

ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СЛП-ПРОЦЕСУ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ДІАМЕТРА ФОКУСНОЇ ПЛЯМИ ПРОМЕНЮ ЛАЗЕРНОГО ПУЧКА

С.В. Аджамський¹, Г.А. Кононенко^{1,2}, Р.В. Подольський^{1,2}

¹LLC «Additive Laser Technology of Ukraine». 49000, м. Дніпро, вул. Рибинська, 144.

E-mail: info@alt-print.com

²Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України. 49000, м. Дніпро, пл. Академіка Стародубова, 1.

E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Селективне лазерне плавлення (СЛП) – один з сучасних методів адитивного виробництва, який дозволяє створювати з металевого порошку деталі високої щільності з унікальною геометрією. Для підвищення продуктивності СЛП-процесу бажаним є збільшення ширини ванни розплаву, оскільки це дозволить збільшити відстань між проходами лазера і за менший проміжок часу буде побудовано більший об'єм. Однак формування зовнішньої поверхні крупними треками призведе до підвищення її шорсткості, що може суттєво знизити загальну надійність виробу. Для підвищення якості поверхні необхідно зменшувати розміри ванн розплаву, наприклад, зменшення діаметра фокусної плями лазера. Було досліджено зразки, виготовлені при різних діаметрах фокусної плями з застосуванням однакової потужності лазера. За результатами аналізу технологічних параметрів процесу встановлено, що для підвищення продуктивності СЛП-процесу друк основного тіла виробу може виконуватись при збільшеному діаметрі фокусної плями променю лазерного пучка, а для забезпечення високої якості поверхні друк контурної частини (оболонки) повинен проводитись більш локалізованою фокусною плямою. Відповідно до перерозподілу енергії по перерізу променю відбувається зміна конфігурації ванни розплаву, а відповідно і треку. Встановлено, що для того, щоб уникнути формування глибокого переплавлення через високу концентрацію енергії в центрі променю необхідно знижувати потужність лазера. Бібліогр. 29, рис. 6.

Ключові слова: селективне лазерне плавлення, технологічні фактори, система якості, AISI 316L, питома лінійна енергія

Адитивне виробництво (АВ) як спосіб виготовлення деталей набуває все більшого значення в останні роки [1]. Селективне лазерне плавлення (СЛП) – це процес АВ, що складається з трьох основних етапів: 1 – нанесення шару порошку товщиною від 20 до 50 мкм на будівельну платформу; 2 – плавлення шару порошку лазерним джерелом на основі раніше імпортованих даних 3D-CAD моделей; 3 – опускання будівельної платформи і повторний запуск в точці 1. Порошок зазвичай наноситься полімерним або гумовим скребком. СЛП дозволяє створювати з металевого порошку деталі високої щільності з унікальною геометрією. Крім того, СЛП, завдяки можливості повторного використання нерозплавленого металевого порошку, є практично безвідходною технологією [2, 3]. І потрібний лише невеликий обсяг подальшої обробки (полірування, піскоструминна обробка, термообробка) деталей, виготовлених адитивним способом, так що дорогі процеси з доданою вартістю можуть бути зведені до мінімуму [4]. Дослідження останніх двох десятиліть в основному були зосереджені на дослідженні впливу різних параметрів процесу на його стабільність і результуючу мікроструктуру і властивості матеріалів [5–7].

Дослідження Гу з співавторами (Gu et al.) [8] при дослідженні нержавіючої сталі продемон-

стрували, що такі параметри, як потужність лазера і швидкість сканування впливають по-різному на пористість і еволюцію мікроструктури. Ян і співавтори (Yang et al.) [9] експериментально показали, що якість виробу в першу чергу залежить від швидкості сканування, потужності лазера і товщини шару. У статистичному дослідженні відносна важливість кожного параметра процесу була вивчена і встановлено, що швидкість сканування є параметром, який впливає найбільш інтенсивно [9]. Низька швидкість сканування забезпечує повне плавлення частинок і щільну структуру, проте продуктивність процесу значно знижується. При дуже низьких швидкостях сканування нестабільність ванни розплаву викликає нерівномірне плавлення уздовж кожного треку, що призводить до високої шорсткості поверхні і великої об'ємної пористості через ефект кулькоутворення [10, 11]. На високих швидкостях сканування короткочасна взаємодія між матеріалом і променем лазера викликає утворення вузьких ванн розплаву, що так само призводить до підвищеної шорсткості поверхні [11]. Крім того, дуже висока швидкість сканування може сприяти збільшенню пористості, а також утворенню термічних тріщин внаслідок високих швидкостей охолодження [12]. Згідно результатів [13], при високій щільності ла-

Аджамський С.В. – <https://orcid.org/0000-0002-6095-8646>, Кононенко Г.А. – <https://orcid.org/0000-0001-7446-4105>,

Подольський Р.В. – <https://orcid.org/0000-0002-0288-0641>

© С.В. Аджамський, Г.А. Кононенко, Р.В. Подольський, 2021

зерної енергії досягається крупніша і з більш високою температурою ванна розплаву. А досить велика ванна розплаву призводить до хорошого розподілу розплаву і до повністю щільного друку.

Таким чином, пошук оптимальної швидкості сканування є компромісом між продуктивністю і якістю процесу побудови.

Не лише параметри процесу вдосконалювались, але й обладнання для реалізації СЛП-процесу зазнало суттєвих змін. Сучасні 3D технології розглядають різні можливості зміни технологічного процесу вирощування деталей для збільшення продуктивності обладнання зі збереженням високої якості виробів. Сучасні напрямки вдосконалення технологічних аспектів СЛП включають підвищення швидкості процесу за допомогою змінної вихідної камери, замкнутий контроль обробки порошку, автоматизоване просіювання порошку, багат шаровий одночасний друк, дві осі покриття та багатопорожневі бункери [14]. Деякі компанії також пропонують систему управління порошком із замкнутим циклом та знімні циліндри як нові вдосконалення для збільшення швидкості виробництва [15–18]. Круглі платформи запобігають розпорошенню порошку і не потребують заповнення або вивантаження порошку протягом усього будівельного циклу, навіть при друку на повну потужність [19–21]. Це забезпечує однорідний процес побудови, скорочує час оператора та забезпечує високий рівень безпеки системи. У деяких нових машинах застосовують автоматичне просіювання та рециркуляцію порошку, щоб значно скоротити час виробництва. Завдяки автоматизації процесу просіювання та рециркуляції порошку скорочується час ручної праці, що також підвищує продуктивність процесу [22, 23].

При збільшенні габаритів побудови виникає достатньо велика кількість технологічних обмежень, одним з яких є ускладнена робота кінематичної системи. При високому навантаженні на платформу побудови точність позиціонування самої платформи повинна сягати декількох мікрон, а її горизонтальність та паралельність відносно базової станини не повинна перевищувати показник в декілька секунд. Фізика процесу та фізичні властивості системи сканування не дозволяють значно підвищувати швидкість сканування лазерного променя і разом з ним питому потужність. Збільшуючи розміри платформи побудови, прямо пропорційно збільшується і час побудови. Для вирішення даної проблеми більшість виробників машин лазерного друку металом збільшують кількість скануючих систем в поєднанні зі збільшенням кількості джерел лазерного випромінювання до 2, 4, 8 а іноді і до 12 окремих систем, що сканують одне робоче поле. На підставі аналізу сучасних 3D принтерів світових виробників було побудовано порівняльну гістограму продуктивності процесу (рис. 1).

Основним завданням при розвитку СЛП-технології є отримання якісно виготовлених деталей, але для підвищення продуктивності обладнання необхідно зменшення витраченого часу на побудову. Необхідний пошук компромісних рішень, або застосування принципово нових підходів до формування окремих елементів деталі.

Одним з шляхів підвищення якості деталі є зменшення ванни розплаву, оскільки подрібнюються елементи структури, що призводить до підвищення комплексу властивостей, та суттєво знижується шорсткість поверхні виробу. Однак при малому розмірі ванни розплаву відбувається збільшення часу виготовлення, що призводить до зниження продуктивності СЛП-процесу.

Велика ванна розплаву дозволяє підвищити продуктивність виробництва, але це призведе до підвищення шорсткості поверхні виробу, а при більшій за оптимальну енергії, що підводиться, можуть виникати умови для випаровування підкладки або порошку, що призведе до утворення пор і збільшення загальної пористості матеріалів [24].

При одній і тій самій товщині робочого шару час, необхідний для заповнення певної площі шару виробу, пропорційно зменшується зі збільшенням ширини ванни, наприклад: при ширині ванни 50 мкм з урахуванням перекриття треків на 30 % для заповнення площі розмірами 0,1 мм×0,1 мм необхідно виконати 28 скануючих проходів променю лазера, а при ширині треку 200 мкм при тих самих умовах необхідно виконати 7 проходів, витративши при цьому у 4 рази менше часу.

Новим вирішенням завдання є застосування різного фокусного діаметра для виготовлення окремих ділянок деталі.

Мета роботи: розробка технологічних підходів для підвищення продуктивності СЛП-процесу при забезпеченні високої якості поверхні виробів.

Матеріал і методика досліджень. Згідно з сучасними тенденціями LLC «Additive laser Technology Ukraine» було розроблено машину для

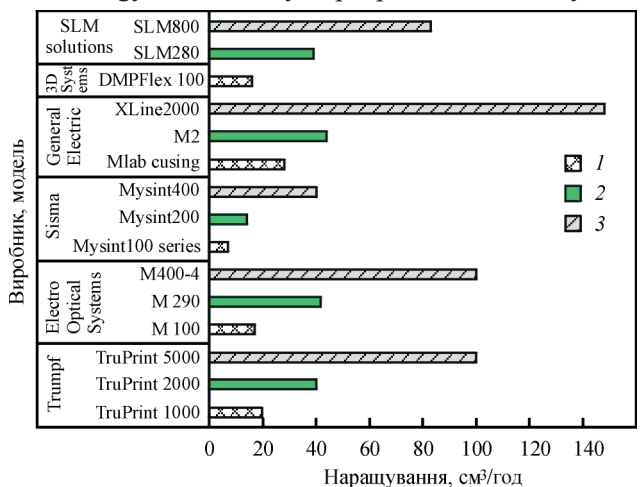


Рис. 1. Норма вирощування деталей в машинах світових виробників: невеликих машин (1), середніх машин (2) та важких машин (3)

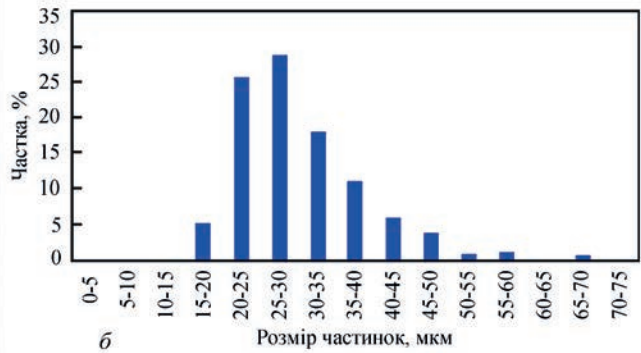
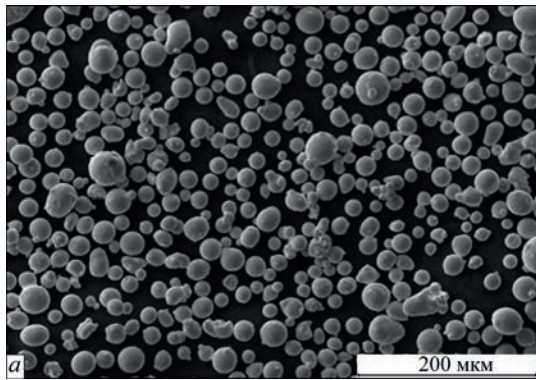


Рис. 2. Частинки вихідного матеріалу 316L ($\times 200$) (а) та результати гранулометричного аналізу (б)

3D друку ALFA-280 з двома скануючими системами, кожна з яких може працювати при різних значеннях фокусної плями сканування. Розмір робочої камери вказаного обладнання $280 \times 280 \times 300$ мм, що дозволяє віднести її до середніх машин.

Дослідження проводились на зразках, виготовлених з порошкового матеріалу. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [24]. Матеріалом, використаним в цьому дослідженні, була нержавіюча сталь аустенітного класу 316L з розміром частинок від 10 до 45 мкм. Хімічний склад порошку 316L, мас. %: 17,79 Cr; 12,63 Ni; 2,35 Mo; 0,78 Mn; 0,64 Si; 0,016 C.

Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106 (рис. 2, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 2, б наведено результати аналізу.

Фіксація розподілу енергії по перерізу променю лазера з різним діаметром фокусної плями проводилась в програмі BeamGage Standard.

Були виготовлені дослідні зразки кубічної форми ($10 \times 10 \times 10$ мм) з застосуванням різного діаметра фокусної плями. При виготовленні деталей було застосовано схему, представлену на рис. 3.

Поверхневий шар (оболонка) товщиною 1 мм був створений з використанням режимів, відмін-

них від застосованих для основного тіла зразка. Режим сканування оболонки: діаметр фокусної плями 75 мкм, швидкість сканування 1000 мм/с, потужність 200 Вт, відстань між проходами сканування 0,13 мм. Для формування зони основного тіла застосовували різні режими побудови з різним діаметром фокусної плями в діапазоні 100...250 мкм з кроком 50 мкм. При цьому використовувалась постійна швидкість сканування 1000 мм/с, потужність 350 Вт, відстань між проходами сканування 0,17 мм.

На підставі попередніх досліджень стратегії побудови контурів зразка [25] було встановлено, що черговість початку друку границь та основного тіла не грає велику роль на швидкість побудови та якість виготовлення. Тому в даній роботі було обрано схему побудови основне тіло – границя зразка.

Результати досліджень. Конфігурація ванни розплаву однієї доріжки являє собою дугу, така форма є наслідком розподілу енергії по перерізу лазерного променя по Гаусу. Форму і перекриття ванн розплаву видно в мікроструктурі виробу, отриманого за допомогою СЛП [13, 24–26]. Невеликі дендритні і комірчасті структури з розміром структурних елементів в кілька мікрометрів виявляються в межах кожного треку [24]. Для аналітичного ви-

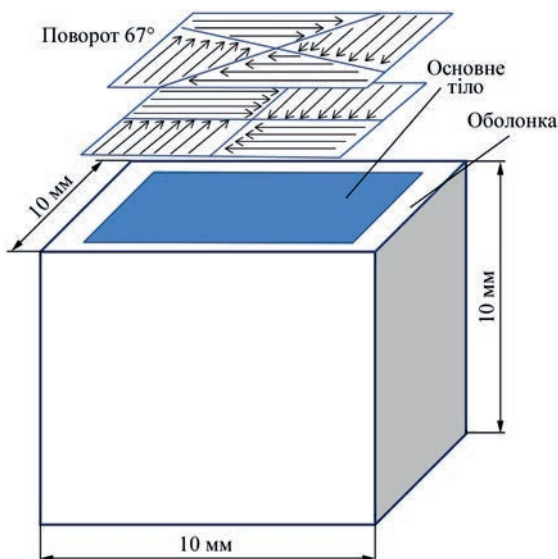


Рис. 3. Схема стратегії будування досліджуваних зразків зі сплаву AISI 316L

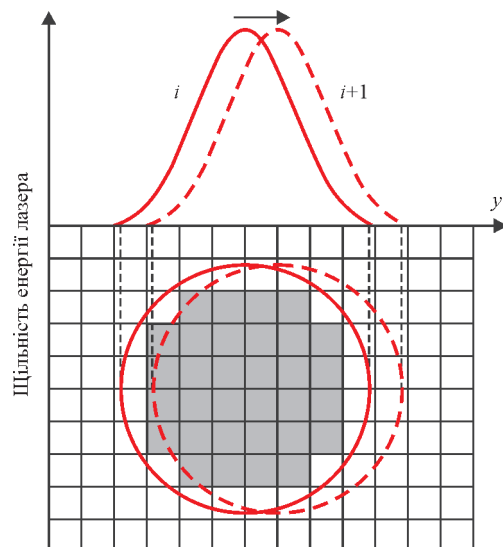


Рис. 4. Схема моделі джерела тепла, що рухається (діаграма сітки) [28]

значення параметрів треку розповсюджена методи- ка розрахунку за формулою Розенталя [27].

Але дана модель включає розрахунок локаль- ного нагріву лише по одиничному треку. В умо- вах реального процесу наявний вплив тепла від сусіднього побудованого треку. На основі цього проводиться моделювання з застосуванням мето- ду кінцевих елементів. На підставі даного методу проводили розрахунок ряд вчених [28, 29], дана мо- дель створена для двовимірної системи координат з переходом T^{i+1} (рис. 4) з фіксованими показниками фокусної плями та товщиною робочого шару.

Розрахунок проводився на підставі диференці- ального методу Фур'є, який базується на заміне- них функціях $T(x, y)$ сіткової функції $T^j_{(i, k)}$, де (I, K) – нумерація вузлових двомірних сіток) за умови рівномірної сітки (крок по x дорівнює кроку по y). Розподіл температур у кожному вузлі сітки визна- чається наступною формулою:

$$T^j_{i,k} = \frac{T^{j-1}_{i,k} + T^{j-1}_{i-1,k} + T^{j-1}_{i,k+1} + T^{j-1}_{i,k-1}}{4}. \quad (1)$$

Температурне поле кожного моменту часу роз- раховувалось за допомогою двох шаблонів. Пер- ший шаблон відображає початковий момент часу. Цей розподіл температури описується з викорис- танням граничних умов першого роду, тобто зада- ється температура на поверхні порошкового шару, яка дорівнює температурі навколишнього середо- вища. Другий шаблон використовується для розра-

хунку температур у наступний момент часу $(J + 1)$ на основі формули (1). Результати розрахунку роз- поділу температур для різних діаметрів фокусної плями променю при постійній потужності 200 Вт наведено на рис. 5. Можна бачити, що при мало- му діаметрі фокусної плями підвищення щільності енергії в центрі променю призводить до нагріван- ня порошку до значно вищої температури, що може викликати зниження щільності металу готового ви- робу за умови глибокого проплавлення. З ураху- ванням цього, при зменшенні діаметра променю необхідно коригувати потужність лазера для забез- печення високої якості виробів.

За результатами розрахунку показано, що змен- шення діаметра фокусної плями призводить до пе- рерозподілу енергії по перерізу променю, збіль- шенню концентрації енергії в центрі фокусної плями та підвищенню градієнта по периферійним зонам. При збільшенні діаметра фокусної плями (дефокусуванні) в центральній частині променю зменшується концентрація енергії.

Також з аналізу результатів розрахунку видно, що при будуванні основного тіла деталі з застосуванням більшого діаметра фокусної плями будуть формува- тися треки більшої ширини, тому може бути витра- чено менше часу на будування виробу в цілому.

На рис. 6 представлено результати металогра- фічного аналізу дослідних зразків та схематичне зображення схеми побудови зовнішнього шару (оболонки) та основного тіла зразка.

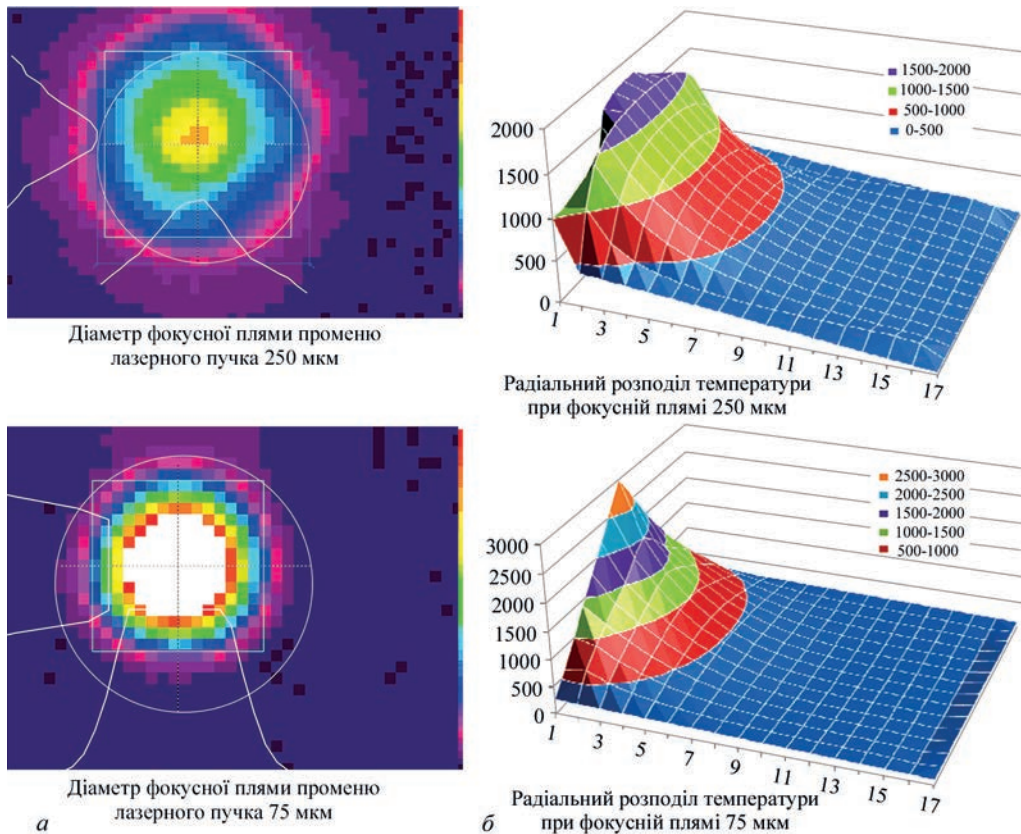


Рис. 5. Розподіл енергії по перерізу променю лазерного пучка з різним діаметром фокусної плями (а), результати розрахунку розподілу температури для різних діаметрів фокусної плями променю лазерного пучка при постійній потужності 200 Вт та товщині шару 40 мкм (б)

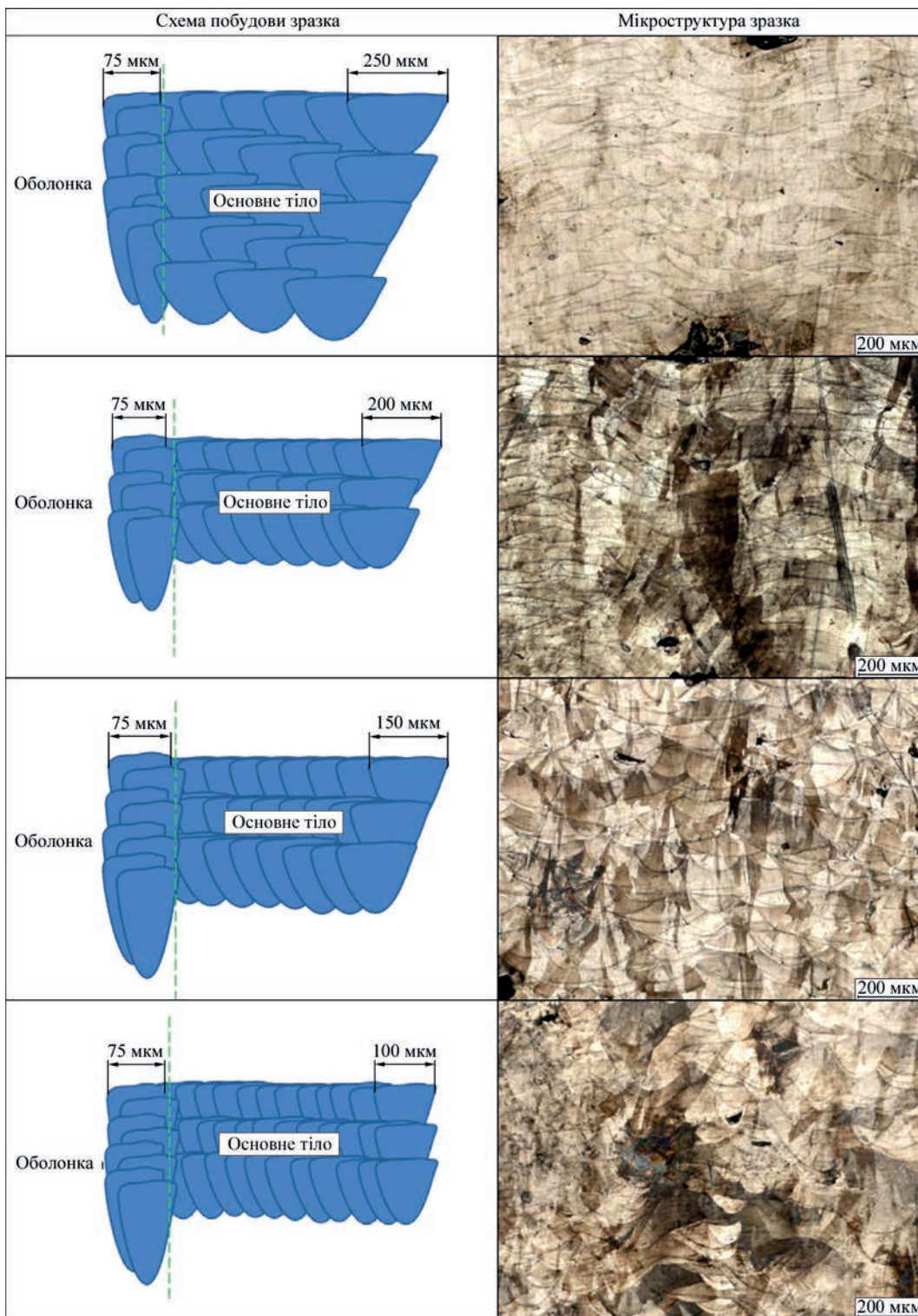


Рис. 6. Схема формування та мікроструктура зразків, виготовлених за СЛП-технологією з різним діаметром фокусної плями променя лазерного пучка

При металографічному дослідженні зразків встановлено, що необхідно коригувати потужність лазера зі зміною діаметра фокусної плями променя лазера для досягнення високої щільності металевих виробів, виготовлених за СЛП-технологією.

Висновки

1. Виконано аналіз сучасного обладнання для реалізації СЛП-процесу. Показано, що для серед-

ніх і важких машин одним з напрямків підвищення продуктивності процесу є збільшення кількості джерел лазерного випромінювання і окремих систем, що сканують одне робоче поле.

2. За результатами аналізу технологічних параметрів процесу встановлено, що для підвищення продуктивності СЛП-процесу друк основного тіла виробу може виконуватись при збільшеному діаметрі фокусної плями променя лазерного пучка,

а для забезпечення високої якості поверхні друк контурної частини (оболонки) повинен проводитись більш локалізованою фокусною плямою.

3. Показано, що необхідно коригувати потужність лазерного пучка при зміні діаметра фокусної плями променю лазерного пучка для досягнення високої щільності металевих виробів, виготовлених за СЛП-технологією.

Список літератури / References

- Frazier, W.E. (2014) Metal additive manufacturing: a review. *Journal of Materials Engineering and performance*, 23, 6, 1917–1928.
- Huang, R. et al. (2016) Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1559–1570.
- Ford, S., Despeisse, M. (2016) Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of cleaner Production*, 137, 1573–1587.
- Conner, B.P., Manogharan, G.P., Martof, A.N. et al. (2014) Making sense of 3-D printing; creating a map of additive manufacturing products and services. *Additive Manufacturing*, 1–4, 64–74.
- Liverani, E. et al. (2017) Effect of selective laser melting (SLM) process parameters on microstructure and mechanical properties of 316L austenitic stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 255–263.
- Yadroitsev, I. et al. (2013) Energy input effect on morphology and microstructure of selective laser melting single track from metallic powder. *Journal of Materials Processing Technology*, 213, 4, 606–613.
- Yadollahi, A. et al. (2015) Effects of process time interval and heat treatment on the mechanical and microstructural properties of direct laser deposited 316L stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 644, 171–183.
- Kamath, C. (2016) Data mining and statistical inference in selective laser melting. *Int. J. Adv. Manuf Technol.*, 86, 1659–1677.
- Sames, W.J., List, F., Pannala, S. et al. (2016) The metallurgy and processing science of metal additive manufacturing. *Int. Mater. Rev.*, 61, 315–360.
- Kempen, K., Thijs, L., Yasa, E. et al. (2011) Process optimization and microstructural analysis for selective laser melting of AlSi10Mg. *Solid Freeform Fabrication Symposium*, 22, 484–495.
- Kamath, C., Eldasher, B., Gallegos, G.F. et al. (2014) Density of additively-manufactured, 316L SS parts using laser powder-bed fusion at powers up to 400 W. *Int. J. Adv. Manuf Technol.*, 74, 65–78.
- Amato, K.N., Gaytan, S.M., Murr, L.E. et al. (2012) Microstructures and mechanical behavior of Inconel 718 fabricated by selective laser melting. *Acta Mater.*, 60, 2229–2239.
- Аджемський С.В., Кононенко А.А., Подольський Р.В. (2020) Двумерне моделювання нестационарного температурного поля єдиничного трека із жаропрочного сплаву INCONEL 718. *Матеріали всеукраїнської науково-методичної конференції «Проблеми математичного моделювання»*, 1, 42–45. Режим доступу: https://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/material_konf_traven_%202020.pdf.
- Аджемський С.В., Кононенко А.А., Подольський Р.В. (2020) 2D modeling of nonstationary temperature field of simple track of heat-resistant alloy Inconel 718. *In: Proc. of All-Ukrainian Scientific-Methodical Conf. on Problems of Mathematical Modeling*, 1, 42–45 [in Ukrainian]. https://www.dstu.dp.ua/uni/downloads/material_konf_traven_%202020.pdf.
- Khorasani, A., Gibson, I., Kozhuthala, J. Veetil, Ghasemi, A.H. (2020). A review of technological improvements in laser-based powder bed fusion of metal printers. *Int. J. Adv. Manuf Technol.* 2020. Vol. 108. P. 191–209.
- SLM Solutions (2019) SLM MACHINES. Last modified March 20, 2019, accessed March 21, 2019. <https://slm-solutions.com/products/machines>
- Akbari, M., Kovacevic, R. (2019) Closed loop control of melt pool width in robotized laser powder-directed energy deposition process. *Int. J. Adv. Manuf Technol.*, 1–12.
- Shrestha, R., Shamsaei, N., Seifi, M., Phan, N. (2019) An investigation into specimen property to part performance relationships for laser beam powder bed fusion additive manufacturing. *Addit Manuf*, 29, 100807.
- Urhal, P., Weightman, A., Diver, C., Bartolo, P. (2019) Robot assisted additive manufacturing: a review. *Robot Comput Integr Manuf*, 59, 335–345.
- SISMA (2019) LMF «laser metal fusion» technology, last modified March 20, 2019, accessed March 21, 2019. <https://www.sisma.com/en/additive-manufacturing/>
- Jafari, R. et al. (2019) Recent progress and challenges with 3D printing of patterned hydrophobic and superhydrophobic surfaces. *Int. J. Adv. Manuf Technol.*, 1–14.
- Rausch, A.M., Markl, M., Körner, C. (2019) Predictive simulation of process windows for powder bed fusion additive manufacturing: influence of the powder size distribution. *Comput Math Appl*, 78(7), 2351–2359.
- Renishaw (2019) Additive manufacturing products, last modified March 20, 2019. <https://www.renishaw.com/en/additivemanufacturing-products%2D%2D17475>. Accessed March 21, 2019.
- Yeung, H., Lane, B., Fox, J. (2019) Part geometry and conduction based laser power control for powder bed fusion additive manufacturing. *Addit Manuf* 30:100844.
- Аджемський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В. (2020). Вплив технологічних параметрів SLM-процесу на пористість металовиробів. *Автоматичне зварювання*, 10, 14–20. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.10.03>
- Аджемський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В. (2020) Influence of technological parameters of SLM-process on porosity of metal products. *The Paton Welding J.*, 10, 13-18. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.10.03>
- Аджемський С.В., Кононенко А.А., Подольський Р.В. (2020). Симуляція впливу остаточних напружень і параметрів SLM-технології на формувальні області границі изделия із жаропрочного нікелевого сплаву Inconel 718. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії і машинобудуванні» (17–19 марта 2020, Дніпр)*, Дніпр, 4–6. [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>
- Аджемський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В. (2020) Simulation of influence of residual stresses and parameters of SLM technology on formation of boundary areas of heat-resistant alloy Inconel 718 products. *In: Proc. of Sci. and Tech. Conf. on Information Technology in Metallurgy and Machine Engineering (17-19 March 2020, Dnepr)*. Dnepr, 4-6 [in Russian]. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001>
- Аджемський С.В., Кононенко А.А., Подольський Р.В. (2020) Исследование влияния режимов SLM-процесса на качество в области контура изделий. *Міжнародна конференція «Університетська наука-2020»*, 1, 157–158. Режим доступу до ресурсу: http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/17421/%D0%A3%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_2020_%D0%A2_1.pdf
- Аджемський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В. (2020) Investigation of influence of SLM-process modes on quality in contour area of products. *In: Proc. of Int. Conf. on University Science-2020*, 1, 157–158. http://eir.pstu.edu/bitstream/handle/123456789/17421/%D0%A3%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0_2020_%D0%A2_1.pdf
- Rosenthal, D. (1941) Mathematical theory of heat distribution during welding and cutting. *Weld J.*, 20(5), 220–34.
- Du, Y., You, X., Qiao, F. et al. (2018) A Model for Predicting the Temperature Field during Selective
- Promopatum P., Shi-Ch Yao, Pistorius P.C., Rollett A. (2017). A Comprehensive Comparison of the Analytical and Numerical Prediction of the Thermal History and Solidification Microstructure of Inconel 718 Products Made by Laser Powder-Bed Fusion. *Engineering*, 3, 685–694.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE SLM-PROCESS BY ADJUSTING THE FOCAL SPOT DIAMETER OF THE LASER BEAM

S.V. Adjamskiy¹, G.A. Kononenko^{1,2}, R.V. Podolskiy^{1,2}

¹LLC «Additive Laser Technology of Ukraine». 144 Rybinska Str., 49000, Dnipro, Ukraine. E-mail: info@alt-print.com

²Institute of Ferrous Metallurgy. Z.I. Nekrasova National Academy of Sciences of Ukraine. 1 Academician Starodubov Sq., 49000, Dnipro, Ukraine. E-mail: office.isi@nas.gov.ua

Selective laser melting (SLM) is one of the modern methods of additive manufacturing, which allows creating high-density parts with unique geometry from metal powder. To increase the efficiency of the SLM process, it is desirable to increase the width of the melt pool, as this will increase the distance between the laser passes and a larger volume will be built in a shorter period of time. However, the formation of the outer surface of large tracks will increase its roughness, which can significantly reduce the overall reliability of a product. To improve the surface quality, it is necessary to reduce the size of the melt pools, for example, by reducing the diameter of the focal spot of the laser. The specimens made at different focal spot diameters using the same laser power were examined. Based on the results of the analysis of technological parameters of the process it was established that to increase the efficiency of SLM-process the printing of the main body of a product can be performed at an increased focal spot diameter, and to provide a high surface quality. According to the redistribution of energy along the cross-section of the beam, a change in the configuration of the melt pool, and accordingly the track occurs. It was established that in order to avoid the formation of deep remelting due to a high concentration of energy in the center of the beam, it is necessary to reduce the laser power. 29 Ref., 6 Fig.

Key words: selective laser melting, technological factors, quality system, AISI 316L, specific linear energy

Надійшла до редакції 14.04.2021

ЗАГЛУШКИ ДЛЯ ЗАХИСТУ ТРУБ ПРИ ЗВАРЮВАННІ

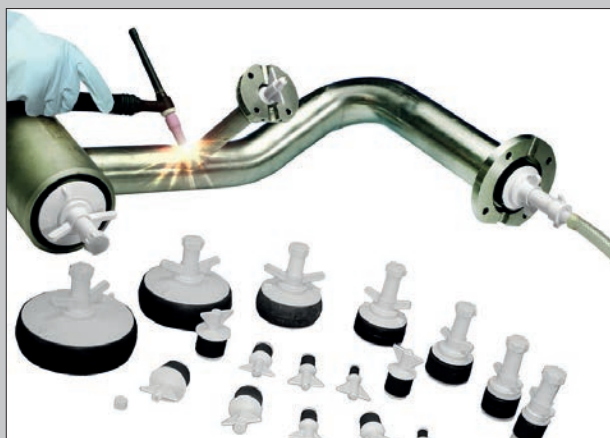
Для зварювання труб з нікелевих сплавів, титану та нержавіючої сталі, включаючи коліна та трійники, компанія Huntingdon Fusion Techniques HFT® розробила клінічно чистий білий нейлон, який забезпечує бар'єр при продувці зварних швів.

Ці недорогі та легкі заглушки доступні для різних застосувань для труб діаметром від 12 до 152 мм, усуваючи необхідність у зварників створювати власні саморобні «дамби» з непридатних матеріалів, таких як піна, папір або картон.

Виготовлені з нейлону технічної якості з гумовими ущільнювачами з натурального чорного каучуку, спеціальні заглушки можна виготовити на замовлення з ущільнювальними кільцями з силіконових або нітрилових каучуків, що робить їх придатними для використання з нафтохімічними рідинами, при високих температурах або будь-якими іншими умовами, які виникають під час використання.

Пробки постачаються з порожнистим валом із зовнішньою різьбою для вкручування стандартного шлангового з'єднання діаметром до 1,5" для випробування на тиск.

Типові програми для зварювальних заглушок включають труби малого діаметра, короткі, складні або змінні розміри, де система продувки або надувна дамба буде занадто довгою. Нейлонові заглушки можна використовувати для багатьох інших застосувань, включаючи садові ставки, басейни та спа-центри та на яхтах. Інші програми включають зупинку труб, щоб запобігти потраплянню сторонніх тіл, рідин або виходу газів та рідин, блокування труб для проведення



планового технічного обслуговування, ремонтних робіт та випробувань на герметичність. Як «нічні пробки» вони створюють бар'єр у трубопроводній діяльності, щоб запобігти потраплянню сторонніх тіл на лінію під час простою.

www.huntingdonfusion.com.