Research Club Scientia Vol. 4, No 4
Frecuencia: Octubre–Diciembre 2026
ISSN: 3103 - 1315
DOI: https://doi.org/10.65415/hpzaba33

Fabricación aditiva de metales: nuevas aleaciones y optimización de propiedades

Additive manufacturing of metals: new alloys and optimization of properties

Produzione additiva di metalli: nuove leghe e ottimizzazione delle proprietà

Byron Nicasio Narváez Murillo[I]
bnarvaezm@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-1388-3197
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Norelys Melissa Morán Ramirez[I]
nmoranr5@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-0527-8876
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Naomy Belinda De la vera Gonzales[I]
ndelaveragonzales@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-6848-5639
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Jorge Tomas Holguín Anzules[I]
jholguina7@unemi.edu.ec
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4454-4184
Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

Correspondencia: nmoranr5@unemi.edu.ec

Artículo de Investigación

Aceptado: 27/Noviembre/2026 **Publicado:** 28/Noviembre/2026

I. Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera Ingeniería Industrial, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

.

Resumen

La fabricación aditiva de metales permite construir componentes metálicos de geometrías complejas mediante la incorporación sucesiva de capas a partir de un modelo digital tridimensional. Sin embargo, los ciclos rápidos de calentamiento y enfriamiento del proceso pueden generar porosidad, grietas y variaciones en las propiedades mecánicas según la orientación de fabricación. Esta revisión bibliográfica descriptiva y comparativa tiene como objetivo analizar cómo los parámetros de impresión, el diseño de nuevas composiciones de aleaciones y los tratamientos posteriores optimizan la calidad y el comportamiento mecánico de los metales impresos. Se examinaron diez publicaciones científicas del periodo 2017–2025 —complementadas con una referencia adicional de apoyo conceptual— agrupadas en tres ejes de análisis: defectos internos y formulación de aleaciones, tratamientos térmicos y acabado superficial, y herramientas digitales de monitoreo, control y selección. Los hallazgos muestran que modificar la composición química de los polvos metálicos ayuda a reducir las grietas durante la solidificación, mientras que los tratamientos térmicos posteriores disminuyen las diferencias de resistencia estática asociadas con la dirección de impresión. Asimismo, el pulido y el mecanizado superficial favorecen la resistencia frente a cargas cíclicas de fatiga, y la integración de sensores, sistemas de control e inteligencia artificial apoya la detección de anomalías y la selección de materiales.

Palabras clave: Fabricación aditiva metálica; nuevas aleaciones; propiedades mecánicas; tratamientos térmicos; control de calidad.

Abstract

Additive manufacturing of metals is a technology that enables the production of metal components with complex geometries through the successive addition of layers, based on a three-dimensional digital model. However, the rapid heating and cooling cycles involved in this process can lead to internal imperfections—such as porosity and cracks—as well as variations in mechanical properties depending on the build orientation. In this context, this descriptive and comparative literature review examines the influence of printing parameters, the development of new alloy compositions, and the application of post-processing treatments on optimizing the quality and mechanical performance of metallic materials produced via this technology. To this end, ten scientific publications from the 2017–2025 period—supported by an additional conceptual reference—were analyzed across three axes: internal defects and alloy formulation, heat treatments and surface finishing, and digital tools for monitoring, control, and selection. The reviewed studies demonstrate that modifying the chemical composition of metal powders helps reduce crack formation during solidification, while post-process heat treatments improve microstructural homogeneity and diminish variations in static mechanical properties linked to build orientation.

Furthermore, surface finishing processes—such as polishing and machining—enhance the resistance of components to cyclic fatigue loading, and the integration of sensors, control systems, and artificial intelligence tools supports anomaly detection and material selection.

Keywords: Metal additive manufacturing; new alloys; mechanical properties; heat treatments; quality control.

Riassunto

La produzione additiva di metalli è una tecnologia che consente di realizzare componenti metallici dalle geometrie complesse mediante l'aggiunta successiva di strati, basandosi su un modello digitale tridimensionale. Tuttavia, i rapidi cicli di riscaldamento e raffreddamento tipici di questo processo possono determinare l'insorgere di imperfezioni interne — come porosità e cricche — nonché variazioni nelle proprietà meccaniche in funzione dell'orientamento di costruzione. In tale contesto, la presente rassegna descrittiva e comparativa della letteratura esamina come i parametri di stampa, lo sviluppo di nuove composizioni di leghe e i trattamenti post-processo possano ottimizzare la qualità e le prestazioni meccaniche dei materiali metallici ottenuti tramite questa tecnologia. A tal fine, sono state analizzate dieci pubblicazioni scientifiche del periodo 2017–2025 — integrate da un ulteriore riferimento di supporto concettuale — suddivise in tre assi: difetti interni e formulazione delle leghe, trattamenti termici e finitura superficiale, e strumenti digitali per il monitoraggio, il controllo e la selezione. Gli studi esaminati dimostrano che la modifica della composizione chimica delle polveri metalliche contribuisce a ridurre la formazione di cricche durante la solidificazione, mentre i trattamenti termici post-processo migliorano l'omogeneità microstrutturale e attenuano le variazioni delle proprietà meccaniche statiche legate all'orientamento di costruzione. Inoltre, i processi di finitura superficiale — quali la lucidatura e le lavorazioni meccaniche — incrementano la resistenza dei componenti ai carichi ciclici di fatica, e l'integrazione di sensori, sistemi di controllo e strumenti di intelligenza artificiale supporta il rilevamento delle anomalie e la scelta dei materiali.

Parole chiave: Produzione additiva di metalli; nuove leghe; proprietà meccaniche; trattamenti termici; controllo qualità.

1. Introducción

La fabricación aditiva de metales, denominada también impresión 3D metálica, consiste en una técnica de producción mediante la cual se obtienen componentes sólidos a través de la deposición y fusión progresiva de material en capas, siguiendo las especificaciones de un modelo digital (Aboulkhair et al., 2019). En comparación con procedimientos convencionales de fabricación, como el mecanizado y la fundición, esta tecnología permite aprovechar mejor la materia prima,

disminuir la generación de residuos y desarrollar componentes de menor peso con geometrías internas de mayor complejidad (Opy, 2024).

Uno de los principales desafíos de este procedimiento está relacionado con las variaciones térmicas que se producen durante la construcción de las piezas. Al fundirse el polvo metálico mediante un láser o un haz de electrones, se generan velocidades de enfriamiento elevadas que modifican la estructura interna del material. Como consecuencia, los granos pueden adquirir una morfología alargada y orientada verticalmente, ocasionando diferencias en la resistencia mecánica según la dirección de fabricación (Ortiz Azagra, 2018). Asimismo, una configuración inadecuada de la energía utilizada durante la impresión puede favorecer la aparición de poros y microgrietas, defectos que comprometen la integridad de los componentes cuando se encuentran sometidos a esfuerzos repetitivos de fatiga (Yaren et al., 2025).

El propósito general de esta investigación consiste en estudiar la influencia del desarrollo de nuevas aleaciones, la regulación de los parámetros de impresión y la aplicación de tratamientos posteriores sobre el mejoramiento de las propiedades mecánicas de los materiales metálicos obtenidos mediante fabricación aditiva. Para alcanzar este propósito, se plantea reconocer los defectos internos que se presentan con mayor frecuencia, examinar la contribución de los tratamientos térmicos y superficiales al comportamiento resistente de los materiales, e identificar la importancia de las herramientas digitales en la optimización de estos procedimientos.

Las investigaciones científicas recientes muestran una evolución en el desarrollo de esta tecnología, debido a que las aleaciones convencionales, originalmente formuladas para procesos de fundición, no siempre presentan las características necesarias para conseguir resultados óptimos mediante impresión 3D. Por esta razón, se ha incrementado el interés por diseñar composiciones metálicas adaptadas a las condiciones particulares de la fabricación aditiva (Sheikh et al., 2023). En sus primeras etapas, los estudios se concentraban principalmente en la regulación de la potencia de los equipos y otros parámetros de procesamiento aplicados a aleaciones conocidas de titanio y aluminio (Qian & Bourell, 2017). Sin embargo, las investigaciones más actuales también consideran la modificación de la composición química de los materiales y la incorporación de sistemas inteligentes capaces de supervisar las condiciones de fabricación y detectar posibles irregularidades durante el proceso (Adapa et al. 2025).

La estructura del presente artículo comprende cinco apartados principales. Inicialmente, se describe el procedimiento metodológico empleado para localizar, seleccionar y analizar los diez artículos científicos considerados en la revisión. Posteriormente, se presentan los resultados más relevantes mediante tablas de síntesis. A continuación, se desarrolla una discusión de los hallazgos obtenidos, considerando también las principales limitaciones identificadas. Finalmente, se

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1784-1793 , ISSN: 3103 – 1315

establecen las conclusiones de la investigación y se incluyen las referencias bibliográficas correspondientes.

2. Metodología

La investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica de carácter descriptivo y comparativo, enfocada en el campo de la Ciencia de los Materiales. El enfoque metodológico estuvo orientado a reunir, examinar y comparar información científica actualizada con el fin de dar respuesta a la siguiente interrogante: *¿De qué manera los procesos de fabricación aditiva, el desarrollo de nuevas aleaciones y la aplicación de tratamientos posteriores afectan las propiedades mecánicas de los componentes metálicos?*

Con el propósito de mantener un proceso de investigación organizado y fundamentado académicamente, la selección de las fuentes se estructuró en tres fases consecutivas: búsqueda de información en plataformas científicas, selección de documentos mediante criterios de calidad y evaluación comparativa de los estudios recopilados. Durante la primera fase, se consultaron bases de datos y plataformas académicas especializadas, entre ellas *ScienceDirect*, *Annual Reviews*, *SpringerLink*, *SAGE Journals*, *SciELO* y otros repositorios científicos internacionales. Para localizar información pertinente, se utilizaron términos de búsqueda en español e inglés relacionados con la impresión 3D de metales, la formulación de aleaciones, los tratamientos térmicos y las propiedades de resistencia mecánica.

Posteriormente, en la segunda fase, se establecieron condiciones de inclusión y exclusión que permitieron depurar los documentos encontrados. Se consideraron publicaciones comprendidas entre 2017 y 2025 que abordaran tecnologías de fusión o deposición de metales y proporcionaran evidencia verificable sobre la relación entre la microestructura, los parámetros de proceso o el desempeño mecánico, excluyendo trabajos enfocados únicamente en polímeros, cerámicos o aplicaciones comerciales sin respaldo técnico. Bajo estos criterios se incluyeron diez estudios principales: siete artículos de revista científica (Aboulkhair et al., 2019; Adapa et al., 2025; Burgos et al., 2018; Opy, 2024; Qian & Bourell, 2017; Yaren et al., 2025), un Trabajo de Fin de Grado con caracterización experimental en Ti-6Al-4V por haz de electrones (Ortiz Azagra, 2018), unas actas de congreso internacional sobre selección multicriterio de tecnologías metálicas (Uralde Jiménez et al., 2023) y dos *preprints* especializados en aleaciones de alta entropía y fatiga de metales impresos (Sheikh et al., 2023; Yi et al., 2023). La incorporación del trabajo de grado, las actas y los *preprints* respondió a la necesidad de cubrir temáticas emergentes y estudios experimentales específicos con rigor técnico comprobado. Adicionalmente, se empleó como referencia de contexto un estudio de congreso sobre grafos de conocimiento e inteligencia artificial para complementar el análisis de herramientas digitales (Khan et al., 2025), lo que explica el total de once fuentes listadas en las referencias.

Finalmente, en la tercera fase, los documentos seleccionados se organizaron según tres ejes de análisis para facilitar su comprensión y comparación: primero, los defectos internos originados durante la fusión y el diseño de nuevas aleaciones; segundo, el efecto de los tratamientos térmicos y superficiales en la mejora de la resistencia estática y cíclica; y tercero, el apoyo de sensores, sistemas de control e inteligencia artificial para optimizar el proceso de fabricación. En la Tabla 1 se sintetizan las estrategias de mejora y los efectos reportados en los estudios revisados para las distintas familias metálicas.

3. Resultados

1. Control de defectos y desarrollo de nuevas aleaciones

La obtención de componentes metálicos de buena calidad mediante impresión 3D está relacionada directamente con la correcta fusión del polvo metálico, ya que es necesario conseguir una unión homogénea entre las capas para evitar la aparición de vacíos y fisuras durante el proceso de enfriamiento (Aboulkhair et al., 2019). Cuando la energía suministrada resulta insuficiente, la unión entre las partículas metálicas no se desarrolla adecuadamente, lo que favorece la formación de poros internos. En cambio, un aporte energético excesivo o una velocidad de procesamiento inadecuada pueden generar inestabilidad en el material fundido, ocasionando la retención de burbujas y la formación de irregularidades en la superficie de las piezas (Sheikh et al., 2023).

En cuanto a las aleaciones de aluminio, aquellas de composición convencional que contienen silicio presentan buenas condiciones de procesamiento debido a su comportamiento durante la fusión. Sin embargo, las aleaciones de alta resistencia utilizadas en aplicaciones aeronáuticas presentan mayores dificultades de fabricación, debido a su susceptibilidad a desarrollar grietas como consecuencia de las elevadas velocidades de enfriamiento (Aboulkhair et al., 2019). Frente a esta problemática, se han propuesto alternativas basadas en la incorporación de partículas modificadoras en el polvo metálico, las cuales favorecen el refinamiento de la estructura granular y promueven la formación de granos más pequeños y equiaxiales, contribuyendo a disminuir la aparición de fisuras durante la solidificación (Aboulkhair et al., 2019).

Por otra parte, los estudios relacionados con las aleaciones de alta entropía, constituidas por la combinación de varios elementos metálicos, han identificado que las propiedades de conducción térmica desempeñan un papel importante durante el proceso de solidificación. En este sentido, determinadas composiciones con una mayor capacidad de transferencia de calor favorecen una solidificación más uniforme y estable, lo que contribuye a reducir la presencia de defectos internos durante la fabricación mediante tecnologías de fusión láser (Sheikh et al., 2023).

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1784-1793 , ISSN: 3103 – 1315

2. Mejora de las propiedades mecánicas mediante el control térmico y el acabado superficial

Las piezas metálicas obtenidas mediante impresión 3D pueden presentar una adecuada resistencia frente a cargas estáticas; sin embargo, su comportamiento puede verse afectado cuando se someten a esfuerzos cíclicos o vibraciones constantes, lo que puede provocar fallas por fatiga(Yi et al., 2023). Por esta razón, se aplican tratamientos térmicos y procesos de acabado superficial que permiten mejorar su desempeño mecánico y aumentar su vida útil. La Tabla 1 resume las principales estrategias reportadas para optimizar estas propiedades.

Tabla 1. Estrategias aplicadas para mejorar las propiedades de las aleaciones metálicas en la impresión 3D.

Acción aplicada	Material y proceso	Efecto reportado en las propiedades
Incorporar partículas modificadoras al polvo	Aleaciones de aluminio (SLM)	Disminuye la formación de grietas durante la solidificación
Controlar el tiempo de enfriamiento entre capas	Aleación de titanio Ti-6Al-4V (SLM)	Equilibra la resistencia mecánica estática y la ductilidad sin tratamientos extra
Aplicar tratamientos térmicos posteriores	Aleación de titanio Ti-6Al-4V (EBM)	Reduce las diferencias direccionales en las propiedades mecánicas estáticas
Ajustar la composición química y condiciones térmicas	Aceros 9Cr con boro (deposición térmica)	Conserva la resistencia mecánica a altas temperaturas de servicio
Realizar pulido y mecanizado superficial	Aluminio, acero y titanio (FA metálica)	Incrementa la resistencia frente a cargas cíclicas de fatiga

Nota. *Elaboración propia a partir de los estudios revisados sobre procesamiento térmico y acabado superficial en fabricación aditiva metálica.*

En la aleación de titanio Ti-6Al-4V fabricada mediante fusión selectiva por láser (SLM), la regulación del intervalo de enfriamiento entre capas permite obtener una microestructura equilibrada que mejora la ductilidad sin comprometer la resistencia estática a la tracción ni requerir tratamientos térmicos posteriores (Qian & Bourell, 2017). Asimismo, cuando la aleación Ti-6Al-4V se produce mediante fusión por haz de electrones (EBM), la aplicación de tratamientos térmicos posteriores reorganiza su estructura granular y logra reducir las diferencias de resistencia

mecánica estática entre las direcciones horizontal y vertical de fabricación, aproximando su desempeño al de productos obtenidos por métodos convencionales (Ortiz Azagra, 2018). De manera semejante, en depósitos metálicos de aceros 9Cr con boro obtenidos por soldadura o deposición térmica, el ajuste de la composición química y del tratamiento térmico permite conservar la resistencia mecánica cuando trabajan a temperaturas elevadas (Burgos et al., 2018).

En relación con el comportamiento a fatiga bajo esfuerzos cíclicos, la evidencia recopilada muestra que las mejoras en resistencia estática no garantizan por sí solas una larga vida útil ante cargas repetitivas. En componentes de aluminio, acero y titanio fabricados aditivamente, las irregularidades superficiales originadas por partículas de polvo parcialmente adheridas generan concentraciones de esfuerzos donde se inician grietas de fatiga (Yi et al., 2023). Ante esta limitación, los procedimientos de acabado superficial —especialmente el pulido y el mecanizado— resultan las intervenciones más efectivas para eliminar defectos externos, incrementar el límite de resistencia a fatiga y prolongar la vida útil en servicio (Yaren et al., 2025).

3. Selección de tecnologías y aplicación de herramientas digitales

Debido a la variedad de equipos y tecnologías disponibles para la fabricación aditiva de metales, resulta necesario analizar previamente las características geométricas del componente, los niveles de precisión requeridos y los costos asociados a las operaciones de acabado superficial. Estos aspectos permiten determinar qué método de impresión se adapta mejor a las necesidades y condiciones de cada aplicación industrial (Uralde Jiménez et al., 2023). Estos criterios permiten determinar qué método de impresión se adapta mejor a las condiciones de cada aplicación industrial (Uralde Jiménez et al., 2023). En este contexto, la Tabla 2 reúne las herramientas digitales empleadas para optimizar la selección de materiales, el monitoreo y el control de calidad del proceso.

Tabla 2. Herramientas digitales utilizadas para optimizar la impresión 3D metálica.

Herramienta	Función Concreta	Ventaja principal
Simulaciones con inteligencia artificial	Predicen el comportamiento térmico y los defectos del baño fundido en aleaciones de alta entropía	Ahorran tiempo y pruebas experimentales frente a cálculos tradicionales
Sensores ópticos y térmicos in-situ junto con control automático	Los sensores detectan anomalías capa por capa y el sistema de control ajusta parámetros del proceso	Permiten identificar y corregir desviaciones durante la fabricación

Research Club Scientia Vol. 4, No 4, Octubre - Diciembre, pp. 1784-1793 , ISSN: 3103 – 1315

Herramienta	Función Concreta	Ventaja principal
Ensayos mecánicos rápidos y aprendizaje automático	Evalúan propiedades mecánicas en muestras pequeñas y optimizan parámetros en superaleaciones	Aceleran el desarrollo de nuevas aleaciones con menor gasto de material
Grafo de conocimiento con inteligencia artificial	Relaciona aleaciones, procesos de impresión y tratamientos posteriores en una base estructurada	Facilita consultas técnicas sobre compatibilidad de materiales y procesos

Nota. *Elaboración propia a partir de los estudios revisados sobre monitoreo, control e inteligencia artificial aplicados a la fabricación aditiva metálica.*

4. Discusión

La revisión comparativa de los estudios analizados demuestra que la calidad y el desempeño de los metales obtenidos mediante fabricación aditiva dependen de la interacción entre la composición de la aleación, el control térmico durante la impresión y los tratamientos posteriores (Aboulkhair et al., 2019). Al emplear aleaciones convencionales de aluminio de alta resistencia en procesos SLM sin considerar las velocidades de enfriamiento acelerado, aumenta el riesgo de agrietamiento durante la solidificación. Por esta razón, resulta necesario formular polvos metálicos con elementos refinadores de grano o mayor conductividad térmica adaptados a esta tecnología (Sheikh et al., 2023).

Asimismo, los resultados evidencian una distinción clara entre el desempeño mecánico estático y la resistencia a fatiga de las piezas impresas. Mientras que los tratamientos térmicos posteriores en aleaciones como Ti-6Al-4V fabricadas por EBM mejoran la homogeneidad interna y reducen las diferencias direccionales frente a cargas estáticas (Ortiz Azagra, 2018), la resistencia frente a esfuerzos cíclicos en aluminio, acero y titanio depende críticamente de la calidad superficial (Yaren et al., 2025). Este aspecto representa una limitación relevante en componentes con conductos internos complejos donde el pulido o el mecanizado convencional no pueden aplicarse con facilidad. Ante este desafío, la integración de sensores *in-situ* para detectar anomalías y sistemas automáticos para corregir parámetros durante la fabricación adquiere un papel central (Opy, 2024).

En cuanto a las tecnologías digitales, la inteligencia artificial constituye una herramienta con potencial para mejorar diferentes etapas de la fabricación aditiva, debido a su aplicación en la formulación de nuevas aleaciones y en la identificación anticipada de posibles alteraciones térmicas durante el procesamiento (Adapa et al., 2025). Sin embargo, su capacidad de predicción

todavía está condicionada por la cantidad y calidad de los datos experimentales disponibles. Por consiguiente, es importante fortalecer las bases de información científica que relacionan la composición química, las características microestructurales y el comportamiento mecánico de los metales. Esto permitiría desarrollar modelos más confiables para estimar la resistencia y la durabilidad de las piezas cuando se encuentran sometidas a condiciones reales de servicio (Yaren et al., 2025).

5. Conclusiones

La fabricación aditiva de metales constituye una alternativa eficaz para producir componentes con geometrías complejas, siempre que se controle adecuadamente la fusión y solidificación de cada capa para evitar poros y grietas. En particular, la incorporación de partículas modificadoras en aleaciones de aluminio de alta resistencia procesadas por fusión selectiva por láser (SLM) y el diseño de aleaciones de alta entropía con adecuada conductividad térmica permiten reducir la aparición de fisuras y mejorar la estabilidad durante la solidificación.

Los tratamientos posteriores desempeñan funciones específicas según el tipo de solicitación mecánica evaluada. En aleaciones de titanio Ti-6Al-4V fabricadas por haz de electrones (EBM), los tratamientos térmicos homogeneizan la microestructura y reducen las diferencias direccionales en las propiedades mecánicas estáticas, mientras que en aceros 9Cr depositados térmicamente el ajuste composicional conserva la resistencia a temperaturas elevadas. Por su parte, en piezas de aluminio, acero y titanio sometidas a esfuerzos cíclicos, las operaciones de acabado superficial mediante pulido y mecanizado resultan determinantes para incrementar la resistencia a la fatiga.

Finalmente, la combinación de sensores ópticos y térmicos *in-situ* para la detección de anomalías, sistemas automáticos de control de proceso, ensayos mecánicos rápidos y modelos basados en inteligencia artificial ofrece una vía sólida para reducir costos experimentales y fortalecer la confiabilidad de las piezas metálicas impresas en aplicaciones industriales exigentes.

Referencias

Aboulkhair, Nesma T., Marco Simonelli, Luke Parry, Ian Ashcroft, Christopher Tuck, y Richard Hague. «3D printing of Aluminium alloys: Additive Manufacturing of Aluminium alloys using selective laser melting». *Progress in Materials Science* 106 (2019): 100578. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2019.100578.

Adapa, Venkata Surya Karthik, Surya R. Kalidindi, y Christopher J. Saldana. «Rapid Development of Metal Additive Manufacturing Using Artificial Intelligence/Machine Learning and High-Throughput Material Testing». *Annual Review of Materials Research* 55 (2025): 175-201. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-080423-121436.

Burgos, Ariel, John Jairo Hoyos, Hernán Svoboda, y Estela Surian. «Evolución microestructural in-situ a alta temperatura de depósitos de soldadura de aceros 9Cr con diferentes contenidos de boro». *Matéria (Rio de Janeiro)* 23, n.º 2 (2018): e12013. https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0350.

Khan, Muhammad Tayyab, Lequn Chen, Wenhe Feng, y Seung Ki Moon. «Large Language Model Powered Decision Support for a Metal Additive Manufacturing Knowledge Graph». *Proceedings of the 11th International Conference of Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology (ASPEN 2025)*, 2025, 1-4. https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.20308.

Opy, Anisul Islam. «Recent Advances in Metal Additive Manufacturing, In Situ Sensing, Intelligent Process Control, and Thermal Management Systems: A Review». *Frontora* 2, n.º 2 (2024): 1-9. https://doi.org/10.70945/f.v02i02.0012.

Ortiz Azagra, David. «Caracterización de una aleación Ti6Al4V obtenida mediante Electron Beam Melting. Tratamientos Térmicos para la mejora de las propiedades mecánicas». Trabajo de Fin de Grado, Universitat Politècnica de València, 2018.

Qian, M., y D. L. Bourell. «Additive Manufacturing of Titanium Alloys». *JOM* 69, n.º 12 (2017): 2669-70. https://doi.org/10.1007/s11837-017-2630-1.

Sheikh, Sofia, Brent Vela, Pejman Honarmandi, et al. «High-throughput Alloy and Process Design for Metal Additive Manufacturing». arXiv, 2023. https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.04149.

Uralde Jiménez, Virginia, Maider Akordagoitia Gurrutxaga, Fernando Veiga Suárez, Alfredo Suárez González, y Tomás Ballesteros Egües. «Development of a method for selecting the optimal technology in additive metal manufacturing using an Analytical Hierarchical Process (AHP)». *27th International Congress on Project Management and Engineering*, 2023.

Yaren, Mehmet F., Edward John, y Luca Susmel. «Effects of manufacturing direction, heat-treatment and surface operations on fatigue life in additively manufactured metals: An analysis based on statistics and artificial intelligence». *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 239, n.º 11 (2025): 4194-214. https://doi.org/10.1177/09544062251319075.

Yi, Min, Wei Tang, Yiqi Zhu, et al. «A holistic review on fatigue properties of additively manufactured metals». arXiv, 2023. https://doi.org/10.48550/arXiv.2311.07046.