

## ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТОНАЦИОННОЙ УСТАНОВКОЙ ПЕРЕД НАПЫЛЕНИЕМ ПОКРЫТИЯ

С.А. Вашин

axe-vashin0@mail.ru

Е.А. Рубан

evgeny.ruban991@gmail.com

ИФХЭ РАН, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Предложен способ пескоструйной обработки поверхности перед напылением непосредственно детонационной установкой, имеющей стандартную глубину загрузки порошкового абразивного материала, равную 400 мм. Выполнены расчеты очищающих абразивных частиц порошкового материала из оксида алюминия, и обоснована его granulация. Измерена шероховатость поверхности образцов, полученных при использовании порошковых абразивных материалов разной зернистости. Исследована микроструктура обработанной поверхности образцов подложек детонационной установкой с глубиной загрузки абразивного порошкового материала 200 и 400 мм. Приведен результат применения подложек из различных материалов (стали, алюминиевых сплавов, например, Ст20 и Д16). Рассчитаны значения скорости, температуры и кинетической энергии частиц, необходимые для получения требуемой шероховатости поверхности подложки. В целях снижения времени между операциями подготовки поверхности и процессом напыления разработана технология обработки поверхности деталей, которую можно применять и для тонкостенных деталей при сохранении их геометрии после пескоструйной обработки. В разработанном способе подготовки поверхности перед детонационным напылением получено значение шероховатости поверхности, необходимое для нанесения покрытий детонационной установкой. Приведен пример использования технологии подготовки поверхности непосредственно детонационной установкой для деталей из сплава алюминия Д16. Показано

### Ключевые слова

*Детонационное напыление, пескоструйная обработка, шероховатость поверхности, абразивный материал*

значительное уменьшение времени процесса пескоструйной обработки поверхности перед напылением детонационного покрытия

Поступила 09.07.2025

Принята 24.09.2025

© Автор(ы), 2026

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 125012200581-1)*

**Введение.** Адгезия напыляемого покрытия с поверхностью подложки определяется химическим взаимодействием напыляемых частиц с поверхностью силами межмолекулярного взаимодействия (силами Ван-дер-Ваальса) между частицами напыленного покрытия и механическим зацеплением за счет геометрических особенностей напыляемых частиц и шероховатости поверхности [1–4].

В технологии газотермического напыления используют различные виды подготовки подложки перед напылением: химическую, термическую, физическую активацию поверхности, комбинированные способы подготовки поверхности (например, механической обработкой с пропусканием электрического тока), а также специальные способы (например, электроискровое легирование) [1–6]. После очистки органическими растворителями поверхности подложки от разного вида загрязнений, например, минеральных масел и органических жиров, проводят физическую активацию поверхности различными способами [1–3, 7]. В целях повышения безопасности работы и снижения вредных факторов, воздействующих на здоровье человека, а также окружающую среду, начали развивать альтернативные методы подготовки поверхностей подложек под напыление: механическую и электроискровую обработки, нанесение подслоев [3, 8–11]. Обычно физическую активацию поверхности проводят абразивоструйной очисткой с помощью пескоструйных установок преимущественно эжекторного типа с использованием в качестве абразивных материалов корунда (плавленый оксид алюминия), карборунда (карбид кремния), стальной или чугунной дроби [1–3, 12–15]. Такой способ подготовки позволяет достичь требуемой шероховатости  $Rz = 20 \dots 40 \text{ мкм}^1$  поверхности подложки перед детонационным напылением.

Применение пескоструйной обработки занимает значительное время перед процессом напыления абразива и часто не позволяет сохранить геометрию тонкостенных обрабатываемых подложек (толщиной до 0,5 мм). В связи с этим возникла необходимость снижения времени между обра-

<sup>1</sup> ГОСТ 27953–88. Покрытия детонационные. Общие требования. М., ИПК Изд-во стандартов, 2005.

боткой поверхности и самим процессом напыления и сохранения геометрии тонкостенных деталей. Для этого начали разрабатывать способы подготовки поверхности с помощью детонационной установки и абразивного микрошлифпорошка из оксида алюминия. Поверхность под напыление подготавливали с помощью установки детонационного напыления, используя поток высокоскоростных абразивных частиц размером 3...5 мкм, но достичь требуемой шероховатости поверхности с применением мелкой фракции не удалось [16]. Расчетные значения скорости и энергии частиц размером 1...5 мкм при такой подготовке составляли 545...557 м/с и  $\sim 9,6 \cdot 10^{-10}$  Дж [17].

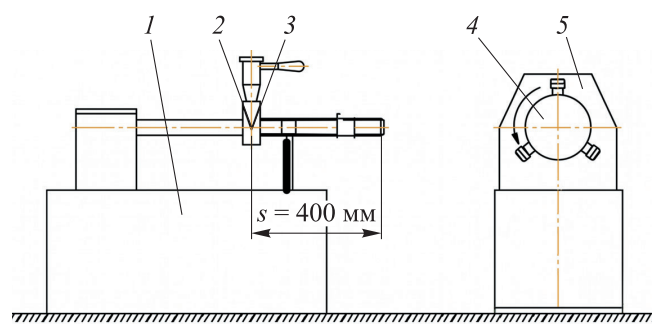
Для достижения требуемой шероховатости подложки разработаны способы нанесения детонационных покрытий, повышающие степень активации напыляемой поверхности в процессе обработки подложки. При реализации способов нанесения детонационных покрытий поток абразивных частиц порошка F-120 (средний размер частиц 130 мкм) имел значительную энергию  $\sim 1,67 \cdot 10^{-4}$  Дж. В процессе распыления частицы оксида алюминия находились в твердом состоянии, что придавало значительную активирующую способность абразиву. При разработанных способах порошковый абразивный материал вводился при глубине загрузки (расстоянии от места ввода абразивного порошкового материала до среза ствола детонационной установки) 200 мм поочередно или одновременно с напыляемым материалом [17, 18]. При реализации способов необходимо иметь нестандартную секцию ствола размером 200 мм, что зачастую не представляется возможным. Кроме того, затрачивается дополнительное время на перенастройку оборудования с применением дополнительной ствольной проставки. В связи с этим актуальна разработка способа подготовки поверхности с применением стандартной глубины загрузки 400 мм без введения дополнительных технологических операций.

*Цель настоящей работы* — разработать технологический способ подготовки поверхности непосредственно детонационной установкой перед процессом напыления с применением стандартной глубины загрузки порошкового абразивного материала 400 мм в целях достижения шероховатости поверхности подложки  $Rz = 20 \dots 40$  мкм.

**Методика эксперимента исследований, позволяющая с помощью детонационной установки подготовить поверхность перед напылением.** За последние 50 лет разработано множество детонационных установок для напыления покрытий: «Керам 3000», УДН-2М, АДМ-4Д, «Корунд-2», «Корунд-3», «Обь», «Гром» и др. [19]. Одной из первых установок с про-

граммным управлением стала детонационная установка АДУ «Обь» [20]. Ее отличительной особенностью является наличие двух отдельных дозаторов, что дает возможность подготовить поверхность подложки непосредственно в процессе напыления. Для создания требуемого микрорельефа поверхности в процессе обработки необходимо применение частиц с большой удельной массой, способных обеспечить шероховатость поверхности  $R_z \sim 20 \dots 40$  мкм при глубине загрузки абразивного материала 400 мм.

Схема детонационной установки с двумя порошковыми дозаторами, используемой для подготовки поверхности подложки перед нанесением покрытия, приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема детонационной установки 1 с порошковыми дозаторами 2, 3, используемой для подготовки поверхности подложки перед нанесением покрытия на деталь 4, закрепленную в манипуляторе 5

На стволе детонационной установки 1 при глубине загрузки 400 мм установлены дозатор 2 с порошком для напыления покрытия (1-й дозатор) и дозатор 3 с абразивным порошком (2-й дозатор). Напыляемая деталь 4 закреплена для вращения и (или) возвратно-поступательного перемещения в манипуляторе 5.

Рассчитанные режимы напыления должны обеспечивать необходимую температуру частиц порошка для сохранения значений исходной твердости напыляемых частиц, скорости очищающих абразивных частиц для достижения требуемой шероховатости и энергии для активации поверхности. После этапа подготовки поверхности 2-й дозатор с абразивным порошком отключается, а 1-й дозатор с порошком для напыления покрытия включается сразу после обработки поверхности.

Исходную и полученную после абразивной обработки шероховатость поверхности измеряли профилометром Mitutoyo Surftest SJ-210 на образцах в виде пластин  $20 \times 30$  мм из стали Ст20 и алюминиевого сплава Д16.

Металлографическое исследование морфологии поверхности проведено на металлографическом микроскопе VERSAMET-2 с предварительной подготовкой металлографического шлифа на отрезном станке Metkon MICRACUT 202, прессе Metkon ECOPRESS 52 и шлифовально-полировальном станке Metkon FORCIPOL 102.

**Расчет параметров абразивных частиц и результат обработки поверхности подложки перед напылением.** Обычно при напылении покрытий частицы порошка разгоняются до высоких скоростей и расплавляются, что может привести к дроблению мелких частиц во время процесса нанесения [21, 22]. Для пескоструйной обработки необходимо разогревать абразивные частицы детонационной установкой так, чтобы они сохраняли свою форму и твердость, а также незначительно нагревались в процессе обработки поверхности.

На основе физико-химических исследований процесса детонационно-газового напыления получены формулы, описывающие параметры детонационной волны и частиц в стволе детонационной установки [23]. Впервые в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН разработано специальное программное обеспечение для детонационной установки «Обь», полученное с использованием методов численного моделирования динамики двухфазного потока [24–26], что позволило определить основные энергетические характеристики напыляемых частиц. С помощью этой программы проведен расчет скорости и температуры частиц оксида алюминия, имеющих форму шара, при заданных режимах процесса детонационного напыления. Результаты расчета температуры и скорости отдельных абразивных частиц оксида алюминия размером 100...125 мкм при разных значениях коэффициента заполнения ствола установки и кинетической энергии приведены в табл. 1.

При глубине загрузки абразивных частиц порошка размером 100...125 мкм 400 мм с учетом коэффициента заполнения ствола 0,5 обеспечивается максимальная кинетическая энергия  $(1,23...1,9) \cdot 10^{-4}$  Дж абразивных частиц (при выходе из ствола). Скорость частиц достигает максимальных значений 305...345 м/с. Частицы нагреваются до 718...791 К, что совсем не влияет на потерю твердости в процессе нагрева. Кроме того, увеличение коэффициента заполнения горючими газами ствола установки не дает увеличить в дальнейшем скорость частиц и, следовательно, их активирующую энергию (см. табл. 1). Температура частиц при коэффициенте заполнения ствола 0,75 принадлежит диапазону 1256...1433 К, что снижает их твердость в процессе обработки поверхности подложки.

Таблица 1

**Результаты расчета температуры и скорости отдельных абразивных частиц оксида алюминия для обработки установкой детонационного напыления при глубине загрузки порошкового абразивного материала 400 мм**

| Размер частицы, мкм                                                                                                                                      | Температура частицы, К | Скорость частицы, м/с |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| <i>Коэффициент заполнения горючими газами ствола установки 0,17, кинетическая энергия частицы <math>(1,9...2,8) \cdot 10^{-5}</math> Дж</i>              |                        |                       |
| 100                                                                                                                                                      | 324                    | 135                   |
| 110                                                                                                                                                      | 322                    | 128                   |
| 120                                                                                                                                                      | 321                    | 122                   |
| 125                                                                                                                                                      | 320                    | 119                   |
| <i>Коэффициент заполнения горючими газами ствола установки 0,33, кинетическая энергия частицы <math>7,3 \cdot 10^{-5}...1,14 \cdot 10^{-4}</math> Дж</i> |                        |                       |
| 100                                                                                                                                                      | 511                    | 265                   |
| 110                                                                                                                                                      | 504                    | 252                   |
| 120                                                                                                                                                      | 496                    | 241                   |
| 125                                                                                                                                                      | 492                    | 237                   |
| <i>Коэффициент заполнения горючими газами ствола установки 0,5, кинетическая энергия частицы <math>(1,23...1,9) \cdot 10^{-4}</math> Дж</i>              |                        |                       |
| 100                                                                                                                                                      | 791                    | 345                   |
| 110                                                                                                                                                      | 759                    | 328                   |
| 120                                                                                                                                                      | 737                    | 321                   |
| 125                                                                                                                                                      | 718                    | 105                   |
| <i>Коэффициент заполнения горючими газами ствола установки 0,75, кинетическая энергия частицы <math>(1,19...1,75) \cdot 10^{-4}</math> Дж</i>            |                        |                       |
| 100                                                                                                                                                      | 1433                   | 339                   |
| 110                                                                                                                                                      | 1354                   | 318                   |
| 120                                                                                                                                                      | 1287                   | 301                   |
| 125                                                                                                                                                      | 1256                   | 293                   |

Дополнительный расчет скорости частицы 200 мкм при коэффициенте заполнения ствола 0,5 показал, что она составила 182 м/с, а ее кинетическая энергия увеличилась до  $2,75 \cdot 10^{-4}$  Дж. Частицы порошка более крупной грануляции (более 125 мкм) можно также применять для активации поверхности подложки.

В результате измерения шероховатости стальных образцов (табл. 2) определено, что необходимую шероховатость  $Rz = (40,1 \pm 8,9)$  мкм поверхности подложки под напыление покрытия можно получить, применяя порошок оксида алюминия с грануляцией F-120 при коэффициенте заполнения ствола горючими газами 0,5.

Таблица 2

**Результаты измерения шероховатости поверхности подложки  
под напыление покрытия детонационной установкой в зависимости  
от зернистости порошкового материала из оксида алюминия**

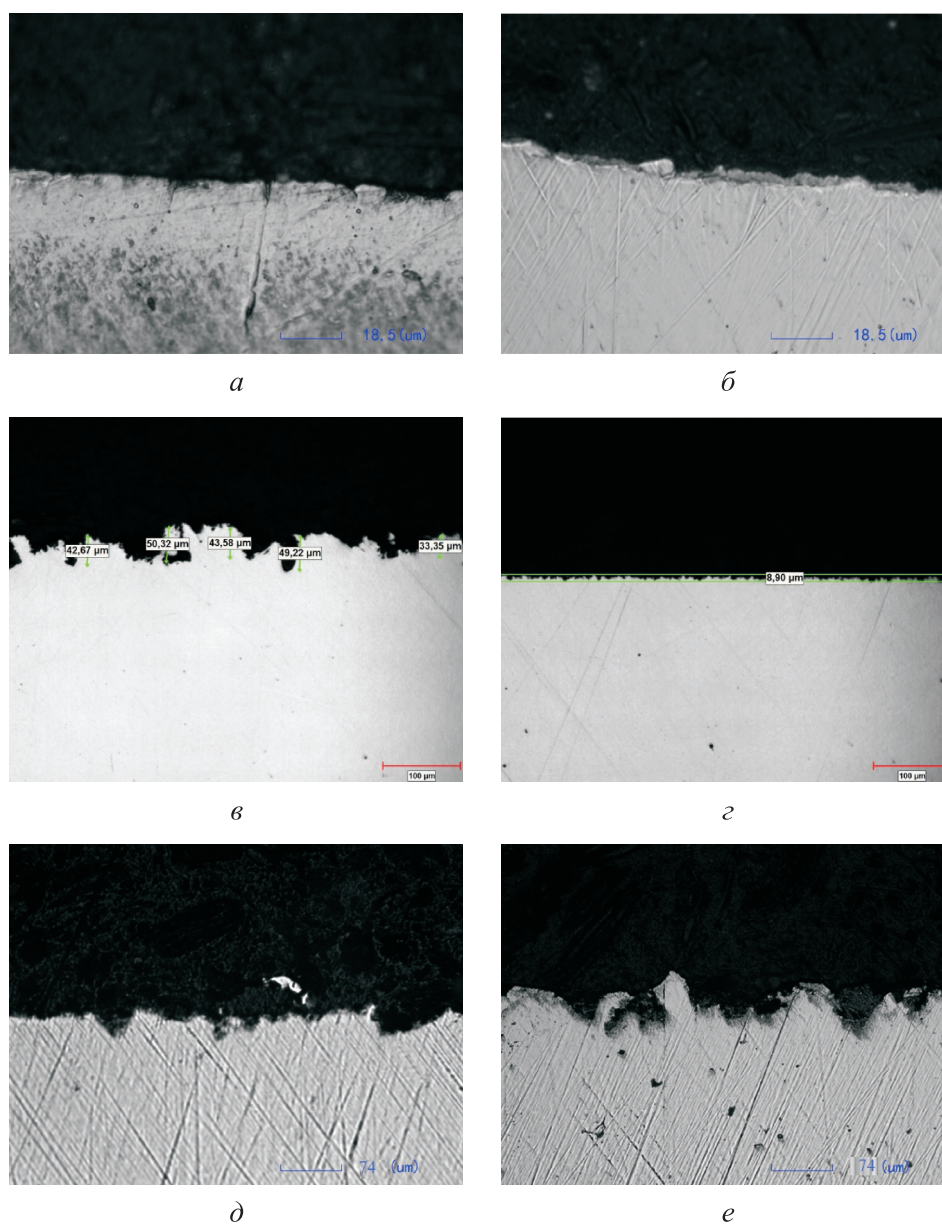
| Зернистость<br>по FERA | Размер зерен основной<br>фракции, мкм | Шероховатость поверхности<br>подложки $Rz$ , мкм |
|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| F-120                  | 100–125                               | $40,1 \pm 8,9$                                   |
| F-240                  | 44,5–53,0                             | $29,7 \pm 10,1$                                  |
| F-360                  | 22,8–29,2                             | $12,6 \pm 3,1$                                   |
| F-500                  | 12,8–17,3                             | $8,6 \pm 0,9$                                    |

Исследование микроструктуры и шероховатости стальной и алюминиевой поверхностей на поперечном металлографическом шлифе показало, что шероховатость поверхности сплава Д16 составляет  $Ra_{\text{сред}} = (6,76 \pm 0,89)$  мкм ( $Rz_{\text{max}} \sim 40$  мкм) и стали Ст20  $Ra_{\text{сред}} = (4,5 \pm 0,36)$  мкм ( $Rz_{\text{max}} \sim 33$  мкм). Исходное значение шероховатости поверхности стальной подложки перед пескоструйной обработкой детонационной установкой составило  $Ra = 0,25$  мкм, шероховатость подложки из алюминиевого сплава —  $Ra = 2,5$  мкм. Микроструктуры поверхности образцов из стали Ст20 и сплава алюминия Д16 перед обработкой приведены на рис. 2, а, б.

Для сравнения разработанных ранее методов обработки поверхности на рис. 2 приведены результаты исследования изображений микропрофилей исходных поверхностей без обработки и обработанных порошком оксида алюминия с частицами размером 100...125 мкм при нестандартной глубине загрузки 200 мм (рис. 2, в) и частицами размером 12,8...17,3 мкм при глубине загрузки 400 мм (рис. 2, г).

Для сравнения нового способа обработки поверхности приведены микропрофили поперечного шлифа стальной (рис. 2, д) и алюминиевой (рис. 2, е) подложек, обработанных порошком оксида алюминия. По результатам исследований шероховатости и микроструктуры поверхности подложек установили, что требуемую шероховатость поверхности  $Ra_{\text{сред}} = 4,5...6,76$  мкм можно достичь при глубине загрузки 400 мм порошка оксида алюминия с частицами размером 100...125 мкм.





**Рис. 2.** Микропрофили поверхностей до и после абразивной обработки:

- a, б* — сталь Ст20 и сплав алюминия Д16, исходная;  
*в* — Ст20, размер частиц 100...125 мкм, глубина загрузки 200 мм;  
*з, д* — Ст20, 12,8...17,3 мкм и 100...125 мкм, 400 мм;  
*е* — Д16, 100...125 мкм, 400 мм

**Применение способа подготовки поверхности.** Поверхность подложки перед нанесением детонационного покрытия подготавливают путем воздействия на поверхность детали потоком абразивных частиц, ко-



торый формируется детонационной установкой. Для проверки расчетных и экспериментальных данных по абразивной обработке детонационной установкой выбрана деталь «Ролик» с диаметром поверхности 159 и длиной 70 мм, изготовленная из алюминиевого сплава Д16 (рис. 3). Абразивная обработка цилиндрической поверхности проводилась с помощью частиц белого электрокорунда размером 100...125 мкм при следующих основных режимах напыления: коэффициент заполнения ствола 0,17; отношение кислорода к ацетилену  $\sim 1,1$  ( $O_2/C_2H_2$ ); глубина загрузки 400 мм; дистанция напыления 150 мм. После абразивной обработки детонационной установкой двух слоев поверхности детали шероховатость составила примерно  $Rz \approx 33$  мкм (рис. 3, а). Затем на деталь «Ролик» нанесли износостойкое покрытие на основе карбида вольфрама (WCCoCr) слоем толщиной 100 мкм (рис. 3, б). После осмотра нанесенного покрытия отслоений не выявлено, что свидетельствует о достаточной подготовке поверхности детали перед напылением с созданием на ней необходимого поверхностного микрорельефа.

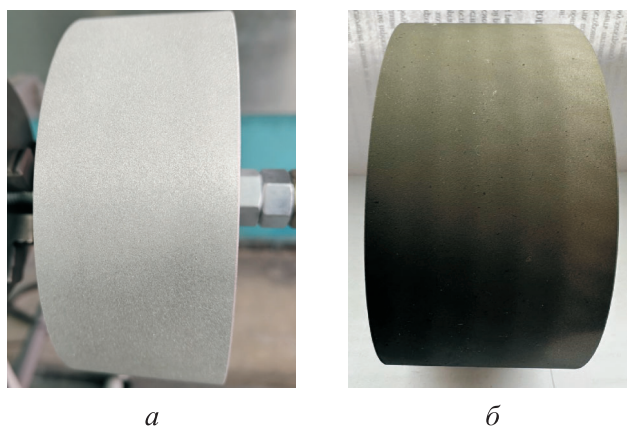


Рис. 3. Деталь «Ролик» до (а) и после (б) напыления покрытия детонационной установкой

В процессе подготовки деталей под напыление установлено, что время подготовки поверхности детали «Ролик» с помощью детонационной установки и разработанной технологии составило  $\sim 210$  с, с применением пескоструйной обработки в пескоструйной камере —  $\sim 820$  с. После обработки поверхности детали на нее напыляли покрытие (см. рис. 3, б) с перерывом не более 15 с, что способствует экономии времени на установку детали после пескоструйной обработки. Разработанный способ подготовки поверхности перед напылением позволил уменьшить в 5 раз

время обработки поверхности. Благодаря применению абразивных частиц небольшого размера подобная подготовка подходит для обработки поверхности тонкостенных деталей, что зачастую может быть единственным способом сохранить их исходную геометрию, так как режим пескоструйной обработки в пескоструйной камере стационарный и способствует значительной их деформации [27].

**Заключение.** Разработанный способ обработки поверхности перед напылением покрытий непосредственно детонационной установкой позволяет существенно (до 5 раз) уменьшить время выполнения подготовительных операций перед напылением. Благодаря подбору режимов напыления технологической установки АДУ «Обь» возможна пескоструйная обработка поверхности без замены секций ствола на стандартной глубине загрузки порошков 400 мм для напыления большинства материалов. Использование при напылении покрытий поочередно или совместно двух дозаторов для абразива и напыляемого порошка позволяет быстро и эффективно совмещать процессы подготовки поверхности и нанесения детонационных покрытий. Для обработки подложки оптимальными абразивными частицами являются частицы размером не менее 100 мкм при коэффициенте заполнения ствола горючими газами 0,5. В результате расчета выявлено, что отдельные абразивные частицы размером 100...125 мкм в процессе обработки подложки получали достаточную кинетическую энергию  $(1,23...1,9) \cdot 10^{-4}$  Дж, что обеспечивает требуемую шероховатость подложки перед напылением покрытия  $Ra_{\text{сред}} = 4,5...6,76$  мкм ( $Rz_{\text{max}} \sim 33...40$  мкм).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Борисов Ю.С., Харламов Ю.А. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Киев, Наукова Думка, 1987.
- [2] Витязь П.А., Ивашко В.С., Манойло Е.Д. и др. Теория и практика газопламенного напыления. Минск, Навука і тэхніка, 1993.
- [3] Кудинов В.В., Иванов В.М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М., Машиностроение, 1981.
- [4] Рыкалин Н.Н., Шоршоров М.Х., Красулин Ю.Л. Физические и химические проблемы соединения разнородных материалов. *Неорганические материалы*, 1965, т. 1, № 1, с. 29–36.
- [5] Соловьев Б.М., Бурумкулов Ф.Х., Осин А.М. и др. Способ подготовки поверхности перед газотермическим напылением. Патент СССР 1638198. Заявл. 11.05.1988, опубл. 30.03.1991.

- [6] Надольский В.О., Навознов А.Н. Способ подготовки поверхности деталей. Патент СССР 1758082. Заявл. 23.10.1989, опубл. 30.08.1992.
- [7] Никонова Т.Ю., Жетесова Г.С., Юрченко В.В. Практические рекомендации при подготовке к процессу нанесения покрытий газотермическим напылением длинномерных штоков. *Труды университета*, 2022, № 3, с. 61–67.  
DOI: [https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_3\\_61](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_3_61)
- [8] Ивашко В.С. Прочность сцепления покрытий из самофлюсующихся твердых сплавов. В: *Машиностроение*. Вып. 2. Минск, Высшая школа, 1979, с. 103–105.
- [9] Кудинов В.В., Дружинин Л.К. Получение покрытий высокотемпературным распылением. М., Мир, 1973.
- [10] Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. Минск, Навука і тэхніка, 1990.
- [11] Масино М.А. Организация восстановления автомобильных деталей. М., Транспорт, 1981.
- [12] Пантелеева Н.С. Влияние технологических параметров дробеструйной обработки на качество поверхности перед напылением защитных покрытий. *Инновации в технологиях и образовании. Сб. ст. уч. XIV Междунар. науч.-практ. конф.* Т. 1. Кемерово, КузГТУ, 2021, с. 152–155. EDN: DRMCLC
- [13] Джемилов Э.Ш., Ваниев Э.Р., Фатеев К.Э. и др. Способы повышения эффективности пескоструйной обработки деталей. *Вестник современных технологий*, 2023, № 4, с. 41–48. EDN: LRHWDA
- [14] Портных А.И., Смоленцев Е.В., Перова А.В. и др. Пескоструйная подготовка под покрытие металлических поверхностей заготовок. *Современные технологии производства в машиностроении. Межвуз. сб. науч. тр.* Воронеж, Научная книга, 2025, с. 32–40. EDN: ZJBVZK
- [15] Вохидов А.А. Преимущество использования струйно-абразивной обработки поверхности деталей под напыление. *Endless Light in Science*, 2022, № 6-6, с. 202–206. EDN: HDMKPV
- [16] Бартенев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. Л., Машиностроение, 1982.
- [17] Вашин С.А., Гераськин В.В., Мухаметова С.С. и др. Способ подготовки поверхности изделия перед нанесением детонационного покрытия. Патент РФ 2545883. Заявл. 30.04.2013, опубл. 10.04.2015.
- [18] Вашин С.А., Балдаев Л.Х., Хамицев Б.Г. Способ нанесения газотермического покрытия на поверхность изделия. Патент РФ 2545880. Заявл. 19.07.2013, опубл. 10.04.2015.
- [19] Poorman R.M., Sargent H.B., Lamprey H. Method and apparatus utilizing detonation waves for spraying and other purposes. Patent US 2714563. Appl. 07.03.1952, publ. 02.08.1955.

- [20] Гавриленко Т.П., Кирякин А.Л., Николаев Ю.А. и др. Автоматизированный детонационный комплекс «Обь» для нанесения порошковых покрытий. *СТА*, 2006, № 4, с. 46–50.
- [21] Гавриленко Т.П., Николаев Ю.А. Расчет процесса детонационно-газового напыления. *Физика горения и взрыва*, 2007, т. 43, № 6, с. 112–120. EDN: QBDXPL
- [22] Ulyanitsky V., Shtertser A., Zlobin S., et al. Computer-aided detonation spraying: from process fundamentals to advanced applications. *J. Therm. Spray Tech.*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 791–801. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11666-011-9649-6>
- [23] Шоршоров М.Х., Харламов Ю.А. Физико-химические основы детонационно-газового напыления покрытий. М., Наука, 1978.
- [24] Ждан С.А. Моделирование двухфазного потока за детонационной волной. *Механика быстротекающих процессов*, 1983, № 62, с. 39–48.
- [25] Ждан С.А. Численное моделирование динамики двухфазного потока в стволе детонационной установки при учете дробления частиц. В: *Вопросы использования детонации в технологических процессах*. Новосибирск, ИГиЛ СО АН СССР, 1986, с. 63–70.
- [26] Гавриленко Т.П., Николаев Ю.А. Анализ детонационно-газового способа нанесения порошковых покрытий. В: *Вопросы использования детонации в технологических процессах*. Новосибирск, ИГиЛ СО АН СССР, 1986, с. 3–16.
- [27] Балдаев Л.Х., Хамицев Б.Г., Гавриленко Т.П. и др. Абразивная подготовка напыляемой поверхности с помощью детонационной установки. *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2015, № 10, с. 3–10. EDN: ULDXMZ

**Вашин Сергей Александрович** — канд. техн. наук, ведущий инженер лаборатории гетерогенного синтеза тугоплавких соединений ИФХЭ РАН (Российская Федерация, 119071, Москва, Ленинский пр-т, д. 31, корп. 4).

**Рубан Евгений Андреевич** — научный сотрудник лаборатории гетерогенного синтеза тугоплавких соединений ИФХЭ РАН (Российская Федерация, 119071, Москва, Ленинский пр-т, д. 31, корп. 4).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Вашин С.А., Рубан Е.А. Подготовка поверхности детонационной установкой перед напылением покрытия. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2026, № 2 (157), с. 69–84. EDN: NNXWTV

## **SURFACE PREPARATION BY DETONATION UNIT BEFORE COATING SPRAYING**

**S.A. Vashin**

axe-vashin0@mail.ru

**E.A. Ruban**

evgeny.ruban991@gmail.com

**IPCE RAS, Moscow, Russian Federation**

---

### **Abstract**

The article proposes a method for sandblasting the surface before coating spraying with a detonation unit using a standard loading depth of 400 mm for the abrasive powder material. Calculations of the treated particles as an abrasive material made of aluminum oxide have been performed and the granulation of the powder has been substantiated. The surface roughness of the samples obtained using abrasive powders with different grain sizes were measured. The microstructure of the treated surface of the samples was studied during substrate processing using the loading depth of the powdered abrasive material by 200, and 400 mm. Studies using various materials made of steel (St20) and aluminum alloy (D16) as substrates are presented, and surface roughness is measured. The velocity, temperature and energy of the particles required to obtain the required surface roughness of the substrate are calculated. A surface treatment technology has been developed for parts in order to reduce the time between surface preparation operations and the coating spraying process itself, which can be used for thin-walled parts in order to preserve their geometry after sandblasting. In the developed method of surface preparation before detonation coating spraying, the necessary surface roughness was obtained for applying detonation coatings. An example of the application of the technology of surface preparation by a detonation installation on parts made of D16 is given, which shows a significant reduction in the time of sandblasting the surface before spraying the detonation coating

### **Keywords**

*Detonation coating spraying,  
sandblasting, surface roughness,  
abrasive material*

Received 09.07.2025

Accepted 24.09.2025

© Author(s), 2026

---

*The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project no. 125012200581-1)*

## REFERENCES

- [1] Borisov Yu.S., Kharlamov Yu.A. Gazotermicheskie pokrytiya iz poroshkovykh materialov [Gas-thermal coatings made of powder materials]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1987.
- [2] Vityaz P.A., Ivashko V.S., Manoylo E.D., et al. Teoriya i praktika gazoplamennogo napyleniya [Theory and practice of flame spraying]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1993.
- [3] Kudinov V.V., Ivanov V.M. Nanesenie plazmoy tugoplavkikh pokrytiy [Plasma deposition of refractory coatings]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981.
- [4] Rykalin N.N., Shorshorov M.Kh., Krasulin Yu.L. Physical and chemical problems of joining dissimilar materials. *Neorganicheskie materialy*, 1965, vol. 1, no. 1, pp. 29–36 (in Russ.).
- [5] Solovyev B.M., Burumkulov F.Kh., Osin A.M., et al. Sposob podgotovki poverkhnosti perez gazotermicheskim napyleniem [Method of surface preparation before gas thermal spraying]. Patent SU 1638198. Appl. 11.05.1988, publ. 30.03.1991 (in Russ.).
- [6] Nadolskiy V.O., Navoznov A.N. Sposob podgotovki poverkhnosti detaley [Method of preparing the surface of the parts]. Patent SU 1758082. Appl. 23.10.1989, publ. 30.08.1992 (in Russ.).
- [7] Nikonova T.Yu., Zhetesova G.S., Yurchenko V.V. Practical recommendations in preparation for the process of coating by gas-thermal spraying of long rods. *Trudy universiteta*, 2022, no. 3, pp. 61–67 (in Russ.). DOI: [https://doi.org/10.52209/1609-1825\\_2022\\_3\\_61](https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_3_61)
- [8] Ivashko V.S. Prochnost stsepleniya pokrytiy iz samoflyusuyushchikhsya tverdykh splavov [Bonding strength of self-fluxing hard alloy coatings]. V: *Mashinostroenie. Vyp. 2* [In: Machine building. Iss. 2]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1979, pp. 103–105 (in Russ.).
- [9] Kudinov V.V., Druzhinin L.K. Poluchenie pokrytiy vysokotemperaturnym raspyleniem [Obtaining coatings by high-temperature spraying]. Moscow, Mir Publ., 1973.
- [10] Kupriyanov I.L., Geller M.A. Gazotermicheskie pokrytiya s povyshennoy prochnostyu stsepleniya [Gas-thermal coatings with increased adhesion strength]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1990.
- [11] Masino M.A. Organizatsiya vosstanovleniya avtomobilnykh detaley [Organization of restoration of automobile parts]. Moscow, Transport Publ., 1981.
- [12] Pantileeva N.S. [Influence of technological parameters of shot blasting on the surface quality before spraying of protective coatings]. *Innovatsii v tekhnologiyakh i obrazovanii. Sb. st. uch. XIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. T. 1* [Innovations in technologies and education. Proc. XIV Int. Sc.-Pract. Conf. Vol. 1]. Kemerovo, KuzGTU Publ., 2021, pp. 152–155 (in Russ.). EDN: DRMCLC
- [13] Dzhemilov E.Sh., Vaniev E.R., Fateev K.E., et al. Ways to increase the efficiency of sandblasting parts. *Vestnik sovremennykh tekhnologiy* [Journal of Modern Technologies], 2023, no. 4, pp. 41–48 (in Russ.). EDN: LRHWDA



- [14] Portnykh A.I., Smolentsev E.V., Perova A.V., et al. [Sandblasting preparation for coating of metal surfaces of workpieces]. *Sovremennye tekhnologii proizvodstva v mashinostroenii. Mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Modern Production Technologies in Mechanical Engineering. Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ., 2025, pp. 32–40 (in Russ.). EDN: ZJBVZK
- [15] Vokhidov A.A. Technology of jet-abrasive surface treatment of parts by spraying. *Endless Light in Science*, 2022, no. 6-6, pp. 202–206 (in Russ.). EDN: HDMKPV
- [16] Bartenev S.S., Fedko Yu.P., Grigorov A.I. *Detonatsionnye pokrytiya v mashinostroenii* [Detonation coatings in the machine building]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982.
- [17] Vashin S.A., Geraskin V.V., Mukhametova S.S., et al. Sposob podgotovki poverkhnosti izdeliya pered naneseniem detonatsionnogo pokrytiya [Preparation of article surface before application of detonation coating]. Patent RU 2545883. Appl. 30.04.2013, publ. 10.04.2015 (in Russ.).
- [18] Vashin S.A., Baldaev L.Kh., Khamitsev B.G. Sposob naneseniya gazotermicheskogo pokrytiya na poverkhnost izdeliya [Method of gas-thermal coating application on product surface]. Patent RU 2545880. Appl. 19.07.2013, publ. 10.04.2015 (in Russ.).
- [19] Poorman R.M., Sargent H.B., Lamprey H. Method and apparatus utilizing detonation waves for spraying and other purposes. Patent US 2714563. Appl. 07.03.1952, publ. 02.08.1955.
- [20] Gavrilenko T.P., Kiryakin A.L., Nikolaev Yu.A., et al. Automated detonation complex “Ob” for applying powder coatings. *STA*, 2006, no. 4, pp. 46–50 (in Russ.).
- [21] Gavrilenko T.P., Nikolaev Yu.A. Calculation of detonation gas spraying. *Combust. Explos. Shock Waves*, 2007, vol. 43, no. 6, pp. 724–731.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10573-007-0098-y>
- [22] Ulyanitsky V., Shtertser A., Zlobin S., et al. Computer-aided detonation spraying: from process fundamentals to advanced applications. *J. Therm. Spray Tech.*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 791–801. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11666-011-9649-6>
- [23] Shorshorov M.Kh., Kharlamov Yu.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy detonatsionno-gazovogo napyleniya pokrytiy* [Physico-chemical bases of detonation-gas spraying of coatings]. Moscow, Nauka Publ., 1978.
- [24] Zhdan S.A. Simulation of a two-phase flow behind a detonation wave. *Mekhanika bystroprotekayushchikh protsessov*, 1983, no. 62, pp. 39–48 (in Russ.).
- [25] Zhdan S.A. Chislennoe modelirovanie dinamiki dvukhfaznogo potoka v stvole detonatsionnoy ustanovki pri uchete drobleniya chastits [Numerical simulation of the dynamics of a two-phase flow in the detonation plant barrel taking into account particle crushing]. V: *Voprosy ispolzovaniya detonatsii v tekhnologicheskikh protsessakh* [In: Issues of using detonation in technological processes]. Novosibirsk, IGI SO AN SSSR Publ., 1986, pp. 63–70 (in Russ.).
- [26] Gavrilenko T.P., Nikolaev Yu.A. Analiz detonatsionno-gazovogo sposoba naneseniya poroshkovykh pokrytiy. V: *Voprosy ispolzovaniya detonatsii v tekhnologicheskikh protsessakh* [In: Issues of using detonation in technological processes]. Novosibirsk, IGI SO AN SSSR Publ., 1986, pp. 3–16 (in Russ.).

[27] Baldaev L.Kh., Khamitov B.G., Gavrilenko T.P., et al. Abrasive treatment of substance surface by using d-gun. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [Strengthening Technologies and Coatings], 2015, no. 10, pp. 3–10 (in Russ.). EDN: ULDXMZ

**Vashin S.A.** — Cand. Sc. (Eng.), Lead Engineer, Laboratory Heterogeneous Synthesis Refractory Compounds, IPCE RAS (Leninskiy prospekt 3, korp. 4, Moscow, 119071 Russian Federation).

**Ruban E.A.** — Research Scientist, Laboratory Heterogeneous Synthesis Refractory Compounds, IPCE RAS (Leninskiy prospekt 31, korp. 4, Moscow, 119071 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Vashin S.A., Ruban E.A. Surface preparation by detonation unit before coating spraying. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2026, no. 2 (157), pp. 69–84 (in Russ.). EDN: NNXWTV