

Труды МАИ. 2025. № 140  
Trudy MAI. 2025. No. 140. (In Russ.)

Научная статья

УДК 620.174

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184051>

EDN: <https://www.elibrary.ru/SHCSDM>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ**

**Татьяна Сергеевна Терещенко<sup>1</sup>, Александр Александрович Орехов<sup>2</sup>✉, Лев Наумович Рабинский<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),

Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>[a\\_orekhov@mai.ru](mailto:a_orekhov@mai.ru)✉

*Аннотация.* В данной работе представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств образцов из нержавеющей стали, созданных методом послойного лазерного синтеза. Данный метод, являясь одним из ключевых подходов в области аддитивных технологий, позволяет получать изделия со сложной геометрией, однако микроструктурные особенности таких материалов могут значительно отличаться от традиционно изготовленных металлических сплавов. В ходе работы были проведены детальные исследования механических свойств полученных образцов, включающие как статические, так и динамические испытания. В частности, механические характеристики были определены методом испытаний на ударный изгиб, растяжение и статический изгиб. Эти тесты позволили получить

количественные данные о прочности, текучести и пластичности материала, а также выявить возможные структурные аномалии, возникающие в процессе его изготовления. Результаты анализа показали, что полученные образцы обладают достаточно высокой стабильностью механических свойств, что подтверждается однородностью значений предела прочности и предела текучести. В частности, установлено, что данные характеристики превышают типичные значения, характерные для данной марки стали, что свидетельствует о высокой прочности материала. Однако, при этом модуль Юнга, определённый в ходе испытаний на растяжение и изгиб, оказался значительно ниже стандартного значения для нержавеющей сталей. Такое снижение может быть связано с особенностями микроструктуры, сформированной в процессе послойного лазерного синтеза, включая наличие остаточных пор, неоднородностей или анизотропии структуры, вызванной направленным формированием слоев материала. Дополнительно был проведён анализ поверхности разрушения образцов после механических испытаний. Изучение микроструктуры разрушенных участков методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выявило хрупко-вязкий характер разрушения, при этом наблюдалось значительное преобладание хрупкого разрушения. Это указывает на возможные проблемы, связанные с микроструктурными дефектами, такими как межслойные границы, пористость или микротрещины, сформированные в процессе лазерного спекания. Подобные дефекты могут снижать пластичность и вязкость разрушения, что в свою очередь влияет на поведение материала при различных видах нагружения. Для более детального изучения состава и структуры материала был проведен микрорентгеноспектральный анализ, который подтвердил соответствие

химического состава образцов стандартам для нержавеющей стали. Это свидетельствует о том, что используемый порошковый материал соответствует требованиям к нержавеющей сплавам, однако полученная микроструктура и механические свойства материала указывают на необходимость дальнейшей оптимизации параметров технологического процесса. Полученные результаты подчеркивают важность комплексного подхода к исследованию материалов, изготовленных методами аддитивных технологий. В частности, они демонстрируют необходимость контроля и оптимизации параметров селективного лазерного спекания для повышения механических характеристик и улучшения микроструктурных свойств. В дальнейшем целесообразно проведение дополнительных исследований, направленных на выявление взаимосвязей между параметрами печати, термообработкой и итоговыми свойствами материала. Это позволит не только повысить эксплуатационные характеристики изделий, но и расширить область применения аддитивных технологий для изготовления ответственных конструктивных элементов.

**Ключевые слова:** послойный лазерный синтез, нержавеющая сталь, механические испытания, микроструктура, микрорентгеноспектральный анализ

**Финансирование:** работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 23-49-00133, <https://rscf.ru/project/23-49-00133/>

**Для цитирования:** Терещенко Т.С., Орехов А.А. Рабинский Л.Н. Исследование влияния физико-механических характеристик стали, изготовленной методом послойного лазерного спекания // Труды МАИ. 2025. № 140. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184051>

Original article

# STUDY OF STATIC AND DYNAMIC PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF STEEL PRODUCED BY SELECTIVE LASER MELTING

Tatyana S. Tereshchenko<sup>1</sup>, Alexander A. Orekhov<sup>2</sup>✉, Lev N. Rabinskiy<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Moscow Aviation Institute (National Research University),

Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>[a\\_orekhov@mai.ru](mailto:a_orekhov@mai.ru)✉

**Abstract.** This study investigates the microstructure and mechanical properties of stainless steel samples fabricated using layer-by-layer laser synthesis. This additive manufacturing method allows for complex geometries but introduces microstructural variations that may impact material performance. Mechanical properties were evaluated through impact bending, tensile, and static bending tests. The results showed that the fabricated samples exhibit stable mechanical characteristics, with ultimate tensile strength and yield strength exceeding standard values for the given steel grade. However, the Young's modulus, obtained from tensile and bending tests, was significantly lower than the typical values for stainless steel. This reduction may be attributed to microstructural anisotropy, porosity, or residual stresses introduced during the fabrication process. Fractographic analysis using scanning electron microscopy (SEM) revealed a mixed brittle-ductile fracture mode, with brittle fracture predominating. This suggests the presence of microstructural defects such as interlayer boundaries, porosity, or microcracks formed during laser sintering. These defects can reduce fracture toughness and plasticity, making the material more susceptible to brittle failure under certain loading conditions. To further investigate the composition and

structural integrity of the material, micro-X-ray spectral analysis was performed. The results confirmed that the chemical composition of the samples fully complies with stainless steel standards, indicating that deviations in mechanical performance arise from microstructural factors rather than material composition. These findings highlight the importance of a comprehensive approach to evaluating materials produced via additive manufacturing. While laser-sintered stainless steel can achieve high strength, its reduced modulus and increased brittleness necessitate careful optimization of processing parameters. Controlling factors such as scanning strategy, heat input, and post-processing treatments could mitigate defects, reduce anisotropy, and improve mechanical properties. Future research should focus on establishing correlations between fabrication parameters, heat treatment, and final material properties. In particular, refining laser sintering parameters and introducing post-processing techniques such as heat treatment or hot isostatic pressing may enhance mechanical performance and structural reliability. These optimizations would enable broader applications of additive manufacturing for load-bearing and high-performance components in industries such as aerospace, automotive, and biomedical engineering.

**Keywords:** selective laser melting, stainless steel, mechanical tests, microstructure, micro-X-ray spectral analysis

**Funding:** the work was carried out within the framework of a grant from the Russian Science Foundation No. 23-49-00133, <https://rscf.ru/project/23-49-00133/>

**For citation:** Tereshchenko T.S., Orekhov A.A. Rabinskiy L.N. Investigation of the influence of physical and mechanical characteristics of steel produced by selective laser melting. *Trudy MAI*. 2025. No. 140. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=184051>

## 1. Введение

Послойное лазерное плавление (SLM) является одной из самых современных технологий аддитивного производства, позволяющей создавать сложные металлические изделия с высокой точностью и минимальными потерями материала. Эта технология находит активное применение в производстве изделий из сталей, что обусловлено их широким использованием в таких ключевых отраслях, как машиностроение, аэрокосмическая промышленность и медицина. Однако для успешного внедрения изделий, изготовленных методом SLM, в серийное производство необходимо глубокое понимание их механических свойств, особенно в условиях эксплуатации. Это знание критически важно для обеспечения надежности и долговечности продукции, что делает SLM технологией, способной значительно повысить конкурентоспособность и эффективность в критически важных областях.

Динамические характеристики сталей, изготовленных с использованием метода SLM, имеют ключевое значение для их применения в условиях вибраций, циклических нагрузок и других динамических воздействий. Например, коэффициент демпфирования отражает способность материала рассеивать энергию колебаний, что особенно критично для конструкций, функционирующих в условиях высокочастотных вибраций [1-2]. Механические свойства зависят от параметров процесса SLM: например, увеличение скорости сканирования может привести к образованию пористости, что, в свою очередь, снижает демпфирующие свойства материала [3]. Исследования показывают, что мелкозернистая структура стали, полученной методом SLM, способствует улучшению демпфирующих характеристик,

однако остаточные напряжения, возникающие в ходе печати, могут оказать негативное влияние на этот параметр [4-6].

Одним из основных направлений исследования механических свойств сталей, полученных с помощью технологии SLM, является изучение их динамических характеристик [7], таких как модуль упругости [8], коэффициент демпфирования [9], предел выносливости [10] и усталостное сопротивление [4]. Эти параметры имеют значительное влияние на долговечность и надежность изделий, которые подвергаются воздействию вибраций, циклических нагрузок и других динамических факторов. Глубокое понимание и анализ этих характеристик позволяют предсказать поведение материалов в реальных условиях эксплуатации, что, в свою очередь, способствует повышению производительности и безопасности конечной продукции.

Изделия, созданные с использованием метода селективного лазерного плавления (SLM), обладают уникальной микроструктурой, формирующейся в результате быстрого охлаждения и затвердевания расплавленного металла. Эта микроструктура оказывает значительное влияние на механические свойства материала, включая его динамические характеристики. Например, исследования показали, что тонкодисперсные зерна и остаточные напряжения, возникающие в процессе производства, могут существенно изменять демпфирующие свойства и усталостную прочность материала. В работе Зельдовича и коллег [8] была проведена оценка микроструктуры и механических свойств образцов хромоникелевой аустенитной нержавеющей стали, полученных методом SLM. Результаты показали, что сталь, созданная с помощью лазерного сплавления, демонстрирует высокие механические характеристики: предел текучести, предел прочности и относительное

удлинение при испытаниях на растяжение со скоростью деформации  $10^{-2} \text{ с}^{-1}$  составляют 320 МПа, 765 МПа и 50% соответственно. При динамическом сжатии образцов по методу Кольского–Гопкинсона со средней скоростью деформации  $10^3 \text{ с}^{-1}$  предел текучести и предел прочности составляют 550 МПа и 945 МПа соответственно.

В области исследований динамических характеристик изделий, созданных методом селективного лазерного плавления (SLM), особое внимание уделяется зависимости этих характеристик от параметров процесса. Например, увеличение скорости сканирования может привести к образованию пористости, что негативно сказывается на демпфирующих свойствах материала. В исследовании Колчанова и коллег [9] было оценено влияние параметров процесса и термических циклов на основные дефекты, возникающие при SLM, такие как пористость и растрескивание. Результаты показали, что оптимизация режимов выращивания позволяет достичь бездефектной структуры с пористостью менее 0,2%.

В другом исследовании, проведенном Бониотти и коллегами [10], анализировались концентрации напряжений и деформаций в микрорешетчатых структурах, изготовленных с помощью SLM. Авторы использовали комбинацию экспериментальных методов, таких как цифровая корреляция изображений (DIC), и численного моделирования для изучения влияния геометрических несовершенств на динамические свойства материалов. В результате было установлено, что такие несовершенства, как шероховатость поверхности и неоднородность сечения стержней, могут приводить к локальным концентрациям напряжений, что, в свою очередь, снижает усталостную прочность и коэффициент демпфирования этих

материалов. Эти исследования подчеркивают важность тщательной настройки параметров SLM для достижения оптимальных механических характеристик и надежности конечных изделий.

В статье [11] исследуются демпфирующие свойства решетчатых структур, созданных методом селективного лазерного плавления (SLM). Установлено, что геометрия решеток и плотность материала влияют на эффективность рассеивания энергии. Более плотные структуры обеспечивают лучшие демпфирующие характеристики, а микродефекты, возникающие при SLM, дополнительно усиливают эти свойства. Результаты подчеркивают важность учета этих факторов при разработке материалов с высокими демпфирующими свойствами.

Исследование [12] показало, что остаточные напряжения, возникающие в процессе селективного лазерного плавления, оказывают значительное влияние на механические и динамические свойства материалов. Авторы разработали модель на основе метода конечных элементов (МКЭ), позволяющую прогнозировать распределение остаточных напряжений и деформаций в материалах, созданных с помощью SLM. Результаты показали, что данные напряжения приводят к образованию локальных концентраций, что может уменьшить способность материала поглощать вибрации и его устойчивость к циклическим нагрузкам.

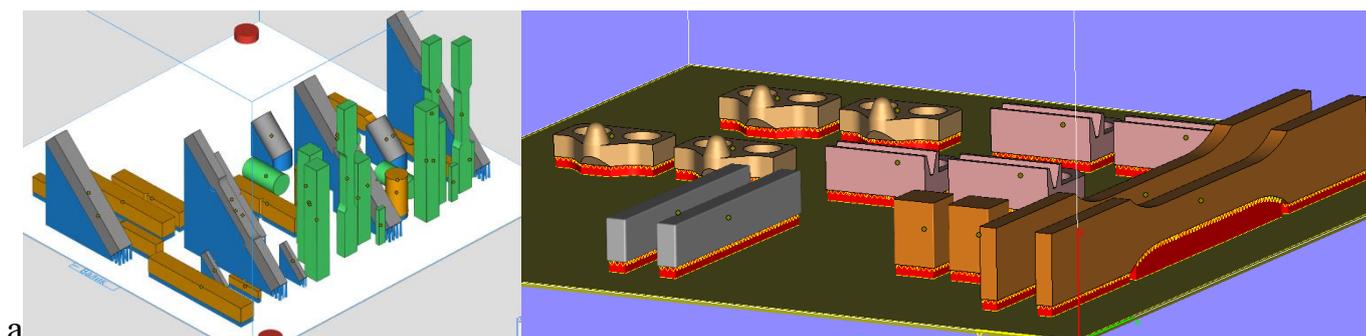
Прогнозирование поведения материалов под динамическими нагрузками требует создания вычислительных моделей, которые учитывают как параметры процесса селективного лазерного плавления (SLM), так и микроструктурные характеристики материала. Современные исследования в области компьютерного

моделирования уже показывают значительный потенциал для повышения точности таких прогнозов [13-14].

Поэтому изучение динамических характеристик сталей, произведенных с использованием метода SLM, является важным шагом к расширению областей применения данной технологии.

### Материалы и методы

Для исследования образцов, полученных методом послойного лазерного спекания, на физико-механические характеристики использовалась установка EOS M270 с мелкодисперсным порошком сплава марки PH1. Образцы изготавливались при температуре платформы построения 100 °С, с мощностью лазера 195 Вт и скоростью 1600 мм/с. Диаметр пятна лазера составлял 100 мкм, толщина слоя детали — 20 мкм, а толщина слоя поддержек — 30 мкм. Начальный угол построения был равен 0°, поворотный угол — 57°, расстояние между соседними векторами сканирования — 300 мкм, ширина полосы среза — 10 мм. Структура поддержек представлена на рисунке 1а. Были изготовлены образцы для испытаний на растяжение, сжатие, статический и ударный изгиб, а также для определения динамических характеристик. Полученные образцы показаны на рисунке 1б.



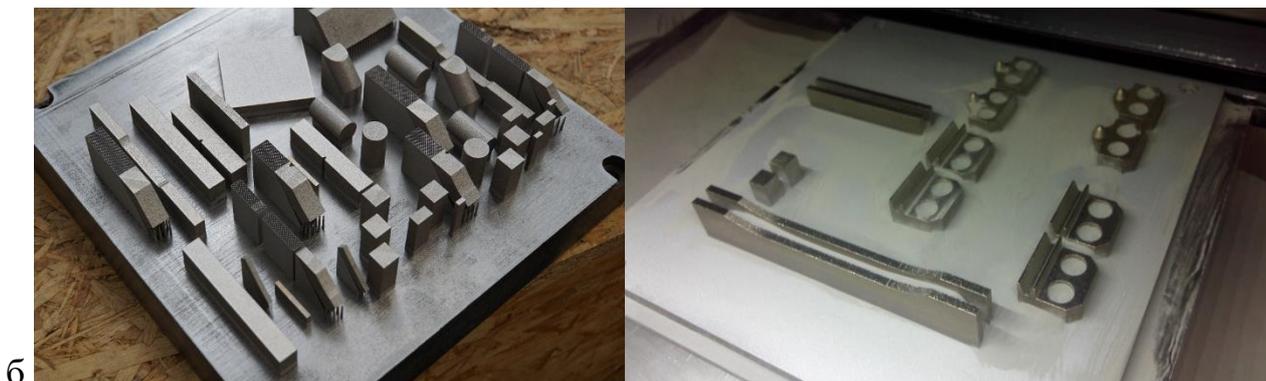


Рисунок 1. Образцы (а-варианты компоновки камеры, б-полученные образцы, в- структура поддержки)

Для каждой партии, каждого вида испытаний испытывались 2 однотипных образца. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ Р ИСО/АСТМ 52950— 2022.

Для определения микроструктуры и химического состава образцов была использована растровая электронная микроскопия (РЭМ) на микроскопе ZEISS EVO 40, оснащенном микроаналитической приставкой INCA от компании Oxford Instruments. Данный метод позволяет получить подробные изображения поверхности образцов с высоким разрешением, а также проводить элементный анализ, что позволяет исследовать распределение химических элементов и их концентрацию в микроскопических областях.

Состав сплава был установлен на основе данных рентгеновского микроанализа небольших участков поверхности. Исходным материалом для исследования послужил порошкообразный сплав с составом Fe – 70, Cr – 17, Ni – 12, Ti – 0,6, Si – 0,5 масс.%. Диаграммы, полученные в механических испытаниях, представлены на рисунке 2.

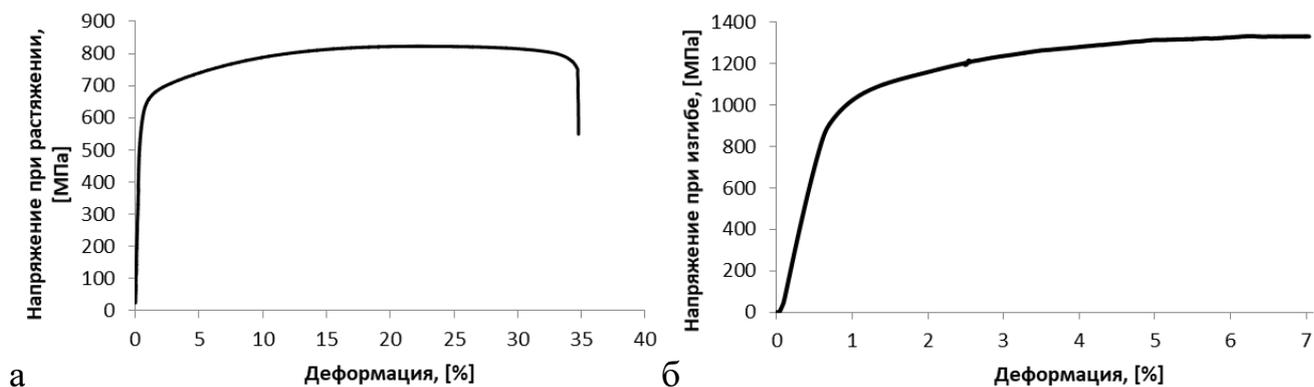


Рис. 2. Результаты испытаний металлических образцов

(а – на растяжение, б – на изгиб)

Результаты исследования экспериментальных образцов показали, что синтезированные материалы имеют сниженные показатели жесткости по сравнению с обычной конструкционной сталью. Модуль Юнга составил 176 ГПа, что ниже стандартного значения в 193 ГПа. Модуль упругости при изгибе составил 196 ГПа. Предел текучести при растяжении достиг 530 МПа, предел прочности — 750 МПа, а предельные деформации составили 22%. Предел текучести при изгибе составил 900 МПа. Характеристики, полученные в процессе испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1. Свойства образца.

Характеристики	Единица	Полученное значение
Модуль упругости, E	ГПа	176
Модуль упругости при изгибе, E <sub>изг</sub>	ГПа	196
Предел прочности на растяжение	МПа	750
Предел текучести	МПа	530

Предельные деформации	%	22
Предел текучести при изгибе	МПа	900
Ударная вязкость KCV	Дж/см <sup>2</sup>	31

---

Видно, что предел прочности и предел текучести синтезированных образцов превосходит стандартные значения, а предельные деформации, приблизительно, в два раза ниже стандартных. Таким образом, установлен эффект повышения прочностных свойств стали, при одновременном снижении пластичности. Также пониженными оказываются характеристики жесткости.

В результате разрушения образцов был зафиксирован косой излом под углом 45 градусов. Внешний вид образца указывает на преобладание хрупкого типа разрушения при его деформации. Это подтверждается образованием косого среза в месте разрушения, отсутствием заметной пластической деформации в этой области, а также наличием макроскопических трещин с одной из сторон лопатки.

Сферические частицы, обнаруженные на дне трещины, в поверхностном слое проявляются как плоские сплюснутые диски. Изображения, полученные с торцевой поверхности, то есть в области разрушения лопатки, представлены на рисунке 3. Место разрушения четко демонстрирует хрупко-вязкий характер разрушения с явным преобладанием хрупкого разрушения. При этом хрупкое разрушение происходит по плоскостям чешуек, в то время как вязкое разрушение наблюдается непосредственно в теле материала.

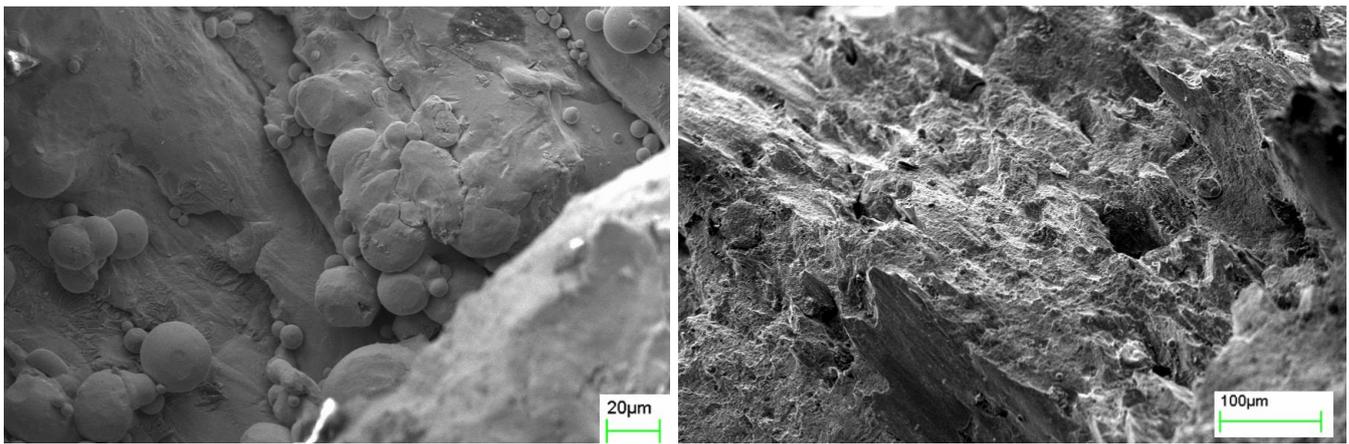


Рис. 4. Структура образца

### **Выводы**

Представлены результаты исследования микроструктуры и механических свойств образцов нержавеющей стали, полученных с помощью послойного лазерного синтеза. Механические характеристики были определены в ходе статических испытаний на растяжение и изгиб, а также при ударном изгибе. Также была проанализирована микроструктура поверхности разрушения образцов. Установлено, что прочностные свойства полученных образцов превышают стандартные значения, однако наблюдается снижение пластичности и более низкий модуль Юнга. Исследование поверхности разрушения выявило хрупко-вязкий характер, с преобладанием хрупкого разрушения. Для проверки состава образцов был проведен микрорентгеноспектральный анализ, который подтвердил соответствие состава образцов стандартам для нержавеющей сталей марки 07X18H12M2.

### **Список источников**

1. Luecke W., Slotwinski J. A. Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steel Made by Additive Manufacturing // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 2014. V. 119, P. 398-418. DOI: [10.6028/jres.119.015](https://doi.org/10.6028/jres.119.015)

2. Штрикман М.М., Кащук Н.М. Определение тепловых напряжений и деформаций при фрикционной сварке трехслойных панелей из алюминиевых сплавов // Труды МАИ. 2011. № 43. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=24728>
3. Jia H. et al. Scanning strategy in selective laser melting (SLM): a review // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021. V. 113, No. 9-10. P. 2413-2435. DOI: [10.1007/s00170-021-06810-3](https://doi.org/10.1007/s00170-021-06810-3)
4. Lai W.J., Ojha A., Li Z. et al. Effect of residual stress on fatigue strength of 316L stainless steel produced by laser powder bed fusion process // Progress in Additive Manufacturing. 2021. V. 6 (3), P. 375–383. DOI: [10.1007/s40964-021-00164-8](https://doi.org/10.1007/s40964-021-00164-8)
5. Smudde C.M. et al. The Influence of Residual Stress on Fatigue Crack Growth Rates in Stainless Steel Processed by Different Additive Manufacturing Methods // Journal of Materials Engineering and Performance. 2024. V. 33, No. 15. P. 7703-7713. DOI: [10.1007/s11665-024-09558-5](https://doi.org/10.1007/s11665-024-09558-5)
6. Бабайцев А.В., Рабинский Л.Н., Янг Н.М. Методика оценки остаточных напряжений в образцах из сплава AlSi10Mg, полученных по технологии SLM // Труды МАИ. 2021. № 119. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=159788>. DOI: [10.34759/trd-2021-119-10](https://doi.org/10.34759/trd-2021-119-10)
7. Рыбаулин А.Г., Сидоренко А.С. Исследование локального напряженного состояния и оценка долговечности конструкции авиационного изделия с дискретными сварными соединениями при случайном нагружении // Труды МАИ. 2015. № 79. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=55786>
8. Зельдович В.И., Панкратов А.В., Ярославцева И.А. Структура и механические свойства аустенитной нержавеющей стали, полученной методом селективного

лазерного плавления // Физика металлов и металловедение. 2021. Т. 122, № 5. С. 613–620. DOI: [10.31857/S0015323021050132](https://doi.org/10.31857/S0015323021050132)

9. Колчанов Д. С., Дренин А. А., Денежкин А. О., Шустова Л. А., Сафиуллин С. Р. Особенности процесса селективного лазерного плавления из конструкционной стали 28Х3СНМВФА // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 10 (751). С. 79-88. DOI: [10.18698/0536-1044-2022-10-79-88](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-10-79-88)

10. Boniotti L., Foletti S., Beretta S., Patriarca L. Analysis of strain and stress concentrations in micro-lattice structures manufactured by SLM // Rapid Prototyping Journal. 2020. V. 26, No. 2. P. 370-380. DOI: [10.1108/RPJ-10-2018-0270](https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2018-0270)

11. Scalzo F., Totis G., Sortino M. Influence of the Experimental Setup on the Damping Properties of SLM Lattice Structures // Experimental Mechanics. 2022. V. 63, P. 15–28. DOI: [10.1007/s11340-022-00898-8](https://doi.org/10.1007/s11340-022-00898-8)

12. Mukherjee T., Zhang W. G., DebRoy T. An improved prediction of residual stresses and distortion in additive manufacturing // Computational Materials Science. 2017. V. 126, P. 360-372. DOI: [10.1016/j.commatsci.2016.10.003](https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2016.10.003)

13. Лебёдкин И.Ф., Молотков А.А., Третьякова О.Н. Математическое моделирование сложного теплообмена при разработке лазерных SLM технологий // Труды МАИ. 2018. № 101. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=97045>

14. Зарецкий М.В., Сидоренко А.С. Динамическое состояние конструкции авиационного изделия со сварными соединениями // Труды МАИ. 2018. № 98. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=90171>

15. Сазанов В.П., Павлов В.Ф., Письмаров А.В., Матвеева К.Ф. Исследование соотношений компонентов первоначальных деформаций по распределению

остаточных напряжений в упрочнённом слое детали // Труды МАИ. 2023. № 132.

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=176843>

16. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. 2014. № 78.

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=53682>

17. Супрапеди, Тойоока С. Пространственно-временное наблюдение пластической деформации и разрушения методом лазерной спекл-интерферометрии // Физическая мезомеханика. 1998. Т. 1, № 1. С. 55-60.

18. Qiu T.Q., Tien C.L. Heat transfer mechanisms during short-pulse laser heating of metals // Journal of heat transfer. 1993. V. 115, P. 835-841. DOI: [10.1115/1.2911377](https://doi.org/10.1115/1.2911377)

19. Гаврилов Д.Г., Мамонов С.В., Мартиросов М.И., Рабинский Л.Н. Сравнительная характеристика прочностных свойств образцов с различными типами покрытий для изделий авиационной техники // Труды МАИ. 2010. № 40. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=22867>

20. Храмова Д.А., Егорова Д.А., Жилин Я.Д. Расчёт и моделирование остаточных напряжений // Политехнический молодежный журнал. 2018. № 1 (18). С. 1-11. DOI: [10.18698/2541-8009-2018-1-231](https://doi.org/10.18698/2541-8009-2018-1-231)

## References

1. Luecke W., Slotwinski J. A. Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steel Made by Additive Manufacturing // Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology. 2014. V. 119, P. 398-418. DOI: [10.6028/jres.119.015](https://doi.org/10.6028/jres.119.015)

2. Shtrikman M.M., Kashchuk N.M. Determination of residual stress and deformations during friction stir welding of three-layer panels, made of aluminum alloy materials. *Trudy MAI*. 2011. No. 43. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=24728>
3. Jia H. et al. Scanning strategy in selective laser melting (SLM): a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021. V. 113, No. 9-10. P. 2413-2435. DOI: [10.1007/s00170-021-06810-3](https://doi.org/10.1007/s00170-021-06810-3)
4. Lai W.J., Ojha A., Li Z. et al. Effect of residual stress on fatigue strength of 316L stainless steel produced by laser powder bed fusion process. *Progress in Additive Manufacturing*. 2021. V. 6 (3), P. 375–383. DOI: [10.1007/s40964-021-00164-8](https://doi.org/10.1007/s40964-021-00164-8)
5. Smudde C.M. et al. The Influence of Residual Stress on Fatigue Crack Growth Rates in Stainless Steel Processed by Different Additive Manufacturing Methods. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2024. V. 33, No. 15. P. 7703-7713. DOI: [10.1007/s11665-024-09558-5](https://doi.org/10.1007/s11665-024-09558-5)
6. Babaitsev A.V., Rabinskii L.N., Yang N.M. Method for evaluating residual stresses in AlSi10Mg alloy specimens obtained by SLM technology. *Trudy MAI*. 2021. No. 119. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=159788>. DOI: [10.34759/trd-2021-119-10](https://doi.org/10.34759/trd-2021-119-10)
7. Rybaulin A.G., Sidorenko A.S. Research of a local stress state and estimation of durability of an aviation article's structure with discrete welded connections at random loading. *Trudy MAI*. 2015. No. 79. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=55786>
8. Zel'dovich V.I., Pankratov A.V., Yaroslavtseva I.A. Structure and mechanical properties of austenitic stainless steel obtained by selective laser melting. *Fizika metallov i*

*metallovedenie*. 2021. V. 122, No. 5. P. 613–620. (In Russ.). DOI: [10.31857/S0015323021050132](https://doi.org/10.31857/S0015323021050132)

9. Kolchanov D. S., Drenin A. A., Denezhkin A. O., Shustova L. A., Safiullin S. R. Features of the process of selective laser melting from structural steel 28X3CHMBΦA. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie*. 2022. No. 10 (751). P. 79-88. DOI: [10.18698/0536-1044-2022-10-79-88](https://doi.org/10.18698/0536-1044-2022-10-79-88)

10. Boniotti L., Foletti S., Beretta S., Patriarca L. Analysis of strain and stress concentrations in micro-lattice structures manufactured by SLM. *Rapid Prototyping Journal*. 2020. V. 26, No. 2. P. 370-380. DOI: [10.1108/RPJ-10-2018-0270](https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2018-0270)

11. Scalzo F., Totis G., Sortino M. Influence of the Experimental Setup on the Damping Properties of SLM Lattice Structures. *Experimental Mechanics*. 2022. V. 63, P. 15–28. DOI: [10.1007/s11340-022-00898-8](https://doi.org/10.1007/s11340-022-00898-8)

12. Mukherjee T., Zhang W. G., DebRoy T. An improved prediction of residual stresses and distortion in additive manufacturing. *Computational Materials Science*. 2017. V. 126, P. 360-372. DOI: [10.1016/j.commatsci.2016.10.003](https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2016.10.003)

13. Lebedkin I.F., Molotkov A.A., Tret'yakova O.N. Mathematical modelling of complex heat exchange while developing SLM laser technologies. *Trudy MAI*. 2018. No. 101. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=97045>

14. Zaretskii M.V., Sidorenko A.S. Dynamic state of aviation products structures with weld junctions. *Trudy MAI*. 2018. No. 98. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=90171>

15. Sazanov V.P., Pavlov V.F., Pis'marov A.V., Matveeva K.F. Influence of the ratio of the components of the initial deformations on the distribution of the residual stresses in the

strengthened layer of the part. *Trudy MAI*. 2023. No. 132. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=176843>

16. Chumakov D.M. Additive manufacturing opportunity for aviation and aerospace technology development. *Trudy MAI*. 2014. No. 78. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=53682>

17. Suprapedi, Toioka S. Spatio-temporal observation of plastic deformation and fracture by laser speckle interferometry. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 1998. V. 1, No. 1. P. 55-60. (In Russ.)

18. Qiu T.Q., Tien C.L. Heat transfer mechanisms during short-pulse laser heating of metals // *Journal of heat transfer*. 1993. V. 115, P. 835-841. DOI: [10.1115/1.2911377](https://doi.org/10.1115/1.2911377)

19. Gavrilov D.G., Mamonov S.V., Martirosov M.I., Rabinskii L.N. Comparative characteristics of strength properties of samples with different types of coatings for aviation wares. *Trudy MAI*. 2010. No. 40. (In Russ.). URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=22867>

20. Khramova D.A., Egorova D.A., Zhilin Ya.D. Computing and simulating residual stresses in an P65 rail. *Politekhnicheskii molodezhnyi zhurnal*. 2018. No. 1 (18). P. 1-11. (In Russ.). DOI: [10.18698/2541-8009-2018-1-231](https://doi.org/10.18698/2541-8009-2018-1-231)

Статья поступила в редакцию 31.01.2025

Одобрена после рецензирования 04.02.2025

Принята к публикации 25.02.2025

The article was submitted on 31.01.2025; approved after reviewing on 04.02.2025; accepted for publication on 25.02.2025