

УДК 669.017:669.15.26.74-194:621.746

**Г. А. Кононенко**, д.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-7446-4105

*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України  
ТОВ «Адитивні лазерні технології України»*

**С. В. Аджамський**, Ph. D. (Tech.), головний конструктор, ORCID 0000-0002-6095-8646

*ТОВ «Адитивні лазерні технології України»*

**Р. В. Подольський**, м.н.с., аспірант, ORCID 0000-0002-0288-0641

*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України  
ТОВ «Адитивні лазерні технології України»*

*Український державний університет науки і технологій*

**О. А. Сафронова**, м.н.с., аспірантка, ORCID 0000-0002-4032-4275

**Е. А. Шпак**, м.н.с., ORCID 0000-0002-6707-0877

*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

## **ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗРАЗКІВ СТАЛІ 316L, ВИГОТОВЛЕНИХ НА МАШИНІ ALFA-150 НА ВІДПОВІДНІСТЬ СВІТОВИМ АНАЛОГАМ**

**Анотація.** Метою роботи є дослідження мікроструктури та механічних властивостей зразків з нержавіючої сталі 316L, виготовлених за способом SLM. Нержавіюча сталь 316L широко вивчалася для стану після виготовлення за технологією селективного лазерного плавлення (SLM). Це пов'язано з широким застосуванням цього матеріалу в різних галузях промисловості, оскільки він демонструє достатню корозійну стійкість і відмінну пластичність. Таким чином, його застосування можна знайти в біомедичній, аерокосмічній, автомобільній та морській сферах. Деякі з проведених досліджень показали здатність SLM покращувати механічні властивості деталей, порівняно з традиційними методами. Застосовували металографічний аналіз, визначення механічних властивостей, хімічний аналіз. Об'єктом дослідження була нержавіюча сталь аустенітного класу 316L. Матеріалом для виготовлення зразків був порошок сплаву 316L з розміром частинок  $45 + 15 \mu\text{m}$ . Дослідні зразки для випробувань на розтягування були побудовані на обладнанні ТОВ «Адитивні лазерні технології України» (Alfa-150) за SLM-технологією по ідентичним режимам: потужність лазера - 290 Вт, швидкість сканування - 1100 мм/с, відстань між треками - 0,11 мм, стратегія сканування - шахові поля, порядок сканування- Zig-Zag, розмір полів - 5 мм, поворот шару відносно попереднього -  $67^\circ$ . За результатами аналізу механічних властивостей встановлено, що зразки виготовлені на 3-D принтері компанії ТОВ «Адитивні лазерні технології України» не поступаються за показниками якості провідним світовим компаніям, а за деякими характеристиками навіть перевищує. Слід зазначити, що результати визначення характеристик дослідних зразків порівнювали

з властивостями зразків, виготовлених за оптимальними параметрами процесу на обладнанні різних виробників, але не включають вплив товщини нанесеного шару. Виконані в роботі комплексні дослідження механічних властивостей зразків, виготовлених зі сталі 316L показали повну відповідність зразкам, які виготовлені на обладнанні, представленому на світовому ринку виготовлення продукції спеціального призначення.

**Ключові слова:** Alfa-150, сталь 316L, мікроструктура, механічні випробування, SLM- технологія.

**Посилання для цитування:** Порівняльні дослідження механічних властивостей зразків сталі 316L, виготовлених на машині ALFA-150 на відповідність світовим аналогам / Г. А. Кононенко, С. В. Аджамський, Р. В. Подольський, О. А. Сафронова, Е. А. Шпак. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 370-378. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-370-378.

**Стан питання.** Найчастіше використовуваними нержавіючими сталями є аустенітні марки, з яких AISI 302, 304 і 316 є достатньо популярними марками, що деформуються, а марки CF-8 і CF-8M є найбільш популярними серед литих. Ці марки містять 16% мас. або більше хрому – елемента, що стабілізує ферит, та достатню кількість елементів, що стабілізують аустеніт, таких як вуглець, азот, нікель та марганець, щоб зробити аустеніт стабільним при кімнатній температурі. Марки, що містять кремній, молібден, титан або ніобій, наприклад, AISI 302B, 316, 317, 321 і 347, іноді містять невелику кількість  $\delta$ -фериту через ферит-стабілізуючий вплив цих елементів. Сплави з високим вмістом нікелю є повністю аустенітними, наприклад, AISI 310 або 330. Для сплавів, схильних до стабілізації  $\delta$ -фериту, його кількість буде залежати від складу, хімічної однорідності та гарячої пластичної обробки. Сплави з особливо низьким вмістом вуглецю для мінімізації сприйнятливості до сенсibiliзації під час зварювання (наприклад, AISI 304L, 316L або 317L) матимуть більшу тенденцію до стабілізації фериту.

Нержавіюча сталь 316L широко вивчалася для технології SLM [1]. Це пов'язано з широким застосуванням цього матеріалу в різних галузях промисловості, оскільки він демонструє достатню корозійну стійкість і відмінну пластичність [2]. Таким чином, його застосування можна знайти в біомедичній, аерокосмічній, автомобільній та морській сферах. Деякі з проведених досліджень показали здатність технології SLM покращувати механічні властивості деталей, порівняно з традиційними методами.

На сьогоднішній день було проведено значний обсяг досліджень із виробництва аустенітної нержавіючої сталі 316L за допомогою процесу SLM [3-11]. Наприклад, параметри процесу, такі як потужність лазера, швидкість сканування, товщина шару та крок штрихування, були оптимізовані, щоб мінімізувати наявність пористості, яка згубно

позначається на механічних властивостях матеріалу. Виходячи з аналізу даних досліджень встановлено, що виготовлення дослідних зразків за раціональними режимами на різному обладнанні відіграє значну роль на механічні властивості на етапі після друку.

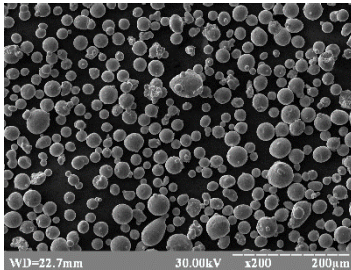
**Мета роботи:** дослідження мікроструктури та механічних властивостей зразків нержавіючої сталі 316L, виготовлених за способом селективного лазерного плавлення (SLM).

**Матеріали та методики:** металографічний аналіз, визначення механічних властивостей, хімічний аналіз.

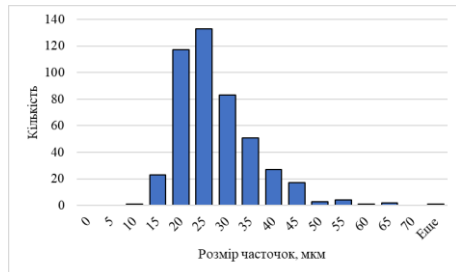
Об'єктом дослідження була нержавіюча сталь аустенітного класу 316L хімічний склад, якої представлено в таблиці 1. Матеріалом для виготовлення зразків був порошок сплаву 316L з розміром частинок  $45 + 15 \mu\text{m}$ . Для визначення форми і розмірів частинок вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа PEM-106 (рис. 1, а). На рис. 1, б наведені результати аналізу.

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідної сталі 316L, % мас.

Сталь	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
316L	0,016	0,78	0,64	0,005	0,008	17,79	12,63	0,04	2,35



а



б

Рисунок 1 - Частинки вихідного матеріалу 316L при збільшенні 200 (а), результати гранулометричного аналізу (б).

Дослідні зразки для випробувань на розтягування були побудовані на обладнанні ТОВ «Адитивні лазерні технології України» (Alfa-150) за SLM-технологією по ідентичним режимам: потужність лазера - 290 Вт, швидкість сканування- 1100 мм/с, відстань між треками – 0,11 мм, стратегія сканування – шахові поля, порядок сканування- Zig-Zag, розмір полів – 5 мм, поворот шару відносно попереднього – 67°. Механічні властивості визначали при випробуванні на розтягування за стандартною методикою (ДСТУ ISO 6892) на машині «Instron». Металографічні шліфи виготовляли за стандартними методиками з застосуванням алмазних паст. Дослідження мікроструктури виконували за допомогою оптичного мікроскопа Axiovert

200M. В дослідженнях застосовувались спеціалізовані програмні забезпечення: imageJ, AxioVision, WebPlotDigitizer, DAQMaster, Excel.

**Результати.** Результати досліджень мікроструктури дослідних зразків представлено на рис. 2. За результатами мікроструктурних досліджень (рис. 2) встановлено, що дослідна сталь має структуру аустеніту з чешуйчастою текстурою, характерною для деталей виготовлених за SLM-технологією. За результатами дослідження в полірованому стані дослідних зразків встановлено, що щільність складає 99,99 %.

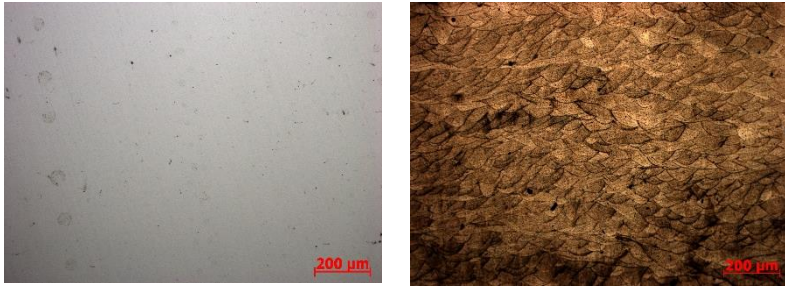


Рисунок 2 – Мікроструктура дослідної сталі 316L після виготовлення.

Результати механічних випробувань дослідних зразків в порівнянні з властивостями зразків, виготовлених з використанням обладнання відомих світових компаній в області адитивного виробництва наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати механічних випробувань дослідних зразків зі сталі 316L.

Компанія (Країна)	Модель машини	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\Psi$ , %
ТОВ «Адитивні лазерні технології України» (Україна)	Alfa-150	677±12	587±10	43±3	65±4
EOS (Німеччина) [12]	EOSINT M 270	703	456	45	-
SLM Solution (Німеччина) [13]	SLM280HL	624±11	499±21	46±6	-
Voestalpine Additive Manufacturing Center Ltd (Канада) [14]	vAMC	579±10	439±5	21±2	-
Renishaw plc (Велика Британія) [15]	AM125	644±14	518±1	54±4	-
Concept Laser, GmbH (Німеччина) [16]	M2	650±5	374±5	65±4	-
Trumpf GmbH (Німеччина) [17]	-	598±3	515±5	78±7	-

За результатами аналізу механічних властивостей встановлено, що зразки виготовлені на 3д принтері компанії ТОВ «Адитивні лазерні технології України» не поступаються провідним світовим компаніям, а в деяких

характеристиках навіть перевищує. Слід зазначити, що результати визначення характеристик дослідних зразків порівнювали з властивостями зразків, виготовлених за оптимальними параметрами процесу на обладнанні різних виробників, але не включають вплив товщини нанесеного шару. Таким чином, проведені в роботі комплексні дослідження механічних властивостей зразків виготовлених зі сталі 316L показали повну відповідність рівню показників зразків, виготовлених на обладнанні, представленому на світовому ринку виготовлення продукції спеціального призначення.

### Висновки

1. Встановлено, що обладнання компанії ТОВ «Адитивні лазерні технології України» дозволяє виготовляти зразки з сталі 316L, які не поступаються за показниками якості провідним світовим компаніям, а в деяких характеристиках навіть перевищують.

2. Металографічний аналіз показав, що дослідна сталь має структуру аустеніту з чешуйчастою текстурою. За результатами дослідження в полірованому стані дослідних зразків встановлено, що їх щільність складає 99,99 %.

### Перелік посилань

1. Sun Z., Tan X., Tor S. B., Yeong W. Y. Selective laser melting of stainless steel 316L with low porosity and high build rates. *Materials & Design*. 2016. Vol. 104. P. 197-204.
2. Mangour Al. B., Grzesiak D., Yang J.-M. In-situ formation of novel TiC-particlereinforced 316L stainless steel bulk-form composites by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017. Vol. 706. P. 409-418.
3. Niendorf T., Brenne F., Schaper M. Lattice Structures Manufactured by SLM: On the Effect of Geometrical Dimensions on Microstructure Evolution During Processing. *Metall. Mater. Trans. B*. 2014. Vol. 45. P. 1181-1185.
4. Wang X., Muñoz-Lerma J., Sanchez-Mata O., Shandiz M.A., Brodusch N., Gauvin R., Brochu M. Characterization of single crystalline austenitic stainless steel thin struts processed by laser powder bed fusion. *Scr. Mater.* 2019. Vol. 163. P. 51-56.
5. Wang X., Muñoz-Lerma J.A., Sánchez-Mata O., Shandiz M.A., Brochu M. Microstructure and mechanical properties of stainless steel 316L vertical struts manufactured by laser powder bed fusion process. *Mater. Sci. Eng. A*. 2018. Vol. 736. P. 27-40.
6. Wang X., Muñoz-Lerma J.A., Shandiz M.A., Sanchez-Mata O., Brochu M. Crystallographic-orientationdependent tensile behaviours of stainless steel 316L fabricated by laser powder bed fusion. *Mater. Sci. Eng. A*. 2019. Vol. 766. P. 138395.
7. Köhnen P., Haase C., Bültmann J., Ziegler S., Schleifenbaum J.H., Bleck W. Mechanical properties and deformation behavior of additively manufactured lattice structures of stainless steel. *Mater. Des.* 2018. Vol. 145. P. 205-217.
8. Sun Z., Tan X., Tor S.B., Chua C.K. Simultaneously enhanced strength and ductility for 3D-printed stainless steel 316L by selective laser melting. *NPG Asia Mater.* 2018. Vol. 10. P. 127-136.
9. Аджамский С. В., Кононенко Г. А., Подольський Р. В., Бадюк С.І. Дослідження

- ефективності електрохімічного полірування зразків змінного перерізу з різною шорсткістю зі сталі AISI 316L, виготовлених за технологією SLM. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2021. № 2 (170). С. 66-73. DOI: 10.32620/akt.2021.2.08.
10. Аджамський С. В., Подольський Р. В., Кононенко Г. А. Дослідження впливу шорсткості на властивості зразків зі сталі AISI 316L методом реєстрації макролокалізаційних полів. *Системні технології*. 2021. Т. 4. № 135. С. 3-11. DOI: 10.34185/1562-9945-4-135-2021-01.
  11. Аджамський С. В., Кононенко Г. А., Подольський Р. В. Виготовлення тракту охолодження вдосконаленої конструкції для камери згоряння рідинного ракетного двигуна за допомогою адитивних технологій. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. 2021. № 3. С. 42-48. DOI: 10.32620/akt.2021.3.05.
  12. Saeidi K. Stainless Steels Fabricated by Laser Melting: Scaled-down Structural Hierarchies and Microstructural Heterogeneities. Ph.D. Thesis, Stockholm University, Stockholm, Sweden, 2016.
  13. Montero Sistiaga M. L., Nardone S., Hautfenne C., Van Humbeeck J. Effect of heat treatment of 316L stainless steel produced by selective laser melting (SLM). *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference*. P. 558-565.
  14. Chadha K., Tian Y., Spray J. G., Aranas, Jr. C. Effect of Annealing Heat Treatment on the Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Hot Isostatic Pressed 316L Stainless Steel Fabricated by Laser Powder Bed Fusion. *Metals*. 2020. Vol. 10. Issue 6, P. 753. DOI: 10.3390/met10060753.
  15. Sabzi H. E., Hernandez-Nava E., Li X.-H., Fu H., San-Martín D., Rivera-Díaz-del-Castillo P. E.J. Strengthening control in laser powder bed fusion of austenitic stainless steels via grain boundary engineering. *Materials & Design*. 2021. Vol. 212. P. 110246.
  16. Carlton H.D., Haboub A., Gallegos G.F., Parkinson D.Y., MacDowell A.A. Damage evolution and failure mechanisms in additively manufactured stainless steel. *Mater. Sci. Eng., A*. 2016. Vol. 651. P. 406-414. DOI: 10.1016/j.msea.2015.10.073.
  17. Puichaud A.-H., Flament C., Chniouel A., Lomello F., Rouesne E., Giroux P.-F., Maskrot H., Schuster F., Béchade J.-L. Microstructure and mechanical properties relationship of additively manufactured 316L stainless steel by selective laser melting. *EPJ Nuclear Sci. Technol.* 2019. Vol. 5. P. 23.

## References

1. Sun Z., Tan X., Tor S. B., Yeong W. Y. Selective laser melting of stainless steel 316L with low porosity and high build rates. *Materials & Design*. 2016. Vol. 104. P. 197-204.
2. Mangour Al. B., Grzesiak D., Yang J.-M. In-situ formation of novel TiC-particle reinforced 316L stainless steel bulk-form composites by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*. 2017. Vol. 706. P. 409-418.
3. Niendorf T., Brenne F., Schaper M. Lattice Structures Manufactured by SLM: On the Effect of Geometrical Dimensions on Microstructure Evolution During Processing. *Metall. Mater. Trans. B*. 2014. Vol. 45. P. 1181-1185.
4. Wang X., Muñoz-Lerma J., Sanchez-Mata O., Shandiz M.A., Brodusch N., Gauvin R., Brochu M. Characterization of single crystalline austenitic stainless steel thin struts processed by laser powder bed fusion. *Scr. Mater.* 2019. Vol. 163. P. 51-56.
5. Wang X., Muñoz-Lerma J.A., Sánchez-Mata O., Shandiz M.A., Brochu M.

- Microstructure and mechanical properties of stainless steel 316L vertical struts manufactured by laser powder bed fusion process. *Mater. Sci. Eng. A*. 2018. Vol 736. P. 27-40.
6. Wang X., Muñiz-Lerma J.A., Shandiz M.A., Sanchez-Mata O., Brochu M. Crystallographic-orientationdependent tensile behaviours of stainless steel 316L fabricated by laser powder bed fusion. *Mater. Sci. Eng. A*. 2019. Vol. 766. P. 138395.
  7. Köhnen P., Haase C., Bültmann J., Ziegler S., Schleifenbaum J. H., Bleck W. Mechanical properties and deformation behavior of additively manufactured lattice structures of stainless steel. *Mater. Des.* 2018. Vol. 145. P. 205-217.
  8. Sun Z., Tan X., Tor S.B., Chua C.K. Simultaneously enhanced strength and ductility for 3D-printed stainless steel 316L by selective laser melting. *NPG Asia Mater.* 2018. Vol. 10. P. 127-136.
  9. Adzhamskij S. V., Kononenko G. A., Podolskyi R. V., Badjuk S.I. Doslidzhennja efektyvnosti elektrohimichnogo poliruvannya zrazkiv zminnogo pererizu z riznoju shorstkistju zi stali AISI 316L, vigotovlenih za tehnologiju SLM [Investigation of the efficiency of electrochemical polishing of variable cross-section samples with different roughness from AISI 316L steel, manufactured by SLM technology]. *Aerospace engineering and technology*. 2021. No. 2 (170). P. 66–73. (in Ukrainian) DOI: 10.32620/akt.2021.2.08.
  10. Adzhamskij S.V., Podolskyi R.V., Kononenko G.A. Doslidzhennja vplyvu shorstkosti na vlastivosti zrazkiv zi stali AISI 316L metodom reestracii makrolokalizacijnih poliv [Study of the effect of roughness on the properties of AISI 316L steel samples by the method of recording macro-localization fields]. *System technologies*. 2021. Vol. 4. No. 135. P. 3-11. (in Ukrainian). DOI: 10.34185/1562-9945-4-135-2021-01.
  11. Adzhamskij S. V., Kononenko G. A., Podolskyi R. V. Vigotovlennja traktu oholodzhennja vdoskonalenoj konstrukcii dlja kameri zgorjannja ridinnogo raketnogo dviguna za dopomogoju aditivnih tehnologij [Manufacturing of the cooling tract of an improved design for the combustion chamber of a liquid rocket engine using additive technologies]. *Aerospace engineering and technology*. 2021. No. 3. P. 42-48. (in Ukrainian). DOI: 10.32620/akt.2021.3.05.
  12. Saeidi K. Stainless Steels Fabricated by Laser Melting: Scaled-down Structural Hierarchies and Microstructural Heterogeneities. Ph.D. Thesis, Stockholm University, Stockholm, Sweden, 2016.
  13. Montero Sistiaga M. L., Nardone S., Hautfenne C., Van Humbeeck J. Effect of heat treatment of 316l stainless steel produced by selective laser melting (SLM). *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 26th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference*. P. 558-565
  14. Chadha K., Tian Y., Spray J. G., Aranas, Jr. C. Effect of Annealing Heat Treatment on the Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Hot Isostatic Pressed 316L Stainless Steel Fabricated by Laser Powder Bed Fusion. *Metals*. 2020. Vol. 10. Issue 6, P. 753. DOI: 10.3390/met10060753.
  15. Sabzi H. E., Hernandez-Nava E., Li X.-H., Fu H., San-Martín D., Rivera-Díaz-del-Castillo P. E.J. Strengthening control in laser powder bed fusion of austenitic stainless steels via grain boundary engineering. *Materials & Design*. 2021. Vol. 212. P. 110246.
  16. Carlton H.D., Haboub A., Gallegos G.F., Parkinson D.Y., MacDowell A.A. Damage evolution and failure mechanisms in additively manufactured stainless steel. *Mater. Sci. Eng., A*. 2016. Vol. 651. P. 406-414. DOI: 10.1016/j.msea.2015.10.073.

17. Puichaud A.-H., Flament C., Chniouel A., Lomello F., Rouesne E., Giroux P.-F., Maskrot H., Schuster F., Béchade J.-L. Microstructure and mechanical properties relationship of additively manufactured 316L stainless steel by selective laser melting *EPJ Nuclear Sci. Technol.* 2019. Vol. 5, P. 23.

**G. A. Kononenko**, D. Sc. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-7446-4105  
*Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine  
 LLC "Additive laser technologies of Ukraine"*

**S. V. Adjamskiy**, Ph. D. (Tech.), Chief Designer, ORCID 0000-0002-6095-8646  
*LLC "Additive laser technologies of Ukraine"*

**R. V. Podolskiy**, Junior Research, Ph. D. Student, ORCID 0000-0002-0288-0641  
*Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine  
 LLC "Additive laser technologies of Ukraine"  
 Ukrainian State University of Science and Technologies*

**O. A. Safronova**, Junior Research, Ph. D. Student, ORCID 0000-0002-4032-4275  
**E. A. Shpak**, Junior Research, ORCID 0000-0002-6707-0877

*Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine*

### **COMPARATIVE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF 316L STEEL SAMPLES MADE ON THE ALFA-150 MACHINE IN COMPLIANCE WITH WORLD ANALOGUES**

**Summary.** The purpose of the work is to study the microstructure and mechanical properties of 316L stainless steel samples made by the SLM method. 316L stainless steel has been extensively studied for the state after fabrication by selective laser melting (SLM). This is due to the wide use of this material in various industries, as it demonstrates sufficient corrosion resistance and excellent plasticity. Thus, its application can be found in the biomedical, aerospace, automotive and marine fields. Some of the studies conducted have shown the ability of SLM to improve the mechanical properties of parts compared to traditional methods. Metallographic analysis, determination of mechanical properties, and chemical analysis were used. The object of the study was austenitic grade 316L stainless steel. The material for making the samples was a 316L alloy powder with a particle size of  $45 + 15 \mu\text{m}$ . Experimental samples for tensile tests were built on the equipment of "Additive Laser Technologies of Ukraine" LLC (Alfa-150) using SLM technology in identical modes: laser power - 290 W, scanning speed - 1100 mm/s, distance between tracks - 0.11 mm, scanning strategy - checkerboard fields, scanning order - Zig-Zag, field size - 5 mm, rotation of the layer relative to the previous one -  $67^\circ$ . From the results of the analysis of mechanical properties, it was established that the samples made on the 3-D printer of Additive Laser Technologies of Ukraine LLC are not inferior in terms of quality to leading global companies, and in some characteristics even exceed them. It should be noted that the results of determining the characteristics of the experimental samples were compared with the properties of the samples manufactured according to the optimal process parameters on the equipment of different manufacturers,



but do not include the influence of the thickness of the applied layer. Comprehensive studies of the mechanical properties of the samples made of 316L steel showed full compliance with the samples produced on the equipment presented on the world market for the production of special-purpose products.

**Key words:** Alfa-150, 316L, microstructure, mechanical tests, SLM technology.

**Reference for citation:** Porivnialni doslidzhennia mekhanichnykh vlastyvostei zrazkiv stali 316L, vyhotovlenykh na mashyni ALFA-150 na vidpovidnist svitovym analoham [Comparative study of mechanical properties of 316L steel samples made on the ALFA-150 machine in compliance with world analogues] / G. A. Kononenko, S. V. Adjamsky, R. V. Podolskyi, O. A. Safronova, E. A. Shpak // *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 370-378. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-370-378.

*Стаття надійшла до редакції збірника 02.11.2022 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*