



УДК 621.373.826, 621.7.011, 621.78.015

Ю. С. Рузанкина
Университет ИТМО

В. А. Парфенов
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

О. С. Васильев
ООО «Лазерный центр» (Санкт-Петербург)

Повышение коррозионной стойкости стали при помощи лазерной обработки

Рассматривается возможность повышения коррозионной стойкости стали. Описаны результаты экспериментов по лазерной обработке модельных образцов из углеродистой стали излучением непрерывного волоконного иттербиевого лазера на длине волны 1.06 мкм. Показано, что лазерная обработка позволяет сформировать на поверхности стали стойкие защитные пленки толщиной 2...3 мкм, которые повышают антикоррозионные свойства металла. Одной из возможных причин повышения коррозионной стойкости стали является микроструктурирование ее поверхности с образованием тонкой пленки карбида железа (Fe_3C), который образуется в результате нагрева в диапазоне температур от 600 до 1000 °С. Кроме того, воздействие лазерного излучения приводит к уменьшению шероховатости поверхности (R_a с 0.53 до 0.48 мкм). Оптимальному (с точки зрения степени коррозионной стойкости) режиму обработки стали соответствует уровень плотности мощности лазерного излучения $1.5 \cdot 10^5$ Вт/см². Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение непрерывных волоконных лазеров является перспективным способом повышения коррозионной стойкости углеродистой стали.

Металлообработка, защита стали от коррозии, волоконный лазер, лазерная обработка, микроструктурирование поверхности

Современное развитие химической промышленности и разработка новых технологических процессов, протекающих в агрессивных средах, предъявляют к конструкционным материалам высокие эксплуатационные требования [1]. Надежность техники во многом определяется стойкостью ее конструктивных элементов к воздействию природных факторов. Это связано с тем, что из-за химического и электрохимического взаимодействия металлических предметов с окружающей средой происходит коррозия, которая приводит к разрушению инженерных конструкций, аппаратов, трубопроводов и др. [1], [2]. Коррозия – это главная проблема всех металлических конструкций и сооружений [3]. Основной ущерб, который она наносит,

заключается не в порче металла как такового, а в огромной стоимости разрушаемых ею изделий [4]. Ежегодные потери от коррозии в промышленно развитых странах по оценкам экспертов составляют 2–4 % валового национального продукта. При этом потери металла, связанные с выходом из строя металлических конструкций, изделий, оборудования и пр., составляют 10–20 % годового производства стали [5]. Поэтому разработка новых высокоэффективных технологий защиты металлоконструкций от коррозии является актуальной научной и практически важной задачей.

В настоящее время существует множество различных способов защиты металлов от коррозии, в т. ч. азотирование [6]–[8], высокотемпера-

турное оксидирование [9]–[12], химико-термическая [13], [14] и лакокрасочная [15], [16] обработка. Однако большинство из перечисленных методов являются малоэффективными и дорогостоящими, а их применение усложняет производственный процесс и приводит к увеличению его продолжительности.

В последние годы наблюдается устойчивая тенденция к созданию новых способов улучшения поверхностных свойств металлов для увеличения их коррозионной стойкости. Одним из наиболее перспективных методов является лазерная обработка. Из научной литературы известен ряд работ [15]–[24] по созданию микро- и наноструктур на поверхности металлов с целью их защиты от коррозии при помощи пико- и фемтосекундных лазеров. Однако из-за высокой стоимости и сложности обслуживания таких лазерных систем их внедрение в промышленное производство пока ограничено. Альтернативным вариантом решения проблемы является использование волоконных лазеров. В настоящее время этот вид лазеров стремительно развивается, в результате чего значительно улучшились их выходные характеристики. Кроме того, постепенно снижается стоимость промышленных технологических систем на их основе. О применении волоконных лазеров для антикоррозионной защиты металлов ранее сообщалось в ряде работ (см., в частности, [25]–[29]). Авторы данной статьи подключились к исследованию возможности защиты металлов от коррозии с использованием волоконных лазеров 3 года назад. Их результаты ранее уже были опубликованы в отдельных работах [4], [25]–[29], а данная статья посвящена дальнейшему развитию этих исследований.

Результаты экспериментальных исследований. Обработка технологии лазерной антикоррозионной обработки проводилась на модельных образцах, в качестве которых были использованы небольшие (площадью до 5 см² и толщиной 3...5 мм) пластины из углеродистой стали. Они имели следующий химический состав: железо (Fe) – 83.4 %; углерод (C) – 13.5 %; кремний (Si) – 0.7 % и марганец (Mn) – 0.5 %. Помимо указанных элементов в образцах в малой концентрации присутствовали также легирующие элементы никель (Ni), хром (Cr), медь (Cu) и кобальт (Co). В России данная марка стали называется «сталь 20». Сталь с таким химическим составом была выбрана для экспериментальных исследований потому, что ее свойства могут изменяться в широких пре-

делах с помощью химико-термической и термомеханической обработки. Такая сталь чаще всего используется в трубном производстве при изготовлении деталей с твердой поверхностью и мягкой сердцевиной (в т. ч. различных валов, звездочек, болтов, крюков подъемных кранов, арматуры, листов для штампования (профнастила), гаек и болтов для неотвественного крепления и т. д.). Трубы из этой стали применяют для передачи газов, пара, неагрессивных жидкостей, подающихся под давлением и используемых в трубопроводах котлов высокого давления и коллекторов [30].

На рис. 1 представлена макрофотография поверхности стали до обработки лазерным пучком, зарегистрированная с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-5610 LV (Япония), оснащенного системой химического анализа EDX JED-2201 (табл. 1). Этот же прибор использовался для определения элементного состава образцов.

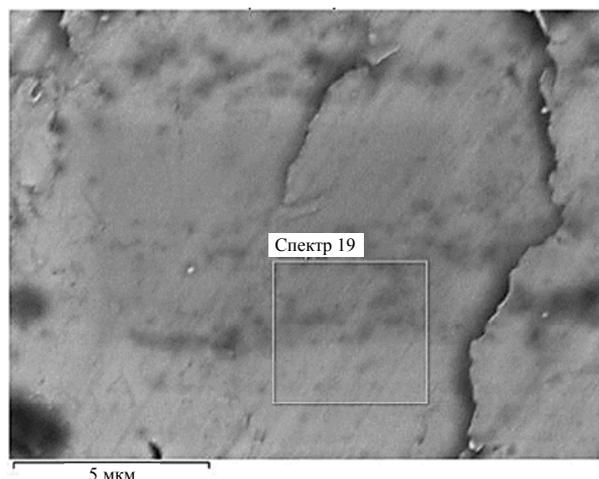


Рис. 1

Обработка образцов осуществлялась с помощью непрерывного волоконного иттербиевого лазера с длиной волны $\lambda = 1.06$ мкм. В экспериментах использовался серийно выпускаемый лазер МиниМаркер 2-С25 (ООО «Лазерный центр», Россия). Излучение лазера фокусировалось на поверхности образцов при помощи штатной системы фокусировки, которой оснащен данный лазер. Пучок по поверхности образца перемещался при помощи высокоскоростной сканирующей системы на основе гальванометрических зеркал. Максимальная выходная мощность лазера составляла около 18.5 Вт (что соответствует уровню плотности мощности излучения около $1.5 \cdot 10^5$ Вт/см²). Время обработки образцов составляло 20...35 с. Обработка поверхности металла проходила при комнатной температуре (23 °С) и относительной влажности воздуха 55 %. В процессе облучения с

Таблица 1

Плотность мощности, Вт/см ²	1.5 · 10 ⁵	5.3 · 10 ⁵	9.2 · 10 ⁵	13.2 · 10 ⁵	v, м/с
Температура, °С	1224.1	3517.3	5924.9	8325	0.1
	951.3	2572.9	4275.4	5972.5	0.2
	830.5	2154.5	3544.6	4930.3	0.3
	758.5	1905.1	3108.9	4309	0.4
	709.4	1734.9	2811.7	3885	0.5
	300.6	1609.3	2592.2	3572.1	0.6
	644.9	1511.7	2421.7	3328.8	0.7
	622.2	1432.9	2284.2	3132.7	0.8
	603.3	1367.8	2170.3	2970	0.9
	587.4	1312.6	2073.9	2832.9	1
	533.4	1125.5	1747.2	2366.8	1.5
	501.2	1013.9	1552.3	2089	2

помощью тепловизионной камеры FLIR Titanium 520M («FLIR Systems», США) осуществлялся контроль изменения температуры на поверхности металла. На рис. 2 представлена типичная термограмма поверхности стали.

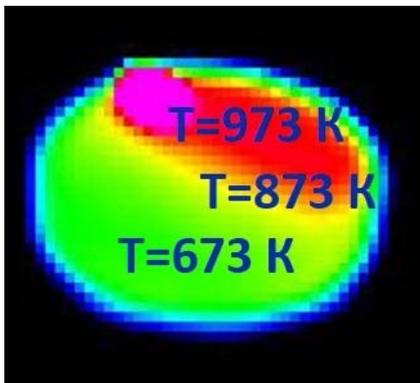


Рис. 2

Средняя максимальная температура в области лазерного воздействия достигала 700 °С. Это значение и характер экспериментальной зависимости температуры от глубины прогреваемого слоя (рис. 3) хорошо совпадают с расчетными данными, представленными в табл. 1.

Температура рассчитывалась по следующей формуле [31]:

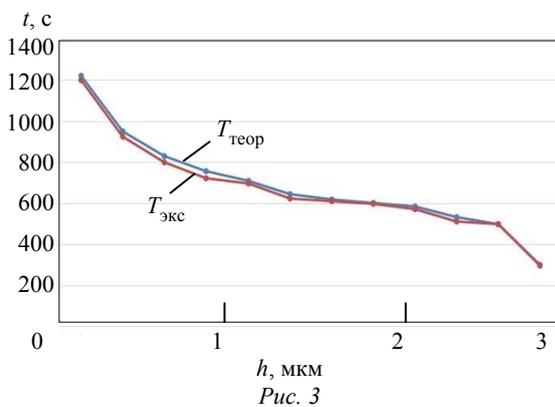


Рис. 3

$$T = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{q_0(1-R)}{k} \frac{\sqrt{2ar_0}}{v_{ck}} + T_H,$$

где q_0 – плотность мощности лазерного излучения; R – коэффициент отражения; k – теплопроводность; a – коэффициент температуропроводности; r_0 – радиус пятна; v_{ck} – скорость движения лазерного пучка относительно заготовки; T_H – начальная температура.

Значения всех величин, использованных в расчетах, приведены в табл. 2.

Таблица 2

R	$a, \text{ м}^2/\text{с}$	$k, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$r_0, \text{ см}$	$T_H, \text{ К}$
0.63	$1.172 \cdot 10^{-5}$	50	0.00225	293

Под воздействием лазера на поверхности стали образовались антикоррозионные слои в результате микроструктурирования тонкого поверхностного слоя стали. На рис. 4 представлено изображение поверхности стали после лазерной обработки, полученное с помощью микроскопа.

Для определения устойчивости этих слоев к процессам коррозии исследуемые образцы поме-

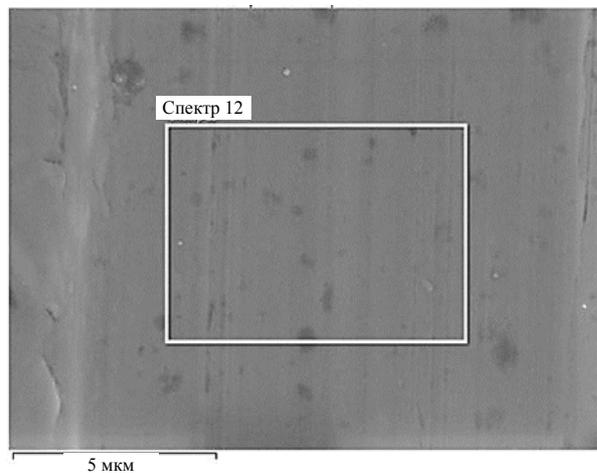
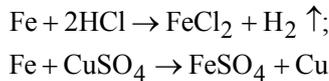


Рис. 4

щались в химически агрессивную среду, представляющую собой раствор из смеси медного купороса и соляной кислоты. Химические реакции, происходящие на поверхности стали, могут быть описаны следующими уравнениями:



На рис. 5 представлена фотография поверхности стали после ее взаимодействия с химическим реагентом. Хорошо видно, что область, обработанная лазерным пучком, почти не поддавалась разрушению, в то время как необработанная поверхность покрылась толстым слоем ржавчины. Это является наглядным подтверждением защитных свойств покрытия, образовавшегося на поверхности стали в результате лазерной обработки.

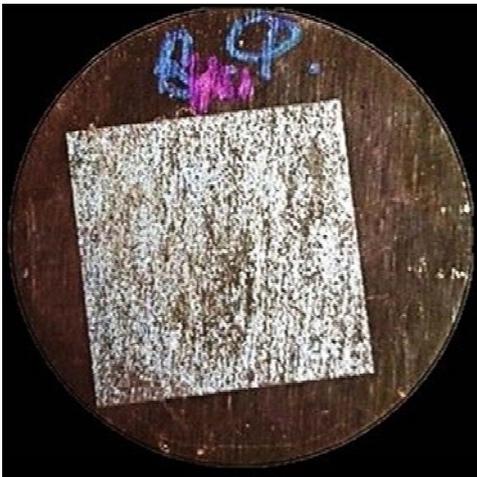


Рис. 5

Изменение шероховатости поверхности металла, зарегистрированное при помощи контактного микропрофилометра HOMMEL TESTER T8000 («Hommelwerke GmbH», Германия) до и после взаимодействия с химическим раствором, показано на рис. 6, а и б соответственно (см. также табл. 3), где по оси абсцисс отложена ширина анализируемого участка металла, а по оси ординат – глубина протравленного слоя. Здесь 1 – область, обработанная лазерным излучением, 2 – необработанный участок поверхности стали. В процессе химического травления за 20 с необработанная поверхность стали подверглась сильной коррозии и, как следствие, частично разрушилась. Глубина протравления составила около $h_{\text{тр}} = 0.17$ мкм, а толщина металла уменьшилась на 0.47 ± 0.25 мкм. Как видно из графика, воздей-

ствие химического раствора привело к увеличению шероховатости обработанной поверхности. Это связано с тем, что в растворе химического реагента присутствовала медь, которая осела на поверхность металла, в т. ч. и на защитную пленку. Из-за сильного воздействия соляной кислоты медь (на всей поверхности образца) и сталь (на необработанном лазером участке поверхности) частично разрушились. Это и стало основной причиной увеличения шероховатости поверхности в зоне лазерной обработки. Следовательно, можно сделать вывод о том, что образовавшийся под воздействием лазера антикоррозионный слой защитил металл от воздействия химического реагента. Здесь следует заметить, что сама по себе лазерная обработка (без травления) приводит к уменьшению шероховатости поверхности (R_a от 0.53 до 0.48 мкм).

В табл. 3 величины R_a и R_z – это среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля поверхности в пределах базовой длины и суммы средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и пяти наибольших провалов профиля в пределах базовой длины соответственно.

Таблица 3

Параметр, мкм	Необработанный материал	Наличие защитного слоя
R_a	0.53	0.48
R_z	3.66	2.66

Дополнительно была исследована микроструктура поверхности материала с помощью светового оптического микроскопа Leica DMI 5000 («Leica Microsystems», Германия). Для этого были изготовлены микрошлифы для проведения качественного и количественного анализа структуры углеродистой стали. Было осуществлено травление микрошлифов в 5 %-м растворе азотной кислоты с добавлением воды. На рис. 7, а и б представлен общий вид протравленной поверхности, и можно сделать вывод о том, что исследуемая сталь обладает феррито-перлитной структурой.

Наилучший результат был получен при сильной диффузии углерода. На рис. 8 и 9 показана микроструктура поверхности стали, обработанной лазером. В центре макрофотографии (рис. 8) в поперечном сечении микрошлифа отчетливо видна коричневая полоса, представляющая собой коррозионно-устойчивый слой стали, образовав-

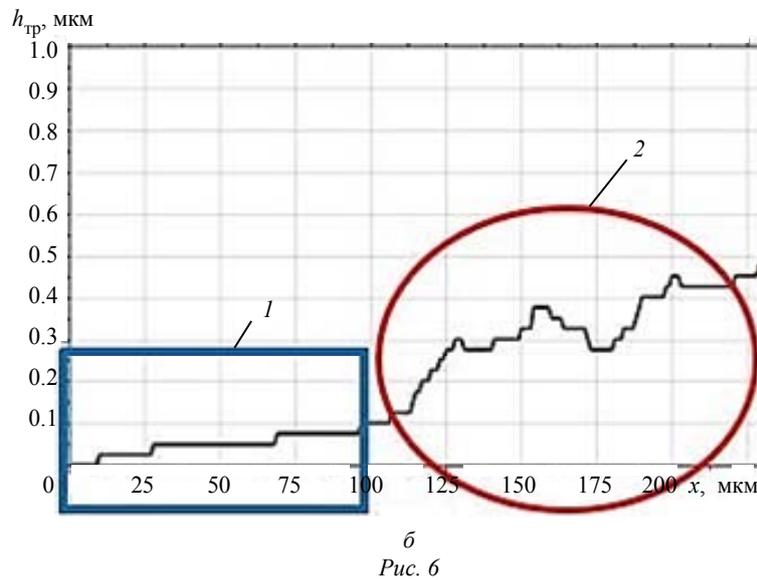
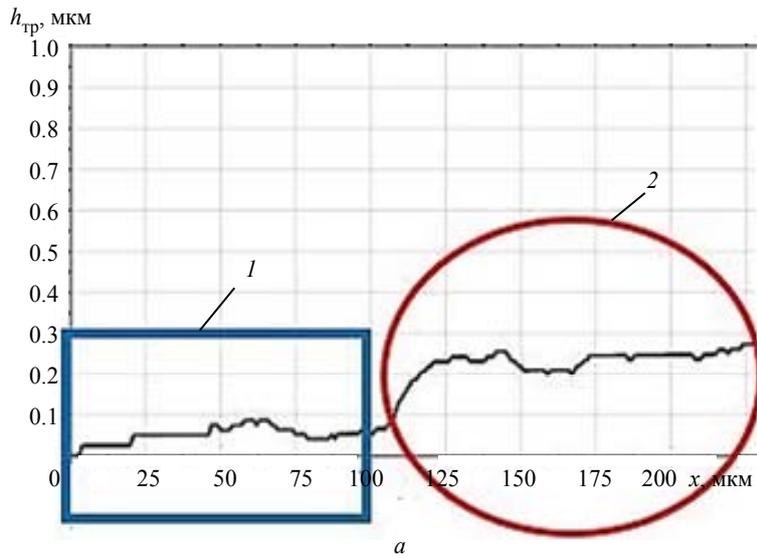


Рис. 6

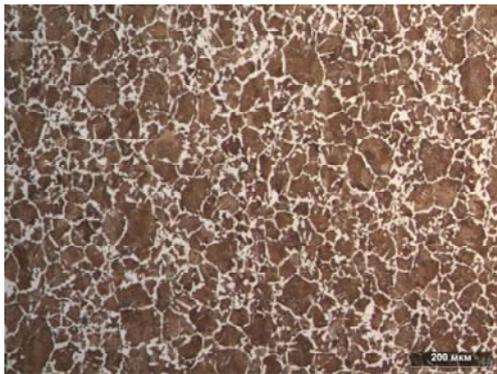


Рис. 7

шийся в результате лазерной обработки. Еще более отчетливо это видно на СЭМ-изображении (рис. 9). Толщина этого защитного слоя варьируется в пределах 2...3 мм.

В ходе дальнейших исследований было установлено, что действие лазерного излучения способствует изменению не только механических

свойств стали, но и приводит к инициации ряда химических процессов. Такой вывод был сделан в результате исследования элементного состава микрошлифов. В табл. 4 и на рис. 10 представлены данные, полученные с помощью СЭМ JSM-5610 LV.



Рис. 8

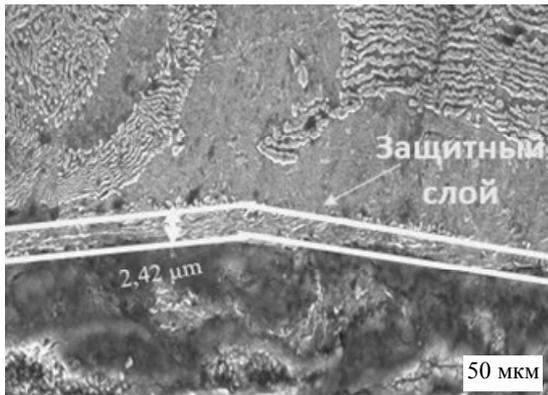


Рис. 9

Как видно из табл. 4, воздействие лазерного излучения привело к изменению химического состава стали по сравнению с исходным состоянием ее образцов. По-видимому, именно в результате сильной диффузии углерода и происходит увеличение коррозионной стойкости стали.

В данной статье была продемонстрирована возможность повышения коррозионной стойкости углеродистой стали в результате обработки ее поверхности излучением непрерывного волоконного лазера. Полученные результаты позволили определить оптимальные параметры лазерной обработки. Плотность мощности лазерного излучения, при которой формируется защитный слой, составляет около $1.5 \cdot 10^5$ Вт/см².

При таком уровне плотности мощности излучения температура в зоне лазерной обработки может меняться в диапазоне 700...800 °С. В результате воздействия лазерного излучения при таких условиях было получено плотное защитное антикоррозионное покрытие, толщина которого составляет около 2...3 мкм. Воздействие лазерного излучения позволило уменьшить шероховатость поверхности (R_a) с 0.53 до 0.48 мкм, что с учетом пористой структуры высокоуглеродистой стали является очень хорошим результатом. Образовавшееся на ее поверхности защитное покрытие имеет незначительное отличие по химическому составу по сравнению с исходным составом металла. Одним из возможных объяснений этого факта может быть то, что при лазерной обработке происходит локальное перераспределение железа и углерода в приповерхностном слое стали, что приводит к образованию карбида железа (Fe_3C). Этот эффект может быть связан со значительным нагревом поверхности металла.

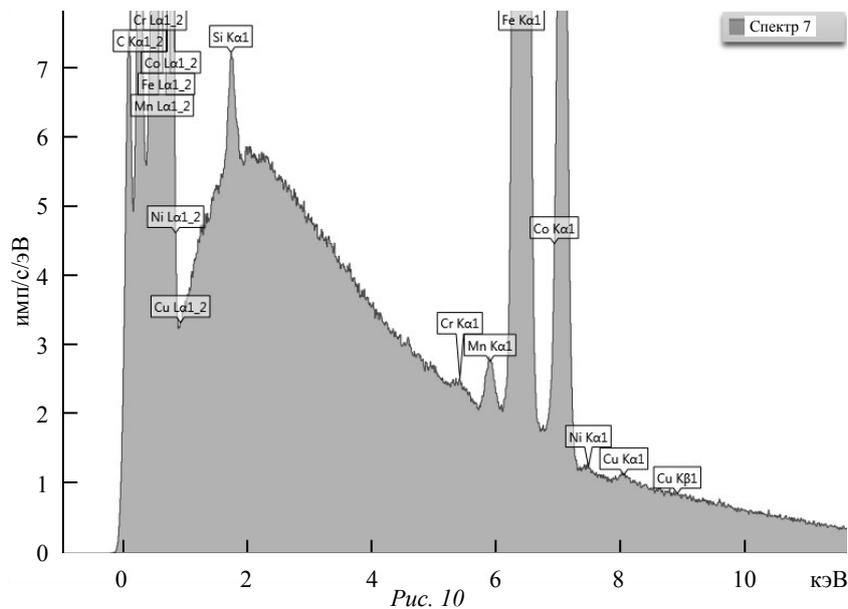


Рис. 10

Таблица 4

Химический элемент	C	Si	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Атом. %	22.6	0.5	0.05	0.5	75.6	0.5	0.17	0

Из научной литературы известно [32], что при изменении температуры стали в диапазоне 600...1000 °С (что соответствует рассматриваемому случаю) железо (Fe), кобальт (Co) и никель (Ni), вступая в химические реакции с углеродом, могут образовывать карбид железа (Fe₃C). По-видимому, за счет указанного микроструктурирования поверхности стали и повышается ее коррозионная стойкость.

Одним из интересных независимых результатов работы является то, что в процессе лазерной обработки на поверхности стали появлялись цветные оттенки (в т. ч. черного и синего цветов). Подобного рода эффекты в научной литературе известны применительно к нержавеющей стали при ее обработке излучением импульсно-периодических волоконных лазеров [25], [33]. Однако для углеродистой стали такой результат получен впервые. Это свидетельствует о потенциальной возможности применения непрерывных волоконных лазеров для восстановления художественной отделки изделий декоративно-прикладного искусства из стали (так называемого воронения), что является одной из актуальных задач современной реставрации. К из-

ложенному остается добавить, что показанная возможность повышения антикоррозионных свойств стали также может представлять интерес для реставрации, поскольку в этой области существует еще одна актуальная задача – пассивация поверхности памятников из стали, железа и чугуна после удаления коррозионных слоев с целью воспрепятствования повторному образованию очагов коррозии.

Необходимо заметить, что приведенные в статье экспериментальные результаты носят предварительный характер. Поэтому авторы предполагают продолжить свои исследования для отработки лазерной технологии антикоррозионной обработки углеродистой стали.

В заключение авторы выражают благодарность С. Г. Горному (ООО «Лазерный центр») за постоянный интерес к работе и предоставленное для проведения экспериментов лазерное оборудование, а также Н. Г. Колбасникову (СПБПУ) и сотрудникам центра «Информационные оптические технологии» Университета ИТМО за помощь в исследовании обработанных лазером образцов стали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пензен. гос. ун-та, 2000. 55 с.
2. Варченко Е. А. Особенности оценки биоповреждений и биокоррозии материалов в природных средах // Политематический сетевой электрон. науч. журн. Кубан. гос. аграрного ун-та. 2014. № 104. С. 1987–2004.
3. Колесникова Н. Н. Биологическая коррозия металлических конструкций и защита от нее // Вестн. Казан. технологич. ун-та. 2013. Т. 16, № 1. С. 170–174.
4. Laser anti-corrosion treatment of metal surfaces / A. Iakovlev, J. Ruzankina, S. Kascheev, O. Vasilyev, V. Parfenov, A. Grishkanich // Proc. of SPIE. 2017. Vol. 10097. P. 10097–26 – 10097–27; doi: 10.1117/12.2249953.
5. Горнопромышленный портал России. 2015. URL: <http://www.miningexpo.ru/articles/424> (дата обращения: 25.03.16).
6. Влияние внутренней структуры и состояния поверхности на развитие деформации на мезоуровне малоуглеродистой стали / В. Е. Панин, А. И. Слосман, Н. А. Антипина, А. В. Литвиненко // Физическая мезомеханика. 2001. Т. 4, № 1. С. 105–110.
7. Повышение прочностных характеристик конструкционной стали ЭК-181 на основе многоуровневого подхода физической мезомеханики / А. В. Панин, М. В. Леонтьева-Смирнова, В. М. Чернов, В. Е. Панин, Ю. И. Почивалов, Е. А. Мельникова // Физическая мезомеханика. 2007. Т. 10, № 4. С. 73–86.
8. Ультразвуковое модифицирование поверхности и его влияние на свойства покрытий / В. А. Клименов, Ж. Г. Ковалевская, П. В. Уваркин, О. Н. Нехорошков, Ю. Ф. Иванов, В. А. Кукареко // Физическая мезомеханика. 2004. Т. 7, спец. вып., ч. 2. С. 157–160.
9. Гришина Е. П. Влияние анодного электрохимико-термического оксидирования на коррозионную стойкость стали 45 // Электронная обработка материалов. 2008. № 5. С. 57–62.
10. Лаврентьев А. Ю., Лаврентьев М. А. Защита сварных конструкций от окисления в процессе термической обработки // Наука, техника и образование. 2015. № 11 (17). С. 28.
11. Микродуговое оксидирование (обзор) / И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин и др. М.: МАТИ, 2001. 38 с.
12. Гордей А. Э. Технология химико-термической обработки: карбонитрация. Структура и эксплуатационные свойства карбонитридных слоев стали 25X2M1Ф. URL: studvesna.ru/go=articles&id=584 (дата обращения: 23.01.2018). Загл. с экрана.
13. Подготовка поверхности для нанесения антикоррозионных покрытий на металлоконструкции и детали механизмов из углеродистых сталей / С. Н. Полянский, С. В. Бутаков, В. А. Александров, Л. Ю. Лазарева // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. С. 233.

14. Производство преобразователей ржавчины в России / Д. В. Балыбин, А. А. Костякова, Е. Д. Попова, Н. М. Кудрявцева // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Физика и химия. 2014. № 4–1. С. 11–17.
15. Коррозионная стойкость наноструктурированной стали 10 с алмазоподобным покрытием / Г. В. Клевцов, Р. З. Валиев, Н. А. Клевцова, Л. Л. Ильичев, Е. В. Кушнаренко, М. Р. Кашапов, А. Г. Рааб, А. В. Ганеев // Фундаментальные исследования. 2012. № 6–2. С. 441–443.
16. Наноструктурные материалы в ядерной энергетике / Н. А. Азаренков, В. Н. Воеводин, В. Г. Кириченко, Г. П. Ковтун // Вісник Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. 2010. № 887. Сер. Фізична. Ядра, частинки, поля. Т. 1 (45). С. 4–24.
17. Montemor M. F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances // Surface and Coatings Technology. 2014. Vol. 258. P. 17–37.
18. Höche D., Kaspar J., Schaaf P. Laser nitriding and carburization of materials // Laser Surface Engineering: Processes and Appl. 2015. P. 33–38. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-074-3.00002-7>.
19. Nanosecond laser micro- and nanotexturing for the design of a superhydrophobic coating robust against long-term contact with water, cavitation, and abrasion / A. M. Emelyanenko, F. M. Shagieva, A. G. Domantovsky, L. B. Voinovich // Appl. Surface Science. 2015. Vol. 332. P. 513–517.
20. Vorobyev A. Y., Chunlei Guo. Multifunctional surfaces produced by femtosecond laser pulses // J. of Appl. Physics. 2015. Vol. 117. P. 33–103.
21. Muresan L. M. Corrosion Protective Coatings for Ti and Ti Alloys Used for Biomedical Implants // Intelligent Coatings for Corrosion Control. 2015. P. 585–602.
22. Анализ ряда свойств стали X12МФ после высокоэнергетической обработки / В. А. Калиниченко, М. Л. Калиниченко, М. А. Кардаполова, П. В. Веремей // Литье и металлургия. 2014. № 2 (75). С. 81–85.
23. Исследование влияния режима генерации лазерного излучения на структуру и свойства инструментальной стали при газопорошковой наплавке / А. Г. Григорьянц, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков, А. Я. Ставертий // Наука и образование: науч. изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2012. № 7. С. 2.
24. Исследование микроструктуры и микротвердости зон лазерного оплавления чугуна нирезист ЧН16Д7ГХ / В. Г. Гилев, Е. А. Морозов, И. Б. Пуртов, Е. С. Русин // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 6–1. С. 227–233.
25. Veiko V. P., Slobodov A. A., Odintsova G. V. Availability of methods of chemical thermodynamics and kinetics for the analysis of chemical transformations on metal surfaces under pulsed laser action // Laser Physics. 2013. Vol. 23, № 6. P. 066001.
26. Лазерная установка для микроструктурирования поверхности металла с использованием волоконного лазера / О. С. Васильев, В. П. Вейко, С. Г. Горный, Ю. С. Рузанкина // Оптический журн. 2015. Т. 82, № 12. С. 70–77.
27. Ruzankina J. S., Vasiliev O. S., Parfenov V. A. Anti-corrosion treatment of metal surfaces based on photonics methods // J. of Physics: Conf. Series. 2017. Vol. 917, № 6. P. 062039.
28. Ruzankina J. S., Vasiliev O. S., Parfenov V. A. Anti-corrosion treatment of metal surfaces based on photonics methods // J. of Physics: Conf. Series. 2017. Vol. 917 (6). P. 062039.
29. Лазерная установка для микроструктурирования поверхности металла с использованием волоконного лазера / О. С. Васильев, В. П. Вейко, С. Г. Горный, Ю. С. Рузанкина // Оптический журн. 2015. Т. 82, № 12. С. 70–77.
30. ГОСТ 1050–88. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. М.: Изд-во стандартов, 1988.
31. Вейко В. П., Шахно Е. А. Сборник задач по лазерным технологиям. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2007. 67 с.
32. Химия. 2017. URL: http://mati-himia.3dn.ru/publ/binarnye_khimicheskie_soedinenija/c_fe/3-1-0-720 (дата обращения: 22.08.2017).
33. Геращенко М. Д., Парфенов В. А. Формирование цветных оксидных пленок на поверхности металлов под воздействием лазерного излучения // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2011. № 3. С. 68–72.

Yu. S. Ruzankina

ITMO University

V. A. Parfenov

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

O. S. Vasiliev

«Laser center» Ltd

INCREASING OF CORROSION RESISTANCE OF STEEL BY MEANS OF LASER TREATMENT

The article is devoted to the investigation of the possibility of increasing the corrosion resistance of steel. The results of experiments on laser processing of model samples from carbon steel by radiation of continuous wave ytterbium fiber laser at a wavelength of 1.06 μm are described. It is shown that laser processing makes it possible to form stable protective films 2...3 μm thick on the steel surface, which increase the anticorrosive properties of the metal. One of the possible reasons for increasing the corrosion resistance of steel is the microstructuring of its surface with the formation of a thin film of iron carbide (Fe₃C), which is created as a result of heating in the temperature range from 600 to 1000 °C. In addition, the effect of laser radiation leads to a decrease in the surface roughness (with R_a = 0.53 μm to R_a = 0.48 μm). The optimal (in terms of the degree of corrosion resistance) treatment of steel corresponds to the level of the power density of laser radiation 1.5 · 10⁵ W/cm². The conducted studies allow us to conclude that the use of continuous fiber lasers is a promising way to improve the corrosion resistance of carbon steel.

Metal treatment, anti-corrosion, laser micro structuring, steel treatment, fiber laser