

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.7.02

doi: 10.30987/2782-5957-2024-2-49-55

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРЕДОКРАСОЧНОЙ ОБРАБОТКИ КУЗОВНОЙ ОБШИВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ТЕХНИКИ

Анатолий Александрович Кульков^{1✉}, Максим Александрович Ларионов², Михаил Викторович Разинков³

^{1,3} Российский университет транспорта (РУТ), Москва, Россия

² Институт конструкторско-технологической информатики (ИКТИ РАН), Москва, Россия

¹ pow12@mail.ru

² pioneer_maxim@mail.ru

³ M_razinkov@mail.ru

Аннотация

Приведены данные о математическом моделировании технологического процесса газодинамической обработки. Целью данного исследования является получение математического аппарата, позволяющего производить расчёт основных технологических режимов газодинамической обработки на предмет скорости разрушения среды эксплуата-

ционных загрязнений, а также на предмет инвазивности обшивки кузова. Для этого в статье вынесены на рассмотрение основные положения математической модели и результаты проведенных исследований.

Ключевые слова: модель, технологический процесс, подвижной состав, окраска.

Ссылка для цитирования:

Кульков А.А. Моделирование технологического процесса предокрасочной обработки кузовной обшивки железнодорожной техники / А.А. Кульков, М.А. Ларионов, М.В. Разинков // Транспортное машиностроение. – 2024. - №2. – С.49-55. doi: 10.30987/2782-5957-2024-2-49-55.

Original article

Open Access Article

MODELING OF THE MANUFACTURING PROCESS OF PRE-PAINT TREATMENT OF RAILWAY EQUIPMENT BODY COVERING

Anatoly Aleksandrovich Kulkov^{1✉}, Maksim Aleksandrovich Larionov², Mikhail Viktorovich Razinkov³

^{1,3} Russian University of Transport (RUT), Moscow, Russia

² Institute of Design and Technological Informatics (ICTI RAS), Moscow, Russia

¹ pow12@mail.ru

² pioneer_maxim@mail.ru

³ M_razinkov@mail.ru

Abstract

There are data on the mathematical modeling of the manufacturing process of gas dynamic treatment. The study objective is to obtain a mathematical apparatus that allows the calculation of the main manufacturing modes of gas dynamic treatment according to the destruction rate of operational pollution, as well as

to the invasiveness of the body covering. To do this, the paper presents the main provisions of the mathematical model and the results of the research.

Keywords: model, manufacturing process, rolling stock, painting.

Введение

Техническая эксплуатация железнодорожного подвижного состава связана с регулярным проведением деповских и капитальных ремонтов [1]. Одним из вредных разрушающих факторов, действующих в течение всего периода эксплуатации, является агрессивное воздействие окружающей среды, особенно в условиях российского климата. Коррозия постепенно разрушает лакокрасочное покрытие кузова, а затем и его обшивку с несущей металлоконструкцией. В ряде случаев, возникновение очага коррозии имеет чисто химическую причину, и вызвано непосредственно воздействием окружающей среды. Например, при ремонтном окрашивании в месте прошлого дефекта лакокрасочное покрытие было нанесено при недостаточной подготовке поверхности. Такая область на поверхности кузова сразу становится «концентратором» коррозионного напряжения и начинает ржаветь первой. Такими «концентраторами» могут служить и другие области обшивки, такие как сварные швы, окаёмки оконных и дверных проёмов, места соединения и др. Кроме того, очаг коррозии может иметь и чисто механическую природу возникновения. Например, при столкновении частицы гравия рельсового полотна с поверхностью обшивки. Слой лакокрасочного покрытия в зоне столкновения полностью скалывается, оставляя голый металл обшивки. Эта область быстро начинает корродировать, особенно если при столкновении произошло врезание частицы гравия в обшивку, и становится очагом разрушения.

Кузовные стали серии 09Г2Д, 09Г2СД, 10ХНДП и др., применяемые для обшивки пассажирских и грузовых вагонов обладают хорошей коррозионной стойкостью при эксплуатации на открытом воздухе. Важным свойством этой группы сталей является их нержавеющая способность. Несмотря на отсутствие в их названии слова «нержавеющая», она обладает хорошей коррозионной стойкостью. Поверхность стали покрывается защитной пленкой оксида железа, благодаря чему

они корродируют гораздо медленнее других сталей.

Однако данные марки сталей не являются нержавеющими и могут подвергаться коррозии в определённых условиях эксплуатации. При длительном контакте с влажной или химически агрессивной средой, они могут разрушаться, подвергаясь различным видам коррозии, таким как пятнистая, точечная, язвенная и др. Часто, такой очаг коррозии двигается не вглубь металла, а распространяется вширь по его поверхности. Действие этого фактора продолжает разрушать металлоконструкцию кузова в течении межремонтного пробега.

При проведении капитальных и деповских ремонтов ущерб, нанесенный коррозией, оценивается не только стоимостью испорченных ржавчиной материалов, а еще и стоимостью работ, по замене листов обшивки, необходимых из-за возникновения на них даже небольшого очага коррозии [2]. Трудоемкость замены листов кузовной обшивки очень высокая, она требует хорошей квалификации цеховых работников и специальное сварочное оборудование. Листы обшивки, заменённые неправильно, портят внешний вид и сразу бросаются в глаза на фоне остальной ровной поверхности кузова. Получается, что порой из-за незначительного очага коррозии, который нельзя оставить на кузове из-за соображений безопасности движения или эстетичного внешнего вида, возникают ремонтные работы с достаточно высокой трудоёмкостью.

Лакокрасочное покрытие кузова, согласно своей паспортной долговечности, должно прослужить весь пробег между капитальными ремонтами и только тогда удалено. Несмотря на это, часто в процессе эксплуатации возникает необходимость устранения локальных дефектов лакокрасочного покрытия уже при проведении деповских ремонтов [3]. Все перечисленные факторы приводят к существенному удорожанию жизненного цикла подвижного состава, скрывая под собой так же непред-

виденные и достаточно высокие расходы на кузовные ремонтные работы.

В таких условиях нашла свое применение технология газодинамической обработки, применяемая в условиях российской железнодорожной отрасли экспериментально. Предварительные испытания показали ее эффективность при проведении ремонтных предокрасочных работ. Способ позволяет производить быструю зачистку в местах очагов коррозии и вариативно наносить защитное (цинковое или алюминиевое) покрытие для противодействия дальнейшему развитию коррозии. После, на зачищенную поверхность может быть нанесено ремонтное лакокрасочное покрытие в месте дефекта. Такая технология позволяет значительно снизить трудоёмкость ремонтных работ по устранению дефектов, а также снизить вероятность возникновения новых очагов коррозии и дефектов при следующем межремонтном пробеге [4].

Газодинамическая технология представляет собой двойное термомеханиче-

ское воздействие на поверхность. Частицы свободного абразива ускоряются воздушным потоком в специальном сопле с камерой сгорания. В ней воспламеняется дизельное топливо и на поверхность подается термоабразивный газодинамический поток. Такое свойство потока позволяет разрушать твердые загрязнения механическим воздействием, а мелкие остатки среды загрязнений удалять термическим воздействием. Производится так же активация и обезжиривание кузовной поверхности термическим способом.

Эффективное применение газодинамической технологии в условиях железнодорожной отрасли требует проработки технологического режима воздействия на кузовную поверхность. Целью приведенного в статье исследования является адаптация газодинамической технологии для нужд железнодорожной отрасли через моделирование процесса взаимодействия потока и поверхности кузова.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Частицы абразива, попадая через эжектор в поток стремятся занять положение ближе к его геометрическому центру. Это обусловлено формой кратера, получаемой на обработанных образцах. Кратер имеет наиболее глубокую точку в геометрическом центре. Ближе к краям кратера идёт убывание глубины, а на его краях есть лишь следы от небольшого количества столкновений. С технологической точки зрения это означает, что газодинамический поток имеет разные разрушающие свойства от центра к краям. Оптимальным решением было бы равномерное распределение разрушающей способности по всей площади потока. Однако получение такого потока технически затруднительно. Сопла и смесители большинства аппаратов позволяют получить равномерный по площади поток только на небольших диаметрах сопел до 4-5 мм. При увеличении диаметра поток становится менее равномерным. Формирование потока реализуется в первую очередь конструкцией смесителя аппарата или эжектора. Уско-

ренный воздушный поток создаёт разрежение в магистрали смесителя и это приводит к эжекции частиц. На сегодняшний день реализовано несколько типов конструкций эжекторов. В большинстве аппаратов применяется эжектор с одним фронтальным отверстием для подачи абразива. В других встречаются конструкции с двумя или четырьмя отверстиями. Направление отверстий может быть фронтальным или под углом потоку. В газодинамическом аппарате применён эжектор с одним фронтальным отверстием и формой смесителя, представленной на рис. 1.

Эжектируемые частицы формируют поток, нарастающий по плотности к центру. При этом насыщенность потока зависит от расхода абразива g (кг/час) или количества частиц N (частиц/с), проходящих через сечение сопла в единицу времени. Количество частиц в центре потока N_0 максимально и формирует его основные разрушающие свойства. Согласно данным, полученным в процессе предварительных испытаний, кратер образующийся в про-

цессе обработки имеет форму, которую можно описать квадратичной функцией.

При этом в центре кратера максимальная глубина H_0 .

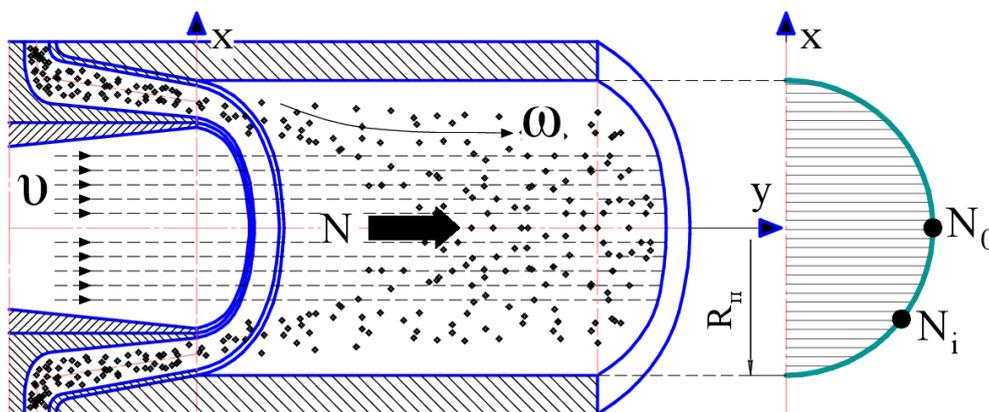


Рис. 1. Схема эжекции абразива в воздушный поток: v – скорость газового потока (м/с); ω – скорость частиц (м/с); N_0 – штучный расход абразива в центре потока (частиц/с); N_i – штучный расход абразива (частиц/с); R_p – радиус потока (мм)

Fig. 1. The scheme of abrasive ejection into the air stream: h is the velocity of the gas flow (m/s); ω is the particle velocity (m/s); N_0 is the piece flow rate of the abrasive in the center of the flow (particles/c); N_i – piece consumption of abrasive (particles/c); R_p – flow radius (mm)

Согласно схеме, представленной на рис. 2 массовый и штучный расход абразива, могут быть связаны между собой следующим уравнением:

$$g = Nm_i, \quad (1)$$

где: m_i – масса одного зерна.

Тогда штучный расход абразива N_i связан с глубиной разрушения в произвольной точке следующим уравнением:

$$H_i = N_i \psi \tau, \quad (2)$$

где ψ (мм) – глубина разрушения от одного столкновения, τ – время воздействия (с).

Примем, что распределение частиц в потоке носит квадратичную функцию и может быть описано следующим уравнением:

$$N_i(x) = N_0 - x^2; \quad (3)$$

Тогда общая величина N может быть приведена как:

$$2\pi R \int_0^{R_n} (N_0 - x^2) dx = 2\pi R_n^2 (N_0 - \frac{R_n}{3}). \quad (4)$$

Тогда количество частиц в центре потока N_0 может быть определено как:

$$N_0 = \frac{N + 2\pi R_n^3}{2\pi R_n^2}. \quad (5)$$

Совместив уравнения (1), (2) и (3) можно получить глубину разрушения при

одном столкновении, которая выражается следующим уравнением:

$$\psi = \left[\frac{15}{16} \cdot \frac{m \cdot \omega^2}{\sqrt{R}} f \right]^{\frac{2}{5}}. \quad (6)$$

Совместим (2) и (6), преобразуем, и получим выражение для коэффициента f^* , характеризующего физико-механические свойства среды загрязнений:

$$f^* = \frac{16}{15} \cdot \frac{\sqrt{R}}{m \cdot \omega^2} \left(\frac{2\pi H_0 K_n}{\tau} \right)^{\frac{5}{2}}, \quad (7)$$

где R – радиус частицы, m – масса частицы, ω – скорость частицы, H_0 – глубина разрушения (экспериментальная), τ – время воздействия, R_n – радиус потока, K_n – коэффициент, зависящий от расхода абразива.

Значение для коэффициента f^* , характеризующего физико-механические свойства сталкивающихся материалов, может быть получено экспериментально, при обработке образцов из любого материала зёрнами абразива заданной твёрдости [5]. Получение численного значения этого коэффициента для сред с неизвестными физико-механическими свойствами поможет прогнозировать скорость разрушения этих сред с высокой точностью.

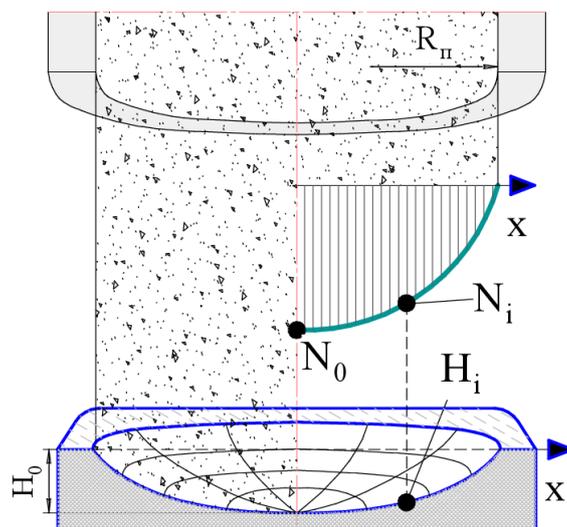


Рис. 2. Схема процесса разрушения материала в пятне контакта: H_0 – глубина разрушения в центре пятна контакта (мм), H_i – глубина разрушения в произвольной точке (мм), g – массовый расход абразива (г/с)
 Fig. 2. Diagram of the process of destruction of the material in the contact spot: H_0 is the depth of destruction in the center of the contact spot (mm), H_i is the depth of destruction at any point (mm), g is the mass consumption of the abrasive (g/s)

Результаты

Полученная модель позволяет численно оценивать режущую и разрушающую способность газодинамического потока через параметр ψ , характеризующий глубину разрушения. Математическое моделирование технологических процессов позволяет оценить их с той точностью, которая недостижима при простой производственной отладке. Большинство распространенных технологических циклов, таких как лезвийная или лазерная обработка – давно смоделированы и могут быть легко обчислены на предмет любого режима и параметра. Процессы обработки свободным абразивом [6] как правило смоделированы под конкретные условия обработки в определенной отрасли. Это обусловлено тем, что процесс обработки свободным абразивом – сложная для моделирования среда и расширение условий при создании модели приводит к резкому снижению её точности. Эта проблема актуальна и при моделировании процесса газодинамической обработки, где ко всему прочему добавляется еще и фактор температурного воздействия на среду загрязнений, наряду с механическим.

Предлагаемая модель позволяет теоретически обчислить технологический ре-

жим обработки кузовной обшивки на предмет скорости разрушения слоя загрязнений (старого ЛКП, коррозии), а также на предмет инвазии самой обшивки кузова. Данные могут быть подтверждены экспериментально, что даст возможность с использованием поправочных коэффициентов в дальнейшем рассчитывать и прогнозировать требуемые режимы обработки для разных технологических ситуаций при обработке кузова. При этом выбранный технологический режим будет энергоэффективным и безопасным с точки зрения возможного повреждения обшивки кузова при недостаточном опыте оператора.

Получение эффективной технологии подготовки поверхности позволяет существенно сократить операционные расходы при кузовных ремонтно-восстановительных работах, направленных на устранение последствий коррозии. Кроме того, применение газодинамической технологии при подготовке кузовной поверхности позволит снизить вероятность возникновения очагов коррозии в течении межремонтного пробега кузова и снизить стоимость сопровождения жизненного цикла подвижного состава.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кульков А.А. «Обеспечение качества предокрасочной подготовки поверхности обшивки вагонов газодинамическим методом» / Транспортное машиностроение. 2023. № 7(19). С. 59-65
2. Куликов М.Ю., Кульков А.А. «Оценка технико-экономической эффективности процесса абразивоструйной обработки металлических элементов кузовов железнодорожных вагонов» / Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 6 (79). С. 65-68.
3. Куликов М.Ю., Кульков А.А. «Технико-экономические особенности обработки поверхностей вагонов перед окрашиванием» / Научно-технические технологии в машиностроении. 2019. № 5 (95). С. 39-41.
4. Кульков А.А., Евсеев Д.Г., Корытов А.Ю. «Оценка эффективности процесса обработки поверхностей вагонов перед окраской» / Металлообработка. 2016. № 4 (94). С. 66-67
5. Кульков А.А., Иноземцев В.Е. «Ультразвуковое жидкостное матирование металлических поверхностей» / Вестник Брянского государственного технического университета. 2018. № 3 (64). С. 40-43.
6. Кульков А.А., Ларионов М.А. «Особенности абразивно-струйной обработки металлических поверхностей перед окрашиванием.» / Научно-технические технологии в машиностроении. 2018. № 12 (90). С. 15-20.

REFERENCES

1. Kulkov AA. Ensuring the quality of pre-painting of the car lining surface by the gas-dynamic method. Transport Engineering. 2023;7(19):59-65.
2. Kulikov MYu, Kulkov AA. Technical and economic efficiency assessment of metal element abrasive-jet processing in railroad car bodies. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2019;6(79):65-68.
3. 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.
4. Kulkov AA, Evseev DG, Korytov AYU. Evaluating the effectiveness of surface treatment process before painting carriages. Metalworking. 2016;4(94):66-67.
5. Kulkov AA, Inozemtsev VE. Ultrasonic liquid matting of metal surfaces. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2018;3(64):40-43.
6. 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., тел. +7(903)748-2040, доцент кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта, Scopus-Author ID 57204939885.

Ларионов Максим Александрович - доцент, к.т.н., тел. +7(926)274-7216, младший научный сотрудник Института конструкторско-

технологической информатики (ИКТИ РАН) Scopus-Author ID 57192592647.

Разинков Михаил Викторович – аспирант, тел. +7(926)232-5319, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта.

Kulkov Anatoly Aleksandrovich – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering and Rolling Stock Repair at Russian University of Transport; phone: +7(903)748-2040, Scopus-Author ID 57204939885.

Larionov Maksim Aleksandrovich - Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Junior Re-

searcher at the Institute of Design and Technological Informatics (ICTI RAS); phone: +7(926)274-7216, Scopus-Author ID 57192592647.

Razinkov Mikhail Viktorovich – Postgraduate Student of the Department of Transport Engineering and Rolling Stock Repair at Russian University of Transport; phone: +7(926)232-5319.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

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

Статья поступила в редакцию 30.11.2023; одобрена после рецензирования 18.12.2023; принята к публикации 26.01.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 30.11.2023; approved after review on 18.12.2023; accepted for publication on 26.01.2024. 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 Council of the journal *Transport Engineering*.