

О Т З Ы В

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора Атрошенко Светланы Алексеевны 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.

1. Актуальность темы диссертации

Прямая лазерная маркировка, то есть нанесение кодов непосредственно на металлическую поверхность изделий, необходима для идентификации продукции, защиты от подделок и регистрации технологической информации. Нанесение плотных кодов на металлические поверхности, их считывание и идентификация вызывают проблемы из-за малоконтрастного изображения кода, по этой причине формирование при лазерной маркировке контрастных чёрных цветов наряду с белым фоном подложки является важной задачей. Тема диссертации, посвященная всестороннему исследованию особенностей прямой лазерной маркировки с использованием разных видов кодов, а также формированию оксидных образований на металлической поверхности четырех разных групп наиболее широко применяемых в промышленности сплавов: коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т, титана - ВТ1, латуни – Л63 и алюминиевого сплава - АМг, является, безусловно, актуальной.

2. Научная новизна диссертации

Установлены 4 стадии формирования оксидных образований при лазерном воздействии на металлические поверхности изделий в процессе маркировки при разной степени теплового воздействия.

Варьирование параметров лазерной установки (мощность, скорость, длительность импульса) приводит к изменению толщины оксидных образований, а это, в свою очередь, вызывает изменение степени поглощения светового потока и соответственно к переходу цвета при лазерной маркировке от серого к чёрному

Научная новизна диссертации подтверждается также полученным свидетельством о государственной регистрации базы данных.

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

Достоверность и объективность полученных в работе результатов обеспечиваются использованием статистического метода математического планирования эксперимента, применением стандартных методов с достаточным объёмом экспериментальных исследований на сертифицированном и поверенном оборудовании, а также апробацией результатов на всероссийских и международных научно-практических конференциях и публикациями в рецензируемых научных журналах.

4. Научные результаты, их ценность

ОТЗЫВ

ВХ. № 9 - 426 ОТЧ. 09.16
Л У У С

По итогам выполнения диссертационной работы соискателем получены следующие основные результаты.

1. Автором установлено отсутствие исследований, посвящённых формированию чёрных оксидных плёнок с высокой контрастностью для машинного считывания, также мало изучены закономерности их получения на разных металлах и сплавах

2. Диссертантом показано возрастание доли оксидных модифицированных пленочных образований при переходе от «мягких» режимов к более «жёстким», при этом усиливается дефектность, появляется развитый микрорельеф, что приводит к увеличению поглощения и рассеяния света и переходу поверхности к тёмным цветовым состояниям.

3. Аспирантом обнаружено возрастание толщины оксидного плёночного комплекса от малых значений, соответствующих тонкой плёнке, до десятков микрометров для режимов, обеспечивающих устойчивую чёрную маркировку с ростом теплового вклада лазерного излучения. Варьирование параметров лазерной обработки приводит к изменению структуры поверхностного слоя от тонкого плёночного комплекса до пористой плёнки с нарушением структуры. Наибольшую способность к максимальному поглощению светового потока и, следовательно оптическому отклику в виде черного контрастного цвета обеспечивают толстый модифицированный слой и переходная зона к нему.

4. Соискателем доказано достижение устойчивого чёрного контраста на поверхностях стали и сплавов на основе титана, алюминия и меди при формировании в поверхностной зоне плёночного комплекса с разной толщиной, структурой и фазовым составом, что подтверждено рентгенодифракционным анализом образцов, обработанных в режимах чёрной маркировки.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 4 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 (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Основные положения и выводы по работе прошли апробацию на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 3 международных.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Сформулированы теоретические положения, позволяющие получить контрастный чёрный цвет при прямой лазерной маркировке на металлических поверхностях за счёт формирования оптимальных толщин и структуры оксидных образований на поверхности, обеспечивающих максимальное поглощение падающего светового потока. Установлена зависимость между параметрами лазера и процессом формирования контрастного чёрного цвета, позволяющая определять оптимальные режимы маркировки разных металлов и сплавов с использованием плотных и ультраплотных кодов.

Предложены технологические режимы оптимальной маркировки металлических изделий с использованием плотных и ультраплотных кодов,

обеспечивающие размещение большого объёма информации и надёжное считывание. Материалы диссертации приняты к внедрению в ООО «Лазерный центр» (акт от 13.05.2026, утверждён Генеральным директором Горным С.Г.) в виде рекомендаций по выбору режимов параметров лазерного воздействия при нанесении контрастной маркировки для плотных и ультраплотных кодов. Зарегистрирована база данных «База данных параметров лазерной маркировки конструкционных цветных металлов на основе двумерной матрицы», что подтверждается свидетельством о государственной регистрации базы данных №2026622478 Российской Федерации от 29.05.2026.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Полученные в диссертации результаты обладают практической значимостью и могут быть применены для прямой лазерной маркировки изделий современного машиностроительного производства и для идентификации продукции, обеспечения ее прослеживаемости на всех стадиях жизненного цикла, защиты от подделок и регистрации технологической информации, кроме того, полученные результаты могут использоваться для маркировки продукции с использованием кодов с более плотной записью информации, в том числе и нанобар-кодов с ультраплотной записью информации до 5000 символов.

7. Замечания и вопросы по работе

По работе имеются некоторые вопросы:

1) На стр.19 написано: «согласно ГОСТ Р 59736-2021, лазерная маркировка представляет собой нанесение идентификационных изображений на поверхность изделия с использованием лазерного излучения... [24]», а ссылка дается на стандарт на стали. Аналогично на стр.20, где описываются основы лазерного взаимодействия с материалом, ссылки [25] и [64] относятся к измерению величины зерна и коррозии металлов соответственно.

2) На стр.41 автор отмечает: «Сверхбыстрое охлаждение зоны воздействия (скорости до 10^5 – 10^6 К/с) способствует «замораживанию» высокотемпературных метастабильных фаз...» - до какой скорости считается сверхбыстрое охлаждение?

3) В работе используется очень полезный для экспериментальных исследований статистический метод планирования эксперимента, который служит достижению точности измерений при минимальном количестве опытов и при сохранении достоверности результатов, но, к сожалению, отсутствует таблица 2.11 с матрицей плана, на которую есть ссылка на стр.63, на той же странице есть ссылка на формулу 1.4.6, которая также отсутствует. На следующей стр.64 дается ссылка на таблицу 2.12 с уровнями и интервалами варьирования, которая также отсутствует.

4) На стр. 76 автор пишет: «Микрофотографии поперечных шлифов получали на оптическом микроскопе Phenom ProX при увеличении $\times 570$ », но это электронный сканирующий микроскоп.

Указанные замечания не снижают важности основных результатов работы, носят уточняющий характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Драновой Алины Юрьевны.

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. 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 – Дранова Алина Юрьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент

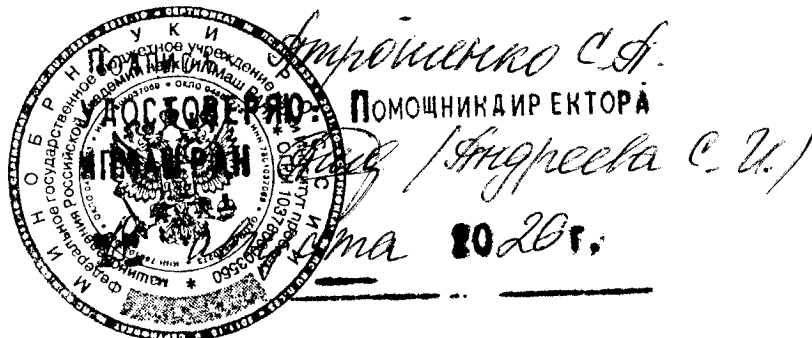
Ведущий научный сотрудник лаборатории физики разрушения
института проблем машиноведения Российской Академии наук –
федерального государственного бюджетного учреждения науки
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в Санкт-
Петербурге
доктор физико-математических наук, профессор

**Атрошенко Светлана
Алексеевна**

18.08.2026
(дата)

Ат
(подпись)

(ФИО полностью)



Сведения об официальном оппоненте:

Институт проблем машиноведения Российской Академии наук — федеральное государственное бюджетное учреждение науки Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в Санкт-Петербурге

Почтовый адрес: 199178, г. Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д.61

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

эл. почта: ipmash@ipme.ru ; телефон: +7 (812) 321-47-78