

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.7.02

doi: 10.30987/2782-5957-2023-7-59-65

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРЕДОКРАСОЧНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ ОБШИВКИ ВАГОНОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Анатолий Александрович Кульков<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Российский университет транспорта, Москва, Россия

<sup>1</sup> pow12@mail.ru

### Аннотация

Отражены закономерности формирования качества металлической поверхности обшивки кузовов железнодорожных вагонов перед операцией заводского или ремонтного окрашивания. Газодинамический метод, обсуждаемый в данной статье, позволяет существенно повысить эффективность и качество подготовки поверхности к окраске.

Приведены результаты исследования ускорения частиц в газодинамическом потоке, изучен процесс столкновения частиц абразива с поверхно-

стью, степень очистки металла обшивки кузова, шероховатость поверхности после обработки.

Отражено влияние всех вышеперечисленных факторов на качество предокрасочной обработки. Актуальность данного исследования обусловлена высокими требованиями производителей лакокрасочных материалов к качеству предокрасочной подготовки металлических поверхностей.

**Ключевые слова:** вагон, окраска, очистка, качество, поверхность, шероховатость.

Ссылка для цитирования:

Кульков А.А. Обеспечение качества предокрасочной подготовки поверхности обшивки вагонов газодинамическим методом / А.А. Кульков // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 07. – С. 59-65. doi: 10.30987/2782-5957-2023-7-59-65.

Original article

Open Access Article

## ENSURING THE QUALITY OF PRE-PAINTING OF THE CAR LINING SURFACE BY THE GAS-DYNAMIC METHOD

Anatoly Aleksandrovich Kulkov<sup>1✉</sup>

<sup>1</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>1</sup> pow12@mail.ru

### Abstract

The regularities of ensuring the quality of the metal lining surface of the of railway car bodies before the operation of factory or repair painting are described. The gas-dynamic method given in this paper can significantly improve the efficiency and quality of surface preparation for painting.

The results of the study of particles acceleration in a gas-dynamic flow are presented, the process of abrasive particles collision with the surface, the degree

of cleaning of the car metal lining, and the surface roughness after treatment are researched.

The influence of all the above factors on the quality of the pre-painting is described. The relevance of this study is determined by the high requirements of manufacturers of paint and varnish materials for the quality of pre-painting of metal surfaces.

**Keywords:** car, painting, cleaning, quality, surface, roughness.

Reference for citing:

Kulkov AA. Ensuring the quality of pre-painting of the car lining surface by the gas-dynamic method. Transport Engineering. 2023; 7: 59-65. doi: 10.30987/2782-5957-2023-7-59-65.

## Введение

Железнодорожный транспорт является ключевым фактором развития экономики страны, так как он функционирует универсально и способен обслуживать производственные отрасли государства, удовлетворяя меняющийся спрос населения на перевозки в любом климате, в любой сезон года, при любой погоде. Однако для поддержания внешнего вида подвижного состава необходимо качественное техническое обслуживание, обязательное для нейтрализации агрессивного воздействия окружающей среды при эксплуатации. Так, спустя всего два – три года после начала эксплуатации на поверхности вагона начинают появляться пятна коррозии, а краска постепенно теряет свою яркость. Спустя ещё несколько лет кузов теряет внешний вид нового транспортного средства, не набрав ещё должного пробега. Причиной этому является фактор воздействия агрессивной окружающей среды. Покрытие кузова разрушается в процессе эксплуатации, и с течением времени, на нем могут образовываться различные дефекты. К ним могут относиться как сколы и растрескивания, так и отслоения краски. Сколы образуются в результате механического разрушения покрытия от множества мелких столкновений с гравием рельсового полотна во время движения на большой скорости. Причиной растрескивания лакокрасочного покрытия может быть тепловое расширение кузова во время его нагрева под солнцем и другие факторы. И наконец, отслоение покрытия происходит при несоблюдении технологии покраски, выборе несоответствующей марки краски, а также

некачественной подготовки поверхности кузовов железнодорожного подвижного состава [4]. Данный аспект часто приводит к необходимости замены элементов обшивки и каркаса кузова во время депоовского и капитального ремонта.

Защита вагонов от коррозии состоит из нескольких операций, задачей которых является предохранение металла от негативного влияния внешней среды или химическое замедление поверхностной коррозии. Антикоррозионная защита эксплуатируемого в условиях вредных внешних факторов объекта состоит в том, что на него производится нанесение покрытия, способного значительно снизить интенсивность коррозионного износа, или защитить поверхность от воздействия вредных факторов. Важнейшая операция при окраске – подготовка поверхности, которая считается самым сложным и трудоёмким этапом и составляющая до 2/3 от трудоёмкости всей окрасочной операции. Подготовка поверхности к окрашиванию является сложнее самой операции окрашивания, и совершенствование процесса подготовки привело бы к увеличению эффективности ремонтного производства. Для очистки кузова, как части технологического процесса его окраски, необходимо удалить эксплуатационные загрязнения, покрытия, наросты и прочие инородные материалы с обрабатываемой поверхности путем различных методов воздействия. Задачей удаления твердых загрязнений является очистка поверхности до металла в соответствии со степенью I по ГОСТ 9.403-2004.

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Предокрасочная подготовка железнодорожных транспортных средств осуществляется на пескоструйных или дробеструйных системах. В производственных условиях оператор может выбрать песок, дробь, купершлак или любой другой вид абразива. Оператор в процессе очистки устанавливает рабочее давление воздуха. Технологический процесс предполагает выбор одного из двух основных режимов очистки – среднего размера абра-

зива и рабочего давления воздуха. Выбор режима напрямую зависит от требуемого качества очистки поверхности. В результате, оператором должно быть обеспечено качество подготовки поверхности в соответствии со стандартом и обеспечена шероховатость поверхности в пределах Rz 25-70 мкм. Как качество, так и шероховатость регламентируются производителями современных лакокрасочных материалов,

на что непосредственно влияют свойства и толщина наносимого покрытия. [1].

Дробеструйный и пескоструйный способ очистки металлов имеют существенные производственные потери, которые заключаются в том, что в процессе очистки потребляется большой объём энергии и чрезмерно расходуется абразив. Сложность оценки оператором в рабочем процессе необходимой величины расхода материалов и энергии является причиной данного перерасхода. Увеличение давления и расхода воздуха приводит к расколу до половины используемых абразивных частиц после столкновения с металлической поверхностью, ввиду чего их повторное использование невозможно.

Проведенные исследования [2] показывают, что наиболее перспективным методом очистки может считаться газодинамический, технологический процесс которого имеет ряд преимуществ перед дробеструйным и пескоструйным способами. Обработка поверхности металла разогретым потоком воздуха с добавлением абразивных частиц называется газодинамическим методом. Оксидные пленки и твердые загрязнения разрушаются потоком абразива, что придает поверхности необходимое качество, а также шероховатость. Обезжиривание поверхности достигается благодаря термическому потоку. Данные факторы позволяют избежать применение обезжиривания химическими средствами, сопровождающуюся большим объемом вредных отходов. Как результат, технологический цикл обработки поверхности перед окраской значительно сокращается.

Также, газодинамический метод приводит к существенному уменьшению количества используемого абразива в сравнении с типовой технологией и повышает коэффициент использования напыляемого материала. Более того, газодинамический метод обеспечивает термическое обезжиривание поверхности кузова, и её активацию перед окрашиванием. Это особенно важно при очистке от маслянистых загрязнений и мазута, удаление которых типовыми способами очистки затруднено из-за их вязкости. Еще одним преимуществом газодинамического способа является воз-

можность проводить очистку влажной или обледеневшей поверхности без потери производительности, что особенно актуально в условиях климата России. Кроме того, газодинамический метод даёт возможность нанесения металлического антикоррозионного покрытия в местах очагов коррозии на поверхности кузова.

Реализация данного метода в заводских условиях осуществима при применении экспериментальной газодинамической установки. Эффективное производственное использование данного оборудования предполагает необходимость проработать и научно обосновать параметры воздействия на обрабатываемую поверхность свободного абразивного потока. Принцип работы указанной типовой установки основан на генерации газодинамического потока с одновременной подачей сжатого воздуха и впрыскиванием топлива в камеру сгорания в которой под давлением находится горючая смесь, ищущая выход оттуда путем прохождения через критическое сечение сопла. Затем происходит воспламенение смеси и образование факела газодинамического потока, ускорение которого происходит в сопле. Подача абразива в поток происходит через эжектор на выходе из сопла, приводя к образованию термоабразивного газодинамического потока.

Газодинамический поток представляет собой двойную технологическую среду, оказывающую термомеханическое воздействие на загрязнения. Температурное воздействие предварительно размягчает загрязнения, после чего происходит соударение с частицами абразива. Размягченные загрязнения становятся более податливыми, поэтому частица врежется в среду на большую глубину. В то же время, в областях, где не было прямого столкновения, среда загрязнений разрушается термическим потоком. Результат хорошо виден при увеличении в пять крат (рис. 1). Двойная термомеханическая среда воздействует на загрязнения более эффективно. Механическое воздействие разрушает твёрдые слои загрязнений, а термическое воздействие представляет собой более тонкий инструмент и эффективно влияет на рых-

лые, маслянистые и вязкие загрязнения, которые не под силу механическому воздействию. Термомеханическое воздей-

ствие позволяет значительно повысить степень очистки поверхности.



Рис. 1. Фотография металлической поверхности после обработки газодинамическим методом (слева) и с использованием типовой технологии (справа)

*Fig. 1. Photo of a metal surface after gas-dynamic treatment by the method (left) and using a standard technology (right)*

Во избежание большинства потерь в процессе производства и выбора необходимого режима роботизации и автоматизации процесса очистки, качество очистки определяется автоматизировано, без применения навыков оператора, что позволяет решить актуальную научно-практическую задачу расчета и обоснования режимов газодинамической абразивоструйной обработки. Кинетическая энергия и скорость абразивных частиц являются важными параметрами характеристики эффективности и качества процесса очистки. Подача частиц в поток приводит к их разгону до высоких скоростей, которые зависят от разных факторов. В определенный момент скорость частицы потока становится максимальной с последующим её постепенным замедлением, что связано тем, что после прохождения сопла на частицу воздействует сопротивление внешней среды.

Разогнанные частицы воздуха формируют аэродинамическую силу, действующую в потоке на попавшие туда зёрна абразива [3]. Процесс обтекания частицы приводит к её движению с переменной скоростью. Ускорение, придаваемое частице абразива тем выше, чем больше разность скоростей частицы и потока. Сила

воздействия потока на поверхность частицы, определяется как геометрическая сумма мгновенных сил, которые формируются в процессе соударений воздушных микрочастиц и обрабатываемой поверхности металла. Расчёт скорости производится путем деления на некоторое число коротких отрезков участка ускорения частиц, исследование которого необходимо произвести. Также принимается утверждение о том, что на данных участках движение частиц происходит равноускоренно. Затем путь частицы делится на 10 равных участков на расстоянии не более 30 сантиметров и длиной 1 сантиметр. Учитывается также, то что постоянная сила  $P$  осуществляет равноускоренное движение частицы на каждом из участков. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что на скорость частицы влияют следующие факторы:

- масса частицы;
- скорость воздушного потока;
- площадь поверхности частицы;
- местонахождение частицы в потоке.

Выходящий из сопла газодинамической установки газовый поток разгоняется до скорости, которую можно выразить уравнением:

$$v_0 = \sqrt{\left( \frac{k}{k-1} RT_0 \left( 1 - \left( \frac{P_a}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \right)},$$

где  $v$  – скорость газа;  $k = 1,4$  у воздуха;  $R = 287$  Дж/кг·К;  $T_0$  – температура воздуха;  $P_a$  – атмосферное давление воздуха;  $P_0$  – давление воздуха.

Проведение измерений скорости потока газа в ускоряющей трубке при помощи регулирования давления [ $P$ , МПа] и расхода воздуха [ $L$ , м<sup>3</sup>/мин] позволило вычислить скорость с которой разгоняются частицы как на выходе из сопла, так и на разных расстояниях от него. Также путем экспериментальных и теоретических исследований установлена взаимосвязь между скоростью разгона  $\omega$  в газодинамическом потоке и параметрами частиц, а также режимом истечения потока. В результате испытаний установлено, что средняя скорость с которой разгоняются частицы размером 0,5 мм составляет от 25 до 70 м/с.

Взаимодействие частицы абразива и металлической поверхности описано в некоторых работах [3, 5]. Данные исследования показывают зависимость эффективности процесса разрушения загрязнений от энергии, с которой частица сталкивается с поверхностью. Иными словами, скорость частицы и её масса при столкновении прямо влияют на параметры среза. Механические свойства обрабатываемой поверхности металла, старого лакокрасочного покрытия и материала частицы являются другим не менее важным фактором, оказывающим влияние на качество очистки.

Абразивным частицам потока при подготовке металлической поверхности к покраске необходимо передавать энергию, способную лишь произвести пластическое деформирование металла. Выполнение данного условия позволит избежать стачивание поверхности во время её обработки.

Диаметр и глубина следа, оставляемого частицей абразива прямо пропорциональны увеличению массы и скорости частиц, составляя от 20 до 30 % размера диаметра частицы. Данные результаты бы-

ли получены с помощью практических испытаний и теоретических расчетов с использованием кварцевого песка в качестве абразива и расчетной скорости 50 м/с. В случае применения на тех же скоростях более твердых абразивных материалов, таких как чугунная или стальная дробь, диаметр и глубина следа могут вырасти до половины диаметра частицы.

Исследования проведены по литому и колотому типам стальной и чугунной дроби, купершлаку и кварцевому песку, являющимися наиболее часто применяемыми в очистке свободными абразивами. Для тестирования брались фракции абразивов от 0,1 до 1 мм. По результатам исследования мелкие фракции песчаной смеси, разгоняясь до 70 м/с, оставляли самый качественный след на обрабатываемой поверхности. Абразивы средней фракции размером около 1 мм разгонялись до 30 м/с, показывая менее качественные результаты очистки. Крупные частицы были инертны, тяжело разгоняясь в газодинамическом потоке, снижая степень очистки металлической поверхности. Дефектный слой, при самой максимальной нагрузке на поверхность при её очистке, варьировался от 0,2 мм в случае абразивной песчаной смеси и до 0,4 мм при применении дроби. Таким образом, максимально мягкое воздействие на металлическую поверхность наблюдалось при использовании песчаной смеси ввиду её природных характеристик.

Единичное столкновение частицы с поверхностью металла приводит к срезу, имеющего длину  $l$ , ширину  $r$  и глубину  $\psi$ . С учетом данных свойств можно составить модель процесса очистки в виде множества отдельных столкновений абразивных частиц и поверхности. На каждом участке поверхности происходит  $N_i$  столкновений с суммарной глубиной разрушения  $H_i$ .

По результатам испытаний сделан вывод о том, что распределение количества частиц от края потока к центру изме-

няется согласно закона распределения Гаусса, при котором за  $N$  принято количество частиц абразива в пятне контакта, а за  $N_0$  – количество частиц, оказавшихся в центре пятна контакта. Исходя из чего скорость очистки описывается следующей формулой:

$$V = K \frac{N\psi r}{H_{\text{покр}}} e^{-\left(\frac{R_p}{R_y}\right)^2},$$

где  $V$  – скорость очистки;  $N$  – расход абразива;  $\psi$  – глубина единичного среза;  $H_{\text{покр}}$  – толщина покрытия;  $R_p$  – радиус зоны очистки.

С помощью данного выражения определяется количество энергии, необходимое израсходовать для проведения очистки поверхности. При этом можно сделать вывод, что рост скорости и ширины зоны очистки приводит к увеличению эффективности обработки поверхности. При экспериментальной проверке вышеизложенной модели установлено, что производительность находится в пределах полученной в расчетах и колеблется на уровне

## Результаты

По результатам исследований установлено, что данный метод позволяет произвести очистку поверхности по качеству, соответствующему степени I по ГОСТ 9.403-2004 с шероховатостью очищаемой поверхности  $R_z$  в диапазоне 25–70 мкм, что соответствует требованиям производителей лакокрасочных покрытий. [2]. Проведенные исследования параметров процесса и технологических режимов очистки дали возможность изучить разгон частиц абразива в газодинамическом потоке, механизм столкновения частицы с металлической поверхностью и процесс деформации поверхностного слоя. Данные результаты можно использовать при точной настройке режимов автоматизации и роботизации очистки. Результаты исследования важны для обеспечения качества подготовки поверхности к окраске ввиду выяв-

от 30 до 35 м<sup>2</sup>/ч. При снижении толщины покрытия до значений в 1 мм и ниже, производительность очистки может достигать показателей от 40 до 75 м<sup>2</sup>/ч. Величина шероховатости изменяется от скорости и применяемого вида абразива и соответствует диапазону 25 – 70 м<sup>2</sup>/ч.

Расходование абразивных материалов в среднем не превышает 60 кг/час при том, что возможно повторное применение значительной части абразива. Потери дроби и купершлака в процессе очистки минимальны и составляют 7 % и 15 % соответственно, что достигается благодаря редким расколам материала, отсутствию пыли и приводит к незначительному негативному воздействию на здоровье человека. С другой стороны, потери песчаной смеси могут характеризоваться значениями от 30 % до 40 %, превращаясь в пыль, которая мягко воздействует на поверхность, но оказывает сильное отрицательное влияние на здоровье человека, производящего очистку.

ленной зависимости между режимами столкновения частицы и конечными свойствами обработанной поверхности. С помощью выведенной модели очистки возможно произвести расчеты необходимого количества энергии, используемого в процессе, а также добиться существенного сокращения расходов на абразивы и электроэнергию. Также проведенные исследования свидетельствуют о том, что наиболее качественная предокрасочная подготовка поверхности обшивки кузова вагонов обеспечивается путём применения газодинамического метода, приводящего к уменьшению расходов на ремонт и обслуживание подвижного состава и более длительному использованию лакокрасочного покрытия. В результате растет эффективность и прибыльность перевозок железнодорожным транспортом.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Куликов М.Ю., Кульков А.А. Оценка технико-экономической эффективности процесса абразивоструйной обработки металлических элемен-

тов кузовов железнодорожных вагонов / Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 6 (79). С. 65-68.

2. Куликов М.Ю., Кульков А.А. Технико-экономические особенности обработки поверхностей вагонов перед окрашиванием / Научные технологии в машиностроении. 2019. № 5 (95). С. 39-41.
3. Кульков А.А., Евсеев Д.Г., Коротков А.Ю. Оценка эффективности процесса обработки поверхностей вагонов перед окраской / Металлообработка. 2016. № 4 (94). С. 66-67

4. Кульков А.А., Иноземцев В.Е. Ультразвуковое жидкостное матирование металлических поверхностей / Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 3 (64). С. 40-43.
5. Кульков А.А., Ларионов М.А. Особенности абразивно-струйной обработки металлических поверхностей перед окрашиванием / Научные технологии в машиностроении. 2018. № 12 (90). С. 15-20.

## REFERENCES

1. Kulikov MYu, Kulkov AA. Technical and economic efficiency assessment of metal elements abrasive-jet processing in railroad bodies. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2019;6(79):65-68.
2. Kulikov MYu, Kulkov AA. Technical and economic peculiarities of car surface processing before coloration. Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2019;5(95):39-41.
3. Kulkov AA, Yevseyev DG, Korytov AYu. Evaluating the effectiveness of surface treatment process

before painting carriages. Metalloobrabotka. 2016;4(94):66-67

4. Kulkov AA, Inozemtsev VE. Ultrasonic liquid matting of metal surfaces. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2018;3(64):40-43.
5. Kulkov AA, Larionov MA. Peculiarities of metal surface abrasive jet processing before coloring. Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering. 2018;12(90):15-20.

## Информация об авторах:

**Кульков Анатолий Александрович** – доцент, к.т.н., доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава»

ва» Российского университета транспорта; тел. +7(903)748-2040, Scopus-Author ID 57204939885

**Kulkov Anatoly Aleksandrovich** – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Transport

Engineering and Rolling Stock Repair at the Russian University of Transport; phone: +7(903)748-2040; Scopus-Author ID 57204939885.

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 26.04.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 27.06.2023. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 26.04.2023; approved after review on 15.06.2023; accepted for publication on 27.06.2023. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.**