

оцифровки и анализа изображений, а также получать достоверные статистические данные.

Литература

1. Толстопятов, Е. М. Лазерная абляция полимеров (обзор) / Толстопятов Е. М. – Полимерные материалы и технологии, №1. 2016 – С. 6-20.
2. Ковалёва, Я. А. Изучение скорости полета частиц при лазерной абляции ПТФЭ / Я. А. Ковалёва – материалы конференции «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования», 2020 – С. 100 - 102.
3. Жуков, С. В. Современные методы сегментации растровых изображений [Текст] / С. В. Жуков. – Известия ВолгГТУ. – 2013. – №5. – С. 115–118.
4. Стержантов, М. В. Методики выделения связных компонент в штриховых бинарных изображениях / М. В. Стержантов; БГУИР. – Минск, 2014.

В. Э. Анискевич, И. Ю. Славинский
(Институт физики НАН Беларуси, Минск)
Науч. рук.: **И. С. Никончук**, канд. физ.-мат. наук,
Е. С. Жарникова, канд. физ.-мат. наук

ПОЛУЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ОКИСЛЕНИЯ

Возможности лазерного окисления поверхности металлов и сплавов широко используются в различных сферах (медицина, промышленность, ювелирное производство и др.). В последние годы ведется поиск оптимальных методов лазерно-индуцированного получения цветных изображений на поверхности металлов и сплавов, а также алгоритмов управления процессом формирования поверхностных структур с требуемыми цветовыми характеристиками, поскольку контролируемое создание цветных оксидных пленок на металлической поверхности может иметь не только декоративную функцию, но и использоваться для создания уникальных защитных кодов [1-3].

В представленной работе исследование влияния режимов лазерного воздействия на изменение цвета поверхности проводилось на образцах нержавеющей стали, прошедших стандартную процедуру подготовки (полирование лицевой стороны и сушку). Обработка осуществлялась в среде атмосферного воздуха с использованием иттербиевого волоконного лазера мощностью 20 Вт («ИРЭ-Полюс», РФ), генерирующего импульсы с длиной волны 1,06 мкм, длительностью 100 нс, частотой следования до 100 кГц. Сфокусированный в пятно диаметром 25 мкм лазерный луч перемещался по поверхности образца со скоростью 100 мм/с при помощи сканаторной головки LScanH-1064-10 («Атеко-ТМ», РФ).

Изменением частоты следования лазерных импульсов, скорости сканирования, а также количества проходов лазерного луча по поверхности образцов получено несколько вариантов цветных изображений (рисунок 1). Для исследования элементного состава цветных оксидных пленок был выбран образец (рисунок 1б), на поверхности которого варьированием количества проходов лазерного луча (2, 3 и 8) были получены участки золотистого, синего и фиолетового цветов.



а) примеры цветных изображений

б) исследуемый образец

Рисунок 1 – Цветные изображения на поверхности нержавеющей стали, полученные путем лазерного окисления

Для определения элементного состава цветных оксидных пленок на поверхности исследуемого образца использовался метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС). Исследование осуществлялось с использованием сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 (TESCAN, Чехия) с приставкой для энергодисперсионного микроанализа AZtec One X-act (Oxford Instruments NanoAnalysis Ltd, Великобритания).

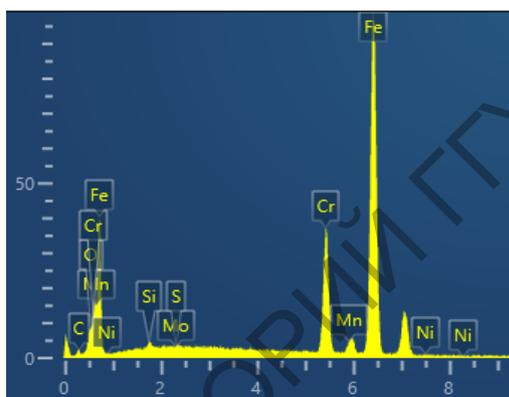
В таблице 1 приведены количественные данные о элементном составе исходной и обработанной поверхности.

Таблица 1 – Массовые доли основных элементов исходной поверхности и цветных областей (участки 1-3) на поверхности нержавеющей стали после лазерного окисления в различных режимах

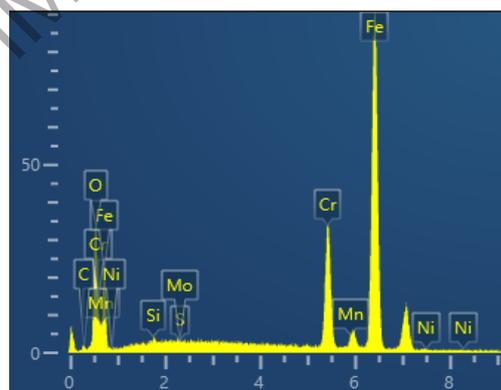
Элемент	Исходная поверхность	участок № 1	участок № 2	участок № 3
Fe (Вес %)	78,68	69,15	67,68	73,90
Cr (Вес %)	16,48	15,26	13,40	15,86
O (Вес %)	0,45	11,86	15,65	6,98

На рисунке 2 приведены ЭДС спектры исходной и окисленных областей на поверхности нержавеющей стали.

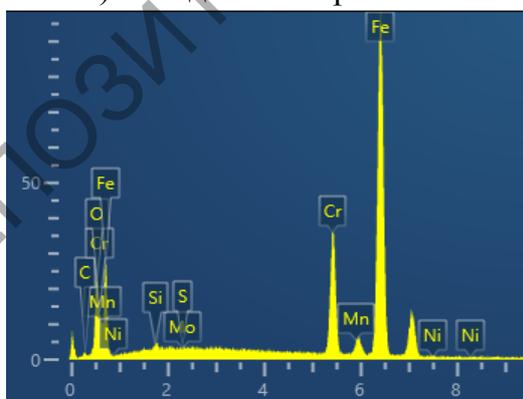
Анализ количественных данных и спектров ЭДС показал, что с увеличением числа проходов лазерного луча по поверхности материала происходит многократное увеличение массовой доли кислорода в облученных образцах, что свидетельствует об утолщении оксидного слоя.



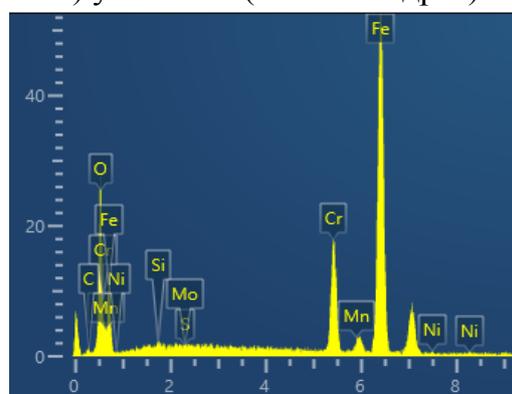
а) исходная поверхность



б) участок 1 (синий квадрат)



в) участок 3 (золотистый квадрат)



г) участок 2 (фиолетовый квадрат)

Рисунок 2 – ЭДС спектры исходной и окисленных областей на поверхности нержавеющей стали

Изменения цветовых характеристик поверхности можно добиться при одних и тех же режимах лазерного облучения, варьируя число проходов, что может быть использовано при создании алгоритмов управления процессом цветной маркировки.

Литература

1. Формирование многоцветного изображения при лазерном окислении металлов / Вейко В. П., Горный С. Г., Одинцова Г. В. и др. // Известия вузов. Приборостроение – 2011. – т.54 – № 2 – С.47–53.

2. Цветная лазерная маркировка поверхности металлов / С. Горный, В. Вейко, Г. Одинцова, Е. Горбунова, А. Логинов, Ю. Карлагина, А. Скуратова, Э. Агеев // Фотоника. – 2013. – № 6/42/. – С.34–44.

3. H. Roozbahani et al.: Color Laser Marking: Repeatability, Stability and Resistance Against Mechanical, Chemical and Environmental Effects / IEEE Access – 2020. – Vol. 8. – P. 214196-214208, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3040744.

В. В. Беглик, П. Д. Кривошеев, И. П. Охрименко
(БГУ, Минск)

Науч. рук.: **Н. Н. Кольчевский**, канд. физ.-мат. наук, доцент,
П. В. Петров, инженер-электроник

ДЕТЕКТОР ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ СПУТНИКОВ S-LIGOxR-Gy

Впервые, о том, что гравитационное взаимодействие носит волновую природу, было предсказано О. Хэвисайдом в 1865 г. [1]. Гравитационно-волновым детектором считается любая система, регистрирующая малые относительные смещения масс или силы, которые их вызвали. Реализация гравитационных детекторов, действительно способных зарегистрировать гравитационные волны, стала возможной лишь в XX веке [2, 3]. В настоящее время, ведутся разработки наземных детекторов третьего поколения. Einstein Telescope (ET) и Cosmic Explorer (CE) – это проекты наземных детекторов гравитационных волн третьего поколения. Длины плеч ET составят 10 км (3 плеча), а CE - 40 км (2 плеча). Конфигурация ET отличается от LIGO-подобной конфигурации CE тем, что образует равносторонний треугольник под