

УТВЕРЖДАЮ

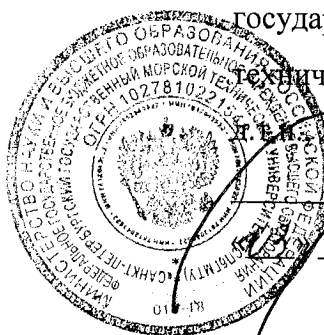
Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Санкт-Петербургский
государственный морской

технический университет»,

Д.И. Кузнецов

Кузнецов Д.И.

2026 г.



О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Драновой Алины Юрьевны на тему: «Формирование комплексных оксидных образований на металлических поверхностях при прямой лазерной маркировке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль науки – технические).

1. Актуальность темы диссертации

Одним из перспективных направлений повышения эффективности и надежности работы машиностроительных предприятий является применение систем сквозной цифровой идентификации продукции, которые обеспечивают прослеживаемость на всех стадиях жизненного цикла и защиту от подделок. В настоящее время активно применяется прямая лазерная маркировка с традиционными видами двумерных матричных кодов (DataMatrix и QR-коды), которые обеспечивают информационную емкость от 500 до 1000 символов. Однако для маркировки продукции в некоторых областях промышленности требуется запись с использованием кодов большого объема информации, что возможно только при использовании нанобар-кодов (НБК) с ультраплотной записью информации до 5000 символов. Попытки нанесения плотных и ультраплотных кодов на металлические поверхности вызывали проблемы из-за малоконтрастного изображения кода либо из-за пережигания поверхности лазером. Для решения этих проблем необходимы новые

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-558 от 14.04.26
АУ УС

подходы, среди которых перспективны технологии формирования черных оксидных пленок, обеспечивающих высокую контрастность без разрушения поверхностного слоя. Однако при этом следует отметить недостаточную изученность механизмов формирования на разных металлах и сплавах.

Целью работы Драновой А.Ю. является разработка технологии лазерной маркировки, включающей управление параметрами лазерной обработки для формирования оксидных плёночных комплексов, что позволяет обеспечить нанесение контрастного изображения необходимое для надежного машинного считывания плотных и ультраплотных кодов. Переход к ресурсосберегающим технологиям является актуальным в соответствии со стратегией научно-технического развития РФ и политикой импортозамещения в области цифровых технологий.

2. Научная новизна диссертации

В результате решения поставленных в работе задач разработана новая технология обеспечения контрастности лазерной маркировки на основе управления параметрами оксидного слоя, позволяющая повысить надежность идентификации продукции. В диссертации Драновой А.Ю.:

2.1. Установлены 4 стадии формирования оксидных образований при лазерном воздействии на металлические поверхности: зона тонких однофазных оксидных плёнок при малом тепловом воздействии; зона утолщенных однофазных оксидных плёночных образований при умеренном тепловом воздействии; зона многофазных оксидно-металлических образований при нормальном тепловом воздействии; зона разъединенных пористых утолщенных оксиднометаллизированных комплексов при высоком тепловом воздействии.

2.2. Определены оптимальные режимы лазерной обработки, обеспечивающие формирование модифицированного поверхностного слоя толщиной от 30 до 76 мкм с наличием комплексных оксидов, что позволяет получать насыщенные черные цвета за счет полного поглощения светового потока.

2.3. В результате оценки геометрических характеристик модулей кодов показано преимущество разработанной технологии: установлено, что надежное считывание и декодирование плотных идентификационных кодов достигается при получении контрастного черного цвета и правильных геометрических параметров модулей кодов (допустимое отклонение контура не более 20%).

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

Достоверность результатов и обоснованность научных положений диссертации подтверждаются планированием эксперимента и статистической обработкой результатов, применением стандартизированных методик, обширными испытаниями на сертифицированном оборудовании (лазерная установка «МиниМаркер-2», металлографический микроскоп Phenom ProX, дифрактометр Rigaku Ultima IV), а также апробацией выводов на российских и международных конференциях и в рецензируемых научных журналах.

4. Научные результаты, их ценность

В диссертации установлено, что ключевым фактором, определяющим оптическую контрастность и надежность машинного считывания плотных и ультраплотных кодов, является целенаправленное формирование оксидного плёночного комплекса определенной толщины и многокомпонентной фазовой структуры. Научно доказано, что насыщенный черный цвет, обеспечивающий максимальное поглощение светового потока, формируется не за счет классической интерференции в тонкой однофазной пленке, а благодаря совместному влиянию специфических оксидных фаз и развитого микрорельефа.

Экспериментально обосновано, что только при сочетании данной структурно-фазовой организации поверхностного слоя и сохранения правильных геометрических параметров модулей кода (с допустимым отклонением контура не более 20%) достигается гарантированное декодирование плотных и ультраплотных кодов. Данная закономерность имеет высокую научную ценность, так как позволяет перейти от эмпирического подбора режимов лазерной маркировки к управлению свойствами поверхностного слоя для решения задач сквозной цифровой идентификации.

Основные положения работы прошли апробацию на 4 научно-практических мероприятиях, в том числе на 2 международных.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 печатных работах, в том числе в 2 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании и экспериментальном подтверждении технологии формирования оксидных плёночных комплексов при лазерной маркировке, обеспечивающей получение контрастных черных цветов за счет формирования оптимальных толщин и структуры оксидных образований на поверхности.

Комплексная оценка физико-механических и оптических защитных свойств подтвердила целесообразность применения разработанной технологии для нанесения плотных и ультраплотных кодов на металлические поверхности. Практическая значимость работы подтверждается актом о внедрении результатов на предприятии ООО «Лазерный центр» (от 13.05.2026) и свидетельством о государственной регистрации базы данных № 2026622478 от 29.05.2026.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты диссертации рекомендуются к применению на предприятиях, занимающихся нанесением идентификационных маркировок на металлические поверхности, в частности на предприятиях, где налажено производство продукции, требующей прослеживаемости на всех стадиях жизненного цикла.

Также рекомендуется использовать материалы диссертационного исследования в высших учебных заведениях и научно-исследовательских организациях, занимающихся проблемами обеспечения идентификации продукции и проблемами применения лазерных технологий для маркировки машиностроительной продукции.

7. Замечания и вопросы по работе

7.1. В разделе 2.1.7 диссертации в качестве оборудования для считывания кодов указан смартфон Samsung Galaxy S4 Zoom. Учитывая стремительное развитие оптических сенсоров, целесообразно было бы дополнить исследование данными о считываемости НБК с помощью современных промышленных 2D-сканеров, что повысило бы практическую ценность рекомендаций для реального производства.

7.2. В работе упоминается методика экспресс-оценки химической стойкости (п. 2.5), однако для полного обоснования долговечности маркировки в агрессивных средах (например, для морского или нефтегазового оборудования) представляется целесообразным привести более детальные результаты стандартизированных коррозионных испытаний.

7.3. Недостаточно полно раскрыто влияние исходной шероховатости (Ra) и макроскопической плоскостности поверхности реальной детали на однородность формируемого оксидного слоя и геометрию модулей плотных и ультраплотных кодов. Учитывая, что в производственных условиях изделия часто имеют криволинейные поверхности или следы предшествующей механической обработки, было бы целесообразно сформулировать рекомендации по допустимым отклонениям плоскостности и шероховатости исходной заготовки для гарантированного считывания кода.

7.4. В иллюстративном материале диссертации имеются отдельные оформительские недочеты: не на всех графиках присутствуют подписи осей координат с указанием единиц измерения, а на части микрофотографий отсутствуют масштабные линейки. Наличие масштаба критически важно для визуальной оценки геометрических параметров модулей кода и толщины формируемого оксидного слоя.

7.5. Не в полной мере рассмотрен вопрос экономической эффективности предлагаемой технологии лазерного формирования оксидных пленок по сравнению с традиционными методами нанесения контрастных покрытий (например, химическим травлением) с учетом стоимости оборудования и эксплуатационных затрат.

7.6. В тексте диссертации наблюдается некоторая терминологическая неоднородность: для обозначения формируемого поверхностного слоя используются взаимозаменяемые понятия «оксидная плёнка», «оксидный слой», «плёночный комплекс» и «модифицированный слой». Учитывая, что автором выделены четыре принципиально различных стадии эволюции поверхности (от тонкой однофазной плёнки до пористого оксидно-металлического комплекса), целесообразно унифицировать терминологию или четко разграничить область применения каждого термина в зависимости от толщины и структурно-фазового состояния образования.

Отмеченные вопросы и замечания имеют частный характер, не снижают научной значимости и положительно оценивают диссертационную работу.

8. Заключение по диссертации

Диссертация «Формирование комплексных оксидных образований на металлических поверхностях при прямой лазерной маркировке», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль наук – технические), 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 императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Дранова Алина Юрьевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение (отрасль наук – технические).

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Драновой Алины Юрьевны обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры «Материаловедение и технологии материалов» с привлечением специалистов кафедры «Цифровые лазерные технологии» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», протокол № 1 от 03.09.2026 года.

Председатель заседания

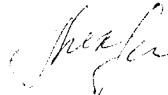
Заведующий кафедрой «Материаловедение и технологии материалов»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»
д.т.н., доцент



Жеребцов С.В.

Секретарь заседания

Доцент кафедры «Материаловедение и технологии материалов»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»



Грекова Т.С.

Сведения о ведущей организации:

190005, г. Санкт-Петербург, Ленинский пр., д. 101

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

E-mail: kmv@smtu.ru Телефон: +7 (812) 757-09-44