

Прямоугольные электрические соединители.

Лазерная маркировка электрических соединителей

В статье рассмотрены основные требования, предъявляемые к маркировке электрических соединителей. Представлены типовые виды маркирования. Рассмотрены теоретические основы процесса лазерного маркирования, практика и перспективы его использования.

**Александр Сафонов
Леонид Сафонов**

edet@online.debryansk.ru

Введение

Наличие маркировки с заданным объемом информации является обязательным условием выполнения требований нормативно-технической документации (НТД) в части обеспечения идентификации и прослеживаемости, то есть возможности получения в течение всего жизненного цикла соединителя необходимой информации, начиная от приобретения материала, изготовления комплектующих, сборки, испытаний, приемки, хранения, эксплуатации и заканчивая утилизацией.

Согласно ГОСТ 2.314 «Указания на чертежах о маркировании и клеймении изделий» маркировка — это совокупность знаков, характеризующих изделие, например, обозначение, шифр, номер партии, порядковый номер, дата изготовления, товарный знак предприятия-изготовителя, марка материала, группа селективности, монтажные знаки и т. д., а маркирование — это процесс нанесения на изделие знаков, характеризующих это изделие.

Проблема нанесения качественной маркировки в необходимом объеме существовала всегда. Это подтверждают такие факты, как отсутствие в НТД ограничения количества различных способов маркировки, а также допущение сокращенных ее вариантов.

В настоящее время, в связи с интенсивной миниатюризацией радиоэлектронных компонентов, в том числе и электрических соединителей, эта проблема обострилась еще больше. Использование традиционных методов маркировки становится крайне затруднительным, так как они не всегда в полном объеме обеспечивают выполнение все возрастающих требований к качеству и точности ее нанесения. Сегодня ключом к решению возникших проблем может стать технология лазерной маркировки, которая по своим возможностям значительно превосходит применяемые способы.

Лазерная маркировка позволяет наносить необходимую информацию на изделие при помощи лазерных лучей. Она представляет собой более чистый и экологически приемлемый метод, чем традиционные методы маркировки. Поскольку работу лазерного луча можно легко запрограммировать на ком-

пьютере, лазерная маркировка является более гибким и настраиваемым методом в сравнении с системами, где используются чернила, маркировочные краски, шаблоны и другие необходимые технологические материалы и приспособления. Лазерная маркировка в целом требует значительно меньше расходов, чем традиционные методы, так как для нее не требуется дорогостоящей технологической подготовки производства и расходных материалов.

Несмотря на то, что технология лазерной маркировки появилась несколько десятилетий назад, ее развитие шло крайне медленно. Одной из причин стало то, что лазерные системы до недавних пор могли работать лишь с ограниченным набором материалов и их цветов. Другим препятствием была высокая стоимость и дефицит самого оборудования для лазерной маркировки.

Благодаря решению многих вопросов, которые сдерживали внедрение лазерной маркировки, сейчас возрожден интерес к этой прогрессивной технологии.

В настоящее время маркировку можно наносить практически на все материалы и классы пластмасс (таблица), а также другие металлические и лакокрасочные материалы. В то же время стало более доступным, как по цене, так и по модельному ряду, оборудование импортного и отечественного производства.

Наибольшее распространение для маркировки пластмасс получили лазеры на основе углекислого газа (CO_2). Это наиболее дешевые лазеры по сравнению с другими, они способны работать на высоких скоростях и подходят для подавляющего большинства типов маркировки. Цена на полностью укомплектованные маркировочные системы на основе CO_2 -лазера — около 1 млн рублей.

Лазеры на основе алюмоиттриевого граната с неодимом, в сравнении с CO_2 -лазерами, являются более гибкими моделями и позволяют наносить более точную маркировку с большей производительностью, но их стоимость в среднем вдвое превышает стоимость систем на CO_2 -лазерах.

На российском рынке это оборудование, как правило, представлено импортными моделями, выпущенными на Тайване, в Китае, Австрии и др. Российские

Таблица. Перечень полимеров, поддающихся лазерной маркировке

№ п/п	Наименование класса полимера
1	Полиэтилен
2	Полипропилен
3	Акрилонитрил-бутадион-стирол (ABS)
4	Полистирол
5	Поликарбонат
6	Полиэтилентерефталат (PET)
7	Полибутилентерефталат
8	Полициклопропантерефталат
9	Акриловые волокна
10	Поливинилхлорид
11	Эпоксидная смола
12	Нейлон
13	Фенольные смолы
14	Ацеталь
15	Полисульфоны
16	Полиуретаны
17	Полифениленсульфид
18	Полиэфирсульфон
19	Сплавы поликарбоната/акриловых смол
20	Сплавы поликарбоната/ABS
21	Эластоласты термопластичного олефина
22	Полициклопропантерефталат
23	Жидкие кристаллические полимеры

фирмы, например, ООО «Лазерный центр» и «Центр лазерных технологий», производят несколько моделей маркировщиков со сканерными системами.

Наибольшее применение для маркировки в последнее время нашли лазерные технологические комплексы (ЛТК) с импульсными лазерами. Сейчас на российском рынке преобладают модели отечественных производителей. Как правило, по своим параметрам лучшие модели, выпускаемые российскими фирмами, не уступают западным аналогам, а цена отечественных ЛТК значительно ниже. Общепризнанным лидером среди российских компаний считается НТЦ «Лазеры и аппаратура ТМ».

Требования к маркировке соединителей

НТД и, в частности, ГОСТ 30668–2000 «Изделия электронной техники. Маркировка» предусматривают следующие требования к маркировке электрических соединителей:

- Маркировка должна быть нанесена на поверхность соединителя, доступную для осмотра.
- Маркировка может быть нанесена любым способом: краской, гравированием, травлением, литьем или другими способами, обеспечивающими ее разборчивость и прочность.
- Маркировка не должна влиять на изменение параметров соединителя.
- Цвет маркировочных знаков, нанесенных краской, должен быть контрастен цвету изделия. Предпочтительна маркировка темного цвета на светлом фоне (прямой контраст). Маркировка должна содержать:
- товарный знак или код предприятия-изготовителя;
- дату изготовления;

- обозначение типа (типономинала, типоразмера) или вида изделия;
- значение основных параметров;
- климатическое исполнение.

Допускается устанавливать сокращенный состав маркировки, а также при необходимости ее дополнять:

- Маркировка должна быть разборчивой и соответствовать образцам внешнего вида соединителей, а также стандартам, техническим условиям (ТУ) и конструкторской документации на соединитель.
- Маркировка должна быть прочной и стойкой к воздействию очищающих растворителей. Маркировка должна оставаться разборчивой и прочной при эксплуатации, транспортировании и хранении соединителей в условиях, установленных в стандартах и ТУ на соединители.

Виды маркирования

Существуют различные способы нанесения маркировки на электрические соединители. К традиционным способам относится маркирование:

- краской (вручную, по трафаретам, струйным методом и др.);
- ударным способом;
- горячим тиснением;
- гравированием;
- травлением;
- литьем или прессованием.

Все перечисленные способы нанесения маркировки имеют преимущества и недостатки. Недостатки связаны с применением дорогостоящего специального технологического оснащения, большого количества расходных материалов, значительными энергетическими затратами, увеличением продолжительности технологического цикла, а также с требуемой высокой квалификацией работников. И, что самое главное, они не всегда позволяют обеспечить все возрастающие требования к маркировке.

Миниатюризация электрических соединителей резко ограничивает имеющиеся возможности традиционных способов нанесения маркировки, в нужных объемах с необходимым качеством на конкретных площадях, определенных конструкторской документацией (КД).

Наиболее выгодно с этой точки зрения отличается лазерный способ нанесения маркировки, он по своим техническим возможностям лишен многих недостатков, присущих традиционным способам маркировки.

Впервые способ лазерной маркировки электрических соединителей в России был применен на ФГУП «Карачевский завод «Электродеталь»» в 2008 году, и, благодаря обеспечению возможности высококачественной маркировки, лазерная технология на данном предприятии вытеснила традиционные способы маркировки.

Затем технологию лазерной маркировки электрических соединителей внедрили и другие предприятия отрасли, такие как ОАО «Атлант».

Этому предшествовала большая экспериментально-опытная работа, которая содержала от-

работку режимов маркировки на различных материалах в широких диапазонах длин волн, плотности мощностей и продолжительности импульсов лазерного излучения.

Отработка четкости и контрастности маркировки проводилась на таких материалах, как алюминиевые сплавы, покрытые молотковой эмалью МЛ-165; стали, покрытые цинком, кадмием и никелем; металлизированные пластмассы (пластмассы, покрытые никелем); термореактивные и термопластичные пластмассы. Определенную проблему при нанесении маркировки вызывали прозрачные пластмассы, о которой мы поговорим ниже.

Оценка качества маркировки проводилась по следующим параметрам:

- соответствие внешнего вида требованиям НТД;
- стойкость к истиранию;
- стойкость к действию очищающих растворителей;
- стойкость к плесневым грибам;
- стойкость к соляному (морскому) туману.

Испытанию на воздействие плесневых грибов и соляного тумана подвергались замаркированные лазерным способом детали из вышеперечисленных материалов с различными видами гальванических и лакокрасочных покрытий. Этот вид испытаний проводился в лабораториях «Электронстандарта» г. Санкт-Петербурга, по остальным параметрам — в испытательном техническом центре (ИТЦ) ФГУП «Карачевский завод «Электродеталь»».

Испытания подтвердили соответствие качества лазерной маркировки требованиям НТД по всем параметрам.

Теоретические основы процесса лазерной маркировки

Лазерные технологии появились в 1960-х годах, и с тех пор область их применения значительно расширилась: от обычных считывателей штрихкода с изделий до высокоинтеллектуального промышленного оборудования, к которому можно отнести и автоматизированные лазерные установки для маркирования изделий электроники.

Известно, что лазер есть не что иное, как излучатель света, но это устройство гораздо сложнее обычной лампочки, излучающей световые лучи во всех направлениях в широком диапазоне длин волн. Лазер же работает в определенном диапазоне длин волн, и его луч может быть точно направлен на объект обработки.

Лазерные установки позволяют наносить маркировку практически на все виды материалов, в том числе и на пластмассы, применяемые для производства современных электрических соединителей. Эти установки могут применяться как автономно, так и в составе автоматизированных линий. В случае автономного применения детали или изделия на маркировку могут подаваться оператором вручную, в том числе по одной или группами при помощи специальной платформы. Размещение нескольких изделий на одной платформе позволяет существенно повы-

$$T(r, z, t) = \frac{2P}{\rho c (4\pi a)^{\frac{3}{2}}} \int_0^t \frac{1}{(\tau+t)\sqrt{t}} \exp\left(-\frac{z^2}{4a\tau} - \frac{r^2}{4a(t+z)}\right) dt. \quad (1) \quad T = \frac{P}{\pi^{\frac{3}{2}} k r_0} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp\left\{ \left[\left(\frac{x}{r_0} - \frac{1}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{y}{r_0} \right)^2 \right] \sin^2 \mu - \frac{\text{tg}^2 \mu}{\alpha^2} - \left[\left(\frac{x}{r_0} \right)^2 + \left(\frac{y}{r_0} \right)^2 - \frac{\left(\frac{z}{r_0} \right)^2}{\text{tg}^2 \mu} \right] \right\} d\mu, \quad (3)$$

ситель производительность на данной операции за счет сокращения подготовительно-заключительного времени.

Сущность процесса лазерной маркировки состоит в изменении поверхности или близлежащего к поверхности слоя маркируемого материала.

В первом случае при воздействии сфокусированного лазерного излучения на поверхность детали происходит интенсивный нагрев, плавление и испарение части материала из зоны воздействия, что сопровождается образованием зоны частиц с измененными физико-химическими свойствами. Это приводит к появлению следа (отпечатка) на участке воздействия лазерного луча.

Перемещением луча с помощью специальных сканирующих зеркал или других устройств, управляемых ЭВМ, можно получить на поверхности то или иное изображение в виде цифр, букв, знаков или рисунков.

Лазерная маркировка, в отличие от других известных методов, обладает бесспорными преимуществами, заключающимися в высокой скорости маркировки, высокой стойкости наносимого изображения, отсутствии механического воздействия, легкости управления и возможности автоматизации процесса. Благодаря этому лазерную маркировку можно рекомендовать к применению для деталей различных размеров, имеющих сложную конфигурацию, изготовленных практически из любых материалов, для маркировки с высокой скоростью непосредственно в процессе изготовления.

Рабочее лазерное излучение находится в невидимом спектре. Для его подсветки используется визуализирующий лазер, излучающий в диапазоне видимых волн. Излучение визуализирующего лазера идет соосно с основным невидимым излучением и позволяет оператору контролировать нахождение и перемещение рабочего лазерного луча в любой момент рабочего цикла, начиная от настрой-

ки установки лазерной маркировки, процесса маркировки и заканчивая возвращением луча в исходное положение.

Процесс лазерной маркировки начинается с воздействия лазерного излучения на деталь. Начальная фаза лазерного поглощения излучения заключается в воздействии лазерного излучения на свободные или связанные электроны, что вызывает увеличение их энергии. Воздействие этих электронов на кристаллическую решетку и другие электроны приводит к увеличению температуры материала. Время передачи энергии соударяющимися электронами составляет 10^{-12} – 10^{-14} с, время передачи энергии электронов кристаллической решетке — 10^{-11} с.

Превращение поглощенной энергии лазерного излучения в тепловую энергию материала происходит почти мгновенно, поэтому температура поверхности материала в области воздействия быстро возрастает, примерно сохраняя распределение, соответствующее распределению плотности мощности в поперечном сечении сфокусированного лазерного пучка. Одновременно происходит перенос тепла вглубь материала. Для гауссова распределения мощности излучения в фокусе распределение температуры в материале, получаемое в результате теплопроводности, можно описать зависимостью (1).

Температура в центре фокуса:

$$T_0(0,0,t) = \frac{P_0}{\pi r_0^2 c a (4\pi a t)^{\frac{3}{2}}} \arctg \sqrt{\frac{t}{\tau}}, \quad (2)$$

где $\tau = r_0^2/4a$ — постоянная времени; P — полная мощность поглощенного излучения; P_0 — мощность излучения в центре фокуса; r_0 — радиус, при котором мощность излучения уменьшается до P_0/e ; t — время; z — координата, перпендикулярная к поверхности (направление теплопередачи от центра фокуса вглубь материала); r — радиальная координата, перпендикулярная z ; c — удельная тепло-

емкость материала; ρ — плотность материала; a — коэффициент температурной проводимости материала.

Для гауссова пучка, перемещающегося со скоростью v вдоль поглощающего материала, распределение температуры в материале описывается зависимостью (3), где $\text{tg}^2 \mu = m_r - m_z$; $\alpha = 4a/vr_0$; $m = x/r_0$; x — направление перемещения пучка; y — направление, перпендикулярное x и z ; z — направление вглубь материала; k — коэффициент теплопроводности.

Не вся энергия пучка излучения расходуется на увеличение температуры материала. Значительная часть излучения отражается от поверхности материала. Увеличение температуры поверхности материала во время действия лазерного пучка вызывает уменьшение коэффициента отражения. Это явление имеет место как при малой, так и при большой плотности мощности излучения в фокусе, что видно на графиках (рис. 1, 2).

Плавление и испарение материалов пучком сфокусированного лазерного излучения

При воздействии сфокусированного лазерного излучения на поверхность материала происходит интенсивный нагрев, плавление и испарение части материала из зоны облучения. Целью анализа и практического использования этого воздействия является определение толщины расплавленного слоя и продолжительности плавления до момента начала интенсивного испарения материала. Для упрощения вычислений в рамках допустимых погрешностей примем ряд ограничений:

- Модель материала принимается в виде полубесконечного пространства.
- Интенсивность излучения будем считать равномерно распределенной по всей адсорбирующей поверхности.

Тогда глубину расплавленного слоя h без учета потерь на теплопроводность можно определить из зависимости:

$$h = \frac{0,16(Q^2 t_p - Q^2 t_i)}{\rho C_t Q}, \quad (4) \quad Q = q_0(1 - R)$$

где Q — тепло, выделяемое в материале в результате поглощения лазерного излучения интенсивностью q_0 , Вт/см²; R — коэффициент отражения излучения от поглощающей поверхности; t_i — время от начала поглощения лазерного излучения до начала интенсивного испарения; ρ — плотность материала; C_t — теплоплота плавления материала.

Время от начала поглощения лазерного излучения до начала плавления или до начала

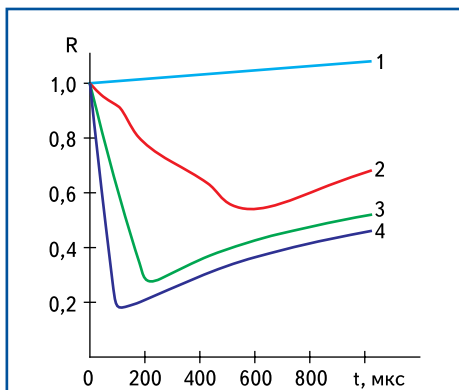


Рис. 1. Изменение коэффициента отражения R излучения лазера от поверхности серебра во время лазерного импульса:
1 — 2 кДж/см²; 2 — 2,6 кДж/см²;
3 — 4,2 кДж/см²; 4 — 7,3 кДж/см²

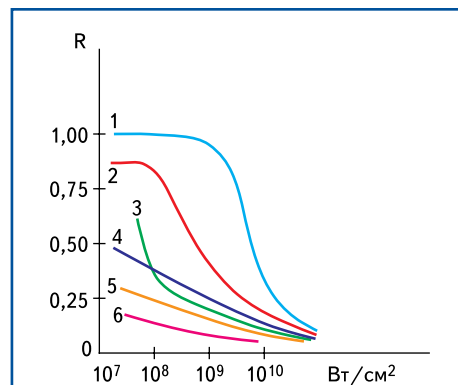


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения R различных материалов от плотности мощности излучения лазера (продолжительность импульса — 15 нс)

интенсивного испарения и максимальная глубина расплавленного слоя изменяются в зависимости от характера материала и плотности мощности излучения. Плавление имеет место и в присутствии интенсивного испарения. Результаты исследований показывают, что плавление материалов, без интенсивного испарения, происходит только в короткий период времени $t_p - t_r$.

Интенсивное испарение поверхности материала начинается при плотности мощности сфокусированного излучения порядка $10^5 - 10^6$ Вт/см². Его физическое описание довольно сложно, особенно при действии излучения большой мощности.

В упрощенном анализе интенсивного испарения при плотности мощности до $10^8 - 10^9$ Вт/см² используется классическая теория теплопроводности, с вышеперечисленными ограничениями. Процесс описывается с помощью уравнения теплопроводности для конденсированной фазы в системе координат, связанной с подвижной границей, на которой происходит испарение. Исходя из этого предположения, испаряющаяся поверхность перемещается в глубину со скоростью v , близкой к средней скорости распространения волны нагрева в материале (за время действия импульса).

Время начала интенсивного испарения («задержка» относительно начала действия лазерного луча) можно определить по формуле:

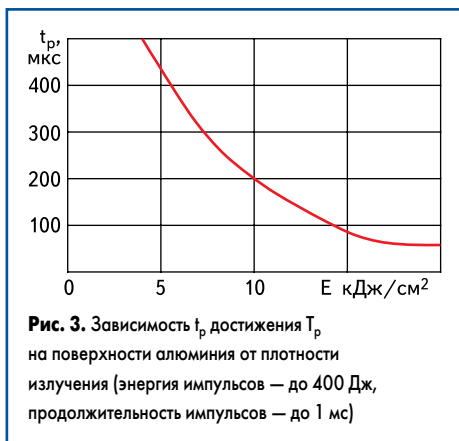
$$t_p = \frac{\pi k \rho c (T_p - T_0)^2}{4Q^2}, \quad (5)$$

где Q — поглощенное лазерное излучение, Вт/см²; k — теплопроводность материала; c — удельная теплоемкость материала; ρ — плотность материала; T_p — температура интенсивного испарения материала; T_0 — начальная температура.

Рассмотрим зависимость времени задержки достижения T_p на поверхности алюминия от плотности энергии лазерного излучения (рис. 3).

Пороговая величина плотности мощности падающего излучения, необходимая для возникновения интенсивного испарения поверхности вещества, составляет:

$$Q_p = \frac{\rho C_p}{1-R} \sqrt{\frac{a}{t_p}}, \quad (6)$$



где R — коэффициент отражения излучения от поверхности материала; a — коэффициент температуропроводности материала; C_p — удельная теплота испарения.

В условиях интенсивного испарения за короткое время (несколько наносекунд) устанавливается постоянная скорость перемещения испаряющей поверхности в глубину материала, которая определяется следующей зависимостью:

$$v = \frac{Q}{\rho [C_l + C_p + C(T_p - T_0)]}, \quad (7)$$

где C_l и C_p — соответственно, удельная теплота плавления и удельная теплота испарения материала.

Перемещение испаряющейся поверхности вглубь материала связано с его удалением и образованием углубления (лунки или канавки — при перемещении лазерного луча относительно поверхности детали).

Глубину лунки можно определить по формуле:

$$h = v(t - t_r). \quad (8)$$

Температура на поверхности перемещающегося и интенсивно испаряющегося слоя обычно принимается равной температуре кипения, а распределение температуры в глубине нагретого слоя материала описывается зависимостью:

$$\left. \begin{aligned} T(x, t) &= T_0 \exp\left[-\frac{v(x-vt)}{a}\right] \\ T_0 &= \frac{Q - \rho v H}{vc} \\ H &= C_p \frac{RT_0}{2A} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где T_0 — температура перемещающейся поверхности испаряющегося материала; H — разность значений энтальпии твердой и газообразной фаз материала; a — коэффициент температуропроводности материала; C_p — удельная теплота испарения при 0 К; ρ — плотность материала; c — удельная теплоемкость материала; A — атомный вес; R — газовая постоянная; v — скорость перемещения поверхности испаряющегося материала.

Поглощение лазерного излучения прозрачными материалами

Основным различием между процессом поглощения лазерного излучения в прозрачных и непрозрачных материалах является объемный, а не поверхностный характер поглощения. Особенности поглощения лазерного излучения в прозрачных материалах следующие:

- Большая пороговая плотность мощности поглощенного излучения, вызывающая разрушение материала (порог разрушения).
- Оптические явления, помимо изменений и повреждений термического происхождения (лунки, трещины, напряжения, струк-

турные дислокации): самофокусировка лазерного пучка, вынужденное двойное лучепреломление; акустические явления (ультразвуковая волна) и другие, например электрический пробой в воздухе в месте входа и выхода лазерного пучка либо пробои внутри поглощающего материала.

Не все указанные явления обязательно имеют место в каждом случае. Все зависит от вида и свойств поглощающего материала, параметров поглощаемого излучения и продолжительности воздействия лазерного пучка на материал.

Разрушение материала, вызванное поглощением лазерного излучения, как мы отмечали выше, появляется после превышения пороговой величины плотности мощностей излучения. Величины порогов разрушения материалов, приводимые в различных источниках, часто значительно различаются. Основные причины этого — различная шероховатость исследуемых материалов и влияние техники измерений на получаемые результаты.

Порог разрушения для поверхности прозрачного материала обычно ниже величины порога разрушения внутри материала и составляет от 25 до 100% последнего. Это связано с наличием на поверхности детали микрошероховатости (микротрещин, микропарапин и т. п.).

До момента достижения порога разрушения поглощение излучения в прозрачном материале носит объемный характер. Начальная стадия появления разрушений связана с увеличенным поглощением излучения микронеровностями на поверхности или внутри материала. Температура локальных поглощающих центров может достигать нескольких тысяч градусов, например, для полистирола — 2000...3200 °С. Наличие в материалах ионов не всегда снижает порог разрушения.

Следующий этап повреждения материала — это лазерный электрический пробой в поглощающих центрах. Он происходит в результате локального увеличения температуры и плотности мощности поглощенного излучения. Этот пробой носит характер лавинного электрического разряда, аналогичного пробоям в диэлектриках под действием высокого напряжения. Самофокусировка пучка лазерного излучения в поглощающем материале, вызывающая увеличение плотности мощности излучения, содействует возникновению лазерного пробои, однако пробой возникает и без самофокусировки.

Плавление и испарение пучком лазерного излучения прозрачных материалов

Лазерная маркировка прозрачных и полупрозрачных материалов, как и непрозрачных, заключается в плавлении и испарении материала из зоны обработки. Это требует использования пучка излучения с плотностью мощности, превышающей порог разрушения. Однако превышение этой величины без образования больших напряжений, трещин и прочих повреждений в прилегающем

к месту действия лазерного пучка слое требует оптимального подбора параметров обработки. Основная трудность заключается в большой разнице в величинах коэффициентов отражения и поглощения для материала до и после превышения порога разрушения.

Для увеличения поглощения на поверхности прозрачного материала необходимо использовать покрытие зоны воздействия лазерного пучка поглощающим слоем, например производить локальное чернение или другие виды покрытий. Для деталей, получаемых литьем, целесообразно, чтобы места маркировки были матовыми, для обеспечения большей поглощаемости лазерного излучения в поверхностном слое. Другой метод оптимизации условий маркировки основывается на использовании неравномерного (колебательного) распределения интенсивности импульсов в процессе работы. Первый короткий импульс колебаний имеет большую плотность мощности (при небольшой энергии), он начинает процесс поглощения, развиваемый следующим импульсом колебаний и последующей равномерной частью импульса с меньшей плотностью мощности.

Ультрафиолетовая лазерная маркировка

Нами установлено, что в рассмотренном варианте лазерной маркировки в ее основе лежит способность лазерного излучения создавать на малом участке поверхности высокую плотность теплового потока, достаточную для нагрева, плавления и испарения маркируемого материала. Несмотря на локальный характер воздействия рассматриваемого лазерного излучения, в результате термического воздействия поглощенного лазерного излучения происходит не только нагрев, плавление и испарение материала, но и изменяется структура и свойства материала в зоне обработки. Хотя эти изменения и не влияют на общую картину технических характеристик изделия, однако в ряде случаев являются нежелательными или недопустимыми. Для таких случаев, где даже небольшие изменения структуры материала, вызванные термическим эффектом, нежелательны (это касается особенно пластмассовых деталей), целесообразно использовать технологии с применением ультрафиолетовой лазерной маркировки.

Действие относительно «холодного» ультрафиолетового пучка лазерного излучения на поверхностный слой пластмассового изолятора заключается в изменении цвета пигмента (например, двуокиси титана), находящегося в пластмассе. Такое воздействие ультрафиолетового лазерного излучения не оказывает какого-либо существенного влияния на механические или электрические свойства изолятора соединителя. Установлено, что для обеспечения существующих требований НТД по надежности маркировки к механическому истиранию и стойкости к очищающим растворителям достаточно глубины слоя маркировки 15–20 мкм.

Одним из важных требований, дополнительно предъявляемых к маркировке, является требование по обеспечению контрастности, то есть

резкому отличию цвета маркировки от цвета поверхности изделия, на которую она нанесена.

При обычной лазерной маркировке ее контрастность обеспечивается за счет различной степени сгорания материала в поверхностном слое изолятора, а цвет маркировки варьируется от серого до черного.

При ультрафиолетовой лазерной маркировке формирование цвета и контрастности маркировки происходит по другому принципу. В данном случае воздействие лазерного излучения в ультрафиолетовом диапазоне длин волн обладает уникальной способностью изменять цвет пигмента, находящегося в составе полимера. Изменение цвета пигмента в результате химических реакций на молекулярном уровне, идущих на поверхности пластмассы, вызвано специфическим тепловым воздействием лазерного излучения. Варьируя плотность мощности излучения и продолжительность воздействия лазерных импульсов, можно изменять не только цвет, но и его насыщенность, тем самым обеспечивая необходимую контрастность наносимой маркировки.

Для улучшения конструкционных и технологических свойств в большинстве пластмасс вводятся так называемые добавки: пластификаторы, стабилизаторы, огнезащитные составы, разделительные составы для пресс-форм, антистатика, красители и др. В свою очередь для обеспечения качественной лазерной маркировки к уже имеющимся в пластмассе добавкам можно вводить добавки-пигменты, которые призваны выполнять несколько функций в процессе лазерной маркировки:

- усиливать контраст между обработанной и необработанной зонами, путем повышения чувствительности полимеров к воздействию лазерного излучения;
- увеличивать прочность маркировки;
- повышать скорость нанесения лазерной маркировки.

На практике установлено, что различные сочетания добавок в пластмассах могут улучшать или, наоборот, ухудшать качество маркировки. Поэтому значение приобретает проверка взаимного влияния различных сочетаний добавок на качество лазерной маркировки.

Введение различного рода добавок может производиться на заводе, где изготавливаются полимеры, по заявке заказчика, или их непосредственно наносят на уже имеющиеся гранулы с помощью адгезивного агента, перед литьем изоляторов. Применение адгезивного агента позволяет равномерно наносить добавки на гранулы и исключать отделение добавок от гранул с течением времени.

Изменение структуры и свойств материалов в результате воздействия различных видов лазерного излучения

Термическое воздействие поглощенного лазерного излучения ведет не только к нагреванию, плавлению и испарению материала, но также часто вызывает изменение структуры и свойств материала в месте обработки и в зонах, прилегающих к месту воздействия лазерного пучка. Характер изменений зависит от свойств обра-

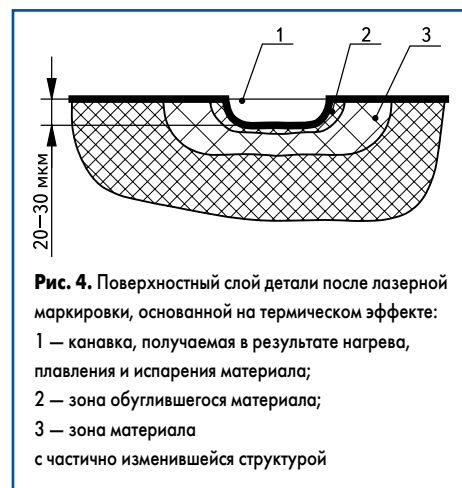


Рис. 4. Поверхностный слой детали после лазерной маркировки, основанной на термическом эффекте:

- 1 — канавка, получаемая в результате нагрева, плавления и испарения материала;
- 2 — зона обуглившегося материала;
- 3 — зона материала с частично изменившейся структурой

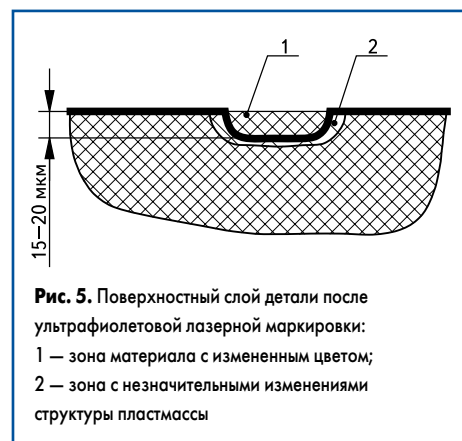


Рис. 5. Поверхностный слой детали после ультрафиолетовой лазерной маркировки:

- 1 — зона материала с измененным цветом;
- 2 — зона с незначительными изменениями структуры пластмассы

батываемого материала и от величины энергии и мощности поглощенного излучения.

В результате исследований обнаружено появление ранее не встречавшихся мелкозернистых, крупнозернистых и дендритных структур. Главная причина этого — непродолжительность процесса плавления и рекристаллизации материала, что связано с большой скоростью изменения температуры и ее большими градиентами в месте действия лазерного пучка.

При относительно «холодном» ультрафиолетовом лазерном излучении структура и свойства пластмассы в зоне маркировки не претерпевают каких-либо серьезных изменений, которые ухудшают технические характеристики изолятора.

В данном случае не происходит никаких процессов, которые приводят к разрушению структуры материала, а протекают лишь химические реакции на молекулярном уровне, в поверхностном слое пластмассы (на глубине 20–25 мкм), связанные только с изменением цвета пигмента.

На рис. 4, 5 показаны изменения, которые происходят в поверхностном слое деталей после лазерной маркировки, основанной на термическом эффекте (рис. 4) и ультрафиолетовой лазерной маркировке (рис. 5) соответственно.

Заключение

Маркировка электрических соединителей является обязательной операцией технологического процесса их изготовления. Использование сегодня традиционных методов маркировки

соединителей становится крайне затруднительным, с одной стороны, из-за все возрастающего объема информации, которую надо наносить на соединитель, а с другой стороны — из-за его миниатюризации. Кроме того, традиционные методы маркировки являются достаточно трудоемкими и затратными.

Наиболее прогрессивным методом маркировки, который позволяет минимизировать затраты и обеспечить более высокий ее технический уровень, является метод лазерной маркировки. Это подтверждает отчет о его внедрении на ФГУП «Карачевский завод «Электродеталь»», где лазерная технология вытеснила традиционные способы маркировки. При этом была обеспечена возможность высококачественной маркировки, снижены материальные затраты и были задействованы исполнители более низкой квалификации. Качество лазерной маркировки подтверждено типовыми испытаниями, проведенными в аттестованных испытательных центрах Санкт-Петербурга и Карачева.

Приведенные в статье теоретические основы процесса лазерной маркировки позволяют более полно понять его физическую сущность. Основное внимание авторы уделили освещению прикладных аспектов этого процесса. Рассмотрены вопросы практического использования лазерного излучения для маркировки соединителей, установлены основные различия между процессами маркировки деталей

из прозрачных и непрозрачных материалов, определены причины изменения структуры и свойств материалов, возникающих в результате воздействий на них лазерных излучений различных видов и интенсивности.

Рассмотренная в статье информация о требованиях к маркировке и о способах и методах их обеспечения представляет практический интерес и позволяет более полно использовать накопленный опыт и знания в этой области производителям радиоэлектронных компонентов.

Литература

1. Веденов А. А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Вейко В. П., Либенсон М. Н. Лазерная обработка. Лениздат, 1973.
3. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1989.
4. Крылов К. И., Прокопенко В. Т., Митрофанов А. С. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении. Л.: Машиностроение, 1978.
5. Новицин М. Лазеры в электронной технологии и обработке материалов / Пер. с польского. М.: Машиностроение, 1981.
6. Углов А. А., Гребенников В. А. О воздействии лазерного излучения на пористые материалы // Физика и химия обработки материалов. 1980. № 5.

7. Попилов Л. Я. Электрическая и электрохимическая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1982.
8. Сафонов А. Л., Сафонов Л. И. Электрические прямоугольные соединители. Требования к изоляторам и материалам для их изготовления // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 5.
9. Сафонов Л. И., Сафонов А. Л. Электрические прямоугольные соединители. Обеспечение эффективности экранирования за счет применения металлизированных пластмассовых кожухов // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 8.