ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59736— 2021

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Технологический процесс

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт физической оптики, оптики лазеров и информационных оптических систем Всероссийского научного центра «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ФГУП «НИИФООЛИОС ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова») и Обществом с ограниченной ответственностью «Лазерный центр» (ООО «Лазерный центр»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 296 «Оптика и фотоника»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2021 г. № 1115-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Оптика и фотоника

ЛАЗЕРНАЯ МАРКИРОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Технологический процесс

Optics and photonics.
Laser marking of metal products.
Technological process

Дата введения — 2022—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к технологическому процессу (ТП) лазерной маркировки (ЛМ) металлических изделий для нанесения на них информационных и идентификационных изображений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.003 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.004 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.005 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.012 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.019 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

ГОСТ 12.1.040 Система стандартов безопасности труда. Лазерная безопасность. Общие положения

ГОСТ 12.2.003 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.3.002 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.026 Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний

ГОСТ 15150—69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды

ГОСТ 26828 Изделия машиностроения и приборостроения. Маркировка

ГОСТ 30494 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

Издание официальное

ГОСТ 31581 Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий

ГОСТ ЕН 12626 Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки для лазерной обработки

ГОСТ IEC 60825-1 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей

ГОСТ Р 51839.1 Защитные технологии. Средства защиты. Маркировка лазерная. Классификация. Общие технические требования

ГОСТ Р 58373 (ИСО 11145) Оптика и фотоника. Лазеры и лазерное оборудование. Термины и определения

СП 52.13330.2016 «СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение»

СП 56.13330.2011 «СНиП 31-03-2001 Производственные здания»

СП 60.13330.2016 «СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 58373, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **лазерный пучок:** Лазерное излучение, направленное в пространстве.

3.1.2 **лазерная маркировка:** Нанесение идентификационных изображений на поверхность изделия с использованием лазерного излучения для визуального и (или) машинного детектирования информации.

3.1.3 **лазерная маркирующая головка:** Оптическое устройство, предназначенное для преобразования энергии лазерного излучения и манипулирования энергетическим потоком с целью нанесения лазерной маркировки на поверхности изделия.

3.1.4 **лазерный модуль:** Часть лазерной технологической системы, содержащая лазерный излучатель.

3.1.5 **установка для лазерной маркировки:** Технологический комплекс устройств, устройство или его части, предназначенные для выполнения процесса лазерной маркировки.

3.1.6 **произведение параметров пучка:** Характеристика качества излучения лазерного пучка, вычисляемая как произведение диаметра пучка в перетяжке на полный угол расходимости.

3.1.7 **параметр М2 лазерного пучка;** М2: Мера того, насколько лазерный пучок может быть сфокусирован, с данной угловой расходимостью, ограниченной числовой апертурой фокусирующей линзы.

3.2 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

КПД — коэффициент полезного действия;

ЛМ — лазерная маркировка;

ЛУ — лазерная установка;

НД — нормативный документ;

ПО — программное обеспечение;

СПЛ — система перемещения луча;
ТД — технологическая документация;
ТП — технологический процесс.

4 Общие требования

4.1 ТП ЛМ включает в себя следующие этапы:
- подготовку технологического оборудования и материалов;
- подготовку и механическую обработку деталей;
- реализацию ЛМ;
- контроль качества ЛМ.

4.2 В результате реализации ТП ЛМ на металлическом изделии должны быть получены информационные и идентификационные изображения с геометрическими параметрами, соответствующими цифровой модели, и контрастностью, достаточной для ее визуального и машинного детектирования (считывания).

4.3 Требования к помещениям

ТП ЛМ следует осуществлять в условиях производственных помещений, оборудованных вентиляцией и отоплением в соответствии с требованиями СП 60.13330.2016, норм проектирования освещения по СП 52.13330.2016, имеющих весь необходимый перечень оборудования для выполнения ТП ЛН, а также транспортирования деталей, в том числе крупногабаритных.

Производственные помещения должны соответствовать требованиям СП 56.13330.2011, ГОСТ 30494.

4.4 Требования к технологическому оборудованию и оснастке

4.4.1 Лазерное технологическое оборудование должно соответствовать требованиям ГОСТ IEC 60825-1, ГОСТ ЕН 12626, ГОСТ 12.1.040, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ Р 51839.1.

4.4.2 Для реализации ТП используют ЛУ с достаточными энергетическими характеристиками для осуществления ЛМ, измерительную аппаратуру, обеспечивающую контроль заданных технологических параметров режима ЛМ.

4.4.3 Для реализации ТП ЛМ применяют ЛУ, состоящую из лазерного модуля, лазерной маркирующей головки, СПЛ и изделия.

4.4.4 Излучатель и лазерная маркирующая головка, применяемые в ТП ЛМ, должны соответствовать следующим требованиям:
- КПД — не менее 20 %;
- длина волны — минимальная из доступных к использованию, мкм;
- произведение параметров пучка — менее 10 мм · мрад;
- параметр М2 — не более 1,5,
- диаметр лазерного пучка в перетяжке — не более 40 мкм;
- стабильность выходной мощности — не менее 3 %;
- пиковая мощность — не менее 10 кВт;
- средняя мощность — от 5 до 100 Вт;
- плотность мощности сфокусированного излучения — от 10^5 до 10^7 Вт/см^2;
- диапазон частот повторения импульсов — от 1,2 до 1000 кГц;
- длительность импульсов — от 1 до 200 нс;
- ресурс работы — не менее 20 000 ч.

4.4.5 Для реализации ТП ЛМ в ЛУ применяют СПЛ относительно изделия следующих классов:
- СПЛ при неподвижном положении изделия;
- СПЛ с неподвижным лучом;
- комбинированные СПЛ с подвижным лучом при подвижном изделии.

СПЛ относительно изделия должна обеспечивать скорости в диапазонах от 1 мм/с при практическом отсутствии вибрации.

4.4.6 Управление ЛУ осуществляют посредством использования ПО, которое поддерживается ее аппаратной частью.

4.4.7 Технологическое оборудование и оснастка должны быть автоматизированы полностью или частично. Технологическое оборудование должно обеспечивать стабильность основных параметров режимов ТП ЛМ, возможность их регулирования и контроля.

4.4.8 Вид климатического исполнения технологического оборудования — УХЛ4 по ГОСТ 15150—69.

4.4.9 Технологическая оснастка должна быть изготовлена из негорючих материалов, обеспечивать надежное крепление обрабатываемого изделия и точность позиционирования изделия в соответствии с требованиями ТД.

4.4.10 Технологическое оборудование и оснастка должны исключать выход отраженного (диффузного или зеркального) лазерного излучения за пределы рабочей зоны.

4.5 Требования к поверхностям изделий

4.5.1 ЛМ наносят на поверхности новых и изношенных изделий. ЛМ на поверхности изделий, бывших в эксплуатации, выполняют после подготовки поверхности.

4.5.2 Перед началом ТП ЛМ на поверхности изделия должны быть созданы условия для наилучшего поглощения лазерного излучения, которые зависят от длины волны используемого излучателя.

4.5.3 На подготовленных к ЛМ поверхностях изделий не должно быть следов коррозии, грязи, масла, краски, дефектов в виде вскрытых пор, раковин, трещин, прожогов, заусенцев.

4.6 Требования к производственному персоналу

К работе на лазерном технологическом оборудовании допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение, практическую подготовку и аттестацию в соответствии с требованиями НД, имеющие допуск на проведение ТП ЛМ.

4.7 Требования безопасности

4.7.1 Требования безопасности при осуществлении ТП ЛМ — по ГОСТ 12.3.002 и в соответствии с инструкциями по охране труда предприятия.

4.7.2 Требования безопасности к конструкции и эксплуатации лазерного технологического оборудования — по ГОСТ 31581, ГОСТ ЕН 12626, ГОСТ 12.1.040 и в соответствии с [1].

4.7.3 Требования безопасности к размещению лазерного технологического оборудования и к помещениям для данного оборудования — по ГОСТ 31581.

4.7.4 Требования электробезопасности к применяемому технологическому оборудованию и оснастке — по ГОСТ 12.1.019 и в соответствии с [2], правила безопасности при эксплуатации электроустановок — по [3].

4.7.5 Технологическое оборудование должно быть заземлено. Сечение заземляющих проводников — не менее сечения подводящих проводников; электрическое сопротивление между шиной заземления и узлами технологического оборудования, которые могут оказаться под напряжением, — не более 0,1 Ом по ГОСТ 12.1.019 и в соответствии с [2].

4.7.6 Требования пожарной безопасности — по ГОСТ 12.1.004, правила противопожарного режима в производственном помещении — в соответствии с [4].

4.7.7 Требования безопасности при эксплуатации сосудов, работающих под давлением, — в соответствии с [5].

4.7.8 Уровни шума и нормы вибрации на рабочем месте не должны превышать предельно допустимых значений по ГОСТ 12.1.003 и ГОСТ 12.1.012 соответственно.

4.7.9 Содержание вредных химических веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций по ГОСТ 12.1.007. Допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне — по ГОСТ 12.1.005.

4.7.10 Работники, задействованные в ТП ЛМ, должны быть обеспечены специальной одеждой, обувью и средствами индивидуальной защиты в соответствии с требованиями НД.

4.7.11 Подъем и перемещение тяжестей (изделий массой более 16 кг) следует выполнять с применением подъемных механизмов.

4.7.12 Поверхности ограждений и перемещающихся узлов технологического оборудования должны быть окрашены в сигнальные цвета по ГОСТ 12.4.026. Для указания места нахождения огнетушителя или направления движения к этому месту следует использовать соответственно основной знак F04 или комбинированный знак пожарной безопасности по ГОСТ 12.4.026. На дверях помещений и

лазерном технологическом оборудовании, на излучателе и в зоне обработки должны быть нанесены предупреждающие знаки W10 по ГОСТ 12.4.026; на электрооборудовании, дверцах силовых щитков, электротехнических шкафах — предупреждающие знаки W08 по ГОСТ 12.4.026.

5 Требования к технологическому процессу лазерной маркировки

5.1 Общие положения

5.1.1 ТП ЛМ выполняют по ТД, разработанной на основании рабочих чертежей и настоящего стандарта.

5.1.2 В ТД должен быть установлен технологический режим ЛМ — совокупность параметров ТП ЛМ. Значения параметров ТП ЛМ должны быть установлены в ТД.

5.1.3 Требования к ЛМ и ТП — по ГОСТ Р 51839.1 и ГОСТ 26828.

5.2 Способы реализации технологического процесса лазерной маркировки

5.2.1 ЛМ на поверхности изделия получают следующими способами:

- за счет разрушения поверхности;
- изменения топографии поверхности;
- сглаживания текстурированных поверхностей;
- инициирования термохимических реакций между компонентами в дискретных слоях.

Изображения изделий с ЛМ, получаемой различными способами ТП ЛМ, приведены на рисунках 1—4.

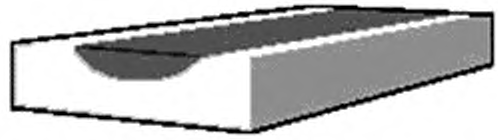


Рисунок 1 — Модификация оптических свойств (лазерный отжиг)



Рисунок 2 — Модификация топологии поверхности



Рисунок 3 — Удаление материала и формирование микроуглублений

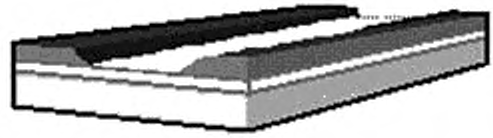


Рисунок 4 — Сочетание первичной модификации (1/2/3) вторичного процесса усиления внесением или обнажением красителя (комбинированная ЛМ)

5.2.2 Как правило, при нанесении ЛМ на изделие в качестве первичного ТП используют процесс формирования углубления за счет разрушения (абляции) поверхности (лазерная гравировка) изделия и связанную с этим изменением контрастность.

5.2.3 Контрастность ЛМ усиливают вторичным ТП путем локализованного внесения контрастирующего красителя или нанесения двухслойных (многослойных) материалов-покрытий.

5.2.4 Усиление контрастности ЛМ вторичным ТП осуществляют локализованным осаждением красителя путем создания различных адгезионных свойств фона и участка изображения. Как правило, используют нанесение удаляемого покрытия в качестве маски. В данном случае усиление контрастности ЛМ является окрашиванием по маске, которое выполняют механическим, химическим, абразивным или электрохимическим способом.

5.2.5 Усиление контрастности ЛМ вторичным ТП осуществляют путем нанесения двухслойных (многослойных) материалов-покрытий, внешний удаляемый испарением (абляцией) слой которых контрастирует с нижележащим слоем. Рекомендуется усиливать контрастность ЛМ путем наклеивания двухслойных пленок с внешним испаряемым слоем (различных цветов и оттенков) и белой остающейся подложкой. Допускается предварительное нанесение такого покрытия в виде жидкости (окрашивание).

5.2.6 При синтезе красителей на поверхности материалов под локальным воздействием лазерного излучения в результате осаждения из газовой или жидкой фазы допускается объединять первичные ТП модификации поверхности и вторичные ТП усиления контрастности.

5.2.7 Рекомендации по оптимальным параметрам ТП ЛМ с использованием различных излучателей, выбору места маркировки, подготовке поверхности изделия, применению специализированных материалов приведены в приложении А.

6 Требования к качеству лазерной маркировки

6.1 Общие требования к качеству ЛМ — по ГОСТ 26828. Требования к ЛМ, т. е. изображению и содержанию маркировочных данных на изделии из заданного материала, должны быть установлены в ТД или НД на изделие конкретного типа.

6.2 Качество ЛМ обеспечивают путем выбора оптимальных технологических параметров ТП ЛМ, схемы управления лучом (векторной, растровой, масочной или комбинированной), использования программно-аппаратных средств для создания развертки лазерного излучения и применения конкретного технологического способа.

6.3 Результат ТП ЛМ оценивают качественно по совокупности параметров точности, эргономики, надежности и экономики.

6.3.1 Эргономические показатели — это субъективное восприятие полученного изображения, образованного в месте воздействия лазерного излучения вследствие модификации поверхности и образования окрашенных слоев. При этом качество ЛМ оценивают по контрастности и четкости линий. Четкость изображения зависит от переходной зоны между фоном и нанесенным в результате ЛМ следом от взаимодействия излучения с материалом. Максимальную субъективную оценку имеет результат маркировки, в котором зрительно (без применения специальных средств) такую границу не фиксируют. Следует учитывать, что субъективность в восприятии контрастности и четкости изображения зависит от масштаба изображения (соотношением размеров изображения и толщины линий, его формирующих).

6.3.2 Полученные при реализации ТП ЛМ изображения на поверхностях изделий должны соответствовать следующим требованиям:

- точность изготовления — не менее 100 мкм;
- повторяемость изготовления — не менее 50 мкм;
- контрастность — в соответствии с НД на конкретное изделие;

- качественное визуальное восприятие — в соответствии с НД на конкретное изделие;
- передача цветов (прямая или полутонами) — в соответствии с НД на конкретное изделие;
- износоустойчивость — в соответствии с НД на конкретное изделие;
- время эксплуатации — в соответствии с НД на конкретное изделие.

7 Методы контроля качества лазерной маркировки

7.1. При контроле качества ЛМ проводят:
- проверку внешнего вида;
- проверку размеров;
- испытания на стойкость к внешним воздействующим факторам по ГОСТ 21964.

7.2. Контроль качества ЛМ при различных видах испытаний проводят, если такие требования установлены в НД на изделия конкретных типов.

7.3. Контроль качества ЛМ проводят в процессе испытаний изделий.

7.4. При невозможности контроля качества маркировки непосредственно на изделии (крупные и тяжелые изделия или изделия единичного производства) допускается проводить контроль качества маркировки при различных видах испытаний на контрольных образцах или обеспечить качество маркировки гарантируемым выполнением ТП.

7.5 Качество ЛМ контролируют методами по ГОСТ 26828.

Приложение А
(рекомендуемое)

Оптимальные параметры и режимы технологического процесса лазерной маркировки

А.1 Общие положения

При проведении ТП ЛМ следует учитывать, что значение импульсной мощности $P_{имп}$ является основным параметром выполнения ТП ЛМ тем или иным способом, при этом значение $P_{ср}$ используют для задания требуемой скорости перемещения лазерного луча V при данном значении его диаметра (ширины отлечатка) $d_л$. Оптимальные параметры ТП ЛМ, как правило, реализуют в режиме «перекрывающих импульсов» путем достижения определенного соотношения частоты следования импульсов излучения и скорости ЛМ. При этом протекающие в течение одного импульса процессы изменения A, связанные с активацией химических процессов, могут при накладывании импульсов друг на друга привести к возникновению положительных обратных связей и увеличению контрастности образующихся продуктов химической реакции, если их оптические свойства отличаются от оптических свойств исходного вещества.

Параметр $J_м$ — число импульсов излучения, приходящихся на длину перемещения луча, вычисляют по формуле

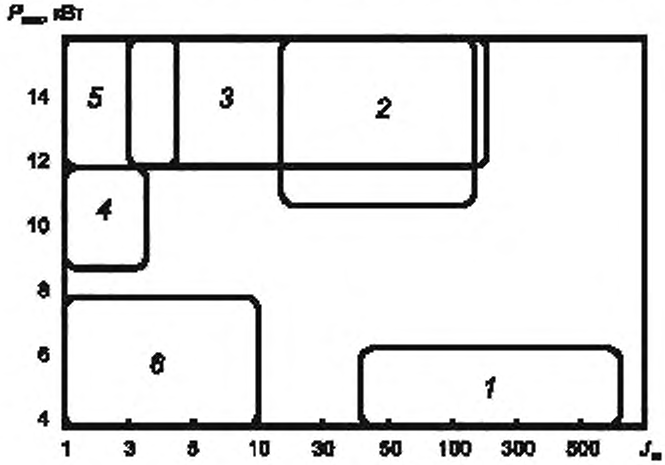
$$J_м = \frac{d_л f}{V}, \qquad (А.1)$$

где $d_л$ — диаметр лазерного луча, мм;

f — частота подачи импульсов, Гц;

V — скорость перемещения лазерного луча, мм/с.

Значение параметра $J_м$ используют для определения режима «жесткости» ЛМ и импульсной мощности $P_{имп}$. Поле оптимальных режимов ТП ЛМ для Nd-АИГ лазера представлено на рисунке А.1.



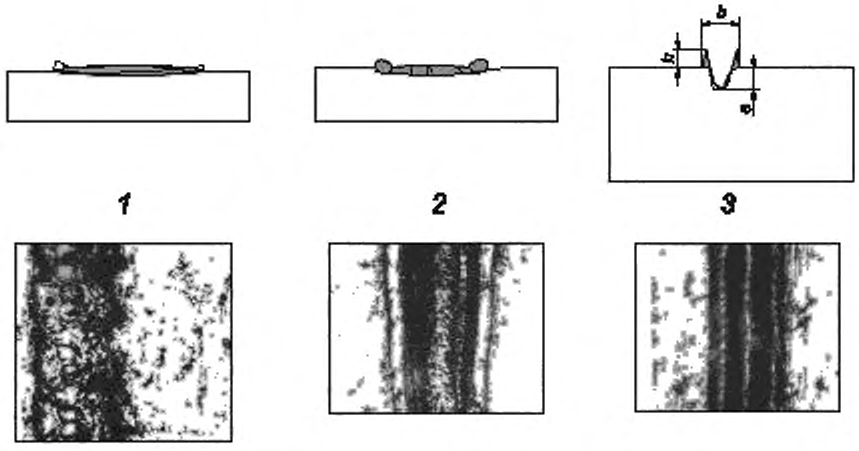
1 — ЛМ металла термовлиянием; *2* — ЛМ металла проплавлением, *3* — ЛМ металла испарением; *4* — ЛМ по нанесенному минеральному покрытию, *5* — ЛМ по светлому пластиковому покрытию; *6* — ЛМ по темному пластиковому покрытию

Рисунок А.1 — Поле оптимальных режимов ТП ЛМ для Nd-АИГ лазера

Данную форму представления поля оптимальных режимов ТП ЛМ в координатах $P_{имп}$ — $J_м$, основанную на субъективном восприятии результатов ЛМ, рекомендуется применять для приблизительного определения области необходимых параметров ТП ЛМ.

Максимально оптимальные значения параметров ТП ЛМ получают в режиме сканирования по круговому закону.

Состояние поверхности металла в зоне ЛМ приведено на рисунке А.2.



1 — ЛМ термовлиянием, *2* — ЛМ проплавлением; *3* — ЛМ испарением

Рисунок А.2 — Состояние поверхности металла в зоне ЛМ

Результат маркировки оценивают качественно по совокупности точностных, эргонометрических, надежностных и экономических параметров. Эргонометрические параметры оценивают по субъективному восприятию полученного изображения, основанному на оценке контрастности и четкости линий, формирующих изображение.

А.2 Лазерная маркировка термовлиянием

ЛМ термовлиянием заключается в изменении цвета и структуры материала под воздействием тепла, выделяющегося в результате поглощения лазерного излучения. Следует учитывать, что данный способ отличается невысокой производительностью. ЛМ термовлиянием, как правило, применяют с целью сохранения геометрических параметров поверхности и недопустимости образования концентраторов напряжения, термических напряжений и деформаций. Основные технологические параметры данного ТП ЛМ — это непрерывный режим или близкое к нему генерирование лазерного излучения и относительно низкая интенсивность излучения в фокусе на уровне 10^3—10^4 Вт/см^2. ЛМ термовлиянием маркируют изделия из металлов, окислы которых образуются при указанных условиях и контрастируют с фоном. Такими металлами являются стали с полированной (матированной) поверхностью.

ТП ЛМ термовлиянием отличается более низким, чем при маркировке испарением, уровнем интенсивности лазерного излучения, при котором температура поверхности не достигает $T_{кип}$, а происходит только поверхностный нагрев или оплавление поверхности материала. В этом случае процесс взаимодействия лазерного излучения с материалом может быть разделен на следующие стадии:

- поглощение лазерного излучения материалом;
- нагревание материала без разрушения до температуры полиморфных превращений и инициация химических реакций;
- остывание поверхности с образованием контрастирующих продуктов химических реакций и структуры, отличной от первоначальной.

Одним из основных параметров данного ТП ЛМ является максимальная глубина проплавления. Так как температура поверхности металлического изделия должна быть не более $T_{кип}$, то максимальную глубину проплавления h_{max}, мм, вычисляют по формуле

$$h_{max} = r_0/2(T_{кип}/T_{пл} - T_{пл}/T_{кип}), \quad (А.2)$$

где $r_0/2$ — радиус пятна нагрева, мм;

$T_{кип}$ — температура кипения, °С;

$T_{пл}$ — температура плавления, °С.

Необходимое значение максимальной глубины проплавления можно получить при увеличении длительности импульса лазерного излучения до $10r_0^2/a$ и одновременном снижении плотности потока до минимально возможного значения $q = kT_b/r_0$. Применение более коротких импульсов при соответствующем увеличении мощности лазерного излучения приводит к уменьшению глубины проплавления и к возможному переходу процесса в режим испарения. Следует учитывать, что температура поверхности металлического изделия при маркировке проплав-

лением не достигает $T_{кип}$, при этом происходит нагрев металла выше температур полиморфных превращений, что может привести к изменению первоначальной структуры зоны термического влияния и к потере необходимых механических свойств поверхности изделия. Для ЛМ термовлиянием применяют импульсное и непрерывное лазерное излучение.

Одним из способов формирования покрытий является химическое осаждение из газовой фазы (ХОГФ). При реализации ХОГФ необходимые реагенты в газообразном состоянии подают в зону осаждения, в которой они гетерогенно реагируют, образуя твердофазную пленку на обрабатываемом изделии. Как правило, инициирование химических реакций, приводящих к осаждению пленки, осуществляется за счет нагрева зоны взаимодействия. Для реализации ТП ЛМ термовлиянием рекомендуется выполнять ХОГФ с применением источника лазерного излучения для локального кратковременного нагрева приповерхностных слоев обрабатываемого изделия без изменения свойств обрабатываемого материала. Например, при нагреве поверхности титана лазерным излучением в присутствии азота на поверхности металлического изделия образуется золотистый слой нитрида, формирующий изображение.

А.3 Лазерная маркировка проплавлением

ЛМ проплавлением заключается в формировании заданного изображения путем переплавления материала в зоне воздействия лазерного излучения. При этом плотность мощности лазерного излучения в фокусе составляет 10^4—10^5 Вт/см^2. Контрастность и четкость изображения повышаются за счет появления микрорельефа в дополнение к окислению.

А.4 Лазерная маркировка испарением (лазерное гравирование)

ЛМ испарением (лазерное гравирование) заключается в изменении геометрических параметров поверхности обрабатываемого изделия в результате разогрева ее до температуры интенсивного испарения под действием лазерного излучения и удаления материала из зоны воздействия при испарении и разбрызгивании. В результате на поверхности изделия образуется «канавка», которая формирует изображение. Маркировка, нанесенная на изделия данным способом, имеет высокое качество и долговечна, при этом следует учитывать, что для особо ответственных деталей требуется проведение дополнительной оценки надежностных показателей (коррозионной стойкости, усталостной прочности и т.п.). Рекомендуемые параметры ЛМ испарением — высокая интенсивность излучения в фокусе на уровне 10^5—10^7 Вт/см^2. Контрастность полученного изображения может быть многократно повышена дополнительной обработкой, например, «внедрением» красителя в образованную «канавку».

А.5 Лазерная маркировка по нанесенному покрытию

Для получения изображения предварительно нанесенное на изделие покрытие удаляют лазерным излучением, обнажая его металлическую поверхность. Требуемая плотность мощности лазерного излучения зависит от типа и толщины покрытия и составляет 10^4—10^7 Вт/см^2.

А.6 Формирование многоцветного изображения на поверхности металлического изделия способом цветной лазерной маркировки

Возможности лазерной маркировки и гравировки (информационные, декоративные и художественные) поверхности металлических изделий могут быть существенно расширены, если высокую разрешающую способность и точность изображения, гибкость, оперативность и простую перестройку, бесконтактность и минимальное деформирующее воздействие на деталь, высокую износостойкость изображения дополнить возможностью управления цветом наносимого изображения.

Цветную лазерную маркировку и гравировку применяют в промышленном производстве (нанесение цветных логотипов на выпускаемую продукцию с целью исключения возможности подделки), при изготовлении рекламной продукции (сувенирная продукция, визитки, шильдики, панели приборов), в ювелирном производстве, декоративно-прикладном искусстве и т. п. Цветная лазерная маркировка и гравировка основаны на эффекте окисления металлов на воздухе при нагревании — при окислении наблюдается образование «цветов побежалости», каждый из которых соответствует определенному (одному из возможных) окислу данного металла.

Нагревая поверхность обрабатываемого металлического изделия импульсным лазерным излучением, можно управлять геометрической структурой (топологией) образующихся окислов и степенью окисления металлов и создавать полноцветное изображение.

Библиография

[1] Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.3359—2016 — Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

[2] Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (утверждены приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 13 января 2003 г. № 6)

[3] Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. ПОТЭУ (утверждены приказом Минтруда России от 15 декабря 2020 г. № 903н)

[4] Правила противопожарного режима в Российской Федерации (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479)

[5] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 032/2013 — О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением

УДК 62-777.2:006.354 ОКС 25.220.99

Ключевые слова: лазерная маркировка металлических изделий, технологический процесс

Редактор *З.Н. Киселева*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *М.В. Лебедевой*

Сдано в набор 13.10.2021. Подписано в печать 01.11.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,58.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва. Нахимовский пр-т. д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru