

- Александр Арсеньевич Слободов** — д-р хим. наук, профессор; Университет ИТМО, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, Санкт-Петербург; E-mail: aslobd@gmail.com
- Галина Викторовна Одинцова** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения, Санкт-Петербург; E-mail: ogv-r@yandex.ru

Рекомендована
Программным комитетом
симпозиума

Поступила в редакцию
14.12.13 г.

УДК 544.032.65

А. В. СТРУСЕВИЧ, Ю. А. ПОЛТАЕВ, Д. А. СИНЕВ

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА ОТ ГРАФФИТИ

Рассмотрены особенности технологии одноэтапного лазерного восстановления свойств прозрачности и шероховатости стеклянных поверхностей, подвергшихся воздействию красок на основе кислот.

Ключевые слова: лазерная очистка, лазерная полировка, лазерное восстановление стеклянной поверхности.

Введение. Современные городские объекты часто подвергаются атакам граффитистов, при этом все чаще уличные художники оставляют свои подписи, „тэги“, используя краски на основе кислоты. Под действием таких красок полированные поверхности разрушаются из-за формирования шероховатостей в результате селективного травления поверхности. Химические, термические или механические методы не позволяют оперативно убрать результаты воздействия, поскольку чаще всего они не предназначены для восстановления шероховатости поверхности или не дают возможность производить локальную очистку. Таким образом, необходимо модифицировать уже известные и хорошо зарекомендовавшие себя методы лазерной очистки для более эффективного восстановления поврежденных поверхностей.

Термическое воздействие лазерного излучения позволяет удалять загрязнения с поверхности материала, при этом формируется размягченный слой стекла, что способствует значительному снижению шероховатости благодаря силам поверхностного натяжения [1—3].

В настоящей работе предпринята попытка объединения двух наиболее известных лазерных методов, используемых для восстановления поверхностей, очистки и полировки, в одном технологическом этапе лазерного восстановления поверхности.

Состав краски для граффити включает в себя травитель (кислота — плавиковая HF или уксусная CH_3COOH), краситель и стабилизатор (изменяется в зависимости от состава) [4]. Воздействие кислотосодержащей краски приводит к распаду входящих в состав стекла оксидов с образованием фторида кремния и силикафторидов металлов при использовании плавиковой кислоты и ацетатов металлов — при использовании уксусной кислоты [5]. Эти реакции идут с активным выделением воды, что приводит к уменьшению концентрации реагирующей кислоты и стабилизации толщины протравленного слоя на уровне нескольких десятков нанометров. Визуальный эффект такого воздействия усиливается осевшим на поверхности стекла красящим веществом, в роли которого может выступать, например, хлорид аммония NH_4Cl . Температура лазерного удаления красящих веществ с поверхности стекла может варьироваться, однако она обычно ниже температуры размягчения стекла (для хлорида аммония

температура возгонки составляет 611 К [5]). Поэтому процесс восстановления поверхности может рассматриваться как лазерное испарение с нее всех летучих веществ (красителя и др., рис. 1, а) при нагревании поверхностного слоя до температуры размягчения (рис. 1, б).

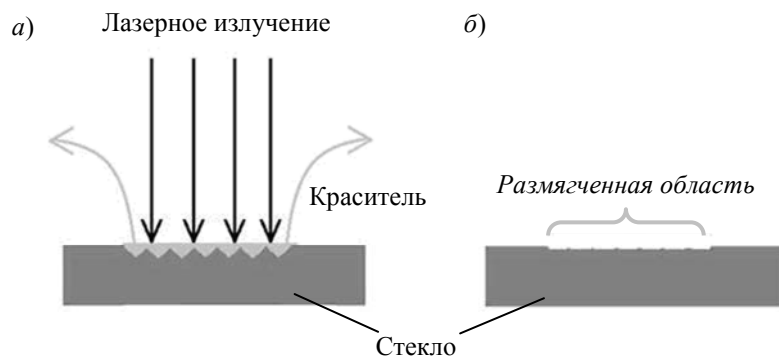


Рис. 1

В экспериментах использованы образцы оконного стекла, предварительно протравленные HF (концентрация 40 %) или покрытые краской на основе уксусной кислоты. Образцы, протравленные чистой плавиковой кислотой, не содержали в обрабатываемой области красящего вещества, поэтому были использованы для определения необходимых режимов лазерной полировки стекла.

Лазерная обработка проведена непрерывным излучением CO₂-лазера SYNRAD, для предотвращения растрескивания образцы подогревались газовой горелкой. Полученные образцы исследовались с помощью оптического, а также сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) NanoEducator.

Оценим мощность лазерного излучения, требуемую для процедуры восстановления поверхности [3]:

$$P \approx \frac{(T - T_n) k \pi r_0^2}{2(1 - R)} \sqrt{\frac{\pi t}{a}},$$

где T — температура лазерно-индуцированного нагрева; T_n — начальная температура; k и a — тепло- и температуропроводность материала; r_0 — характерный радиус гауссова пучка; R — коэффициент отражения; t — время воздействия излучения на область площадью πr_0^2 .

Поскольку температура размягчения стекла (около 873 К) превышает температуру возгонки красителя, именно она в настоящем случае будет являться нижним порогом восстановления поверхности. Без учета дополнительного подогрева, при $r_0 = 5$ мм и $t \approx 20$ —30 с, требуемая мощность лазерного излучения ≈ 3 Вт. Экспериментальный подбор режима облучения, проведенный на основе данных оценок, позволил получить оптимальные режимы восстановления поверхности стекла, о чем свидетельствуют оптические микрофотографии исходного стекла (рис. 2, а), а также травленного: HF (рис. 2, б), HF и восстановленного при лазерной обработке (рис. 2, в); краской на основе уксусной кислоты (г), травленного краской на основе уксусной кислоты, а затем восстановленного (д). Видно, что воздействие лазерного излучения в исследованных режимах позволяет восстановить исходную прозрачность стекла, что подтверждается СЗМ-изображениями: исходные размеры неоднородности на поверхности стекла составляли порядка 10 нм (рис. 3, а), после травления HF эти размеры увеличились втрое (б), а после лазерной полировки была получена исходная шероховатость (в). Скорость сканирования при лазерной обработке ≈ 15 мм/мин. В других экспериментах стекло, прошедшее обработку краской на основе CH₃COOH, имело поверхностные неоднородности высотой 500 нм (рис. 3, г), которые после облучения уменьшились в 10—15 раз (д) при сокращении времени воздействия, что позволило повысить скорость обработки до 60 мм/мин.

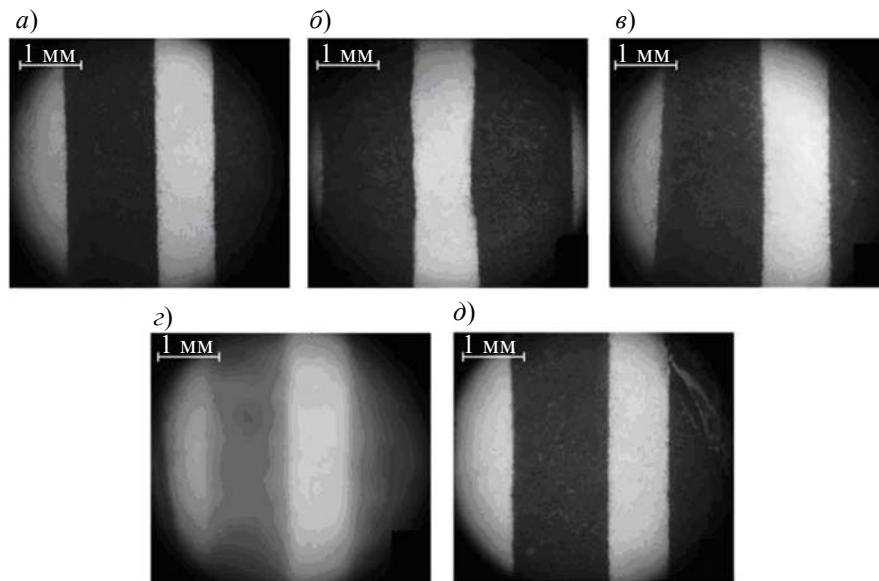


Рис. 2

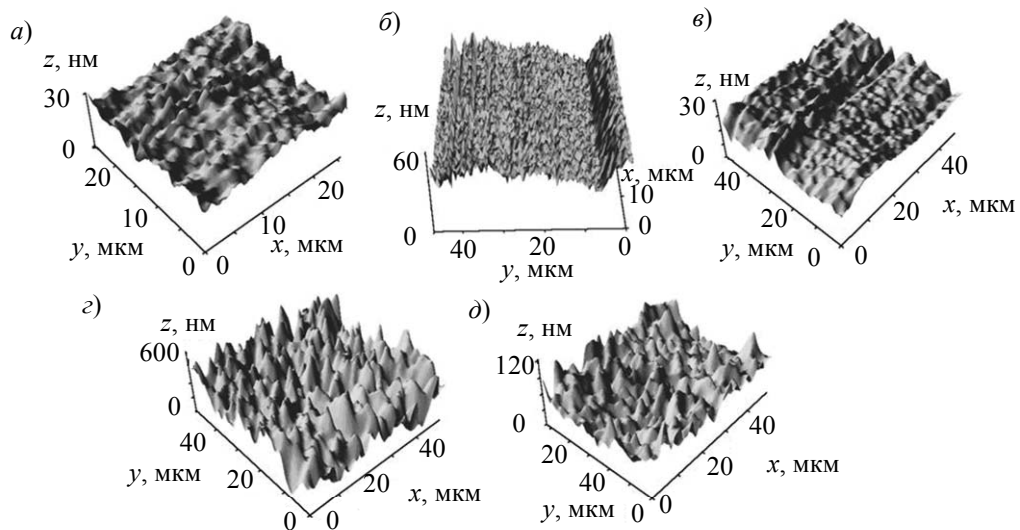


Рис. 3

В настоящей работе показано, что существуют предпосылки для создания технологии лазерного восстановления загрязненной поверхности стекла, объединяющей очистку и полировку. Следует отметить, что представленное исследование может быть рассмотрено как основа для разработки одноэтапной технологии лазерного восстановления поверхностей, реагирующих с кислотами. Авторы полагают, что перспективным направлением исследований является варьирование комбинаций компонентов кислотных красок, образцов материалов и параметров лазерной установки для расширения применимости технологии и повышения ее производительности.

Авторы благодарят А. Лямзину, В. Петрова и Д. Прокопюка, выпускников Летней школы лазерных технологий, за оказание помощи в экспериментах; А. В. Откееву, директора Школы, аспиранта кафедры ЛТиЭП, за помощь в подборе указанных ассистентов. Авторы также выражают благодарности А. А. Самохвалову и проф. Е. А. Шахно, сотрудникам кафедры ЛТиЭП, за ценные обсуждения.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов РФ (субсидия 074-U01) и гранта Президента РФ НШ-1364.2014.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Онохов А. П., Резниченко В. В., Яковлева Н. С. Лазерная обработка оптических поверхностей // Оптич. журн. 1995. № 1. С. 68—71.
2. Буркат Т. М., Добычин Д. П., Онохов А. П., Пак В. Н., Пальтиель Л. Р. Влияние лазерной обработки на структуру и оптические свойства поверхности полированного кварцевого стекла // Физика и химия стекла. 1991. Т. 17, № 6. С. 908—913.
3. Вейко В. П., Шахно Е. А., Яковлев Е. Б. Гидродинамические процессы на поверхности стекла при лазерной обработке // Изв. РАН, сер. физическая. 1997. Т. 61, № 8. С. 1513—1518.
4. Кислота кислотная/ Вконтакте [Электронный ресурс]: <<http://vk.com/kislotakislotnay>>.
5. Электронная химическая энциклопедия/ ГНУ ЦНСХБ Россельхозакадемии [Электронный ресурс]: <<http://www.cnsheb.ru/AKDiL/0048/default.shtm>>.

Сведения об авторах

- Анастасия Валерьевна Струсевиц** — студент; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения, Санкт-Петербург;
E-mail: darkness595@mail.ru
- Юрий Александрович Полтаев** — студент; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения, Санкт-Петербург;
E-mail: yurka.poltaev@yandex.ru
- Дмитрий Андреевич Синева** — аспирант; Университет ИТМО, кафедра лазерных технологий и экологического приборостроения, Санкт-Петербург;
E-mail: sinev_dm@mail.ru

Рекомендована
Программным комитетом
симпозиума

Поступила в редакцию
14.12.13 г.

УДК 621.375.826

М. В. ВОЛКОВ, А. А. КИШАЛОВ, В. Ю. ХРАМОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА ДЛЯ ЗАКАЛКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

Приведены результаты экспериментов по закалке резьбовых соединений насосно-компрессорных труб (НКТ) при помощи иттербиевого волоконного лазера, работающего в непрерывном режиме. В качестве образцов использовались участки НКТ из стали 38Г2С. Приведены режимы обработки, микрошлифы резьбовых участков, а также результаты испытаний износостойкости образцов.

Ключевые слова: лазерная закалка, волоконный лазер.

Насосно-компрессорные трубы (НКТ) применяются при эксплуатации и ремонте нефтяных, газовых, нагнетательных и водозаборных скважин. Это бесшовные трубы диаметром 27—114 мм [1] и длиной обычно 8—10,5 м, с обеих сторон оканчивающиеся участком внешней резьбы. При работе в условиях скважины трубы соединяются посредством муфт. Следовательно, предъявляются высокие требования к качеству резьбовых соединений НКТ, так как негерметичность или поломка резьбового соединения ведет к остановке и длительному ремонту скважины, а в некоторых случаях — и к потере скважины. Один цикл работы — спускоподъемная операция (СПО) — соответствует одной операции свинчивания—развин-