

МИНИСТЕРСТВО КУЛЬТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РЕСТАВРАЦИИ» (ФГБНИУ «ГОСНИИР»)

Художественное наследие.
Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.

Международное сетевое рецензируемое научное издание

№2 (18) 2026

МОСКВА 2026

THE MINISTRY OF CULTURE OF THE RUSSIAN FEDERATION

THE STATE RESEARCH INSTITUTE FOR RESTORATION

Художественное наследие.
Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.

An international peer-reviewed online scientific journal

№2 (18) 2026

MOSCOW 2026

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Д. Б. Антонов

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

А. С. Макарова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

**А. Н. Балаш, В. В. Баранов, С. И. Баранова, Г. И. Вздорнов, В. Г. Гагарин,
М. Ф. Дубровин, В. В. Игошев, С. С. Ипполитов, С. А. Кочкин, А. В. Кыласов,
Л. И. Лифшиц, Т. К. Мкртычев, А. В. Окороков, С. А. Писарева, И. Н. Проворова,
И. Г. Равич, Н. Л. Ребрикова, Н. В. Синявина, С. В. Филатов, Н. Е. Шафажинская,
О. В. Яхонт.**

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ РЕДАКЦИИ:

О. Г. Кирьянова

РЕДАКТОР:

Г. И. Герасимова

Выходит 4 раза в год

Адрес редакции:

107014, г. Москва, ул. Гастелло, д. 44 стр. 1

e-mail: journal@gosniir.ru

Сайт: <http://www.journal-gosniir.ru/>

Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ. № ФС77-82901 ОТ 14.03.2022

ISSN 2782-5027

EDITOR-IN-CHIEF:

Dmitriy B. Antonov

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Anastasia S. Makarova

EDITORIAL BOARD:

**A.N. Balash, V.V. Baranov, S.I. Baranova, G.I. Vzdornov, V.G. Gagarin, M.F. Dubrovin,
V.V. Igoshev, S.S. Ippolitov, S.A. Kochkin, A.V. Kylasov, L.I. Lifshic, T.K. Mkrttychev,
A.V. Okorokov, S.A. Pisareva, I.N. Provorova, I.G. Ravich, N.L. Rebrikova, N.V. Sinyavina,
S.V. Filatov, N.E. Shafazhinskaya, O.V. Yahont.**

EXECUTIVE SECRETARY:

O.G. Kiryanova

EDITOR:

G.I. Gerasimova

Quarterly journal

Address:

44-1, Gastello St., Moscow, Russia, 107014

e-mail: journal@gosniir.ru

Web-site: <http://www.journal-gosniir.ru/>

Mass media registration certificate EL. N° FS77-82901 from 14.03.2022

ISSN 2782-5027

СОДЕРЖАНИЕ

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-7-26

Беккер А. О., Дубровин М. Ф.

Уточнения и дополнения к информации

о времени работы московских пробирных мастеров XIX века

7

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-27-36

Добровольский С. В., Глуховская Ю. И.

Возможности использования газодинамических способов

формирования материала для реставрации изделий из металла

27

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-37-58

Котельников П. Н., Кураков С. В., Макарова А. С., Самойлов В. Б.

Реставрация памятников из металла методом

холодного газодинамического напыления:

критерии применения и оценка результатов

37

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-59-65

Парфенов В. А.

Лазерная порошковая наплавка:

новое в реставрации памятников из металла

59

DOI: 10.24412/2782-5027-2026-2-66-73

Плахов В. В., Каракуркчи Р. С., Хасиева Е. А.

Цвет, рожденный током: анодирование титана

как искусство и технология

66

CONTENTS

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-7-26

Bekker A. O., Dubrovin M. F.

Clarifications and additions to the information about the working periods of Moscow assay masters of the 19th century

7

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-27-36

Dobrovolsky S. V., Glukhovskaya Yu. I.

Possibilities of using gas-dynamic methods of material formation for the restoration of metal objects

27

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-37-58

Kotelnikov P. N., Kurakov S. V., Makarova A. S., Samoilov V. B.

Restoration of metal monuments using the cold gas-dynamic spraying method: application criteria and results assessment

37

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-59-65

Parfenov V. A.

Direct metal laser sintering: new in the restoration of metal monuments

59

DOL: 10.24412/2782-5027-2026-2-66-73

Plakhov V. V., Karakurkchi R. S., Khasieva E. A.

Color born of amperage: anodizing titanium as art and technology

66

В. А. Парфенов

ЛАЗЕРНАЯ ПОРОШКОВАЯ НАПЛАВКА: НОВОЕ В РЕСТАВРАЦИИ ПАМЯТНИКОВ ИЗ МЕТАЛЛА

В статье описан новый подход к реконструкции поврежденных и сильно разрушенных памятников из металла, который основан на использовании технологии лазерной порошковой наплавки. Представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение возможности применения этой технологии на примере восполнения утрат на фрагменте чугунной ограды одного из надгробий XIX века в Александро-Невской лавре в Санкт-Петербурге. Данный предмет представляет собой литое украшение в виде многоконечной звезды, имевшее множественные утраты отдельных элементов. Для реконструкции «звезды» было проведено ее лазерное 3D-сканирование и компьютерное 3D-моделирование. Полученная в результате проведения этих работ 3D-модель была преобразована в CAD-модель, которая использовалась для изготовления утраченных элементов при помощи роботизированной установки лазерной порошковой наплавки. В качестве «строительного материала» в экспериментах использовался порошок из никелевого сплава с размером гранул 50–150 мкм. Плавление металлического порошка осуществлялось при помощи непрерывного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны излучения 1,06 мкм и выходной мощностью до 80 Вт. В результате высокоточного движения лазерного пучка по заданной расчетной траектории, что приводило к послойному нанесению тонких слоев расплавленного металла, были реконструированы отсутствующие элементы «звезды». Тем самым доказана эффективность предложенного подхода. Данная работа является первым опытом применения в России лазерных аддитивных технологий в реставрации исторических предметов из чугуна.

Ключевые слова: лазер, аддитивные технологии, лазерная порошковая наплавка, 3D-сканирование, реставрация, реконструкция, памятники из металла.

V. A. Parfenov

DIRECT METAL LASER SINTERING: NEW IN THE RESTORATION OF METAL MONUMENTS

The article describes a new approach to the reconstruction of damaged and severely destroyed metal monuments, which is based on the use of the direct metal laser sintering technology. The results of experimental studies aimed at investigation of the possibility of its application are presented using the example of filling the losses on a fragment of a cast-iron fence of one of the tombstones of the XIX century in the Alexander Nevsky Monastery in St. Petersburg. This item is a cast decoration in the form of a multi-pointed star, which had multiple losses of elements. To reconstruct the "star", its 3D laser scanning and computer 3D modeling were carried out. The 3D model obtained as a result of these works was transformed into a CAD model, which was used to manufacture the lost elements using a robotic laser machine. A nickel alloy powder with a granule size of 50–150 microns was used as a "building material" in the experiments. The melting of the metal powder was carried out using a continuous-wave fiber ytterbium laser with a wavelength of 1.06 microns and an output power of up to 80 watts. As a result of the high-precision movement of the laser beam along a given calculated trajectory, which led to the layered application of thin layers of molten metal, the missing elements of the "star" were reconstructed. Thus, the effectiveness of the proposed approach was proved. This work is the first experience of using laser additive technologies in Russia in the restoration of historical cast iron objects.

Keywords: laser, additive technologies, direct metal laser sintering, 3D scanning, restoration, reconstruction, metal monuments.

Введение

В последние годы в области сохранения культурно-исторического наследия всё более широкое использование получает лазерная техника. К числу наиболее отработанных применений лазеров относится лазерная очистка памятников от природных наслоений и антропогенных загрязнений [3; 4], а также целый ряд аналитических методов. К числу последних относятся спектроскопия, интерферометрия, 3D-сканирование и голография, доплеровская виброметрия и др. Они позволяют определять химический состав и осуществлять структурную диагностику, документирование и мониторинг памятников [5]. Новым направлением применения лазеров в музейном деле и реставрации является использование аддитивных технологий, которые известны также под другим названием — 3D-печать, или лазерное прототипирование [1]. Аддитивные технологии используют для создания копий [6], но они могут применяться также для реконструкции поврежденных и даже полностью утраченных памятников [2]. При проведении такого рода работ обычно используют лазерную стереолитографию и лазерный синтеринг, где роль «строительного материала» выполняют жидкие фотополимеры, синтетические порошки или пластики. В данной статье описаны результаты реконструкции исторического памятника из чугуна с использованием лазерной порошковой наплавки. По сведениям авторов, это первый опыт применения данной технологии в реставрационной практике в России.

Объект и метод исследования

Объектом исследования в данной работе служил фрагмент чугунной ограды от одного из надгробий XIX века в Александро-Невской лавре в Санкт-Петербурге. Он представляет собой литое украшение в виде многоконечной звезды небольшого (около 15 см в диаметре) размера. Эта «звезда» находилась в весьма неудовлетворительном состоянии — вся ее поверхность была покрыта толстым слоем коррозии, а кроме того, в процессе бытования «звезды» были утрачены кончики отдельных «лучей» (ил. 1). Именно по причине множественных дефектов данный предмет представлял интерес как модельный объект для исследования возможности реконструкции поврежденных памятников с использованием современных технологий.



Ил. 1.

Объект исследования — фрагмент чугунной ограды XIX века. Фото автора

Здесь необходимо пояснить, что по сложившейся реставрационной практике разрушающиеся или сильно поврежденные предметы из чугуна, не имеющие художественной и исторической ценности, обычно не подлежат восстановлению — их просто заменяют на копии. Однако с появлением и активным развитием в последние годы лазерных аддитивных технологий появляется возможность по-новому подойти к вопросу реконструкции памятников из чугуна и железа. Дело в том, что использование лазерного 3D-сканирования (или фотограмметрии) в комбинации с лазерной порошковой наплавкой позволяет восполнять имеющиеся утраты металлического материала. Лазерная наплавка — это упрощенное название технологии, которая за рубежом известна под аббревиатурой DMLS (*Direct Metal Laser Sintering* — дословно: прямой лазерный металло-синтеринг). Она представляет собой процесс послойного «выращивания» объектов из металлического порошка, расплавляющегося под воздействием высокоинтенсивного лазерного излучения.

Базовая идея такого подхода довольно проста. Допустим, у нас есть предмет сложной геометрической формы, у которого изначально имелись множественные повторяющиеся элементы. Если в силу каких-то причин некоторые элементы были повреждены или полностью утрачены, можно оцифровать (т. е. получить с помощью 3D-сканирования точную компьютерную 3D-модель) сохранившиеся элементы и использовать полученные модели в качестве «иконографической» основы для реконструкции утраченных частей. В другом варианте утраченные элементы можно смоделировать с использованием программ компьютерной графики, а после этого, как и в первом случае, изготовить их при помощи лазерной наплавки. И здесь есть два варианта действий. В одном случае можно предварительно изготовить недостающие детали, а затем закрепить их в нужном месте на памятнике при помощи лазерной микросварки. Во втором случае (это было бы идеальное решение задачи) восполнение утрат возможно непосредственно в тех местах памятника, в которых отсутствуют те или иные части. Но это требует очень точного позиционирования лазерного пучка, производящего плавление гранул металлического порошка и нанесение расплава тонкими слоями прямо на месте утрат для «выращивания» недостающих деталей памятника. С технической точки зрения это очень сложная задача, но она может быть решена при использовании 5–6-координатных роботов-манипуляторов, «рука» которых будет очень точно перемещать луч лазера даже по самой сложной траектории.

В нашем случае была предпринята попытка использовать первый (более простой) подход для реконструкции чугунной «звезды», так как, к сожалению, автор не смог получить доступ к оборудованию для проведения более сложных экспериментов.

Результаты экспериментов

Работа по реконструкции утрат «звезды» началась с ее очистки от коррозии металла. Для удаления корродированных слоев были опробованы три метода обработки: лазерная (при помощи лазера на углекислом газе с длиной волны 10,6 мкм) и пескоструйная очистка (производилась кварцевым песком с фракцией 0,63 мм и давлением воздуха 5–5,5 бар), а также химическая обработка (выполнялась при помощи раствора соли Трилон Б в ультразвуковой камере). Наилучший результат дала химическая обработка (ил. 2 а, б, в).



а)



б)

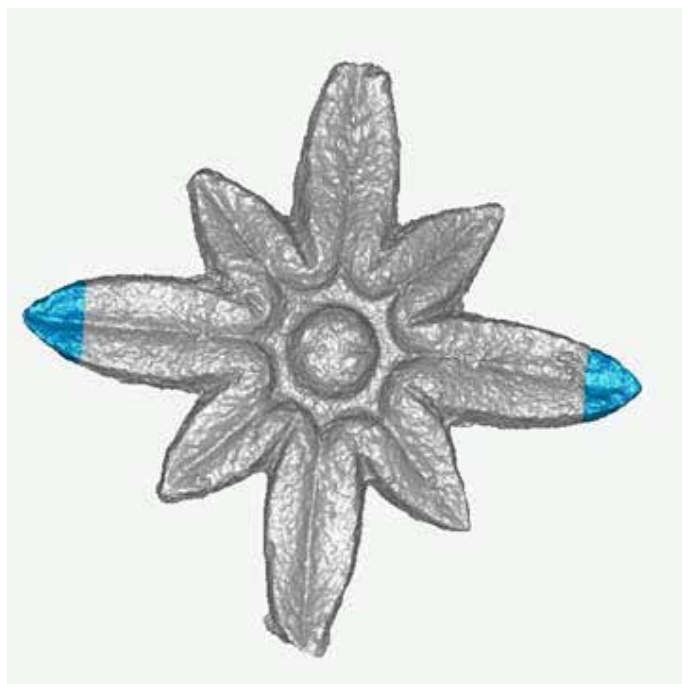


в)

Ил. 2.

Результаты очистки «звезды» от ржавчины: а — лазерная очистка, б — пескоструйная очистка, в — химическая обработка.
Фото автора

После этого с помощью высокоточного лазерного сканера триангуляционного типа Konica Minolta V-910 было проведено 3D-сканирование «звезды» и получена ее 3D-модель. После этого было проведено компьютерное 3D-моделирование. На этом этапе работы недостающие кончики «звезды» были смоделированы на основе сканов сохранившихся кончиков при помощи специализированной программы так называемого скульптинга Zbrush. Эти виртуально реконструированные фрагменты были затем «вшиты» в исходную 3D-модель в нужных местах (см. ил. 3, где представлен скриншот одной из проекций модели «звезды»; здесь синим цветом показаны «дорисованные» фрагменты).



Ил. 3.

Скриншот изображения компьютерной 3D-модели «звезды» с восполненными фрагментами.
Скопировано автором

Эксперименты по лазерной наплавке было решено разделить на два этапа. На первом этапе методом прямого лазерного осаждения металлического порошка мы «вырастили» смоделированные кончики «звезды». Для этого 3D-модель была преобразована в CAD-модель, под управлением которой работают станки лазерной порошковой наплавки. В нашем случае это была лазерная установка OKTA-Printer,

разработанная в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого. Ее основу составляет непрерывный волоконный иттербиевый лазер с длиной волны 1,06 мкм и выходной мощностью до 80 Вт, а также промышленный робот Самат (Италия). Для изготовления кончиков «звезды» использовался порошок из никелевого сплава Inconel 625 (изготовитель — Hoganäs, Бельгия) с размером гранул 50–150 мкм. Данный материал широко используется для лазерной наплавки, но в нашем случае его выбор был связан с тем, что по своим физико-механическим свойствам он близок чугуну.

На втором этапе «напечатанные» на этой установке кончики «звезды» были присоединены к ней, каждый на своем месте. Для этого они были предварительно закреплены монтажным клеем, а затем прочно соединены со «звездой» в результате 1-проходовой лазерной наплавки. Эта операция осуществлялась на той же самой лазерной установке при задании ее следующих рабочих параметров: диаметр лазерного пучка в зоне сварки — 1,5 мм, выходная мощность лазера — 70 Вт, скорость перемещения пучка — 1500 мм/с.

В результате была осуществлена реконструкция утраченных «кончиков» звезды (ил. 4 а, б).



а)



б)

Ил. 4.

Один из «напечатанных» кончиков «звезды» до (а) и после (б) фиксации на месте утраты оригинальной части. Фото автора

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования продемонстрировали принципиальную возможность восстановления поврежденных памятников из металла при помощи технологии лазерной порошковой наплавки. Последняя в данной работе была использована для реконструкции исторического памятника из чугуна. Однако сам по себе материал не имеет принципиального значения, поскольку в настоящее время на рынке представлена широкая гамма металлических порошков (из нержавеющей стали, меди, титана и др.).

У автора нет сомнений, что описанный здесь подход имеет хорошие перспективы для внедрения в практику реставрационных работ. Однако то, насколько быстро и широко он может найти свое применение, — вопрос дискуссионный, и ответить на него сложно. Это связано с тем, что в настоящее время и лазеры, и материалы для лазерной порошковой наплавки имеют очень высокую стоимость, но очевидно, что постепенно цены будут снижаться. В любом случае уже сегодня можно с уверенностью говорить, что технология лазерной порошковой наплавки уже в самое ближайшее время может быть востребована при проведении реставрационных работ на объектах, имеющих особую историческую ценность.

В заключение автор выражает благодарность всем коллегам, принимавшим участие в этих работах, в том числе С. Д. Игошину, Д. С. Кулешову и В. О. Тишкину. Благодарю также П. Н. Котельникова за полезные обсуждения полученных результатов.

Список литературы

1. Григорьянц А. Г. и др. Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учеб. пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков; под ред. А. Г. Григорьянца. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. — 278 с. — URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/364488/reading> (дата обращения: 14.02.2026).

2. Игнатъев П. П. и др. Реконструкция скульптуры «Ева у источника» из усадьбы «Сергиевка» с помощью лазерного 3D-сканирования, компьютерного моделирования и аддитивных технологий / П. П. Игнатъев, Д. В. Осипов, В. А. Парфенов, В. О. Тишкин // Общество. Среда. Развитие. 2017. №2. С. 69–74.

3. Парфенов В. А. Лазерная очистка памятников истории и культуры. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. — 160 с.

4. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation: An Introduction. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. — 120 с.

5. Fotakis C. et al. Lasers in the Preservation of Cultural Heritage. Principles and Applications / C. Fotakis, D. Anglos, V. Zafiropoulos, S. Georgiou, V. Tornari. Boca Rayton: CRC Press; Taylor & Francis Group, 2007. — 336 p.

6. Galushkin A. et al. Application of 3D Scanning for Documentation and Creation of Physical Copies of Estampages / A. Galushkin, S. Gonobobleva, V. Parfenov, A. Zhuravlev // Restaurator. International Journal for the Preservation of Library and Archival Material. 2019. — DOI: 10.1515/res-2018-0010.

1. Grigor'yancz A. G. i dr. Lazerny`e additivny`e tehnologii v mashinostroenii: ucheb. posobie / A. G. Grigor'yancz, I. N. Shiganov, A. I. Misyurov, R. S. Tret'yakov; pod red. A. G. Grigor'yancza. M.: MGTU im. N. E`. Bauman, 2018. — 278 s. — URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/364488/reading> (data obrashheniya: 14.02.2026).

2. Ignat`ev P. P. i dr. Rekonstrukciya skul`ptury` «Eva u istochnika» iz usad`by` «Sergievka» s pomoshh`yu lazernogo 3D-skanirovaniya, komp`yuternogo modelirovaniya i additivny`x tehnologij / P. P. Ignat`ev, D. V. Osipov, V. A. Parfenov, V. O. Tishkin // Obshhestvo. Sreda. Razvitie. 2017. №2. S. 69–74.

3. Parfenov V. A. Lazernaya ochistka pamyatnikov istorii i kul`tury`. SPb.: Izd-vo SPbGETU «LE`TI», 2015. — 160 s.

Сведения об авторе

Парфенов Вадим Александрович — доктор технических наук, доцент;
Санкт-Петербургский Институт истории РАН, ведущий научный сотрудник
Россия, 197110, Санкт-Петербург, Петрозаводская ул., д. 7;
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» имени В. И Ульянова (Ленина), профессор
Россия, 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5;
Балтийский федеральный университет имени Имманиуила Канта, профессор
236016, Россия, Калининград, ул. А. Невского, д. 14
E-mail: vadim_parfenov@mail.ru

Parfenov Vadim A. — Doctor of Technical Sciences, associate professor; Saint-
Peterburg Institute of History of Russian Academy of Sciences, leading research
fellow
Russia, 197110, Saint-Petersburg, Petrozavodskaya St., 7;
Saint Petersburg Electrotechnical University, professor
Russia, 197376, Professora Popova St., 5;
Immanuel Kant Baltic Federal University, professor
14A, A. Nevskogo St., Kaliningrad, 236016, Russia
E-mail: vadim_parfenov@mail.ru

Научное издание

**Художественное наследие. Исследования. Реставрация. Хранение.
Art Heritage. Research. Storage. Conservation.**

Свидетельство о регистрации СМИ ЭЛ № ФС77-82901

от 14.03.2022 г.

ISSN 2782-5027

Подписано в печать 30.06.2026 г.

Федеральное государственное бюджетное
научно-исследовательское учреждение
«Государственный научно-исследовательский институт реставрации»
107014, г. Москва, ул. Гастелло, д. 44, стр. 1
e-mail: journal@gosniir.ru
Сайт: <http://www.journal-gosniir.ru/>