

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕСТАВРАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ

© 2007 г. А. В. Чулин*, В. А. Парфенов**, канд. техн. наук

* Государственный Эрмитаж, Санкт-Петербург

E-mail: conservationartworks@yandex.ru

** Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: vadimparfenov@mail.ru

Рассмотрены применения лазерных технологий в реставрации металлических объектов истории и культуры. Приведены примеры использования лазеров в реставрации, в том числе результаты работ по очистке и сварке предметов декоративно-прикладного искусства, выполненных в Государственном Эрмитаже при помощи технологического Nd:YAG лазера.

Коды OCIS: 350.3390.

Поступила в редакцию 12.09.2006.

Введение

Лазерные технологии находят широкое применение в различных отраслях науки и техники, включая промышленное производство, медицину и многие другие. В последние годы лазеры стали все чаще использоваться в реставрации произведений искусства и иных объектов культурного наследия. Интерес к использованию лазерных технологий в этой области вызван катастрофическим ухудшением состояния памятников в последние десятилетия, что связано с усиливающимся влиянием антропогенных факторов. Удручающее состояние многих архитектурных памятников, скульптур и исторических зданий и ускорение процессов их разрушения вызывает естественную необходимость применения новых эффективных технологий восстановления и сохранения таких объектов.

Впервые лазеры были применены для реставрации памятников в начале 1970-х годов [1]. В последующие годы во многих странах Европы и в США начались целенаправленные исследования в этой области, на основе которых сформировалось отдельное научно-техническое направление [2]. В настоящее время эти методы нашли широкое применение на практике и используются в музеях и реставрационных центрах во многих странах мира.

В то же время говорить о повсеместном применении лазерной техники в реставрации пока еще преждевременно. Ряд специалистов, работающих в этой области, относятся к использованию лазеров со скептицизмом и осторожностью. Одна из причин такого положения дел связана с недостатком информации, из-за чего многие реставраторы даже не догадываются об уникальных возможностях, которые открывает использование лазерных технологий.

Кроме того, на развитие ситуации оказывает влияние и извечная проблема преодоления барьера между специалистами разных областей знаний.

Данная статья адресована в первую очередь именно специалистам-реставраторам и призвана восполнить упомянутый информационный пробел. В статье рассматриваются общие вопросы применения лазерных технологий для сохранения объектов культурного наследия из металла и описаны результаты практических работ, выполненных с использованием технологического Nd:YAG-лазера в лаборатории научной реставрации произведений декоративно-прикладного искусства Государственного Эрмитажа.

Технологические основы и применения лазеров для реставрации металлических предметов

Традиционные методы реставрации произведений искусства основаны на использовании химических и механических методов воздействия. Основной недостаток этих методов – сложность контроля процесса реставрации. В результате абразивного воздействия механического инструмента и неконтролируемого проникновения химического реагента в материал обрабатываемого предмета объект может быть необратимо испорчен, что нередко имеет место на практике, в особенности при реставрации экстерьерных памятников. От этих недостатков свободны лазерные технологии обработки, которые могут быть хорошим дополнением, а в ряде случаев и альтернативой традиционным методам реставрации.

Реставрация любого объекта культурного наследия является комплексным многоступенчатым про-

цессом, который обязательно включает в себя очистку поверхности предмета, ее укрепление и защиту от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. Роль лазера как инструмента в руках реставратора заключается в первую очередь в очистке поверхности памятников от коррозии, загрязнений, биологических пленок и иных поражений, связанных с влиянием антропогенных и естественных природных факторов [3].

Применительно к задаче реставрации объектов истории и культуры из металла применение лазеров помимо очистки зачастую включает также и сварку отдельных фрагментов поврежденных предметов [4]. Физической основой обеих этих операций являются теплофизические явления взаимодействия мощного излучения с веществом, на которых основано большинство технологических применений лазеров, а именно нагрев, плавление, испарение и образование плазмы. По этой причине подробно останавливаться на этих вопросах мы не будем и поговорим лишь об особенностях практического использования лазеров в реставрации.

Лазерная очистка служит для удаления всевозможных оксидных пленок и коррозионных слоев, минеральных частиц и органических материалов с поверхности произведений искусства и археологических объектов, в том числе обнаруженных в земле и под водой. Во всех случаях лазерная очистка дает одинаково хорошие результаты независимо от того, происходит ли расчистка обширной части поверхности объекта либо это лишь локальное удаление очагов активной коррозии. И в том и в другом случае лазерный пучок воздействует исключительно на место локализации повреждения и не затрагивает окружающие области. Это выгодно отличает метод лазерной очистки от, например, химической обработки, при которой неконтролируемому воздействию химического реагента подвергается также и вся прилегающая часть поверхности объекта, которая чаще всего вовсе не нуждается в обработке.

Лазерная очистка решает следующие задачи реставрации.

1. Очистка изделий из железа. Чаще всего проводится при реставрации археологических объектов. Состоит в удалении очагов коррозии, органических материалов и “въевшихся” в поверхностный слой минеральных частиц. Останавливает разрушение поверхности объекта за счет преобразования гидрооксидов поверхностного слоя материала в более стойкие, химически связанные оксиды (например, в красный железняк).

2. Очистка изделий из бронзы (археологических объектов и монет). Удаляются известняковые загрязнения и оксидные медные пленки, не нарушая целостность и внешний вид самих предметов.

3. Очистка посеребренных бронзовых монет (известных в нумизматике под названием “*moneta suberata*”). Удаляются слои оксидированного серебра, не нарушая целостность и оригинальный внешний вид самой монеты.

4. Очистка бронзы с оловянным покрытием. Типичный пример – очистка наружной поверхности посуды из археологических раскопок. Трудность выполнения этой операции связана с очень малой толщиной (характерные значения – единицы микрон) оловянного слоя. Лазерная обработка позволяет провести очистку загрязнений и иных наслоений, сохраняя не только оригинальное оловянное покрытие, но и мельчайшие детали рельефа (например, рисунки и надписи) на поверхности объекта.

5. Очистка позолоченной бронзы. Хотя очистка позолоченных изделий относится к разряду наиболее сложных задач реставрации, лазерная обработка дает возможность эффективно удалять слои загрязнений и тонкие пленки, образующиеся в результате коррозии меди и кристаллизации растворимых солей на поверхности золота, практически не нарушая целостность самого золотого покрытия. В числе наиболее известных и самых эффектных примеров применений лазеров в этой области следует упомянуть реставрацию бронзовых дверей собора Санта-Мария дель Фьоре, известных под названием “Врата Рая” (работа итальянского скульптора Лоренцо Гиберти, музей Дуомо, г. Флоренция, Италия) [5] и статуи Давида (работа итальянского скульптора Андреа дель Вероккио, Национальный музей Барджелло, г. Флоренция, Италия) [6].

Что касается лазерной сварки, то этот метод обработки объектов из металла позволяет получать качественные, прочные сварные соединения, исключая обширный разогрев металлической поверхности и использование каких бы то ни было химических активных флюсов и дорогостоящих припоев. Это дает неоспоримое преимущество лазерной сварке перед обычно используемым в реставрации методом пайки, который невозможно использовать при реставрации большинства сложных, комбинированных объектов, так как вследствие неконтролируемого теплового воздействия существует реальная угроза разрушения таких предметов. К подобным объектам относятся, например, произведения искусства, которые имеют декоративные покрытия – золочение или серебрение, инкрустацию, неразборные вставки из эмалей или драгоценных камней и т. д.

В качестве наглядного примера возможностей применения лазерных технологий в реставрации в данной статье описываются результаты работ по лазерной очистке и сварке, которые проводятся в Государственном Эрмитаже начиная с 2005 года. В этих работах используется технологический ла-

зер “Квант-12”, работающий на длине волны 1,06 мкм и имеющий длительность импульса от 2,5 до 3,5 мс (в зависимости от уровня накачки).

Хотя установка “Квант-12” предназначена для сварки, проведенные в Эрмитаже работы продемонстрировали возможность ее применения в ряде случаев и для очистки металлических поверхностей. Ниже приводятся результаты некоторых реставрационных работ, проведенных в Эрмитаже с использованием данного лазера.

Лазерная сварка

Объект реставрации – серебряная позолоченная ветка – фрагмент серебряной настольной скульптуры (первая половина XIX века). Черенок ветки был отломан и утрачен (рис. 1). Для восполнения утраты был подобран латунный пруток соответствующего диаметра. Традиционные методы пайки для реставрации этого объекта не могут быть применены. Так, например, использование пайки оловянно-



Рис. 1. Серебряная позолоченная ветка (1-я половина XIX века) до реставрации.

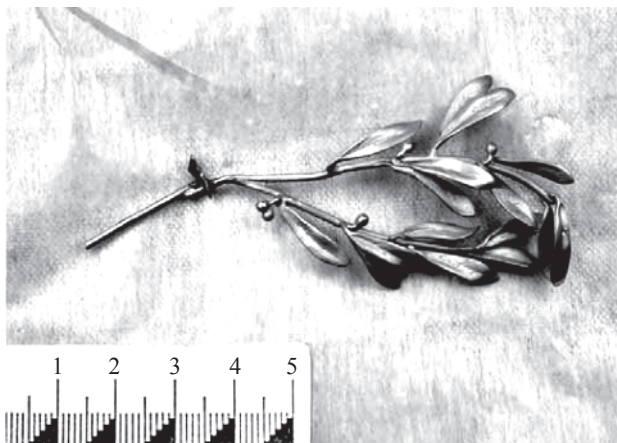


Рис. 2. Ветка после реставрации с помощью лазерной сварки.

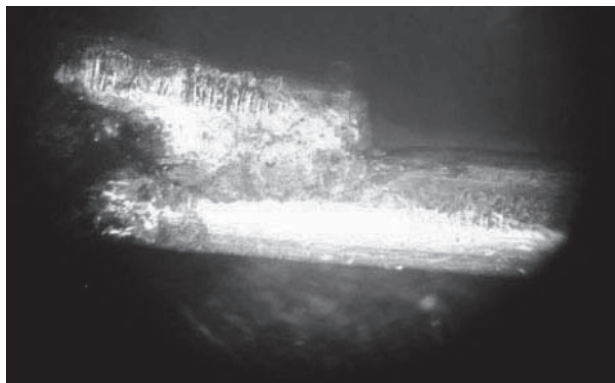


Рис. 3. Увеличенное под микроскопом (10 $\times$) изображение зоны сварки.

свинцовым припоем не обеспечивает достаточной прочности из-за малого размера области стыковки двух деталей (около 3 мм). Использование пайки твердым припоем также не может быть применено из-за сильного нагрева всех поверхностей деталей, что может привести к утрате исторической авторской позолоты.

Прочное соединение двух деталей было достигнуто с помощью применения лазерной сварки без использования какого бы то ни было дополнительного припоя. При этом не произошло общего сильного нагрева предмета и позолота не претерпела никаких деструктивных изменений (рис. 2).

Для выполнения сварки использовался режим одиночных импульсов с энергией около 2 Дж. При этом лазерный пучок фокусировался на поверхности скульптуры в пятно диаметром 200–300 мкм.

Для контроля качества сварного шва область сварки была сфотографирована под микроскопом с 10-кратным увеличением (рис. 3). Как видно на фото, сварной шов не имеет дефектов, что говорит о высоком качестве лазерной сварки.

Лазерная очистка

Объект реставрации – стальные щипчики (середина XIX века). Как видно на фото (рис. 4), одна из ручек щипчиков имела на своей полированной поверхности локальный очаг активной коррозии железа.

Традиционные методы химического удаления коррозии и так называемый тампонный метод для удаления локальных очагов активной коррозии в данном случае использовать было почти невозможно из-за сложности контроля действия химических реагентов, которые могли повредить полировку – авторскую обработку металлической поверхности. По этой причине для удаления активной коррозии была использована лазерная очистка.

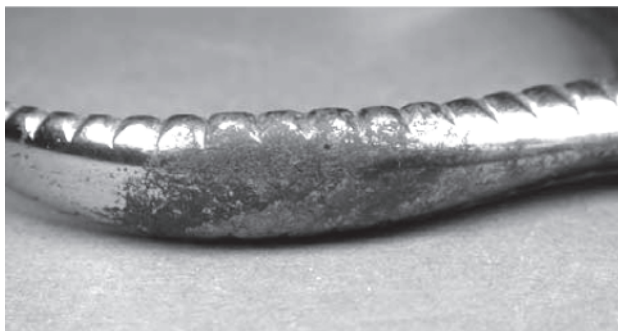


Рис. 4. Стальные щипчики (середина XIX века) до реставрации.



Рис. 5. Щипчики после реставрации с помощью лазерной очистки.

Для удаления очага коррозии использовался режим одиночных лазерных импульсов с энергией 0,65–1,0 Дж. При этом лазерный пучок фокусировался на поверхности скульптуры в пятно диаметром 300–500 мкм.

Положительный результат удаления активной коррозии показал в данном случае явное преимущество лазерной очистки по сравнению с традиционной химической обработкой, а именно полностью контролируемый процесс удаления коррозии – коррозия была удалена только с места ее возникновения, не затрагивая окружающую полированную поверхность (рис. 5).

Для проверки качества лазерной очистки отреставрированные щипчики были помещены в эксикатор. Параметры проверки в эксикаторе: влажность 90%, температура 25 °С, время 24 часа. Каких-либо изменений состояния поверхности металла, а тем более повторного возникновения очагов активной коррозии выявлено не было, что говорит о высокой эффективности лазерного метода обработки.

Заключение

Приведенные в данной статье сведения и полученные авторами экспериментальные результаты позволяют сделать следующие выводы.

Применение лазерных технологий в реставрации произведений искусства имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами сохранения объектов культурного наследия, а именно:

- из-за локального термического воздействия лазерного излучения на материал окружающие зоны практически не нагреваются, поэтому не происходит нарушений формы и возникновения внутренних напряжений в обрабатываемом объекте. Это позволяет осуществлять обработку сложных, комбинированных объектов, которые имеют в своем составе разные материалы (металлы, органика, керамика, драгоценные камни и др.);

- так как обработка объектов осуществляется при помощи светового воздействия, отсутствует механический контакт лазерного “инструмента” с поверхностью, что позволяет работать даже с чрезвычайно хрупкими объектами;

- лазерные методы дают возможность непосредственного управления процессом обработки, который может быть немедленно приостановлен путем выключения лазера. При этом состояние поверхности может непрерывно контролироваться в течение всего процесса лазерной обработки;

- луч лазера работает только там, куда он направлен. Диаметр лазерного пучка может варьироваться в пределах от долей миллиметра до нескольких миллиметров, что позволяет использовать лазер как для выполнения чрезвычайно тонкой, так и относительно крупномасштабной работы;

- лазерная обработка – это экологически “чистый” процесс, поскольку он не требует применения химических реактивов и агрессивных газов.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что использование лазеров в реставрации несомненно будет иметь дальнейшее перспективное развитие. И лазер как инструмент реставратора в ближайшие годы найдет очень широкое применение в области восстановления и сохранения объектов исторического и культурного наследия.

В заключение авторы выражают благодарность Вл.А. Парфенову (Санкт-Петербургский политехнический университет) за помощь в измерении параметров излучения лазера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lazzarini L., Asmus J., Marchesini M.L. Laser for cleaning of statuary, initial results and potentialities // 1st Int. Symposium on the Deterioration of Building Stone. La Rochelle. 1972. P. 89–94.
2. Salimbeni R. Laser techniques in Conservation in Europe // Proc. SPIE. 2005. V. 5857.
3. Cooper M. Laser Cleaning in Conservation // Introduction. Butterworth-Heinemann, Oxford. 1978.

4. *Innocenti C., Pieri G., Yanagishita M., Pini R., Siano S., Zanini A.* Application of laser welding to the restoration of the ostensory of the martyr St. Ignatius from Palermo // *Journal of Cultural Heritage*. 2003. V. 4. P. 362–366.
 5. *Siano S., Salimbeni R., Pini R., Giusti A., Matteini M.* Laser cleaning methodology for the preservation of the Porta del Paradiso by Lorenzo Ghiberti // *Journal of Cultural Heritage*. 2003. V. 4. P. 140–146.
 6. *Siano S., Nicolai L., Porcinai S.* Verrocchio's David: characterization and conservation treatments // *Verrocchio's David restored*, Giunti Gruppo Editoriale. Florence. 2003. P. 97–109.
-