

УДК 658.52.652.54.638.63:002

doi: 10.32620/aktt.2025.4sup2.14

С. В. АДЖАМСЬКИЙ^{1,2}, Г. А. КОНОНЕНКО^{1,3,4},
Р. В. ПОДОЛЬСЬКИЙ^{1,3,5}, С. І. БАДЮК^{1,5}

¹ ТОВ «Адитивні лазерні технології України», Україна

² Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

³ Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна

⁴ НТУ «Дніпровська Політехніка», Україна

⁵ Інститут прикладних систем управління НАН України, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СТРАТЕГІЇ СКАНУВАННЯ НА СУЦІЛЬНІСТЬ ГОТОВОГО ВИРОБУ З ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ INCONEL 718

Вступ. Технологія селективного лазерного плавлення, яка являє собою процес адитивного виробництва, використовує лазерний промінь для сплавлення металевих частинок на поверхні порошкового шару шляхом сканування за траєкторією, яка відповідає тривимірній формі, заданій на основі CAD-моделі. **Мета роботи:** дослідження впливу параметрів стратегії сканування (шахове сканування) на суцільність готового виробу з жароміцного сплаву Inconel 718. Завдання досліджень: розробка CAD-моделей та виготовлення дослідних зразків розмірами 10×10×10 мм з параметрами виготовлення: потужність – 80...130 Вт з кроком 10 Вт, швидкість сканування – 850 мм/с, товщина шару – 30 мкм; зі змінними параметрами стратегії сканування (відстань між треками 0,04...0,09 мм з кроком 0,01 мм); визначення суцільності дослідних зразків металографічним методом досліджень; надання рекомендацій щодо параметрів стратегії сканування для забезпечення високої щільності готових виробів. **Методи дослідження.** Комп'ютерне моделювання, 3D-друк із застосуванням принтера Alfa-150 із використанням порошку жароміцного сплаву Inconel 718, мікроскопічні дослідження із застосуванням оптичного мікроскопу AxioVert 200M Mat. **Наукова новизна.** Встановлено залежності впливу параметрів виготовлення, а саме потужності та відстані між треками на суцільність готового виробу. **Практична значимість.** Розроблено рекомендації щодо параметрів сканування при виготовленні деталей методом селективного лазерного плавлення з жароміцного сплаву Inconel 718. **Результати.** Встановлено, що зразки мають дефекти структури (пори). Грунтуючись на отриманих результатах розрахунків питомої щільності енергії, встановлено, що утворення цього дефекту пов'язане з високою питомою енергією, за якої проводилось виготовлення. Встановлено, що дефекти мають періодичність і пов'язані з перекриттям між треками та шаховими полями. За результатами експерименту з дослідження впливу параметрів виготовлення в шаховому порядку з товщиною шару 30 мкм встановлено, що дослідні зразки надруковані з такими параметрами: швидкість (850 мм/с), потужність (80-130 Вт), відстань між треками (0,04-0,09 мм) – не можуть відповідати оцінці «задовільно», а режими не можуть бути рекомендованими для подальшого виготовлення виробів.

Ключові слова: селективне лазерне плавлення; стратегія сканування; параметри; Inconel 718; щільність енергії.

Вступ

Адитивні технології останнім часом набувають все більшого поширення у сучасному виробництві, оскільки дозволяють створювати швидко і якісно вироби з унікальною геометрією, яку неможливо або складно виготовити іншими традиційними способами виробництва [1].

В даний час адитивне виробництво поділяють на два великих напрямки [2]:

- швидке прототипування (Rapid Prototyping), яке означає виробництво прототипів, засобів візуального проектування, складальних частин,

використовувані на етапі розробки виробу, і вони не повинні відповідати характеристикам готових виробів;

- швидке виробництво (Rapid Manufacturing), що означає виробництво функціональних виробів, призначених для використання в якості готових продуктів, тобто такі вироби повинні відповідати пропонованим до них вимогам і мати задані характеристики.

Більшість авторів класифікують адитивні технології по формуванню шару; фіксації шару; матеріалам, що застосовуються; та видам енергії, що використовується [3, 4]. У більшості випадків металеві вироби, виготовлені за адитивними технологіями,



Creative Commons Attribution
NonCommercial 4.0 International

класифікують за двома способами «непрямий» та «прямий». При виготовленні «непрямим» способом використовується сполучна речовина для зв'язування частинок металу, утворюючи тривимірну деталь. За «прямим» способом частинки (агломерати) металу повністю розчиняються у процесі, щоб одразу сформувати деталь [5].

Тривалий час ці технології стосовно металів та сплавів не знаходили значного поширення, оскільки не вдавалося досягти задовільної якості виробів щодо їх суцільності, шорсткості та, як наслідок, механічних та експлуатаційних властивостей. У зв'язку з суттєвим підвищенням якості металовиробів, виготовлених за технологією селективного лазерного плавлення (СЛП) останнім часом, ця технологія стає все більш затребуваною споживачем.

Технологія СЛП являє собою процес адитивного виробництва, який використовує лазерний промінь для сплавлення металевих частинок шляхом сканування, за траєкторією відповідно до заданої тривимірної форми на основі CAD-моделі, на поверхні порошкового шару.

Під час даного процесу металевий порошок повністю розплавляється під впливом потужного лазерного випромінювання з утворенням металевого шару, який майже не містить пор і не вимагає подальшої обробки, що дозволяє досягати рівня механічних властивостей виробу, рівного або навіть краще, ніж властивості литих.

Таким чином, технологія СЛП за раціональних параметрів виготовлення дозволяє забезпечувати високу якість виробів (точність і унікальність геометрії, високий комплекс механічних властивостей, високу щільність, однорідність мікроструктури і хімічного складу). Широкий спектр використовуваних матеріалів дозволяє їй знайти застосування в таких галузях як медична і стоматологічна, машинобудівна, автомобільна і аерокосмічна.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Селективне лазерне плавлення (СЛП), дозволяє виготовляти 3D-вироби пошарово [6]. Підготовка до друку починається з моделювання об'єкта, побудованого в CAD системі в форматі *.STL, в результаті отримуємо елемент, розбитий на воксельну структуру [7] з певним набором параметрів, придатних для друку. Воксель (Voxel) (об'ємний піксель) - це кубічна одиниця, складова тривимірного об'єкту. Це мінімальна одиниця тривимірної матриці, що обробляється, і її можна розглядати як еквівалент пікселя в двовимірному об'єкті. При цифровій обробці, модель розділяється на шари товщиною від 20 до 100 мікрон і формуються вектори руху лазерного променя (рис. 1).

Шари в залежності від геометрії розбиваються на зони, кожній зоні присвоюється індивідуальний

ідентифікатор, згідно з яким будуються траєкторії руху і встановлюються типи треків з своїми параметрами потужності і швидкості руху лазерного променя. Дані ідентифікатори можна рознести на три основні групи: нижній шар (down-skin), внутрішній шар (in-skin), верхній шар (up-skin) (рис. 2).

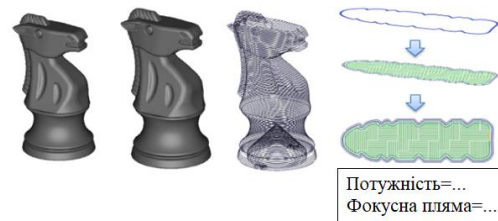


Рис. 1. Схема послідовності операцій з підготовки до друку

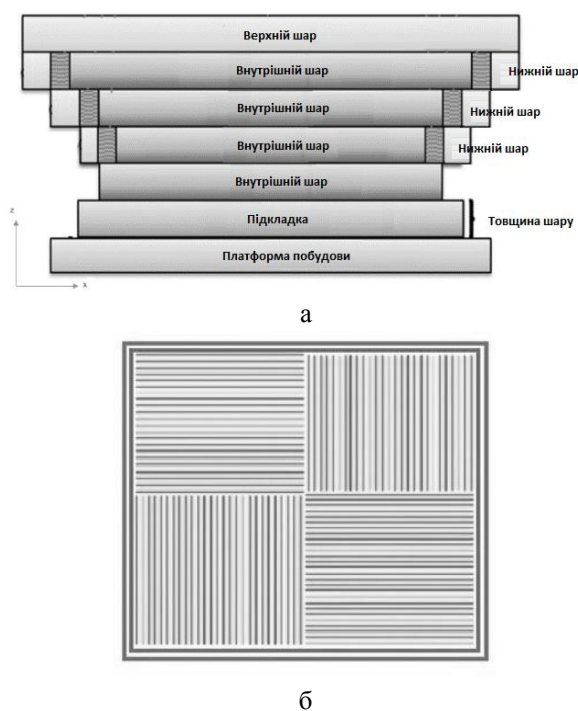


Рис. 2. Формування шарів в напрямку зростання деталі (а), підгрупи треків (б) [10]

При цьому в кожній групі створюються свої підгрупи: заливка (hatches), контур (border), постконтур (fill border). Штрихування лазером або стратегія руху променя лазера – це траєкторія проходження лазерним променем по поверхні шару металевого порошку при заливці основного тіла і контурів виробу [8]. В процесі СЛП тепловий градієнт виникає від верхнього шару до попереднього шару, що призводить до того, що зерна мають тенденцію до зростання вздовж напрямку теплового потоку, і є пріоритетний напрям зростання зерна. Таким чином, один напрямок стає основним напрямком росту зерен після

затвердіння шару. Тому стратегія лазерного сканування чинить істотний вплив на текстуру виготовленого виробу за технологією СЛП [9].

Наразі питання зміни стратегій сканування з метою досягнення необхідних параметрів щільності готового виробу зі збереженням необхідного рівня механічних властивостей є актуальним питанням [11-13]. На рисунку 3 представлено схеми стратегій сканування, що застосовували дослідники [11-16].

Автори досліджень [15] змінювали напрямок сканування лазера в кожному новому шарі на певний кут щодо попереднього шару на 90° , 105° , 120° , 135° , 150° . Крайні механічні властивості були у об'єктів, отриманих при куті повороту 105° , коли шари з однаковим напрямком руху лазерного променя повторювалися тільки через 24 шари. У зразка, отриманого при куті 90° , найменший рівень механічних властивостей, однак різниця між властивостями зразків не перевищує 10%. Крім того, стратегію сканування також рекомендується міняти для нижніх (біля основи платформи), середніх і верхніх шарів, оскільки умови тепловідведення всюди будуть різними.

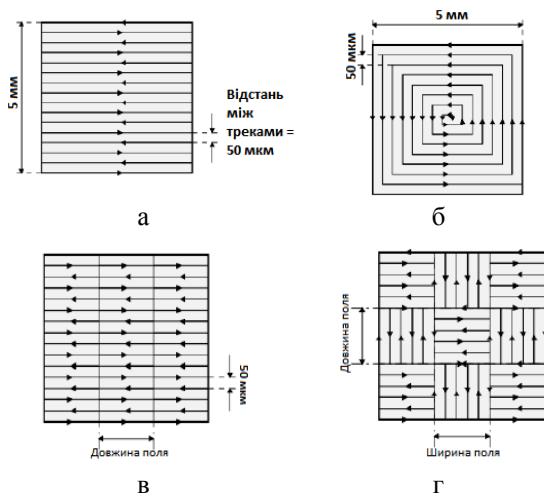


Рис. 3. Види стратегії сканування [11]:
 а – паралельне сканування, б – спіральне сканування, в – різнонаправлене паралельне сканування, г – сканування у шаховому порядку

В результаті цих досліджень авторами було встановлено, що стратегія сканування відіграє важливу роль у формуванні механічних властивостей, але питанню внутрішніх напружень увагу приділено не було.

В рамках досліджень [14] щодо впливу стратегії сканування було встановлено, що зменшення розміру поля сканування, збільшення повороту поля до 45° градусів і збільшення прикладеної енергії на одиницю довжини (потужність/швидкість лазера) дозволило досягти щільності 99,1...99,9%.

Мета роботи

Дослідження впливу параметрів стратегії сканування (шахове сканування) на суцільність готового виробу з жароміцного сплаву Inconel 718.

Завдання досліджень:

1. Розробка CAD-моделей дослідних зразків розмірами $10 \times 10 \times 10$ мм з параметрами виготовлення: потужність - 80...130 Вт з кроком 10 Вт, швидкість сканування - 850 мм/с, товщина шару - 30 мкм.

2. Виготовлення зразків з параметрами стратегії сканування: відстань між треками 0,04...0,09 мм з кроком 0,01 мм.

3. Визначення суцільності дослідних зразків шляхом металографічного методу.

4. Надання рекомендацій щодо параметрів стратегії сканування, виходячи з аналізу впливу режимів на суцільність готових виробів.

Матеріал і методика досліджень

Об'єктом дослідження є жароміцний сплав Inconel 718, з якого були виготовлені за СЛП-технологією зразки, що були досліджені у вихідному стані після друку. Матеріалом для виготовлення зразків за СЛП-технологією був порошок жароміцного сплаву Inconel 718 з розміром частинок $45 + 15 \mu\text{m}$ (рис. 4).

Для виконання роботи і вирішення поставленого завдання використовувався порошок жароміцного сплаву Inconel 718 з розміром частинок $45 + 15 \mu\text{m}$ (рис. 4).

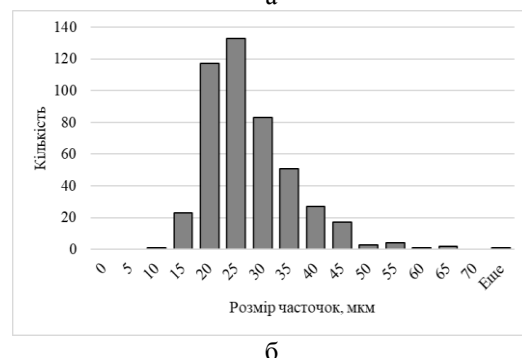
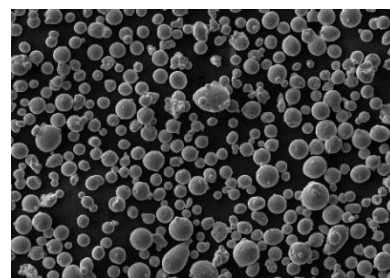


Рис. 4. Частинок вихідного матеріалу Inconel 718 при збільшенні 200 (а), результати гранулометричного аналізу (б)

На попередньому етапі досліджень було підготовлено параметри виготовлення дослідних зразків, що представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри виготовлення зразків

№ п/п зразка	Товщина шару, мкм	Потужність, Вт	Швидкість сканування, мм/с	Відстань між треками, мм	Щільність енергії, Дж/мм ³
0	30	80	850	0,04	78,43
1		90		0,05	70,58
2		100		0,06	65,35
3		110		0,07	61,62
4		120		0,08	58,82
5		130		0,09	56,64

Розмір та кількість пор визначали металографічним методом, як середнє значення на шести полях зору та округляли до цілих значень.

Результати досліджень. Були проведені мікроструктурні дослідження, результати яких представлені на рис. 5. Виходячи з отриманих результатів, слід зазначити, що всі зразки мають видимі відхилення від норми, дефекти (пори). Пори формуються з певною періодичністю, що може бути пов'язано з розмірами шахових полів. Кількість і розмір пір збільшується зі зростанням питомої енергії.

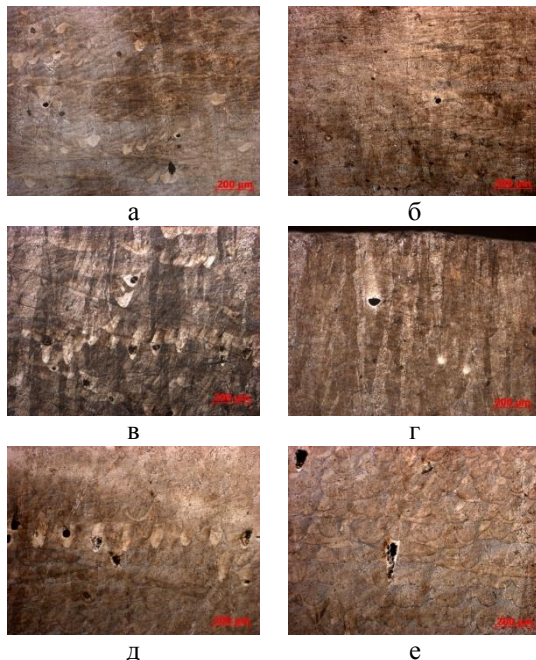


Рис. 5. Мікроструктурні дослідження дослідних зразків:

а – дослідний зразок №0, б – дослідний зразок №1, в – дослідний зразок №2, г – дослідний зразок №3, д – дослідний зразок №4, е – дослідний зразок №5

Встановлено, що пори, які утворилися, мають певну періодичність. Ґрунтуючись на цьому спостереженні, можна припустити, що дефекти (пори) утворюються на перекритті шахових полів.

Слід зазначити, що формування пор переважно відбувається на області перетину кордонів зон заповнення та мають округлу форму, за природою дані пори відносяться до формування за механізмом утворення дефектів Key Hole. В результаті проведених досліджень мікроструктури було встановлено, що розмір пор на пряму залежить від застосованої щільності енергії і з її збільшенням відбувається зменшення розміру пор, при цьому кількість пор стає стабільною в 10-13 од. (70...78 Дж/мм³). В результаті проведених досліджень встановлено закономірність впливу щільності енергії на кількість та розмір пор.

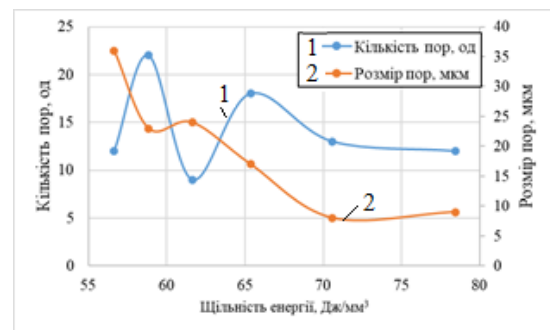


Рис. 6. Закономірність впливу щільності енергії на кількість та розмір пор

В результаті отриманої залежності можна зробити висновок, що збільшення щільності енергії переважно через зміну відстані між треками (0,04...0,05 мкм) при товщині шару 30 мкм, дозволяє отримати стабільні показники по кількості та розмірності пор. Встановлено, що при зменшенні щільності енергії формування пор відбувається переважно упорядковано та періодично, приблизно на однаковій відстані одна від одної, але стабільність її розміру залежить від самих технологічних параметрів.

Висновки

1. Встановлено, що зразки мають дефекти структури (пори). Ґрунтуючись на отриманих результатах розрахунків питомої щільності енергії встановлено, що утворення даного дефекту пов'язане з високою питомою енергією, за якої проводилось виготовлення (78...56 Дж/мм³). Слід зазначити, що дефекти мають періодичність у розташуванні та пов'язані з перекриттям між треками та шаховими полями.

2. За результатами експерименту з відпрацювання параметрів виготовлення у шаховому порядку з товщиною шару 30 мкм встановлено, що дослідні зразки, надруковані з параметрами швидкості (850

мм/с), потужності (80-130 Вт), відстанню між треками (0,04-0,09 мм), не можуть відповідати оцінці «задовільно», а режими не можуть бути рекомендованими для подальшого виготовлення готових виробів.

Внесок авторів: формування проблеми – Г. А. Кононенко, Р. В. Подольський; огляд та аналіз інформаційних джерел – С. В. Аджамський, Г. А. Кононенко, Р. В. Подольський; розробка дослідницького стенду – С. В. Аджамський; виготовлення дослідних зразків – С. В. Аджамський, С. І. Бадюк; проведення випробувань – Г. А. Кононенко, Р. В. Подольський; аналіз отриманих результатів – Г. А. Кононенко, Р. В. Подольський, С. І. Бадюк.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Наявність даних

Рукопис немає супутніх даних.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що вони не використовували технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

Подяка

Автори висловлюють подяку співробітникам ТОВ «Адитивні лазерні технології України» Дерягіну Антону Ігоревичу, ІЧМ НАНУ Шпак Олені Адольфівні, Сафоновій Олені Анатоліївні та Швець Людмилі Іванівні.

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису

Література

1. Mahoney, M. W. *Superplastic Properties of Alloy 718. "Superalloy 718 Metallurgy and Applications"* [Text] / M.W. Mahoney. - TMS, 1989. - P. 391-405.
2. *Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing* [Text] / J.-P. Kruth, G. Levy, F. Klocke [et all.] // *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* - 2007. - Vol. 56. I. 2. - P. 730-759

3. Sun, J. *Parametric optimization of selective laser melting for forming Ti6Al4V samples by Taguchi method* [Text] / J. Sun., Y. Yang, & D. Wang // *Optics & Laser Technology.* - 2013. - Vol. 49. - P. 118-124.
4. Zhang, B. *The study of the laser parameters and environment variables effect on mechanical properties of high compact parts elaborated by selective laser melting 316L powder* [Text] / B. Zhang, L. Dembinski, & C. Coddet // *Materials Science and Engineering: A.* - 2013. - Vol. 584. - P. 21-31.
5. Frazier, W. E. *Metal Additive Manufacturing: A Review* [Text] / W. E. Frazier // *Journal of Materials Engineering and Performance.* - 2014.- Vol. 23(6). - P. 1917 – 1928.
6. Kruth, J.-P. *Progress in additive manufacturing and rapid prototyping* [Text] / J.-P. Kruth, M.-C. Leu, & T. Nakagawa // *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* - 1998. - Vol. 47, No. 2. - P. 525-540.
7. Аджамський, С. В. *Обґрунтування технологічних режимів для формування стабільного одиначного треку при товщині шару 30 мкм зі сплаву INCONEL 718* [Текст] / С. В. Аджамський, Г. А. Кононенко, & Р. В. Подольський // *Системні технології.* - 2023. – Вип. 2 (145). - С. 43-52. doi: 10.34185/1562-9945-2-145-2023-05.
8. *Дослідження ефективності електрохімічного полірування зразків змінного перерізу з різною шорсткістю зі сталі AISI 316L, виготовлених за технологією SLM* [Текст] / С. В. Аджамський, Г. А. Кононенко, Р. В. Подольський, & С. І. Бадюк // *Авіаційно-космічна техніка і технологія.* – 2021. – № 2 (170). – С. 66-73. doi: 10.32620/aktt.2021.2.08.
9. *In situ thermography for laser powder bed fusion: Effects of layertemperature on porosity, microstructure and mechanical properties* [Text] / R. J. Williams, A. Piglion, T. Rønneberg [et all.] // *Additive Manufacturing.* - 2019. - P. 1-14.
10. Аджамський, С. В. *Вплив параметрів SLM-процесу на формування області кордонів деталей з жароміцного нікелевого сплаву Inconel 718* [Текст] / С. В. Аджамський, Г. А. Кононенко, & Р. В. Подольський // *Космічна наука і технологія.* 2021. - № 6 (133). - С. 105-114. doi:10.15407/knit2021.06.105.
11. Wang, D. *Study on energy input and its influences on single-track, multi-track, and multi-layer in SLM* [Text] / D. Wang // *Int J Adv Manuf Technol.* - 2012. - №58. - P. 1189-1199.
12. *Residual stress within metallic model made by selective laser melting process* [Text] / M. Shiomi, K. Osakada, K. Nakamura [et all.] // *CIRP Ann.-Manuf. Technol.* - 2004. - Vol. 53, iss. 1. - P. 195-198.
13. *Elucidation of melt flows and spatter formation mechanisms during high power laser welding of pure titanium* [Text] / H. Nakamura, Y. Kawahito, K. Nishimoto, S. Katayama // *J Laser Appl.* – 2015. – Vol. 27(3). – Article no. 032012.
14. *Laser powder-bed fusion additive manufacturing: physics of complex melt flow and*

formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones [Text] / S.A. Khairallah, A.T. Anderson, A. Rubenchik, & W.E. King // *Acta Mater.* - 2016. - Vol. 108. - P. 36–45.

15. An Experimental Investigation into Additive Manufacturing-Induced Residual Stresses in 316L Stainless Steel [Text] / A. S. Wu, D. W. Brown, M. Kumar [et al.] // *Metall. Mater. Trans. A* – 2014. – Vol. 45. - P. 6260–6270.

16. Dilip, J. J. S. Influence of processing parameters on the evolution of melt pool, porosity, and microstructures in Ti-6Al-4V alloy parts fabricated by selective laser melting [Text] / J. J. S. Dilip, S. Zhang, & C. Teng // *Progress in Additive Manufacturing.* - 2017. - Vol.2. - P.157–167. doi: 10.1007/s40964-017-0030-2.

References

1. Mahoney, M. W. *Superplastic Properties of Alloy 718. "Superalloy 718 Metallurgy and Applications"*, eds. E.A.Loria, TMS, 1989, pp. 391-405.

2. Kruth, J.-P., Levy, G., Klocke, F., & Childs, T.H.C. Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.*, 2007, vol. 56.I. 2., pp. 730-759.

3. Sun, J., Yang, Y., & Wang, D. Parametric optimization of selective laser melting for forming Ti6Al4V samples by Taguchi method. *Optics & Laser Technology*, 2013, vol. 49, pp. 118–124.

4. Zhang, B., Dembinski, L., & Coddet, C. The study of the laser parameters and environment variables effect on mechanical properties of high compact parts elaborated by selective laser melting 316L powder. *Materials Science and Engineering: A*, 2013, vol. 584. pp. 21-31.

5. Frazier, W. E. Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2014, vol. 23(6), pp. 1917-928.

6. Kruth, J.-P., Leu, M.-C., & Nakagawa, T. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.*, 1998, vol. 47, no. 2, pp. 525–540.

7. Adzhamskyi, S. V., Kononenko, G. A., & Podolskyi, R. V. Obgruntuvannya tekhnologichnykh rezhymiv dlya formuvannya stabil'nogo ody`nchnogo treku pry` tovshhy`ni sharu 30 mkm zi splavu INCONEL 718 [Justification of technological modes for the formation of a stable single track with a layer thickness of 30 microns from INSONEL 718 alloy]. *Sy`stemni tekhnologiyi – System technologies*, 2023, vol. 2 (145), pp. 43-52. doi: 10.34185/1562-9945-2-145-2023-05. (In Ukrainian)

8. Adzhamskyi, S. V., Kononenko, G. A., Podolskyi, R. V., & Badyuk, S. I. Doslidzhennya

efekty`vnosti elektroximichnogo poliruvannya zrazkiv zminnogo pererizu z riznoyu shorstkistyu zi stali AISI 316L, vy`gotovleny`x za tekhnologiyeyu SLM [Research into the effectiveness of electrochemical polishing of samples of variable cross-section with different roughness from AISI 316L steel, manufactured using SLM technology]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2021, vol. 2 (170), pp. 66-73. doi: 10.32620/aktt.2021.2.08. (In Ukrainian).

9. Williams, R. J., Piglione, A., Rønneberg, T., Jones, C., Pham, M.-S., Davies, C. M., & Hooper, P. A. In situ thermography for laser powder bed fusion: Effects of layertemperature on porosity, microstructure and mechanical properties. *Additive Manufacturing*, 2019, pp. 1-14.

10. Adzhamskyj, S. V., Kononenko, G. A., & Podol'skyj, R. V. Vplyv parametriv SLM-procesu na formuvannya oblasti kordoniv detalej z zharomicznogo nikelovogo splavu Inconel 718 [Influence of SLM process parameters on the formation of the boundary region of parts made of heat-resistant nickel alloy Inconel 718]. *Kosmichna nauka i tekhnologiya - Space Science and Technology*, 2021, vol. 27, no. 6 (133), pp. 105-114. doi: 10.15407/knit2021.06.105. (In Ukrainian).

11. Wang, D. Study on energy input and its influences on single-track, multi-track, and multi-layer in SLM. *Int J Adv Manuf Technol*, 2012, vol.58, pp. 1189–1199.

12. Shiomi, M., Osakada, K., Nakamura, K., Yamashita, T., & Abe, F. Residual stress within metallic model made by selective laser melting process. *CIRP Ann.-Manuf. Technol.*, 2004, vol. 53, no. 1, pp. 195-198.

13. Nakamura, H., Kawahito, Y., Nishimoto, K., & Katayama, S. Elucidation of melt flows and spatter formation mechanisms during high power laser welding of pure titanium. *J Laser Appl.* 2015, vol. 27(3), article no. 032012.

14. Khairallah, S. A., Anderson, A. T., Rubenchik, A., & King, W. E. Laser powder-bed fusion additive manufacturing: physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones. *Acta Mater*, 2016, vol. 108, pp. 36-45.

15. Wu, A. S., Brown, D. W., Kumar, M., Gallegos, G. F., & King, W. E. An Experimental Investigation into Additive Manufacturing-Induced Residual Stresses in 316L Stainless Steel. *Metall. Mater. Trans. A*, 2014, vol. 45, pp. 6260–6270.

16. Dilip, J. J. S., Zhang, S., & Teng, C. Influence of processing parameters on the evolution of melt pool, porosity, and microstructures in Ti-6Al-4V alloy parts fabricated by selective laser melting. *Progress in Additive Manufacturing*, 2017, vol. 2, pp. 157–167. doi: 10.1007/s40964-017-0030-2.

STUDY ON THE INFLUENCE OF SCANNING STRATEGY PARAMETERS ON THE INTEGRITY OF THE FINISHED PRODUCT MADE OF INCONEL 718 HEAT-RESISTANT ALLOY

Sergey Adjamskiy, Ganna Kononenko, Rostyslav Podolskiy, Sergey Baduk

Selective laser melting technology, which is an additive manufacturing process, uses a laser beam to fuse metal particles by scanning, following a trajectory according to a given three-dimensional shape based on a CAD model, on the surface of a powder layer. **The purpose of the work:** the study of the influence of the parameters of the scanning strategy (checkerboard scanning) on the integrity of the finished product made of the heat-resistant Inconel 718 alloy. **The task of the research:** the development of CAD models and manufacture test samples with dimensions of 10x10x10 mm with manufacturing parameters: power - 80...130 W with a step of 10 W, scanning speed - 850 mm/s, layer thickness - 30 μm ; with variable scanning strategy parameters (distance between tracks 0.04...0.09 mm with a step of 0.01 mm); determination of the integrity of test samples was carried out by the metallographic method of research; providing recommendations on scanning strategy parameters to ensure high density finished products. **Research methods.** Computer modeling, 3D printing using an Alfa-150 printer with Inconel 718 heat-resistant alloy powder, and microscopic studies using an AxioVert 200M Mat optical microscope. **Scientific novelty.** The influence of manufacturing parameters, namely, power and distance between tracks, on the integrity of the finished product is established. **Practical significance.** Recommendations for scanning parameters in the manufacture of parts by the method of selective laser melting from heat-resistant alloy Inconel 718 have been developed. **Results.** The samples have structural defects (pores). Based on the results of the calculations of the specific energy density, it was established that the formation of this defect is connected with the high specific energy at which the manufacturing was carried out. The defects have periodicity and are related to the overlap between the tracks. According to the results of the experiment on the influence of manufacturing parameters in checkerboard order with a layer thickness of 30 microns, it was established that the test samples were printed with the following parameters: speed (850 mm/s), power (80-130 W), distance between tracks (0.04-0, 09 mm) - cannot meet the "satisfactory" rating, and the modes cannot be recommended for the further manufacture of finished products.

Keywords: selective laser melting; scanning strategy; parameters; Inconel 718; energy density.

Аджамський Сергій Вікторович – PhD, головний конструктор LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», старший науковий співробітник Інституту транспортних систем і технологій НАН України, Дніпро, Україна.

Кононенко Ганна Андріївна – д-р техн. наук, старш. наук. співроб. Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України; інженер- матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine»; професор НТУ «Дніпровська Політехніка» Дніпро, Україна.

Подольський Ростислав Вячеславович – PhD, в.о. завідуючого відділу Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України; інженер- матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро; старш. наук. співроб. Інституту прикладних систем управління НАН України, Київ, Україна.

Бадюк Сергій Іванович – канд. техн. наук, інженер-технолог LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро; старш. наук. співроб. Інституту прикладних систем управління НАН України, Київ, Україна.

Sergey Adjamskiy – PhD, Chief Designer of LLC "Additive Laser Technology of Ukraine"; Senior Researcher at the Institute of Transport Systems and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine,
e-mail: info@alt-print.com, ORCID: 0000-0002-6095-8646.

Ganna Kononenko - Doct. Technical Science, Scientific Secretary of the Institute of Iron and Steel of Z. I. Nekrasov NAS of Ukraine; Materials Engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine; Professor of NTU "Dnipro Polytechnic" Dnipro, Ukraine,
e-mail: perlit@ua.fm, ORCID: 0000-0001-7446-4105.

Rostyslav Podolskiy – PhD, Acting Head of the Department of the Institute of Iron and Steel of Z.I. Nekrasov NAS of Ukraine; Materials Engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro; Senior Researcher, Institute of Applied Control Systems, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
e-mail: rostislavpodolskij@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0288-0641.

Sergey Baduk – Cand. Technical Science, Process Engineer LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Dnipro; Senior Researcher, Institute of Applied Control Systems, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
e-mail: uroboroz33@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1074-3057.