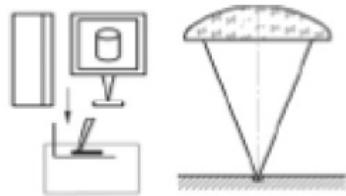


Аддитивные технологии и лазерная обработка



Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2025. №4 (166). С.3-7.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. №4 (166). P.3-7.

Научная статья

УДК 621.791.9

doi: 10.30987/2223-4608-2025-4-3-7

Промышленные установки для аддитивного производства, выпускаемые в московском центре лазерных технологий

Александр Григорьевич Григорьянц¹, д.т.н.

Константин Сергеевич Елизаветский², инженер

^{1, 2} Московский государственный технический университет

им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

^{1, 2} Mt12@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. Представлен десятилетний путь развития от первых установок до современного комплекса, спроектированного и изготовленного полностью на отечественных комплектующих, включая программное обеспечение и оптическую систему. Первая установка СЛП-110, изготовленная в 2016 г. имела объем построения 110×110×200 мм. В течение ряда лет были выполнены многочисленные научно-исследовательские работы, послужившие основой разработки технологических процессов выращивания деталей и узлов из различных металлических порошков. В последующих разработках объем, выращиваемых изделий был увеличен до 250×250×300 мм. В результате выполненных НИОКР была спроектирована и изготовлена более совершенная установка СЛП-250. В этой установке с помощью системы датчиков предусмотрен полный автоматический контроль и управление параметрами процесса при длительной непрерывной многосуточной работе комплекса с обеспечением высокой надежности и стабильности. Ряд установок успешно эксплуатируются в нашей промышленности в производстве сложных изделий из разнообразных металлических, керамических и композиционных порошков, выпускаемых в нашей стране. Следующим этапом развития аддитивного производства является организация участков по изготовлению деталей на основе аддитивных комплексов и периферийного оборудования. Необходимо организовать в нашей стране серийный выпуск имеющихся установок и разрабатывать оборудование, обеспечивающее увеличение производительности процесса.

Ключевые слова: аддитивная технология, оборудование, кинематика, основные узлы, система управления, программное обеспечение

Для цитирования: Григорьянц А.Г., Елизаветский К.С. Промышленные установки для аддитивного производства, выпускаемые в Московском центре лазерных технологий // Наукоёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 4 (166). С. 3–7. doi: 10.30987/2223-4608-2025-4-3-7

Industrial installations for additive manufacturing, manufactured at the moscow center for laser technologies

Alexander G. Grigoryants¹, D. Eng.

Konstantin S. Elizavetsky², engineer

^{1, 2} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

^{1, 2} Mt12@bmstu.ru

Abstract. The decade-long period of the evolution starting from the first installations to a modern complex, designed and manufactured entirely using just indigenous content, including software and an optical system, is presented. The first SLM-110

installation, manufactured in 2016, had a construction volume of $110 \times 110 \times 200$ mm. Over the years, numerous research projects have been carried out. They served as the basis for the development of technological processes for growing parts and units obtained from various metal powders. In subsequent developments, the volume of grown products was increased to $250 \times 250 \times 300$ mm. As a result of the completed R&D, a more advanced SLM-250 installation was designed and manufactured. In this installation with a sensor system a full automatic monitoring and control of process parameters is provided for long-term continuous operation of the complex for many days, ensuring high reliability and stability. A number of plants are successfully used in our industry in the production of complex products from a variety of metal, ceramic and composite powders produced in our country. The next stage in the development of additive manufacturing is the organization of sites for the manufacture of parts based on additive complexes and peripheral equipment. It is necessary to organize serial production of existing installations in our country and develop equipment to increase the process performance.

Keywords: additive technology, equipment, kinematics, main components, control system, software

For citation: Grigoryants A.G., Elizavetsky K.S. Industrial installations for additive manufacturing, manufactured at the moscow center for laser technologies / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 4 (166). P. 3–7. doi: 10.30987/2223-4608-2025-4-3-7

Технологические процессы выращивания деталей и узлов металлических изделий являются по существу развитием и усовершенствованием технологии наплавки. Эти процессы объединены под названием аддитивные технологии изготовления металлических конструкций. Классификация аддитивных технологий производства изделий из металлических материалов и сложившаяся резкообразная терминология представлены в работе [1]. Это в основном технологии аддитивного производства дуговой наплавкой проволочных материалов, плазменные технологии, электронно-лучевые, лазерные.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана и в организованном при университете малом предприятии «Московский центр лазерной технологии (МЦЛТ)» изготавливаются лазерные технологии селективного сплавления металлических порошков (СЛП) и прямого лазерного осаждения подачей порошка коаксильно лазерному лучу (КЛП).

Была изготовлена отечественная установка селективного лазерного плавления СЛП-110 (рис. 1) с объемом построения $110 \times 110 \times 200$ мм [2]. В этой установке использованы порошки из различных металлов и сплавов российского производства. Проектирование этой установки выполнено на уровне современных представлений о «цифровизации» сложного высокоточного оборудования с программным управлением целого ряда параметров процесса. Источником излучения является иттербийевый волоконный технологический лазер. Сплавление порошка осуществляется в герметичной камере, из которой откачивают воздух и заполняют защитным газом. Специализированное программное обеспечение через единый интерфейс обеспечивает полный контроль и управление параметрами процесса выращивания. Обязательным условием при длительной непрерывной многочасовой работе установки является ее стабильность и надежность.



Рис. 1. Установка селективного лазерного плавления СЛП-110

Fig. 1. Selective laser melting unit SLM-110

Полученные данные по многолетней эксплуатации комплекса СЛП-110 (рис. 2, *a*), а также разработанные многочисленные технологические процессы выращивания образцов и деталей из разнообразных порошковых материалов послужили основой дальнейших исследований по разработке более совершенной конструкции установки селективного лазерного плавления СЛП-250 (рис. 2, *б*).

Установка СЛП-250 предназначена для полностью автоматизированного производства, не только единичного, но и серийного, из металлических, керамических и композиционных порошков. Данная установка может использоваться также для отработки режимов сплавления с целью получения оптимальных физико-механических характеристик деталей и узлов конструкций. Размер рабочей зоны ($D \times W \times H$) $250 \times 250 \times 300$ мм.

Используется иттербийевый волоконный лазер мощностью 400 Вт, обеспечивающий производительность до $30 \text{ см}^3/\text{ч}$ при толщине выращиваемого слоя от 20 до 200 мкм в зависимости от материала и режима построения. Габариты комплекса составляют $2450 \times 1550 \times 1930$ мм.

Процесс выращивания осуществляется в герметичной камере с контролируемой атмосферой и системой удаления из камеры побочных продуктов плавления. Технологический процесс программируется на стадии обработки

трехмерной модели детали с возможностью выполнения эмуляции всего процесса. Очень важным условием, расширяющим возможности аддитивного производства, является возможность корректировки детали в ходе ее выращивания.

Следующим поколением оборудования, разработанного специалистами Московского центра лазерных технологий, является комплекс СЛП-250Б (рис. 2, *в*). При изготовлении этого комплекса практически полностью используются отечественные комплектующие. По своим технологическим характеристикам и качеству изготовления детали выращиванием комплекс не уступает зарубежным моделям аналогичного класса. Рекомендуется для использования в различных отраслях промышленности: судостроение, энергомашиностроение, приборостроение, авиастроение, ракетостроение, инструментальная и другие предприятия оборонно-промышленного комплекса.

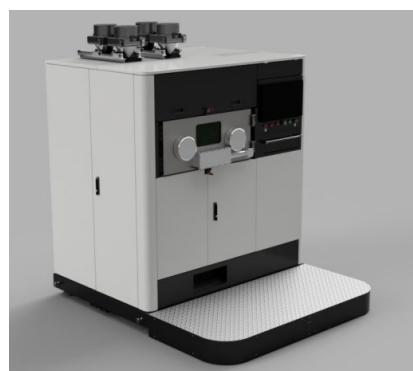
Ряд установок СЛП успешно эксплуатируется в нашей промышленности в единичном, мелкосерийном и серийном производстве сложных изделий из разнообразных металлических, керамических и композиционных порошков, выпускаемых отечественной промышленностью. Серии комплексов СЛП, выпускаемых в настоящее время Московским центром лазерных технологий для промышленного применения, представлены на рис. 2.



а)



б)



в)

Рис. 2. Серия комплексов селективного лазерного плавления для промышленного применения:
а – СЛП-110; *б* – СЛП-250; *в* – СЛП-250Б

Fig. 2. A series of selective laser melting complexes for industrial applications:
a – SLM-110; *b* – SLM-250; *c* – SLM-250B

Дальнейшим развитием аддитивного производства (АП) в отечественной промышленности является организация участков АП по изготовлению деталей и изделий методом селективного лазерного плавления, основой которых составляют аддитивные комплексы

СЛП-250 и СЛП-250Б. Такой участок АП создан на ведущем предприятии страны с расположением оборудования, представленном на (рис. 3), и обеспечивающим полный производственный цикл получения изделия.

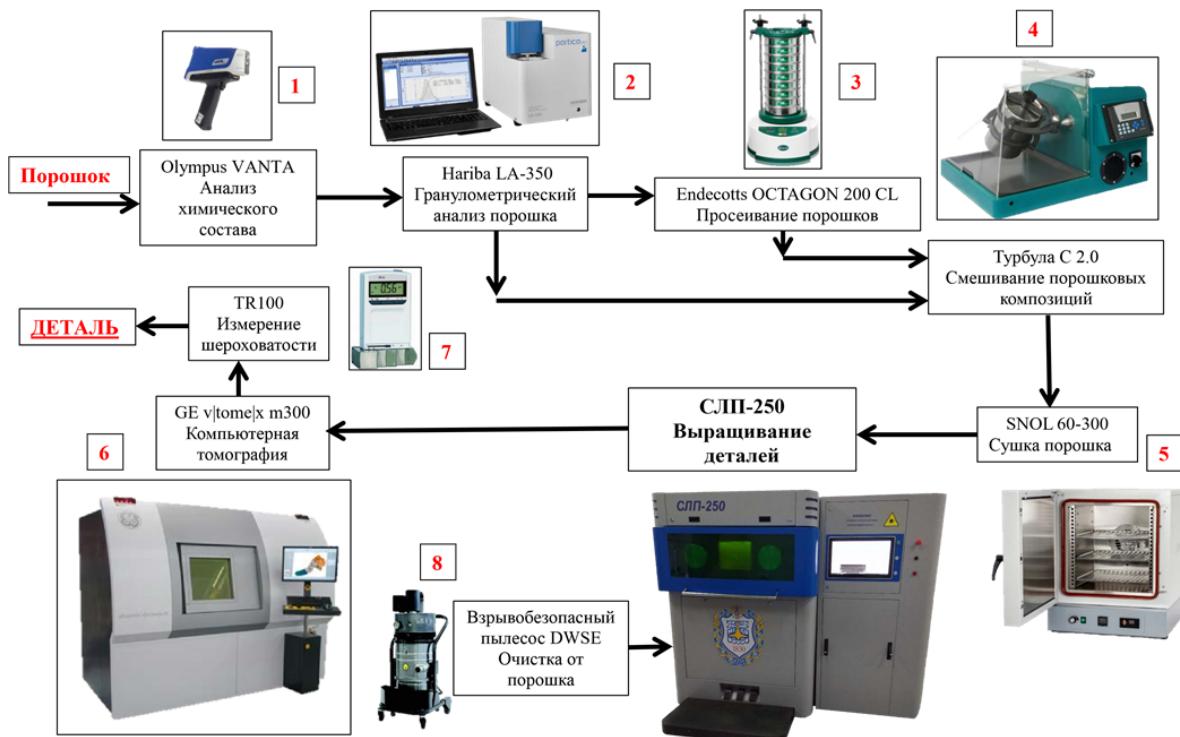


Рис. 3. Производственный цикл в цехе аддитивного производства

Fig. 3. Production cycle in the additive manufacturing shop

Для успешного широкого применения технологии аддитивного производства методом селективного лазерного плавления необходимо организовать в стране серийный выпуск имеющихся установок и разрабатывать оборудование для повышения производительности процесса [3].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учебное пособие для вузов / под редакцией А.Г. Григорьянца. М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2007. 669 с.
- Wohlers T. Wohlers Report. ForCollins: Associates, INC, 2014. 276 р.
- Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие / А.Г. Григорьянца и др.; под редакцией А.Г. Григорьянца, М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 278 с.

4. Григорьянц А.Г., Казарян М.А., Лябин Н.А. Лазерная прецизионная микрообработка-материалов. М.: Физматма, 2017. 416 с.

5. Аддитивные технологии в производстве металлических конструкций: учебник / А.В. Щербаков, Д.А. Гапонова, А.П. Слива и др.; под редакцией А.Г. Григорьянца, В.К. Драгунова. М.: Издательство МЭИ, 2022. 676 с.

6. Голубев В.С., Лебедев Ф.В. Физические основы технологических лазеров: учеб. пособие для вузов. 3-е изд., стер. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2021. 190 с. (Лазерная техника и технология: в 7кн. Кн. 1 / под ред. А.Г. Григорьянца).

7. Богданов А.В., Голубенко Ю.В. Волоконные технологические лазеры и их применение. учебное пособие. СПб.: Лань, 2016. 208 с.

8. Григорьянц А.Г. Устройство для выращивания изделий методом селективного лазерного плавления / Пат. на полезную модель № 167468, 29 октября 2015 г.

9. Колчанов Д.С., Григорьянц А.Г., Дренин А.А. Установка для выращивания изделий селективным лазерным плавлением / Патент на полезную модель №-185513, 24 апреля 2017 г.

10. Григорьянц А.Г., Колчанов Д.С.,
Дренин А.А., Денежкин А.О. Установка для изготовления деталей селективным лазерным плавлением / Патент на изобретение № 2801360, 19 июля 2022 г.

11. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н.,
Мисюров А.И. Оборудование для лазерной обработки / под ред. А.Г. Григорьянца. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. 285 с.

REFERENCES

1. Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. Technological processes of laser processing: Study guide for universities / Edited by A.G. Grigoryants. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2007, 669 p.

2. Wohlers T. Wohlers Report. ForCollins: Associates, INC, 2014.p. 276/

3. Laser additive technologies in mechanical engineering: a textbook/A.G. Grigoryants et al.; edited by A.G. Grigoryants, Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2018, 278 p.

4. Grigoryants A.G., Kazaryan M.A., Lyabin N.A. Laser precision micro-processing of materials. Moscow: Fizmata, 2017, 416 p.

5. Additive technologies in the production of metal structures: textbook / A.V. Shcherbakov, D.A. Gaponova, A.P. Sliva et al.; edited by A.G. Grigoryants, V.K. Dragunov. - M.: Publishing House of the MEI, 2022, 676 p.

6. Golubev V.S., Lebedev F.V., Physical foundations of technological lasers: textbook for universities, 3rd ed., ster. m.; Berlin: DirectMedia, 2021, 190 p. (Laser technology and technology: in 7 books. Book 1/edited by A.G. Grigoryants).

7. Bogdanov A.V., Golubenko Yu.V. Fiber technological lasers and their application, study guide. St. Petersburg: Lan, 2016, 208 p.

8. Grigoryants A.G. Device for growing products by selective laser melting / Patent for utility model No. 167468, October 29, 2015.

9. Kolchanov D.S., Grigoryants A.G., Dronin A.A. Installation for growing products by selective laser melting / Utility model patent No.-185513, April 24, 2017.

10. Grigoryants A.G., Kolchanov D.S., Drenin A.A., Denezhkin_A.O. Installation for manufacturing parts by selective laser melting / Patent for invention No. 2801360, July 19, 2022

11. Grigoryants A.G., Shiganov I.N., Misyurov A.I. Equipment for laser processing / edited by A.G. Grigoryants. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2022, 285 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.02.2025; одобрена после рецензирования 13.02.2025; принятая к публикации 16.02.2025.

The article was submitted 02.02.2025; approved after reviewing 13.02.2025; accepted for publication 16.02.2025.