

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.9
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 02.07.2024 № 6

О присуждении Ждановой Елене Юрьевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка высокотемпературостойких композитных пленочных материалов для лазерной маркировки металлопродукции с использованием двухмерных штрих-кодов» по специальности 2.6.17. Материаловедение принята к защите 02.05.2024, протокол заседания № 4, диссертационным советом ГУ.9 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 10.03.2023 № 312 адм, с изменениями от 13.07.2023 № 1090 адм, от 05.09.2023 № 1227 адм.

Соискатель, Жданова Елена Юрьевна, 27 февраля 1997 года рождения, в 2020 году с отличием окончила федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов.

С 2020 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры материаловедения и технологии художественных изделий федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения и технологии художественных изделий федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Пряхин Евгений Иванович**, федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра материаловедения и технологии художественных изделий, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Жукова Любовь Тимофеевна – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», кафедра технологии художественной обработки материалов и ювелирных изделий, заведующий кафедрой;

Бобкова Татьяна Игоревна – кандидат технических наук, федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей» им. И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», ученый секретарь; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»**, г. Великий Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Филипповым Дмитрием Александровичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой промышленных технологий, Удальцовой Еленой Владимировной, ведущим инженером кафедры промышленных технологий, секретарем заседания, и утвержденном Ефременковым Андреем Борисовичем, проректором по научной работе, указала, что в диссертации, написанной на актуальную тему, были сформулированы основные научные положения, позволившие создать новые температуростойкие композитные пленочные материалы для лазерной маркировки на основе кремнийсодержащих составов, разработана методика создания пленочного композита для возможности выполнения лазерной маркировки деталей, эксплуатируемых до 1100 °С. Созданы новые пленочные материалы трех марок, обеспечивающих сохранность и стойкость нанесенной лазерной маркировки на деталях, эксплуатируемых в интервале температур от комнатной до 300 °С, до 600 °С и до 1100 °С. Новые научные решения, представленные в диссертации, имеют существенное значение для развития различных отраслей промышленности страны.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, 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 международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 5,4 печатных листов, в том числе 2,8 печатных листов – соискателя.

Публикации 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:

1. Пряхин, Е. И. Сравнительный анализ качества маркировки полимерной и кремнийорганической пленки при обработке волоконным наносекундным лазером / Е. И. Пряхин, Е. Ю. Трошина // Научные

технологии в машиностроении. – 2023. – № 7(145). – С. 39-48. (ВАК №1738 ред. 27.16.2023)

Соискателем определена методика и проведен сравнительный анализ маркировки полимерных зарубежных пленок и разработанной кремнийорганической пленки в соответствии с международными стандартами технологий автоматической идентификации и сбора данных, обоснован подбор технологических параметров лазерного нанесения штрих-кода для обеспечения качественной маркировки.

2. Shakhnazarov, K. Yu. Rationale for signs of transformation in iron near 200 °C / K. Yu. Shakhnazarov, E. I. Pryakhin, **E. Yu. Troshina** // Letters on Materials. – 2022. – Vol. 12, No. 4(48). – P. 298-302. (ВАК №1859 ред. 28.11.2022)

Шахназаров, К. Ю. Обоснование признаков превращения в железе при температуре около 200° С / К. Ю. Шахназаров, Е. И. Пряхин, Е. Ю. Трошина // Письма о материалах. – 2022. – Том 12, № 4(48). – С. 298-302. (ВАК №1859 ред. 28.11.2022)

Соискателем приведены литературные данные о свойствах черных металлов с повышенной температурой, проведен патентный поиск и структурированы данные по результатам экспериментов.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

3. Пряхин, Е. И. Изучение технологических и эксплуатационных особенностей высокотемпературостойких композитных пленок для лазерной маркировки деталей из черных сплавов / Е. И. Пряхин, **Е. Ю. Трошина** // Черные металлы. – 2023. – № 4. – С. 74-80.

Соискателем проведено сравнение лазерочувствительности немецкой акриловой пленки и разработанной кремнийорганической пленки, определены технологические режимы маркировки, проведены исследования температуростойкости разработанной пленки.

4. Пряхин, Е. И. Деградация после термического и химического воздействия матричных кодов, сформированных с помощью лазеров на изделиях из латуни и алюминиевого сплава / Е. И. Пряхин, **Е. Ю. Трошина** // Цветные металлы. – 2022. – № 7. – С. 87-91.

Соискателем приведены литературные данные о свойствах цветных металлов, структурированы и проанализированы результаты исследований прямой лазерной маркировки штрих-кодов при термическом и химическом воздействии.

Публикации в прочих изданиях:

5. **Трошина, Е. Ю.** Лазерное нанесение двумерных штрих-кодов с ячеистой структурой менее 100 мкм на полимерные пленки / Е. Ю. Трошина, Е. И. Пряхин // Нанозифика и Наноматериалы: Сборник научных трудов Международного семинара, Санкт-Петербург, 25–26 ноября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. – С. 383-388.

Соискателем приведены исследования по лазерной маркировке двумерных штрих-кодов на полимерных пленках с достижением минимальной ячеистой структуры, применяется и описывается точечный метод, сравниваются испытываемые пленки.

6. Трошина, Е. Ю. Применение лазерных пленок для маркировки машиностроительных деталей / Е. Ю. Трошина, Е. И. Пряхин // Нанопластика и Наноматериалы: Сборник научных трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2021 года. – Санкт-Петербургский горный университет: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 295-300.

Соискателем описаны и проанализированы современные проблемы маркировки с использованием пленочных этикеток, обоснована актуальность разработки пленок для маркировки машиностроительных деталей с эксплуатационной температуростойкостью от 300 °С.

7. Трошина, Е. Ю. Создание инновационной системы надежной лазерной маркировки насосно-компрессорных труб для нефте- и газодобывающей отрасли / Е. Ю. Трошина, Д. М. Шарапова // Нанопластика и Наноматериалы: Сборник научных трудов Международного симпозиума, Санкт-Петербург, 24–25 ноября 2021 года. – Санкт-Петербургский горный университет: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 301-305.

Соискателем описана технология лазерной маркировки с использованием самоклеящихся полимерных пленок и доказаны ее преимущества, проверены в различных агрессивных средах сохранность и считываемость штрих-кодов, нанесенных лазером на полимерные самоклеящиеся пленки.

8. Трошина, Е. Ю. Температуростойкость лазерных пленок в машиностроительной маркировке / Е. Ю. Трошина, В. А. Алхимова // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021: VIII Международная научно-практическая конференция. Сборник тезисов. Секция «Круглый стол молодых ученых», Санкт-Петербург, 22–23 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 128-131.

Соискателем описаны и проанализированы современные проблемы маркировки с использованием пленочных этикеток, рассмотрены меры, направленные на маркировку производственных изделий с целью их контроля и защиты, обоснована актуальность разработки пленок для маркировки с высокой температуростойкостью.

Патенты:

9. Патент № 2808809 С1 Российская Федерация, МПК В32В 17/02, В42D 25/435. Композитный пленочный материал: № 2023116696: заявл. 26.06.2023: опубл. 05.12.2023 / Е. И. Пряхин, **Е. Ю. Трошина**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет".

Соискателем проведен патентный поиск, выявлены недостатки аналогов, выполнено описание изготовления и состава композитного

пленочного материала, подготовлены графические материалы.

Апробация работы проведена на всероссийских и международных научно-практических мероприятиях:

1. Международный семинар «Нанозифика и наноматериалы 2020» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.);
2. VIII Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME-2021» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.);
3. Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.);
4. Международный симпозиум «Нанозифика и наноматериалы 2021» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.);
5. Международный симпозиум «Fundamentals of Laser Micro- and Nanotechnologies 2022» FLAMN-22 (г. Санкт-Петербург, 2022 г.);
6. Международный симпозиум «Нанозифика и наноматериалы 2022» (г. Санкт-Петербург, 2022 г.);
7. Научно-практическая конференция XII Конгресса ТП «Фотоника» (г. Москва, 2024 г.).

В диссертации **Ждановой Елены Юрьевны** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: начальника металлографической лаборатории ЦЗЛ АО «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз-Антей» - Обуховский завод» к.т.н. **С.А. Пескишева**; инженера-исследователя - Лаборатория ресурса материалов ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» к.т.н. **О.В. Швецова**; доцента кафедры материаловедения и технологии материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет», к.т.н. **С.А. Филиппова**; главного специалиста отдела подземной разработки месторождений ООО «Институт Гипроникель», к.т.н. **А.А. Черкашина**; директора Института лазерных технологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», к.т.н. **Г.В. Романовой**; профессора кафедры «Технология промышленной и художественной обработки материалов» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», д.т.н., профессора **М.М. Черных**; заместителя директора департамента оперативного управления и мониторинга производства по газовому направлению ООО «Иркутская нефтяная компания», к.т.н. **Д.А. Ожерельева**.

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, логическое построение работы с использованием актуальной научной информации, однако отмечены ряд замечаний:

1. В исследовании не приведены результаты оценки качества и контрастности маркировки после нагрева. Не проведено испытание на повторное термическое воздействие **(к.т.н. С.А. Пескишев);**

2. В тексте упоминается, что исследование лазерного маркирования производится только на одной установке – волоконной наносекундной лазерной системе с длиной волны 1 мкм. Стоит пояснить, почему выбран именно такой тип лазера. Использовались ли другие типы лазерных систем? Применялись ли для лазерной обработки нового материала какие-либо источники излучения, отличные от длины волны 1 мкм? **(к.т.н. О.В. Швецов, д.т.н. М.М. Черных);**

3. Из разработанного композитного материала должны изготавливаться этикетки. Какова технология вырезания этикетки, и какие дополнительные инструменты должны быть использованы? **(к.т.н. О.В. Швецов);**

4. В тексте диссертации упоминается следующее: «Слой белой эмали несущего слоя пленок ЛП1, ЛП2 и ЛП3 проходила при комнатной температуре в течение 24 часов. После нанесения на несущий слой лицевого слоя из черной эмали сушка также проходила при комнатной температуре в течение 24 часов». В реалиях производства сушка такой продукции в течение суток является нетехнологичной и значительно затратной по времени. В исследовании упоминается об изготовлении опытных образцов разработанного композитного пленочного материала. Возможна ли организация производственного процесса по изготовлению нового материала для перехода к серийному выпуску? Каковы ключевые параметры контроля качества композитных пленок в процессе производства, и какие методы контроля используются? **(к.т.н. С.А. Филиппов, д.т.н. М.М. Черных);**

5. В диссертации в качестве одного из компонентов композитного материала предлагается конкретная марка эмали. Напрашиваются пояснения, используется ли предлагаемая эмаль в чистом виде? И как сохранить воспроизведение разработанного композитного материала в первоначальном составе, если эмаль используемой марки сойдет с рынка? **(к.т.н. С.А. Филиппов);**

6. В автореферате разработанный пленочный материал представлен в виде схемы, но ни в тексте, ни в схеме, не указаны толщины слоев композитного материала. Не указаны процентные соотношения компонентов в разработанном материале. **(к.т.н. А.А. Черкашин, к.т.н. Д.А. Ожерельев);**

7. Не приведены данные о влиянии сжатия и расширения металлопродукции вследствие изменения температуры на разработанный материал. **(к.т.н. А.А. Черкашин);**

8. Нет данных о защите от механических повреждений (к примеру, удара). В дальнейшем, в зависимости от применения разработанных материалов, рекомендуется провести также испытания на механическую устойчивость разработанных покрытий в зависимости от условий их эксплуатации. **(к.т.н. А.А. Черкашин, к.т.н. Г.В. Романова);**

9. Не описано наличие или отсутствия устойчивости к агрессивным внешним средам. В работе не представлены графические материалы по химической устойчивости разработанных пленок, что затрудняет анализ полученных результатов. (к.т.н. А.А. Черкашин, к.т.н. Г.В. Романова);

10. Рекомендуются указывать среднюю мощность лазерного излучения в Вт, при чем по результатам измерения, а не в % от максимально возможного значения для заданной установки. (к.т.н. Г.В. Романова);

11. Отсутствует обоснование выбора рабочих режимов лазерного воздействия для маркировки на разработанных материалах, а также оценка их производительности и сравнение с другими альтернативными методами маркировки. (к.т.н. Г.В. Романова);

12. Отсутствуют некоторые важные параметры используемой оптической системы. (к.т.н. Г.В. Романова);

13. Из текста работы не ясно, по какому критерию производилась оценка качества / сохранности маркировки при различных испытаниях (контрастность, считываемость или др.). (к.т.н. Г.В. Романова);

14. Есть ли принципиальная разница в технологии маркировки пленок марок ЛП1, ЛП2 и ЛП3? (д.т.н. М.М. Черных);

15. В исследовании упоминаются испытания на адгезионную прочность. Влияет ли сформированная на пленке лазерная маркировка на поверхностные и внутренние адгезионные свойства? (д.т.н. М.М. Черных);

16. В диссертации в разделе методологии стоило бы подробнее описать принципы формирования лазерочувствительного слоя в композитных пленках, и как они влияют на стабильность и долговечность эксплуатации материала. (д.т.н. М.М. Черных);

17. Выбор размеров штрих-кодов на исследуемых образцах остаётся неясным, например, на рис. 5 используется штрих-код с размером 1×1 см, а на рис. 6 – штрих-код с размером 5×5 см. (к.т.н. Д.А. Ожерельев);

18. В формулировке цели работы обнаружены опечатки. В тексте диссертации и автореферата диссертации встречаются ошибки правописания. Данное замечание не уменьшает научную значимость диссертационного исследования. (к.т.н. Д.А. Ожерельев, д.т.н. М.М. Черных).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея, обеспечивающая создание группы высокотемпературных лазерочувствительных композитных пленочных материалов, позволяющих применять лазерную маркировку с использованием этикеток для машиностроительных деталей и горячих металлургических полуфабрикатов, работающих при температурах до 1100 °С;

предложены оригинальные суждения и научная гипотеза по заявленной тематике, заключающиеся в разработке нового термостойкого композитного материала для лазерной маркировки, включающего кремнийсодержащий несущий слой и контрастные белый и черный слои кремнийорганического эмалевого покрытия;

доказана перспективность использования кремнийорганических материалов для создания нового композитного пленочного материала, обеспечивающего возможность применения лазерной маркировки с использованием штрих-кодов металлопродукции с рабочей температурой до 1100 °С;

введены новые понятия в области формирования матрицы режимов при лазерной обработке.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения, определяющие основные принципы формирования нового термостойкого композитного материала для лазерной маркировки, включающего кремнийсодержащий несущий слой и контрастные белый и черный слои кремнийорганического эмалевого покрытия, обеспечивающие лазерочувствительность в условиях применения лазерного импульсного воздействия с энергией 1 мДж и длительностью 100 нс, регулируемой средней мощностью 15 % от 30 Вт и частотой 60 кГц, с последующим формированием штрих-кода с высоким разрешением; позволяющие разработать композит, состоящий из кремнийсодержащей неорганической матрицы, представляющей собой несущий слой, сверху которого нанесены два слоя кремнийорганического эмалевого покрытия – контрастный белый и лицевой черный слой, обеспечивает возможность применения лазерной маркировки металлопродукции с использованием штрих-кодов с рабочей температурой до 1100 °С, обеспечивая машиносчитываемость маркировки после нагрева;

использованы существующие общепризнанные теории, методы и подходы к исследованиям, математическому моделированию и проведению экспериментальных исследований;

изложены идеи и доказательства по формированию пленочных материалов, обеспечивающих сохранность и стойкость нанесенной лазерной маркировки на машиностроительных деталях, эксплуатируемых в интервале температур от комнатной до 600 °С и на горячем металлургическом полуфабрикате с температурой до 1100 °С;

раскрыты противоречия, доказывающие невозможность применения существующих пленочных материалов и клеев для эксплуатации маркировки в условиях высоких температур;

изучены причинно-следственные связи взаимодействия компонентного состава на функциональные свойства разработанного композитного пленочного материала на кремнийорганической основе;

проведена модернизация существующей математической модели зависимости температурной стойкости композитного пленочного материала от толщины кремнийорганических составляющих слоев.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены композитные пленочные материалы для лазерной маркировки на предприятиях ООО НПЦ «Лазеры и аппаратура» и АО «НЦВ Миль и Камов»;

определены перспективы развития использования температуростойких композитных пленочных материалов для лазерной маркировки изделий и полуфабрикатов в отраслях металлургии, машино- и авиастроения;

создана система практических рекомендаций по технологии применения разработанного материала, а именно обеспечению надежного соединения разработанных материалов с поверхностью машиностроительных деталей вплоть до температуры 600 °С и с поверхностью горячих металлургических полуфабрикатов с температурой до 1100 °С;

представлены рекомендации к применению композитных пленочных материалов на основе кремнийорганики и метода матрицы режимов лазерного формирования штрих-кодов при маркировке оборудования и изделий, способных эксплуатироваться в экстремальных условиях: повышенные температуры, агрессивные среды, в производственной деятельности промышленных предприятий;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании и программном обеспечении, показана воспроизводимость результатов исследования;

теория построена на известных, проверяемых данных, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на обобщении ранее полученных результатов сторонних исследователей и собственных наработок;

использованы опубликованные результаты передовых отечественных и зарубежных исследований в области разработки материалов на кремнийорганической основе, формирования пленочных покрытий и лазерного воздействия на материалы;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, представительные выборочные совокупности с обоснованием подбора объектов (единиц) наблюдения и измерения.

Личный вклад соискателя состоит в участии на всех этапах подготовки диссертационной работы, а именно: анализ отечественных и зарубежных литературных источников, патентный поиск по теме исследования; изготовление и исследование опытных образцов; определение технологии изготовления композитного пленочного материала и его лазерного маркирования; анализ результатов изучения опытных образцов и определение оптимального компонентного состава композитного материала;

непосредственное участие соискателя в получении исходных данных, научных экспериментах, исследовании свойств полученного материала; участие в апробации результатов исследования, подготовка основных публикаций и патента по выполненной работе; формулирование цели, задачи, идеи, защищаемых положений и вывода по работе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Жданова Елена Юрьевна согласилась с замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 2 июля 2024 года диссертационный совет принял решение присудить **Ждановой Елене Юрьевне** ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи в области процессов создания композитных пленочных материалов для лазерного маркирования изделий, эксплуатирующихся в высокотемпературной и агрессивной среде, что имеет существенное значение для промышленного развития страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 8 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

02.07.2024 г.



Максаров
Вячеслав Викторович

Ефимов
Александр Евгеньевич