УДК 621.9.048.7

Лесик Д.А., канд. техн. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, lesyk_d@ukr.net
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ
Педаш О.О., канд. техн. наук, начальник бюро управління головного металурга
АТ «Мотор Січ»
Мордюк Б.М., докт. техн. наук, завідувач відділу фізичних основ інженерії поверхні
Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАНУ
Литвиненко М.М., аспірант
КПІ ім. Ігоря Сікорського
ТОВ «МАШІНТЕХ»
Джемелінський В.В., канд. техн. наук, професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського

КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ТА СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ 3D-ДРУКОВАНОГО СПЛАВУ ІНКОНЕЛЬ 718 ТЕРМОМЕХАНІЧНИМ ПОСТОБРОБЛЕННЯМ

Жаростійкі сплави (Інконель) використовуються в умовах високих температур і навантажень завдяки своїм підвищеним механічним властивостям, стійкості до окислення та корозії. Інконель сплави широко використовуються в авіаційній, аерокосмічній та енергетичній промисловості для виготовлення відповідальних деталей [1].

Для виготовлення виробів із сплавів Інконель використовуються типові методи механічної обробки, електроерозійної обробки, порошкової металургії та, останнім часом, інноваційні методи адитивного виробництва [2]. Коли ці вироби на основі нікелю виготовляються з використанням передових методів адитивного виробництва, вони часто потребують подальшої постобробки для покращення їхньої шорсткості поверхні та фізико-механічних властивостей. Розроблені технології лазерного 3D-друку (зокрема, спосіб сплавлення порошку шару лазером (LPBF)) викликали значний інтерес на сьогодні, оскільки цей процес LPBF пропонує переваги для виробництва металевих/композитних деталей порівняно з традиційними виробничими процесами, зокрема відкриваючи нові можливості для виготовлення виробів із суперсплавів складної геометричної форми і малих розмірів.

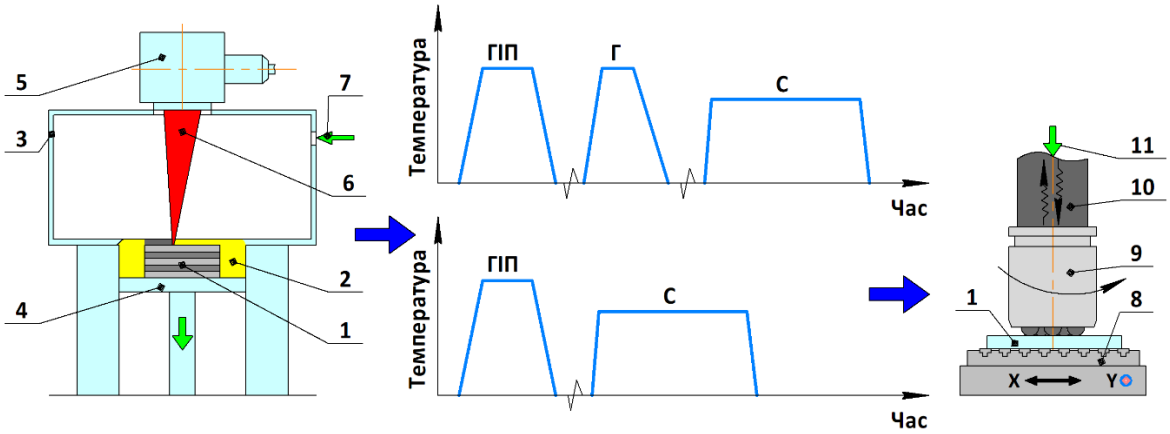

Рис. 1 – Схематичне зображення способу постобробки LPBF-друкованих виробів із Інконель 718: 1 – 3D-друкований виріб; 2 – порошок; 3 – захисна камера; 4 – привід подачі порошку; 5 – сканатор; 6 – лазерний промінь; 7 – канал подачі захисного газу; 8 – робочий стіл з числовим програмним керуванням; 9 – ультразвуковий багатобойковий наконечник; 10 – концентратор; 11 – напрям дії статичного навантаження ультразвукового інструменту

Тим не менш, поточні виклики включають розробку нових комбінованих/гібридних методів постобробки через необхідність покращення фізико-механічних властивостей деталей із сплавів Інконель, отриманих за технологією (LPBF) [3, 4]. В даній роботі пропонується комбінований термомеханічний спосіб постобробки авіаційного сплаву Інконель 718, виготовленого за технологією LPBF (рис. 1) [5].

3D-друковані зразки/вироби 1 за технологію LPBF, попередньо піддавали гарячому ізостатичному пресуванню (ГІП) при температурі нагрівання ~1200 °C, тиску робочого газу ~150 МПа та витримуванні ~3 год. з наступною послідовною об'ємною термообробкою (гартування + старіння (ГС) або старіння (С)) при температурі нагрівання 980…1200 °C протягом 1–4 год., а старіння – при температурі нагрівання 720 °C протягом 8 год. та при 620 °C протягом 10 год (рис. 1). Послідовна ГІП обробка та об'ємна термообробка забезпечує формування однорідної структури із наявними зміцнювальними фазами, які фіксують межі зерен і стимулюють гомогенну морфологію мікроструктури зерна, а також значне підвищення щільності у виробах, отриманих за технологію LPBF [6].

Для того щоб покращити якість поверхневого шару, інтенсивне поверхневе пластичне деформування проводили після ГІП та об'ємної термообробки LPBF-друкованих виробів, використовуючи ультразвукову оздоблювально-зміцнювальну обробку з використанням однобойкових наконечників або багатобойкових наконечників (рис. 1) в залежності від геометричної форми та вимог до властивостей поверхневого шару сплаву Інконель 718. Сутність ультразвукового зміцнення полягає в тому, що під сумарним впливом статичного навантаження ультразвукового інструменту 11 та динамічного навантаження, що передаються поверхні за допомогою ультразвукового генератора, концентратора 10 та ультразвукового багатобойкового наконечника 9 у вигляді металевих кульок/стрижнів з допоміжним обертовим рухом, значно змінюються параметри поверхневого шару [6]. Деформований поверхневий шар характеризується зменшеною пористістю, забезпечивши підвищення величин твердості та формування залишкових напружень стиску замість розтягу, а також формування мікрорельєфу із значно зменшеною шорсткістю поверхні.

Результати показали, що запропонований спосіб комбінованого постоброблення дозволив отримати зразки із сплаву Інконель 718, виготовлених технологією LPBF, як з високою твердістю поверхневого шару, так і низькою шорсткістю поверхні, формуючи однорідну/щільну структуру з низькою пористістю та гарантованими залишковими напруженнями стиску в приповерхневих шарах.

Список посилань

1. Application of data-driven methods for laser powder bed fusion of Ni-based superalloys: A review. / K. Li, J. Zhan, Y. Wang, Y. Qin, N. Gong, D.Z. Zhang, S. Tan, L.E. Murr, Z. Liu // J. Manuf. Process. – 2025. – Vol. 133 – 285-321. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.11.053

2. Additive manufacturing in the context of repeatability and reliability / F. Venturi and R. Taylor // J. Mater. Eng. Perform. – 2023. – Vol. 32 – 6589-6609. https://doi.org/10.1007/s11665-023-07897-3

3. Influence of post-processing methods on the fatigue performance of materials produced by selective laser melting (SLM) / M.G. Ganta and M. Kurek // Int. J. Adv. Manuf. Technol. – 2025. – Vol. 133 – 2003-2034. https://doi.org/10.1007/s00170-024-14920-x

4. Advances in metal additive manufacturing: A review of common processes, industrial applications, and current challenges / A. Vafadar, F. Guzzomi, A. Rassau, K. Hayward // Appl. Sci. – 2021. – Vol. 11 – 1213. https://doi.org/10.3390/app11031213

5. Патент на корисну модель 157468 України. Спосіб постобробки виготовлених металевих виробів з нікель-хромових жароміцних сплавів за адитивними технологіями / Д.А. Лесик, В.В. Джемелінський. – а202005529; заяв. 26.08.2020; опубл. 23.10.2024, бюл. №43.

6. Ultrasonic surface post-processing of hot isostatic pressed and heat treated superalloy parts manufactured by laser powder bed fusion / D.A. Lesyk, S. Martinez, B.N. Mordyuk, O.O. Pedash, V.V. Dzhemelinskyi, A. Lamikiz // Addit. Manuf. Lett. – 2022. – Vol. 3 – 100063. https://doi.org/10.1016/j.addlet.2022.100063