

**Ганзуленко Оксана Юрьевна**

ФБГОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург  
Старший преподаватель кафедры  
«Материаловедение и технология художественных изделий»  
*Ganzulenko Oxana Y.*  
*Federal State Educational Institution of Higher Professional Education*  
*"Saint-Petersburg State Polytechnic University"*  
*Senior lecturer Department. "Materials science and technology of art products"*  
E-Mail: mthi@spmi.ru

**Ларионова Екатерина Владимировна**

ФБГОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург  
Доцент кафедры  
«Материаловедение и технология художественных изделий»  
Кандидат технических наук  
*Larionova Ekaterina V.*  
*Federal State Educational Institution of Higher Professional Education*  
*"Saint-Petersburg State Polytechnic University"*  
*Docent Department. "Materials science and technology of art products"*  
E-Mail: mthi@spmi.ru

**Петкова Ани Петровна**

ФБГОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург  
Профессор кафедры «Материаловедение и технология художественных изделий»  
Доктор технических наук, доцент  
*Petkova Ani P.*  
*Federal State Educational Institution of Higher Professional Education*  
*"Saint-Petersburg State Polytechnic University"*  
*Professor Department. "Materials science and technology of art products"*  
E-Mail: mthi@spmi.ru

05.16.09 Материаловедение (машиностроение)

**Технология лазерной маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов с целью защиты их от подделок и идентификации**

**Laser marking technology for serial products made from metallic and polymeric materials to protect them from forgery and identification**

**Аннотация:** Статья посвящена разработке методики и технологических регламентов формирования графической (цветной) информации и наноразмерных контрастных изображений штрих-кодов на поверхности изделий в процессе их лазерной обработки. Разработанная технология рекомендуется для промышленного использования (машиностроение, автомобилестроение, авиастроение, железнодорожный транспорт) и для широкого применения для маркировки серийных изделий из различных материалов с целью защиты их от подделок и идентификации.

**Abstract:** The article is devoted to the development of the methodology and process procedures of forming graphics (color ) information and nano- contrast images of barcodes on the surface of products in the process of laser treatment . The developments technology recommended

for industrial use (mechanical engineering, auto-motive, aerospace , railway transport) and for the widespread use of the of labeling production for products from a variety of materials to protect them from fraud and identity.

**Ключевые слова:** Штрих-код; лазерное излучение; температурно-временной режим; оксидный слой; считывание сканером.

**Keywords:** Barcode; laser radiation; temperature-time mode; the oxide layer; the reading scanner.

\*\*\*

Применяемые сейчас способы защиты и идентификации готовой продукции, такие как голограммы, штрих-коды, микронадписи и др. не позволяют кардинально решить данную проблему, т.к. они наносятся на промежуточные носители информации (бумага, пластик и др.), а не непосредственно на само изделие. Соответственно они могут быть относительно легко подделаны и утеряны при эксплуатации изделий. В тех же случаях, когда метки наносятся на само изделие, применяемые методы достаточно сильно деформируют поверхность деталей (метод «питов», метод «лазерной насечки») и, самое главное, не позволяют записать большой объем информации об изделии.

Прямое, непосредственное штрих-кодирование, особенно металлических и полимерных изделий, как правило, не применяется. До последнего времени это было связано с двумя причинами: отсутствием эффективного высокоскоростного, гибкого метода нанесения штрих-кода непосредственно на материал изделия и устройства, которое бы считывало его непосредственно с этих материалов. С разработкой лазерной маркировки появилась реальная возможность решить проблему штрихового кодирования непосредственно металлических и пластиковых изделий при их производстве для целей автоматизированного учета и контроля, тогда как современные промышленные сканеры далеко не всегда учитывают специфические свойства металлов и пластиков и, таким образом, не гарантируется уверенное считывание.

В настоящее время существует два основных типа штрих-кодов (символик), с которыми работают современные сканеры, – линейные и двумерные (рис. 1). Линейный штрих-код позволяет кодировать не более 20...30 символов и сам по себе (в отличие от двумерного), обычно не содержит описания товаров или цены (рис.1, а). Это своего рода ключ для получения информации, содержащейся в базе данных на компьютере, который и используется в основном для ее поиска.

Двумерные символики (2D), как правило, состоят из двух или более строк и знаков штрих-кодов, смежных по вертикали (рис. 1, б). Они появились сравнительно недавно и используются прежде всего для того, чтобы поместить больше данных на той же площади, что занимает одномерный штрих-код (до нескольких страниц текста). Штрих-коды этого типа значительно увеличивают производительность работы, если в базу требуется занести большое количество информации. Ее часто применяют транспортные и логистические компании для представления в закодированном виде товарно-транспортных накладных, а также фармацевтические компании, аптеки, больницы для занесения в штрих-код подробной информации о лекарствах или пациентах. Одним из типов двумерных символик является также матричный код, который представляет собой не простую серию штрихов, а целую картинку (рис.1, в).

В настоящее время используется огромное количество символик. Наиболее распространенными из одномерных считается EAN13, из двумерных – PDF417 (рис.1, а, в).



**Рис. 1.** Основные типы штрих-кодов, используемые для маркировки продукции:  
линейный EAN-13 (а), двумерный UCC/EAN-128 (б) и матричный PDF-417 (в)

Нанесение непосредственно на поверхность маркируемого объекта импульсным лазерным воздействием графического (в том числе цветного) изображения логотипа предприятия и одновременно создание на его поверхности лицевой карты изделия (информационного поля) позволяет обеспечить защиту маркируемой продукции от подделок и одновременно хранить определенный объем технической и иной информации непосредственно на самом изделии, необходимой для обеспечения его надежной и долгосрочной эксплуатации. Введенные в информационное поле данные будут сохраняться без изменений и потерь в течение всего срока эксплуатации изделия, а при аварийном разрушении изделия позволят, используя имеющуюся в лицевой карте информацию, сделать объективное экспертное заключение о причине аварийного разрушения изделия.

При воздействии лазерного луча на металлы и неметаллические материалы происходит нагрев с возможным оплавлением и (или) частичным испарением поверхности материала. Это приводит к появлению следа (отпечатка) на участке воздействия лазерного луча. Таким образом, перемещая луч относительно поверхности образца, можно получить на поверхности то или иное видимое изображение в виде цифр, букв, знаков или рисунков. При выводе изображения лазерным комплексом имеются свои специфические особенности, связанные как с конструктивными особенностями самого оборудования, так и с формированием цвета на металлической поверхности.

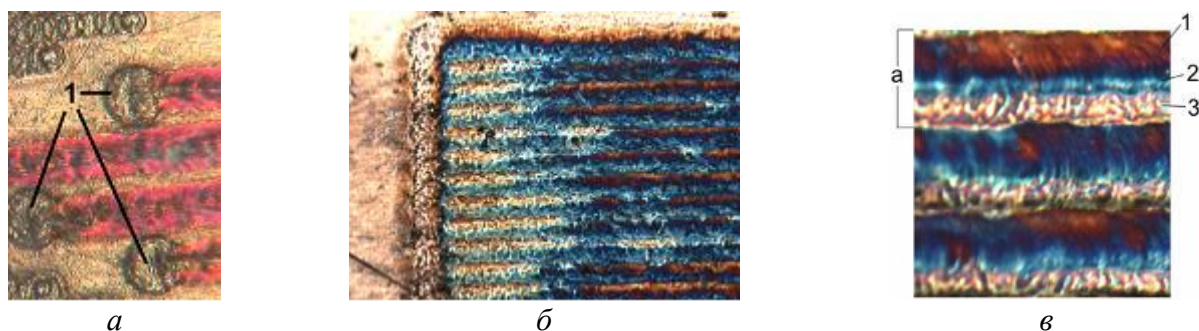
Компьютерное изображение представляет собой комбинацию пикселей разнообразных цветов. Качество компьютерного изображения характеризуется его разрешением *dpi* (*dots per inch*) – количеством пикселей, умещающихся в 1 дюйме. Чем выше *dpi*, с которым работает выводное устройство, тем качественнее получаемое на этом устройстве изображение. В таблице 1 приведены значения размера пикселя (мкм) при различных разрешениях изображения (*dpi*).

**Таблица 1**

**Размеры пикселя в зависимости от разрешения изображения**

dpi	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
мкм	254	127	85	64	51	42	36	32	28	25	23	21

Формирование цвета происходит, начиная не с первого импульса, а на некотором расстоянии от начала строчки. Это характерно как для лазеров с наличием эффекта первого импульса, так и оснащенных системой подавления первого импульса. Последующее наложение импульсов с шагом *dx* приводит к формированию цвета вплоть до последнего импульса (рис. 2).



**Рис. 2.** Формирование цветного изображения на металлической поверхности:  
1 – отпечаток первого импульса (а); обработанная поверхность образца (б) и (в):  
1-3 – зоны воздействия пиков распределения энергии луча; а – ширина строки отпечатков

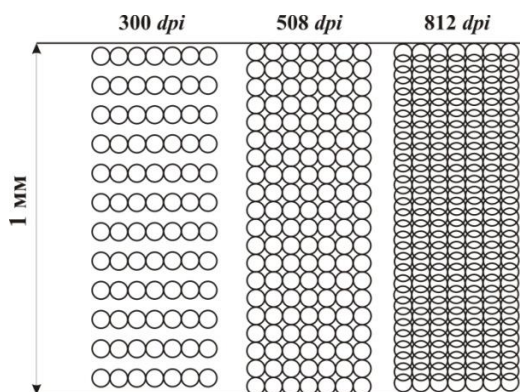
Температурно-временной режим образования оксидных структур зависит от взаимного расположения рядом стоящих импульсов:

$$dx = \frac{V}{F}, \quad (1)$$

где  $dx$  – расстояние между импульсами, м;  $V$ - скорость перемещения луча, м/с;  $F$  – частота следования импульсов, Гц.

В исследованиях [1] было экспериментально установлено, что для получения цвета, отличного от цвета металла и видимого глазом, минимальный размер строки должен составлять приблизительно два отпечатка луча лазера, т.е. размер пикселя по оси  $x$  должен быть не менее  $2D$ , где  $D$  – диаметр отпечатка луча лазера. Это соотношение также обусловлено тем, что при формировании следующей строки другим цветом рядом с предыдущей, нагрев от первого импульса может привести к искажению цвета последнего импульса первой строки.

Разрешение в лазерном комплексе, таким образом, означает количество линий по вертикали, то есть линиатуру (величина  $lpi$ ). Линиатура, определяющая количество строк в 1 мм изображения вдоль оси  $y$ , вычисляется из соотношения  $lpi=R/25,4$ , где  $R$  – разрешение компьютерного изображения. Например, для  $R=508$   $lpi=20$ , т.е. в одном миллиметре по вертикали будет сформировано 20 строк. От правильно выбранной линиатуры зависит как качество изображения, так и общее восприятие цвета. Очевидно, что линиатура зависит от диаметра отпечатка. На рисунке 3 показано, как используется линиатура при различных параметрах настройки разрешения в лазерном комплексе. Для вывода изображения на металле лазерным комплексом пиксель изображения должен соответствовать как по оси  $x$ , так и по оси  $y$  двум диаметрам отпечатка, т. е.  $dpi=25,4/2D$ ,  $lpi=1/2D$ .



**Рис. 3.** Линиатура при различных параметрах настройки разрешения

Очевидно, что это условие диктует требования к техническим характеристикам лазерного комплекса, и в первую очередь к диаметру луча. Чем меньше диаметр луча, тем меньше диаметр его отпечатка на обрабатываемой поверхности и тем выше качество формируемого изображения.

Растровый режим маркировки позволяет построчно заполнять маркируемую область (изображение) точками - пикселями. Лазер воспринимает растровую графику в градации серого цвета, преобразуя цветную картинку в черно-белую с полутонами. Черные точки изображения гравированы на полной мощности, белые не гравированы, а серые – с тем большей мощностью, чем темнее точка. Растровый режим маркировки цветных логотипов предприятия может использоваться для металлических изделий (рис. 4, а), при этом количество цветов должно быть минимально необходимым для его полноцветного восприятия.

Для гравировки силуэтных изображений логотипов можно использовать растровый черно-белый режим (рис. 4, а-б) без наслоений одного цвета на другой как для металлических, так и для полимерных материалов.

#### *Методика получения цветных логотипов (меток) на металлической поверхности*

Для формирования битового изображения в виде логотипов (меток) на металлической и полимерной поверхности использовался программный продукт *LTCEdit* для управления лазерным маркирующим комплексом ДМарк-б<sup>1</sup>. Управляющая программа разбивала изображение логотипа на параллельные отрезки (рис. 4). Одна строка по габаритным размерам изображения могла содержать несколько отрезков, на которых формируется оксидная пленка (рис. 4). Программа-исполнитель *Marker* по заданной управляющей программе формировала изображение на поверхности маркируемого изделия. При перемещении от отрезка к отрезку лазер находится в выключенном состоянии. Перед включением излучения происходило позиционирование лазерного луча в начальные координаты формируемого отрезка. Затем производилось непрерывное воздействие импульсами с заданной частотой и одновременным перемещением луча до окончания отрезка. Перед сменой позиционирования в начало следующего отрезка, лазерное излучение отключалось. Таким образом, происходило постепенное заполнение обрабатываемой площади.



**Рис. 4.** Примеры нанесения на изделия из металлов (а-в) и полимеров (г) логотипа предприятия (а, б), линейного (в) и двумерного (г) штрих-кода

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.В37.21.1095.

В качестве варьируемых технологических параметров использовались следующие параметры лазерного комплекса:

- ток накачки диодной линейки  $I$ , диапазон изменения 7...18 А,
- частота следования импульсов  $F$ , диапазон изменения 300...90000 Гц,
- скорость маркировки  $V$ , диапазон изменения 3...1000мм/с.

Формирование оксидных пленок производилось путем воздействия лазерного излучения на поверхность материала образца при определенной комбинации варьируемых параметров. С целью снижения мощности лазерного излучения использовалась расфокусировка, т.е. увеличение или уменьшение фокусного расстояния относительно фокальной плоскости. Обработка металлической поверхности воздействием лазера проводилась в кислородной среде (на воздухе) при комнатной температуре.

Для выбора технологических параметров лазерного комплекса для нанесения логотипов, представленных на рис. 5, использовались тестовые таблицы и базы режимов обработки, полученные в работе [1], обеспечивающие получение оксидных структур заданных воспроизводимых цветовых оттенков на поверхности образцов. Пример использованной тестовой таблицы для титана, полученной в диапазоне технологических режимов обработки  $I=18$  А,  $F=20...35$  кГц,  $V=5...25$  мм/с, приведен на рис. 5. Из всей гаммы, полученной по данным вывода тестовых таблиц, выбирались оксидные структуры, имеющие насыщенный цвет. Технологические режимы получения логотипов с заданными цветовыми характеристиками затем тестировались на стабильность и повторяемость результата.

При лазерной маркировке пластмасс изображение получается за счет изменений цвета и/или изменений структуры поверхности. Повышение интенсивности излучения увеличивает температуру пластика выше точки плавления, в результате чего материал начинает плавиться и испаряться. Как только это происходит, структура поверхности приобретает вид канавки (гравировки). При относительно высокой интенсивности лазера локальное испарение материала дополняется обугливанием (карбонизацией) обрабатываемой поверхности. При этом цвет маркировки становится черным (темным). При определенных параметрах излучения лазера происходит диссоциация (распад) молекул веществ, входящих в состав пластика, которая приводит к цветовым изменениям. Это позволяет практически избежать нагрева и получить гладкую поверхность маркировки, но которая, однако, требует соответствующего состава пластика, предусматривающего возможность маркировки его лазером.

#### *Методика нанесения штрих-кодов на металлическую поверхность*

Для формирования битового цветного изображения в виде штрих-кода на металлической поверхности использовался программный продукт *LTCEdit* для управления лазерным маркирующим комплексом ДМарк-6, который имеет в своем составе функцию для создания изображения штрихового кода в формате *ITF*. Результат формирования такого кода представлен на рисунке 6. Желтые штрихи – линии, которые будут сформированы на материале в процессе маркировки; красная рамка – габариты штрихового кода. В левом верхнем углу вынесено увеличенное изображение штрихов.





**Рис. 5.** Тестовая таблица на ВТ1-0,  
полученная при  $I = 18$  А,  $F = 20 \dots 35$   
кГц,  $V = 5 \dots 25$  мм/с



**Рис. 6.** Изображение штрих-кода на фоне  
миллиметровой сетки, подготовленное к маркировке в  
программе «LTCEdit»

На рис. 6 видно, что каждый штрих состоит из набора вертикальных линий. Количество линий определяется линиатурой - количеством линий в одном мм изображения - технологический параметр лазерной установки, зависящий от разрешения изображения. Например, при разрешении изображения 300 dpi линеатура равна 20 линий на 1 мм.

Каждый штрих штрихового кода состоит из линий-модулей. В соответствии с ГОСТ ИСО/МЭК 15420-2001, для стандартного размера штрихового кода ширина модуля должна составлять 0,33 мм. Ширина самого узкого штриха в символе штрих-кода не может быть меньше одного модуля. Поэтому, для формирования штрих-кода на металлической поверхности необходимо выбрать такие расстояния между обрабатываемыми линиями, чтобы минимизировать воздействие лазерного излучения на материал и, в то же время, штрих-код должен соответствовать требованиям ГОСТ.

Диаметр отпечатка на металлической поверхности определяется в зависимости от тока накачки диодной линейки в соответствии с данными [1]. Исходя из размера диаметра отпечатка, рассчитывается количество линий, необходимое для формирования на металлической поверхности линии, соответствующей ширине одного модуля (0,33 мм). Штрих шириной 1 мм состоит из трех таких модулей. Общее количество линий, приходящихся на 1 мм пикселя маркируемого штрих-кода, составит  $N_L$ , равное произведению количества модулей на количество линий в одном модуле. Исходя из диаметра отпечатка, по таблице 1 выбирается разрешение в dpi, с которым должно быть подготовлено изображение наносимого штрих-кода.

Для обеспечения уверенного считывания штрих-кода необходимо создавать штрихи, которые будут контрастировать с поверхностью металла по цвету, а если это невозможно, поле штрих-кода обрабатывается режимом, обеспечивающим контрастный цвет по отношению к цвету штрих-кода. Цветовые сочетания штрих-кодов, считываемые и не считываемые сканером, приведены в таблице 2: а) – цветовые сочетания, считываемые сканером; б) – считываются при определенных условиях; в) – не считываются при определенных условиях; г) – цветовые сочетания, не считываемые сканером.

Таблица 2

Цветовые сочетания штриховых кодов

а)	синий на белом	коричневый на белом	черный на белом	зеленый на белом
	синий на желтом	коричневый на желтом	черный на желтом	зеленый на желтом
	синий на оранжевом	коричневый на оранжевом	черный на оранжевом	зеленый на оранжевом
б)	синий на красном	коричневый на красном	черный на красном	зеленый на красном
в)	черный на зеленом (1)	черный на зеленом (2)	черный на синем	черный на коричневом
г)	красный на зеленом (1)	красный на синем	черный на золотом	оранжевый на золотом
	красный на золотом	красный на светлокоричневом	синий на зеленом (2)	желтый на белом
	красный на белом	светлокоричневый на белом	золотой на белом	оранжевый на белом

Возможные цветовые оттенки штрих-кодов определяются свойствами оксидов, создаваемых лазерным излучением на поверхности обрабатываемых материалов.

Для определения вероятности считывания штрих-кода с поверхности изделия рассчитываем толщину оксидного слоя выбранного цвета, полагая, что она будет равна глубине проникновения ионов кислорода в металл за время взаимодействия лазерного излучения с его поверхностью. Учитывая сделанные допущения, толщину оксидного слоя ( $h$ ) можно рассчитать следующим образом:

$$h = \sqrt{D_0 \tau_{B3}} , \quad (2)$$

где  $D_0$  – коэффициент диффузии ионов кислорода в структуру металла;  $\tau_{B3} = \tau \cdot N$  – время взаимодействия лазерного излучения с материалом, с;  $\tau$  – длительность импульса лазерной установки, с;  $N$  – количество импульсов;  $N = \frac{b}{dx}$ ,  $b$  – ширина штриха, мм;  $dx$  – смещение следующего импульса, мм. Значения  $\tau_{B3}$  и  $D_0$  определяются по данным [3].

Светочувствительная матрица считывающего устройства способна фиксировать разницу интенсивности отраженного излучения в  $e$  раз. Оксидный слой толщиной  $I_0/I < e$  имеет недостаточную поглощательную способность и, соответственно, штрих-код может некорректно считываться или не считываться вообще. Слои, имеющие степень контрастности  $I_0/I \geq e$ , обеспечивают уверенное считывание штрихового кода.

*Пример применения методики формирования одномерных штрих-кодов на титановой пластине (BT1-0)*

Для маркировки была выбрана титановый лист толщиной 2 мм. При токе накачки диодной линейки 13,5 А диаметр отпечатка составляет  $\approx 76$  мкм. Следовательно, чтобы сформировать на титановой поверхности линию, соответствующую ширине одного модуля,



необходимо сформировать лазером четыре таких линии. Штрих шириной 1 мм состоит из трех таких модулей. Тогда количество линий, приходящихся на 1 мм пикселя маркируемого штрих-кода, составит  $N_L=12$ . В соответствии с данными табл. 1, изображение штрих-кода должно быть подготовлено с расширением 300 dpi (рис. 5).





Под действием лазерного излучения возможно образование оксидов титана с различными цветовыми характеристиками в зависимости от их стехиометрического состава:  $TiO$  - золотисто-желтый,  $Ti_2O_3$  – голубой,  $Ti_3O_4$  - темно-фиолетовый,  $Ti_3O_5$  – черный [3]. Технологические режимы обработки поверхности титанового листа, рассчитанные по формуле (1), представлены в таблице 2. Результаты обработки поверхности по рассчитанным технологическим режимам представлены на рис. 2.

Используя выражение (2), можно рассчитать толщину сформированного оксидного слоя для рассчитанных режимов обработки (таблица 3), имея следующие данные:

$$\tau_{B3} = 4 \cdot 10^{-8} \text{ с; для } \alpha\text{-Ti } D_0 = 6,4 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с} [4].$$

**Таблица 3**

**Режимы облучения и контрастность получаемых штрих-кодов**

№ режима	Колориметрические характеристики оксидов		$h$ , м	$V$ , мм/с	$F$ , Гц	$I_0/I$	Полученные оттенки
1	TiO	золотисто-желтый	$4,14 \cdot 10^{-7}$	45	36859	2,59229707	
2	Ti2O3	голубой	$4,41 \cdot 10^{-7}$	36	32764	2,75800058	
3	Ti3O4	темно-фиолетовый	$4,63 \cdot 10^{-7}$	29	29488	2,90538331	
4	Ti3O5	черный	$4,87 \cdot 10^{-7}$	24	26807	3,07175534	

Светочувствительная матрица считывающего устройства способна фиксировать разницу интенсивности отраженного излучения в  $e$  раз. В соответствии с таблицей 2, оксидный слой толщиной  $4,14 \cdot 10^{-7}$  м имеет недостаточную поглощательную способность и, соответственно, штрих-код может некорректно считываться или не считываться вообще. Слои, имеющие степень контрастности  $I_0/I \geq e$ , обеспечивают уверенное считывание штрихового кода (режимы 3 и 4). На рис. 7, а представлен образец со штриховым кодом в формате *ITF* с размерами  $38 \times 10$  мм, нанесенным по режиму 4, обеспечивающим его уверенное считывание.

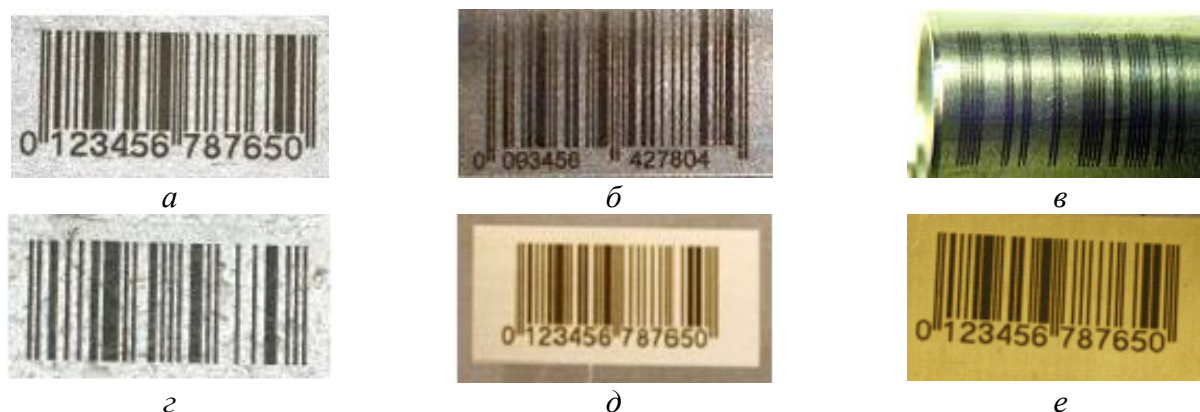
Используя изложенную методику, и стандартный программный продукт *LTCEdit*, поставляемый с лазерным маркировочным комплексом, были определены режимы формирования штрих-кода (информационного поля) для различных металлических материалов. В таблице 4 приведены технологические регламенты обработки 6-ти металлических материалов, обеспечивающие воспроизводимость цвета и достаточную контрастность штрихов на металле.

Таблица 4

**Технологические регламенты обработки 6-ти металлических материалов для нанесения контрастных штрих-кодов**

N п/п	Марка материала	Lamp	Freq	Speed	Dpi	Палитра	Нанесенный цвет	R	G	B
1	12X17	14	15500	3	508			128	128	128
2	Л63	18	51000	11	508			36	43	45
3	Силумин	18	21300	10	508			11	11	11
4	BT1-0	18	20000	5	508			3	3	3
5	08X18H10T	14	15500	3	508			128	128	128
6	Цирконий	13	52400	42	508			10	10	10

Результаты экспериментального формирования штрих-кодов представлены на рис. 7. Следует отметить, что для полированных образцов (5) использовался дополнительный режим для создания контрастного фона. Критерием качества нанесенного штрих-кода принято считать его считывание сканером с первого раза. Все изображения штрих-кодов, нанесенные на различные металлические материалы, считывались стандартным сканером с первого раза.



**Рис. 7.** Изображения образцов со штрих-кодом: а – BT1-0; б – 08X18H10T; в – цирконий; г – силумин; д – 12X17; е – латунь Л63

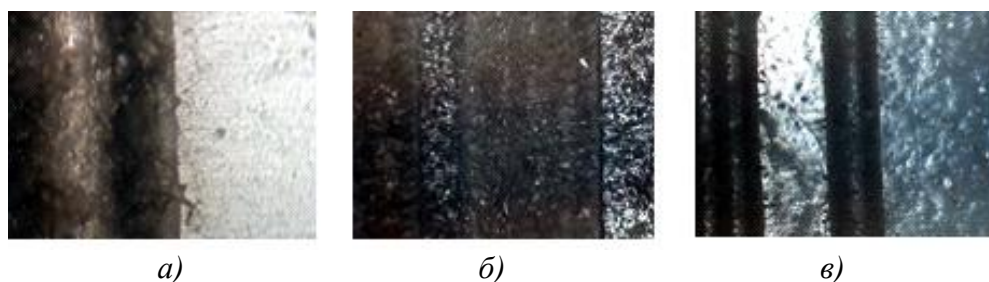
Исследования возможности нанесения идентификационных меток на полимерные материалы с использованием лазерного излучения проводились на образцах 8 марок: 1 – полиэтилен; 2 – полипропилен; 3 – полистирол; 4 – поликарбонат; 5 – полиэтилентерефталат (ПЭТ); 6 – поливинил хлорид (ПВХ); 7 – капролон; 8 – фторопласт-4. Формирование идентификационной метки (штрих-кода) производилась на очищенной от поверхностных дефектов (шероховатость, загрязнение) поверхности образца. Результаты обработки образцов представлены на рис. 8.



**Рис. 8.** Внешний вид поверхности образцов после нанесения штрих-кода

Следует отметить, что для некоторых образцов (3 и 8) использовался дополнительный режим для создания контрастного фона. Это объясняется необходимостью формирования дополнительной четкости линий штрих-кода за счет повышения контрастности. На всех образцах считывание штрих-кода стандартным сканером производилось с первого раза, что свидетельствует о высоком качестве изображения. Длительность нанесения штрих-кода на поверхность образцов не превышала 30 с, с нанесением фоновой окраски – 90 с.

Подбор параметров режима обработки (значения тока накачки диодной линейки, частоты следования импульсов и скорости перемещения луча лазера по обрабатываемой поверхности) проводился опытным путем. С уменьшением плотности заливки проводилось контрольное считывание. Было определено, что сканер не замечает пробелы между линиями порядка ширины самой линии, то есть при разрешении 8 линий на миллиметр. Если уменьшать плотность заливки и далее, происходит некорректное считывание либо считывание не происходит вовсе. При маркировке штрихового кода с разрешением в 8 линий на миллиметр время маркировки составило 5 секунд. На рис. 8 изображены фотографии толстого (рис. 8 а, б) и тонкого штрихов (рис. 8, в) штрихового кода.



**Рис. 8.** Элементы штрихового кода на образцах из ПВХ (а) и полиэтилена (б),  $\times 200$  и полиэтилентерефталата (в),  $\times 100$

Предложенные режимы маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов предназначены для их защиты от подделок и идентификации и могут найти широкое применение на предприятиях автомобильной промышленности, транспортного и энергетического машиностроения, авиационной промышленности и т.д. Разработанный способ маркировки металлопродукции с целью ее идентификации может найти применение в различных отраслях промышленного производства в связи с его высокой эффективностью, высокой производительностью и относительно невысокой стоимостью самого процесса.

## Выводы

1. Детально изучен механизм и определены технологические параметры процесса формирования цветного изображения и контрастных изображений штрих-кодов на поверхности металлических объектов в процессе их лазерной обработки.
2. Разработана методика получения цветных логотипов (меток) и контрастных штрих-кодов на поверхности различных материалов (металлы, полимеры) с помощью импульсного лазера.
3. Определены технологические регламенты процесса формирования наноразмерных контрастных изображений штрих-кодов на поверхности металлических (титана ВТ1-0, стали 08Х18Н10Т, циркония, силумина, стали 12Х17, латуни Л63) и полимерных (полиэтилена, полипропилена, полистирола, поликарбоната, полиэтилентерефталата (ПЭТ), поливинилхлорида (ПВХ), капролона, фторопласта-4) материалов, обеспечивающие надежную воспроизводимость и считываемость сканером.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афонькин М.Г. Формирование цветных структур на поверхности металла лазерным излучением: монография / М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова. – Спб.: изд. СЗТУ, 2010. – 205с.: ил.
2. Афонькин М. Г., Звягин В. Б., Ларионова Е. В., Пряхин Е. И. Пат. на изобретение РФ № 2357844 от 10.02.2009 «Способ получения цветного изображения на металлических поверхностях».
3. Справочник химика, т. I - 4 и доп., 2 изд., под ред. Б. П. Никольского и др., Л., 1965-68
4. Физико–химические свойства окислов. Справочник / под ред. чл.–корр. АН УССР Г.В. Самсонова. – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.

**Рецензент:** Кириллов Николай Борисович, профессор, д.т.н., ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».