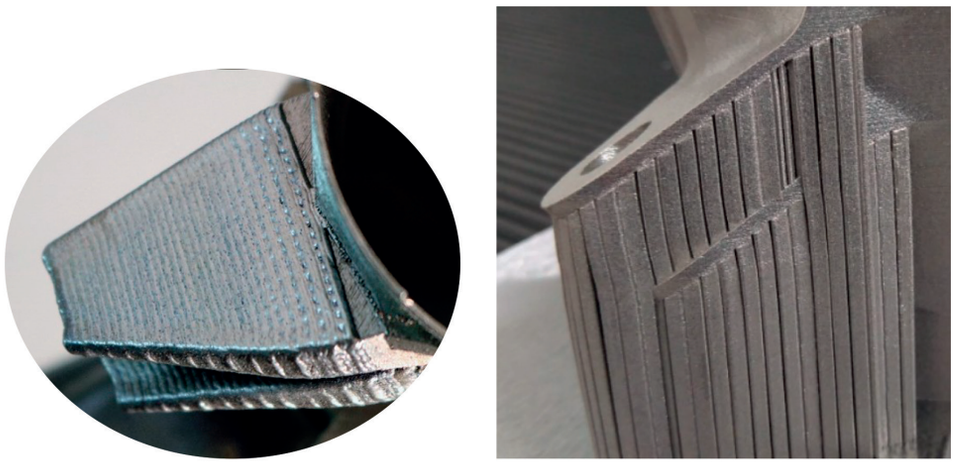


Fig. 8: Izq. Detalle del componente fabricado por procesos combinados, SLM + LMD; Dcha. Detalle del componente fabricado por SLM

capas fabricadas por LMD. Así, se ha anulado la porosidad de la zona de transición observada en la aleta de prueba.

En la Figura 8, se muestra la parte de la brida en forma de aleta en el componente final. En la imagen de la izquierda se observa el resultado de la combinación de procesos aditivos, SLM + LMD, y en la imagen de la derecha el resultado de la fabricación únicamente utilizando cama de polvo metálico con los soportes necesarios para poder fabricar las bridas en forma de aletas.

En lo que respecta a un estudio de la viabilidad del proceso con respecto a los tiempos de fabricación se ha estimado un total de 1850 min en la fabricación de una unidad por SLM y un total de 960 min en la fabricación de una unidad por la combinación de procesos aditivos, SLM+LMD. Esta reducción en tiempos de casi el 50% es debida a que, a causa de las dimensiones de las aletas, fabricándolo íntegramente por cama de polvo únicamente es posible fabricar una pieza por plataforma mientras que sin las bridas en forma de aleta es posible fabricar 3 piezas simultaneas. Para finalizar el componente es necesario el mecanizado de las aletas, que, al ser zonas de conexión con otros elementos del conjunto, habría que realizarlo en los dos casos, en el caso de fabricación única por SLM o en el caso de fabricación combinada por SLM + LMD. Pero en el caso de procesos aditivos combinados, el volumen de material a eliminar aumenta considerablemente y, consecuentemente, el tiempo de mecanizado.

4. CONCLUSIONES

En este apartado se resumen las conclusiones del trabajo realizado en la combinación de procesos de fabricación aditiva metálica por láser *Selective Laser Melting* (SLM) y *Laser Metal Deposition* (LMD):

- Se ha realizado una valoración de las ventajas e inconvenientes del proceso de SLM frente al proceso de LMD, obteniendo como principal conclusión que, a pesar de la creencia popular, la principal desventaja del proceso de SLM frente al proceso de LMD es la baja libertad de forma.
- Se ha observado que las piezas más interesantes para la fabricación combinada de SLM +LMD son piezas con zonas de amarre a un conjunto (zonas que hay que mecanizar para que entren en tolerancias) y que están perpendiculares a la dirección Z de crecimiento de la pieza.
- En lo que respecta a la adaptación de la geometría CAD a fabricar por SLM para el aporte por LMD, se ha determinado que la opción de 3 ejes es la más sencilla para las trayectorias de LMD, pero, a su vez, es en la que la variación de espesor del sustrato fabricado por SLM es mayor y es la que más mecanizado posterior necesita. La opción de 4 ejes es la única que tiene un espesor de sustrato constante, mientras que la opción de 5 ejes es la que más se acerca a la forma final de la aleta y tiene menor espesor de sustrato, aunque no es constante.
- No ha sido necesario el mecanizado del sustrato fabricado por SLM para posteriormente aportar material por LMD, con un chorreado de la superficie para eliminar el polvo adherido ha sido suficiente.
- Se ha observado que el ajuste de los parámetros del proceso de LMD es muy dependiente del espesor de pared del sustrato sobre el que se aporta, pudiendo crear poros entre trayectorias si el sustrato es mayor que el utilizado para el ajuste de parámetros o zonas quemadas si el sustrato es menor que el utilizado durante el ajuste de parámetros.
- En la pieza estudiada el ahorro de tiempo en la fabricación por SLM ha sido de casi el 50% ya que sin aletas es posible fabricar tres piezas en la misma plataforma en vez de una.

REFERENCIAS

[1] Brandt M. Laser Additive Manufacturing: Materials, Design, Technologies, and Applications. 1 edition,
United States, Woodhead Publishing-Elsevier. 2017, 498 P.ISBN 978-0-08-100433-3. DOI https://doi.org/10.1016/C2014-0-03891-9
[2] Lewandowski JJ, Seifi M. "Metal additive manufacturing: a review of mechanical properties". Annual Review of Materials Research. July 2016. Vol.46. p. 151-186. DOI : https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070115-032024
[3] Liu Q, Wang Y, Zheng H, et al. "Microstructure and mechanical properties of LMD–SLM hybrid forming Ti6Al4V alloy", Materials Science and Engineering. April 2016. Vol 660. P. 24-33. DOI: https://doi.org/10.1016/j.msea.2016.02.069
[4] Singh S, Ramakrishna S, Singh R. "Material issues in additive manufacturing: A review". Journal of manufacturing processes. January 2017.Vol. 25. p.185-200. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.006
[5] Shamsaei N, Yadollahi A, Bianc L, et al. "An overview of Direct Laser Deposition for additive manufacturing; Part II: Mechanical behavior, process parameter optimization and control". Additive Manufacturing. October 2015. Vol. 8. p.12-35 DOI: https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.07.002
[6] Yang T, Liu T, Liao W, et al. "The influence of process parameters on vertical surface roughness of the AlSi10Mg parts fabricated by selective laser melting". Journal of Materials Processing Technology. April 2019. Vol. 266. p. 26-36. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.10.015
[7] Frazier WE, "Metal Additive Manufacturing: A Review". Journal of Materials Engineering and Performance. June 2014. Vol 23. p. 1917-1928. DOI: https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z
[8] Leyens C, Brückner F, Lopez E. "Successes and Challenges of SLM and LMD for Industrial Production". Laser Additive Manufacturing Workshop, Schaumburg (IL). March 2017. AMCD Aditive manufacturing Center dresen.
[9] Komi E, Kokkonen P, Savolainen M. "Design for Metal AM ". June 2017. VTT technical research centre of Finland LTD.
[10] Ahn DG, "Direct Metal Additive manufacturing Processes and their sustainable applications for Green technology: A Review". International journal of precision engineering and manufacturing-green technology. October 2016. Vol 3. p.381-395. DOI: https://doi.org/10.1007/s40684-016-0048-9

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado dentro del proyecto ELKARTEK 2018 ADDISEND, con referencia KK-2018/00115 y del proyecto TRANSFRON 3D enmarcado en la primera convocatoria Interreg POCTEFA 2014-2020.