

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

С. В. Добровольский, Ю. И. Глуховская

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛА ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕТАЛЛА

В статье исследуются возможности использования газодинамических способов формирования материала для реставрации изделий из металла. Анализируются недостатки и достоинства применяемых в настоящее время аддитивных технологий реставрации. Обоснован выбор холодного газодинамического метода как наиболее подходящего под условия реставрации, показаны особенности использования метода и ограничения, обусловленные технологией применения. Проведенные ранее эксперименты показали, что качество формируемого материала зависит от решения многопараметрической задачи, основными параметрами которой являются размер частицы, ее масса, температура гетерогенного потока, угол падения частицы на поверхность, расстояние от среза ускорителя до поверхности, форма самой поверхности, подготовка поверхности и материал частицы. Рассматриваются возможные направления использования холодного газодинамического метода для восстановления изделий из металла; исследуются варианты разработки, проектирования и изготовления специализированных реставрационных газодинамических установок. Анализируя описанную в статье специфику метода, авторы делают вывод, что под каждый тип реставрируемого изделия нужно рассчитать, спроектировать и изготовить ускоритель гетерогенного потока с учетом законов газодинамики. Приведен результат расчета ускорителя гетерогенного потока, использующегося для реставрации больших плоских поверхностей; а также пример ускорителя, разворачивающего поток под прямым углом, и ускорителя, использующегося для работы на внутренних цилиндрических поверхностях.

Ключевые слова: реставрация изделий из металла, гетерогенный поток, холодный газодинамический метод, эрозионно-коррозионный износ, ускоритель гетерогенного потока, установка для формирования материала холодным газодинамическим методом, частица порошкового материала.

S. V. Dobrovolsky, Yu. I. Glukhovskaya

POSSIBILITIES OF USING GAS-DYNAMIC METHODS OF MATERIAL FORMATION FOR THE RESTORATION OF METAL OBJECTS

The article explores the possibilities of using gas-dynamic methods of forming a material for the restoration of metal objects. The disadvantages and advantages of the currently used additive restoration technologies are analyzed. The choice of the cold gas dynamic method is justified as the most suitable for restoration conditions, the features of its use and the limitations caused by the technology of its application are shown. Previous experiments have shown that the quality of the formed material depends on the solution of a multiparametric problem, the main parameters of which are the particle size, its mass, the temperature of the heterogeneous flow, the angle of incidence of the particle on the surface, the distance from the accelerator slice to the surface, the shape of the surface itself, surface preparation and particle material. Possible directions of using the cold gas dynamic method for the restoration of metal products are considered. The options for the development, design and manufacture of specialized restoration gas dynamic installations are being investigated. Analyzing the specifics of the method described in the article, the authors conclude that for each type of restored object, it is necessary to calculate, design and manufacture a heterogeneous flow accelerator taking into account the laws of gas dynamics. The calculation result of a heterogeneous flow accelerator used for the restoration of large flat surfaces is presented. An example of an accelerator that turns the flow at a right angle and an accelerator used to operate on internal cylindrical surfaces is given.

Keywords: restoration of metal objects, heterogeneous flow, cold gas dynamic method, erosion and corrosion wear, heterogeneous flow accelerator, installation for forming material by cold gas dynamic method, particle of powder material.

Введение

С момента своего изготовления любое изделие подвергается износу в той или иной форме, что обобщенно можно определить как утрату или изменение физических свойств материала, составляющего изделие. Износ может быть как следствием использования изделия по назначению, так и эрозионно-коррозионного воздействия, воздействия окружающей среды, ненадлежащего хранения, осознанной порчи (вандажные действия), что суммируется в общую утрату материала изделия (ил. 1).



Ил. 1.

Примеры эрозионно-коррозионного воздействия окружающей среды.

Фото: С. В. Добровольский, 2023.

Алушта, Крым

Таким образом, одной из задач реставрации с технологической точки зрения является возвращение изделию утраченного материала для формирования внешней и внутренней поверхностей памятника, воссоздания авторской идеи скульптора. Здесь может быть применен метод, называемый «аддитивная технология», что в рассматриваемом случае означает послойное добавление материала на основе созданной компьютерной 3D-модели изделия. Обычно аддитивные технологии применяются при реставрационных работах, когда создается утраченный элемент изделия, который механически закрепляется на нем, создавая целостный вид. Используемые в настоящее время аддитивные лазерные технологии не могут выращивать материал непосредственно на восстанавливаемом изделии [1; 13] из-за ограничений по габаритам рабочей области [17]. Возникла необходимость в более гибком и точном методе, работающем непосредственно в месте нахождения изделия, которым для частичного решения данной задачи может быть использование одного из газодинамических методов нанесения материала [6; 9].

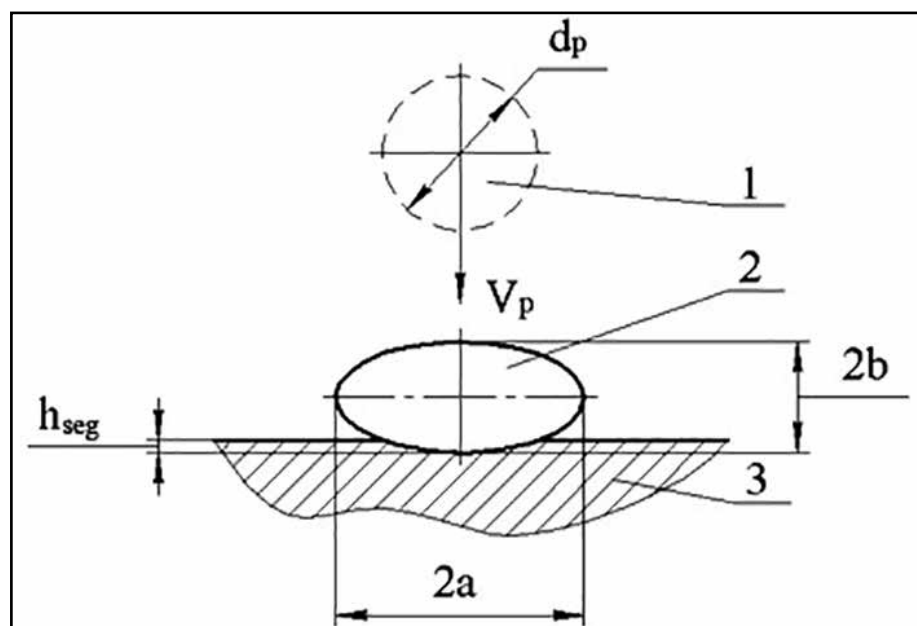
Возможности использования газодинамических методов и выбор подходящего для реставрации изделий из металла

Газодинамические методы известны давно и эффективно используются в машиностроении. Основные из них: газопламенный, плазменный, детонационный, высокоскоростного (сверхзвукового) напыления (HVOF/HVAF), холодный газодинамический метод (ХГМ). Они объединены единым принципом формирования материала с использованием гетерогенных потоков. Материал формируется из отдельных

частиц (порошка), нагретых и ускоренных с помощью высокотемпературной газовой струи (газа-носителя). Методы отличаются друг от друга температурой потока и скоростью движения частиц в нем. Газодинамические технологии обладают высокой производительностью. Толщина формируемого покрытия — от десятков микрон до нескольких миллиметров. Технологии позволяют наносить покрытия как на локальные участки конструкций, так и на большие поверхности, в том числе сложной конфигурации. Перечисленные преимущества обуславливают высокую универсальность методов и позволяют формировать покрытия с широким спектром назначения [8].

Все перечисленные методы, кроме ХГМ, характеризуются тем, что гетерогенный поток нагревается до температуры, большей температуры плавления наносимого материала; вследствие теплового воздействия на объект нанесения будет возникать температурная деформация, следствием которой будет температурное разрушение материала объекта реставрации. Наиболее перспективным для реставрации изделий из металла является, таким образом, ХГМ.

Несколько лет назад ХГМ начал применяться в реставрационных работах [7; 12] для восстановления и реставрации изделий из металлов [11]. Сущность ХГМ заключается в том, что изделие формируется в результате соударения высокоскоростных гетерогенных потоков с твердой поверхностью. В момент удара значительная часть кинетической энергии частиц материала, двигающихся в потоке, переходит в тепло, вызывая в зоне контакта значительное повышение местной температуры и деформацию частиц (ил. 2).

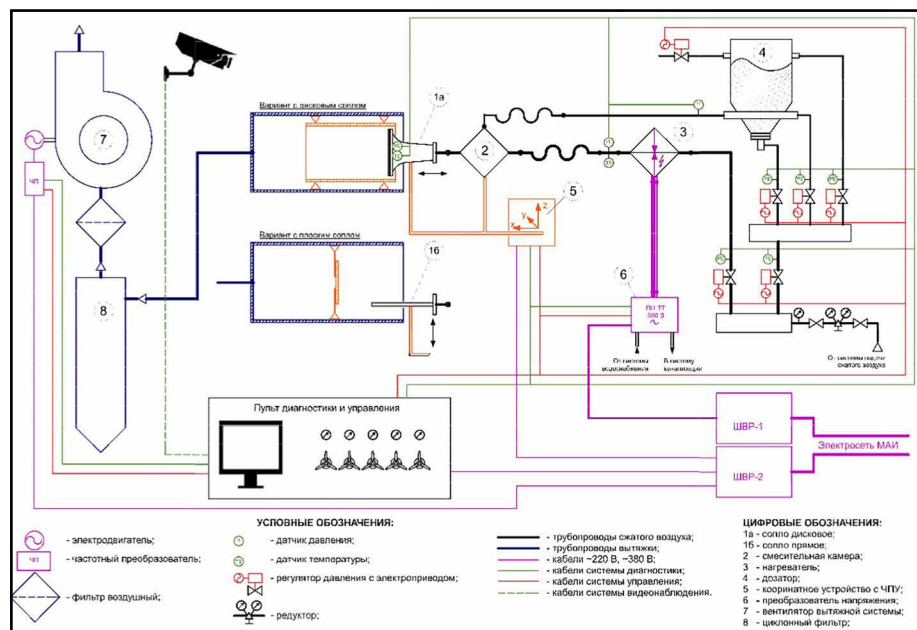


Ил. 2.
Деформация металлической частицы при ударе о твердую поверхность.
Автор С. А. Борисов

Массовая доля частиц, которые формируют изделие в гетерогенном потоке, не превышает 10% от массовой доли газа-носителя, размер частиц от 5 до 60 мкм [15; 16], газом-носителем может быть воздух [5; 10].

Состав порошков в расчетной пропорции готовится в специальном газодинамическом смесителе. Полученный материал в составе гетерогенного потока с необходимыми параметрами (давлением и температурой) поступает в форкамеру и затем разгоняется в сверхзвуковом сопле до расчетной для данной композиции скорости. Давление и температура газа-носителя выбираются так, чтобы скорость частиц на выходе из разгонного участка соответствовала расчетной, а их

температура не превышала 50–70% температуры плавления материала частиц. Основной особенностью ХГН является то, что материал формируется за счет высокого уровня кинетической энергии частиц, в то время как температура потока значительно меньше температуры их плавления. Принципиальная схема установки для ХГН показана на ил. 3.



Ил. 3.
Принципиальная схема установки.
Авторы С. В. Добровольский,
Ю. И. Глуховская, 2020

Частица материала в гетерогенном потоке при движении от среза ускорителя до поверхности изделия проходит через скачок уплотнения, что делает невозможным нанесение частиц nano размеров из-за их торможения при прохождении через скачок уплотнения.

Поведение частицы при контакте с поверхностью изделия будет зависеть от ее размера, массы, температуры, угла падения, расстояния от среза ускорителя до поверхности изделия, формы самой поверхности, подготовки поверхности и материала частицы.

Шероховатость поверхности получившегося материала определяется размером частиц наносимого материала.

Условием получения качественного результата реставрации является применение порошка из материала, аналогичного восстанавливаемому, что накладывает ограничения на ассортимент реставрируемых изделий.

Без учета перечисленных факторов невозможно сформировать материал с требуемыми для данного изделия характеристиками (пористостью, когезией, адгезией). При определенном сочетании факторов, таких как температурное воздействие гетерогенного потока на реставрируемый объект; напряжения, возникающие после ударного воздействия частиц, сформированный материал может ускорить разрушение восстанавливаемого объекта.

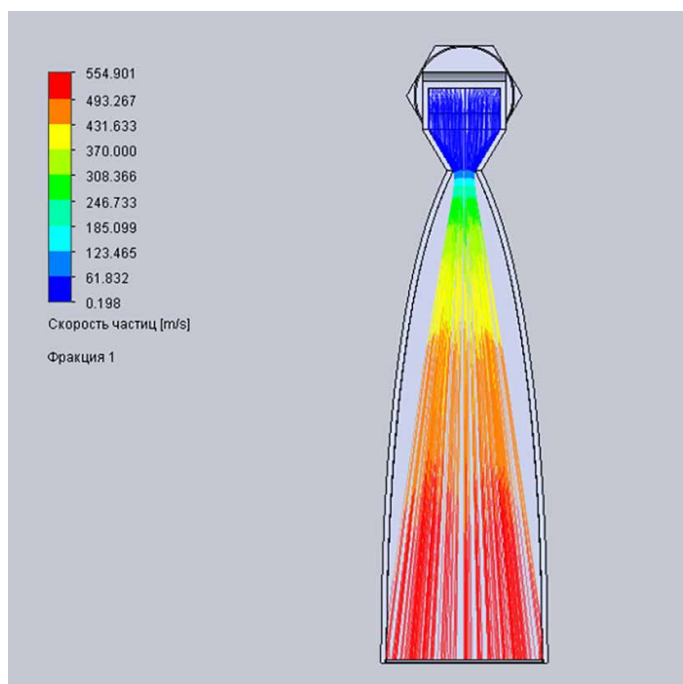
Примеры использования ХГН без учета специфики реставрационных работ (в любых погодных условиях, в местах со сложным доступом) не дают ожидаемого результата. Это не значит, что применение газодинамического метода является типовым направлением для реставрационных работ. ХГН — наукоёмкая технология, которая требует адаптации под поставленную задачу при точном соблюдении технологических процессов [14].

Для создания гетерогенного потока с нужными параметрами необходимо рассчитать и сконструировать ускорители для формирования материала на поверхностях различной формы.

Для расчета ускорителя используются следующие параметры:

- давление торможения на входе в ускоритель;
- температура торможения на входе в ускоритель;
- статическое давление на срезе ускорителя;
- статическая температура на срезе ускорителя.

На *ил. 4* представлен пример расчета ускорителя для формирования материала на плоских поверхностях.

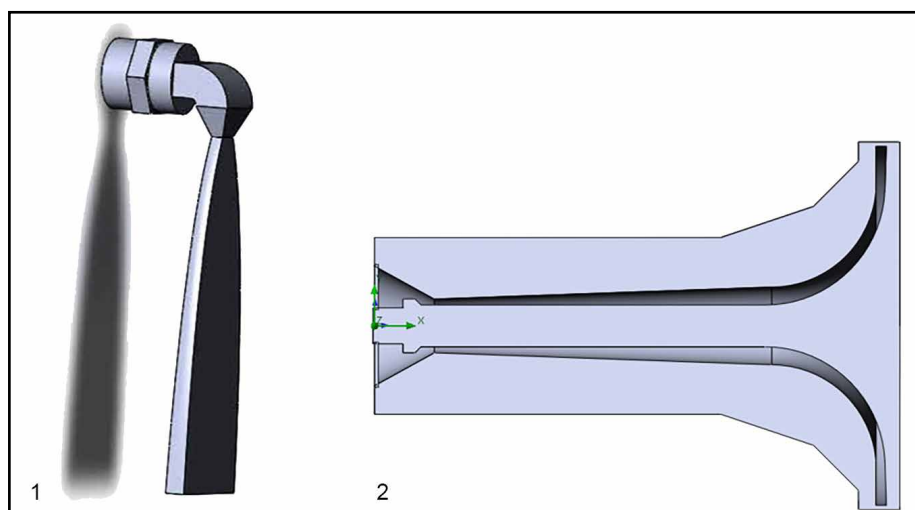


Ил. 4.

Пример расчета ускорителя для формирования материала на плоских поверхностях.

Разработчик С. А. Захаров

На *ил. 5* представлены примеры ускорителей для формирования материала на поверхностях различных форм.



Ил. 5.

Виды ускорителей: 1 — угловой, 2 — для внутренних поверхностей.

Разработчик С. А. Борисов

Угловой ускоритель используется для работы в ограниченном пространстве, ускоритель для внутренних поверхностей может работать на внутренней поверхности цилиндра.

Температурное и ударное (частицами материала) воздействие формирующего материал гетерогенного потока может привести к нежелательной деформации реставрируемого изделия. Одно из преимуществ использования этого метода для реставрации — минимизация нежелательных воздействий.

Опыт показывает, что рабочее давление в пневмосистеме установки для мягких материалов — цинк, алюминий, медь — до 10 бар; для твердых материалов — сталь, чугун, титан — 50 бар и выше.

Заключение

Таким образом, универсального инструмента для реставрации любого материала нет. Для каждого необходимо рассчитывать способ введения частиц материала в поток, нагрев и разгон потока до требуемой скорости. Наиболее важным является расчет, проектирование и изготовление ускорителя гетерогенного потока под поставленную задачу.

Перспективные направления использования газодинамических методов при реставрации изделий из металла таковы:

- восстановление площадных поверхностей, подвергшихся эрозионно-коррозионному износу;
- восстановление утраченных элементов объектов реставрации методом наращивания материала на временной подложке с последующей обработкой получившейся поверхности;
- наращивание объема утраченного материала на изделии с последующей механической обработкой для придания нужной формы;
- консервация элементов металлических конструкций с целью предотвращения дальнейшего разрушения с возможностью расконсервации и возвращению к процессу реставрации без ухудшения состояния объекта реставрации;
- искусственное состаривание поверхности (имитация патины) после восстановления новым материалом частично утраченной поверхности.

Все предлагаемые направления использования газодинамических методов при реставрации изделий из металла обладают свойством обратимости (например, доделка утраты, выполненная аддитивными технологиями по CAD-модели с применением ХГН, может обратимо удаляться с памятника).

В некоторых случаях целесообразно добавить дополнительные технологические операции, улучшающие сцепление основного и наносимого материалов.

Разработка, проектирование и изготовление специализированных газодинамических установок — наукоёмкий процесс, в котором используются научные и инженерные наработки Московского авиационного института (МАИ) [3; 4] и его научно-техническая база [2; 15].

Установки могут быть реализованы в стационарном и переносном (мобильном) варианте для работы в полевых условиях.

Целесообразно рассмотреть выпуск установок различной мощности и конфигурации, оптимизированных под конкретные задачи с учетом специфики местного применения, наличия или отсутствия централизованного электро- и пневмоснабжения, условий окружающей среды, квалификации обслуживающего персонала.

В техническом задании на выпуск установок необходимо определить виды и объем реставрационных работ. В этом случае созданные установки будут экономически эффективны.

Список литературы

1. *Богданов А. В. и др.* Возможности применения выборочного лазерного воздействия в реставрации предметов из металла / А. В. Богданов, П. Н. Котельников, С. В. Кураков, М. А. Мельникова, М. В. Кротов // Технология металлов. 2025. №8. С. 29–33. — DOI: 10.31044/1684-2499-2025-0-8-29-33.

2. *Борисов С. А. и др.* Алгоритм управления движением сверхзвукового ускорителя гетерогенного потока для формирования покрытия на криволинейных поверхностях / С. А. Борисов, Ю. И. Глуховская, С. В. Добровольский, А. С. Мякочин, И. В. Подпорин // Материалы XXX Международной научно-технической конф. «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», 14–20 сентября 2021 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2021. С. 21–24.

3. *Борисов С. А. и др.* Использование газодинамических расчетов для решения задачи управления нанесением защитных покрытий разной толщины / С. А. Борисов, Ю. И. Глуховская, С. В. Добровольский, П. В. Никитин, И. В. Подпорин // Материалы XIII Международной конф. по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ'2020), 6–13 сентября 2020 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2020. С. 209–212.

4. *Борисов С. А. и др.* Исследование способов подачи твердой фазы в гетерогенный поток для равномерного нанесения материала газодинамическим методом / С. А. Борисов, Ю. И. Глуховская, С. В. Добровольский, П. В. Никитин, И. В. Подпорин // Материалы XIII Международной конф. по прикладной математике и механике в аэрокосмической отрасли (АММАИ'2020), 6–13 сентября 2020 г., Алушта. М.: Изд-во МАИ, 2020. С. 141–143.

5. *Борисов С. А. и др.* Исследование эрозионного износа покрытий с применением подвижной струи гетерогенного потока ограниченной площади / С. А. Борисов, С. В. Добровольский, Ю. И. Глуховская, П. В. Никитин // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2019. №3. С. 106–112.

6. *Бурак П. И. и др.* Износостойкость покрытий, полученных газодинамическим напылением / П. И. Бурак, А. В. Серов, А. И. Каширин, А. В. Шкодкин // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. №7. С. 26–30.

7. Восстановление утраченных объемов металла // Обнинский Центр порошкового напыления: офиц. сайт. — URL: <http://dymet.net/vosstanovlenie-utrachennyh-obemov-metalla.html> (дата обращения: 25.04.2025).

8. *Добровольский С. В.* Выбор перспективных технологий для создания изделий авиационно-космической техники // Фундаментальные исследования. Пенза: ИД «Академия естествознания». 2014. №6 (ч. 2). С. 233–237.

9. Каширин А. И., Шкодкин А. В. Метод газодинамического напыления металлических покрытий: развитие и современное состояние // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. №12 (36). С. 22–33.

10. Клинков С. В., Косарев В. Ф. Моделирование адгезионного взаимодействия частиц с преградой при газодинамическом напылении // Физическая мезомеханика. 2002. Т. 5. №3. С. 27–35.

11. Козлов И. А. и др. Использование металлопорошковых композиций для устранения дефектов деталей из сплава ВАС-1 методом холодного газодинамического напыления / И. А. Козлов, М. А. Фомина, С. А. Демин, И. Бенариев, К. М. Хмелева // Труды ВИАМ. 2022. №12 (118). С. 96–103. — DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-12-96-106.

12. Козлов И. А. и др. Тенденции развития порошковых материалов для нанесения защитных и функциональных покрытий методом ХГН / И. А. Козлов, М. А. Фомина, С. А. Демин, А. С. Васильев // Труды ВИАМ. 2023. №8 (126). С. 100–112. — DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-100-112.

13. Котельников П. Н., Кураков С. В., Богданов А. В. Научная реставрация предметов из металла с рельефным изображением: современные методы восполнения утрат // Невская фотоника-2025: Сб. науч. трудов Всероссийской науч. конф. с международным участием, Санкт-Петербург, 13–18 октября 2025 года. СПб.: Нац. исслед. ун-т ИТМО, 2025. С. 34.

14. Трапезников А. В. и др. Газодинамическое напыление как способ устранения поверхностных дефектов на литейных алюминиевых сплавах / А. В. Трапезников, А. А. Леонов, К. А. Власова, Ю. В. Решетников, В. А. Дуюнова // Технология легких сплавов. 2025. №3. С. 77–88. — DOI: 10.24412/0321-4664-2025-3-77-88.

15. Borisov S. A. et al. Concept of an Experimental Setup for Testing the Technology for the Formation of New Anti-Corrosion Coating Materials Using Low-Temperature Supersonic Heterogeneous Flows / S. A. Borisov, Y. I. Glukhovskaya, S. V. Dobrovolskiy, P. V. Nikitin, I. V. Podporin // TEM Journal, 2020. Vol. 9. Issue 2. P. 566–572.

16. Klinkov S. V. et al. Deposition of multicomponent coatings by cold spray / S. V. Klinkov, V. F. Kosarev, A. A. Sova, I. Smurov // Surface and Coatings Technology. 2008. V. 202. P. 5858–5862.

17. Kurakov S. V. et al. Restoration, Current Approaches Using the Additive Technologies: Issues of Transparency / S. V. Kurakov, M. A. Melnikova, A. V. Bogdanov, G. V. Tikhomirov, P. N. Kotel'nikov // Proceedings of the 2025 7th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, 08–10 april 2025. М.: Изд-во Ин-та инженеров электротехники и электроники (IEEE), 2025. С. 1–6. — DOI: 10.1109/REEPE63962.2025.10971027.

1. Bogdanov A. V. i dr. Vozmozhnosti primeneniya vy`borochnogo lazernogo vozdejstviya v restavracii predmetov iz metalla / A. V. Bogdanov, P. N. Kotel'nikov, S. V. Kurakov, M. A. Mel'nikova, M. V. Krotov // Texnologiya metallov. 2025. №8. С. 29–33. — DOI 10.31044/1684-2499-2025-0-8-29-33.

2. Borisov S. A. i dr. Algoritm upravleniya dvizheniem sverxzvukovogo uskoritelya geterogennogo potoka dlya formirovaniya pokry`tiya na krivolinejny`x poverxnostyax /

S. A. Borisov, Yu. I. Gluxovskaya, S. V. Dobrovol'skij, A. S. Myakochin, I. V. Podporin // *Materialy`XXX Mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoj konf. «Sovremennyye tekhnologii v zadachax upravleniya, avtomatiki i obrabotki informacii»*, 14–20 sentyabrya 2021 g., Alushta. M.: Izd-vo MAI, 2021. S. 21–24.

3. *Borisov S. A. i dr. Ispol'zovanie gazodinamicheskix raschetov dlya resheniya zadachi upravleniya nanesseniem zashhitny`x pokry`tij raznoj tolshhiny` / S. A. Borisov, Yu. I. Gluxovskaya, S. V. Dobrovol'skij, P. V. Nikitin, I. V. Podporin // Materialy` XIII Mezhdunarodnoj konferencii po prikladnoj matematike i mexanike v ae`rokosmicheskoy otrasli (AM-MAI'2020)*, 6–13 sentyabrya 2020 g., Alushta. M.: Izd-vo MAI, 2020. S. 209–212.

4. *Borisov S. A. i dr. Issledovanie sposobov podachi tverdoj fazy` v geterogennyj` potok dlya ravnomernogo naneseniya materila gazodinamicheskim metodom / S. A. Borisov, Yu. I. Gluxovskaya, S. V. Dobrovol'skij, P. V. Nikitin, I. V. Podporin // Materialy` XIII Mezhdunarodnoj konf. po prikladnoj matematike i mexanike v ae`rokosmicheskoy otrasli (AM-MAI'2020)*, 6–13 sentyabrya 2020 g., Alushta. M.: Izd-vo MAI, 2020. S. 141–143.

5. *Borisov S. A. i dr. Issledovanie e`rozionnogo iznosa pokry`tij s primeneniem podvizhnoj strui geterogennogo potoka ogranichennoj ploshhadi / S. A. Borisov, S. V. Dobrovol'skij, Yu. I. Gluxovskaya, P. V. Nikitin // Poverxnost`. Rentgenovskie, sinxrotronny`e i nejtronny`e issledovaniya*. 2019. №3. S. 106–112.

6. *Burak P. I. i dr. Iznosostojkost` pokry`tij, poluchenny`x gazodinamicheskim napy`leniem / P. I. Burak, A. V. Serov, A. I. Kashirin, A. V. Shkodkin // Remont, vosstanovlenie, modernizaciya*. 2011. №7. S. 26–30.

7. *Vosstanovlenie utrachenny`x ob`emov metalla // Obninskij Centr poroshkovogo napy`leniya: ofic. saj. — URL: <http://dymet.net/vosstanovlenie-utrachennyh-obe-mov-metalla.html> (data obrashheniya: 25.04.2025).*

8. *Dobrovol'skij S. V. Vy`bor perspektivny`x tekhnologij dlya sozdaniya izdelij aviaciono-kosmicheskoy texniki // Fundamental'ny`e issledovaniya*. Penza: ID «Akademiya est-estvoznaniya». 2014. №6 (ch. 2). S. 233–237.

9. *Kashirin A. I., Shkodkin A. V. Metod gazodinamicheskogo napy`leniya metallicheskix pokry`tij: razvitie i sovremennoe sostoyanie // Uprochnyayushhie tekhnologii i pokry`tiya*. 2007. №12 (36). S. 22–33.

10. *Klinkov S. V., Kosarev V. F. Modelirovanie adgezionnogo vzaimodejstviya chasticz s pregradoj pri gazodinamicheskom napy`lenii // Fizicheskaya mezomexanika*. 2002. T. 5. №3. S. 27–35.

11. *Kozlov I. A. i dr. Ispol'zovanie metalloporoshkovy`x kompozicij dlya ustraneniya defektov detalej iz splava VAS-1 metodom xolodnogo gazodinamicheskogo napy`leniya / I. A. Kozlov, M. A. Fomina, S. A. Demin, I. Benarieb, K. M. Xmeleva // Trudy` VIAM*. 2022. №12 (118). S. 96–103. — DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-12-96-106.

12. *Kozlov I. A. i dr. Tendencii razvitiya poroshkovy`x materialov dlya naneseniya zashhitny`x i funkcional'ny`x pokry`tij metodom XGN / I. A. Kozlov, M. A. Fomina, S. A. Demin, A. S. Vasil`ev // Trudy` VIAM*. 2023. №8 (126). S. 100–112. — DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-100-112.

13. *Kotel'nikov P. N., Kurakov S. V., Bogdanov A. V. Nauchnaya restavraciya predmetov iz metalla s rel'efny`m izobrazheniem: sovremennyye metody` vospolneniya utrat //*

Nevskaya fotonika-2025: Sb. nauch. trudov Vserossijskoj nauch. konf. s mezhdunarodny'm uchastiem, Sankt-Peterburg, 13–18 oktyabrya 2025 goda. SPb.: Nacz. issled. un-t ITMO, 2025. S. 34.

14. Trapeznikov A. V. i dr. Gazodinamicheskoe napy`lenie kak sposob ustraneniya pov-erxnostny`x defektov na litejny`x alyuminievy`x splavax / A. V. Trapeznikov, A. A. Leonov, K. A. Vlasova, Yu. V. Reshetnikov, V. A. Duyunova // Tekhnologiya legkix splavov. 2025. №3. S. 77–88. — DOI: 10.24412/0321-4664-2025-3-77-88.

Сведения об авторах

Добровольский Сергей Владимирович — кандидат технических наук, доцент; ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», инженер НИО-204
Россия, 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
E-mail: dobrovolskiy_s@mail.ru

Глуховская Юлия Исааковна — ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», специалист НИО-204
Россия, 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4
E-mail: gljul@bk.ru

Dobrovolsky Sergey V. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Moscow Aviation Institute (National Research University), engineer of research department 204
4, Volokolamsk highway, Moscow, 125993, Russia
E-mail: dobrovolskiy_s@mail.ru

Glukhovskaya Yulia I. — Moscow Aviation Institute (National Research University), specialist engineer of research department 204
4, Volokolamsk highway, Moscow, 125993, Russia
E-mail: gljul@bk.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/>