

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2026.01.013

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МІКРОСТРУКТУРИ НІКЕЛЕВИХ СУПЕРСПЛАВІВ
ABD900 ТА INCONEL 718, ВИГОТОВЛЕНИХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО
ПЛАВЛЕННЯ В ПОРОШКОВОМУ ШАРІ**

Аджамський С.В.¹, Кононенко Г.А.² [ORCID],

Подольський Р.В.³ [ORCID], Подольська О.А.⁴

¹ТОВ «АЛТ України», ІТСТ НАН України, докт. філ., Україна

²ТОВ «АЛТ України», ІЧМ НАН України, НТУ «Дніпровська Політехніка»

докт. техн. наук., ст. досл., Україна

³ТОВ «АЛТ України», ІЧМ НАН України, ІПСУ НАН України, докт. філ., Україна

⁴ІЧМ НАН України, науковий співробітник, Україна

Анотація. Технологія лазерного плавлення в порошковому шарі (LPBF) є одним із найбільш перспективних методів адитивного виробництва металевих деталей складної геометрії, що дозволяє отримувати вироби з високими механічними та експлуатаційними властивостями. У роботі проведено порівняльне дослідження особливостей формування пористості в жароміцних нікелевих суперсплавах ABD900 та Inconel 718, виготовлених методом LPBF за однакових технологічних параметрів. Дослідні зразки розміром 10×10×10 мм були виготовлені при потужності лазера 195 Вт, швидкості сканування 1100 мм/с, відстані між треками 0,09 мм та товщині шару 40 мкм. Металографічні дослідження виконано на оптичному мікроскопі з подальшою кількісною оцінкою пористості із застосуванням програмного забезпечення ImageJ. Встановлено, що зразки зі сплаву ABD900 характеризуються меншою кількістю пор порівняно зі сплавом Inconel 718. Розміри пор у зразках Inconel 718 знаходяться в діапазоні 2-10 мкм, при максимальних значеннях до 12-14 мкм, тоді як у сплаві ABD900 вони становлять переважно 2-12 мкм без виявлення більших поодиноких дефектів.

Ключові слова: LPBF-технологія; адитивне виробництво; нікелеві суперсплави; ABD900; Inconel 718; пористість.

Лазерне плавлення в порошковому шарі (LPBF) це сучасний метод пошарового нарощування деталей складної геометричної форми, що дозволяє оминати складні операції виготовлення, такі як механічна обробка на верстатах, виплавка деталі по восковим фігурам та ін. Наразі деталі виготовленні за LPBF демонструють високий рівень механічних та

експлуатаційних властивостей, що відкриває можливості до швидкого виготовлення унікальних технологічних рішень представлених в геометрії. Враховуючі дані особливості технології LPBF вони добре зарекомендували себе в умовах виробництва для машинобудування, авіаційно-космічної, медичної та енергетичної галузі.

Розглядаючи тенденції в області LPBF – технологій та матеріали, що наразі використовують для виготовлення деталей, то матеріали, що застосовуються доволі відомі в області традиційних технологій, що комерційно впроваджуються в дану галузь LPBF. Але слід зазначити, що виготовлення деталей з цих доволі відомих сплавів першочергово не мали за мету застосування в області LPBF через що при відпрацюванні технологічних параметрів використовували карти виробництва, що представляють залежність впливу технологічність параметрів на формування дефектів під час друку. Ці технологічні параметри з врахуванням широких можливостей LPBF – технології в більшості випадків мають обмеження особливо це стосується нікелевих багатокомпонентних суперсплавів.

Однак наразі асортимент нікелевих суперсплавів, що є комерційно вигідними для АТ, обмежений кількома ключовими сплавами, такими як Inconel 718, Haynes 282 та ін. Враховуючи вищезазначене, дослідники [1-2] високу увагу приділяють розробці нових сплавів таких, як сплав ABD900. Даний сплав був розроблений новим інноваційним підходом Alloy By Design, що є значним проривом, так як сплав ABD900 було спеціально розроблено для LPBF.

Сплав ABD900 володіє, так званою, властивістю «покращеної друкованості», як згадується в деяких роботах [2]. Це пояснюється високим діапазоном технологічних параметрів, при яких вирощування деталей різного перерізу досягає рівня відносної щільності більше 99,0%. Таким чином в даній роботі буде проведено порівняльний аналіз сплаву ABD900 в порівнянні зі сплавом Inconel 718.

В рамках роботи було виготовлено два дослідних зразка розмірами 10x10 x10 мм з ідентичними технологічними параметрами: потужність - 195 Вт, швидкість сканування - 1100 мм/с, відстань між треками - 0,09 мм, номінальна

товщина шару – 40 мкм, питома щільність енергії – 49,2 Дж/мм³. Дослідні зразки були виготовлені з жароміцного сплаву ABD900 та Inconel 718, з діапазоном розмірів частинок 25±15 мкм. Металографічні дослідження були виконанні на попередньо механічно підготовлених зразках. Дослідження виконувалось на оптичному світловому мікроскопі Axiovert 200 M MAT в світлопольному режимі освітлення. Пористість в зразках вимірювались з застосуванням програмного забезпечення ImageJ з використанням вбудованої функції «Аналіз частинок». Під час досліджень елементи розміром менше 2 мкм відфільтровувались для запобігання впливу потенційних дефектів, що сформувались в процесі підготовки зразків, на результат оцінки пористості.

Металографічний аналіз показав, що за однакових технологічних параметрів виготовлення кількість виявлених пор у зразках зі сплаву Inconel 718 є більшою порівняно зі зразками, виготовленими зі сплаву ABD900. Проведений аналіз (рис. 1) показав, що у зразках зі сплаву Inconel 718 спостерігаються пори розміром у діапазоні 2-10 мкм, тоді як максимальний розмір поодиноких пор становить 12-14 мкм.

Водночас у дослідних зразках зі сплаву ABD900 виявлено загалом меншу кількість пор. Їх розміри переважно знаходяться в діапазоні 2-12 мкм, при цьому поодиноких пор більшого розміру, ніж у зразках зі сплаву Inconel 718, не зафіксовано.

Загалом проведений порівняльний аналіз показав, що отримані результати узгоджуються з повідомленнями інших авторів щодо підвищеної технологічної придатності сплаву ABD900 [2-3]. Варто зазначити, що у більшості робіт цей термін пов'язується передусім зі схильністю матеріалу до тріщиноутворення. Проте отримані результати свідчать про те, що поняття технологічної придатності, ймовірно, також може бути пов'язане з особливостями пороутворення під час адитивного виготовлення.

Порівняльне дослідження відносної щільності дослідних зразків, виготовлених з різних матеріалів із застосуванням раціональних технологічних параметрів, показало, що їх відносна щільність досягає рівня близько 99,8%.

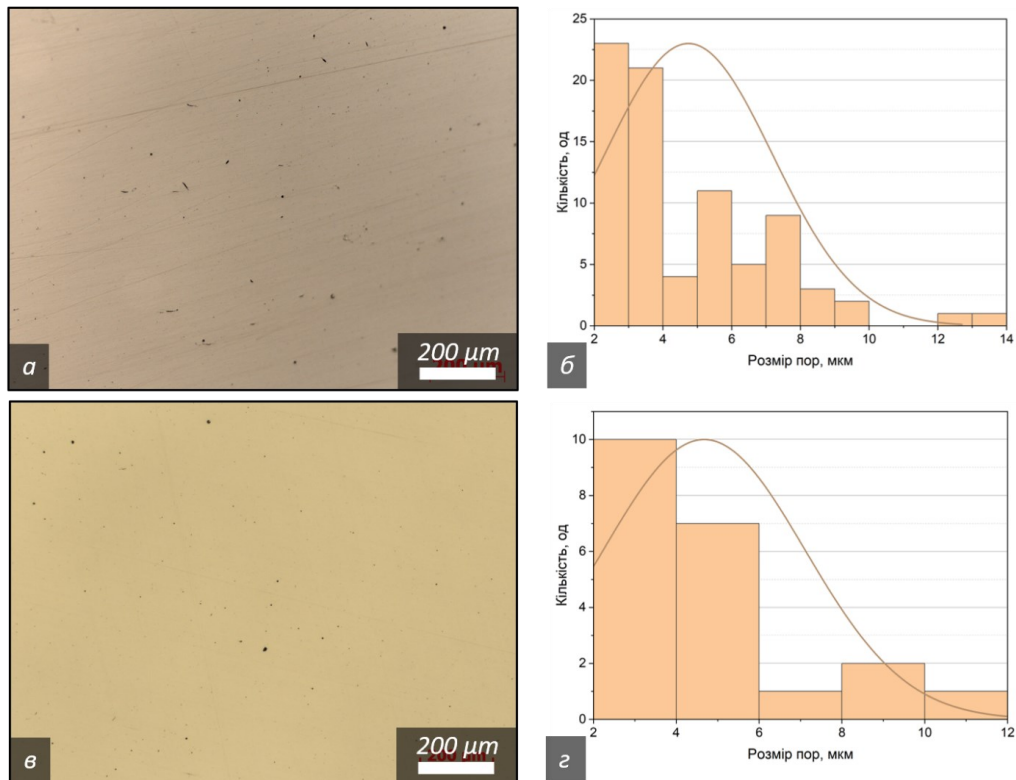


Рисунок 1 – Аналіз в полірованому стані дослідного зразка виготовленого з Inconel 718 (а) та ABD900 (в), кількісна оцінка Inconel 718 (б) та ABD900 (г)

Таким чином, отримані результати можуть слугувати основою для подальшого дослідження закономірностей формування дефектної структури та вдосконалення режимів LPBF-технології жароміцних нікелевих суперсплавів.

Висновки

1. Встановлено, що за однакових технологічних параметрів LPBF-технології дослідні зразки зі сплаву ABD900 характеризуються меншою кількістю пор порівняно зі зразками зі сплаву Inconel 718, при цьому розміри виявлених пор знаходяться переважно в діапазоні 2-12 мкм.

2. Показано, що при застосуванні раціональних технологічних параметрів LPBF-технології для обох досліджених сплавів забезпечується формування високощільної структури з відносною щільністю близько 99,8%, що підтверджує перспективність використання сплаву ABD900 для адитивного виробництва.

ЖИТЕПАТҮПА / REFERENCE

1. Reed R.C., Tao T., Warnken N. Alloys-By-Design: Application to nickel-based single crystal superalloys. *Acta Materialia*. 2009. 57, 19, 5898-5913. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2009.08.018>
2. Tang Y.T., Panwisawas C., Ghossein J. N., Gong Y., Clark J. W.G, Németh A. A.N., McCartney D. G., Reed R. C. Alloys-by-design: Application to new superalloys for additive manufacturing. *Acta Materialia*. 2021. 202, 417-436. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.09.023>
3. Bridges, A., Shingledecker, J. Creep Deformation and Damage Mechanisms in an Advanced High-Temperature Additively Manufactured Nickel-Base Superalloy. *JOM*. 2025. 77, 7200–7221. <https://doi.org/10.1007/s11837-025-07326-x>

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MICROSTRUCTURE OF NICKEL-BASED SUPERALLOYS ABD900 AND INCONEL 718 FABRICATED BY LASER POWDER BED FUSION

S.V. Adjamsky, G.A. Kononenko, R.V. Podolskyi, O.A. Podolska

Abstract. *Laser Powder Bed Fusion (LPBF) is one of the most promising additive manufacturing technologies for producing metal components with complex geometries, enabling the fabrication of parts with high mechanical and operational performance. In this study, a comparative investigation of porosity formation in high-temperature nickel-based superalloys ABD900 and Inconel 718 fabricated by LPBF under identical processing parameters was carried out. Cubic samples with dimensions of 10 × 10 × 10 mm were produced using a laser power of 195 W, a scanning speed of 1100 mm/s, a hatch spacing of 0.09 mm, and a layer thickness of 40 μm. Metallographic analysis was performed using optical microscopy, followed by quantitative porosity evaluation using ImageJ software. It was found that the ABD900 alloy samples exhibit a lower porosity level compared to Inconel 718. The pore sizes in Inconel 718 samples range from 2 to 10 μm, with maximum values reaching 12–14 μm, whereas in ABD900 they are predominantly within the range of 2–12 μm, with no larger isolated defects observed.*

Keywords: *LPBF technology; additive manufacturing; nickel-based superalloys; ABD900; Inconel 718; porosity.*