

OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL, MANUFACTURA ADITIVA Y SU CONVERGENCIA EN EL DISEÑO EN INGENIERÍA: EJEMPLOS DE APLICACIÓN (PARTE 1)

M. en I. Jesús Mares Carreño
jmaresc@ipn.mx
Dra. Griselda Stephany Abarca Jiménez
gabarcaj@ipn.mx
Alan Eduardo Escobar Miranda
Liliana Alejandra Roa Cabrera
Isaac Barcelata Leal
José Carlos Oropeza Oropeza

Instituto Politécnico Nacional
Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería
Campus Hidalgo (IPN-UPIIH)

Boletín No. 87
1o. de noviembre de 2021

Resumen

En el siguiente trabajo, se presentan algunas aplicaciones en las que convergen los métodos de optimización estructural y manufactura aditiva, a fin de producir elementos mecánicos óptimos para las condiciones de operación específicas de cada producto. En esta primera parte se muestra la versatilidad que en conjunto alcanzan los métodos de optimización estructural y manufactura aditiva en distintas áreas de la ingeniería, como la automotriz, aeroespacial y naval.

1) Introducción

El desarrollo de la manufactura aditiva ha hecho posible la fabricación de piezas con formas geométricas en extremo complicadas, que no se lograrían fácilmente en un proceso de maquinado convencional o incluso con control numérico.

Por otro lado la optimización topológica, es un proceso en el que se hace uso de variables mecánicas que permitirán realizar un nuevo diseño de una pieza y que este se ajuste a ciertos parámetros o características físicas preestablecidas. La intención del proceso de optimización es la remoción de material de las zonas que no resultan exigidas mecánicamente, dadas las condiciones de carga, esto con el fin de reducir los tiempos de manufactura, la cantidad de material usado, el peso de la pieza y, finalmente, los costos de la manufactura en general.

En toda industria es deseable este tipo de optimización, el gran problema, es que las geometrías resultantes de los procesos de optimización topológicos resultan ser complejos y requerirían costos muy altos de maquinado, lo que sería contra productivo. Es precisamente en este punto donde la

optimización topológica y la manufactura aditiva convergen y se complementan para la obtención de diseños optimizados según las condiciones de operación de las piezas.

2) Aplicaciones en ingeniería

En este apartado se presentan algunos componentes optimizados estructuralmente y diseñados para ser fabricados por manufactura aditiva, los ejemplos se clasifican por área de aplicación, siendo las áreas cubiertas, las siguientes:

- Aplicación Automotriz
- Aplicación Aeroespacial
- Aplicación Naval

2.1) Aplicación automotriz

En [1], se presenta el diseño de una pieza ubicada en la suspensión de un automóvil, la cual es trabajada mediante un proceso de optimización topológico (ver Figura 1).



Figura 1. Pieza topológicamente optimizada por manufactura aditiva. [1]

Para fabricar la pieza se recurre a un proceso de manufactura aditiva, utilizando una fusión por haz de electrones de Ti-6Al-4V ELI. Este trabajo se enfoca en el Diseño para Manufactura Aditiva (DfAM, por sus siglas en inglés). Se utilizan los métodos de optimización topológica de forma y de tamaño para el diseño de la geometría [1].

Los autores muestran las ventajas de la manufactura aditiva para una aplicación automotriz, utilizando técnicas de optimización topológica con un método modificado basado en el de tipo BESO (Bidirectional Evolutionary Structural Optimization [4]), este método modificado es denominado Iso- XFEM (Isoline-Extended Finite Element Method), y permite una optimización de forma enfatizando la suavidad de los límites de la geometría, brindando a la pieza mayor rigidez estructural en menor número de iteraciones.

La técnica se aplica en el diseño de un pedal de freno automotriz ligero, la estructura se modificó para su impresión por manufactura aditiva utilizando un paso de post procesamiento manual, en el que se

incluyó un relleno celular parcial basado en celdas unitarias cúbicas centradas en el cuerpo para mejorar el rendimiento bajo cargas arbitrarias (cambios de punto de aplicación de fuerza durante la operación del pedal), resultando en un diseño que solo se podría fabricar con un proceso de manufactura aditiva (ver Figura 2).

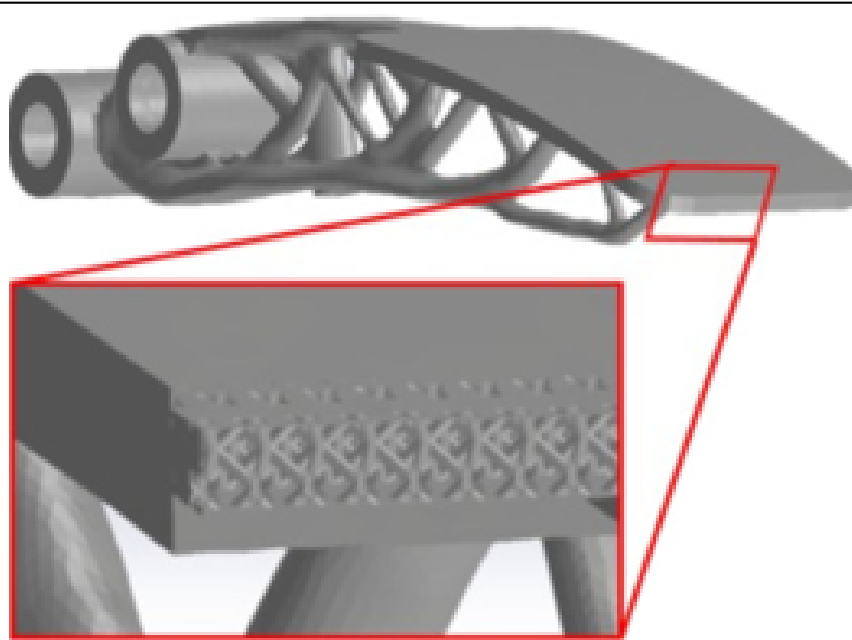


Figura 2. Pedal de freno optimizado por medio de la técnica Iso- XFEM. [1]

2.2) Aplicación aeroespacial

En la industria aeroespacial, la optimización estructural en conjunto con manufactura aditiva, han demostrado su efectividad para el diseño de estructuras de alto rendimiento. A continuación, se muestra un ejemplo en el que estas dos técnicas se emplean para la elaboración de un soporte de carga pesada.

En [2], se presenta el diseño de un soporte utilizando optimización topológica termo-elástica y un proceso de manufactura aditiva para su realización, el diseño inicial, se muestra en la figura 3.

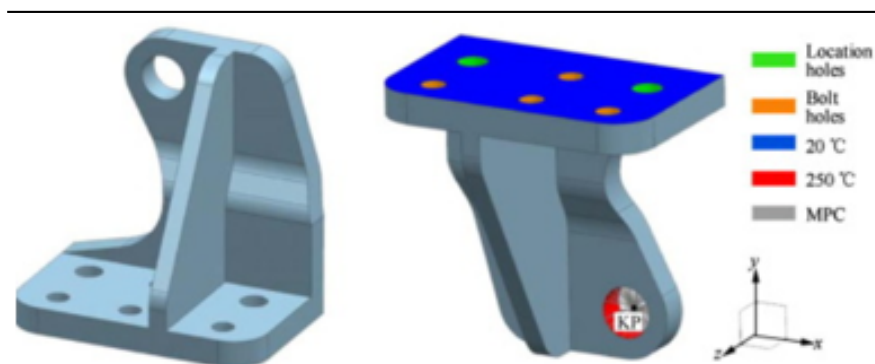


Figura 3. Diseño inicial del soporte. [2]

La pieza se somete a un proceso de optimización topológica de tamaño, utilizando el método de linealización convexa. En la figura 4 se muestran los campos de esfuerzos y deformaciones del diseño inicial, de donde resaltan las zonas de máximo esfuerzo en el extremo derecho, sin embargo, la máxima deformación se da sobre la zona del barreno superior izquierdo.

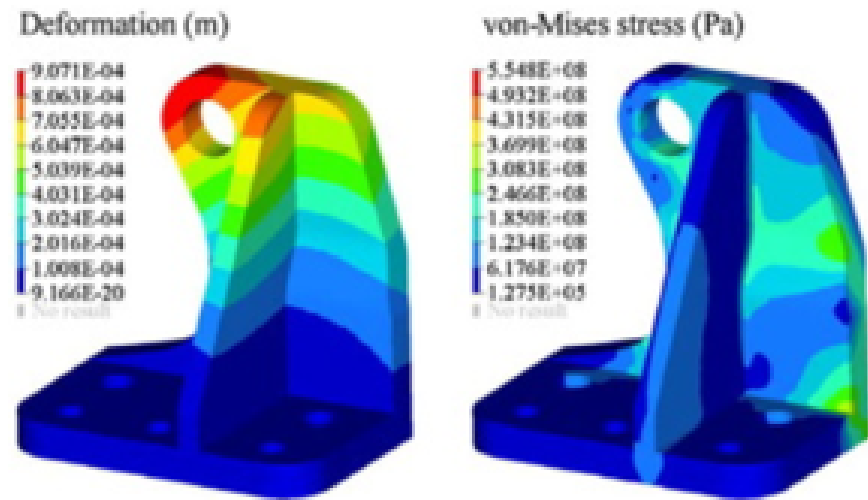


Figura 4. Análisis de cargas de la pieza. [2]

El diseño resultante, después del proceso de optimización se muestra en la figura 5, en donde destaca el aumento de rigidez en la zona de máxima deformación inicial y la disminución de masa en general. Los parámetros iniciales y finales de la pieza se muestran en la Tabla 1.

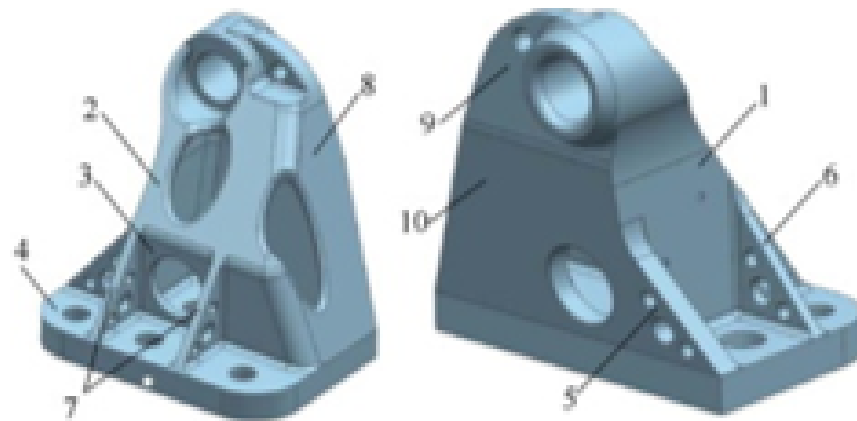


Figura 5. Pieza optimizada. [2]

Tabla. 1

Parámetros iniciales y finales de la pieza.

Diseño	Masa(kg)	$U_{k,z}$ (mm)	Max von Mises stress (MPa)	Factor de pandeo
Diseño original	1.91	0.47	554.8	46.7
Diseño reconstruido	1.62	0.33	619.5	62.0
Diseño final	1.56	0.40	636.4	59.6

Para la manufactura aditiva se utiliza una plataforma BLT-s300 usando polvo de una aleación de aluminio TC4. Siendo el resultado final el mostrado en la figura 6.



Figura 6. Pieza realizada por manufactura aditiva. [2]

2.3) Aplicación naval

La industria naval es un área que requiere del estudio de optimización estructural para el diseño de componentes que puedan ser ligeros pero que, al mismo tiempo, ofrezcan buenas prestaciones mecánicas. La elaboración de estos diseños por medio de la manufactura aditiva permite alcanzar esas características, a continuación, se muestra el ejemplo del diseño de un timón de un vehículo marítimo de alta velocidad.

En [3], se utiliza la optimización topológica y manufactura aditiva para la realización de un timón para vehículos de alta velocidad marítimos. Se utiliza la técnica de topológica termo-elástica para su optimización y la técnica de manufactura aditiva utilizada es la de Fusión Selectiva por Láser (Selective Laser Melting o SLM por sus siglas en inglés). La geometría inicial se muestra en la figura 7.

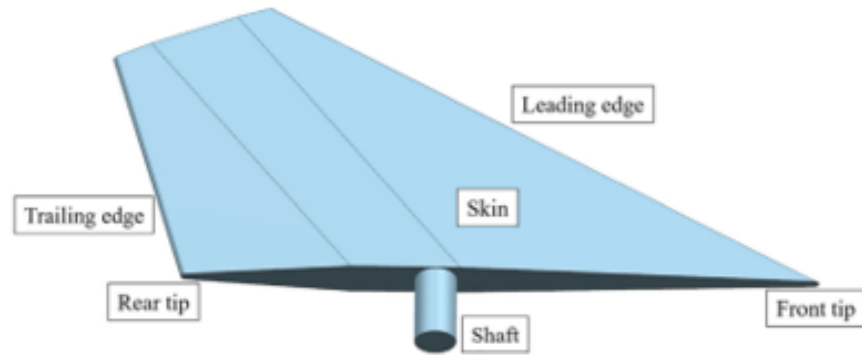


Figura 7. Diseño original. [3]

Según algunos requisitos prácticos de diseño, el eje tiene un espesor de 2 mm, y la piel con un espesor de 1 mm debe permanecer inalterable. Esta pieza está sometida a presiones aerodinámicas y a cargas térmicas durante el servicio, es por eso por lo que se considera al problema de diseño de tipo termo-elástico. Los campos de temperatura y esfuerzos del diseño inicial se muestran en la figura 8.

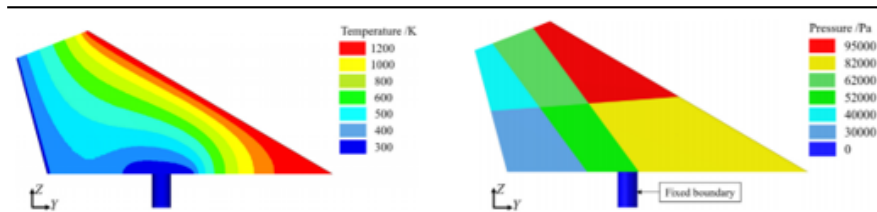


Figura 8. Simulaciones de cargas y campos de temperatura. [3]

El diseño resultante después de la optimización se muestra en la figura 9, los campos de temperaturas y esfuerzos para el diseño optimizado se muestran en las figura 10 y 11.

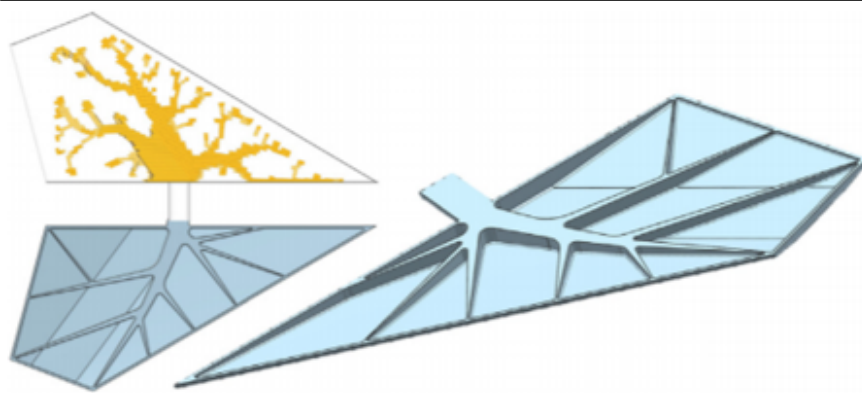


Figura 9. Diseño optimizado. [3]

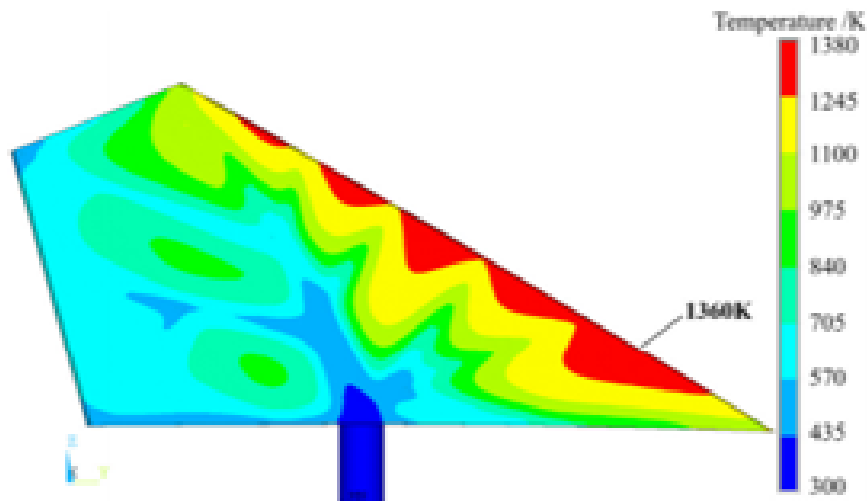


Figura 10. Diseño optimizado. [3]

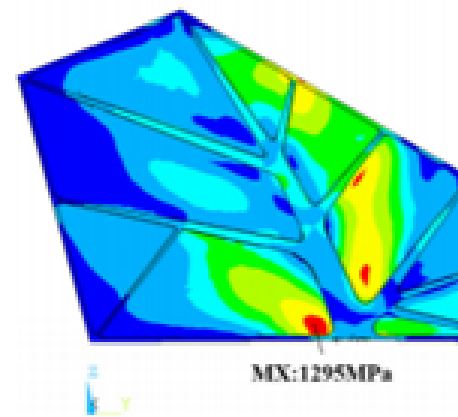


Figura 11. Diseño optimizado. [3]

Se menciona en el artículo la realización de un post procesamiento para preparar el diseño para su proceso de manufactura aditiva. Este post procesamiento, consiste en encontrar la manera adecuada en la que se imprimirá la pieza y se mantendrán las “costillas” sin alteraciones durante el proceso y se diseñan soportes por este motivo. En la figura 12 se muestra la solución y el mejor ángulo calculado para su impresión.

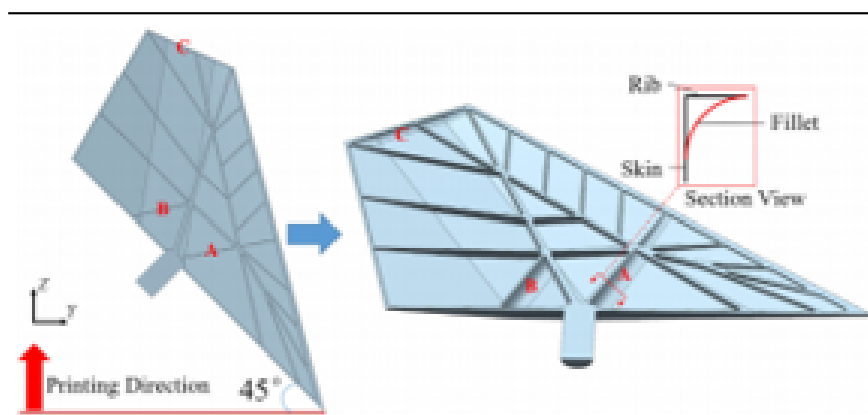


Figura 12. Diseño después del post procesamiento. [3]

Se realiza una segunda optimización topológica de la pieza, pero esta vez considerando los fillos redondeados a los soportes de las “costillas” dentro de la pieza. Los autores mencionan que la optimización topológica ayuda a encontrar unos orificios dentro de la pieza que sirven como zonas de descarga de polvo, que es un elemento necesario para este tipo de manufactura aditiva. Se muestran los resultados de la optimización en las figuras 13 y 14.

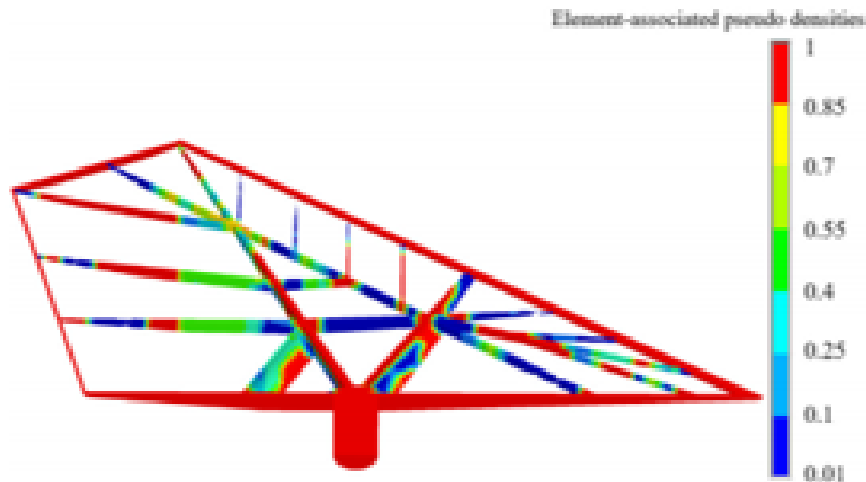


Figura 13. Optimización topológica de las costillas.[3]

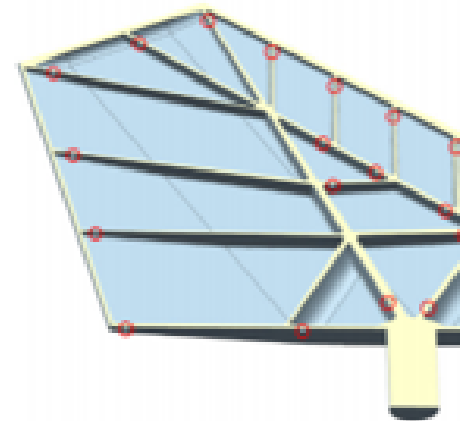


Figura 14. Diseño final con los orificios

Finalmente, en la figura 15 se muestra un diagrama condensado de todo el proceso llevado a cabo, así como una imagen de la pieza manufacturada por impresión SLM.

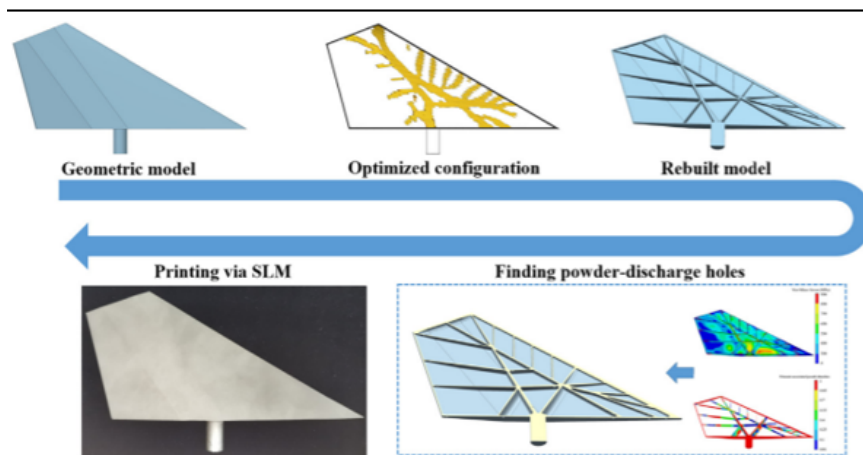


Figura 15. Proceso de diseño y optimización topológica y el post proceso para su impresión. [3]

3) Conclusión

La optimización topológica se basa en análisis mecánico de una pieza o componente y su objetivo es el aligeramiento estructural, sin comprometer las funcionalidades mecánicas del componente. Estos métodos ofrecen conceptos de diseños estructurales para aplicaciones en donde el peso de la pieza es un determinante importante, así como la reducción de costos que conlleva el utilizar menos material.

Las capacidades de la manufactura aditiva han permitido que se apliquen en más áreas de la ingeniería las técnicas de optimización topológica y con la creciente gama de aplicaciones computacionales capaces de realizar los análisis de este tipo, no es sorpresa que se incluyan estas técnicas en aplicaciones en muchas y muy diversas ramas de la ingeniería.

Referencias

Janos P., Ajit P. (2019). *Review on design and structural optimization in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures. Materials & Design*. Volume 183.

Guanghai SHI, Chengqi GUAN, Dongliang QUAN, Dongtao WU, Lei TANG, Tong GAO. (2020). *An aerospace bracket designed by thermo-elastic topology optimization and manufactured by additive manufacturing. Chinese Journal of Aeronautics*, Volume 33, Issue 4, Pages 1252-1259.

Song, L., Gao, T., Tang, L., Du, X., Zhu, J., Lin, Y., Zhang, W. (2021). *An all-movable rudder designed by thermo-elastic topology optimization and manufactured by additive manufacturing. Computers & Structures* 243, 106405.

Yunlong Tang, Aidan Kurtz, Yaoyao Fiona Zhao. (2015). *Bidirectional Evolutionary Structural Optimization (BESO) based design method for lattice structure to be fabricated by additive manufacturing. Computer-Aided Design* Volume 69, Pages 91-101.