

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лишевича Игоря Валерьевича

на диссертационную работу Анакиной Дарьи Анатольевны

**«Разработка комплексного полимерного коррозионностойкого покрытия
для стальных труб теплосетей»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.6.17. Материаловедение

На отзыв представлена рукопись диссертации объемом 130 страниц текста, содержащая 42 рисунка и 12 таблиц. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, который включает 124 наименования, и трех приложений. Автореферат диссертации изложен на 20 страницах.

Актуальность темы диссертации

Согласно данным зарубежных исследователей и исходя из практики российских предприятий качество подготовки стальной поверхности перед окрашиванием определяет до 80 % долговечности лакокрасочных покрытий, так как обеспечивает надежную адгезию полимерного материала к металлу практически в течение всего срока эксплуатации. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 «Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности» регламентированы различные виды очистки поверхности стального проката: абразивная струйная (песком или дробью), газопламенная и обработка ручными механическими инструментами.

В качестве перспективного способа подготовки поверхности в последние годы рассматривается лазерная очистка, обусловленная развитием лазерных технологий, разработкой и промышленным производством широкого спектра современного оборудования. Кроме того, лазерная очистка обладает рядом преимуществ перед широко применяемыми стандартизированными способами: бесконтактное удаление с высокой скоростью одновременно окислы, продуктов коррозии, масел и старых покрытий, отсутствие пылеобразования и необходимости последующей переработки абразива.

С начала 2026 года вступил в действие новый национальный стандарт ГОСТ Р 72186-2025 «Оптика и фотоника. Очистка лазерная поверхностей изделий. Технологический процесс», устанавливающий требования к технологии очистки твердых металлических и неметаллических материалов с помощью сфокусированного лазерного пучка на предприятиях приборостроения. Целесообразно распространение подобных технологий на другие области промышленности с переходом от прецизионного использования лазерной очистки к более масштабным изделиям. В связи с этим результаты исследования, направленные на разработку технологии формирования защитного покрытия с повышенной адгезионной прочностью за счет лазерной обработки, полученные Анакиной Дарьей Анатольевной при выполнении диссертационной работы, являются актуальными и вносят существенный вклад в улучшение коррозионной стойкости стальных труб теплосетей.

ОТЗЫВ 1

ВХ. № 9 - 567 ОТ 15.05.26

Научная новизна диссертации

Заключается в том, что диссертантом экспериментально установлено влияние:

- типа лазера на морфологию поверхности стальной пластины – имитатора трубы. Обработка на лазерной установке непрерывного действия формируют борозды и повторяющийся, но неоднородный микрорельеф на поверхности металла. При импульсной лазерной обработке формируется периодический рельеф (с сеткой канавок), одинаковый по всей площади образца. Определен способ обработки – короткофокусным импульсным лазером с диаметром луча в фокальной плоскости 55 мкм, позволяющий сформировать наиболее развитый микрорельеф на стальной поверхности.
- параметров лазера на характеристики обрабатываемой поверхности. Увеличение мощности лазера непрерывного действия от 800 до 1700 Вт приводит к росту параметров шероховатости $R_{\max}$, R_z и R_a в 8-10 раз, но и более сильному переплавлению металла. Отмечена эффективность сокращения длительности воздействия непрерывного лазера с 14 до 5 мс. Для импульсного лазера определены оптимальные параметры (значения мощности, количества линий на мм, частоты и скорости), обеспечивающие получение периодического микрорельефа с шероховатостью $R_z=26$ мкм, в свою очередь способствующее повышению площади полезной поверхности на $\approx 72\%$ и тем самым увеличение адгезионной прочности наносимого защитного покрытия.
- очередности нанесения ЛКМ двух разных составов на стальную поверхность. Выявлена эффективность композиции, в которой полимерное покрытие получено при последовательном нанесении эпоксидной, и затем полиуретановой эмали, характеристики которых дополняют друг друга. Показатели двухслойного покрытия соответствуют требованиям к защитным свойствам покрытий труб горячего водоснабжения и превышают их по адгезии на отрыв больше чем на 8 раз, эластичности при изгибе вокруг стержня в 10 раз, по стойкости на удар в 1,6 раз.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Анакиной Дарьи Анатольевны, обладают высокой степенью обоснованности и достоверности. Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки задач исследования; использованием современных методов исследований, оборудования и приборов; воспроизводимостью и непротиворечивостью результатов, полученных различными методами, а также представительным объемом лабораторных испытаний образцов:

- при исследовании влияния лазерной обработки использованы лазерные установки различного типа: лазер непрерывного действия и импульсные волоконные лазеры (МиниМаркер2, ТурбоМаркер-B50A4 и установка ручной лазерной обработки TurboClean-B100) с варьированием параметров оборудования;
- получение конверсионных покрытий при холодном фосфатировании образцов стали, предварительно подвергнутых лазерной обработке, выполнялось с применением четырех композиций разного состава;

- нанесение полимерных материалов (эпоксидной эмали ЭП-140 и полиуретановой эмали Symphony Winner A) осуществлялось в различных комбинациях, в т.ч. с фосфатными покрытиями;

Полученные таким образом образцы всесторонне исследованы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к покрытиям для труб горячего водоснабжения (шероховатость поверхности перед окрашиванием, оценка адгезионной прочности методом царапания и методом отрыва, определение прочности покрытия при ударе, испытания на изгиб вокруг цилиндрического стержня и методом Эриксона при выдавливании стальной матрицы в образец, электроискровой метод контроля сплошности). Выполнен ряд стендовых испытаний покрытий: оценка термической стойкости при температуре 145-150°C; оценка термовлагостойкости после 50 циклов «смачивание в воде – сушка при 75°C»; оценка химической стойкости в растворах щелочи и кислоты; испытания покрытия на пробой).

Работа прошла апробацию на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 2 международных.

Научные результаты, их ценность

Ценность научных результатов заключается в разработке нового технологического подхода к обработке поверхности стали перед окрашиванием, основанного на применении лазера. Определены способ и режимы лазерной обработки для получения наиболее развитой микроструктуры на поверхности металла. Установлено, что изменение параметров мощности и плотности заполнения линий лазерной обработки больше всего оказывает влияние при структурировании поверхности металла. Разработаны состав и порядок формирования двухслойного полимерного покрытия на основе эпоксидной и полиуретановой эмалей с режимами ускоренной сушки. Выявлено влияние параметров лазерной обработки и композиций ЛКМ на физико-механические и эксплуатационные свойства полимерных покрытий.

Результаты работы в полной мере освещены в 7 печатных работах, в том числе: в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий (перечня ВАК РФ) и в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и системы цитирования Scopus. Получены 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных и 1 заявка на патент.

Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных представлений о положительном влиянии лазерной очистки поверхности стали за счет формирования особенного микрорельефа, упорядоченного и равномерного по глубине, приводящего к значительному увеличению площади полезной поверхности и соответственно – повышению адгезионной прочности наносимого на металл полимерного материала.

Практическая значимость полученных результатов выражается в готовности предприятия ООО «ВИАСМ Плюс» использовать в своей производственной деятельности разработанные рекомендации по технологии, включающей лазерную об-

работку поверхности взамен струйной в сочетании с последующим нанесением комбинации эпоксидных и полиуретановых эмалей.

Практическая значимость диссертационной работы также подтверждается поданной заявкой на патент №2026113933 «Способ формирования рельефа внешней поверхности трубопровода для повышения адгезионных характеристик коррозионно-стойких полимерных покрытий», свидетельствуя о приоритете и новизне технического решения.

Рекомендации по использованию результатов работы

Предложенный в диссертационной работе способ получения полимерных покрытий с предварительной лазерной очисткой поверхности металла перед окрашиванием рекомендуется к опробованию в различных отраслях промышленности, в том числе при ремонте изделий и конструкций в полевых условиях. Целесообразно продолжение научных исследований в данном направлении с расширением спектра лакокрасочных материалов и применяемых металлов.

Замечания и вопросы по работе

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе исследовано полимерное покрытие на базе эпоксидной эмали ЭП-140. Согласно ГОСТ 24709-2022 «Эмали ЭП-140. Технические условия» указанная эмаль наносится на предварительно загрунтованную металлическую поверхность. На практике обычно применяют грунты ВЛ-02, ЭП-0199, АК-070. Необходимо пояснить отказ от использования грунта.

2. Из результатов, представленных в главе 4, рис. 4.10, следует, что разработанное комбинированное полимерное покрытие продемонстрировало чувствительность не только к раствору кислоты, но и к раствору щелочи (при $\text{pH}=10,5$). Наблюдается значительное снижение адгезии, эластичности при изгибе, появление вздутий по кромкам образцов. С учетом возможного подщелачивания грунта при катодной защите трубопровода в процессе эксплуатации и более жестком требовании к испытаниям (при $\text{pH}=14$), изложенном в Своде правил СП 124.13330.2012 «Тепловые сети» (Изменение № 1), рассматривались ли мероприятия по защите от щелочного воздействия, включая модификацию полиуретанового ЛКМ?

3. В разделе 4.3 приведены свойства комбинированных полимерных покрытий. Из описания технологии получения таких покрытий непонятно, применялось ли фосфатирование после лазерной очистки поверхности, т.к. ранее в главе 3 (табл. 3.6) было показано, что фосфатирование не способствует повышению адгезии. Следует уточнить, разработанная диссертантом технология в итоге включает операцию фосфатирования?

4. В главе 3 при выборе режимов лазерной обработки выполнены измерения твердости и исследования микроструктуры поверхностных слоев стали, обнаружены фазовые превращения (образование мартенсита), формирование пленки из оксидов различного состава и ее микрорастрескивание, оплавление ме-

талла. Однако не приведены результаты экспериментальных исследований, как указанные факторы влияют на качество конечного полимерного покрытия.

5. В качестве пожелания – рекомендуется провести испытания покрытий на устойчивость к истиранию на базе 500 циклов согласно требованиям СП 124.13330.2012 (Изменение № 1) и оценку водопоглощения в соответствии с РД 153-34.0-20,518-2003 «Типовая инструкция по защите трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии».

Вышеуказанные замечания не снижают ценность представленной работы. В целом, диссертационная работа Анакиной Дарьи Анатольевны выполнена на современном научно-техническом уровне и представляет собой законченное исследование.

Содержание автореферата Анакиной Д.А. соответствует содержанию диссертации.

Заключение по диссертации

Диссертация «Разработка комплексного полимерного коррозионностойкого покрытия для стальных труб теплосетей», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение, полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Анакина Дарья Анатольевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. – Материаловедение.

Официальный оппонент

Начальник научно-производственного комплекса № 11
Федерального государственного унитарного предприятия
«Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов
«Прометей» имени И.В. Горынина
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей»),
кандидат технических наук,
специальность 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)



Лишевич Игорь Валерьевич
« и » 09 2026 г.

191015, Россия, ул. Шпалерная, д. 49, г. Санкт-Петербург
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт
конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горынина
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
Тел.: +7-921-432-38-02. Почта: mail@crism.ru

Подпись Лишевича И.В. заверяю



Южанова И.С.
Начальник отдела
управление персоналом
Служба УР