

воздухе. Толщина оксидных пассивных пленок на серебре со временем может достигать от 12 до 200 Å. Более сложный случай – превращение в черный сульфид серебра с толщиной пленки 400 Å. Результаты микроскопического сканирования в ряде научных работ [1] показывают также образование белых налетов в виде хлорида серебра и сульфидов неблагородных металлов. Если содержание меди в серебряном сплаве больше 10 %, то можно наблюдать зеленые продукты коррозии: гидрокарбонаты, гидросульфиды, сульфаты и силикаты, толщиной от 0,1 до 0,5 мм [2]. В археологических находках продукты коррозии монет имеют сложное строение и состав. В основном это комбинации оксидов и солей меди, олова и других элементов, входящих в сплав, из которого сделано изделие.

Одним из способов восстановления контуров рельефа поверхности монет может быть применение метода лазерной очистки металлов. В качестве образцов для исследования были выбраны: ½ марки (Германия, 1920) (железо); 20 копеек (Россия, 1915) (серебро); 2 копейки (Россия, 1910) (медь). Технологическое оборудование: лазерная установка модели Wattsan FL TT, тип излучателя – волоконный иттербиевый IPG, длина волны излучения 1 064–1 069 нм, длительность импульса 10 нс, заявленная производителем мощность 20 Вт, скорость луча 0–7000 мм/с, минимальная ширина линии 0,012 мм. F-Theta объектив D80, фокусное расстояние $f_{об}' = 330$ мм. Программное обеспечение EzCAD 2.14. Визуальную оценку качества поверхности монет проводили на портативном цифровом микроскопе USB Espada E-SU1000x при увеличении 50 крат. Серия пробных экспериментов показала, что для обеспечения высокой равномерности очистки необходимо устанавливать шаг между соседними пучками 0,01 мм (Loop Distance) и расстояние между линиями очистки 0,01 мм (Line Distance). Необходимо также устанавливать максимальное значение мощности (с учетом потерь в оптической системе фактическая мощность измеренная по средствам термоэлектрического измерителя мощности SSP-TS50-TP100 составила 15,5 Вт). При обработке стальных и серебряных монет оптимальными параметрами являются: скорость 5 000 мм/с; частота следования импульсов 200 кГц; количество проходов 6: из которых – 3 прямых, 3 наклонных под углом 45°. После лазерной обработки на поверхности монет всегда остается легкий налет, который необходимо аккуратно удалять сухой мягкой хлопчатобумажной тканью или ватой.

Литература

1. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении / Вейко В. П. [и др.]. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 103 с.
2. Баландина, Л. Н. Исследование очистки окислов с медной поверхности методом лазерной абляции / Л. Н. Баландина, К. Л. Попов, М. А. Коротасва // Всероссийская научно-техническая конференция студентов Студенческая научная весна 2012: Машиностроительные технологии. – С.1–6.

УДК 535.8 :621

ИМПУЛЬСНЫЙ ДАЛЬНОМЕР

Студентка гр. 11311220 Хрипач Е. В.

Д-р техн. наук, профессор Козерук А. С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Для измерения дальности L до объекта используется два типа дальномеров: оптические и оптиколокационные. Первые из них бывают внутрибазными и внешнебазными, а вторые – импульсные с импульсной модуляцией излучения и фазовые с непрерывной модуляцией последнего. Работа внутрибазных основана на определении L по формуле

$$L = B / \varepsilon,$$

где B – расстояние (база) между входными окнами оптической системы дальномера (между объективами зрительных труб); ε – угол между визирными осями зрительных труб дальномера при наведении его на объект наблюдения.

При использовании внешнебазных дальномеров в качестве базы служит размер наблюдаемого объекта. При этом дальность L определяется из выражения

$$L = B_0 \cdot f'_{об} / l,$$

где B_0 – величина объекта наблюдения; $f'_{об}$ – фокусное расстояние объектива оптической системы дальномера; l – размер изображения объекта наблюдения на шкале оптической системы дальномера.

Оптиколокационными импульсными дальномерами дальность определяется посредством измерения времени t прохождения светового пучка до объекта и обратно с последующим расчетом L по формуле

$$L = (c/2n) t,$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения света; n – показатель преломления воздуха.

В оптиколокационных фазовых дальномерах дальность до объекта определяется подсчетом целого числа длин волн N оптического излучения с длиной волны λ_i и их части, укладываемых на трассе до объекта и обратно. Для расчета L при этом используется выражение

$$L = \frac{1}{2} \left(N\lambda_M + \frac{\phi^0}{360^\circ} \lambda_M \right),$$

где f_M – частота модуляции света; ϕ – разность фаз, значение которой зависит от L .

Из перечисленных дальномеров на практике применяются, в основном, различные модификации оптиколокационных импульсных дальномеров. В этих дальномерах в качестве источника излучения используется лазер с твердотельным узлом накачки, и работает он в режиме модуляции добротности, что позволяет формировать световые импульсы с временем их нарастания в диапазоне примерно 10 нс с выходной мощностью пучка в импульсе до нескольких десятков мегаватт. Для накачки лазера используются две импульсные лампы. Формирование рабочего пучка лазера с малой расходимостью осуществляется с помощью телескопической системой. Этот пучок направляется на объект наблюдения, после отражения от которого приемным телескопическим узлом создается определенный сигнал на фотокатоде фотоэлектрического умножителя (ФЭУ), расположенного в выходном зрачке оптической системы лазера. Для срезания посторонних засветок перед ФЭУ установлен узкополосный интерференционный фильтр, который пропускает излучение в диапазоне $\Delta\lambda = 1-5$ нм. Для дополнительного уменьшения фоновых засветок в фокальной плоскости объектива предусмотрена полевая диафрагма.

Работа импульсного лазера основана на анализе отраженного от объекта светового пучка, сдвинутым по времени относительно опорного сигнала. Этот временной сдвиг поступает на счетное устройство, формирующее на цифровом индикаторе значение дальности до объекта наблюдения.

УДК 621.398

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ

Студент гр. 11302123 Цумарев Я. Д.

Д-р физ.-мат. наук, доцент Свирина Л. П.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Лазерная дальнометрия призвана решать такие прикладные задачи, как дистанционное определение оптических характеристик и параметров движения объектов, получение данных о скорости ветра в атмосфере, дистанционное зондирование характеристик земных поверхностей, экологический мониторинг газовых и аэрозольных загрязнений атмосферы, обнаружение и классификация нефтяных загрязнений на морской поверхности, и др.

Актуальной становится разработка малогабаритных лазеров, генерирующих излучение в области спектра, наиболее безопасной для зрения ($\lambda \sim 1,5-1,6$ мкм). В настоящей работе рассматривается устройство и принцип действия перспективного для целей дальнометрии твердотельного лазерного излучателя на Yb:Er стекле с диодной накачкой и активной модуляцией добротности, описанного в работе [1], оптическая схема которого приведена на рис. 1.

Резонатор лазера длиной 40 мм образован глухим зеркалом 1 и выходным зеркалом 4, параметры зеркал были подобраны экспериментально для достижения максимальной выходной энергии при работе лазера в режиме модуляции добротности с частотой следования импульсов