

Окрашивание поверхности металлов под действием импульсного лазерного излучения

© Д.Н. Антонов,¹ А.А. Бурцев,^{1,2} О.Я. Бутковский^{1,2}

¹ Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, 600000 Владимир, Россия

² Финансовый университет при правительстве РФ (Владимирский филиал), Владимир, Россия
e-mail: dimas_post@inbox.ru

(Поступило в Редакцию 14 ноября 2013 г.)

Исследованы режимы воздействия лазерного излучения наносекундной длительности для получения цветных изображений на поверхности нержавеющей стали и титана при лазерной гравировке. Экспериментальным путем найдены параметры излучения, соответствующие спектру образуемых цветов на поверхности образца. Проведен спектральный анализ области воздействия и исследован рельеф методом зондирующей микроскопии. Обнаружен сложный рельеф поверхности после воздействия излучения, что говорит о присутствии нескольких оптических явлений, отвечающих за цвет поверхности в результате лазерной гравировки.

Введение

Из существующих на сегодняшний день способов нанесения изображения на поверхность материала лазерная маркировка является наиболее современным и технологичным методом, который позволяет наносить изображения на любые материалы с высокой точностью без механического воздействия [1]. С помощью лазерного луча по заданной в программе траектории наносится изображение на поверхность, путем лазерной модификации небольшого слоя материала. Этот процесс вызывает локальный разогрев, плавление и частичное испарение материала в области, ограниченной размерами пятна излучения. Также размеры пятна обуславливают высокую степень разрешения при лазерном воздействии на маркируемое изделие. Именно поэтому методы лазерной гравировки и маркировки нашли широкое применение в разных отраслях промышленности, начиная с пищевой и ювелирной и заканчивая авиастроительной и атомной [2].

Единственным недостатком, ограничивающим более широкое применение метода, является плохая предсказуемость получаемого в результате облучения цвета.

В работе сделана попытка экспериментально исследовать условия получения того или иного цвета на поверхности нержавеющей стали и титана.

Механизмы образования цвета при лазерном воздействии

Одним из механизмов образования цвета считается образование оксидных пленок металлов [2].

Формирование оксидных пленок на поверхности металлов обеспечивается за счет теплового воздействия лазерным излучением. Процесс роста тонких пленок зависит от многих параметров как параметров лазер-

ного излучения, так и свойств металла и обрабатываемой поверхности. При изменении параметров лазерного излучения можно контролировать процесс получения оксидных пленок различной толщины, что непосредственно определяет структуру и свойства этих пленок. При формировании оксидных пленок различной толщины на поверхности металлов можно наблюдать так называемые цвета побежалости. Образование цветов побежалости зависит от температуры нагрева поверхности и ее состояния при воздействии лазерного излучения. Разные металлы при одной и той же температуре воздействия могут образовывать на своей поверхности цвета различных оттенков, поскольку формирование оксидной пленки зависит от состава металла. Также важно учитывать и толщину металла, так как большую роль играет теплоотвод. Тонкие цветные пленки можно наблюдать только на некоторых металлах, как правило, нержавеющей стали, титане, цирконии [3].

Воздействие на поверхность многокомпонентных сплавов на основе железа лазерного излучения при облучении на воздухе приводит к перераспределению легирующих элементов по глубине, изменению состава поверхности и образованию в зоне лазерного воздействия оксидных пленок металлов [4], которые, как считается, определяют цвет обрабатываемой поверхности.

В работе исследования по лазерной маркировке на поверхности металлов проводились с использованием лазерного излучения наносекундной длительности.

В основу механизма получения цветов было положено появление цветов побежалости, которые определяются просвечивающими пленками окислов. Сам цвет на поверхности металла при лазерной маркировке образуется за счет явления интерференции в тонких пленках окислов. Следует отметить, что условия получения окисных пленок при лазерном воздействии отличаются тем, что нагрев происходит в очень малой области.

Эксперименты по исследованию условий получения того или иного цвета на поверхности нержавеющей стали и титана при лазерном воздействии

В работе эксперименты по лазерной маркировке проводились с помощью лазерной установки, построенной на базе волоконного импульсного иттербиевого лазера. Основные характеристики используемого лазера: длина волны излучения $1.06 \mu\text{m}$, средняя мощность излучения порядка 10 W , энергия в одном импульсе порядка 0.5 mJ , длительность импульса 80 ns , частота модуляции варьируется от 20 до 100 kHz . В качестве образца использовалась металлическая подложка из полированной нержавеющей стали AISI 304 толщиной порядка 1 mm и полированного титана BT-10 толщиной 0.5 mm .

На первом этапе экспериментов методом поиска были получены параметры мощности излучения (P, W), частоты следования импульсов (F, kHz) и скорости перемещения луча ($V, \text{mm/s}$) для оттенка зеленого цвета. В ходе экспериментального исследования были найдены значения параметров лазерного излучения для получения других цветов на поверхности нержавеющей стали (табл. 1) и титана (табл. 2).

Используя данные табл. 1, было получено цветное изображение на поверхности стали методом лазерной гравировки (рис. 1). В качестве образа для гравировки было использовано векторное изображение, состоящее из нескольких отдельных элементов (слоев). Это изображение загружалось в компьютер с помощью программного пакета LDesigner 4.0 и обрабатывалось в редакторе изображений. Затем каждому элементу образа были присвоены определенные параметры излучения, характеризующие цвет гравировки. Далее с помощью

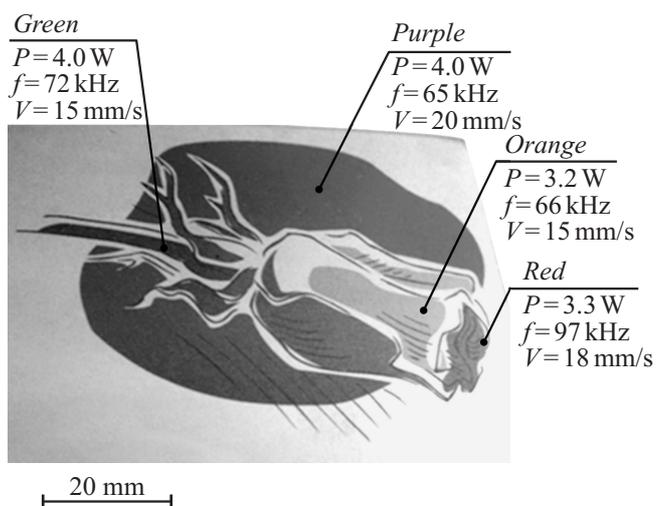


Рис. 1. Цветное изображение на поверхности нержавеющей стали, полученное методом лазерной гравировки, где P — мощность излучения, f — частота следования импульсов, V — скорость перемещения луча.

Таблица 1. Параметры излучения, соответствующие образованию определенного цвета для образца из нержавеющей стали

Цвет (длина волны, nm)	Параметры излучения		
	P, W	F, kHz	$V, \text{mm/s}$
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

Таблица 2. Параметры излучения, соответствующие образованию определенного цвета для образца из титана

Цвет (длина волны, nm)	Параметры излучения		
	P, W	F, kHz	$V, \text{mm/s}$
Красный (620–760)	4.7	95–100	33
Оранжевый (590–620)	4.5	80–85	26
Желтый (565–590)	4.15	95–100	30
Зеленый (500–565)	7.5	70–80	40
Голубой (430–470)	6.0	45–60	70
Синий (470–500)	6.0	66–85	75
Фиолетовый (380–430)	4.5	95–100	24

лазерного излучения это изображение переносилось на металл.

Аналогичные результаты были получены для образца из титана, т.е. составлена табл. 2, в которой цвет сопоставлен параметрам излучения, и получено изображение (рис. 2), построенное по параметрам излучения в соответствии с данными табл. 2.

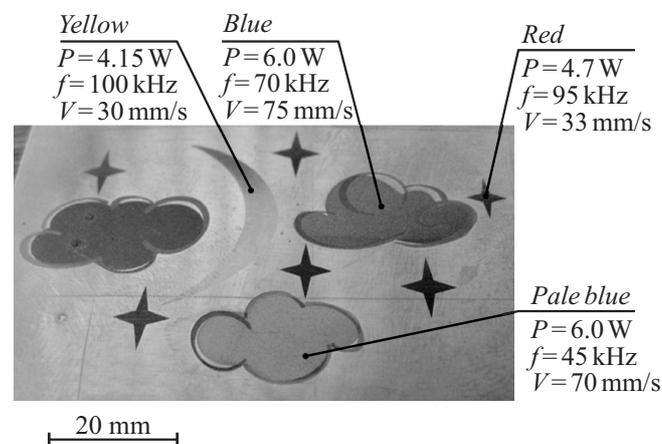


Рис. 2. Картинка на поверхности титана, полученная методом лазерной гравировки.

Микроскопические исследования поверхности образцов

Для выявления механизма возникновения того или иного цвета в первую очередь был исследован фазовый состав поверхности образцов. Для изучения физико-химического состава поверхности образца в результате воздействия лазерного излучения был проведен спектральный анализ на атомно-силовом микроскопе (АСМ). В результате анализа на поверхности стали по спектру комбинационного рассеяния был выявлен оксид железа $FeO \cdot Fe_2O_3$, что доказывает присутствие оксидной пленки (рис. 3).

Затем были получены оксидные пленки различных толщин и визуально отличающиеся друг от друга цветом. Морфологию пленок исследовали методом АСМ с использованием сканирующего зондового микроскопа Ntegra Spectra NT-MDT. Исследования с помощью зондового микроскопа показали наличие достаточно сложной периодической структуры (рис. 4, а, b, 5). Это означает, что цвет обрабатываемой поверхности определяется более сложными процессами, чем механизм цветов побежалости.

В результате исследования изображений обрабатываемой поверхности было выявлено, что поверхность представляет собой „борозды“, которые получаются в результате прохождения лазерного луча по поверхности при „закрашивании“ области воздействия площадью 15 mm^2 . Ширина „борозды“ соответствует диаметру пятна лазера и составляет порядка $35 \mu\text{m}$. Расстояние между бороздами порядка $12 \mu\text{m}$, а глубина $300\text{--}800 \text{ nm}$ (в зависимости от полученного цвета). Также из анализа снимков, полученных с помощью зондового микроскопа видно, что на поверхности образца видны небольшие наросты высотой $0.5\text{--}1.2 \mu\text{m}$ в области воздействия пятна. Эти наросты образуются в результате кипения металла, формируя сложный рельеф поверхности при лазерном облучении. Это может говорить о том, что визуальное цветообразование связано не только с явле-

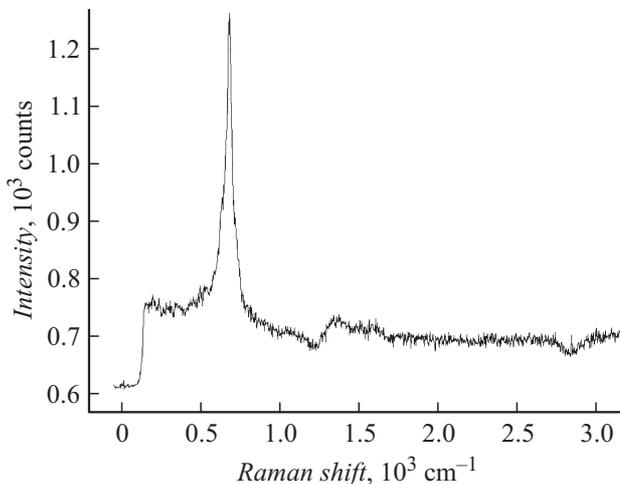


Рис. 3. Спектр комбинационного рассеяния (Рамановский).

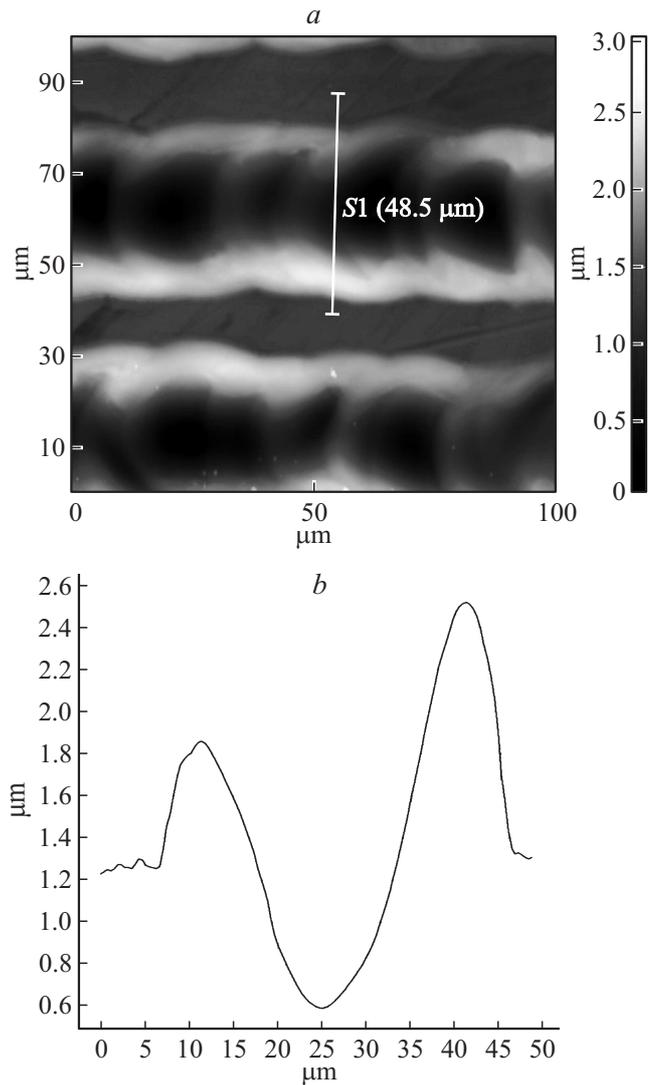


Рис. 4. АСМ изображение обрабатываемой поверхности (а) с графиком распределения высот в выделенной области (b).

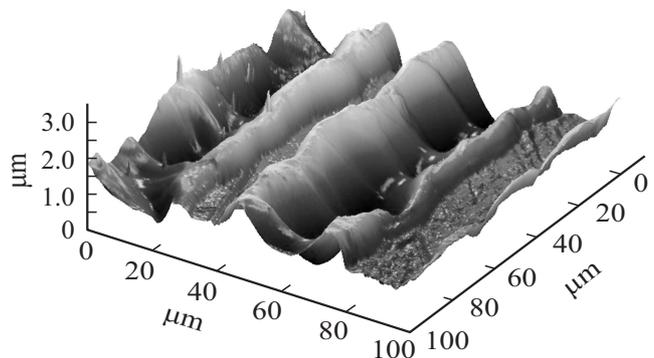


Рис. 5. Объемное АСМ-изображение обрабатываемой поверхности.

нием цветов побежалости и интерференцией в тонких пленках, но и может являться результатом дифракции, т.е. сложного проявления нескольких процессов одновременно.

Заключение

В работе были проведены исследования по взаимодействию лазерного излучения наносекундной длительности с поверхностью нержавеющей стали и титана. В результате для данных образцов нержавеющей стали и титана были составлены эмпирические таблицы зависимости образуемого в результате гравировки цвета от параметров лазерного излучения, с помощью которых можно программировать получение довольно сложных цветных изображений. Микроскопические исследования фазового состава поверхности и ее рельефа подтвердили наличие оксидных пленок и показали, что благодаря импульсному характеру излучения в результате облучения образуется довольно сложный периодический рельеф. В связи с этим процесс образования цвета при лазерной гравировке достаточно сложный процесс, что предполагает необходимым дальнейшее исследование с применением различных типов излучения.

Список литературы

- [1] Горный С.Г., Юдин К.В. // ЛАЗЕР-ИНФОРМ. Информационный бюллетень Лазерной ассоциации. № 8 (263). апрель, 2003.
- [2] Валиулин А., Горный С., Гречко Ю., Патров М., Юдин К., Юревич В. // Фотоника. 2007. № 3. С. 16–22.
- [3] Антонов Д.Н., Бурцев А.А., Бутковский О.Я. // Тр. Междунар. научно-технической конф. „Нанотехнологии функциональных материалов“ (НФМ’2012). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. С. 175–177.
- [4] Делоне Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Москва, 1989. 280 с.