

Исследование процесса лазерной маркировки и его оптимизация

Рассказчиков Н.Г., Полякова А.А.

Владимирский государственный университет, ВлГУ

г.Владимир, Российская Федерация

Rasskazchikov_ng@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема изучения влияния параметров лазерной обработки поверхности металла на формирование цветовой гаммы в зоне воздействия лазерного луча. Перспективы применения лазерной маркировки и гравировки поверхности металлических изделий могут быть существенно расширены за счет возможности управления цветом наносимого изображения. Целью работы является определение параметров лазерной обработки металлической поверхности для создания управляемого формирования цветных изображений. Эксперименты проводились на установке на базе волоконного импульсного итербиевого лазера. В ходе эксперимента было выявлено при каких параметрах достигается тот или иной цвет. Основным недостатком, ограничивающим более широкое применение метода лазерной цветной маркировки, является недостаточная предсказуемость получаемого в результате обработки цвета, что предполагает необходимым проведение дальнейших исследований и экспериментов. Очевидно, что с целью изучения образования цвета должны быть выбраны основные характеристики лазера. Для оптимизации режимов маркировки могут быть использованы методы планирования эксперимента. Сложность заключается в том, что для каждой марки стали необходимо подбирать свои наиболее оптимальные режимы маркировки.

Ключевые слова: лазер, лазерная маркировка, цветное изображение, лазерная маркирующая установка, нержавеющая сталь, оптимизация, методы планирования эксперимента.

ВВЕДЕНИЕ

Нанесение маркировки на материалы и готовые изделия является во многих случаях обязательной операцией для учета, контроля и идентификации продукции и его производителя. Лазерная технология маркировки позволяет быстро создавать долговечные и качественные изображения. Благодаря низкой себестоимости лазерная маркировка может успешно конкурировать с другими известными методами борьбы с контрафактной продукцией. Для создания изображения на материалах и изделиях используются различные типы лазеров: CO₂-лазеры с длиной волны 10,6 мкм (для неметаллических материалов), твердотельные и оптоволоконные с длиной волны 1,06 мкм (для металлов, тугоплавких сплавов и сталей, высокотвердой керамики) [1, 2].

Информационные, декоративные и художественные возможности лазерной маркировки поверхности металлических изделий расширяются за счет уникальных возможностей лазерного излучения управлять цветом изображения.

Внедрение технологий цветной маркировки за счет создания микро- или наноструктур при воздействии фемто-

или пикосекундных лазеров в промышленное производство сдерживается их высокой стоимостью и сложностью их обслуживания. При использовании волоконных и твердотельных лазеров цвет поверхности определяется окислением (толщиной и химическим составом образованной оксидной пленки) [3]. Учитывая меньшую стоимость волоконных и твердотельных лазеров, их применение является предпочтительным.

АКТУАЛЬНОСТЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

Появление цвета и его изменение обусловлены интерференцией света, возникающей в результате сложения волн, отражающихся от поверхностного слоя оксидной пленки и поверхности самого металла [4, с. 40] (рис. 1).

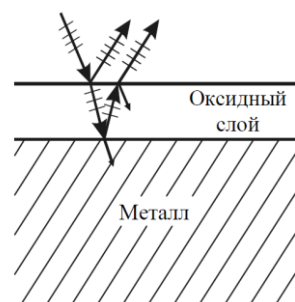


Рис. 1. Возникновение эффекта цветности оксидной пленки в результате интерференции света

Несмотря на значительное количество работ по данной тематике [4-10] остаются следующие существенные проблемы [7]:

- 1) нет однозначного ответа на вопрос о механизме возникновения цвета (интерференционные эффекты или собственный цвет окисла);
- 2) имеются существенные расхождения у различных авторов при определении состава образующихся пленок на одном и том же металле, соответствующих одному и тому же цвету, вызванные, в основном, сложностью интерпретации результатов, полученных различными экспериментальными методами;
- 3) по существу, отсутствует технология цветной лазерной маркировки для промышленного применения в ее современном понимании, т.е. нет алгоритмов и компьютерных программ для автоматизации процесса цветной лазерной маркировки.

Таким образом, исследование физико-химических процессов, происходящих при получении цветного изображения на поверхности металлов при лазерном воздействии, а также создание автоматизированной технологии

цветной лазерной маркировки для ее внедрения в промышленность является актуальной научной и практической задачей.

СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

Мобильный лазерный маркер LDesigner Fm (рис. 2) был разработан компанией “Атеко” (г. Москва) [11]. Комплекс построен на базе волоконного импульсного иттербиевого лазера и предназначен для лазерной маркировки изделий из металлов, металлов с покрытиями, твердых сплавов, пластика и некоторых других материалов.

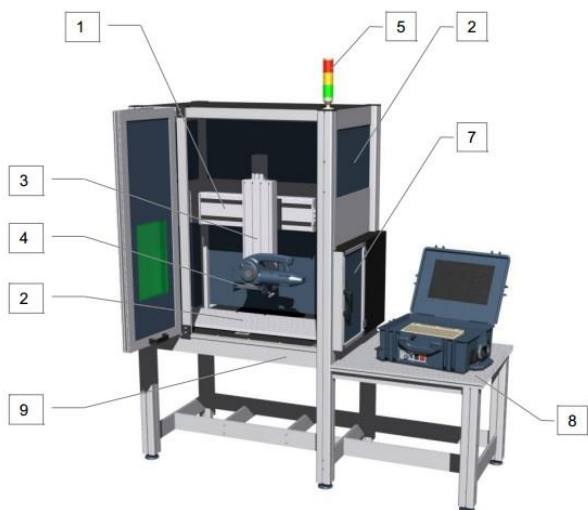


Рис. 2. Общий вид комплекса

1 – модуль перемещения по оси X; 2 – рабочий стол с механизмом перемещения по оси Y; 3 – модуль перемещения по оси Z; 4 – кронштейн установки мобильной головки; 5 – индикатор состояния маркирующего комплекса (“светофор”); 6 – защитная кабина; 7 – дверца установки мобильной головки; 8 – полка блока управления и питания; 9 – отсек блока управления стационарного поста

Технические характеристики:

1) Лазерный излучатель:

- тип – импульсный иттербиевый волоконный лазер;
- длина волны основного излучения – 1,06...1,07 мкм;
- длина волны излучения лазерного визуализатора зоны маркировки (пилота) – 0,660 мкм (красная видимая область спектра) – 0,635...0,680 мкм;
- средняя мощность излучения – 10 Вт / 20 Вт / 50 Вт;
- частота импульсов – от 20 до 100 кГц;

2) Скорости маркировки:

- сталь – 50...400 мм/с;
- пластик – 300...1000 мм/с;
- анодированный алюминий – 200...800 мм/с;
- латунь - 50...300 мм/с;

3) Дополнительные опции для LDesigner FM: установка комплектуется 3-х координатным столом с шаговым двигателем. Эта опция расширяет маркировочный диапазон лазера, который составляет 100 мм × 100 мм, посредством дополнительных механических осей. Это дает возможность реализовывать более крупную маркировку или загружать в машину большее количество штабелированных деталей, которые могут обрабатываться одна за другой. Вместо перемещения деталей столом с поперечным перемещением, также возможно перемещение лазера при по-

мощи дополнительных механических осей. Также возможно применение вращающейся платформы, позволяющей обрабатывать детали цилиндрической формы.

4) Сканаторная головка с объективом (рис. 3-4):

- поле обработки – 100 × 100 мм;
- диаметр пятна в плоскости фокусировки – 35 мкм;
- максимальная скорость перемещения луча – 4 м/с;
- программное разрешение – около 2 мкм;

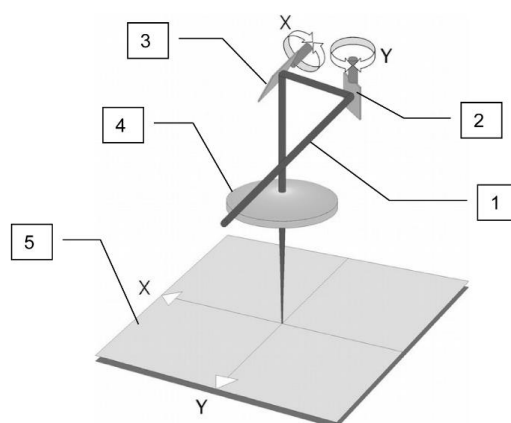
5) Программный комплекс “LDesigner” 4.0 позволяет создавать как собственные изображения, так и работать с распространенными форматами программ AutoCAD, CorelDRAW и др. Программа снабжена богатым набором функций. Возможно нанесение штрих-кода, логотипа предприятия, серийных номеров, текущей даты, времени и другой информации. Программная коррекция геометрии рабочего поля позволяет наносить изображения с прецизионной точностью:

- тип наносимой информации – тексты, векторная и растровая графика, штрих-коды, 2D-коды;
- шрифты – TrueType, векторные;
- программная коррекция геометрии рабочего поля и изображений.



Рис. 3. Мобильная головка

1 – блок сканаторов; 2 – рукоятка; 3 – корпус выходного оптического модуля лазера; 4 – кнопка “Пуск”; 5 – защитный кожух; 6 – диодный индикатор



1 – луч лазера; 2 – зеркало сканатора Y; 3 – зеркало сканатора X; 4 – фокусирующая оптика (объектив); 5 – плоскость фокусировки.

Рис. 4. Блок сканаторов

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ЦВЕТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКЕ

Эксперимент по получению цветных пленок на поверхности нержавеющей стали проводился в лаборатории “Владимирского инжинирингового центра использования лазерных технологий в машиностроении” при ВлГУ [12] с помощью мобильного лазерного маркера LDesigner Fm с импульсным волоконным иттербиевым лазером со следующими характеристиками: длина волны 1,06 мкм, максимальная средняя мощность излучения 20 Вт, длительность импульса около 100 нс. Обработка происходила в кислородной среде (на воздухе) при комнатной температуре.

В ходе эксперимента было выявлено при каких параметрах достигается тот или иной цвет. Варьируемыми величинами являлись частота импульсов f , мощность излучения P и скорость маркировки V .

На рис. 5 показаны некоторые результаты обработки поверхности нержавеющей стали при изменении указанных параметров, представленные в виде тестового образца, а в таблице параметры процесса, соответствующие образованию определенного цвета [5, с. 84].



Рис. 5. Пример результатов проведения эксперимента обработки образца из нержавеющей стали

Таблица

Параметры процесса, соответствующие образованию определенного цвета для образца из нержавеющей стали

Цвет (длина волны, нм)	Параметры излучения		
	P , Вт	f , кГц	V , мм/с
Красный (620-740)	3,3	95-100	18
Оранжевый (590-620)	3,2	65-95	15
Желтый (565-590)	6,0	65-75	15
Зеленый (500-565)	4,0	70-85	15
Синий (440-500)	4,15	60-80	25
Фиолетовый (380-440)	4,0	65-75	20

На рис. 6 приведено изображение, полученное в результате лазерной цветной маркировки.



Рис. 6. Пример полученного изображения

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ

Основным недостатком, ограничивающим более широкое применение метода лазерной цветной маркировки, является недостаточная предсказуемость получаемого в результате обработки цвета, что предполагает необходимым проведение дальнейших исследований и экспериментов.

Перечислим основные параметры излучения лазера, которые определяют качество цветного изображения:

- длина волны излучения;
- распределение интенсивности лазерного излучения в сечении пучка;
- мощность лазера;
- длительность импульса;
- частота повторения импульсов;
- коэффициент перекрытия (наложение импульсов);
- скорость сканирования;
- диаметр сфокусированного луча;
- расфокусировка.

В процессе исследований необходимо оценить и скоррелировать влияние этих параметров, а также учесть скорость маркировки, влажность и температуру окружающей среды, целесообразность подготовки поверхности и применения покрытий, использования многопроходной обработки.

Очевидно, что с целью изучения образования цвета должны быть выбраны основные характеристики лазера. Для оптимизации режимов маркировки могут быть использованы методы планирования эксперимента [13].

Сложность заключается в том, что для каждой марки стали необходимо подбирать свои наиболее оптимальные режимы маркировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффект цветной лазерной маркировки и возможность его использования требуют дальнейших исследований и изучения процесса, однако уже можно твердо говорить о нем, как о новой технологии. Суть цветной маркировки заключается в образовании оксидных пленок соответствующего состава на поверхности материала. Этот процесс представляет собой химическую реакцию, где повышение температуры поверхности образца, вызываемое воздействием лазерного луча выступает в роли катализатора процесса. Структура образующихся на поверхности металла или сплава оксидных пленок определяется термодинамическими и кинетическими процессами, в том числе температурой и продолжительностью нагрева. Параметром, характеризующим образование оксидной пленки той или иной структуры и цвета, должна может стать некая интегральная характеристика, учитывающая температуру поверхности образца, создаваемую воздействием серии импульсов с определенными параметрами, и общее время нагрева. Для получения устойчивых цветных изображений необходимо обеспечить с высокой точностью стабилизацию параметров лазерного излучения и технологических режимов процесса в целом, что предъявляет дополнительные требования к системе управления.

Было рассмотрено влияние параметров лазерного излучения на формирование цветного изображения на по-

верхности пластины из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Получены конкретные параметры лазерного излучения для формирования нескольких контрастных групп цветового изображения.

Настоящая работа является лишь начальным этапом в направлении изучения влияния параметров лазерного излучения на формирование контрастных групп цветового изображения и создании производственных технологий цветной лазерной маркировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонькин М.Г. Анализ технологических возможностей лазерно-гравировальных комплексов / М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова // Фотоника. – 2010. – № 5. – С. 4-11.
2. Валиулин А. Лазерная маркировка материалов / А. Валиулин, С. Горный // Фотоника. – 2007. – № 3. – С. 16-22.
3. Горный С. Цветная лазерная маркировка поверхности металлов / С. Горный, В. Вейко // Фотоника. – 2013. – № 6. – С. 34-44.
4. Парфенов В.А. Лазерная микрообработка материалов: учеб. пособие / В.А. Парфенов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2011. – 59 с.
5. Антонов Д.Н. Окрашивание поверхности металлов под действием импульсного лазерного излучения / Д.Н. Антонов, А.А. Бурцев // Журнал технической физики. – 2014. – Т. 84, № 10. – С. 83-86.
6. Пряхин Е.И. Физико-химические аспекты формирования цветовых оттенков под воздействием лазерного излучения при декорировании металлических изделий / Е.И. Пряхин, О.Ю. Ганзуленко // Дизайн. Материалы. Технология. – 2010. – Т. 2, № 13. – С.52-56.

7. Одинцова Г. В. Исследование и разработка технологии цветной лазерной маркировки металлов методом локального окисления: автореф. дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2014. – 20 с.

8. Аракелян С.М. Моделирование величин коэффициентов отражения и пропускания для многослойных покрытий / С.М. Аракелян, О.Я. Бутковский // Computational Nanotechnology. – 2017, № 4. – С. 14-20.

9. Притоцкий Е.М. Экспериментальные исследования по формированию цветности на поверхности металлов лазерным излучением / Е.М. Притоцкий, А.П. Притоцкая // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 581-587

10. Вейко В.П. Формирование многоцветного изображения на поверхности металлов при ее лазерном окислении / В.П. Вейко, С.Г. Горный // Известия вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54, № 2. – С.47-52.

11. <http://www.ateko-tm.ru/solutions/l designer-fm-mobilnyj.html> (дата обращения 23.02.2019).

12. Полякова А.А. Оборудование, исследование и примеры применения лазерной маркировки и гравировки // Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых: сб. материалов науч.-практ. конф. (Владимир, 12 марта–6 апр.2018г.). – Владимир, 2018. – С. 988-992 – URL: http://www.sci.vlsu.ru/news/sob/days_of_science_2018.pdf (дата обращения 23.02.2019).

13. Григорьев Ю.Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели: учебное пособие. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 319 с.

DOI: 10.24892/RIIE/20190102

Researching of Laser Marking Process and its Optimization

Rasskazchikov N.G., Polyakova A.A.

Vladimir State University
Vladimir, Russian Federation
Rasskazchikov_ng@mail.ru

Abstract. The paper deals with the problem of studying the influence of the parameters of laser processing of a metal surface on the formation of a color gamut in the zone of influence of a laser beam. Prospects for the use of laser marking and engraving the surface of metal products can be significantly expanded due to the possibility of controlling the color of the applied image. The aim of the work is to determine the parameters of laser treatment of a metal surface to create a controlled formation of color images. The experiments were performed on a setup based on a pulsed ytterbium fiber laser. During the experiment, it was revealed under what parameters a particular color is achieved. The main drawback that limits the wider use of the laser color marking method is the lack of predictability of the resulting color processing, which implies the need for further research and experiments. Obviously, in order to study the formation of color should be selected the main characteristics of the laser. Experiment planning methods can be used to optimize labeling

modes. The difficulty lies in the fact that for each steel grade, it is necessary to select its most optimal marking regimes.

Keywords: laser, laser marking, color image, laser marking installation, stainless steel, optimization, experiment planning methods.

REFERENCES

1. Afonkin M., Larionova E., Gorny S. Analysis of the Technological Capabilities of Laser Engraving Systems [Analiz tekhnologicheskikh vozmozhnostey lazerno-graviroval'nykh kompleksov], *Fotonika [Photonics]*, 2010, no.5, pp. 4-11.
2. Valiulin A., Gorny S., Grechko U. Laser Marking Materials [Lazernaya markirovka materialov], *Fotonika [Photonics]*, 2007, no.3, pp. 16-22.

3. Gorny S., Veiko V., Odintsova G. Color Laser Marking of Metal Surfaces [Tsvetnaya lazernaya markirovka poverkhnosti metallov], *Fotonika [Photonics]*, 2013, no.6, pp. 34-44.

4. Parfenov V.A. *Lazernaya mikroobrabotka materialov: uchebnoye posobiye* [Laser micro-processing of materials: study guide], St. Petersburg, St.Petersburg State Electrotechnical University "LETI", 2011, 59 p.

5. Antonov D.N., Burtsev A.A., Butkovsky O.Ya. Painting the Surface of Metals by Pulsed Laser Radiation [Okrashivaniye poverkhnosti metallov pod deystviyem impul'snogo lazernogo izlucheniya], *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki [Technical Physics Journal]*, 2014, no.10, pp. 83-86.

6. Pryakhin E.I., Ganzulenko O.Yu., Larionova E.V. Physico-chemical Aspects of the Formation of Color Shades Under the Influence of Laser Radiation when Decorating Metal Products [Fiziko-khimicheskiye aspekty formirovaniya tsvetovykh ottenkov pod vozdeystviyem lazernogo izlucheniya pri dekorirovani metallicheskih izdeliy], *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya. [Design. Materials. Technology.]*, 2013, no.13, pp. 52-56.

7. Odintsova G.V. *Issledovaniye i razrabotka tekhnologii tsvetnoy lazernoy markirovki metallov metodom lokal'nogo okisleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Research and Development of Technology of Color Laser Marking of Metals by the Method of Local Oxidation: Author. Dis. Cand. Tech. Sciences], St. Petersburg, 2014, 20 p.

8. Arakelyan S.M., Butkovsky O.Ya., Burtsev A.A. Modeling of Sizes of Coefficients of Reflection and Transmission for Multilayered Coatings [Modelirovaniye velichin koeffitsiyentov otrazheniya i propuskaniya dlya mnogosloynnykh pokrytiy], *[Computational Nanotechnology]*, 2017, no.4, pp. 20.

9. Pritotsky E.M., Pritotskaya A.P., Burtsev A.A. Experimental Research on Chromaticity Formation on Metals Surface by Laser Radiation [Eksperimental'nyye issledovaniya po formirovaniyu tsvetnosti na poverkhnosti metallov lazernym izlucheniym], *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics]*, 2018, no.4, pp. 581-587. DOI: 10.17586/2226-1494-2018-18-4-581-587

10. Veiko V.P., Gorny S.G., Odintsova G.V. Formation on Metals Surface by Laser Radiatio Formation of a Multi-color Image on the Surface of Metals During its Laser Oxidation [Formirovaniye mnogotsvetnogo izobrazheniya na poverkhnosti metallov pri yeye lazernom okislenii], *Izvestiya vuzov. Priborostroyeniye. [News of Universities. Instrument Making.]*, 2011, no.2, pp. 47-52.

11. <http://www.ateko-tm.ru/solutions/ldesigner-fm-mobilnyj.html> (accessed 23 February 2019).

12. Polyakova A.A. Equipment, Research and Examples of Laser Marking and Engraving Applications [Oborudovaniye, issledovaniye i primery primeneniya lazernoy markirovki i gravirovki], *Dni nauki studentov Vladimirskego gosudarstvennogo universiteta imeni Aleksandra Grigor'yevicha i Nikolaya Grigor'yevicha Stoletovykh : sb. materialov nauch.-prakt. konf.*, Vladimir, 2018, pp. 988-992. URL:http://www.sci.vlsu.ru/news/sob/days_of_science_2018.pdf (accessed 23 February 2019).

13. Grigoriev Yu.D. *Metody optimal'nogo planirovaniya eksperimenta: lineynyye modeli : uchebnoye posobiye* [Methods of optimal experiment planning: linear models: study guide], St. Petersburg, Lan'., 2015, 319 p.

Библиографическое описание статьи

Рассказчиков Н.Г. Исследование процесса лазерной маркировки и его оптимизация / Н.Г. Рассказчиков, А.А. Полякова // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2019. – Т.7, №1. – С. 9-13. DOI: 10.24892/RIJE/20190102

Reference to article

Rasskazchikov N.G., Polyakova A.A. Researching of laser marking process and its optimization, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2019, vol.7, no.1, pp. 9-13. DOI: 10.24892/RIJE/20190102