

О Т З Ы В

официального оппонента, *доктора технических наук Бреки Александра Джалюльевича* на диссертацию *Азарова Владимира Александровича* на тему: «Разработка технологии повышения адгезионной прочности гладкостного хладостойкого фторопластового покрытия магистральных газопроводов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

1. Актуальность темы диссертации

Использование внутренних гладкостных покрытий магистральных газопроводов - признанный метод повышения эффективности и надёжности работы магистральных газопроводов, так как внутренние гладкостные покрытия уменьшают сопротивление движению газа и защищают от коррозии. В соответствии со стратегией научно-технологического развития Российской Федерации и энергетической политикой ПАО «Газпром» это направление становится особенно важным.

В настоящее время основным материалом для внутренних гладкостных покрытий служат эпоксидные смолы, однако при низких температурах они теряют эластичность и охрупчиваются, что ограничивает их применение в суровых климатических зонах Крайнего Севера и Арктики, где температуры могут достигать отметки -60°C . В районах, где добыча и транспортировка природного газа сталкивается с экстремальными холодами и увеличением доли «жирного» газа, существующие покрытия могут показывать низкую надёжность при сооружении и эксплуатации трубопроводов большого диаметра.

Для решения этих проблем перспективным является применение покрытия на основе фторполимеров, обладающего высокими физико-механическими свойствами при низких температурах, но требующего усовершенствованной технологии нанесения, включающей предварительную лазерную обработку стальной поверхности и создание промежуточного адгезионного слоя для повышения прочности его сцепления со стальной поверхностью.

2. Научная новизна диссертации

Диссертационная работа Азаров В.А. по структуре и содержанию соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. В диссертационной работе достигнута цель по разработке технологии подготовки поверхности стальных изделий для обеспечения высокой адгезионной прочности наносимого гладкостного покрытия на основе фторопластовых полимеров, позволяющего повысить надёжность транспортировки природного газа в условиях Крайнего Севера и Арктики.

ОТЗЫВ

Автором установлена зависимость шероховатости и морфологии обработанной поверхности от параметров лазерной обработки, таких как мощность лазерного излучения, скорость лазерного луча и линиятура (плотность заливки) при фиксированной частоте лазерного излучения $f=40$ кГц. Также были определены режимы предварительной лазерной обработки и состав «холодного» фосфатирования стальной поверхности, которые в сочетании обеспечивают наибольшую адгезионную прочность фторопластового покрытия. Кроме того, автором установлено, что фторопластовое покрытие, нанесённое на стальную поверхность, обработанную по разработанной технологии, обладает улучшенными физико-механическими свойствами по сравнению с традиционным гладкостным эпоксидным покрытием. Также подтверждена возможность использования фторопластовых покрытий в специфических условиях эксплуатации газопроводов в районах Крайнего Севера в качестве внутренних гладкостных покрытий магистральных газопроводов.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в результате диссертационного исследования, обеспечивается применением достаточного количества методов математического планирования эксперимента, использованием стандартных методик, проведением большого числа экспериментов на сертифицированном оборудовании, а также апробацией результатов на всероссийских и международных научно-практических конференциях, публикациями в рецензируемых научных журналах.

4. Научные результаты, их ценность

По итогам выполнения диссертационной работы соискателем получены следующие результаты.

1) Проанализированы технические решения в области применения внутренних гладкостных покрытий газопроводов. Выявлена склонность эпоксидных покрытий к повреждениям при низких температурах. Выбран перспективный вариант покрытия на основе фторсодержащих полимеров и методы подготовки поверхности.

2) Установлена зависимость шероховатости и морфологии стальной поверхности от параметров лазерной обработки - мощности лазерного луча, его скорости и линиятуры. Выявлено, что мощность лазерного луча и линиятура, а также совместное влияние скорости и линиятуры наиболее существенно влияют на величину получаемой шероховатости обработанной стальной поверхности.

3) Разработана технология предварительной обработки стальной поверхности, включающая лазерную обработку и «холодное» фосфатирование для формирования упорядоченного микрорельефа поверхности.

4) Определены режимы предварительной лазерной обработки и состав «холодного» фосфатирования (Мажеф (соль: марганец, железо, фосфор) (25 г/л), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35 г/л), NaF (7 г/л)) для обеспечения наибольшей адгезионной прочности наносимого фторопластового покрытия.

5) Рекомендовано использовать хладостойкие фторопластовые покрытия в качестве внутренних гладкостных покрытий для магистральных газопроводов, сооружаемых и эксплуатируемых в районах Крайнего Севера и Арктики, на основе оценки их физико-механических и защитных свойств.

6) Установлено, что фторопластовые и эпоксидные покрытия имеют схожую гидравлическую эффективность. Показано, что применение внутренних гладкостных покрытий может позволить снизить потери давления по длине магистрального газопровода примерно до 1,5 раз, что особенно важно при транспортировке «жирного» природного газа, в том числе этансодержащего.

Результаты диссертации в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 3 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Основные положения и выводы по работе прошли апробацию на 7 научно-практических мероприятиях, в том числе на 4 международных.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Установлено, что при постоянной частоте лазерной обработки на величину шероховатости и морфологию стальной поверхности в наибольшей степени влияют мощность излучения, линиятура (плотность заливки), а также совместное действие скорости перемещения луча и линиятуры. На основании этого разработана технология предварительной подготовки стальной поверхности перед нанесением полимерного покрытия, включающая лазерную обработку по установленным режимам и «холодное» фосфатирование составом Мажеф (соль: марганец, железо, фосфор) (25 г/л), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (35 г/л), NaF (7 г/л), что в среднем повышает адгезионную прочность фторопластового покрытия на 80% по сравнению с абразивной обработкой. По результатам комплексной оценки физико-механических и защитных свойств рекомендовано применять фторопластовое покрытие как внутреннее гладкостное для магистральных газопроводов, сооружаемых и эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера и Арктики. Практическая значимость подтверждена внедрением рекомендаций на предприятии ООО «НПП ВОЛО», которое оформлено актом от 08.09.2025, а также патентом № RU 2828891 С1 от 21.10.2024 на способ подготовки поверхности углеродистых и низколегированных сталей к нанесению полимерных покрытий.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Представленные в диссертации Азарова В.А. выводы и результаты рекомендуются к производственному использованию при предварительной подготовке стальных поверхностей к нанесению фторопластовых лакокрасочных покрытий с целью повышения их адгезии. Кроме этого, результаты представляют интерес для предприятий по производству трубной продукции, где освоено нанесение гладкостных покрытий на внутреннюю поверхность стальных магистральных газопроводов большого диаметра.

7. Замечания и вопросы по работе

1) В диссертационном исследовании не проводилось исследование абразивной стойкости покрытия. Может ли произойти разрушение покрытия внутри трубопровода в результате абразивного износа при наличии в потоке газа абразивных частиц?

2) В диссертации не приведена сравнительная оценка производительности предварительной лазерной обработки и традиционной пескоструйной обработки стальной поверхности.

3) Целесообразным было бы провести длительные термоциклические испытания покрытия с дальнейшей оценкой его адгезии, поскольку в течение года температура в районах Крайнего Севера может меняться в широком диапазоне.

4) В каких случаях, связанных с сооружением и эксплуатацией магистральных газопроводов, наиболее рационально использовать гладкостное фторопластовое покрытие взамен традиционно применяющегося эпоксидного гладкостного покрытия?

5) На рисунке 2.10 подпись обозначений осей графиков выполнена на английском языке. Для русскоязычных диссертаций рекомендуется выполнять подпись обозначений на русском языке.

6) По тексту диссертации и автореферата встречаются опечатки.

Указанные замечания не снижают важности основных научных выводов и практических результатов работы, носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Разработка технологии повышения адгезионной прочности гладкостного хладостойкого фторопластового покрытия магистральных газопроводов», 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», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Азаров Владимир Александрович -

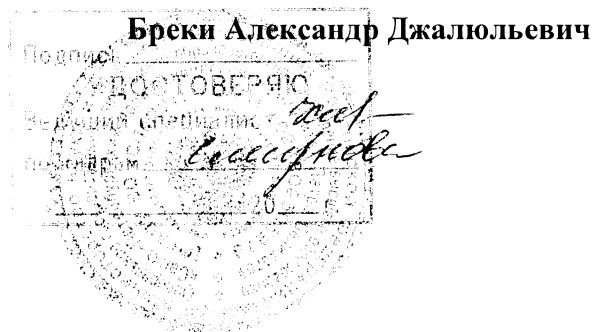
заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент

Профессор международного научно-образовательного центра «BaltTribo-Polytechnic» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», доктор технических наук


18.11.25

Подпись Бреки А.Д. заверяю
М.П.



Сведения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Почтовый адрес: 194064, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, дом 29

Официальный сайт в сети Интернет: <https://www.spbstu.ru/>

эл. почта: breki_ad@spbstu.ru; телефон: +7 (812) 552-64-29