УДК 621.923.047-027.236

doi: 10.32620/aktt.2021.2.08

С. В. АДЖАМСЬКИЙ¹, Г. А. КОНОНЕНКО^{1,2},
Р. В. ПОДОЛЬСЬКИЙ^{1,2}, С. І. БАДЮК¹

¹ LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна

² Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ПОЛІРУВАННЯ ЗРАЗКІВ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ З РІЗНОЮ ШОРСТКІСТЮ ЗІ СТАЛІ AISI 316L, ВИГОТОВЛЕНИХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ SLM

Технологія адитивного виробництва, також відома як 3D-друк, останнім часом стає все більш популярною, а також розширюється кількість матеріалів і методів, які можна використовувати. Оскільки виробничі процеси продовжують удосконалюватися і розвиватися, попит на більш швидкі і менш дорогі виробничі процеси дозволив розробити ряд процесів швидкого прототипування (RP). З використанням адитивного виробництва практично будь-яка геометрія з варіаціями розміру і складності може бути виготовлена з високим ступенем точності. Типова мікроструктура металу після завершення процесу побудови являє собою дисперсні дендритні і комірчасті структури γ -фази в межах ванн розплаву одичних треків, в результаті перекриття яких поширено створюється деталь. Основними проблемами забезпечення високої якості виробів за допомогою SLM-технології є пористість, гаряче розтріскування, анізотропія, шорсткість поверхні, забезпечення необхідної мікроструктури синтезованого матеріалу. Покращення шорсткості поверхні, блиску елементів поверхні з нержавіючої сталі після електрохімічного полірування (ЕП) є одними з найважливіших характеристик процесу. Були виготовлені зразки за технологією SLM з порошку сталі аустенітного класу AISI 316L з контрольованим дефектом у вигляді локального перерізу в результаті, якого утворюється мінливість помаранчевого кольору, яка утворюється під час 3-D друку. Зразки обернено симетричні, мають фігуру рівнобічної трапеції з основами 20 та 5 мм, висотою 10 мм та товщиною 5 мм. Основне тіло обидвох зразків друкувалось за однаковими режимами при потужності 220 Вт, швидкості 1000 мм/с та відстанню між треками 0,14 мм. Для утворення контрольованого дефекту при друці границь зразків застосовували наступні режими: потужність 120 Вт, швидкість 1050 мм/с та відстань між треками 0,02 мм. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна». Протравлювання для виявлення мікроструктури зразків проводилось за допомогою розчину $\text{HCl} + \text{HNO}_3$. Електрополірування проводилось у розчині ортофосфорної кислоти (H_3PO_4) з гліцином ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) при щільності струму 3 А/см². Металографічні дослідження показали, що конфігурація треків в області збільшення перерізу зразків більш рівномірна. На підставі даного дослідження були побудовані схеми розподілу зон з різним ступенем рівновісності треків, рівномірності структури. Встановлено більш інтенсивну взаємодію реактиву з мікроструктурою поблизу поверхні з більшою шорсткістю. Електрополірування рівнобедрених трапецій відбувалось за трьома етапами: 1) візуально – оптичний огляд з фіксацією, контроль шорсткості, ваги та геометрії перед початком процесу; 2) контроль шорсткості та геометрії після 3 хв. процесу; 3) візуально – оптичний огляд з фіксацією, контроль шорсткості, ваги та геометрії після 6 хв. електрополірування. З аналізу отриманих даних шорсткості та реальної вольт-амперної кривої встановлено, що зона 2 з найбільшою площею мала незначну зміну шорсткості, зона 1 та зона 3 зі зменшенням площі мали більш значну втрату в середньому на 33%. Під час контролю ваги перед випробуванням та після показав, що зразки втратили приблизно однакову вагу близька 1,5%. На підставі співвідношення отриманих результатів встановлено, що при подачі фіксованої сили струму та постійної потужності електрополірування не є ефективним для активного рівномірного анодування поверхні простої фігури з змінною площею о перерізі. Встановлено, що електрополірування найбільш інтенсивно проходить в області з меншою площею в перерізі.

Ключові слова: SLM-технологія; AISI 316L; мікроструктура; електрополірування; втрата маси; шорсткість.

Вступ

Технологія адитивного виробництва, також відома як 3D-друк, останнім часом стає все більш популярною, а також розширюється кількість матеріалів і методів, які можна використовувати.

Оскільки виробничі процеси продовжують удосконалюватися і розвиватися, попит на більш швидкі і менш дорогі виробничі процеси дозволив розробити ряд процесів швидкого прототипування (RP). З використанням адитивного виробництва практично будь-яка геометрія з варіаціями розміру і складності може

бути виготовлена з високим ступенем точності [1]. Технології RP дозволяють виготовляти складні тривимірні геометрії за допомогою адитивного виробництва (AM). Замість того, щоб видаляти матеріал з заготовки до тих пір, поки бажана геометрія не буде досягнута, як в субтрактивному виробництві (SM), матеріал додається шарами певної форми для створення кінцевої необхідної геометрії. Кожен наступний шар матеріалу приклеюється до попереднього шару за допомогою деякої форми контрольованого теплового впливу, в залежності від використовуваного методу. Спочатку методи AM використовувалися для створення прототипів або будь-якої невеликої кількості деталей. Хоча в даний час використання AM не обмежується прототипуванням або тимчасовим етапом проектування, а включає в себе безліч додатків технології, включаючи моделювання, створення шаблонів, виготовлення інструментів і виробництво кінцевих деталей у великих кількостях [2]. Деталі, виготовлені адитивним методом, можуть застосовуватися на будь-якому виробничому етапі як для виготовлення дослідних зразків, так і в якості самих готових виробів.

Селективне лазерне плавлення (SLM) - це перспективний сучасний напрям, який відкриває нові можливості для створення металовиробів складної форми найрізноманітнішого призначення [3]. Дана технологія дозволяє пошарово будувати деталь за допомогою локального плавлення металевого порошку променем лазера.

Типова мікроструктура металу після завершення процесу побудови являє собою дисперсні дендритні і комірчасті структури γ -фази в межах ванн розплаву одиничних треків, в результаті перекриття яких пошарово створюється деталь [3].

Основними проблемами забезпечення високої якості виробів за допомогою SLM-технології є пористість, гаряче розтріскування, анізотропія, шорсткість поверхні, забезпечення необхідної мікроструктури синтезованого матеріалу [3]. Покращення шорсткості поверхні, блиску елементів поверхні з нержавіючої сталі після є одними з найважливіших характеристик процесу електрохімічного полірування (ЕП) [4,5].

Мета роботи

Встановлення впливу електрохімічного полірування на зміну шорсткості та втрату ваги зразків змінного перерізу зі сталі AISI 316L, виготовлених за технологією SLM.

Матеріал і методика досліджень

Вихідним матеріалом був металевий порошок нержавіючої сталі 316L з розміром частинок від 10 до

45 мкм. Хімічний склад порошку 316L, % ваг.: Cr=17,79; Ni=12,63; Mo=2,35; Mn=0,78; Si=0,64; =0,016. Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа REM-106 (рис. 1, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 1, б наведено результати аналізу.

а)

б)

Рис. 1. Частинки вихідного матеріалу 316L при збільшенні 200 (а) та результати гранулометричного аналізу (б)

Були виготовлені зразки за технологією SLM (рис. 2, а) з порошку сталі аустенітного класу AISI 316L з контрольованим дефектом у вигляді локального перегріву в результаті, якого утворюється мінливість помаранчевого кольору (рис. 2, б, в), яка утворюється під час 3-D друку. Зразки обернено симетричні, мають фігуру рівнобічної трапеції з основами 20 та 5 мм, висотою 10 мм та товщиною 5 мм. Основне тіло обидвох зразків друкувалось за однаковими режимами при потужності 220 Вт, швидкості 1000 мм/с та відстанню між треками 0,14 мм. Для утворення контрольованого дефекту при друці границь зразків застосовували наступні режими: потужність 120 Вт, швидкість 1050 мм/с та відстань між треками 0,02 мм. Друк зразків проводився на 3D принтері

Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [3]. Дослідження мікроструктури проводилась на оптичних мікроскопах Olympus Tokyo та CarlZeiss AxioVert 200M mat. Протравлювання для виявлення мікроструктури зразків проводилось за допомогою розчину $\text{HCl} + \text{HNO}_3$. Електрополіровка проводилась у розчині ортофосфornoї кислоти (H_3PO_4) з гліцерином ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) при щільності струму 3 A/cm^2 . Контроль ваги та геометричних параметрів проводився за допомогою аналітичних ваг АДВ - 2000 та мікрометру МКЦ-25. Був проведений контроль шорсткості поверхні за допомогою прибору BioBase.

Дослідження мікроструктури основного тіла зразків показали, що їх середня щільність складає 99,73%, структура – аустеніт (рис. 3). На підставі зіставлення результатів візуально-оптичного контролю та мікроструктурного аналізу встановлені ділянки сильного витравлювання, що відповідають областям локального перегріву, які характеризуються градієнтом мінливості помаранчевого кольору.

Металографічні дослідження показали, що конфігурація треків в області збільшення перерізу зразків більш рівномірна (рис. 3). На підставі даного дос-

лідження були побудовані схеми розподілу зон з різним ступенем рівновісності треків, рівномірності структури (рис. 4). Похилі грані зразка 1 мають шорсткість близько $6,1 \dots 6,5 \text{ мкм}$ при $\lambda = 0,25 \text{ мм}$, а шорсткість похилих граней зразка 2 складає $4,7 \dots 5,3 \text{ мкм}$ при $\lambda = 0,25 \text{ мм}$. Встановлено більш інтенсивну взаємодію реактиву зі мікроструктурою поблизу поверхні з більшою шорсткістю. Схема розподілу зон за інтенсивністю взаємодії (шорсткістю) з кислотним розчином наведено на рис. 5.

Проведено електрополірування рівнобедреної трапеції з використанням щільності струму 3 A/cm^2 шляхом занурення дослідних зразків в розчин ортофосфornoї кислоти з гліцерином при напруженні 17 В. Візуально- оптичний контроль та визначення шорсткості рівнобедреної трапеції проводився з обох сторін зразків за схемою представленою на рис. 6. Виконували контроль втрати ваги. Зняття кислотності від електроліту проводилось в розчині харчової соди.

Електрополірування рівнобедрених трапецій відбувалось за трьома етапами: 1) візуально – оптичний огляд з фіксацією (рис. 7), контроль шорсткості (рис. 8), ваги та геометрії перед початком процесу;

Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків:
а – в робочому просторі Materialise, б – зразок 1, в – зразок 2

Рис. 3. Мікроструктура досліджених зразків

Рис. 4. Схема впливу геометрії на рівновісність треків, рівномірність структури

Рис. 5. Схема розподілу витравлювання зразків кислотним розчином відносно шорсткості бічних і похилих граней

Рис. 6. Схема контролю шорсткості зразка у вигляді рівнобедреної трапеції

2) контроль шорсткості (рис. 8) та геометрії після 3 хв. процесу; 3) візуально – оптичний огляд з фіксацією (рис. 7), контроль шорсткості (рис. 8), ваги та геометрії після 6 хв. електрополірування. На кожному етапі фіксувалась реальна вольт-амперна крива за допомогою осцилографа (рис. 9).

Під час проведення електрополірування було встановлено нерівномірність активного анодування поверхневого шару зони 2, що було зафіксовано на підставі контролю шорсткості.

З аналізу отриманих даних шорсткості та реальної вольт-амперної кривої встановлено, що зона 2 з

найбільшою площею мала незначну зміну шорсткості, зона 1 та зона 3 зі зменшенням площі мали більш значну втрату в середньому на 33%. Контроль ваги представлено в таблиці 1.

Під час проведення електрополірування було встановлено нерівномірність активного анодування поверхневого шару зони 2, що було зафіксовано на підставі контролю шорсткості.

З аналізу отриманих даних шорсткості та реальної вольт-амперної кривої встановлено, що зона 2 з найбільшою площею мала незначну зміну шорсткості, зона 1 та зона 3 зі зменшенням площі мали більш значну втрату в середньому на 33%. Контроль ваги представлено в таблиці 1.

Таблиця 1
Контроль ваги дослідних зразків

Момент дослідження	Зразок 1	Зразок 2
Перед випробуванням	5,5468	5,4128
Після 6 хвилин	5,4592	5,3253

Під час контролю ваги перед випробуванням та після показав, що зразки втратили приблизно однакову вагу близька 1,5 %. На підставі співвідношення отриманих результатів встановлено, що при подачі фіксованої сили струму та постійної потужності електрополірування не є ефективним для активного рівномірного анодування поверхні простої фігури з змінною площею о перерізі. Встановлено, що електрополірування найбільш інтенсивно проходить в області з меншою площею в перерізі.

Рис. 7. Візуально- оптичний контроль дослідних зразків

Рис. 8. Результати контролю шорсткості на всіх етапах електрополірування згідно схеми представлений на рис. 6

Рис. 9. Реальна вольт-амперна крива дослідних зразків

Висновки

1. Побудовані схеми впливу геометрії на рівновісність треків та рівномірність структури. Встановлено, що щільність треків та заповнення зразка за допомогою плавлення більш рівномірно в області зеленої зони.

2. На підставі візуально-оптичного контролю та мікроструктурного аналізу зразків з контрольованим дефектом встановлені, області схильні до перегріву, що утворюють ефект інтерференції (помаранчевого кольору) на границі зразків.

3. З аналізу отриманих даних шорсткості та реальної вольт-амперної кривої встановлено, що зона 2 з найбільшою площею мала незначну зміну шорсткості, зона 1 та зона 3 зі зменшенням площі мали більш значну втрату в середньому на 33%.

4. Контролю ваги перед випробуванням та після показав, що зразки втратили приблизно однакову вагу близька 1,5%.

5. На підставі співвідношення отриманих результатів встановлено, що при подачі фіксованої сили струму та постійної потужності електрополірування не є ефективним для активного рівномірного анодування поверхні простої фігури з зміною площею о перерізі. Встановлено, що електрополірування найбільш інтенсивно проходить в області з меншою площею в перерізі.

Література

1. Khakbiz, M. Optimization of Powder Injection Molding Process Parameter for Production SS316/TiC Composite for Biomedical Application [Text] / M. Khakbiz, A. Simchi // *Journal of Advanced Materials and Technologies*. – 2019. – vol. 7, iss. 4. – P. 1-10.

2. Highly effective smoothing of 3D-printed metal structures via overpotential electrochemical polishing [Text] / S. Chang, A. Liu, Y. A. Ong, L. Zhang, X. Huang, Y. H. Tan, L. Zhao, L. Li, J. Ding // *Materials Research Letters*. – 2019. – vol. 7, iss. 7. – P. 282-289. DOI: 10.1080/21663831.2019.1601645.

3. Adjamskiy, S. Mechanical properties of heat-resistant superalloy Inconel 718 obtained by selective laser melting and heat treatment under different load directions [Text]. / S. Adjamskiy, G. Kononenko, R. Podolskiy // *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*. – 2020. – vol. 99, no. 3. – P. 75-85. DOI: 10.33108/visnyk_tntu2020.03.075.

4. Łyczkowska-Widlak, E. Electrochemical Polishing of Austenitic Stainless Steels [Text] / E. Łyczkowska-Widlak, P. Lochyński, G. Nawrat // *Materials*. – 2020. – Vol. 13, Iss. 11. – Article Id: 2557. – 25 p. DOI: 10.3390/ma13112557.

5. Zatkalíková, V. Corrosion resistance of electropolished AISI 304 stainless steel in dependence of temperature [Text] / V. Zatkalíková, L. Markovičová // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering. Development of Materials Science in Research and Education (DMSRE28) 3–7 September 2018, Pavlov, Czech Republic*. – 2019. – Vol. 465. – Article Id: 012011. – 8 p. DOI: 10.1088/1757-899X/465/1/012011.

References

1. Khakbiz, M., Simchi, A. Optimization of Powder Injection Molding Process Parameter for Production SS316/TiC Composite for Biomedical Application. *Journal of Advanced Materials and Technologies*, 2019, vol. 7, iss. 4. pp. 1-10.

2. Chang, S., Liu, A., Ong, Y. A., Zhang, L., Huang, X., Tan, Y. H., Zhao, L., Li, L., Ding, J. Highly effective smoothing of 3D-printed metal structures via overpotential electrochemical polishing. *Materials Research Letters*, 2019, vol. 7, iss. 7, pp. 282-289. DOI: 10.1080/21663831.2019.1601645.

3. Adjamskiy, S.; Kononenko, G.; Podolskiy, R. Mechanical properties of heat-resistant superalloy Inconel 718 obtained by selective laser melting and heat treatment under different load directions. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020, vol. 99, no. 3. pp. 75-85. DOI: 10.33108/visnyk_tntu2020.03.075.

4. Łyczkowska-Widłak, E., Lochyński, P., Nawrat, G. Electrochemical Polishing of Austenitic Stainless Steels. *Materials*, 2020, vol. 13, iss. 11, article id: 2557, 25 p. DOI: 10.3390/ma13112557.

5. Zatkáliková, V., Markovičová, L. Corrosion resistance of electropolished AISI 304 stainless steel in dependence of. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering. Development of Materials Science in Research and Education (DMSRE28) 3–7 September 2018, Pavlov, Czech Republic*, 2019, vol. 465, article id: 012011. 8 p. DOI: 10.1088/1757-899X/465/1/012011.

Надійшла до редакції 5.02.2021, розглянута на редколегії 16.04.2021

RESEARCH EFFICIENCY ELECTROCHEMICAL POLISHING VARIABLE SECTION SAMPLES WITH DIFFERENT ROUGHNESS OF STEEL AISI 316L, MANUFACTURED BY TECHNOLOGY OF SELECTIVE LASER MELTING

S. Adjamskiy, G. Kononenko, R. Podolskiy, S. Badyuk

Additive manufacturing technology, also known as 3D printing, has become an increasing amount of popular lately, and the number of materials and methods that can be used is expanding. As manufacturing processes continue to improve and evolve, the demand for faster, less expensive manufacturing processes has enabled a range of Rapid Prototyping (RP) processes to be developed. Since production processes continue to evolve and grow, the demand for faster and less expensive production processes has allowed the development of a series of processes of rapid prototyping (RP). With additive manufacturing, virtually any geometry with variations in size and complexity can be produced with a high degree of accuracy. The typical microstructure of the metal after the completion of the construction process is the dispersed dendritic and cellular structures of the γ -phase within the melt baths of single tracks, because of the overlap of which a part is created layer by layer. The main problems of ensuring high-quality products using SLM technology are porosity, hot cracking, anisotropy, surface roughness, and ensuring the necessary microstructure of the synthesized material. Improvement of surface roughness, the brilliance of stainless steel surface elements after electrochemical polishing (EP) is one of the most important characteristics of the process. Samples were made using the SLM technology from austenitic steel powder AISI 316L with a controlled defect in the form of local overheating, because of which an orange variability is formed, which is formed during 3-D printing. The samples are inversely symmetrical, have an equilateral trapezoid shape with bases of 20 and 5 mm, a height of 10 mm, and a thickness of 5 mm. The main body of both samples was printed in the same modes at a power of 220 W, a speed of 1000 mm / s, and a track spacing of 0,14 mm. To form a controlled defect when printing the boundaries of the samples, the following modes were used: power 120 W, speed 1050 mm / s, and distance between tracks 0,02 mm. The samples were printed in an Alfa-280 3D printer manufactured by ALT Ukraine. Etching to reveal the microstructure of the samples was conducted using an HCl + HNO₃ solution. Electropolishing was conducted in a solution of orthophosphoric acid (H₃PO₄) with glycerol (C₃H₈O₃) at a current density of 3 A / cm². Metallographic studies have shown that the configuration of the tracks in the area of increasing the cross-section of the samples is more uniform. Based on this study, schemes for distributing zones with varying degrees of track equiaxiality and structure uniformity were constructed. A more intense interaction of the reagent with the microstructure near the surface with greater roughness was found. The electropolishing of isosceles trapezoids occurred in three stages: 1) visual - optical examination with fixation, control of roughness, weight, and geometry before starting the process; 2) control of roughness and geometry after 3 min. process; 3) visual - optical examination with fixation, control of roughness, weight, and geometry after 6 min electropolishing. From the analysis of the obtained roughness data and the real volt-ampere curve, it was found that zone 2 with the largest area had an insignificant change in roughness, zone 1 and zone 3 with a decrease in the area had a more significant loss on average by 33%. Controlling the weight before and after the test showed that the samples lost approximately the same weight of about 1,5%. Based on the ratio of the results obtained, it was found that when a fixed current strength and constant power are applied, electropolishing is not effective for active uniform anodization of the surface of a simple figure with a change in the area in the section. It was found that electropolishing most intensively occurs in an area with a smaller cross-sectional area.

Keywords: SLM technology; AISI 316L; microstructure; electropolishing; weight loss; roughness.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ИЗ СТАЛИ AISI 316L, ИЗГОТОВЛЕННЫЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ SLM

С. В. Аджамский, А. А. Кононенко, Р. В. Подольский, С. И. Бадюк

Технология аддитивного производства, также известная как 3D-печать, в последнее время становится все более популярной, а также расширяется количество материалов и методов, которые можно использовать.

Поскольку производственные процессы продолжают совершенствоваться и развиваться, спрос на более быстрые и менее дорогие производственные процессы позволил разработать ряд процессов быстрого прототипирования (RP). С использованием аддитивного производства практически любая геометрия с вариациями размера и сложности может быть изготовлена с высокой степенью точности. Типичная микроструктура металла после завершения процесса построения представляет собой дисперсные дендритные и ячеистые структуры γ -фазы в пределах ванн расплава единичных треков, в результате перекрытия которых послойно создается деталь. Основными проблемами обеспечения высокого качества изделий с помощью SLM-технологии является пористость, горячее растрескивание, анизотропия, шероховатость поверхности, обеспечение необходимой микроструктуры синтезированного материала. Улучшение шероховатости поверхности, блеск элементов поверхности из нержавеющей стали после электрохимического полирования (ЭП) является одним из важнейших характеристик процесса. Были изготовлены образцы по технологии SLM из порошка стали аустенитного класса AISI 316L с контролируемым дефектом в виде локального перегрева в результате которого образуется изменчивость оранжевого цвета, которая образуется во время 3-D печати. Образцы обратно симметричные, имеют фигуру равнобедренной трапеции с основаниями 20 и 5 мм, высотой 10 мм и толщиной 5 мм. Основное тело обоих образцов печаталось по одинаковым режимам при мощности 220 Вт, скорости 1000 мм / с и расстоянием между треками 0,14 мм. Для образования контролируемого дефекта при печати границ образцов применяли следующие режимы: мощность 120 Вт, скорость 1050 мм / с и расстояние между треками 0,02 мм. Печать образцов проводилась в 3D принтере Alfa-280 производства компании ООО «АЛТ Украина». Протравливание для выявления микроструктуры образцов проводилось с помощью раствора HCl + HNO₃. Электрополировка проводилась в растворе ортофосфорной кислоты (H₃PO₄) с глицерином (C₃H₈O₃) под плотностью тока 3 А / см². Металлографические исследования показали, что конфигурация треков в области увеличения сечения образцов более равномерная. На основании данного исследования были построены схемы распределения зон с разной степенью равноосности треков, равномерность структуры. Установлено более интенсивное взаимодействие реактива с микроструктурой вблизи поверхности с большей шероховатостью. Электрополировка равнобедренных трапеций происходило в три этапа: 1) визуально - оптический осмотр с фиксацией, контроль шероховатости, веса и геометрии перед началом процесса; 2) контроль шероховатости и геометрии после 3 мин. процесса; 3) визуально - оптический осмотр с фиксацией, контроль шероховатости, веса и геометрии после 6 мин. электрополировки. Из анализа полученных данных шероховатости и реальной вольтамперной кривой установлено, что зона 2 с наибольшей площадью имела незначительное изменение шероховатости, зона 1 и зона 3 с уменьшением площади имели более значительную потерю в среднем на 33%. При контроле веса перед испытанием и после показал, что образцы потеряли приблизительно одинаковый вес близко 1,5%. На основании соотношения полученных результатов установлено, что при подаче фиксированной силы тока и постоянной мощности электрополировка не является эффективной для активного равномерного анодирования поверхности простой фигуры с изменением площади в сечении. Установлено, что электрополировка наиболее интенсивно проходит в области с меньшей площадью в сечении.

Ключевые слова: SLM-технология; AISI 316L; микроструктура; электрополировка; потеря массы; шероховатость.

Аджамський Сергій Вікторович – директор, LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна.

Кононенко Ганна Андріївна – канд. техн. наук, учений секретар, Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, інженер- матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна.

Подольський Ростислав Вячеславович – провідний інженер, Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, інженер- матеріалознавець LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна.

Бадюк Сергій Іванович – канд. техн. наук, інженер-технолог, LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Дніпро, Україна.

Sergey Adjamskiy – Technical Director of Additive Laser Technology of Ukraine LLC, Dnipro, Ukraine, e-mail: info@alt-print.com, ORCID: 0000-0002-6095-8646.

Ganna Kononenko – Cand. 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, Dnipro, Ukraine, e-mail: perlit@ua.fm, ORCID: 0000-0001-7446-4105.

Rostislav Podolskiy – Lead Engineer of the Institute of Iron and Steel of Z. I. Nekrasov NAS of Ukraine, materials engineer LLC Additive Laser Technology of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: rostislavpodolskij@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0288-0641.

Sergey Badyuk – Cand. technical science, process engineer LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Dnipro, Ukraine, e-mail: uroboroz33@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0288-064x.