

С. В. АДЖАМСКИЙ^{1,2}¹ Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Украина² LLC «Additive Laser Technology of Ukraine»

РЕАЛИЗАЦИЯ SLM - ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА INCONEL 718, ПРИМЕНЯЕМОГО В АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Новый метод производства, называемый аддитивными технологиями, является методом с возможностью производства 3D-изделий послойно. Одним из наиболее широко используемых методов аддитивного производства металлических изделий является селективное лазерное плавление. Для плавления металла в виде порошка, используют иттербиевые (ytterbium) волоконные лазера мощностью от 200 до 1000 Вт, излучение которых с помощью зеркал на быстродействующем приводе фокусируется в необходимое место. Предметом исследований является применение аддитивных технологий для изготовления деталей из жаропрочного сплава, применяемого в авиационно-космической технике. Материалом для исследований являлся тестовый образец, изготовленный методом SLM (лазерное селективное плавление) путем послойного сплавления металлического порошка жаропрочного сплава INCONEL 718 с помощью воздействия лазерного луча. Методики исследования: микроструктурный анализ выполнен с помощью светового микроскопа Carl Zeiss AXIOVERT M200 MAT, гранулометрический анализ – растрового электронного микроскопа РЭМ-106. Цель работы: установление возможности изготовления качественного образца из сплава INCONEL 718, исследование его пористости и микроструктуры как основных показателей качества построения. Результаты: установлено, что оборудование производства LLC «Additive Laser Technology of Ukraine» (Днепр) позволяет реализовывать SLM-процесс и осуществлять изготовление изделий из сплава INCONEL 718 с высокой плотностью металла. Выполнено исследование микроструктуры в плоскостях параллельной и перпендикулярной к направлению построения образца. Выводы: аддитивные технологии являются перспективными для создания деталей и конструкций для авиационно-космической техники, позволяя сократить время и затраты на их проектирование и создание. Показана возможность создания качественных изделий из сплава INCONEL 718 методом SLM на установке производства ООО «Additive Laser Technology of Ukraine» (Днепр). Показана взаимосвязь параметров процесса и микроструктуры, что обуславливает необходимость разработки обоснованных режимов процесса SLM для изделий различного назначения.

Ключевые слова: аддитивные технологии; лазерное селективное плавление; никелевый сплав; пористость; микроструктура.

Введение

Новый метод производства, называемый аддитивными технологиями, является методом с возможностью производства 3D-изделий послойно [1].

В этом методе частицы металлического порошка расплавляются источником тепла, который может быть лазерным или электронным пучком для создания твердого слоя. Затем процесс продолжается до создания конечного изделия. Этим способом могут быть получены сложные формы, которые невозможно или сложно изготовить другими традиционными способами производства [2].

Одним из наиболее широко используемых методов аддитивного производства металлических изделий является селективное лазерное плавление

(SLM), которое обеспечивает большую свободу в изготовлении изделий со сложной геометрией, которой трудно или дорого достичь с помощью традиционных методов [3]. Селективное лазерное плавление (SLM) позволяет производить изделия из сложных сплавов, используя высокую энергию лазера для селективного плавления мелких частиц металлического порошка послойно [4]. На рис. 1 представлена принципиальная схема работы 3D принтера. Процесс плавления в таком оборудовании генерирует детали сложной геометрии слой за слоем, используя 3D модели в качестве исходной информации. Толщина слоя лежит в пределах от 15 до 150 мкм в зависимости от используемого материала. Для плавления металла в виде порошка, используют иттербиевые (ytterbium) волоконные лазера мощностью от 200 до 1000 Вт, излучение

которых с помощью зеркал на быстродействующем приводе фокусируется в необходимое место формирования контура детали [5]. Камера заполняется инертным газом (азотом или аргоном), чтобы предотвратить нежелательное окисление изделия во время изготовления. Каждый последующий слой получают методом опускания платформы с изготавливаемой деталью на величину равную высоте слоя. После этого из подающего бункера приводным лезвием наносится слой нового порошка. Весь цикл повторяется до момента полного формирования детали по всей высоте.

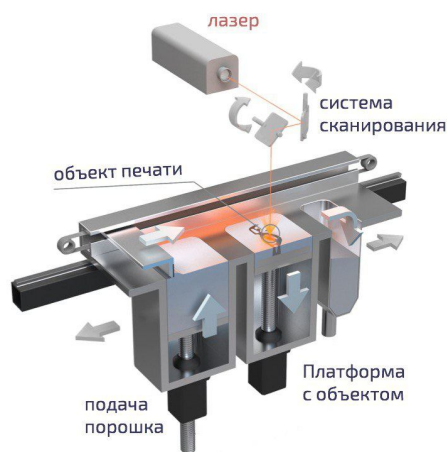


Рис. 1. Принципиальная схема работы 3D принтера

Благодаря технологиям SLM металлические порошки в слое быстро расплавляются под воздействием луча лазера, который перемещается с высокой скоростью, а затем быстро затвердевают в ванне расплава (скорости охлаждения от 10^3 до 10^8 К/с [6, 7]) с кратковременным неравновесным переходом фаз и формируется высокодисперсная микроструктура [8]. Это приводит к некоторым существенным различиям в механических свойствах между изделиями, изготовленными методами литья,ковки и SLM [9]. В то время как типичная микроструктура во время обычного производственного процесса, такого как литье и деформация, имеет более крупные зерна с высокой дендритной ликвацией из-за низкой скорости охлаждения во время затвердевания, дефекты усадочного происхождения [10]. Кроме того, в литых и деформируемых сплавах регулирование микроструктуры затруднено, в то время как его легче контролировать в SLM-процессе путем изменения параметров изготовления.

INCONEL 718 представляет собой суперсплав на основе никеля, который широко применяется в авиационно-космической и атомной промышленности и др. для ряда изделий, таких как камеры сгорания, лопатки турбин, ракетные двигатели и

ядерные реакторы, благодаря его высокой устойчивости к ползучести, высокотемпературной прочности, хорошей стойкости к высокотемпературной коррозии и хорошей свариваемости [10-13]. Химический состав представлен в таблице 1.

Никель обладает высокой способностью растворять другие элементы, например, Cr и Fe, в результате чего сплав может иметь высокую прочность при высокой температуре в результате выделения карбидов, а так же за счет твердорастворного упрочнения и выделения таких интерметаллидных фаз как γ' ($\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Nb})$) с гранцентрированной кубической решеткой и γ'' (Ni_3Nb) с объемноцентрированной тетрагональной решеткой [14].

Таблица 1
Химический состав INCONEL 718 (ISO 6208)

Химический элемент	Содержание, %	
	min	max
Ni	50	55
Cr	17	21
Mo	2,8	3,3
Nb	4,75	5,50
Co	-	1,0
Mn	-	0,34
Cu	0,2	0,8
Al	0,65	1,15
Ti	-	0,3
Si	-	0,35
C	-	0,08
S	-	0,015
P	-	0,015
B	-	0,006
Fe	остальное	

Применение процесса SLM для изготовления специальных деталей авиационно-космической техники в настоящее время является передовым направлением, реализация которого открывает возможности отказаться от сложных технологических процессов при их изготовлении.

1. Постановка задачи

Основными производителями оборудования для 3D печати являются Concept Laser, EOS и др. Однако, в настоящее время установки для изготовления деталей методом SLM являются дорогостоящими, что естественно находит свое отражение на конечной стоимости продукции.

ООО «Additive Laser Technology of Ukraine» (Днепр) была создана установка для изготовления

изделий методом SLM с иттербиевым лазером с максимальной мощностью 500 Вт, область печати: 150×150×180 мм. Установка включает систему заполнения камеры инертным газом, систему поддержания среды и фильтрации газов собственного производства.

Для изготовления опытных образцов был использован в качестве материала металлический порошок сплава INCONEL 718 с размером частиц 45+15µm европейского производителя.

2. Результаты

Был выполнен гранулометрический анализ материала. Подсчет размеров частиц выполнялся по фотографиям, полученным с помощью растрового электронного микроскопа JEOL РЭМ-106 (рис. 2). На рис. 3 и в таблице 2 приведены результаты анализа.

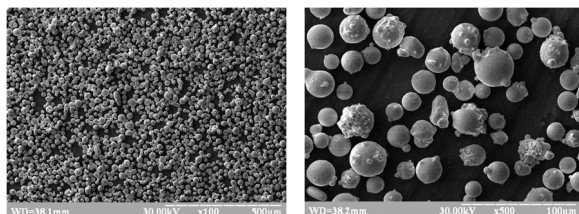


Рис. 2. Микроструктура металлического порошка INCONEL 718



Рис. 3. Гранулометрический анализ исходного материала INCONEL 718

Таблица 2

Гранулометрический анализ INCONEL 718

Размер частиц, мкм	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-55
Доля, %	2,14	16,43	45,0	19,29	6,43	6,43	3,57	0,71	0

Геометрические параметры тестового образца: параллелограмм 10×20×10мм (рис. 4).

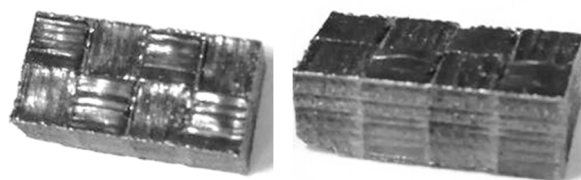


Рис. 4. Общий вид тестового образца

Металлографические исследования микроструктуры металла изделия выполнялись в плоскости параллельной направлению выращивания образца (X-Z) и перпендикулярной (X-Y).

Процесс SLM имеет много преимуществ по сравнению с обычными способами, однако они также имеют недостатки, такие как образование пор, отсутствие плавления и нерасплавленные частицы. Существует два типа пор, которые могут возникать: поры круглой формы и поры неправильной формы (отсутствие слияния) [15]. Круглые поры образуются по двум основным причинам: атмосферный газ, встроенный в расплавленную ванну, и газ, смешанный с порошком, который не успевает высвободиться из расплавленной ванны до затвердевания. Другой причиной является захват газа внутри частиц порошка в процессе распыления газа, большинство из которых имеют сферическую форму и прикреплены к ним очень мелкие частицы-спутники (рис. 2) [16]. Еще одним дефектом является неправильная пора, которая образуется из-за нестабильной формы расплавленной ванны, основной причиной которой являются капиллярные силы.

На рисунке 5 показана микроструктура тестового образца. Из рисунка видно, что металл имеет хорошую сплошность, наблюдается малое количество микропор (около 1%) характерной геометрии.

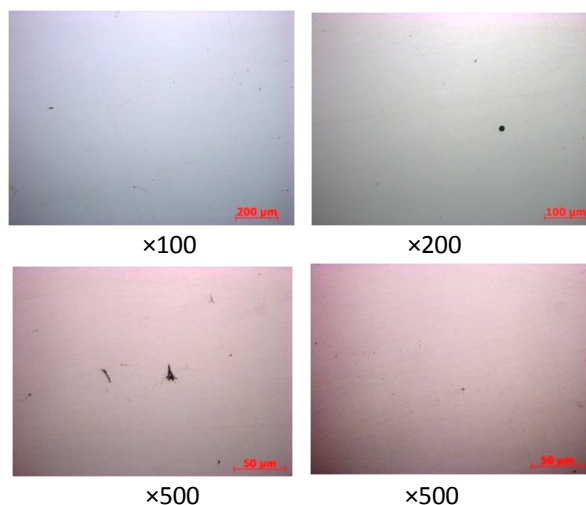


Рис. 5. Микроструктурные исследования пористости тестового образца

При изготовлении образца использовался шахматный шаблон печати с размером блоков 5 мм. На рисунке 6 показана микроструктура после травления $\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$ в местах стыков блоков с разным направлением треков в плоскости, перпендикулярной направлению печати образца.

При исследовании микроструктуры после травления $\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$ в плоскости, параллельной направлению оси Z, видно дугообразную конфигурацию ванны расплава одной дорожки, которая возникает вследствие распределения энергии лазерного луча по Гауссу (рис. 7).

Перекрытие между границами ванн расплава (MPB) также видны в материале, полученном с помощью процесса SLM. При изготовлении образца изменяли параметры процесса. На рисунке 7 видно, как изменяется глубина проникновения и ширина ванн расплава. На рисунке 8 показано, как выглядит микроструктура одного и того же участка в противоположных направлениях.

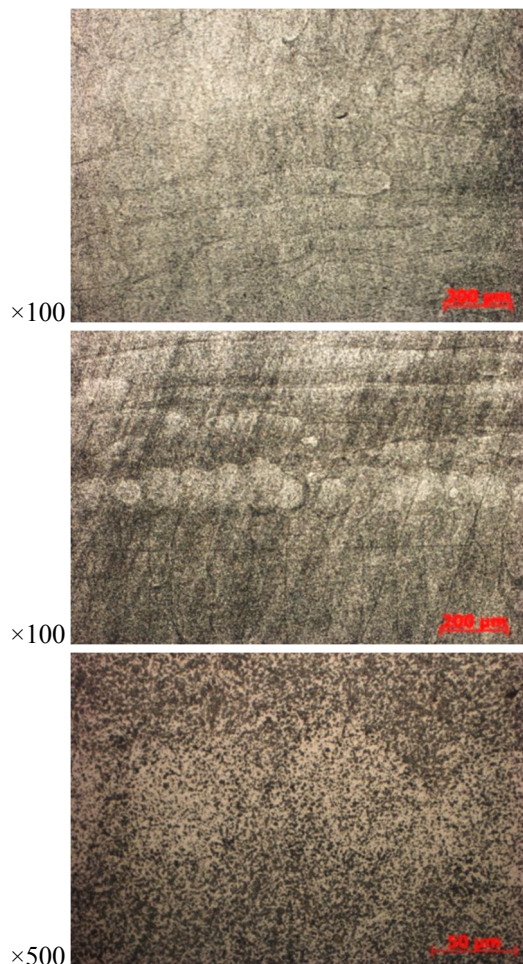


Рис. 6. Микроструктура тестового образца в плоскости X-Y

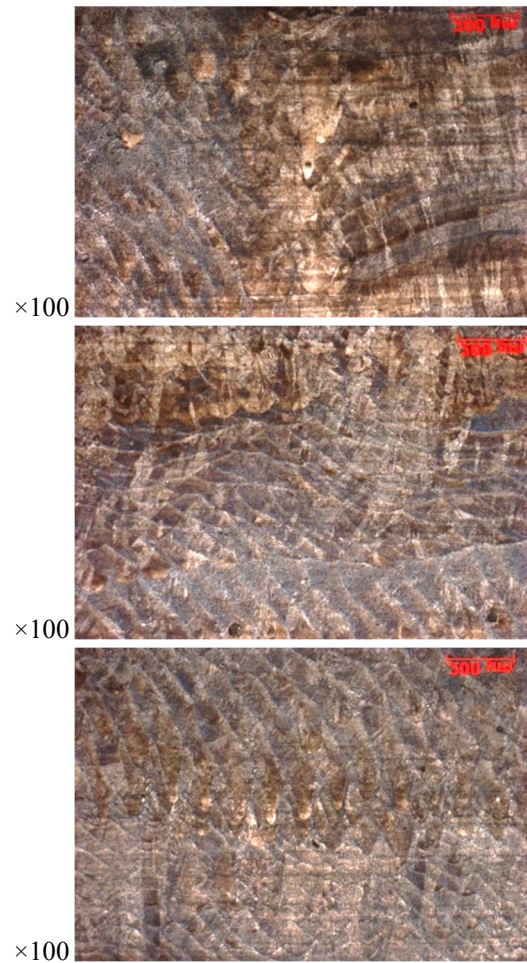


Рис. 7. Микроструктура тестового образца в плоскости Y-Z

В процессе SLM микроструктура и механические свойства конечного образца существенно зависят от параметров процесса [17- 19]. В связи с этим, дальнейшие исследования будут направлены на установление закономерностей формирования микроструктуры и, как следствие, механических свойств при различных параметрах процесса SLM.

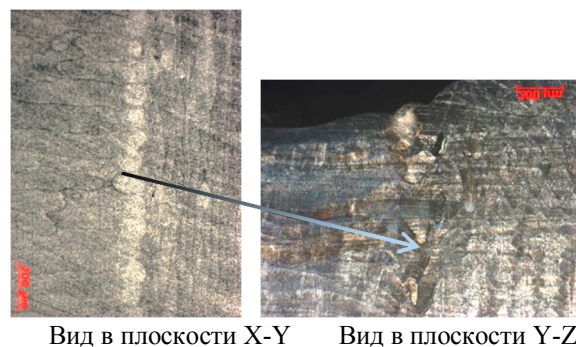


Рис. 8. Микроструктура тестового образца. $\times 100$

Выводы

1. Аддитивные технологии являются перспективными для создания деталей и конструкций для авиационно-космической техники, позволяя сократить время и затраты на их проектирование и создание.

2. Показана возможность создания качественных изделий из сплава INCONEL 718 методом SLM на установке производства ООО «Additive Laser Technology of Ukraine» (Днепр).

3. Показана взаимосвязь параметров печати и микроструктуры, что обуславливает необходимость разработки обоснованных режимов процесса SLM для изделий различного назначения.

Литература

1. 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, №2. – P. 525–540.

2. Mahoney, M. W. *Superplastic Properties of Alloy 718 [Text]* / M. W. Mahoney // *Superalloy 718 – Metallurgy and Applications*; ed. E. A. Loria // *The Minerals, Metals & Materials Society.* – 1989. – P. 391–405. DOI: 10.7449/1989/Superalloys_1989_391_405.

3. Huzel, D. K. *Design of Liquid Propellant Rocket Engines [Text]: monograph* / D. K. Huzel, D. H. Huang. – Houston : National Aerospace And Space Administration, 1967. – 461 p.

4. Jia, Q. *Selective laser melting additive manufacturing of Inconel 718 superalloy parts: Densification, microstructure and properties [Text]* / Q. Jia, D. Gu // *J. Alloys Compd.* – 2014. – vol. 585. – P. 713–721. Doi: 10.1016/j.jallcom.2013.09.171.

5. Williams, C. B. *Towards the design of a layerbased additive manufacturing process for the realization of metal parts of designed mesostructured [Text]* / C. B. Williams, F. Mistree, D. W. Rosen // *Proc. 16th Solid Free. Fabr. Symp.* – 2005. – P. 217–230.

6. *Effect of molten pool boundaries on the mechanical properties of selective laser melting parts [Text]* / W. Shifeng, L. Shuai, W. Qingsong, C. Yan, Z. Sheng, S. Yusheng // *J. Mater. Process. Technol.* – 2014. – vol. 214, no. 11. – P. 2660–2667.

7. *Numerical investigation and an effective modelling on the Selective Laser Melting (SLM) process with aluminium alloy 6061 [Text]* / L.-E. Loh, C.-K. Chua, W.-Y. Yeong, J. Song, M. Mapar, S.-L. Sing, Z.-H. Liu, D.-Q. Zhang // *Int. J. Heat Mass Transf.* – 2015. – vol. 80. – P. 288–300.

8. *Microstructure and hardness studies of Inconel 718 manufactured by selective laser melting before and after solution heat treatment [Text]* / W. M. Tucho, P. Cuvillier, A. Sjolyst-Kverneland, V. Hansen // *Materials Science & Engineering: A.* – 2017. – vol. 689. – P. 220–232.

9. *Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting process [Text]* / S. L. Campanelli, N. Contuzzi, A. Angelastro et al. // *New trends in Technologies : Devices, Computer, Communication and Industrial Systems.* – 2010. – P. 233–252.

10. Yuan, H. *Effect of the δ phase on the hot deformation behavior of Inconel 718 [Text]* / H. Yuan, W. C. Liu // *Mater. Sci. Eng.: A.* – 2005. – vol. 408, No. 1–2. – P. 281–289.

11. *ASM Metals HandBook V. 2. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials [Text]*. – ASM International, 2002. – 1328 p.

12. Розенберг, В. М. *Основы жаропрочности металлических материалов [Текст] : Монография* / В. М. Розенберг. – М. : *Металлургия*, 1973. – 324 с.

13. *Машиностроение: Энциклопедия Т. II-3: Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы [Text] : Монография* / И. Н. Фридляндер, О. Г. Сенатрова, О. Е. Осинцев [и др.] ; Под общ. ред. И. Н. Фридляндера. – М. : *Машиностроение*, 2001. – 880 с.

14. *Microstructural and Microhardness Evolution from Homogenization and Hot Isostatic Pressing on Selective Laser Melted Inconel 718: Structure, Texture, and Phases [Text]* / R. Seede, A. Mostafa, V. Brailovski, M. Jahazi, M. Medraj // *J. Manuf. Mater. Process.* – 2018. – № 2. – P. 30–51.

15. Reed, R. C. *The Superalloys: Fundamentals and Applications [Text]: monograph* / R. C. Reed. – Cambridge : Cambridge University Press, 2006. – 390 p.

16. *A study of the micro-structural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V [Text]* / L. Thijs, F. Verhaeghe, T. Craeghs, J. V. Humbeeck, J.-P. Kruth // *Acta Mater.* – 2010. – vol. 58, № 9. – P. 3303–3312.

17. Parimi, L. L. *Microstructural and texture development in direct laser fabricated IN718 [Text]* / L. L. Parimi, G. A. Ravi, D. Clark, M. M. Attallah // *Mater. Charact.* – 2014. – vol. 89. – P. 102–111. Doi: 10.1016/j.matchar.2013.12.012.

18. *Effects of Selective Laser Melting additive manufacturing parameters of Inconel 718 on porosity, microstructure and mechanical properties [Text]* / K. Moussaoui, W. Rubio, M. Mousseigne, T. Sultan, F. Rezai // *Materials Science and Engineering: A.* – 2018. – vol. 735, № 26. – P. 182–190.

19. *Effect of laser focus shift on surface quality and density of Inconel 718 parts produced via selective laser melting [Text]* / E. B. Glenn, D. B. Witkin, T. D. McLouth, D. N. Patel, R. J. Zaldivar // *Additive Manufacturing.* – 2018. – vol. 22. – P. 207–215.

References

1. Kruth, J.-P., Leu, M.-C., and Nakagawa, T. *Progress in additive manufacturing and rapid prototyping. CIRP Ann.-Manuf. Technol.*, 1998, vol. 47, no. 2, pp. 525–540. Doi: 10.1016/S0007-8506(07)63240-5.

2. Mahoney, M. W. Superplastic Properties of Alloy 718. *Superalloy 718 Metallurgy and Applications. The Minerals, Metals & Materials Society*, 1989, pp. 391-405. DOI: 10.7449/1989/Superalloys_1989_391_405.
3. Huzel, D. K., Huang, D. H. *Design of Liquid Propellant Rocket Engines*. Huston, National Aerospace And Space Administration Publ., 1967. 461 p.
4. Jia, Q., Gu, D. Selective laser melting additive manufacturing of Inconel 718 superalloy parts: Densification, microstructure and properties. *J. Alloys Compd.*, 2014, vol. 585, pp. 713–721. Doi: 10.1016/j.jallcom.2013.09.171.
5. Williams, C. B., Mistree, F., Rosen, D. W. Towards the design of a layerbased additive manufacturing process for the realization of metal parts of designed mesostructured. *Proc. 16th Solid Free. Fabr. Symp.*, 2005, pp. 217–230.
6. Shifeng, W., Shuai, L., Qingsong, W., Yan, C., Sheng, Z., and Yusheng, S. Effect of molten pool boundaries on the mechanical properties of selective laser melting parts. *J. Mater. Process. Technol.*, 2014, vol. 214, no. 11, pp. 2660–2667.
7. Loh, L.-E., Chua, C.-K., Yeong, W.-Y., Song, J., Mapar, M., Sing, S.-L., Liu, Z.-H., and Zhang, D.-Q. Numerical investigation and an effective modelling on the Selective Laser Melting (SLM) process with aluminium alloy 6061. *Int. J. Heat Mass Transf.*, 2015, vol. 80, pp. 288–300.
8. Wakshum, M. Tucho, Cuvillier, P., Sjolyst-Kverneland, A., Hansen, V. Microstructure and hardness studies of Inconel 718 manufactured by selective laser melting before and after solution heat treatment. *Materials Science & Engineering: A*, 2017, vol. 689, pp. 220–232. DOI: 10.1016/j.msea.2017.02.062.
9. Campanelli, S. L., Contuzzi, N., Angelastro, A. Capabilities and Performances of the Selective Laser Melting process. *New trends in Technologies: Devices, Computer, Communication and Industrial Systems*, 2010, pp. 233-252. DOI: 10.5772/10432.
10. Yuan, H., Liu, W. C. Effect of the δ phase on the hot deformation behavior of Inconel 718. *Mater. Sci. Eng.: A*, 2005, vol. 408, no. 1–2, pp. 281–289. DOI:10.1016/j.msea.2005.08.126.
11. *ASM Metals Handbook V. 2. Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Publ., 2002. 1328 p.
12. Rozenberg, V.M. *Osnovy zharoprochnosti metallicheskih materialov* [Fundamentals of heat resistance of metallic materials]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 324 p.
13. Fridlyander, I. N., Senatorova, O. G., Osincev, O. E. *Mashinostroenie: Ehnciklopediya. T. II-3: Cvetnye metally i splayy. Kompozicionnye metallicheskie materialy* [Engineering: Encyclopedia T. II-3: Non-ferrous metals and alloys. Composite metal materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 880 p.
14. Seede, R., Mostafa, A., Brailovski, V., Jahazi, M., and Medraj, M., Microstructural and Microhardness Evolution from Homogenization and Hot Isostatic Pressing on Selective Laser Melted Inconel 718: Structure, Texture, and Phases. *J. Manuf. Mater. Process.*, 2018, no. 2, pp. 30-51. Doi 10.3390/jmmp2020030.
15. Reed, R. C. *The Superalloys: Fundamentals and Applications*. Cambridge, Cambridge University Press Publ., 2006. 390 p.
16. Thijs, L., Verhaeghe, F., Craeghs, T., Humbeeck, J. V., Kruth, J.-P. A study of the microstructural evolution during selective laser melting of Ti–6Al–4V. *Acta Mater.*, 2010, vol. 58, no. 9, pp. 3303–3312. Doi: 10.1016/j.actamat.2010.02.004.
17. Parimi, L. L., Ravi, G. A., Clark, D., and Attallah, M. M. Microstructural and texture development in direct laser fabricated IN718. *Mater. Charact.*, 2014, vol. 89, pp. 102–111. Doi: 10.1016/j.matchar.2013.12.012.
18. Moussaoui, K., Rubio, W., Mousseigne, M., Sultan, T., Rezai F. Effects of Selective Laser Melting additive manufacturing parameters of Inconel 718 on porosity, microstructure and mechanical properties. *Materials Science and Engineering: A*, vol. 735, no. 26, 2018, pp. 182-190.
19. Bean, G. E., Witkin, D. B., McLouth, T. D., Patel, D. N., Zaldivar, R. J. Effect of laser focus shift on surface quality and density of Inconel 718 parts produced via selective laser melting. *Additive Manufacturing*, 2018, vol. 22, pp. 207-215.

Поступила в редакцію 10.03.2019, рассмотрена на редколлегии 15.04.2019

РЕАЛІЗАЦІЯ SLM - ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ З ЖАРОМІЦНОГО СПЛАВУ INCONEL 718, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ В АВІАЦІОННО-КОСМІЧНІЙ ТЕХНІЦІ

С. В. Аджамський

Новий метод виробництва, званий аддитивними технологіями, є методом з можливістю виробництва 3D-виробів пошарово. Одним з найбільш широко використовуваних методів адитивного виробництва металевих виробів є селективне лазерне плавлення. Для плавлення металу у вигляді порошку, використовують іттербійові (ytterbium) волоконні лазера потужністю від 200 до 1000 Вт, випромінювання яких за допомогою дзеркал на швидкодіючому приводі фокусується в потрібне місце. Предметом досліджень є можливість створення виробів з жароміцного сплаву INCONEL 718 методом пошарового сплавлення на обладнанні виробництва LLC «Additive Laser Technology of Ukraine». Матеріалом для

досліджень був тестовий зразок, виготовлений методом SLM (лазерне селективне плавлення) шляхом пошарового сплаву металевого порошку жароміцного сплаву INCONEL 718 за допомогою впливу лазерного променя. Методики дослідження: мікроструктурний аналіз за допомогою світлового мікроскопа Carl Zeiss AXIOVERT M200 MAT, гранулометричний аналіз - за допомогою растрового електронного мікроскопа REM-106, мікроструктуру виявляли шляхом травлення в $\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$. Мета роботи: встановлення можливості виготовлення якісного зразка зі сплаву INCONEL 718, дослідження його пористості і мікроструктури як основних показників якості побудови. Результати: встановлено, що обладнання виробництва LLC «Additive Laser Technology of Ukraine» дозволяє реалізовувати SLM-процес і здійснювати виготовлення виробів із металу INCONEL 718 з високою щільністю металу. Виконано дослідження мікроструктури в площинах паралельній та перпендикулярній до напрямку побудови зразка. Висновки: адитивні технології є перспективними для створення деталей і конструкцій для аерокосмічної техніки, дозволяючи скоротити час і витрати на їх проектування і створення. Показана можливість створення якісних виробів зі сплаву INCONEL 718 методом SLM на установці виробництва ТОВ «Additive Laser Technology of Ukraine» (Дніпро). Показано взаємозв'язок параметрів процесу і мікроструктури, що обумовлює необхідність розробки обґрунтованих режимів SLM-процесу для виробів різного призначення.

Ключові слова: адитивні технології; лазерне селективне плавлення; нікелевий сплав; пористість; мікроструктура.

IMPLEMENTATION OF SLM - TECHNOLOGIES FOR THE MANUFACTURE OF SAMPLES FROM INCONEL 718 HEAT-RESISTANT ALLOY, USED IN AVIATION-SPACE TECHNOLOGY

S. V. Adzhamskiy

The new production method, called additive technologies, is a method with the ability to produce 3D products in layers. One of the most widely used methods for the additive production of metal products is selective laser melting. To melt the metal in the form of a powder, use a ytterbium fiber laser with a power of 200 to 1000 W, the radiation of which with the help of mirrors on a high-speed drive is focused to the required place. The subject of research was the possibility of creating products from the heat-resistant alloy INCONEL 718 by the method of layer-by-layer fusion on the equipment produced by LLC «Additive Laser Technology of Ukraine». The material for research was a test sample made by the SLM method (laser selective melting) by layer-by-layer fusion of the metal powder of the heat-resistant alloy INCONEL 718 with the laser beam. Research methods: microstructural analysis by light microscope Carl Zeiss AXIOVERT M200 MAT, particle size analysis by scanning electron microscope REM 106, the microstructure was detected by etching in $\text{CuSO}_4 + \text{HCl}$. Objective: to establish the possibility of manufacturing a high-quality sample of alloy INCONEL 718, the study of its porosity and microstructure as the main indicators of print quality. Results: it was found that the equipment produced by LLC «Additive Laser Technology of Ukraine» allows to implement the SLM process and to manufacture products from INCONEL 718 alloy with high metal density. The study of the microstructure in the planes parallel and perpendicular to the direction of sample construction was performed. Conclusions: additive technologies are promising for the creation of parts and structures for aerospace technology, allowing to reduce the time and cost of their design and creation. The possibility of creating high-quality products from INCONEL 718 alloy using the SLM method at the installation of the production of LLC «Additive Laser Technology of Ukraine» (Dnipro) is shown. The interrelation of process parameters and microstructure is shown, which necessitates the development of reasonable SLM process modes for products for various purposes.

Keywords: additive technologies; laser selective melting; nickel alloy; porosity; microstructure.

Аджамский Сергей Викторович – аспирант кафедры космических информационных технологий, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара; директор ООО «Аддитивные Лазерные Технологии Украины», Днепр, Украина.

Adzhamskiy Sergey Viktorovich – PhD student of the Department of Space Information Technologies, Oles Honchar Dnipro National University; Director of «Additive Laser Technologies of Ukraine», Ltd., Dnipro, Ukraine.