

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Бобковой Татьяны Игоревны на диссертацию Драновой Алины Юрьевны на тему: «Формирование комплексных оксидных образований на металлических поверхностях при лазерной маркировке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

1. Актуальность темы диссертации

В современном машиностроении, приборостроении и смежных отраслях маркировка изделий представляет собой обязательный этап технологического цикла, обеспечивающий идентификацию деталей, их прослеживаемость, контроль качества и защиту от подделок. Для решения задач нанесения идентификационной информации на поверхности деталей в машиностроении всё шире используется лазерная маркировка, которая должна соответствовать жестким требованиям к долговечности. Лазерная маркировка представляет собой метод, при котором носителем информации выступает сам материал, а высокая точность нанесения обеспечивает высокое разрешение изображения. Формирование цветных изображений при лазерной маркировке металлических материалов в большинстве случаев связано с образованием на их поверхности тонких оксидных плёнок, обладающих определённой толщиной и оптическими свойствами.

Актуальность и своевременность диссертационной работы «Формирование комплексных оксидных образований на металлических поверхностях при лазерной маркировке» не вызывают сомнений, так как полученные диссертантом результаты расширяют границы научного знания в части понимания закономерности формирования чёрных оксидных плёнок на разных материалах (коррозионностойкие стали, титан, латунные и алюминиевые сплавы), а сама работа вносит существенный теоретический вклад в развитие машиностроительной отрасли, так как предлагает критерии выбора режимов, обеспечивающих одновременно контрастную маркировку, геометрическую точность элементов кода и надёжное считывание информации.

ОТЗЫВ

2. Научная новизна диссертации

Стоит отметить значительную ценность научных результатов в части установления стадийности формирования оксидных образований при лазерном воздействии на металлические поверхности изделий в процессе маркировки: тонких однофазных оксидных плёнок при малом тепловом воздействии, утолщённых однофазных оксидных плёночных образований при умеренном тепловом воздействии, многофазных оксидно-металлических образований при нормальном тепловом воздействии и разъединённых пористых утолщённых оксиднометаллизированных комплексов при высоком тепловом воздействии.

Наиболее значимым научным результатом по мнению официального оппонента является установление закономерности изменения толщины оксидных образований при варьировании параметров лазерной установки (мощность, скорость, длительность импульса), что приводит к разной степени поглощения светового потока и соответственно к переходу цвета при лазерной маркировке от серого к чёрному.

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

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена комплексным применением поверенного аналитического оборудования, проведением измерений и испытаний по стандартизованным методикам, воспроизводимостью экспериментальных результатов и их соответствием современным знаниям в области материаловедения и физической химии. Работа написана ясным, профессиональным языком, с понятным обоснованием сделанных автором выводов и оставляет положительное впечатление при прочтении.

4. Научные результаты, их ценность

В рамках диссертационного исследования решена актуальная научно-техническая задача и получены значимые результаты:

1. Установлено, что при переходе от «мягких» режимов к более «жёстким» возрастает доля оксидных модифицированных плёночных образований, усиливается дефектность, появляется развитый микрорельеф, что приводит к

увеличению поглощения и рассеяния света и переходу поверхности к тёмным цветовым состояниям.

2. Установлено, что с ростом теплового вклада лазерного излучения толщина модифицированного слоя возрастает от малых значений, соответствующих тонкой плёнке, до десятков микрон для режимов, обеспечивающих устойчивую чёрную маркировку.

3. Установлено, что при варьировании параметров лазерной обработки структура поверхностного слоя последовательно проходит четыре характерных состояния: тонкий плёночный комплекс, утолщённый плёночный комплекс, толстый модифицированный слой и пористая плёнка с нарушением структуры, причем наибольшей способностью к максимальному поглощению светового потока обладают толстый модифицированный слой и переходная зона.

4. Подтвержден многокомпонентный фазовый состав плёночного комплекса образцов, обработанных в режимах чёрной маркировки.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 4 научно-практических мероприятиях, опубликованы в 4 печатных работах, в том числе 2 в изданиях, входящих в перечень ВАК, 2 в изданиях, включенных в MCIJ Scopus; получено 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Результаты диссертационного исследования безусловно имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Сформулированы теоретические положения, определяющие возможность получения контрастного чёрного цвета 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 объема информации и надёжное считывание.

Высокая практическая значимость результатов подтверждена получением свидетельства о государственной регистрации базы данных № №2026622478 Российской Федерации от 29.05.2026 «База данных параметров лазерной маркировки конструкционных цветных металлов на основе двумерной матрицы», а также актом о внедрении результатов в производственную деятельность ООО «Лазерный Центр» при нанесении контрастной маркировки для плотных и ультраплотных кодов рекомендаций по выбору режимов параметров лазерного воздействия.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Представленные в диссертации Драповой Л.Ю. выводы и результаты рекомендуются к производственному использованию при прямой лазерной маркировке изделий современного машиностроения для создания многоуровневых кодирующих систем и обеспечения высокой плотности записи, увеличенной информационной ёмкости, повышенной устойчивости к подделке и возможности прямого нанесения кода на изделия без промежуточных носителей.

С содержанием диссертации целесообразно ознакомить материаловедов и технологов отраслевых предприятий горнодобывающего, металлообрабатывающего, аэрокосмического и атомного секторов промышленности.

7. Замечания и вопросы по работе

1) Подписуочная надпись рисунка 2.7 указано «Спектр образца марки Амг [составлено автором]», однако, сам рисунок представляет собою как указано в тексте «Спектр образца, полученный методом РФС» без дополнительной обработки и изменения обозначения шкал. Требуется пояснение по содержанию сведений рисунка в части того, как он был получен? Как результат измерения на оборудовании или сопоставления сведений, находящихся в открытом доступе? Тоже по рисункам 2.8, 2.9, 2.10, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12.

2) Шкалы на рисунках 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 имеют англоязычные обозначения.

3) На рисунках 3.3, 3.5 отсутствуют масштабные линейки, в результате чего визуально затруднительно оценить геометрические характеристики оксидного слоя (толщину). В главе 2 отсутствуют таблицы 2.9-2.11 и отсылки по тексту на таблицы 2.9 и 2.10.

4) По тексту диссертации имеется некоторое количество опечаток. Пример: стр. 82 заготовок таблицы 3.3, стр. 41 «скорости до 10^5 – 10 К/с».

5) На стр. 41 указано «Сверхбыстрое охлаждение зоны воздействия (скорости до 10^5 – 10 К/с) способствует «замораживанию»...», в указанных условиях обрабатываемый материал переходит в аморфное состояние, которое идентифицируется по результатам рентгенофазового анализа. В ходе диссертационного исследования обнаруживались характерные признаки такого перехода и как это по мнению автора должно было повлиять на формирование контраста черного изображения?

6) На стр. 82 в Таблице 3.2 приведены результаты «Средняя толщина плёночного комплекса по 10 точкам, мкм» с округлением до десятых долей микрометра. Для целей настоящей диссертационной работы целесообразнее предоставление результата в виде доверительного интервала или разброса значений.

Указанные замечания, являясь предметом научной дискуссии, 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 Драновой Алины Юрьевны «Формирование комплексных оксидных образований на металлических поверхностях при 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 – Драпова Алина Юрьевна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Официальный оппонент:

Ученый секретарь,

ИИЦ «Курчатовский институт» -

ИЦНИИ КМ «Прометей»

кандидат технических наук

Бобкова Татьяна Игоревна



11.09.2026 г.

Внесения об официальном оппоненте:

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» имени И.В. Горышина Национального исследовательского центра Курчатовский институт»

Почтовый адрес: 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Пиллерная, дом 49

Официальный сайт в сети Интернет: <https://crism-prometey.ru/>

эл. почта: Bobkova_TI@crism.ru; телефон: +7 (812) 274 12 06