

## ВЛИЯНИЕ ВОДНОЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕССЫ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Л. Е. Афанасьева<sup>1</sup>, П. О. Зоренко<sup>1</sup>,  
С. А. Чигиринский<sup>2</sup>, А. С. Иванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет, г. Тверь  
<sup>2</sup> ЗАО Предприятие Остек, Москва

Исследовано влияние водной среды на процессы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов. На примере лазерной маркировки в свободной воде показано, что при высоких частотах повторения лазерных импульсов усиливается рассеяние излучения на образующихся газовых пузырьках и возрастает загрязнение водной среды побочными продуктами реакции, которые не успевают удаляться потоками воды из зоны обработки. Это приводит к расширению маркируемых линий и снижению качества обработки. Маркировку в свободной воде целесообразно выполнять на частотах менее 5 кГц.

**Ключевые слова:** лазерные технологии, обработка поверхности, маркировка, водная среда

**Введение.** Лазерная технология в настоящее время стала одной из приоритетных технологий в обработке материалов, связи, обработке информации, в оптоэлектронике, в биологии и медицине, а также в измерениях и научных исследованиях [1]. Обработка материалов – одна из основных областей применения лазеров в мире, более 25% мирового рынка лазерных технологий. Это связано с тем, что лазерная обработка материалов имеет ряд существенных преимуществ:

1. высокая концентрация подводимой энергии позволяет производить поверхностную обработку без нагрева остального объема изделия, что приводит к минимальному короблению деталей;

2. возможность широкого регулирования параметров лазерного излучения позволяет реализовать ряд специальных методов поверхностной обработки материалов, к которым относятся лазерная термообработка, оплавление поверхности, получение покрытий, ударное воздействие, инициирование поверхностных химических реакций, лазерная маркировка, очистка поверхностей и др.;

3. отсутствие механических усилий, что дает возможность обрабатывать хрупкие и ажурные конструкции;

4. возможность транспортировки излучения на значительные расстояния и подвод его в труднодоступные места;

5. высокая производительность процессов и быстрая окупаемость капитальных затрат на оборудование;

6. возможность обработки на воздухе, легкость автоматизации процессов, отсутствие вредных отходов при обработке, что определяет высокую технологичность лазерного луча [1, 2].

Чаще всего лазерные технологии выполняют на воздухе. Для некоторых технологических процессов, например, резки, сварки, используют вспомогательные газовые среды – кислород, азот, аргон и др. Особый интерес представляет использование водной среды в лазерных технологических процессах. Лазерную обработку материалов в водной среде изучают с 1970 года, и такая обработка имеет ряд практических применений. Прежде всего, следует отметить разработанную швейцарской компанией Synova еще в 1990-х годах технологию Laser MicroJet [3]. Суть ее заключается в том, что лазерный луч через фокусирующую линзу попадает в камеру, в которую подается вода под давлением около 30 МПа. Находясь в струе воды, луч попадает на обрабатываемую поверхность. Эта технология основана на различии коэффициентов преломления воды и воздуха. Вследствие эффекта полного внутреннего отражения лазерный луч, находясь в струе воды, не выходит за её пределы и сохраняет постоянный диаметр. Ширина реза по технологии Laser MicroJet практически равняется диаметру струи воды.

В работах [4, 5] показана перспективность применения водной среды для резки постоянных магнитов, которые помещались в кювету с водой. Обработка в свободной воде применяется для лазерной очистки поверхностей, ударной лазерной обработки, маркировки и др. Отмечается положительное влияние водной среды при лазерной поверхностной обработке материалов по сравнению с газовой средой. Вода охлаждает обрабатываемые детали более эффективно, чем газы; преобразует часть излучаемой энергии в механический импульс через испарение и плазмообразование, снижает атмосферное загрязнение отходами газов и аэрозолей.

Цель настоящей работы – экспериментальное исследование влияния водной среды на лазерную поверхностную обработку в зависимости от технологических параметров.

**Методика эксперимента.** Исследовали образцы нержавеющей стали марок 12X18H10T и 20X13 в состоянии поставки, инструментальной стали марки Р6М5 после закалки и трехкратного отпуска, а также редкоземельные постоянные магниты промышленного производства.

Лазерная поверхностная обработка образцов выполнялась на установке ML-7320С компании MIVACHI (Нидерланды) с оптоволоконным лазером на активном иттербиевом волокне с диодной накачкой, центральная длина волны излучения 1065 нм, средняя мощность излучения 20 Вт, потребляемая мощность 0,5 кВт,

длительность импульса 10...190 нс, рабочая область без перемещения образца или лазерной головки 100×100 мм, фокусное расстояние 176±2 мм, частота следования импульсов 2 ... 500 кГц, скорость перемещения лазерного луча 0,1...500 мм/с, направляющий лазерный сигнал с функцией предварительного просмотра маркировки. Данная установка позволяет выполнять высокоскоростную и высокоточную маркировку металлов и пластиков, а также резку материалов толщиной 0,5 мм с точностью соблюдения размеров до 20 мкм и лазерную пробивку отверстий.

Исследования микроструктуры проводились с помощью металлографического микроскопа МИМ-8 с цифровой камерой и конфокального измерительного микроскопа КН-7700 компании Niqox Co, Япония.

Изучаемые образцы сплавов помещали в кювету с водой. Высота уровня воды над поверхностью образцов изменялась от 2 до 6 мм. Выполнена серия экспериментов лазерной маркировки на различных режимах. Частота следования импульсов изменялась в пределах 2...35 кГц, скорость перемещения лазерного луча – от 4 до 16 мм/с, плотность мощности – от  $0,25 \times 10^6$  до  $3,8 \times 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>.

**Полученные результаты и обсуждение.** Маркировка – это процесс нанесения определенной информации на детали и изделия с целью их дальнейшего распознавания [2]. Лазерная маркировка основана на эффекте изменения свойств (поверхностной структуры) материала. В процессе маркировки происходит испарение части материала с поверхности, в результате чего текстовые или графические изображения формируются в виде системы углублений (канавок). Иногда маркировку выполняют без испарения материала, оплавливая поверхность.

Под действием лазера происходит морфологическая модификация поверхности и образование волнообразного рельефа (рис. 1). Возникновение рельефа является следствием тепловых, гидродинамических и кристаллизационных процессов.

Показанный на рис. 1 участок лазерной маркировки стали Р6М5 выполнен на следующих режимах: частота следования импульсов 20 кГц, скорость перемещения лазерного луча 10 мм/с, плотность мощности  $1,69 \times 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>. Направление движения луча лазера показано стрелкой. Ширина углубления 80 мкм, ширина маркировки с учетом зоны лазерного воздействия 120 мкм.

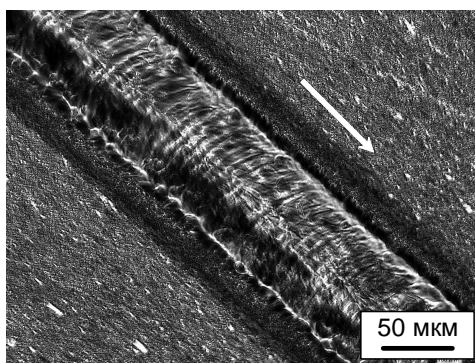


Рис. 1. Микроструктура маркированной поверхности стали марки Р6М5. Направление движения луча лазера показано стрелкой

На рис. 2, *а* представлена микроструктура стали марки Р6М5 вне области маркировки. После закалки и трехкратного отпуска она представляет собой мартенсит и карбиды.

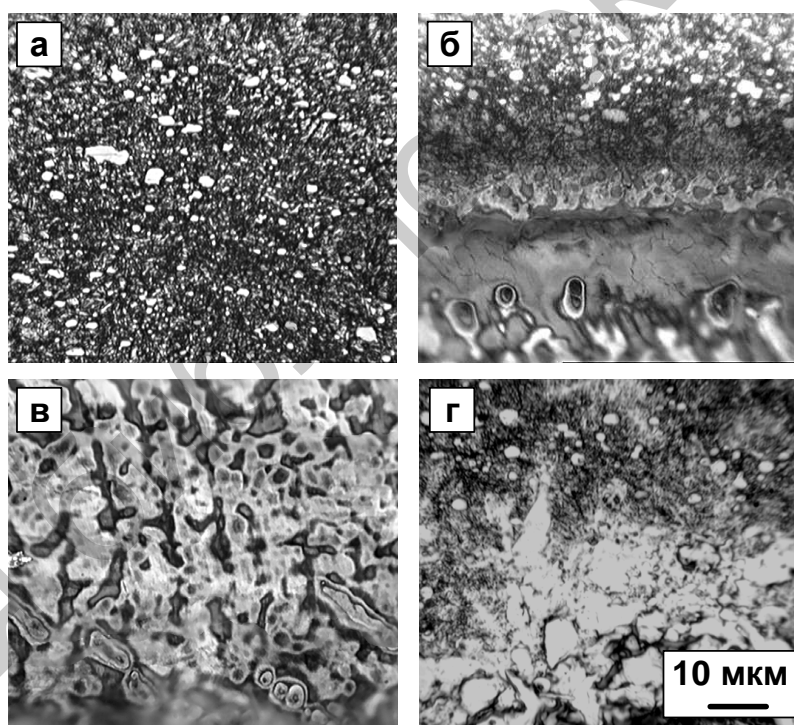


Рис. 2. Микроструктура поверхности стали марки Р6М5 после лазерной маркировки на воздухе (*а* – вне зоны лазерной обработки; *б* – по границе маркировки; *в* – оплавленная поверхность) и в воде (*г* – по границе маркировки)

При выполнении лазерной маркировки на воздухе, поверхность металла окисляется (рис. 2, *б*), поэтому она выглядит тёмной. По границе обработки появляются трещины. Это подтверждает выводы,

сделанные в работе [7] о том, что быстрорежущие стали после термической обработки на максимальную твердость имеют недостаточную технологическую прочность при лазерном воздействии.

Оплавленная поверхность полученного маркировкой углубления изображена на рис. 2, в. Она имеет пористую морфологию. По краю линии маркировки обнаружен незначительный выброс расплавленного металла. Контрастность изображения и его читаемость удовлетворяют необходимым требованиям.

На рис. 2, г показана граница лазерной маркировки поверхности стали марки Р6М5, выполненной в свободной воде на тех же режимах. Поверхность обработки светлая и выглядит размытой. Шероховатость поверхности выше, чем после маркировки на воздухе.

На рис. 3 представлены изображения лазерной маркировки постоянного магнита NdFeB, выполненной на воздухе (верхний ряд) и в воде (нижний ряд). Маркировка проводилась на следующих режимах: скорость перемещения лазерного луча – 10 мм/с, плотность мощности –  $1,69 \times 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>, частота следования импульсов соответственно 5, 10, 15, 20, 25, 30 и 35 кГц.

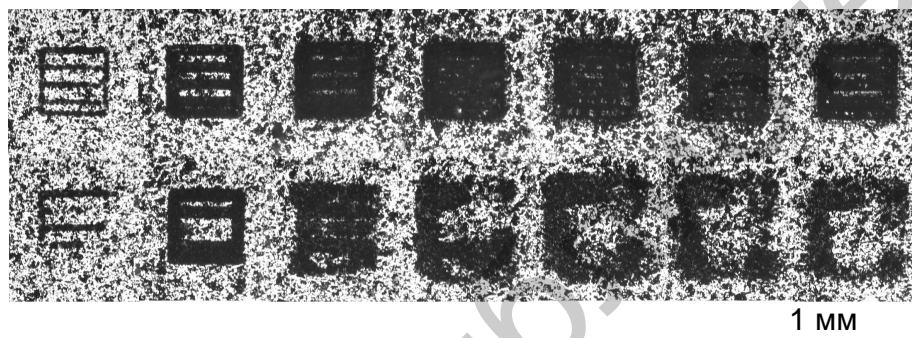


Рис. 3. Лазерная маркировка постоянного магнита NdFeB, выполненная на воздухе (верхний ряд) и в воде (нижний ряд)

Можно сделать вывод, что наиболее четкими являются изображения, полученные на частотах 5 и 10 кГц. С увеличением частоты импульсов излучения увеличивается зона лазерного воздействия, отпечаток становится крупнее, а границы менее четкими.

Маркировка в воде показала, что с повышением частоты излучения знаки значительно увеличиваются в размерах (до 30%). Это связано с тем, что лазерное излучение рассеивается на образующихся пузырьках пара, тем самым снижается скорость абляции материала с обрабатываемой поверхности. Кроме того, при обработке в свободной воде происходит прорисовывание не всех линий, контуры не замкнутые. Первые импульсы создают более четкое изображение, с поверхности удаляется большее количество материала, чем последующие. Это происходит потому, что удаляемый с поверхности материал не успевает

удаляться потоками воды за счет тепловой конвекции и движения пузырьков. Вода становится менее прозрачной, образующиеся при маркировке отходы поглощают лазерное излучение.

**Заключение.** Из полученных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что маркировку в свободной воде целесообразно выполнять на частотах менее 5 кГц. При повышении частоты происходит рассеяние излучения на образующихся газовых пузырьках, что приводит к расширению маркируемых линий и поглощение лазерного излучения продуктами реакции, которые не успевают удаляться конвекционными потоками воды из зоны обработки.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы

#### **Список литературы**

1. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. Под ред. В.Я. Панченко. М.:Физматлит, 2009, 664 с.
2. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров. М.: МГТУ, 2006, 664 с.
3. Башта П. Лазерная резка методом Laser MicroJet // Электроника: наука, технология, бизнес, 2010, №3, С. 32-35.
4. Kruusing A Underwater and water-assisted laser processing: Part 1 – general features, steam cleaning and shock processing // Optics and lasers engineering (2004). V. 41. P. 307–327.
5. Kruusing A Underwater and water-assisted laser processing: Part 2 – Etching, cutting and rarely used methods // Optics and lasers engineering (2004). V. 41. P. 329–352.
6. Семашко В.И. Методы лазерной маркировки // Доклады БГУИР, 2004, №4, С. 93–97.
7. Афанасьева Л.Е., Барабонова И.А., Зубков Н.С., Разумов М.С. Технологическая прочность наплавленной быстрорежущей стали при газолазерной резке // МиТОМ. 2009. №7. С. 36–38.

## **EFFECT OF WATER ENVIRONMENT ON LASER SURFACE PROCESSING**

**L. E. Afanasieva<sup>1</sup>, P. O. Zorenko<sup>1</sup>  
S. A. Chigirinsky<sup>2</sup>, A. S. Ivanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Tver State Technical University, Tver

<sup>2</sup>Closed Corp. Enterprise Ostek, Moscow

A study is made of the effect of water environment on surface laser processing of metals and alloys. It is shown by an example of laser engraving in free water that high laser pulse frequencies increase light scattering on gas bubbles and increase the water pollution with by-products of the reaction, which stay in the reaction zone resulting in the broadening of marking lines and deteriorating the processing quality. Frequencies not exceeding 5 kHz are recommended for engraving in free water.

**Keywords:** *laser technologies, surface processing, water medium*

*Об авторах:*

АФАНАСЬЕВА Людмила Евгеньевна – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры технологии металлов и материаловедения ТГТУ, *e-mail:* ludmila.a@mail.ru;

ЗОРЕНКО Пётр Олегович – аспирант кафедры технологии металлов и материаловедения ТГТУ, *e-mail:* petzorenko@yandex.ru;

ЧИГИРИНСКИЙ Сергей Анатольевич – кандидат физ.-мат. наук, главный специалист отдела микроэлектроники ЗАО Предприятие Остек, Москва, *e-mail:* sergey.chigirinsky@ostec-group.ru;

ИВАНОВ Александр Сергеевич – старший инженер отдела сервиса ЗАО Предприятие Остек, Москва, *e-mail:* alexander.ivanov@ostec-group.ru.