

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ МЕДИ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ ПРОИЗВЕДЕНИЙ ИСКУССТВА

© 2008 г. Ю. М. Мокрушин*, канд. физ.-мат. наук; В. А. Парфенов**, канд. техн. наук

* Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург

E-mail: YRMOK@yandex.ru

** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, Санкт-Петербург

E-mail: vadim_parfenov@mail.ru

Показана возможность применения лазера на парах меди для реставрации некоторых объектов исторического и культурного наследия. В качестве примера приведены результаты экспериментов по использованию данного лазера для очистки поверхности бумаги и мрамора от загрязнений и природных наслоений.

Коды OCIS: 140.5680, 140.3480, 120.3940.

Поступила в редакцию 20.02.2008.

В последние годы одним из актуальных и быстроразвивающихся направлений лазерных технологий стало использование лазеров в реставрации произведений искусства [1–4, 6, 7]. Чаще всего роль лазера как инструмента в руках реставраторов сводится к решению наиболее сложной задачи сохранения объектов культурного и исторического значения – очистке их поверхности от загрязнений и природных наслоений.

В основе лазерной очистки памятников лежат теплофизические явления взаимодействия лазерного излучения с веществом, на которых основано большинство технологических применений лазеров, а именно: нагрев, плавление и испарение [1, 5]. Хотя основные физические явления, сопутствующие процессу лазерной очистки, в настоящее время хорошо изучены, практическое использование лазеров в реставрации до сих пор сопряжено со значительными трудностями. Это связано с большим разнообразием материалов, используемых для создания произведений искусства, а также характером и химическим составом поверхностных загрязнений. Поэтому при решении любой реставрационной задачи чаще всего требуется индивидуальный подход, и как следствие – выбор определенного типа лазера и оптимизация его параметров в каждом отдельном случае. На практике это создает значительные неудобства в работе реставраторов, так как требует наличия разнообразного и дорогостоящего лазерного оборудования и постоянного контакта со специалистами в области лазерных технологий.

По этой причине в настоящее время весьма актуально создание универсального лазера для реставрации, который мог быть использован при очистке памятников из разных материалов. Однако, несмот-

ря на привлекательность данной идеи, на сегодняшний день решения такой задачи не существует, и единственное, о чем пока может идти речь – о возможности применения одного и того же лазера для решения нескольких разноплановых реставрационных задач. Чаще всего в реставрации используются Nd:YAG, эксимерные, CO₂, Er:YAG, а также титан-сапфировый и некоторые другие лазеры. В то же время, из поля зрения реставраторов и специалистов по лазерной технике, занимающихся вопросами применения лазеров в реставрации, совершенно незаслуженно, на наш взгляд, “выпал” лазер на парах меди. И хотя данный тип лазера не может претендовать на роль универсального, он имеет целый ряд достоинств, которые позволяют рассчитывать на возможность его применения для решения некоторых важных задач в реставрации.

Перечислим основные достоинства лазера на парах меди:

Обе линии генерации (511 и 578 нм) находятся в видимой области спектра, за счет чего лазерный пучок может быть легко “нацелен” на обрабатываемую поверхность памятника,

Возможность удобной с практической точки зрения волоконно-оптической доставки лазерного пучка к зоне обработки,

Высокая пиковая мощность излучения отдельных импульсов, позволяющая эффективно воздействовать на поверхностные загрязнения памятников,

Возможность достижения высоких уровней средней выходной мощности (до 100 Вт), что в совокупности с малой расходимостью излучения медного лазера делает возможным дистанционную (на расстоянии в десятки метров) обработку памятников.

Основным требованием к очистке поверхности любых произведений искусства является выполнение этой операции в максимально щадящем режиме, полностью исключающем ее повреждения. В случае лазерной очистки это особенно актуально при работе с легкоплавкими металлами (оловом, свинцом, золотом) и органическими материалами (кожей, бумагой, пергаментом). По этой причине в последние годы в лазерной реставрации появился интерес к использованию лазеров с малой энергией и очень короткой длительностью импульса вплоть до фемтосекунд [6]. Такой подход позволяет с высокой эффективностью удалять поверхностные загрязнения и в то же время исключает повреждения субстрата за счет существенного снижения доли поглощаемого им тепла. Поэтому использование медного лазера может быть весьма перспективно, поскольку он сочетает в себе короткую длительность импульсов (10–15 нс) с высокой частотой их повторения в десятки кГц. Что касается дистанционной очистки памятников, то интерес к данному применению лазеров появился совсем недавно [7]. Говоря в этой связи о медном лазере, следует отметить, что за счет своей высокой средней мощности в сочетании с возможностью фокусировки излучения в пятно малого диаметра на больших расстояниях, он вполне может быть использован для таких целей.

Данная работа была посвящена экспериментальной проверке такой возможности. В наших экспериментах использовался опытный образец медного лазера со следующими выходными параметрами:

Выходная мощность (суммарная на двух длинах волн) – 3 Вт;

Длительность импульса – 15 нс;

Частота повторения импульсов – 15 кГц;

Диаметр пучка – 12 мм;

Расходимость излучения – 0,3 мрад;

Энергия в импульсе – 0,2 мДж.

Данный лазер был использован для пробных расчисток фрагмента памятника XVIII в. из рускеальского мрамора с пылевыми, сажевыми и биологическими загрязнениями поверхности, а также небольшого фрагмента бумаги и медной монеты с поверхностными загрязнениями (оба объекта – Россия, XIX в.). При экспериментах исследуемые объекты помещались в фокусе линзы (фокусное расстояние – 20 см, диаметр лазерного пучка в фокальной плоскости – 60 мкм, что обеспечивало плотность энергии в отдельном импульсе около 7 Дж/см²), где производилось их перемещение – “ручное” сканирование относительно падающего пучка. При работе с мрамором применялся метод так называемой влажной очистки с использовани-

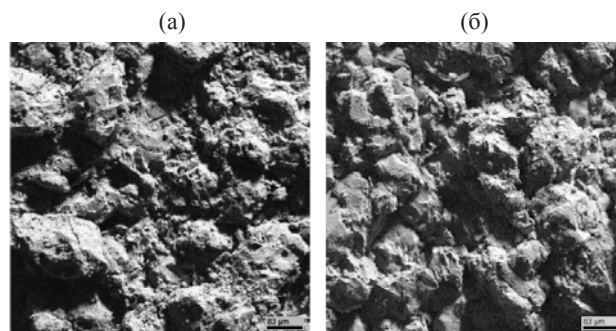


Рис. 1. Изображение поверхности рускеальского мрамора, полученное на сканирующем электронном микроскопе. а – участок поверхности до обработки, б – участок, обработанный излучением лазера.

ем дистиллированной воды [4], при работе с монетой – методы влажной и сухой очистки, а при работе с бумагой – только сухая очистка.

Наилучшие результаты были получены при очистке мрамора. Состояние его поверхности до и после очистки оценивалось как визуально, так и при помощи сканирующего электронного микроскопа АВТ-55 (Acashi, Япония). Проведенные эксперименты показали высокую эффективность лазерной обработки, которая позволила полностью удалить имевшиеся загрязнения и природные наслоения. При этом каких-либо изменений исходного качества поверхности мрамора выявлено не было (рис. 1). Хорошие результаты получены и при очистке бумаги. Однако в ходе этих экспериментов выяснилась необходимость быстрого сканирования пучком с частотой не менее 10 Гц, так как в противном случае происходило обугливание бумаги в отдельных точках. В случае же сканирования удавалось эффективно удалять загрязнения без поверхностных повреждений и изменения цвета бумаги. Состояние поверхности бумаги контролировалось при помощи высокоразрешающего оптического микроскопа (рис. 2).

Что касается экспериментов по очистке медной монеты, то их следует признать скорее отрицательными. Потому что плотность энергии лазерных импульсов была явно недостаточной для эффективного удаления загрязнений, находившихся в углублениях рельефа чеканки, но в то же время происходило локальное микроплавление меди на ровных участках поверхности монеты.

Таким образом, проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о принципиальной возможности использования лазера на парах меди для очистки поверхности памятников из мрамора, а также объектов культурного наследия из бумаги в процессе их реставрации. По сведениям авторов настоя-

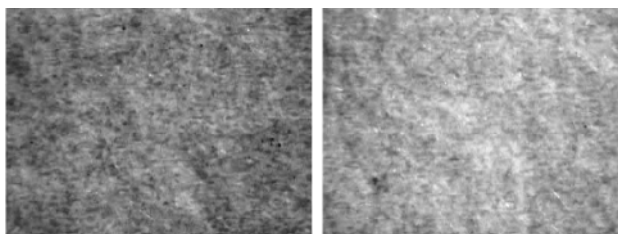


Рис. 2. Фотография поверхности бумаги, полученная при помощи высокоразрешающего оптического микроскопа (16-кратное увеличение): слева – неочищенная область, справа – область, очищенная с помощью лазера.

щая работа – это первый опыт использования медного лазера в реставрационных целях.

В заключение авторы выражают благодарность Н.В. Пасковой, предоставившей для экспериментов образцы старинной бумаги. Благодарим за помощь в исследовании опытных образцов Ю.В. Плоткину, Т.В. Пашковскую и Е.М. Саватееву и М.Д. Геращенко, принимавшего участие в экспериментах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Salimbeni R., Pini R., Siano S.* Controlled laser ablation for the restoration of artworks: principles and applications // *SPIE Proc.* 2000. V. 4070. P. 18–26.
2. *Salimbeni R.* Laser techniques in Conservation in Europe // *SPIE Proc.* 2005. V. 5857. P. 8–18.
3. *Gervais A., Meier M., Mottner P., Wiedemann G., Conrad W., Haber G.* Cleaning of Historical Metals: Performance of Laser Technology in Monument Preservation // *Lasers in the Conservation of Artworks.* 2005. V. 116. P. 37–44.
4. *Чулин А.В., Парфенов В.А.* Использование лазерных технологий для реставрации металлических объектов истории и культуры // *Оптический журнал.* 2007. Т. 74. № 8. С. 56–60.
5. *Cooper M.* Laser Cleaning in Conservation: An Introduction. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1998.
6. *Burmester T., Meier M., Haferkamp H., Barcikowski S., Bunte J., Ostendorf A.* Femtosecond Laser Cleaning of Metallic Cultural Heritage and Antique Artworks // *Lasers in the Conservation of Artworks.* 2003. V. 100. P. 61–69.
7. *Gronlund R., Lundqvist M., Svanberg S.* Remote imaging laser induced-breakdown spectroscopy and remote cultural heritage ablative cleaning // *Opt. Lett.* 2005. V. 30. № 21. P. 2882–2884.