



Рисунок 4 – Зависимость кратковременных флуктуаций измеряемых временных интервалов в зависимости от коэффициента лавинного умножения ЛФД (а) и величины порога срабатывания порогового устройства (б)

Согласно представленным на рисунках 2 и 3 результатам, временная задержка лежит в наносекундном и субнаносекундном диапазонах. Измерение таких малых времен осуществлялось с помощью хорошо зарекомендовавшего себя метода время-амплитудного преобразования. Для определения величины кратковременных флуктуаций периода рециркуляции использовались экспериментальная установка и методика измерений, описанная в [4], куда были добавлены перестраиваемый оптический аттенуатор с потерями минус 18 дБ, имитирующий потери мощности излуче-

ния на оптических элементах и при распространении по ВС длиной 20 км (в прямом и обратном направлении), а также малошумящий волоконно-оптический эрбиевый усилитель Lucent 1712 с сонаправленной накачкой на длине волны 980 нм и рабочим интервалом длин волн 1530–1565 нм. Разрешение МАА-ТА составляло 20 пс. На рисунке 4 представлены значения кратковременных флуктуаций на уровне полувысоты гистограмм распределения амплитуд по каналам МАА для различных режимов работы контура при $P_{\text{ил}} = 3$ мВт, $\tau_{\text{ф}} = 5$ нс. Как следует из полученных результатов, можно достичь величины кратковременных флуктуаций не более 390 пс, что и будет определять разрешающую способность измерительной системы. В тоже время, согласно рисунку 2, временная задержка для идущего нарушителя будет составлять величину более 850 пс, т. е. наличие нарушения периметра может быть однозначно зафиксировано. Для регистрации ползущего нарушителя, исходя из рисунка 3, твердость используемых ПУЭ не должна превышать $Sh_A = 60$.

Литература

1. Поляков, А.В. Нейрокомпьютерные и волоконно-оптические технологии, применяемые для охраны периметра / А.В. Поляков, Е.Г. Альгина // Военно-промышленный комплекс. Беларусь. – 2016. – № 1. – С. 60–66.
2. Polyakov, A.V. Fiber-optic perimeter security system based on WDM technology / A.V. Polyakov // Proc. SPIE. – 2017. – Vol. 10433 Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications XIV. – P. 10433-401–10433-407.
3. Поляков, А.В. Влияние деформаций волоконного световода на период рециркуляции в оптоэлектронных системах охраны периметра / А.В. Поляков, Д.Г. Сахончик // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2019. – № 2. – С. 112–124.
4. Поляков, А.В. Увеличение скорости передачи данных в протяженных волоконно-оптических информационных системах / А.В. Поляков // Информатика. – 2006. – № 3. – С. 122–127.

УДК 681.944

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Алексеев В.А., Усольцева А.В., Усольцев В.П., Юран С.И.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

В настоящее время на ведущее место выходят возможности дизайна устройств и приборов. Грамотный дизайн позволяет добиться максимальной эргономичности изделия, сделать его привлекательным с коммерческой точки зрения. Красивая и продуманная лицевая панель прибора играет в этом исключительную роль [1].

Любая отрасль мировой экономики зависит от материалов и техники, используемых в процессе производства. В приборостроении используются различные материалы. В последнее время большое распространение, с учетом эстетической и экологической точек зрения, получают натуральные материалы [2].

Из-за высоких требований технической эстетики к художественно-промышленным изделиям и материалам механическая обработка материалов вызывает определенные трудности. Благодаря созданию надежного и достаточно экономичного лазерного оборудования в 70–80-х гг. прошлого века возникла новая промышленная технология – лазерная обработка материалов. В сравнении с другими видами художественной обработки: гранением, шлифованием, резанием, выстукиванием, абразивно-струйным гравированием, физико-химическим, ультразвуковым, электродуговым, электронно-ионным лазерная обработка имеет ряд существенных преимуществ [3].

Лазерные технологии позволяют учесть некоторый диапазон изменения индивидуальных характеристик используемого материала, определяющих режимы обработки:

- наличием разных внутренних напряжений;
- различной ударопрочностью, за счет различной длины молекулярных связей;
- различной химической стойкостью;
- различной толщиной даже одной заготовки.

Наиболее распространенной методикой действия в этих случаях является опытная работа лазерной установки на всех возможных режимах с использованием рабочего материала, который будет использоваться для изготовления реальной продукции. Недостатком указанной методики являются необоснованное использование большого количества рабочего материала, части рабочей продукции, выработка ресурса работы лазерного оборудования, увеличение времени на проведение указанных работ и дополнительное составление испытательных программ [4].

В работе решены следующие задачи:

- выбран комплексный критерий оценки качества декоративной обработки,
- предложены оптимальные простые характеристики оценки качества декоративной обработки,
- исследованы связи между режимами лазерной обработки и оптическими свойствами, микроструктурой, химическим составом и физико-механическими характеристиками материала,
- проведена экспериментальная проверка результатов.

В процессе лазерной обработки сфокусированный луч с высокой плотностью лазерного излучения осуществляет локальный нагрев материала, что приводит к испарению материала или изменению его цвета в месте гравировки. В результате лазерного воздействия изменяется поверхность материала, возникает определенный рельеф на поверхности, глубина которого зависит от времени обработки, мощности лазера и от физических свойств обрабатываемого материала.

При воздействии лазерного излучения на неметаллические материалы на первом этапе про-

исходит нагрев участка материала и его обугливание. После достаточного нагрева материала начинается его термическое разложение на газообразные составляющие. Затем, при продолжении процесса нагрева, разложение материала усиливается и происходит процесс воспламенения.

Анализ влияющих факторов на законы распределения оптических свойств материалов показывает, что на светопропускание влияют: отклонение толщины в партии аналогичных изделий (от 5 % до 30 %), склонность к поверхностным повреждениям из-за отклонения твердости (до 5 %), появление внутренних напряжений при формовке, ведущих к последующему появлению микротрещин, большой чувствительности к концентрации напряжений. Это определяет отклонения плотности, твердости, теплостойкости, теплопроводности, вязкости, теплоемкости, температуры размягчения, температуры горения и т. д., которые в каждом случае становятся случайной величиной, из-за чего оптические свойства материала в конкретном случае применения становятся случайной функцией.

Существование корреляционных связей между оптическими свойствами и микроструктурой, химическим составом и физико-механическими характеристиками материала представлено случайной функцией.

Любую случайную функцию можно центрировать, то есть привести к такому виду, когда ее математическое ожидание равно нулю. Поэтому в работе рассматриваются центрированные элементарные случайные функции. С использованием метода канонических разложений случайная функция предварительно представлена в виде суммы так называемых элементарных случайных функций.

Для определения аналитических выражений применен метод интерполяции и экстраполяции с использованием аппроксимации по методу наименьших квадратов.

Для выбора длины волны лазерного излучения использована зависимость светопрозрачности от длины волны. Определение этой функциональной зависимости проведено на основании полученных и приведенных в литературе статистических данных.

В результате анализа и экспертного опроса показано, что для получения наиболее четкого и контрастного изображения необходимо получение глубины проникновения лазерного излучения в материал 0,3–0,5 мм. Этого достаточно для получения стабильного контура резки, высокохудожественного контрастного вида изображений, необходимой адгезии при заполнении изображения красителем.

С учетом установленных функционально-корреляционных связей между режимами работы

лазерной установки заданы режимы лазерного гравирования для проведения экспериментов:

- Максимальная мощность лазерного излучения 9,6 Вт.
- Скорость лазерного гравирования 27,0 см/сек.
- Разрешающая способность 500 dpi.
- Частота импульсов 1000 Гц.
- Диаметр сфокусированного лазерного луча на материале 0,1 мм.

Качество поверхности после лазерного гравирования оценивалось по глубине лазерной гравировки, величине измеренных микронеровностей, дисперсии отклонения микронеровностей, блеску поверхности и опросу потребителей.

Для измерения микронеровностей на наружной поверхности образца использовался микроинтерферометр «МИИ – 4» [5].

В результате экспериментов получено, что величина микронеровностей плавно возрастает с увеличением мощности лазерного излучения. При мощности, равной 5,7 Вт, величина микронеровностей достигает своего максимального значения (0,5 мм). Затем, при дальнейшем увеличении мощности, размер микронеровностей уменьшается в связи с искажением рельефа обработанной поверхности.

Для комплексной оценки исследуемого образца были произведены измерения блеска обработанной поверхности при помощи фотоэлектрического блескомера ФБ-2 [6].

Чем более шероховата поверхность, тем больше света рассеивается, следовательно, менее блеск поверхности. Самый меньший блеск наблюдается в диапазоне мощностей 4,4–6,4 Вт. Низкий блеск обеспечивает лучшее субъективное восприятие наносимого изображения.

Неотъемлемой частью процесса лазерного гравирования является получение изделия, отвечающего персонализированным вкусам и пожеланиям потребителей, для чего был проведен опрос. В процессе опроса потребители уделяли внимание тактильно-визуальному восприятию:

- четкости и контрастности;
- шероховатости и рельефу;
- насыщенности цвета и цветового тона.

В результате проведенного опроса (более 50 человек) потребители отдали свое предпочтение результатам гравировки при изменении мощности диапазоне 5,1–6,4 Вт. Они считают, что именно такая текстура позволит добиться более четкого и презентабельного вида изделий с лазерной гравировкой.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что оптимальная мощность лазерного гравирования варьируется в диапазоне 5,1–6,4 Вт. Именно этот диапазон мощности позволяет получить наиболее качественное и четкое изображение, отвечающее требованиям потребителей.

Проведенные исследования показали наличие корреляционно-регрессионной связи качества поверхности и особенностей технологии лазерного гравирования. Полученные результаты эксперимента по заданию режимов лазерного гравирования материалов в зависимости от мощности лазерного излучения, позволяют повысить эффективность применения лазерных технологий.

Практическая значимость работы определяется разработанными предложениями, применимыми к решению актуальных задач задания режимов лазерного гравирования для декоративной обработки материалов.

Полученный результаты позволяют успешно компенсировать имеющиеся естественные неоднородности материала, стабильно добиваться высоких результатов при промышленном изготовлении высокохудожественных эксклюзивных изделий.

Литература

1. ГОСТ 20.39.108-85 Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора.
2. Промышленная лазерная маркировка и гравировка металлических и неметаллических изделий. – URL: <http://laser-form.ru/technologies/tehgravirovka.html> (дата обращения: 15.10.2016).
3. Usoltseva, A.V. The laser engraving in decorative processing of organic glass. Instrumentation engineering, electronics and telecommunications – 2015: Paper book of the I International Forum IEET-2015 held within the framework of the XI International Scientific-Technical Conference “Instrumentation Engineering in the XXI Century. Integration of Science, Education and Production” (November, 25–27, 2015, Izhevsk, Russia). – Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2016. – P 190-194.
4. Патент на промышленный образец RUS 109645. Прибор письменный настольный. /Усольцева А.В., Усольцев В.П. Черных М.М. Оpubл. 16.07.2018.
5. Микроинтерферометр МИИ-4 [Электронный ресурс] // Микроскопы и комплектующие [Сайт]. – URL: <http://www.mbs10.ru/mii-4.html> (дата обращения: 30.01.2017).
6. Блескомер фотоэлектрический типа ФБ-2 [Электронный ресурс] // Центр комплектации «Спец ТехноРесурс» [Сайт]. – URL: <http://www.measurement.ru/gk/mehan/03/025.htm> (дата обращения: 20.04.2017).