

DOI: 10.18721/JEST.26106
УДК 620.193.6

Д.А. Кончус, А.В. Сивенков, А.В. Михайлов, Е.И. Пряхин

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МАРКИРОВКИ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Широкое применение из коррозионностойкой стали получили бытовые предметы и промышленное оборудование для продуктов питания, которые успешно маркируют с помощью лазерных систем. Перечисленные изделия регулярно подвергаются агрессивному воздействию сильных щелочей, кислот и ПАВ из состава различных бытовых моющих и дезинфицирующих средств. Исследование посвящено изучению коррозионной стойкости стали марки 08X18H10, обработанной системой лазерной маркировки «МиниМаркер2 – M20A4». Лазерное воздействие при маркировке металлических изделий заключается в изменении структуры оплавленной зоны. Были проведены испытания образцов на стойкость и считываемость после воздействия кислот и щелочей, различных химических сильнодействующих средств; оценивалась склонность к МКК, для практического применения важен случай, когда скорость растворения приграничных областей на несколько порядков превышает величины скорости растворения основного металла.

Ключевые слова: Коррозионностойкая сталь, лазерная маркировка, QR-код, межкристаллитная коррозия, питтинг-коррозия

Ссылка при цитировании:

Кончус Д.А., Сивенков А.В., Михайлов А.В., Пряхин Е.И. Влияние лазерной маркировки на коррозионную стойкость нержавеющей стали // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2020. Т. 26, № 1. С. 62–75. DOI: 10.18721/JEST.26106

Эта статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

D.A. Konchus, A.V. Sivenkov, A.V. Mikhajlov, E.I. Pryakhin

Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg, Russia

THE LASER MARKING INFLUENCE ON THE STAINLESS STEEL CORROSION RESISTANCE

The research describes to the corrosion resistance study of AISI 304 steel treated with a MiniMarker2 – M20A4 laser marking system. The steel was marked with a 35 × 35 mm QR code containing 305 typewritten characters. Samples were tested on stability and readability after exposure to acids and alkalis, various chemical potent household detergents and disinfectants. To assess the durability of the applied laser marking, the sample with the marking is exposed to boiling tap water at 100 ° C for 3 hours. The intercrystalline corrosion tendency was estimated. The tests for the intercrystalline corrosion resistance were carried out according to the AMU method without provoking heating for unstabilized steel (GOST 6032–2003)

Keywords: Corrosion Resistant Steel, laser marking, QR-code, intercrystalline corrosion, pitting corrosion

Citation:

D.A. Konchus, A.V. Sivenkov, A.V. Mikhajlov, E.I. Pryakhin, The laser marking influence on the stainless steel corrosion resistance, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology, 26 (01) (2020) 62–75. DOI: 10.18721/JEST.26106

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение. Лазерная маркировка металлических изделий важна сегодня как для производителя, который с ее помощью может контролировать качество и объем работ, так и для потребителя, нуждающегося в информации о продукции. Чаще всего применяется перспективный метод лазерной маркировки, заключающийся в обработке поверхности материала промышленным лазерным маркером [1].

Лазерное воздействие при маркировке металлических изделий заключается в изменении структуры оплавленной зоны [2–4]. Поэтому влияние лазерной маркировки на стойкость к МКК, химической и электрохимической коррозии требует отдельного изучения

Если рассматривать коррозионностойкую хромистую сталь, то окисленный слой металла состоит из оксидов железа и хрома (остальные элементы выгорают с поверхности) [5–8], которые образуют пленки, удовлетворяющие условию сплошности. Пористость оксидов, а также рельеф металла после нанесения маркировки неоднороден [9, 10], что может также привести к нарушению сплошности пленки, провоцируя коррозию.

Межкристаллитной коррозии (МКК) подвержены хромоникелевые коррозионностойкие стали. Для практического применения важен случай, когда скорость растворения приграничных областей на несколько порядков превышает величину скорости растворения основного металла. Существуют факторы вызывающие ускоренное растворение металла по границам зерен в коррозионностойких сталях. Одним из таких факторов из-за высокого нагрева является обеднение приграничных зон хромом. Второй же фактор связан с возникновением скопления примесей, что происходит в связи с оплавлением металла и, соответственно, с нарушением распределения компонентов, в указанных областях, что приводит к способствующим резкому росту скорости коррозии [11–13]. Таким образом лазерная маркировка может спровоцировать образование МКК.

Широкое применение из коррозионностойкой стали получили бытовые предметы: столовые приборы, сантехнические узлы, а также предметы и оборудование, применяемое в пищевой промышленности, как промышленное, так и бытовое, используемое для хранения и переработки. Все эти изделия успешно маркируют, используя лазерные системы. В связи с назначением данной продукции, она регулярно подвергается агрессивному воздействию сильных кислот, щелочей, ПАВ, которые входя в состав разных моющих и дезинфицирующих средств бытового назначения. В работах [14, 15] было выявлено, что в кипящей воде и средах с присутствием ионов хлора использование изделий из коррозионностойкой стали с лазерной маркировкой не желательна.

Цель настоящей работы – оценить влияние и склонность к коррозии образцов из коррозионностойкой стали с нанесенными методом лазерной маркировки QR-кодами.

Материалы и методы исследования

В данной работе были использованы холоднокатаные листы толщиной 1,5 мм из стали 08X18H10 (химический состав стали по ГОСТ 5632–2014). Данная марка стали является коррозионностойкой и жаростойкой аустенитного класса. Химический состав исследуемой стали 08X18H10 приведен в табл. 1.

Сталь может быть склонна к МКК даже в закаленном состоянии. Нагрев до 600–650 °С приводит сталь в склонное к МКК состояние.

Шероховатость поверхности листовой заготовки составляет $R_a = 0,112$ мкм.

В работе использовалась система прецизионной лазерной маркировки «МиниМАРКЕР 2-20A4», предназначенная для нанесения текстовых и графических изображений на поверхность изделий методом лазерной маркировки. Сталь маркировалась QR-кодом размером 35×35 мм содержащим 305 знаков машинописного текста в несколько проходов с формированием подложки и кода, режим нанесения маркировки представлен в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав стали 08X18H10

Table 1

The chemical composition of steel AISI 304

№ пп	Марка стали	Содержание элемента, мас. %							
		C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti
1	08X18H10	0,08	0,8	2	9–11	0,02	0,035	17–19	0,5

Таблица 2

Параметры лазера при нанесении маркировки

Table 2

Laser parameters for marking

Вид нанесения	Длина импульса, нс	Частота, кГц	Мощность, %	Скорость, мм/с	Линиатура, л/мм	Количество проходов
Подложка	100	100	30	600	60	2
Код	100	60	30	5	20	1

Для изучения микроструктуры использовались металлографические микроскопы Leica DM ILM HC и Zeiss Observer A1m¹ с программами обработки изображения.

Исследования на коррозионную стойкость к межкристаллитной коррозии проводились по ГОСТ 6032–2003 (метод АМУ) без провоцирующего нагрева для нестабилизированной стали аустенитного класса.

МКК вызвана объединением границ зерен хромом в результате выпадения по границам зерен богатых хромом фаз: карбидов хрома, σ -фазы, интерметаллических включений при выдержки сталей или сплавов при температуре 500–1000 °С.

В зависимости от химического состава стали и сплава, а также назначения выбирают один из следующих методов испытаний на стойкость металла к МКК: АМУФ, АМУ, ДУ, ВУ, Б, В.

В условном обозначении метода АМУ буквы обозначают: А – наименование метода,

М – присутствие в растворе для испытаний металлической меди, У – ускоренные испытания.

Испытаниям на стойкость к МКК подвергались 2 образца размером 80×30 мм для каждого режима маркировки.

После эксперимента образцы по ГОСТ 14019–2003 были загнуты на угол 90±5°. Радиус закругления зависит от класса стали и вида металлопродукции, из которой изготовлены образцы и толщины образца. Для листа толщиной 1,5 мм из аустенитной стали радиус составляет не более толщины образца (в данном случае он составил 1 мм).

Сущность метода АМУ заключается в выдержке образцов в кипящем водном растворе сернокислой меди в присутствии металлической меди (стружки).

Осмотр изогнутых образцов производили с помощью лупы при увеличении ×7–12. Отсутствие трещин на образцах (продольные и трещины непосредственно на кромках присутствуют) свидетельствует о стойкости стали. О склонности стали к МКК показывает присутствие поперечных трещин на образцах и отсутствие на контрольных.

¹ Leica microsystems. URL: <https://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/inverted-microscopes/> (дата обращения 16.09.2019).

Таблица 3

Массы компонентов для приготовления необходимых растворов

Table 3

Masses of components for the preparation of the necessary solutions

Необходимый конечный раствор	Исходные вещества, конц.						
	Дист. вода	H ₂ SO ₄ , 96 %	NaOH, крист.	Уксусная к- та, 9 %	HNO ₃ , 65 %	HCl, 38 %	NaCl, крист.
10 % раствор серной кислоты	179 г	21 г	–	–	–	–	–
10 % раствор хлорида натрия	180 г	–	–	–	–	–	20 г
10 % раствор соляной кислоты	147 г	–	–	–	–	53 г	–
10 % раствор гидроксида натрия	180 г	–	20 г	–	–	–	–
10 % раствор азотной кислоты	169 г	–	–	–	31 г	–	–
9 % раствор уксусной кислоты	–	–	–	200 г	–	–	–

Исследования на устойчивость изображения к воздействию растворов кислот и щелочей, и солевому раствору проводились в: 10 % растворах серной, азотной, соляной кислот; 9 % растворе уксусной кислоты, 10 % растворах солей гидроксида натрия, хлорида натрия.

Для испытаний использовался 9 % раствор уксусной кислоты (ГОСТ Р 55982–2014), 96 % раствор серной кислоты H₂SO₄ (ГОСТ 4204–77), 65 % раствор азотной кислоты HNO₃ (ГОСТ 4461–77), 38 % раствор соляной кислоты HCl (ГОСТ 3118–77), гидроксид натрия химически чистая NaOH (ГОСТ 4328–77), хлорид натрия NaCl (ГОСТ 4233–77), вода дистиллированная (ГОСТ 6709–72).

Требуемые массы исходных веществ для приготовления испытательных растворов приведены в табл. 3.

В приготовленных растворах испытания проводились 100 ч. По истечению времени выдержки образцы промывались в проточной воде и подвергались визуальному контролю и проверке на считываемость QR-кода.

Исследования на устойчивость маркировки воздействию сильных щелочей, кислот и ПАВ из состава различных бытовых моющих и дезинфицирующих средств с различной степенью кислотности pH от 0 до 12 проводилась

с целью оценки устойчивости к считыванию QR-кода.

Образцы поделили на три группы для выдержки в растворах. В первую группу вошли растворы, среда которых считается кислой с pH = 0–3 (Туалетный утенок (ТУ У 00146137.009-94), Sarma (ТУ 2383-089-75086864-2010), Санокс Ультра (ТУ 2383-011-00335215-96)). Вторую группу составили растворы с нейтральной средой – Химитек универсал – ПД (ТУ 2381-105-46907113-2011) с pH = 6. К щелочным моющим средствам относятся вещества с pH = 10–12, такие как Чистин сток (ТУ 2389-118-70864601-2007), Sanfor Universal (ТУ 2383-182-70864601-2008), Sanfor Белизна (ТУ 2382-110-70864601-2007).

Продолжительность эксперимента выбрали, предположив частоту использования указанных средств в быту. Одно применение в 3 дня, с обработкой в течение от 5 до 15 мин. В итоге годовое воздействие средств на поверхность будет вычисляться по следующей формуле [16]:

$$T_{\text{год}} = \frac{N \cdot t}{4} = \frac{365 \cdot 0,25}{4} = 22,81 \text{ ч}, \quad (1)$$

где N – количество дней в году; t – время выдержки средства, ч.

Приблизительный гарантийный срок службы бытовых изделий составляет 5–7 лет в

связи с чем, эксперимент проводился в течение 168 ч (7 дней).

Сталь 08X18H10 используется для изготовления сварных и сборных конструкций практически в пищевой промышленности для изготовления оборудования по переработке продуктов. Из нее производят трубы, емкости и детали всевозможных агрегатов, работающих при высоких температурах и различных давлениях. Листы из этой стали применяются в качестве декоративных элементов, каркасов и т. п.

Сталь 08X18H10 имеет устойчивый запас противостояния окислительным процессам даже при нагревании. Однако при длительном нагревании в водной среде при повышенных давлениях может окисляться.

Для оценки стойкости нанесенной лазерной маркировки образец с маркировкой подвергается воздействию кипящей водопроводной воды при 100°C в течение 3 часов. Согласно эталонам, участки образца без нанесенной маркировки не должны менять цвет.

Результаты и их обсуждение

Испытание на стойкость к МКК. Повышенная коррозионная стойкость различных металлов и сплавов может быть обусловлена различными причинами, в том числе и инертностью металла. Хромовые, никелевые и хромоникелевые коррозионностойкие стали, обладающие своими свойствами благодаря входящим в их состав легирующим элементам, в частности хромом и никелем. При этом коррозионная стойкость наступает при определенном содержании данных элементов. Но несмотря на выше сказанное, коррозионностойкие стали, при определенных условиях, все же подвержены некоторым видам коррозии, таким как межкристаллитная и точечная коррозия.

Для выявления МКК после кипячения в реактиве образец загнули на угол $90 \pm 5^\circ$. Трещины на образце не обнаружены (в том числе и продольные, и трещины на кромках). Это

свидетельствует о том, что нанесение лазерной маркировки не спровоцировало образование МКК.

После испытаний образец был исследован с помощью микроскопа. При увеличении в 50 раз на вершинах борозд маркировки заметны утолщения межзеренных границ, это свидетельствует о воздействии лазерной маркировки на свойства стали. Однако, данный факт не является основанием для отрицательной оценки результатов эксперимента. Сдаточной характеристикой подтверждения стойкости к МКК по ГОСТ 6032–2003 является визуальный контроль с применением лупы (увеличение 7–12 раз). При металлографическом контроле признаком стойкости является разрушение на максимальную глубину (до 30 мкм) границ зерен. Очевидно, что данные критерии соблюдены.

Испытания на устойчивость маркировки к воздействию кислотных и щелочных растворов и растворов солей. Образцы, помещенные в 9 %-й водный раствор уксусной кислоты, визуально не подвергаются воздействию раствора кислоты (рис. 1, а). Считываемость QR-кода сохранилась.

Образцы, помещенные в 10 %-й солевой раствор (NaCl), подвергаются воздействию солевого раствора (рис. 1, б). По границам лазерной маркировки наблюдается ярко выраженный коррозионный процесс образования окислов железа ярко-рыжего цвета. QR-код не считывается.

Образцы, помещенные в 10 %-й раствор гидроксида натрия (NaOH), визуально не подвергаются воздействию щелочи (рис. 1, в). Считываемость QR-кода сохранилась.

Образцы, помещенные в 10 %-й раствор серной кислоты (H_2SO_4), подвергаются воздействию раствора (рис. 2, а). Прошла химическая реакция с растворением сплава. Раствор приобрел голубой оттенок. QR-код не считывается.

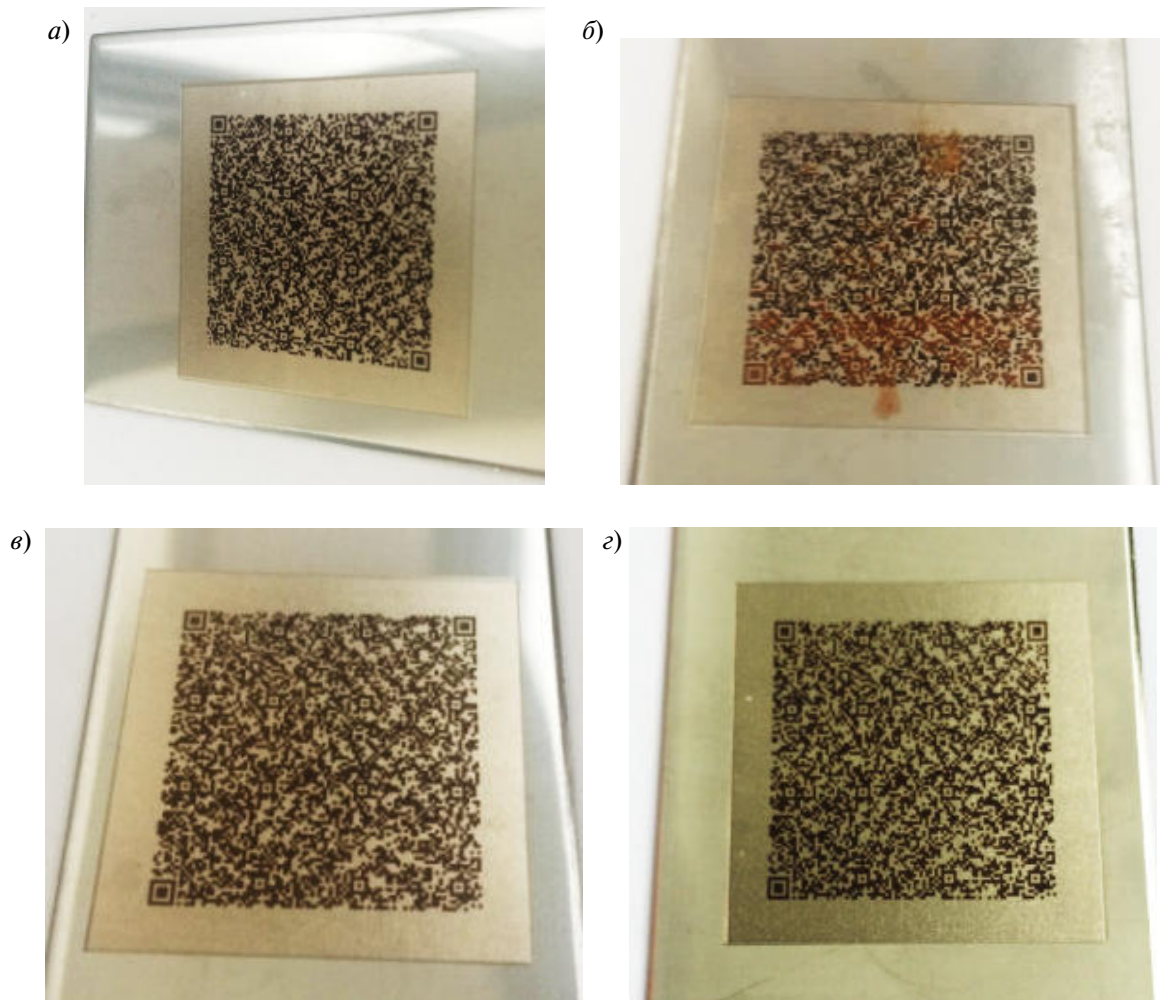


Рис. 1. Образцы с QR-кодом после воздействия: а) раствора уксусной кислоты; б) солевого раствора; в) щелочного раствора гидроксида натрия; г) исходный образец

Fig. 1. Samples with a QR code after influence: а) acetic acid solution; б) saline solution; в) alkaline sodium hydroxide solution; г) initial sample

Образцы, помещенные в 10 %-й раствор азотной кислоты (HNO_3), визуально подвергаются воздействию раствора: QR-код стал менее ярким и контрастным, но считываемость QR-кода не изменилась (рис. 2, б).

Образцы (рис. 3, а), помещенные в 10 %-й раствор соляной кислоты (HCl), подвергаются воздействию раствора (рис. 3, б). Прошла химическая реакция с самим металлом, растворился исходный металл. QR-код не считывается из-за осветления.

Изучение стойкости лазерной маркировки к температурному воздействию в водной среде.

Сталь 08X18H10 имеет устойчивый запас противостояния окислительным процессам даже при нагревании. Однако при длительном нагревании в водной среде при повышенных давлениях может окисляться. Образцы помещались на 3 ч в кипящую ($100\text{ }^\circ\text{C}$) водопроводную воду. В ходе проверки считываемость QR-кода сохранилась, подложка несколько потемнела, но сама маркировка цвет не меняла.

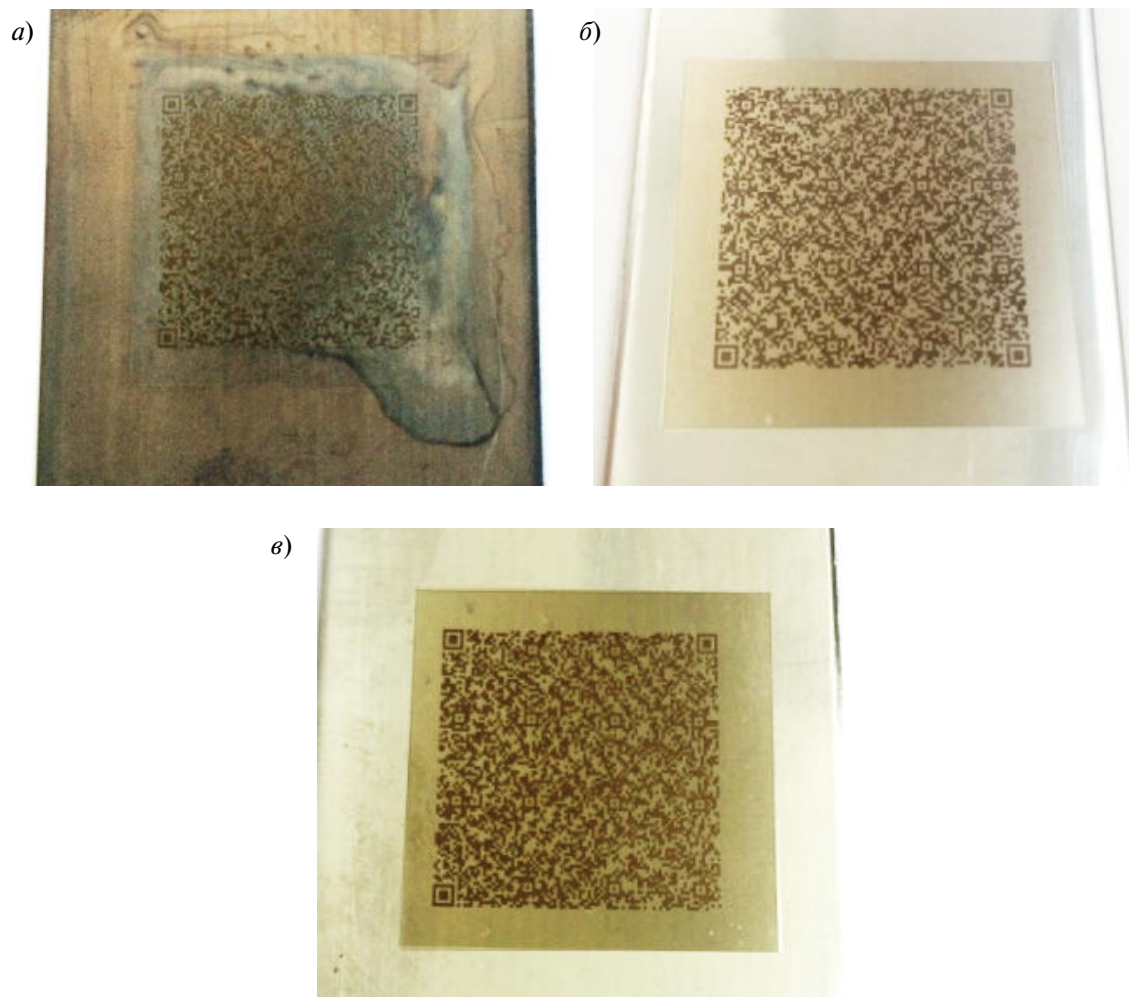


Рис. 2. Образцы с QR-кодом после воздействия раствора: а) серной кислоты, б) азотной кислоты; в) исходный образец

Fig. 2. Samples with a QR code after solution influence: а) sulfuric acid; б) nitric acid; в) initial sample

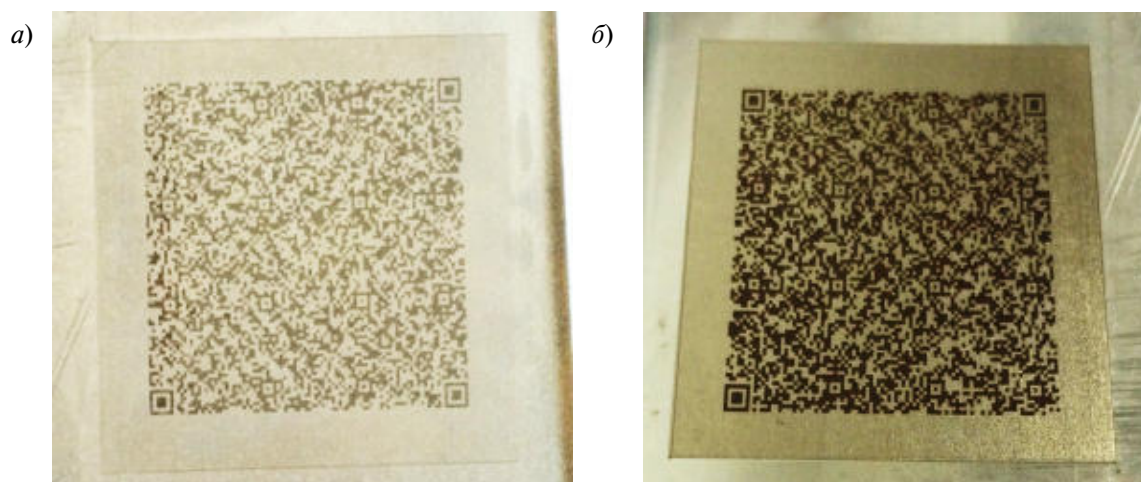


Рис. 3. Образцы с QR-кодом после воздействия: а) раствора соляной кислоты; б) исходный образец

Fig. 3. Samples with a QR code after influence: а) hydrochloric acid solution; б) initial sample

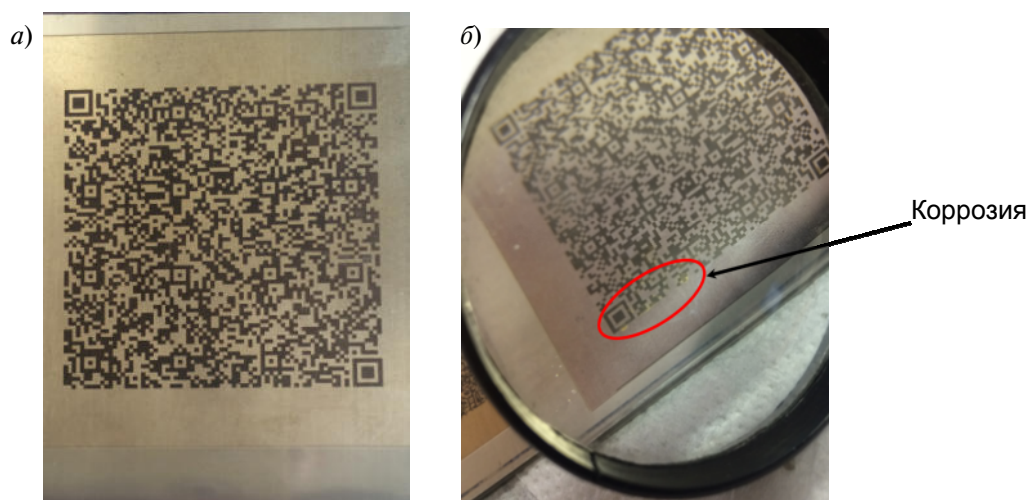


Рис. 4. Образцы с QR-кодом: а) исходный до кипячения; б) после кипячения в воде при 100 °С, 3 ч
 Fig. 4. Samples with a QR code: а) before boiling; б) after boiling in water at 100 °С, 3 hours

Вместе с тем по границам маркировки (рис. 4, б) после просушки образцов появилась коррозия.

Таким образом, на стойкость лазерной маркировки на коррозионностойкой стали влияет химический состав раствора. При наличии в одной среде ионов-активаторов (Cl^- , SO_4^{2-}) происходит нарушение сплошности пассивирующей пленки оксида и наблюдается химическая реакция и частичное растворение сплава на отдельных участках. Оксид, который возникает при лазерной маркировке, получается пористым и дефектным или недостаточно плотным, и не является защитой для слоев металла от дальнейшего окисления, лежащих под ним.

Сводные результаты испытаний образцов с QR-кодом в растворах кислот, щелочей и соляном растворе в течение 100 ч представлены в табл. 4.

Вид коррозии, который также поражает в основном коррозионностойкие стали – точечная или, иными словами, питтинговая коррозия. Точечная коррозия наблюдается в тех случаях, когда коррозии подвержены небольшие участки поверхности, что приводит к образованию глубоких повреждений – точечных язв или питтингов. Питтинг может возникать в слабых местах пассивной пленки по достижении определенного потенциала питтингообра-

зования за счет окислителя или анодной поляризации в присутствии активирующих ионов в растворе, которые вытесняют адсорбированный кислород или, взаимодействуя, разрушают оксидную пленку.

Любое изделие вне зависимости от сферы применения, то есть в быту или в производстве требует должного ухода, при этом уход этот заключается не только в техническом обслуживании и ремонте, но и в банальном мытье и чистке деталей агрегатов и машин. Таким образом, различные изделия и детали из коррозионностойких сталей подвергаются воздействию со стороны специальных чистящих и моющих средств.

Исследования на устойчивость маркировки к воздействию разных дезинфицирующих, моющих бытовых средств, в состав которых входят ПАВ, сильные кислоты и щелочи проводились течение 168 ч.

Лазерная маркировка, есть ни что иное, как локальное изменение поверхности материала, при этом меняется рельеф, а следовательно и шероховатость поверхности, нарушая сплошность пассивных пленок, также возможно изменение структуры металла на небольшую глубину. Эти факторы с большой вероятностью могут спровоцировать локальный рост точечной коррозии на поверхностях коррозионностойких сталей, обработанных лазерными системами.

Таблица 4

Результаты испытаний образцов в растворах кислот, щелочей и соляном растворе в течение 100 ч.

Table 4

The samples test results in solutions of acids, alkalis and saline for 100 hours

№ опыта	Среда испытания (водные растворы)	Результат воздействия	Примечание
1	9 %-й раствор уксусной кислоты	Нет	Считываемость сохранилась
2	10 %-й раствор поваренной соли	Есть	Коррозия по границам кода. Код не считывается
3	10 %-й раствор гидроксида натрия	Нет	Считываемость сохранилась
4	10 %-й раствор серной кислоты	Есть	Растворение самого металла. Код не считывается.
5	10 %-й раствор азотной кислоты	Есть	Код менее яркий и контрастный. Считываемость сохранилась
6	10 %-й раствор соляной кислоты	Есть	Растворение самого металла. Код не считывается.

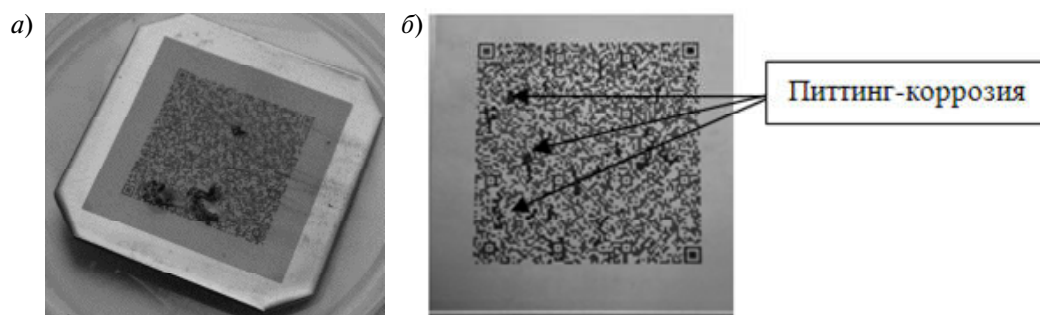


Рис. 5. Вид коррозионного поражения QR-кода при выдержке в средстве «Чистин сток» с рН 10 на стали 08X18H10: а) до промывки водой; б) после промывки водой

Fig. 5. Corrosion damage type of the QR code during aging in an alkaline agent with pH 10: а) before wash off water; б) after wash off water

В результате эксперимента большинство образцов были поражены коррозией. На рис. 5 представлены образцы со следами коррозии. Образцы, находившиеся в щелочных растворах, которые вызвали питтенговую коррозию, подверглись наибольшему воздействию. Сгустки черных окислов видны в местах поражений.

Для проверки считывания QR-кода с образцов использовали мобильное устройство.

Поскольку произошло снижение контрастности из-за образования соляной пленки на поверхности образца с маркировкой, QR-коды на пластинах из группы с кислотными

моющими средствами считывались с ощутимой задержкой. Образцы, выдержанный в нейтральной среде, считываемость сохранили, не смотря на то, что были выявлены значительные задержки, связанные с не полным удалением кристаллов солей с поверхности кода. При оценке образцов из щелочных растворов зафиксировано ошибочное считывание кода, на ряду со считыванием с задержками.

На микроскопах Leica DM ILM и Zeiss Observer A1m. осуществлялись металлографические исследования микроструктуры поперечных шлифов.

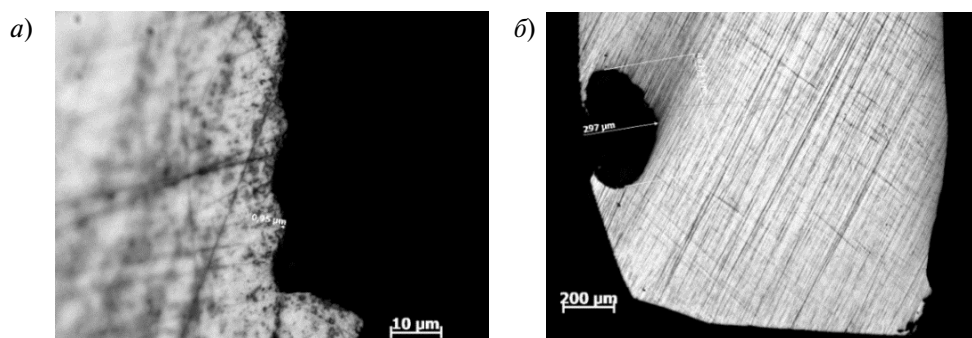


Рис. 6. Маркированная микроструктура поверхности: а) окисный слой; б) зона с коррозионной язвой
 Fig. 6. Marked surface microstructure: a) oxide layer; б) area with a corrosion ulcer

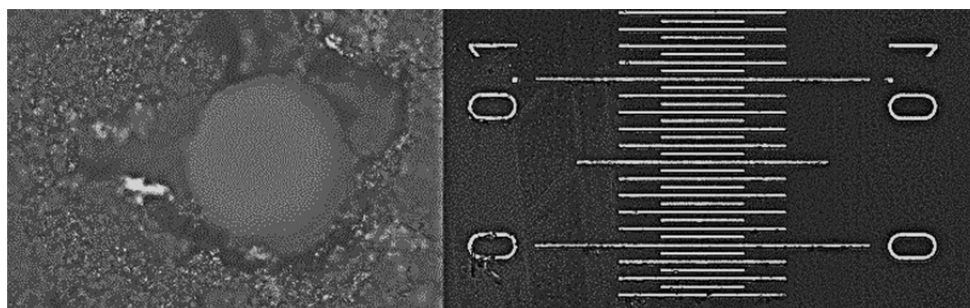


Рис. 7. Питтинг и «объект-микрометр»
 Fig. 7. Pitting and micrometer object

На поверхности промаркированного образца (рис. 6) идентифицировали рыхлую, пористую структуру, слой толщиной 0,95 мкм металлических окислов. Хорошо видна одна из язв, представляющая собой сферу с глубиной 297 мкм при диаметре 461 мкм.

Степень коррозионного поражения на образцах, находившихся в растворах щелочи, оценивалась по ГОСТ 9.908–85.

На образцах, которые выдерживались в щелочном моющем средстве «Sanfor Белизна» (рН 12), были выявлены максимальные поражения (рис. 7). Так среднее число зафиксированных очагов коррозии на поверхности образцов, обработанных щелочными средствами, 8. Степень поражения составила $6,25 \times 10^{-7}$ % при площади питтингов 0,785 мкм². Площадь, которую занимает QR-кодом, считалась площадью поверхности, равную 1024 мм².

Появление коррозии по границам маркировки при воздействии кипящей водной среды можно объяснить наличием в водопроводной воде агрессивных ионов хлора. Следовательно, нежелательно применение деталей с лазерной маркировкой в данных условиях работы.

Таким образом, лазерная маркировка с локальным нагревом и оплавлением поверхностных слоев металлических сплавов провоцирует неблагоприятное изменение химического состава и, соответственно, коррозионной стойкости.

Химический состав бытовых и моющих средств, в частности, содержащих ионы Cl^- , оказывает воздействие на коррозионную стойкость металла, вызывая пробивание пассивного состояния металлов и образования очагов питтинговой коррозии. Изменение шероховатости и возможная неравномерность оксидов,

определяющих цвет маркировки, относится к важным факторам.

Поскольку имеется пиковый лазерный импульс в начале прохода, что обнаруживает локальные изменения структуры и химического состава поверхности, наблюдается рост питтингов из крайних областей маркировки [17]. Изменение структуры подтверждается тем, что коррозионностойкие стали, не подвергнутые другим воздействиям и структурным изменениям, характеризуются возрастанием пассивности в интервале показателей pH 11–13 и высокой стойкостью к щелочным растворам.

Выводы

1. В данной работе выполнен комплексный метод оценки влияния лазерной маркировки на структуру аустенитной стали марки 08X8H10. Исследования показали, что лазерная маркировка не провоцирует склонность стали к МКК.

2. Стойкость лазерной маркировки к воздействию растворов кислот, щелочей и солей определяется не только химическим составом реактива, но и химическим составом самой стали. Так, например, раствор гидроксида натрия и уксусной кислоты не оказывает воздействия на маркировку, раствор азотной кис-

лоты вызывает осветление маркировки, растворы соляной и серной кислот растворяют сам металл, а в растворе поваренной соли наблюдаются коррозионные процессы. Также после кипячения в водопроводной воде маркировка спровоцировала коррозию на самой маркировке.

3. Кислотные средства, а также средства на основе ПАВ не провоцируют коррозионных изменений в области маркировки на образцах из стали 08X18H10.

4. Сильнодействующие моющие средства на щелочной основе провоцируют рост питтинг-коррозии в области маркировки, в местах начала лазерного воздействия, поэтому не следует применять моющие и чистящие средства, содержащие ионы Cl^- , для промышленных и бытовых изделий из коррозионностойкой стали с нанесенной лазерной маркировкой.

5. Лазерная маркировка провоцирует локальное изменение структуры коррозионностойкой стали, что увеличивает риск возникновения очагов коррозии. В дальнейшем рекомендуется уделить большее внимание оптимизации режимов маркировки, с возможным снижением пиковой (начальной) мощности лазера, чтобы повысить стойкость лазерной маркировки на поверхности стали 08X18H10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Валиулин А., Горный С., Гречко Ю., Патров М., Юдин К., Юревич В. Лазерная маркировка материалов // Фотоника. 2007. № 3. С. 16–22.

[2] Григорьев А.М., Патров М.И., Соловьев В.Д., Туричин Г.А. Горный С.Г. Специфика поверхностной обработки металла сериями лазерных импульсов наносекундной длительности // Квантовая электроника. 2002. № 10. С. 929–932.

[3] Кузнецов П.М., Федоров В.А., Васильева С.В., Барышев Г.А. О некоторых механизмах воздействия лазерного излучения на металлы // Вестник ТГУ. 2010. № 1 (15). С. 249–250.

[4] Бирюков В. Лазерные технологии в машиностроении // Фотоника. 2013. № 2. С. 46–53

[5] Ганзуленко О.Ю., Ларионова Е.В., Петкова А.П. Технология маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов посредством импульсного лазерного излучения // Неделя науки СПбГПУ: Сб. научных трудов. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. С. 178–181

[6] Ганзуленко О.Ю., Петкова А.П. Выбор состава сталей с целью получения изображений полной цветовой гаммы на поверхности изделий при импульсном лазерном излучении // Записки Горного института. 2014. Т. 209. С. 216–219

- [7] **Петкова А.П., Ганзуленко О.Ю.** Технологические аспекты маркировки изделий машиностроения прецизионным импульсным лазером // Современное машиностроение. Наука и образование. 2014. № 4. С. 1177–1187
- [8] **Ганзуленко О.Ю., Ларионова Е.В., Петкова А.П.** Технология лазерной маркировки серийных изделий из металлических и полимерных материалов в целях их учета и идентификации // Металлообработка. 2014. № 1 (79). С. 21–26.
- [9] **Pryakhin E.I., Ganzulenko O.Y., Petkova A.P.** Development of polygraphic program-controlled hardware system for applying high-density coding on surface of products made from varied materials // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol 194. P. 42020.
- [10] **Sivenkov A.V., Konchus D.A., Chirkova O.S., Priahin E.I.** Assessment of laser marking contrast with profilometer // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol/ 194. P. 42022.
- [11] **Popov G., Kasyanov A., Bolobov V., Krivokrysenko E.** Study of factors enabling initiation and behavior of grooving corrosion // E3S Web of Conferences. 2019. Vol/ 121. P. 3004.
- [12] **Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М.** Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии. // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2(35). С. 76–87
- [13] **Ермаков Б.С., Вологжанина С.А., Иголкина Е.В., Ермаков С.Б.** Причины коррозионной повреждаемости оборудования холодильной техники // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Холодильная техника и кондиционирование. 2017. № 4(27). С. 3–12.
- [14] **Сивенков А.В., Зверькова Е.И., Демидова Т.И.** Влияние лазерной маркировки на изменение структуры и свойств стали аустенитного класса // Будущее машиностроения России: Сб. научных трудов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 316–320.
- [15] **Sivenkov A., Konovalov K., Zverkova E.** Influence laser marking on structure and properties steel // International Scientific Review. 2016. Vol 11 (21). С. 38–40.
- [16] **Михайлов А.В., Сивенков А.В., Кончус Д.А.** Исследование свойств коррозионно-стойкой стали, обработанной системой лазерной маркировки «Минимаркер2 –М20А4» // Современные тенденции развития естественных и технических наук: Сб. научных трудов. Белгород: Изд-во АПНИ, 2018. С. 218–221
- [17] **Васильев О.С., Горный С.Г.** Технология создания поверхностных микроструктур на листовых материалах с использованием волоконного лазера // Металлообработка. 2016. № 3 (93). С. 20–25.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КОНЧУС Дарина Александровна – аспирант Санкт-Петербургского горного университета

E-mail: pelagia@bk.ru

СИВЕНКОВ Алексей Валентинович – кандидат технических наук доцент Санкт-Петербургского горного университета

E-mail: sivenkov@mail.ru

МИХАЙЛОВ Андрей Владимирович – аспирант Санкт-Петербургского горного университета

E-mail: tiger9595@mail.ru

ПРЯХИН Евгений Иванович – доктор технических наук профессор Санкт-Петербургского горного университета

E-mail: mthi@spmi.ru

Дата поступления статьи в редакцию: 31.01.2020

REFERENCES

- [1] **S.G. Valiulin, Yu. Grechko, M. Patrov, K. Yudin, V. Yurevich**, Laser material marking, *Photonics*, 3 (2007) 16–22.
- [2] **A.M. Grigoriev, M.I. Patrov, V.D. Soloviev, G.A. Turichin, S.G. Gorny**, Specific features of metal surface processing by nanosecond laser pulse trains, *Quantum Electronic*, 32(10) (2002) 929–932.
- [3] **P.M. Kuznetsov, V.A. Feodorov, S.V. Vasilyeva, G.A. Baryshev**, About some mechanisms of influence of laser radiation on metals, *Tomsk State University Journal*, 1(15) (2010) 249–250.
- [4] **V. Biryukov**, Laser systems and technologies in engineering industry, *Photonics*, 2(38) (2013) 46–53
- [5] **O.Y. Ganzulenko, E.V. Larionova, A.P. Petkova**, Tehnologiya markirovki serijnyh izdelij iz metallicheskih i polimernyh materialov posredstvom impulsnogo lazernogo izlucheniya [Technology for marking serial products from metal and polymer materials by pulsed laser radiation], *Science week: Proceedings of St. Petersburg State Polytechnical University, Saint Petersburg, St. Petersburg State Polytechnical University*, (2014) 178–181.
- [6] **O.Y. Ganzulenko, A.P. Petkova**, Selection of alloying elements in steels for obtaining images full range of colors on the surface of the products by means of a pulsed laser radiation, *Journal of Mining Institute*, 209 (2014) 216–219.
- [7] **A.P. Petkova, O.Y. Ganzulenko**, Tehnologicheskie aspekty markirovki izdelij mashinostroeniya precizionnym impulsnym lazerom [Technological aspects of marking engineering products with precision pulsed laser], *Modern engineering. Science and education, Saint Petersburg, St. Petersburg State Polytechnical University Journal*, 4 (2014) 1172–1187.
- [8] **O.Y. Ganzulenko, E.V. Larionova, A.P. Petkova**, Laser marking technology for serial products made from metallic and polymeric materials with a view to their policies and identification, *Metalworking*, 1(79) (2014) 21–26.
- [9] **E.I. Pryakhin, O.Y. Ganzulenko, A.P. Petkova**, Development of polygraphic program-controlled hardware system for applying high-density coding on surface of products made from varied materials, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194 (2018) 42020.
- [10] **A.V. Sivenkov, D.A. Konchus, O.S. Chirkova, E.I. Priahin**, Assessment of laser marking contrast with profilometer, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194 (2018) 42022.
- [11] **G. Popov, A. Kasyanov, V. Bolobov, E. Krivokrysenko**, Study of factors enabling initiation and behavior of grooving corrosion, *E3S Web of Conferences*, 121 (2019) 3004.
- [12] **E.N. Kablov, O.V. Startsev, I.M. Medvedev**, Review of international experience on corrosion and corrosion protection, *Aviacionnye Materialy and Tehnologii*, 2(35) (2015) 76–87.
- [13] **B.S. Ermakov, S.A. Vologjanina, E.V. Igolkina, S.B. Ermakov**, Reasons of corrosion damageability of the equipment refrigerating equipment The ITMO University's scientific journal *Refrigeration and Air Conditioning*, 4(27) (2017) 3–12.
- [14] **A.V. Sivenkov, E.I. Zverkova, T.I. Demidova**, Influence Laser Marking on Structure and Properties Steel AISI 304, *The future of Russian engineering: Proceedings of Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Bauman Moscow State Technical University*. (2016) 316–320.
- [15] **Sivenkov, K. Kononov, E Zverkova**, Influence laser marking on structure and properties steel, *International Scientific Review*, 11 (21) (2016) 38–40.
- [16] **A.V. Mikhajlov, A.V. Sivenkov, D.A. Konchus**, Issledovania svojstv korrozionnostojkoj stali, obrabotannoj sistemoj lazernoj markirovki “Minimarker2-M2A4” [The investigation of the corrosion-resistant steel properties treated with a laser marking system “Minimarker2 –M20A4”],



Modern trends in the development of natural and technical sciences, Proceedings of Advanced Research Agency, Belgorod, (2018) 218–221.

[17] **O.S. Vasilev, S.G. Gorniy**, Technology of creating microstructures on the surface of sheet materials, *Metalworking*, 3(93) (2016) 20–25.

THE AUTHORS

KONCHUS Darina A. – *Saint-Petersburg mining university*

E-mail: pelagia@bk.ru

SIVENKOV Aleksei V. – *Saint-Petersburg mining university*

E-mail: sivenkov@mail.ru

MIKHAJLOV Andrei V. – *Saint-Petersburg mining university*

E-mail: tiger9595@mail.ru

PRYAKHIN Evgenii I. – *Saint-Petersburg mining university*

E-mail: mthi@spmi.ru

Received: 31.01.2020