

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ НА ИЗДЕЛИЯ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ИХ ОТ ПОДДЕЛОК, ИДЕНТИФИКАЦИИ И УЧЕТА

О.Ю. Ганзуленко, ст. преп. ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, oxana_ganza@mail.ru

Е.А. Захаренко, асп. ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, zgenya@yandex.ru

Е.В. Ларионова, доц. ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, cf.82@mail.ru

А.П. Петкова, проф. ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, apetkova@inbox.ru

Е.И. Пряхин, зав. каф. ФГБОУ ВПО НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, mthi@spmi.ru

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.

Ключевые слова: штрих-код, лазерное излучение, температурно-временной режим, оксидный слой, считывание сканером.

DEVELOPMENT AND APPROBATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF APPLICATION OF INFORMATION FIELDS ON PRODUCTS FROM VARIOUS MATERIALS FOR THEIR PROTECTION AGAINST FAKES, IDENTIFICATION AND REGISTRATION

O.Y. Ganzulenko, Senior Teacher, St. Petersburg Technical University «Mining», oxana_ganza@mail.ru

E.A. Zakharenko, Post Graduate student St. Petersburg Technical University «Mining», zgenya@yandex.ru

E.V. Larionov, Associate Professor. St. Petersburg Technical University «Mining», cf.82@mail.ru

A.P. Petkova, Professor St. Petersburg Technical University «Mining», Ph.D., apetkova@inbox.ru

E.I. Pryakhin, Head of Department St. Petersburg Technical University «Mining», mthi@spmi.ru

The article is devoted to the development of methods and technological regulations of the graphic (color) information and nanoscale contrasting images of bar codes on the surface of the products in the process of laser processing. The developed technology is recommended for industrial use (mechanical engineering, automotive, aviation, rail transport) and wide application for marking the production of products from different materials to protect them from fraud and identity.

Keywords: bar code, laser radiation, temperature-time mode oxide layer, read by the scanner.

Применяемые сейчас способы защиты и идентификации готовой продукции, такие как голограммы, штрих-коды, микронадписи и др. не позволяют кардинально решить проблему

маркировки серийных изделий из различных материалов, 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 используется огромное количество символик. Наиболее распространенными из одномерных считается EAN13 (рис. 1, а), из двумерных — UCC/EAN-128 и PDF417 (рис. 1, б, в).



Рис. 1. Основные типы штрих-кодов, используемые для маркировки продукции:

а — линейный EAN-13, б — линейный UCC/EAN-128, в — двумерный матричный PDF-417

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.

Актуальность представляемых исследований заключается в разработке технологии маркировки изделий из металлических и полимерных материалов с целью их защиты от подделок и идентификации с нанесением опознавательных знаков непосредственно на поверхности самих изделий посредством импульсного лазерного излучения.

Основная цель работы состоит в разработке методики и технологических регламентов формирования графической (цветной) информации и наноразмерных контрастных изображений штрих-кодов на поверхности изделий в процессе их лазерной обработки.

Компьютерное изображение представляет собой комбинацию пикселей разнообразных цветов. Качество компьютерного изображения характеризуется его разрешением *dpi* (*dots per inch*) – количеством пикселей, уместяющихся в 1 дюйме. Чем выше *dpi*, с которым работает выводное устройство, тем качественнее получаемое на этом устройстве изображение. В табл. 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.

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.

Количество строк, формируемых лазером, является аналогом разрешения изображения, и 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 рис. 2 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. $dpi = 25,4/2D$, $lpi = 1/2D$.

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.

Современные лазерные комплексы позволяют формировать как растровые, так и векторные изображения. Причем, растровое изображение переносится на объект посредством обработки лазерным излучением построчно с заданным разрешением и линиатурой. Растровый режим маркировки цветных логотипов предприятия может использоваться для металличе-

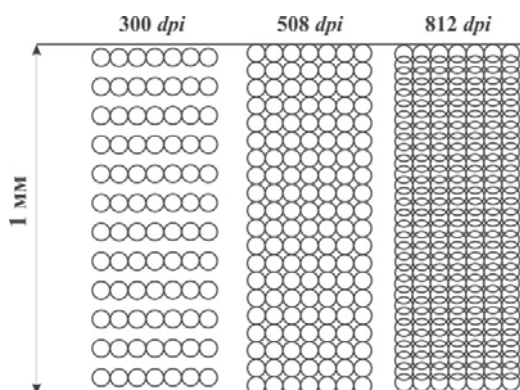


Рис. 2. Линиатура при различных параметрах настройки разрешения

ских изделий (рис. 3, а), при этом количество цветов должно быть минимально необходимым для его полноценного восприятия.

Для гравировки силуэтных изображений логотипов можно использовать векторный режим (рис. 3, а, б) как для металлических, так и для полимерных материалов.

Для формирования графического изображения в виде логотипов (меток) на металлической и полимерной поверхности использовался программный продукт *LTCEdit* для управления лазерным маркирующим комплексом ДМарк-6. Лазерный комплекс по заданной управляющей программе формировал изображение на поверхности маркируемого изделия. При перемещении от линии к линии лазер находится в выключенном состоянии. Перед включением излучения происходило позиционирование лазерного луча в начальные координаты формируемой линии. Затем производилось воздействие импульсами с заданной частотой и одновременным перемещением луча до окончания маркируемой линии. Перед сменой позиционирования в начало следующей линии, лазерное излучение отключалось. Таким образом, происходило постепенное заполнение обрабатываемой площади.

В качестве варьируемых технологических параметров использовались следующие параметры лазерного комплекса: ток накачки диодной линейки I , (диапазон изменения 718 А); частота следования импульсов F (диапазон изменения 30 090 000 Гц); скорость маркировки V (диапазон изменения 31 000 мм/с).

Формирование оксидных структур производилось путем воздействия лазерного излучения на поверхность материала образца при определенной комбинации варьируемых параметров. С целью стабилизации температурно-временного режима использовалась расфокусировка, т. е. увеличение или уменьшение фокусного расстояния относительно фокальной



а)



б)



в)



г)

Рис. 3. Примеры нанесения на изделия из металлов (а–в) и полимеров (г) логотипа предприятия (а, б), линейного (в) и двумерного (г) штрих-кода

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. 4, 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. 4. 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.

Для формирования битового цветного изображения в виде линейного 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 рис. 5. Желтые штрихи — линии, которые будут сформированы на материале в процессе маркировки; красная рамка — габариты штрихового кода. В левом верхнем углу вынесено увеличенное изображение штрихов.

На рис. 5 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* линиатура равна 20 линий на 1 мм.



Рис. 4. Тестовая таблица на VT1-0, полученная при $I = 18$ А, $F = 20...35$ кГц, $V = 5...25$ мм/с

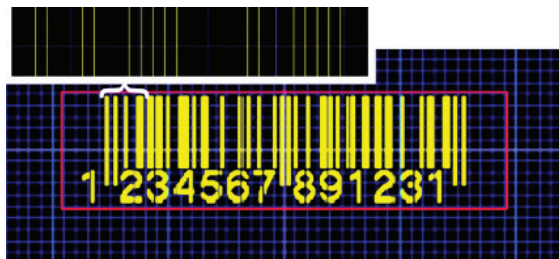


Рис. 5. Изображение штрих-кода на фоне миллиметровой сетки, подготовленное к маркировке в программе «LTCEdit»

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.

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 табл. 2.

Таблица 2

Цветовые сочетания штриховых кодов

♦ ЦВЕТОВЫЕ СОЧЕТАНИЯ, СЧИТЫВАЕМЫЕ СКАНЕРОМ				НЕ СЧИТЫВАЮТСЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ			
синий на белом	коричневый на белом	черный на белом	зеленый на белом	черный на зеленом (1)	черный на синем	черный на зеленом (2)	черный на коричневом
синий на желтом	коричневый на желтом	черный на желтом	зеленый на желтом	ЦВЕТОВЫЕ СОЧЕТАНИЯ, НЕ СЧИТЫВАЕМЫЕ СКАНЕРОМ			
синий на оранжевом	коричневый на оранжевом	черный на оранжевом	зеленый на оранжевом				
СЧИТЫВАЮТСЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ				красный на зеленом (1)	красный на синем	черный на золотом	оранжевый на золотом
				красный на золотом	красный на светло- коричневом	синий на зеленом (2)	желтый на белом
синий на красном	коричневый на красном	черный на красном	зеленый на красном				

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

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.

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 табл. 3 приведены технологические регламенты обработки 6-ти металлических материалов, обеспечивающие воспроизводимость цвета и достаточную контрастность штрихов на металле.

Результаты экспериментального формирования штрих-кодов представлены на рис. 6. 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.

Таблица 3

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

N п/п	Марка материала	Lamp	Freq	Speed	Dpi	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

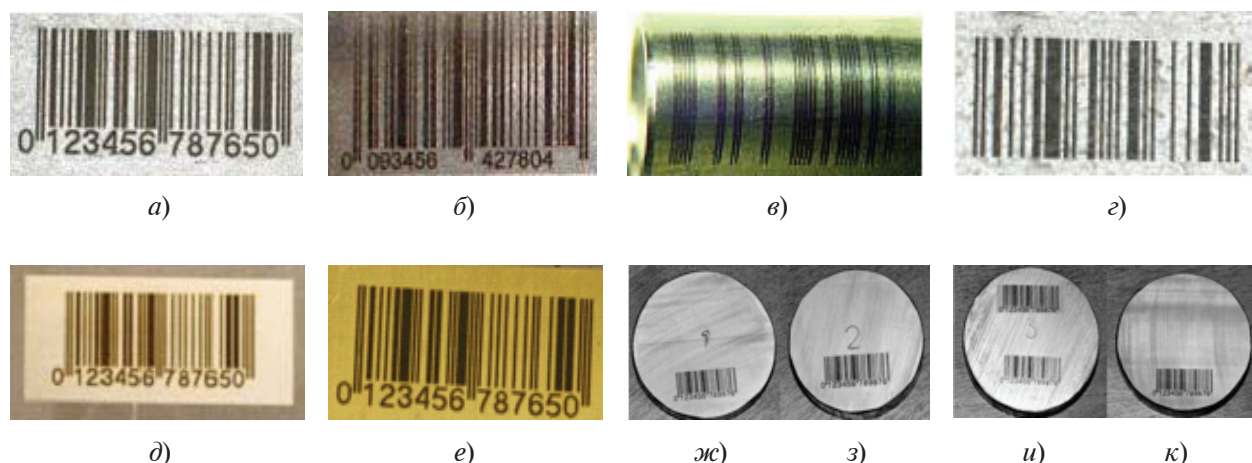


Рис. 6. Изображения образцов со штрих-кодом:

a – BT1-0; *б* – 08X18H10T; *в* – цирконий; *г* – силумин; *д* – 12X17; *е* – латунь Л63;
ж – полиэтилен; *з* – полипропилен; *и* – полистирол; *к* – поликарбонат

Предложенные режимы маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов при помощи линейных штрих-кодов предназначены для их защиты от подделок, учета 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 и учета может найти широкое применение в различных отраслях промышленного производства в связи с его высокой эффективностью, высокой производительностью и относительно невысокой стоимостью самого процесса.

В целях повышения защищенности содержащейся в штрих-коде информации, защиты самого штрих-кода от возможной подделки и повышения плотности записи информации при сохранении небольших его размеров применяются двумерные высокоплотные штрих-коды, наносимые прямо на изделия, позволяющие размещать на самом изделии нужную информацию с характеристикой условий его изготовления и эксплуатации (рис. 3, *г*) [3].

Разработанный АПК представлен тремя модулями: прецизионным импульсным лазером, управляющим блоком и сканирующим устройством.

Управляющий модуль позволяет передать требуемую информацию в виде закодированного текста и/или цветного изображения (например, логотипа предприятия) с компьютера по специальной оригинальной программе в программный блок лазера, который по заданной программе формирует цветное изображение и/или соответствующее информационное поле на металлической поверхности маркируемого изделия [1, 2] (рис. 3).

Получаемое с помощью АПК информационное поле по сравнению с существующими аналогами содержит значительно больший объем текстовой информации на малой площади поверхности изделия, так как прецизионный импульсный лазер позволяет обеспечить высокую плотность записи информации за счет ее технологического сжатия. Так, например, на площади 1 см² можно записать информацию объемом до 2 страниц текста формата А4, а на площади 4 см² – до 14 страниц текста (табл. 4). При необходимости АПК позволяет с высокой точностью воспроизводить логотип предприятия, в том числе и многоцветный (рис. 4, а).

Таблица 4

Сравнение размерных характеристик предлагаемого нанобар-кода и двухмерных штрих-кодов при кодировании машинописного текста

Штрих-коды	Количество кодируемых символов		
	100 символов (1 строка)	1000 символов (2/3 страницы)	10000 символов (6 страницы)
	Площадь, занимаемая сформированным кодом		
Нанобар-код (размер единичного модуля 50 мкм)	2,41×2,41 мм	4,75×4,75 мм	14,41×14,41 мм
QR code (1 mil = 25,4 мкм)	11,00×11,00 мм	32,00×32,15 мм	Не поддерживается
PDF 417 (1 mil = 25,4 мкм)	15,90×13,50 мм	33,75×33,60 мм	Не поддерживается
Data matrix (1mil = 25,4 мкм)	19,05×19,05 мм	55,05×55,05 мм	159,08×159,08 мм

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.

В состав АПК также входит модуль, включающий считывающее устройство оригинальной конструкции, предназначенное для распознавания изображения нанобар-кода и преобразования его в цифровой сигнал для последующей обработки в модуле дешифровки.

Для считывания изображений нанобар-кодов с поверхности различных материалов (металл, стекло, неорганические материалы) нельзя использовать фотокамеру из-за недостаточного оптического увеличения без потери качества изображения. Фотокамера позволяет увеличивать до 10× при необходимом минимальном пороге увеличения 20×. Использование сканирующего устройства на базе оптического микроскопа не позволяет распознавать изображения нанобар-кодов размером более 30×30 мм при увеличении 20× без дополнительной оснастки для увеличения расстояния между снимаемым объектом и объективом микроскопа.

Благодаря использованию в составе сканирующего устройства комбинированной оптической системы цифровой камеры и микроскопа, позволяющего увеличивать изучаемый объект до 200 раз с возможностью съемки с расстояния, его разрешение оказывается в 5–10 раз выше, чем у серийных сканеров, применяемых для считываний штрих-кодов.

Используя разработанное сканирующее устройство, представленное на рис. 7, имеющее комбинированную оптическую систему с возможностью увеличения более $20\times$ и возможность съемки с расстояния, получают аналоговое изображение, преобразуемое в цифровой сигнал для последующей обработки в модуле дешифровки. Для преобразования аналогового изображения для каждого бита информации в автоматическом режиме создается ячейка пространственной масштабируемой координатной сетки. Устанавливаются доверительные цветовые интервалы белого и черного цветов, для определения нужных и побочных элементов идентификационных меток. На последнем этапе при определении большого количества информации, при необходимости в ручном режиме определяются недостающие фрагменты, символы и биты информации. Такой режим называется полуавтоматический, так как он не избавляет пользователя полностью от его присутствия при расшифровке информации.

Обработка полученного цифрового изображения информационного поля осуществляется в программе декодирования с визуализацией процесса, позволяющей корректировать декодирование информации в режиме реального времени. Декодированная информация сохраняется в отдельном файле.

Апробация процесса нанесения и идентификации матричных нанобар-кодов была осуществлена на изделиях из металлических, неорганических и полимерных материалов. На рис. 8 представлены изображения нанобар-кодов на их поверхности.

В ходе экспериментальных исследований было установлено, что оптимальным диаметром отпечатка (рис. 9, а) является 100 мкм (рис. 9, б). При диаметрах отпечатков 70–80 мкм (рис. 9, г, д) они напозают друг на друга, при диаметре 90 мкм (рис. 9, в) отпечатки касаются друг друга. В этом случае при сканировании поверхности и распознавании отпечатков существует опасность к неточному определению местоположения отдельных отпечатков. Данная технология позволяет наносить на поверхность металла до 10^6 бит информации, что требует оптических сенсоров высокого разрешения. В настоящее время в системах технического зрения используются сенсоры (КМОП, ПЗС) имеющие разрешение не более 5 Мпикс [4].

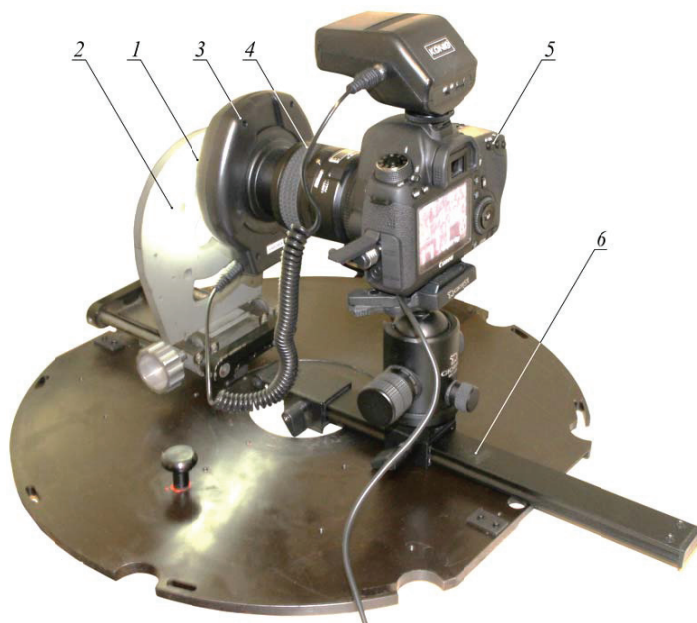


Рис. 7. Макет экспериментальной установки:

1 – объект исследования, 2 – юстировочный узел, 3 – кольцевой осветитель, 4 – макро объектив, 5 – цифровая камера Canon EOS 6D, 6 – рейтер



Рис. 8. Нанобар-код на различных материалах:

a – металлическая фольга, *б* – исландский шпат, *в* – полимерная пленка Tesa Laser

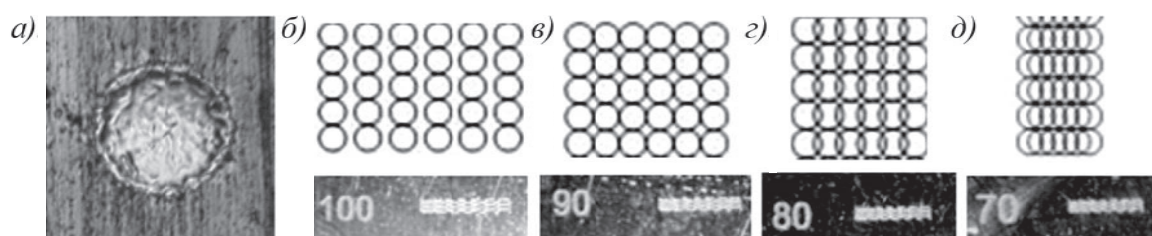


Рис. 9. Диаметры отпечатков и их взаимное расположение относительно друг друга:

a – $\times 500$; *б* – $\times 10$; *б* – 100 мкм; *в* – 90 мкм; *г* – 80 мкм; *д* – 70 мкм

В настоящее время разработаны сенсоры высокого разрешения (более 40 *Мпикс*), которые нашли массовое применение в цифровых камерах (ЦК). Указанные цифровые камеры имеют собственную аппаратную, микропроцессорную и микропрограммную структуру, которая не совместима с другими средствами построения автоматизированных систем контроля, например на базе компьютерных технологий National Instruments (NI).

В разработанном сканирующем устройстве, представленном на рис. 7, реализована структурная схема контроля процесса регистрации и распознавания информационных полей на базе компьютерных технологий NI. Эффективность использования в оптической системе кольцевого осветителя и кольцевой апертурой объектива демонстрируется на фрагментах изображения (рис. 10). Использование направленного кольцевого осветителя

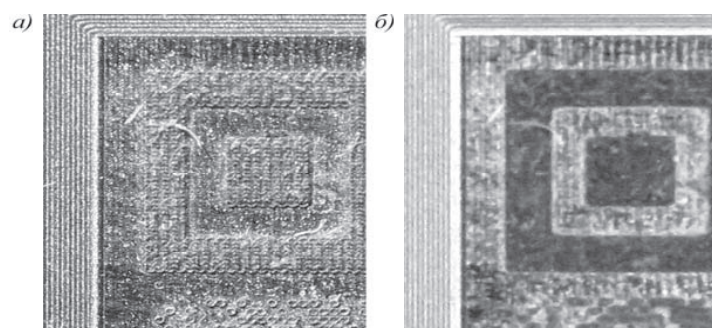


Рис. 10. Фрагмент изображения штрих-кода:

a – при обычном освещении; *б* – кольцевой осветитель, угловая фильтрация

и специальной апертурой диафрагмы позволили при регистрации изображения осуществить оптическую фильтрацию зеркальной засветки и дефектов металла, получить изображение необходимого для декодирования информационных полей лазерных отпечатков качества.

На рис. 11 представлен упрощенный скрипт обработки изображения нанобар-кода в приложении NI Vision Assistant, отображающий эффективность определения координат лазерных отпечатков. Использование компьютерных технологий фирмы National Instruments позволило реализовать экспериментальный прототип модульного считывателя информационных полей с металла. Использование алгоритма анализа бинарных кластеров по вписываемым фигурам обладает более высокой степенью надежности построения информационной матрицы, низкой чувствительностью к форме поверхности, ее ориентации по отношению к считывателю, возможностью контроля достоверности считывания. Кроме того, рассмотренный алгоритм позволяет уменьшить диаметр отпечатков, то есть повысить информационную плотность. Предложенный алгоритм позволяет определять качество лазерных отпечатков, то есть проводить анализ технологических режимов лазерной технологии нанесения нанобар-кодов.

Дешифровка оцифрованных изображений осуществлялась при помощи оригинальной программы декодирования изображения. Точность передачи закодированной в нанобар-коде информации на всех испытанных образцах составила 100 %.

Разработанный технологический процесс нанесения информационных полей на изделия из различных материалов для защиты их от подделок, идентификации и учета, не имеющий в настоящее время аналогов в России и за рубежом, может быть успешно использован для маркировки и идентификации серийно выпускаемой продукции широкого назначения (автомобилестроение, железнодорожный транспорт, металлопродукция).

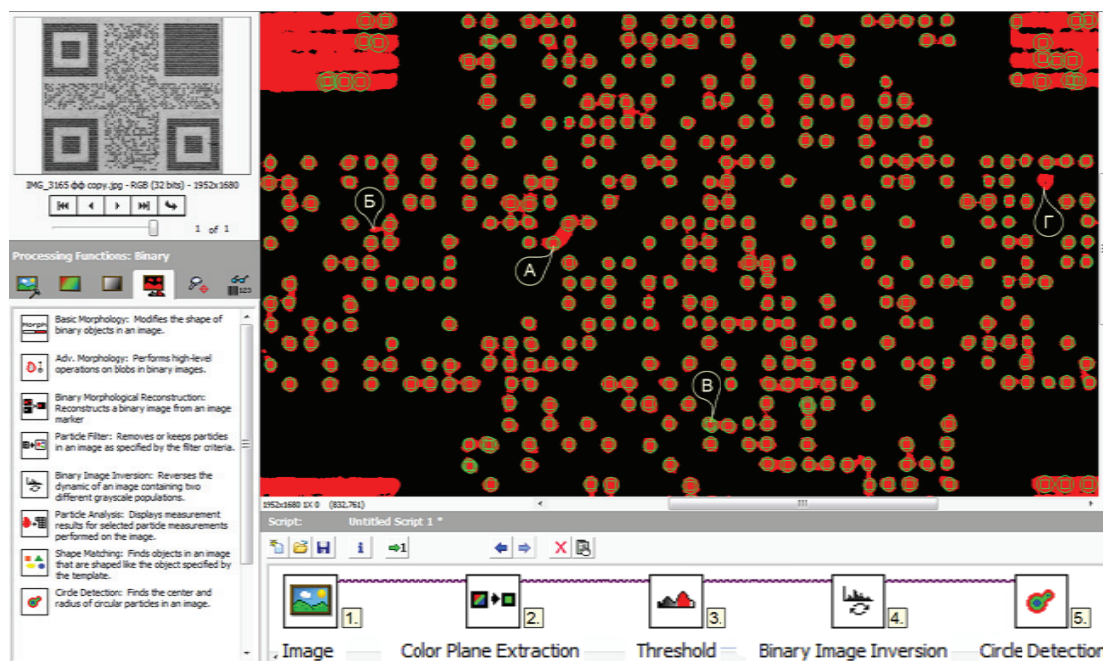


Рис. 11. Окно приложения NI Vision Assistant

а — окно предварительного просмотра; б — палитра функций;
в — результат декодирования; г — скрипт обработки и измерения

Реализация апробированного процесса получения и идентификации нанобар-кодов нового поколения в промышленных масштабах позволит создать реальные предпосылки для резкого сокращения производства контрафактной продукции широкого назначения не только в России, но и за рубежом. Предлагаемая технология маркировки любых изделий из металла, органических (полимеров) и неорганических материалов, в том числе и с окрашенной поверхностью, в силу своей специфики позволяет практически полностью исключить подделки, т.к. для этого требуется наличие специального оборудования и специального программного обеспечения. Одновременно, такая маркировка позволяет формировать на самом изделии лицевую карту с большим объемом информации, позволяющей в случае необходимости иметь полное представление о его тактико-технических и эксплуатационных характеристиках, а том числе в случае необходимости составления экспертного заключения при аварийном разрушении или выходе из строя данного изделия.

Выводы

1. Детально изучен механизм и определены технологические параметры процесса формирования цветного изображения и контрастных изображений штрих-кодов и нанобар-кодов на поверхности объектов из различных материалов в процессе их лазерной обработки.

2. Разработаны методики получения цветных логотипов (меток) и контрастных штрих-кодов и нанобар-кодов на поверхности различных материалов (металлы, полимеры) с помощью импульсного лазера.

3. Определены технологические регламенты процесса формирования наноразмерных контрастных изображений штрих-кодов и нанобар-кодов на поверхности металлических и неорганических материалов, обеспечивающие надежную воспроизводимость и считываемость сканером.

4. Разработана структурная схема автоматического считывания, которая позволяет использовать цифровые камеры с сенсорами высокого разрешения. Использование направленного кольцевого осветителя и специальной апертурой диафрагмы позволили при регистрации изображения осуществить оптическую фильтрацию зеркальной засветки и дефектов металла, получить изображение необходимого для декодирования информационных полей лазерных отпечатков качества.

5. Использование компьютерных технологий фирмы National Instruments при обработке изображений нанобар-кодов позволило реализовать экспериментальный прототип модульного считывателя информационных полей с металла.

6. Использование оригинальной программы декодирования для дешифровки оцифрованных изображений обеспечило 100 % точность передачи закодированной в нанобар-коде информации на всех испытанных образцах.

Список литературы

1. Афонькин М.Г. Формирование цветных структур на поверхности металла лазерным излучением: монография / М.Г. Афонькин, Е.В. Ларионова. СПб.: изд. СЗТУ, 2010. 205 с.

2. Способ получения цветного изображения на металлических поверхностях: пат. № 2357844 Рос. Федерация: МПК В 23 К 26/18 В 41 М 5/00 / Афонькин М.Г., Звягин В.Б., Ларионова Е.В., Пряхин Е.И.; заявитель и патентообладатель Северо-Западный государственный заочный технический университет (СЗТУ) № 2007129546/02; заявл. 01.08.2007 г.; опубли. 10.02.2009 г., Бюл. № 16.

3. Горный С.Г., Емельченков И.Р. Лазерная маркировка. «Лазерная технология и ее применение в металлообработке» Л., ЛДНТП, 1990 г. С. 42–70.

4. Махов В.Е., Репин О.С. Исследование возможностей систем видеоконтроля на базе решений фирмы National Instruments на станках рулонной печати. Современное Машиностроение. Наука и образование: материалы 2-й Международной научно-практической конференции / под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012, с. 500–510.

References

1. Afonkin M.G., Larionova E.V. (2010) *Formirovanie tsvetnykh struktur na poverkhnosti metalla lazernym izlucheniem: monografiya* [Formation of colored structures on a metal surface by laser radiation: monograph], izd. SZTU [Ed. SZTU], St. Petersburg, p. 205.
2. *Sposob polucheniya tsvetnogo izobrazheniya na metallicheskih poverkhnostyakh* [Tekst]: pat. № 2357844 Ros. Federatsiya: MPK B 23 K 26/18 B 41 M 5/00 / Afon'kin M.G., Zvyagin V.B., Larionova E.V., Priakhin E.I.; zayavitel' i patentoobladatel' Severo-Zapadnyi gosudarstvennyi zaochnyi tekhnicheskii universitet (SZTU) № 2007129546/02; zayavl. 01.08.2007; opubl. 10.02.2009, Byul. № 16. [A method for producing a color image on metal surfaces [Text]: stalemate, no. 2357844 Russian Federation: IPC B 23 K 26,18 B 41 M 5,00, Afonkin M.G., Zvyagin V.B., Larionova E.V., Priakhin E.I.; applicant and patentee Northwestern State Technical University (SZTU), no. 2007129546,02; appl. 01.08.2007, publ. 10.02.2009, Bull., no. 16].
3. Gorniy S.G., Yemelchenkov I.R. (1990) *Lazernaya markirovka. «Lazernaya tekhnologiya i ee primeneniye v metalloobrabotke»* [Laser marking. «Laser technology and its application in metal»], LDNTP [LDNTP], St. Petersburg, pp. 42–70.
4. Makhov V.E., Repin O.S. (2012) *Issledovanie vozmozhnostei sistem videokontrolya na baze reshenii firmy National Instruments na stankakh rulonnoi pechati. Sovremennoye Mashinostroenie. Nauka i obrazovanie: materialy 2-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii / pod red. M.M. Radkevicha i A.N. Evgrafova* [Feasibility study on the basis of video surveillance systems solutions company National Instruments to roll printing machines. Modern Engineering. Science and Education: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, ed. M.M. Radkevich and A.N. Evgrafova], *Izd-vo Politekhn. un-ta* [Univ Polytechnic. University Press], St. Petersburg, pp. 500–510.