

Оригинальная статья

УДК 669-1

DOI: 10.57070/2304-4497-2025-2(52)-44-51

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА НАПЛАВЛЕНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 12X18H10T ПОСЛЕ ПРЯМОГО ЛАЗЕРНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

© 2025 г. К. Е. Еремицкая, Е. А. Носова, А. В. Балякин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Россия, 443086, Самара, Московское шоссе, 34)

Аннотация. Методом прямого лазерного выращивания на установке ИЛИСТ-Л были получены образцы из нержавеющей стали марки 12X18H10T при мощности лазерного излучения 1100 – 1500 Вт с толщиной стенки 10 мм для случая горизонтального и вертикального направлений выращивания образцов относительно большей стороны. Проведено исследование твердости и микротвердости образцов, выявлены их зависимости от режима выращивания. Установлено, что наиболее рациональным режимом, при котором достигаются однородность и высокий уровень свойств, является режим, мощность которого составляет 1400 Вт. Вертикальное направление выращивания, вызывающее более интенсивное охлаждение образцов, позволяет получить в среднем на 5 – 15 % более высокую микротвердость, чем горизонтальное направление выращивания. Повышение мощности от 1100 до 1400 Вт приводит к уменьшению этой разницы до нуля, но дальнейшее увеличение мощности до 1500 Вт вызывает повышение различий до 15 % за счет снижения микротвердости горизонтально выращенных образцов. Независимо от направления выращивания во всем диапазоне значений мощности (от 1100 до 1500 Вт) твердость стали марки 12X18H10T в приповерхностных областях имеет пониженные на 15 – 17 % значения по сравнению с центральной областью образцов. Исследование влияния параметров режима наплавления слоев на твердость и микротвердость изготавливаемой продукции из стали марки 12X18H10T методом прямого лазерного выращивания предоставляет основу для выбора мощности лазера и понимания его воздействия на механические свойства нержавеющей стали при разных направлениях выращивания.

Ключевые слова: прямое лазерное выращивание, нержавеющая сталь, режим наплавления, твердость, образцы, микротвердость

Для цитирования: Еремицкая К.Е., Носова Е.А., Балякин А.В. Исследование влияния параметров режима наплавления на твердость стали 12X18H10T после прямого лазерного выращивания. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*. 2025;2(52):44–51. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-2\(52\)-44-51](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-2(52)-44-51)

Original article

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE DEPOSITION MODE ON THE HARDNESS OF 12CR18NI10TI STEEL AFTER DIRECT LASER CULTIVATION

© 2025 K. E. Eremitzkaya, E. A. Nosova, A. V. Balyakin

Samara National Research University (34 Moskovskoe shosse, Samara, Samara region, 443086, Russian Federation)

Abstract. Using the direct laser cultivation method at the ILIST-L installation, samples of stainless steel grade 12X18H10T were obtained at a laser radiation power of 1100 – 1500 W with a wall thickness of 10 mm for the case of horizontal and vertical directions of growing samples relative to the larger side. The hardness and

microhardness of the samples were studied, and their dependences on the growing regime were revealed. It has been established that the most rational mode, in which uniformity and a high level of properties are achieved, is the mode with a power of 1400 watts. The vertical growing direction, which causes more intense cooling of the samples, allows for an average of 5 to 15 % higher microhardness than the horizontal growing direction. An increase in power from 1100 to 1400 W reduces this difference to zero, but a further increase in power to 1500 W increases the differences by up to 15 % due to a decrease in the microhardness of horizontally grown samples. Regardless of the direction of cultivation, in the entire range of power values (from 1100 to 1500 W), the hardness of 12X18H10T grade steel in the near-surface areas has values reduced by 15 – 17 % compared to the central region of the samples. The study of the effect of the parameters of the layer deposition mode on the hardness and microhardness of manufactured products made of 12X18H10T grade steel by direct laser cultivation provides the basis for choosing the laser power and understanding its effect on the mechanical properties of stainless steel in different growing directions.

Keywords: direct laser growing, stainless steel, deposition mode, hardness, samples, microhardness

For citation: Eremit'skaya K.E., Nosova E.A., Balyakin A.V. Investigation of the effect of the deposition mode parameters on the hardness of 12Cr18Ni10T steel after direct laser cultivation. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2025;2(52):44–51. [http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-2\(52\)-44-51](http://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-2(52)-44-51)

Введение

Технология прямого лазерного выращивания (ПЛВ) является одной из аддитивных технологий, находящая широкое распространение в машиностроении благодаря возможности получения изделий сложной формы за счет послойного выращивания из металлического порошка, подаваемого в зону действия лазерного излучения сжатой струей газа [1 – 4].

Для получения изделий методом прямого лазерного выращивания используется широкий спектр материалов, в том числе наиболее распространенные в машиностроении нержавеющие стали аустенитного класса (08X18H9, 12X18H10T или 316L) [5 – 10].

При реализации технологии ПЛВ в зависимости от материала порошковой композиции и требований к изделию в оборудовании предусмотрены возможности выбора мощности, направления и скорости движения лазерного луча, направления движения подачи струи металла. Сочетание указанных параметров влияет на качество и скорость производства изделий. Например, для получения образцов и изделий из нержавеющих сталей марок 08X18H9 или 316L мощность лазерного излучения может варьироваться в диапазоне 200 – 1600 Вт, скорость перемещения лазерного луча 2,3 – 35 мм/с, скорость подачи порошковой смеси 0,6 – 6 г/с, размер лазерного пятна 2,9 – 5,6 мм [5; 11 – 14]. При этом достигаются пределы прочности 536 – 776 МПа и текучести 310 – 576 МПа, относительного удлинения 20 – 70 %, микротвердости 172 – 250 НВ. При выращивании относительно толстостенных и объемных изделий применяются следующие траектории выращивания: параллельное расположение выращенных «дорожек» как в одной плоскости, так и при чередовании слоев, а также

поворот дорожек под углом 90° по отношению к дорожкам предыдущего слоя. Направление выращивания изделий зависит от технических возможностей, в результате чего рабочие нагрузки при эксплуатации изделий могут быть направлены под различными углами по отношению к выращенным слоям и дорожкам. В зависимости от условий эксплуатации получаемых изделий требования к свойствам могут быть различны (от ярко выраженной анизотропии до максимальной равномерности свойств).

Наиболее распространенным вариантом проверки свойств изделий является измерение твердости, которое позволяет оценить средний уровень механических характеристик без разрушения изделия или при незначительном повреждении поверхности. Другой важной характеристикой является микротвердость, которая позволяет оценить механические свойства в локальных областях и выявить равномерность свойств по толщине образцов. Микротвердость дает возможность косвенно оценить структурные изменения в материале в результате выращивания в зависимости от параметров процесса. Например, в работе [15] для стали марки 316L изучен уровень микротвердости для зоны центра дорожки и области между дорожками и слоями: в центральной зоне микротвердость имеет пониженные на 3 – 5 % значения по сравнению с диффузионной (пограничной) зоной.

Целью настоящей работы является изучение влияния технологических параметров процесса ПЛВ (мощность лазерного излучения и направления выращивания) на твердость и микротвердость стали марки 12X18H10T.

Материалы, методы и принципы исследования

Образцы были получены из металлопорошковой композиции стали марки 12X18H10T, хи-

мический состав (ГОСТ 14086 – 68) которой следующий: 16,0 – 20,0 % Cr; 8,0 – 11,0 % Ni; 0,12 % C; менее 0,8 % Si; менее 1,0 % Mn; менее 0,02 % S; менее 0,035 % P; остальное Fe.

Образцы для исследований были выращены на установке ИЛИСТ-L по схеме, представленной на рис. 1, при мощности выращивания 1100, 1200, 1300, 1400 и 1500 Вт. Диаметр пятна лазера 2 мм, скорость движения луча 20 мм/с. Стратегия выращивания была выбрана с повторяющимися слоями-дорожками.

Из выращенных заготовок отрезали образцы размером $10 \times 10 \times 10$ мм с использованием смазывающе-охлаждающей жидкости.

Для исследуемых образцов были проведены измерения микротвердости с помощью аппаратно-программного комплекса NEXSYS ImageExpert, а также измерение твердости с помощью стационарного твердомера NOVOTEST TC-P.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 представлена зависимость микротвердости от направления выращивания и мощности лазерного излучения. Диапазон изменения микротвердости в зависимости от мощности лазера и направления выращивания находится в пределах 152 – 197 HV, что составляет примерно 25 – 26 % от среднего значения. Отметим, что для каждого значения мощности присутствуют

точки с пониженной микротвердостью, существенно отличающиеся от среднего уровня величин. Эти значения были получены при измерении в областях, близких к краю образцов. Наибольшие различия между микротвердостью в центральных и периферийных зонах образцов наблюдаются для вертикального выращивания, при мощности лазера 1500 Вт расхождения минимальны, но при этом наблюдается максимальные различия между значениями для вертикального и горизонтального выращивания.

Микротвердость в образцах, выращенных вертикально, имеет более высокие значения, чем у образцов, выращенных в горизонтальном направлении. Увеличение мощности лазера от 1100 до 1500 Вт при вертикальном выращивании приводит к снижению микротвердости, но наблюдается ее снижение при мощности 1200 и 1400 Вт. Увеличение мощности при горизонтальном выращивании образцов приводит к повышению микротвердости в среднем на 10 %, достигая максимальных значений 175 – 182 HV при мощности лазера 1400 Вт. При этой же мощности достигается примерно одинаковый уровень микротвердости для образцов, выращенных горизонтально и вертикально.

На рис. 3 представлена зависимость твердости от направления выращивания и мощности лазерного излучения.

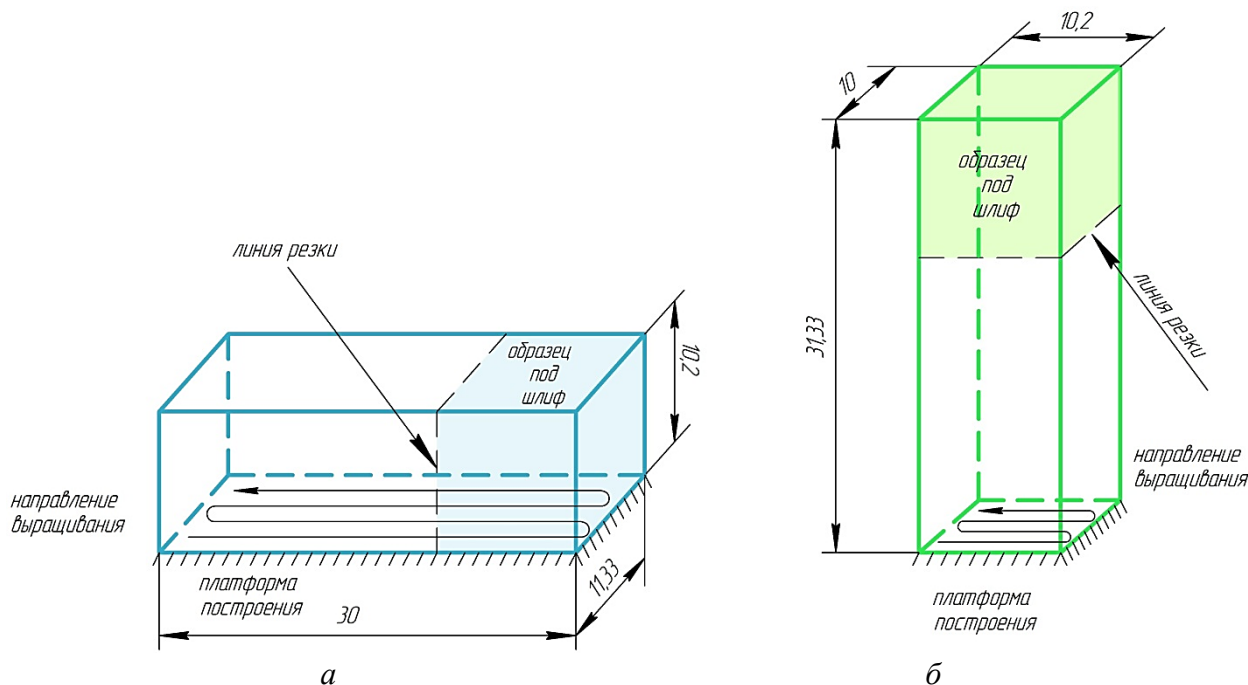


Рис. 1. Схемы изготовления образцов методом ПЛВ (размеры, мм, указаны после отделения от платформы построения):

a и *б* – горизонтальное и вертикальное выращивание

Fig. 1. Schemes for sample production by the DLD method (dimensions, mm, are given after separation from the construction platform):

a and *б* – horizontal and vertical sedimentation

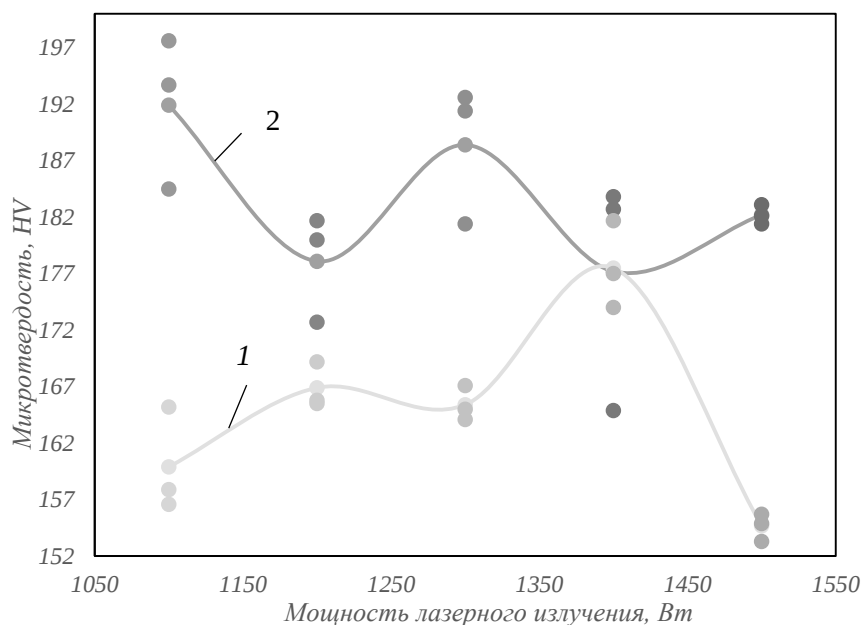


Рис. 2. Зависимость микротвердости от направления выращивания и мощности лазерного излучения:

1 и 2 – горизонтальное и вертикальное выращивание

Fig. 2. Dependence of microhardness on the direction of growth and laser power:

1 and 2 – horizontal and vertical sedimentation

Твердость образцов при изменении мощности (от 1100 до 1500 Вт) лазера при выращивании составляет 84 – 102 HRB, что составляет 20 % от среднего значения. Указанные данные со-

ответствуют образцам с вертикальным направлением выращивания. Для горизонтального выращивания диапазон изменения твердости находится в пределах 88 – 98 HRB,

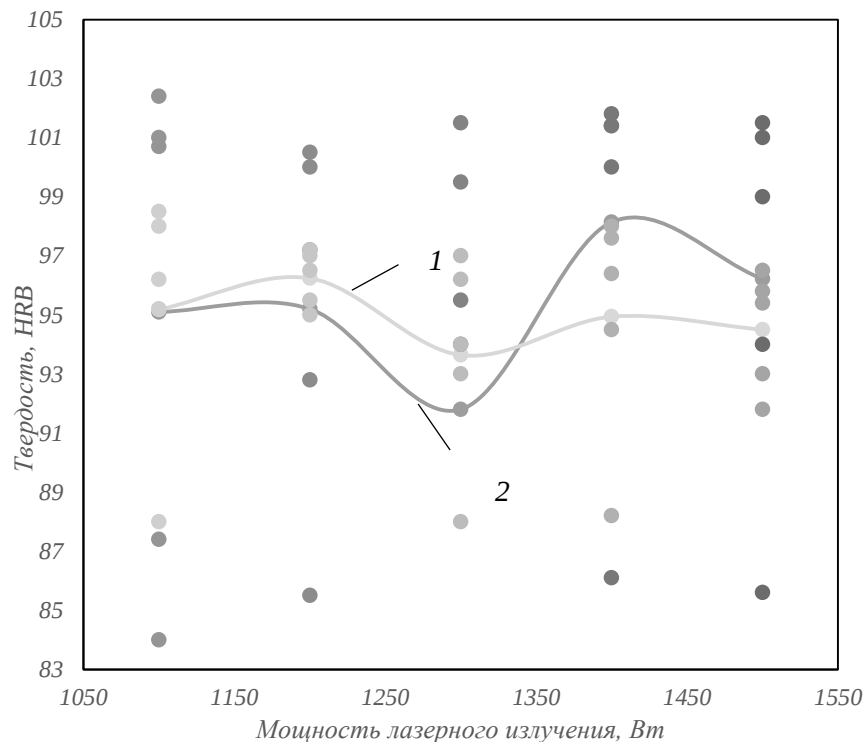


Рис. 3. Зависимость твердости от направления выращивания и мощности лазерного излучения

(твердость от 84,0 до 88,2 HRB получена на глубине 22 мм от поверхности образца):

1 и 2 – горизонтальное и вертикальное выращивание

Fig. 3 Hardness dependence on the direction of growth and laser power (hardness values from 84.0 to 88.2 HRB were obtained at a depth of 22 mm from the sample surface):

1 and 2 – horizontal and vertical sedimentation

что составляет около 11 % от среднего значения. Несмотря на схожую динамику кривых твердости, наибольшее значение твердости было получено у образцов, выращенных вертикально при мощности излучения 1400 Вт. Для образцов, выращенных горизонтально, максимум наблюдался при мощности 1200 Вт.

В работах [11; 13; 14] получено, что повышение мощности излучения от 200 до 1500 Вт приводит к снижению микротвердости от 180 до 150 HV. Эти результаты согласуются с полученными значениями, представленными в настоящей работе. Анализ результатов показывает, что переход от одного технологического режима к другому приводит к неоднородности распределения растворимых примесей по зерну [16].

В работе [15] в результате прямого лазерного выращивания образцов из стали марки 316L при мощности 1,4 кВт, скорости подачи порошка 14 г/мин и скорости сканирования 1000 мм/мин была получена микротвердость 172 – 187 HV для середины дорожки и 178 – 199 HV для зон между слоями. С увеличением размера зерна в зоне дорожек от 0,42 до 0,49 мкм и между слоями от 0,36 до 0,48 мкм твердость возрастает, подчиняясь закону Холла-Петча. Изменение микротвердости связано с размером зерна, хотя также обнаружено наличие оксидов на границе слоев, что также может служить причиной различий твердости в теле дорожки и на границах между ними.

В работе [17] после выращивания образцов из стали марки 316L при мощности 650 и 1300 Вт и скорости сканирования 6 и 12 мм/с при схеме выращивания с поворотом штриха на 90° последующего слоя относительно предыдущего в микроструктуре обнаружены дефекты сплавления. Проведенный элементный анализ показал неоднородность распределения элементов в пределах зерна и дорожек сплавления. В граничных областях наблюдается повышенное на 10 – 15 % относительно среднего значения содержание Cr, Ni, Mo, Mn, Si по сравнению с центром или телом зерна размером 2 – 4 мкм. Это может вызывать изменения микротвердости, в том числе и за счет влияния легирующих элементов на образование аустенитных или ферритных структур. Также выявлено скопление пор размером 0,5 – 1,0 мкм [15].

В работе [18] изучение влияния режима ПЛВ на свойства крупногабаритных заготовок из стали марки 316L при мощности 1600 Вт, скорости сканирования 800 мм/мин, скорости подачи порошка 10 г/мин позволило получить микротвердость 175 – 250 HV в области установившегося режима сплавления на расстоянии 7 – 8 мм и более от подложки из малоуглеродистой стали с

микротвердостью 125 – 150 HV, причем в переходной зоне или в области начала сплавления микротвердость достигает уровня 380 HV. Пористость, изученная на образцах в настоящей работе, показала повышенные значения (17 – 20 %) на сечениях у подложки и на расстоянии 47 мм от нее. Между этими сечениями пористость составляет 10 – 15 %. Изменения микротвердости с этими наблюдениями пористости связаны слабо.

Выводы

Проведение испытаний на микротвердость и твердость образцов из стали марки 12X18H10T с толщиной стенки 10 мм, полученных технологией ПЛВ при мощности лазерного излучения 1100 – 1500 Вт вертикальном и горизонтальном направлении выращивания, показало, что наиболее рациональным режимом, при котором достигаются однородность и высокий уровень свойств, является режим, мощность которого составляет 1400 Вт.

Вертикальное направление выращивания, вызывающее более интенсивное охлаждение образцов, позволяет получить в среднем на 5 – 15 % более высокие значения микротвердости, чем при горизонтальное направление. Повышение мощности от 1100 до 1400 Вт приводит к уменьшению этой разницы до нуля, но дальнейшее увеличение мощности до 1500 Вт вызывает увеличение различий до 15 % за счет снижения микротвердости горизонтально выращенных образцов.

Независимо от направления выращивания во всем диапазоне мощности от 1100 до 1500 Вт твердость стали марки 12X18H10T в приповерхностных областях имеет пониженные значения на 15 – 17 % по сравнению с центральной областью образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В.Б. Актуальность метода прямого лазерного выращивания в аддитивном производстве. Технологии обработки. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук. Прочие технологии*. 2024;4–5(91):152–156. <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-5-152-156>
2. Ронжин Д.А., Григорьянц А.Г., Холопов А.А. Влияние технологических параметров на структуру металла изделий, полученных методом прямого лазерного выращивания из титанового порошка ВТ-6. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2022;9(750):30–42. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-9-30-42>
3. Gong G., Ye J. et al. Research status of laser additive manufacturing for metal: a review.

- Journal of Materials Research and Technology*. 2021;15:855–884.
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.050>
4. Madhavadasa V., Srivastava D. et al. A review on metal additive manufacturing for intricately shaped aerospace components. *CIRP J ournal of Manufacturing. Science and Technology*. 2022;39:18–36.
<https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.07.005>
 5. Грязнов М.Ю., Шотин С.В., Чувильдеев В.Н., Семенычева А.В., Мусьяев Р.К., Юхимчук А.А. Повышение механических характеристик нержавеющей стали 316L методом послойного лазерного сплавления и исследование влияния пористости на них. *Проблемы прочности и пластичности*. 2023;85(3):375–389.
<https://doi.org/10.32326/1814-9146-2023-85-3-375-389>
 6. Zhao C., Bai Y., Zhang Y., Wang X., Xue J.M., Wang H. Influence of scanning strategy and building direction on microstructure and corrosion behaviour of selective laser melted 316L stainless steel. *Materials & Design*. 2021;209:1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109999>
 7. Dwivedi S., Dixit A.R., Kumar A. Wetting behavior of selective laser melted (SLM) biomedical grade stainless steel 316L. *Materials Today: Proceedings*. 2022;56(1):46–50.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.046>
 8. Zhang C., Zhang L., Xu H., Li P., Qian B. Performance of pool boiling with 3D grid structure manufactured by selective laser melting technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019;128:570–580.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.021>
 9. Колмаков А.Г., Иванников А.Ю., Каплан М.А., Кирсанкин А.А., Севостьянов М.А. Коррозионностойкие стали в аддитивном производстве. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2021;64(9):619–650.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-9-619-650>
 10. Vukkum V.B., Gupta R.K. Review on corrosion performance of laser powder-bed fusion printed 316L stainless steel: Effect of processing parameters, manufacturing defects, post-processing, feedstock, and microstructure. *Materials & Design*. 2022;221:1–45.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110874>
 11. Ишкиняев Э.Д., Петровский В.Н., Польский В.Н., Джумаев П.С., Сергеев К.Л., Щекин А.С., Панов Д.В., Ушаков Д.В. Исследование механических характеристик образцов из нержавеющей стали, полученных методом прямого лазерного выращивания. *Ядерная физика и инжиниринг*. 2019;10(3):233–237.
<https://doi.org/10.1134/S2079562919020064>
 12. Долгова С.В., Маликов А.Г., Голышев А.А., Никулина А.А. Влияние режимов лазерной наплавки на геометрические размеры стального трека. *Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты*. 2024;26(2):57–70.
<https://doi.org/10.17212/1994-6309-2024-26.2-57-70>
 13. Складар М.О., Туричин Г.А., Климова О.Г., Зотов О.Г., Топалов И.К. Исследование влияния параметров прямого лазерного выращивания на микроструктуру изделий из стали 316L. *Сталь*. 2016;12:71–75.
 14. Zhang A., Wu W., Wu M., Liu Y., Zhang Y., Wang Q. Influence of laser power on mechanical properties and pitting corrosion behavior of additively manufactured 316L stainless steel by laser powder bed fusion (L-PBF). *Optics & Laser Technology*. 2024;176:1–17.
<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.110886>
 15. Tan Z.E., Pang J.H.L., Kaminski J., Pepin H. Characterisation of porosity, density, and microstructure of directed energy deposited stainless steel AISI 316L. *Additive Manufacturing*. 2019;25:286–296.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.014>
 16. Jardin R.T., Tuninetti V., Tchuindjang J.T., Duchêne L., Hashemi N., Tran H. S., Carrus R., Mertens A., Habraken A. M. Optimizing laser power of directed energy deposition process for homogeneous AISI M4 steel microstructure. *Optics & Laser Technology*. 2023;163:1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.109426>
 17. Mukherjee M. Effect of build geometry and orientation on microstructure and properties of additively manufactured 316L stainless steel by laser metal deposition. *Materialia (Elsevier)*. 2019;7:100359.
<https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100359>
 18. Feenstra D.R., Cruz V., Gao X., Molotnikov A., Biribilis N. Effect of build height on the properties of large format stainless steel 316L fabricated via directed energy deposition. *Additive Manufacturing*. 2020;34:1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101205>

REFERENCES

1. Fedorov V.B. Actuality of the method of direct laser growing in additive manufacturing. Processing technologies. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. Prochie tekhnologii*. 2024;4-5(91):152–156. (In Russ.).
<https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-5-152-156>

2. Ronzhin D.A., Grigor'yants A.G., Kholopov A.A. The influence of technological parameters on the metal structure of products obtained by direct laser growth from VT-6 titanium powder. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroyeniye*. 2022;9(750):30–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-9-30-42>
3. Gong G., Ye J. et al. Research status of laser additive manufacturing for metal: a review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2021;15:855–884. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.08.050>
4. Madhavadasa V., Srivastava D. et al. A review on metal additive manufacturing for intricately shaped aerospace components. *CIRP Journal of Manufacturing. Science and Technology*. 2022;39:18–36. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.07.005>
5. Gryaznov M.Yu., Shotin S.V., Chuvil'deev V.N., Semenycheva A.V., Musyaev R.K., Yukhimchuk A.A. Improving the mechanical properties of 316L stainless steel by layer-by-layer laser melting and studying the influence of porosity on them. *Problemy prochnosti i plastichnosti*. 2023;85(3):375–389. (In Russ.). <https://doi.org/10.32326/1814-9146-2023-85-3-375-389>
6. Zhao C., Bai Y., Zhang Y., Wang X., Xue J.M., Wang H. Influence of scanning strategy and building direction on microstructure and corrosion behaviour of selective laser melted 316L stainless steel. *Materials & Design*. 2021;209:1–15. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109999>
7. Dwivedi S., Dixit A.R., Kumar A. Wetting behavior of selective laser melted (SLM) biomedical grade stainless steel 316L. *Materials Today: Proceedings*. 2022;56(1):46–50. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.046>
8. Zhang C., Zhang L., Xu H., Li P., Qian B. Performance of pool boiling with 3D grid structure manufactured by selective laser melting technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2019;128:570–580. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.09.021>
9. Kolmakov A.G., Ivannikov A.Yu., Kaplan M.A., Kirsankin A.A., Sevost'yanov M.A. Corrosion-resistant steels in additive manufacturing. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. 2021;64(9):619–650. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-9-619-650>
10. Vukcum V.B., Gupta R.K. Review on corrosion performance of laser powder-bed fusion printed 316L stainless steel: Effect of processing parameters, manufacturing defects, post-processing, feedstock, and microstructure. *Materials & Design*. 2022;221:1–45. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110874>
11. Ishkinyayev E.D., Petrovskii V.N., Pol'skii V.N., Dzhumayev P.S., Sergeev K.L., Shchekin A.S., Panov D.V., Ushakov D.V. Study of mechanical characteristics of stainless steel samples obtained by direct laser growth method. *Yadernaya fizika i inzhiniring*. 2019;10(3):233–237. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S2079562919020064>
12. Dolgova S.V., Malikov A.G., Golyshev A.A., Nikulina A.A. The influence of laser cladding modes on the geometric dimensions of a steel track. *Obrabotka metallov: tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty*. 2024;26(2):57–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.17212/1994-6309-2024-26.2-57-70>
13. Sklyar M.O., Turichin G.A., Klimova O.G., Zotov O.G., Topalov I.K. Study of the influence of direct laser growth parameters on the microstructure of 316L steel products. *Stal'*. 2016;12:71–75. (In Russ.).
14. Zhang A., Wu W., Wu M., Liu Y., Zhang Y., Wang Q. Influence of laser power on mechanical properties and pitting corrosion behavior of additively manufactured 316L stainless steel by laser powder bed fusion (L-PBF). *Optics & Laser Technology*. 2024;176:1–17. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.110886>
15. Tan Z.E., Pang J.H.L., Kaminski J., Pepin H. Characterisation of porosity, density, and microstructure of directed energy deposited stainless steel AISI 316L. *Additive Manufacturing*. 2019;25:286–296. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.014>
16. Jardin R.T., Tuninetti V., Tchuindjang J.T., Duchêne L., Hashemi N., Tran H.S., Carrus R., Mertens A., Habraken A.M. Optimizing laser power of directed energy deposition process for homogeneous AISI M4 steel microstructure. *Optics & Laser Technology*. 2023;163:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.109426>
17. Mukherjee M. Effect of build geometry and orientation on microstructure and properties of additively manufactured 316L stainless steel by laser metal deposition. *Materialia (Elsevier)*. 2019;7:100359. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2019.100359>
18. Feenstra D.R., Cruz V., Gao X., Molotnikov A., Birbilis N. Effect of build height on the properties of large format stainless steel 316L fabricated via directed energy deposition. *Additive Manufacturing*. 2020;34:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101205>

Сведения об авторах

Ксения Евгеньевна Еремицкая, магистрант, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
E-mail: ksenyaeremitskaya@gmail.com
ORCID: 0009-0006-1235-6276
SPIN-код: 5155-6867

Екатерина Александровна Носова, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии металлов и авиационного материаловедения, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
E-mail: nosova.ea@ssau.ru
ORCID: 0000-0002-5490-3235
SPIN-код: 7286-4426

Андрей Владимирович Балякин, старший преподаватель кафедры технологий производства двигателей, Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева
E-mail: balaykinav@ssau.ru
ORCID: 0000-0002-1558-1034
SPIN-код: 2614-5059

Information about the authors:

Ksenya E. Eremitzkaya, Master's student, Samara National Research University
E-mail: ksenyaeremitskaya@gmail.com

ORCID: 0009-0006-1235-6276
SPIN-код: 5155-6867

Ekaterina A. Nosova, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Metal Technology and Aviation Materials Science, Samara National Research University
E-mail: nosova.ea@ssau.ru
ORCID: 0000-0002-5490-3235
SPIN-код: 7286-4426

Andrey V. Balyakin, Senior Lecturer, Department of Engine Manufacturing Technologies, Samara National Research University
E-mail: balaykinav@ssau.ru
ORCID: 0000-0002-1558-1034
SPIN-код: 2614-5059

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Поступила в редакцию 12.02.2025

После доработки 17.03.2025

Принята к публикации 26.03.2025

Received 12.02.2025

Revised 17.03.2025

Accepted 26.03.2025