Как показывают эти результаты, решением является предельный цикл, и, следовательно, при этих условиях возможно протекание колебательных процессов.

Важно то, что при изменении параметров наблюдается переход из предельного цикла в устойчивый фокус или переход из неустойчивого фокуса в предельный цикл. Другими словами, сделанное ранее на основе качественного анализа заключение о бифуркации из особой точки типа неустойчивый фокус в предельный цикл подтверждается численным экспериментом.

В заключение отметим, что дифференциальные уравнения, приведенные в настоящем сообщении, могут быть изоморфными дифференциальным уравнениям, описывающим поведение различных систем, в которых наблюдаются химические осцилляции.

1. Колебания и бегущие волны в химических системах / Ред. Р. Филд и М. Бур-гер. М.: Мир, 1990.
2. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. О детерминистическом под-ходе к турбулентности М.: Мир, 1991.
3. Холоднюк М., Клич А., Кубичек М., Марек М. Методы анализа нелинейных математических моделей. М.: Мир, 1991.
4. Orban M. Stationary and moving structures in uncatalyzed oscillatory chemical reac-tions // J. Amer. Chem. Soc. 1980. V.102. №13. P. 4311-4314.
5. Денисов Е.Т. Константы скоростей гомолитических жидкофазных реакций. М.: Наука, 1971.

Зарапина И.В., Осетров А.Ю., Носова К.Ю., Зайцева О.И.
Коррозионная стойкость оксидных покрытий, полученных в присутствии дисперсии углеродных нанотрубок

*Тамбовский государственный технический университет
(Россия, Тамбов)*

doi: 10.18411/lj-05-2021-37

Аннотация

Исследована возможность повышения защитной эффективности покрытий, полученных методом щелочного оксидирования. Показано, что введение в щелочной раствор дисперсии углеродных нанотрубок приводит к повышению защитного эффекта оксидной пленки. Рассмотрено влияние продолжительности оксидирования на коррозионную стойкость полученных покрытий.

Ключевые слова: оксидирование, сталь, углеродные нанотрубки.

Abstract

The possibility of increasing the protective effectiveness of coatings obtained by the method of alkaline oxidation is investigated. It is shown that the introduction of a dispersion of carbon nanotubes into an alkaline solution leads to an increase in the protective effect of the oxide film. The influence of the duration of oxidation on the corrosion resistance of the obtained coatings is considered.

Keywords: oxidation, steel, carbon nanotubes.

Коррозия – это процесс разрушения твердых тел, вызванный химическими и электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой. Особый ущерб приносит коррозия металлов и в связи с этим является одной из важнейших научных и экономических проблем. Огромны экономические потери от коррозии металлоизделий.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью рационального использования и хранения металлических изделий.

Оксидирование стальных изделий или воронение относится к одному из многочисленных способов защиты железа от коррозии. Получаемая пленка имеет незначительную толщину (0,6...0,8 мкм) и требует последующего промасливания для создания дополнительной защиты. Нержавеющие стали оксидированию не поддаются.

Защитная способность оксидных покрытий может быть значительно повышена обработкой их в пассивирующих растворах, пропиткой минеральными маслами или консистентными смазками, гидрофобизацией поверхности. Такая обработка проводится после промывки в проточной воде и сушки изделий.

Целью работы является исследование повышения коррозионной стойкости оксидных покрытий путем введения дисперсии углеродных нанотрубок (УНТ) серии «Таунит», стабилизированной поливинилпирролидоном, в фоновый щелочной раствор.

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы из стали Ст20 со средней площадью поверхности $14,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. В состав сплава входят: углерод (C) – 0,17...0,24 %, кремний (Si) – 0,17...0,37 %, марганец (Mn) – 0,35...0,65 %; содержание меди (Cu) и никеля (Ni) допускается не более 0,25 %, мышьяка (As) – не более 0,08 %, серы (S) – не более 0,4 %, фосфора (P) – 0,035 %. Структура стали 20 представляет собой смесь перлита и феррита. Термическая обработка стали 20 позволяет получать структуру реечного (пакетного) мартенсита. При таких структурных преобразованиях прочность возрастает, и пластичность уменьшается.

Поверхность подготавливали путем химического травления двухнормальной соляной кислотой, механической шлифовки, обезжиривания изопропиловым спиртом с последующим нанесением оксидного покрытия из электролита.

Важным этапом работы был подбор эффективного состава растворов для щелочного оксидирования и условий проведения процесса оксидирования. Технология проведения щелочного оксидирования предусматривает изготовление щелочной среды для того, чтобы при взаимодействии с металлом в присутствии, как правило, солей азотистой и азотной кислот на его поверхности в результате взаимодействия образовалась оксидная пленка, которая защищает материал от попадания воздуха и влаги. Основным фактором, влияющим на процесс оксидирования стали, является концентрация в растворе гидроксидов, нитратов или нитритов калия или натрия. Обычно процесс идет при температуре кипения раствора или близкой к ней, которая определяется, в основном, содержанием щелочи.

Формирование покрытий проводили в пяти электролитах. Первый электролит: 600 г/л NaOH + 200 г/л NaNO₂; второй электролит отличался от первого добавлением 10^{-4} масс. % УНТ; третий – $33 \cdot 10^{-4}$ масс. % УНТ; четвертый – $66 \cdot 10^{-4}$ масс. % УНТ; пятый – 10^{-2} масс.%. УНТ.

Коррозионную стойкость оценивали проведением следующих гравиметрических лабораторных испытаний. Образцы выдерживали в нейтральном растворе хлорида натрия с массовой долей 3 % в течение суток, промывали, механически очищались от продуктов коррозии, обезжиривались и взвешивались на аналитических весах.

Проводился визуальный осмотр образцов с целью выявления характера и определения площади коррозионного разрушения. Визуальный осмотр показал, что в растворах с добавлением УНТ явных очагов коррозии не наблюдается.

Для определения скорости коррозии образцы взвешивали до и после выдержки в агрессивной среде и рассчитывали потерю массы образцов по формуле:

$$\Delta m = m_1 - m_2,$$

где m_1 – масса образца до коррозионных испытаний; m_2 – масса образца после коррозионных испытаний.

Коррозионные потери определяли по формуле:

$$K = \Delta m / (S\tau),$$

где S – площадь поверхности, τ – время испытаний.

Для каждого защитного состава, а также на образцах без покрытия, проводили три параллельных измерения.

$$K_{\text{ср.}} = \Sigma K_i / n,$$

где n – число параллельных испытаний.

Величина защитного действия масляных композиций определялась по формуле:

$$Z = (K_0 - K) \cdot 100\% / K_0,$$

где K_0 и K – величины скорости коррозии образцов стали без покрытия и с нанесенным консервационным материалом соответственно.

Были проанализированы массы образцов до и после нанесения оксидного покрытия. Результаты данного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты по потере массы при нанесении оксидной пленки

Содержание УНТ, масс %	m_1	m_2	m_3
0	23,0489	23,0391	0,0098
10^{-4}	23,3475	23,3399	0,0076
$33 \cdot 10^{-4}$	23,133	23,1252	0,0078
$66 \cdot 10^{-4}$	23,1456	23,1023	0,0433
10^{-2}	23,1668	23,1616	0,0052

Во всех случаях наблюдается снижение массы образцов, которое объясняется тем, что при формировании оксидной пленки часть железа остается в виде ионов в растворе щелочного электролита.

На образцах были проведены исследования толщины (таблица 2) покрытия.

Проводился визуальный осмотр образцов с целью выявления характера и определения площади коррозионного разрушения. Явных очагов коррозионного поражения не наблюдалось.

Таблица 2

Соотношение состава электролита и толщины получаемого покрытия

Содержание УНТ, масс. %	Толщина покрытия, мкм
0	12
10^{-4}	18
$33 \cdot 10^{-4}$	27
$66 \cdot 10^{-4}$	24
10^{-2}	26

Согласно полученным данным оксидные покрытия, образовавшиеся в присутствии 0,0066 масс. % УНТ в щелочном электролите, почти в два раза более стойки, по сравнению с покрытиями, полученными в электролите №1 (таблица 3). Повышение концентрации углерода в щелочном растворе, который используется при оксидировании, не приводит к значительным изменениям коррозионной стойкости оксидной пленки на поверхности стали.

Таблица 3

Коэффициенты коррозионной стойкости покрытий в нейтральной водной среде в присутствии 3 масс. % NaCl при различном времени проведения процесса оксидирования

Содержание УНТ, масс. %	$K \cdot 10^6$ при $\tau = 60$ мин	$K \cdot 10^6$ при $\tau = 40$ мин
0	12,46	21,66
10^{-4}	5,11	11,87
$33 \cdot 10^{-4}$	1,98	7,65
$66 \cdot 10^{-4}$	0,98	5,98
10^{-2}	0,88	5,99

В рамках научного исследования проводилось снижение продолжительности проведения процесса щелочного оксидирования с 60 до 40 минут. Результаты представлены в таблице 3.

Полученные покрытия также подвергались коррозионным испытаниям, по данным которых было показано, что снижение длительности нанесения оксидного покрытия приводит к повышению коррозионных потерь.

Были рассчитаны величины защитного эффекта Z при различном времени проведения процесса оксидирования (таблица 4).

Таблица 3

Влияние на защитный эффект оксидных пленок времени проведения процесса оксидирования

Содержание УНТ, масс. %	Z при $\tau = 60$ мин, %	Z при $\tau = 40$ мин, %
0	71,26	50
10^{-4}	88,21	72,62
$33 \cdot 10^{-4}$	95,43	82,36
$66 \cdot 10^{-4}$	97,73	86,21
10^{-2}	97,97	86,19

При максимальной концентрации УНТ защитный эффект при продолжительности 60 минут составляет почти 98 %, в то время как при снижении времени оксидирования до 40 минут максимальная величина Z составляет 86 %. Поэтому снижать время оксидирования не целесообразно.

1. Грилихес, С.Я. Оксидирование и фосфатирование металлов. Л.: Машиностроение, 1971. – 120 с.
2. Некоторые особенности повышения защитной эффективности покрытий, полученных методом щелочного оксидирования / Зарапина И.В., Осетров А.Ю., Ананьев А.А. и др. // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – №58. – Часть 3. – С. 61 – 64.

Суфиянов Р.Ш.

Применение детонационных наноалмазов в автомобильной отрасли

*Бронницкий филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
(Россия, Бронницы)*

doi: 10.18411/lj-05-2021-38

Аннотация

В настоящее время в целях создания новых высокоэффективных композиционных материалов разрабатываются технологии получения различных наноматериалов, к которым относятся и наноалмазы. Наноалмазы могут быть получены различными методами, но наиболее экономичным способом, является их синтез в результате детонации взрывчатых веществ с отрицательным кислородным балансом. Детонационные наноалмазы являются материалами XXI века, которые используются и будут использоваться при производстве материалов и смазочных композиций, применяемых в автомобильной отрасли.

Ключевые слова: Детонационный наноалмаз, применение, автомобильная отрасль, смазки, упрочнение деталей.

Abstract

Currently, in order to create new highly efficient composite materials, technologies are being developed for producing various nanomaterials, which include nanodiamonds. Nanodiamonds can be obtained by various methods, but the most economical way is their synthesis as a result of the detonation of explosives with a negative oxygen balance.