



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION
PROTECTION**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2021.99.1-1.

**Защитные свойства супергидрофобных покрытий на меди и стали,
полученных электрохимическим методом**

**Л.Е. Цыганкова^{1,2,3}, А.А. Урядников^{1,2}, А.В. Дорохов¹, Н.В. Шель³,
А.Н. Дорохова², Н.А. Курьято¹**

¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
РФ, 392022, г. Тамбов, Ново-рубешный пер., д. 28

²Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»,
РФ, 392000, г. Тамбов, ул. Интернациональная, д. 33

³Тамбовский государственный технический университет,
РФ, 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106

e-mail: vits21@mail.ru

Аннотация. При катодном осаждении меди или никеля на медной пластине с обработкой этанольным раствором высших карбоксильных кислот с длинным углеводородным радикалом одновременно или последовательно получены супергидрофобные покрытия, характеризующиеся краевым углом смачивания водой порядка 155...160°. Данные покрытия предохраняют медную подложку от коррозии в условиях 100%-ой влажности в течение 100...180 дней, сохраняя при этом краевой угол в пределах 152...154°. Потери массы при этом отсутствуют. Исследовано влияние реверса тока в процессе электролиза на величину краевого угла смачивания. Приведены SEM изображения супергидрофобных покрытий, свидетельствующие о многоуровневой шероховатости. Супергидрофобное покрытие на углеродистой стали получено при катодном выделении никеля с последующей обработкой поверхности в этанольном растворе миристиновой кислоты и отжигом при 60° в течение двух часов. Оценено влияние продолжительности электролиза на величину краевого угла смачивания. Его величина находится в пределах 151...154°. Выдержка стальной пластины с покрытием в течение 50 суток в условиях 100%-ой влажности характеризуется отсутствием потерь в массе и сохранением величины краевого угла до 154°.

Ключевые слова: медная пластина, сталь, электроосаждение, супергидрофобное покрытие, защитные свойства, краевой угол смачивания.

Для цитирования: Цыганкова Л.Е., Урядников А.А., Дорохов А.В., Шель Н.В., Дорохова А.Н., Курьято Н.А. Защитные свойства супергидрофобных покрытий на меди и стали, полученных электрохимическим методом // Практика противокоррозионной защиты. – 2021. – Т. 26, № 1. – С. 7-16. doi: 10.31615/j.corros.prot.2021.99.1-1.

Статья получена: 14.12.2020, опубликована 01.03.2021.

**Protective properties of superhydrophobic coatings on copper and steel
obtained by electrochemical method**

**L.E. Tsygankova^{1,2,3}, A.A. Uryadnikov², A.V. Dorokhov¹, N.V. Shel³,
A.N. Dorokhova², N.A. Kur'yato¹**

¹All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in agriculture,
28, Novo-Rubezhni st., Tambov, 392022, Russian Federation

²Derzhavin State University,
33, Internatsyonalnaya st., Tambov, 392000, Russian Federation

³Tambov State Technical University,
106, Sovetskaya st., Tambov, 392000, Russian Federation

e-mail: vits21@mail.ru

Abstract. Superhydrophobic coatings are obtained by cathodic deposition of copper or nickel on a copper plate with treatment with an ethanol solution of highest carboxylic acids with a long hydrocarbon radical simultaneously or sequentially. They are characterized by a contact angle of water wetting of the order of 155...160°. These coatings protect the copper substrate from corrosion in conditions of 100% humidity for 100...180 days, while maintaining the contact angle within 152...154°. There is no mass loss. The influence of the reversal of the current during electrolysis



on the value of the contact angle of wetting is investigated. SEM images of superhydrophobic coatings are presented, indicating multilevel roughness. Superhydrophobic coating on carbon steel is obtained by cathodic deposition of nickel and subsequent surface treatment in an ethanol solution of myristic acid and annealing at 60° for two hours. The influence of the duration of electrolysis on the value of the contact angle of wetting is estimated. Its value is in the range of 151...154°. Exposure of a coated steel plate for 50 days in conditions of 100% humidity is characterized by the absence of weight loss and maintaining the contact angle up to 154°.

Keywords: copper plate, steel, electrodeposition, superhydrophobic coating, protective properties, contact angle.

For citation: Tsygankova, L. E., Uryadnikov, A. A., Dorokhov, A. V., Shel, N. V., Dorokhova, A. N., & Kur'yato, N. A. (2021). Protective properties of superhydrophobic coatings on copper and steel obtained by electrochemical method. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 26(1), 7-16. doi:10.31615/j.corros.prot.2021.99.1-1.

Received: December 14, 2020. Published: March 01, 2021.

Введение

Последние два десятилетия характеризуются интенсивным исследованием возможности защиты от коррозии металлов посредством формирования на их поверхности гидрофобных и супергидрофобных пленок.

Известно, что для формирования супергидрофобных покрытий на металлах необходимо создание многомодальной шероховатости поверхности с последующим нанесением материалов с низкой поверхностной энергией. Используются различные методы для создания поверхностной шероховатости, такие, как химическое травление [1], химическое осаждение из паровой фазы [2], наносекундная лазерная обработка поверхности [3] и др. Все они требуют последующей обработки гидрофобными материалами. Однако в большинстве методов используются сложные условия или дорогостоящие материалы, ограничивающие их практическое применение. Предлагаются также методы получения супергидрофобных поверхностей без использования модификации шероховатой поверхности органическими веществами с низкой поверхностной энергией [4, 5]. В [5] авторы электрохимически наносили на медную поверхность пленки сплава $Ni-Co$. При этом на поверхности наблюдается структура, которую авторы обозначают как «микроцветочную», характеризующуюся наличием «карманов», играющих роль ловушек воздуха, что приводит к супергидрофобности поверхности. Свежеобразованная поверхностная пленка сплава $Ni-Co$ гидрофильна (угол смачивания 85°), однако после двухнедельной выдержки на воздухе происходит старение пленки, заключающееся в окислении металлической поверхности (сплавы $Ni-Co$) с образованием поверхностных оксидов NiO и CoO . Кроме того, наблюдается адсорбция углеводов из воздуха, что фиксируется посредством появления на поверхности фрагментов с $C-C$,

$C-H$, $C-O$ и $C-O-C$ связями. Оба последних фактора также способствуют существенному снижению смачиваемости водой с повышением контактного угла до 160°.

Предлагаются электрохимические методы получения супергидрофобных поверхностей путем катодного восстановления одноименных ионов [6] или ионов другого металла [7] с последующей или одновременной обработкой стеариновой или миристиновой кислотами. Используется метод анодного растворения меди в растворе, содержащем лауриламмин [8]. Переходящие в раствор ионы меди образуют комплекс с лауриламином, который после насыщения раствора осаждается на поверхности электрода, формируя супергидрофобную пленку с углом смачивания около 154°. Связь с поверхностью металла осуществляется за счет донорно-акцепторного взаимодействия с аминогруппой, а длинная углеводородная цепь обуславливает гидрофобные свойства пленки.

Целью данной работы является исследование защитной эффективности супергидрофобных покрытий, полученных с использованием электрохимических методов, в условиях 100%-ой влажности.

Методика эксперимента

Для получения супергидрофобных покрытий на медной фольге и стальной пластине использовали известные методики - гальваностатическую [6] и потенциостатическую [7] с некоторыми модификациями. В первом случае проводилось осаждение меди на медном катоде (20×30×0,5 мм), расположенном между двумя медными анодами, из раствора 0,25 M $CuSO_4$ + 0,5 M H_2SO_4 при плотности тока 250 мА/см² в течение 30 с с последующей выдержкой в 0,01 M этанольном растворе стеариновой кислоты в течение 1 часа. Во втором случае на медной пластине с размерами 30×30×0,5 мм проводилось

катодное осаждение никеля из этанольного раствора $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ (10,4 г/л) и миристиновой кислоты (18,3 г/л) при напряжении 30 В между медными пластинами при продолжительности эксперимента 10 мин. В течение равных промежутков времени катод был ориентирован к аноду разными сторонами пластины. Исследовалось также влияние реверса постоянного тока на величину угла смачивания при общей продолжительности электролиза 10 мин: 1) 5 мин – катодный ток, 1 мин – анодный и 4 мин – снова катодный ток; 2) 5 мин – катодный ток, 2 мин – анодный ток и 3 мин – вновь катодный ток.

Супергидрофобное покрытие на углеродистой стали Ст3 было получено при катодном выделении никеля с последующей выдержкой при комнатной температуре в 0,1 М этанольном растворе миристиновой кислоты в течение 1 часа и отжигом в печи при 60° в течение 2 час. Стальной катод представлял собой пластину размером 30×40×1 мм. Перед осаждением никеля шлифованная пластина протравливалась при комнатной температуре в растворе соляной кислоты (13 г/л) в течение 30 с, промывалась бидистиллятом и помещалась в раствор для электроосаждения никеля состава (г/л): $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ – 200; H_3BO_3 – 50; KCl – 30. Условия электроосаждения: плотность тока 80 мА/см², платиновый анод, расстояние между электродами 3 см, перемешивание раствора магнитной мешал-

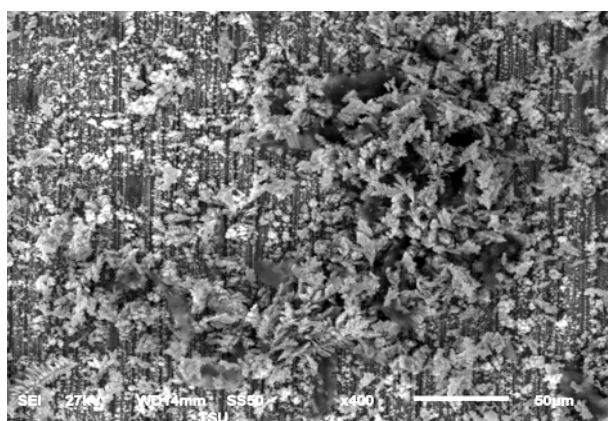
кой, температура 65 °С, продолжительность электролиза варьировалась от 5 до 7 минут.

Углы смачивания θ в 5 различных точках на поверхности покрытия измерялись для капель дистиллированной воды объемом 3...5 мл с использованием прибора тензиометра (Easy Drop, KRUSS, Германия). Разброс величин θ составлял от 1,5 до 2°.

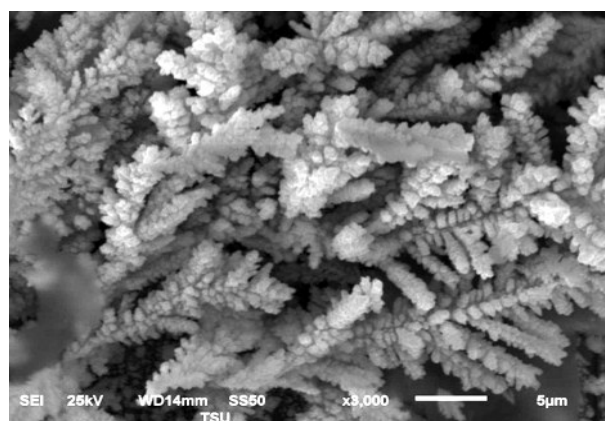
Коррозионные испытания при комнатной температуре проводили в герметичных эксикаторах объемом 7 л. В них создавалась и поддерживалась на протяжении всего эксперимента атмосфера со 100%-ной относительной влажностью воздуха, создаваемой дистиллированной водой. Через определенные промежутки времени проводилось измерение углов смачивания на поверхности и взвешивание образцов.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Покрытие, полученное на медном катоде в растворе сульфата меди с последующей выдержкой в этанольном растворе стеариновой кислоты, характеризуется углом смачивания, равным в среднем 155°. Путем катодного осаждения меди была сформирована разноуровневая шероховатость. Последующая выдержка в растворе стеариновой кислоты и адсорбция на поверхности стеарата меди с низкой поверхностной энергией и гидрофобностью за счет длинной



a



b

Рис. 1. SEM изображения супергидрофобной поверхности на медной пластине после осаждения меди и выдержки в растворе стеариновой кислоты при разном увеличении

Fig. 1. SEM images of a superhydrophobic surface on a copper plate after copper deposition and holding in a stearic acid solution at different magnifications

углеводородной цепи, способствовала возникновению супергидрофобности. На *рис. 1* показана морфология супергидрофобной поверхности, на которой видны частицы разного размера. При большем увеличении просматриваются микрокластеры, состоящие из более мелких кластеров, определяющих разноуровневую шероховатость.

Выдержка этой пластины в условиях 100%-ой влажности в пределах 186 дней показала достаточную устойчивость покрытия, поскольку вес пластины практически не изменился, а угол смачивания уменьшился незначительно (*рис. 2 и 3*).

Из *рис. 2* видно, что исходное значение краевого угла θ , равное 155° , в течение первых 6 суток увеличивается до 158° , что может быть связано с окислением осажденных атомов меди. Однако в последующие 40 суток наблюдается некоторое уменьшение краевого угла вследствие деградации покрытия, но в последующий промежуток времени краевой угол вновь увеличивается, оставаясь в пределах $151...152^\circ$. Очевидно периодически протекают процессы деградации и залечивания покрытия, и в условиях 100%-ой влажности супергидрофобное покрытие характеризуется углом смачивания

в пределах 150° .

На *рис. 3* приведены изображения капель воды на поверхности рассматриваемого супергидрофобного покрытия и величины углов смачивания, измеренные в разные промежутки времени экспозиции в условиях 100%-ой влажности.

Морфология покрытия, полученного на медном электроде при осаждении никеля из этанольного раствора хлорида никеля и миристиновой кислоты (в отсутствие реверса тока), показана на *рис. 4*. Характер покрытия определяется восстановлением ионов никеля и водорода на катоде, направленное движение которых способствуют покрытию катода миристалом никеля, образующимся в растворе, и созданию ажурной структуры, пустоты которой служат ловушками пузырьков воздуха, препятствующего проникновению жидкой среды к поверхности металла.

Супергидрофобное покрытие, полученное на медном катоде в растворе хлорида никеля и миристиновой кислоты, каждая сторона которого в течение 5 мин была ориентирована на анод, характеризуется исходным углом смачивания, равным, в среднем, 159° (*рис. 5*). В течение 3 суток экспозиции при 100%-ой влажности его величина воз-

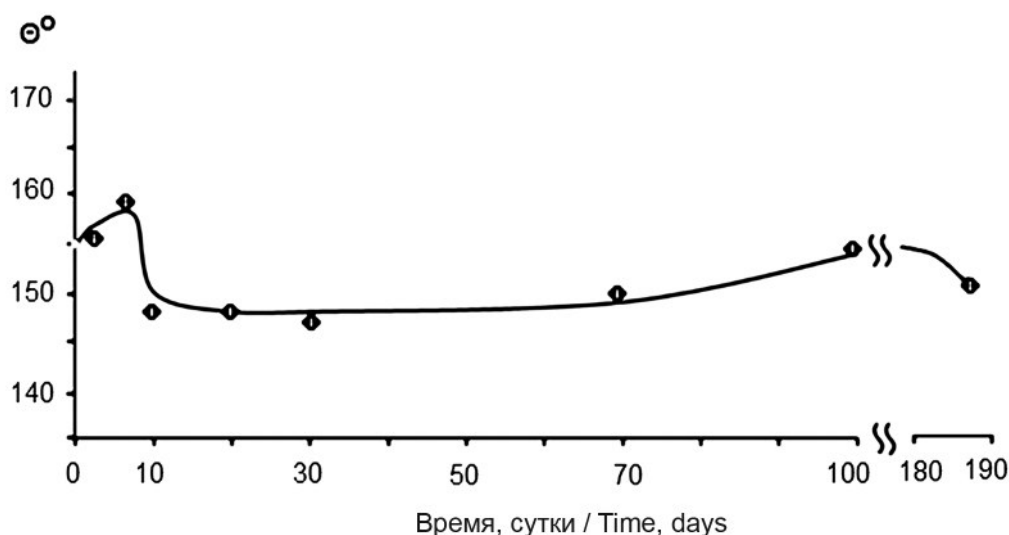


Рис. 2. Изменение во времени при 100%-ой влажности краевого угла смачивания супергидрофобной поверхности, полученной на медной пластине после осаждения меди из раствора медного купороса и выдержки в этанольном растворе стеариновой кислоты

Fig. 2. Change in time at 100% humidity of the contact angle of wetting of a superhydrophobic surface obtained on a copper plate after the deposition of copper from a solution of copper sulfate and holding in an ethanol solution of stearic acid

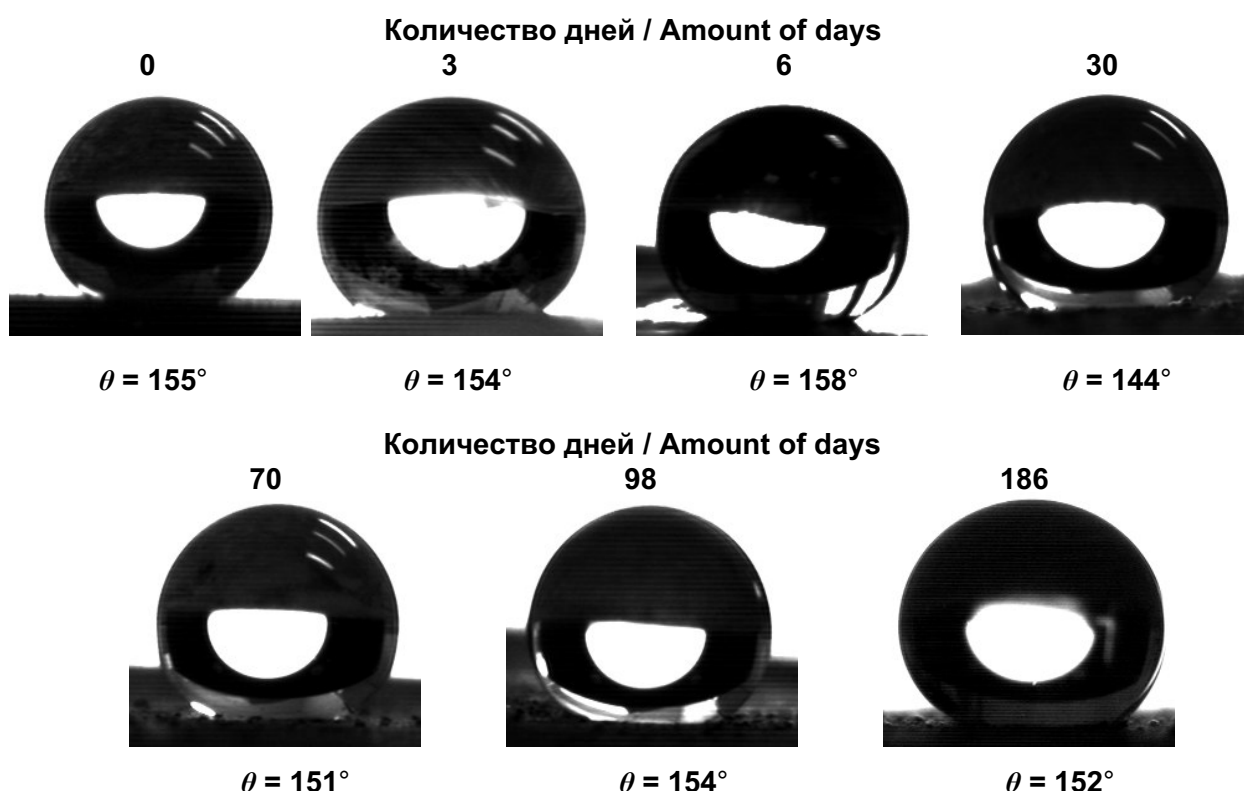


Рис. 3. Изображения капель воды на поверхности супергидрофобного покрытия со стеаратом меди при разной продолжительности экспозиции образцов в условиях 100%-ой влажности

Fig. 3. Images of water droplets on the surface of a superhydrophobic coating with copper stearate at different duration of exposure of the samples under conditions of 100% humidity

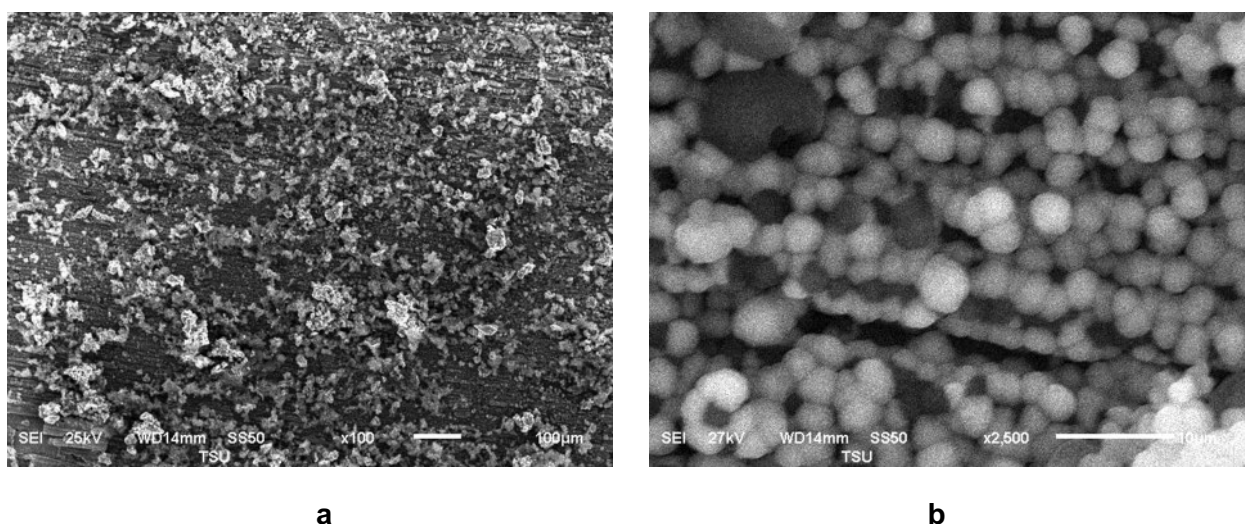


Рис. 4. Морфология супергидрофобного покрытия, полученного на медной пластине при катодном осаждении никеля из этанольного раствора хлорида никеля и миристиновой кислоты

Fig. 4. The morphology of the superhydrophobic coating obtained on a copper plate by cathodic deposition of nickel from an ethanol solution of nickel chloride and myristic acid

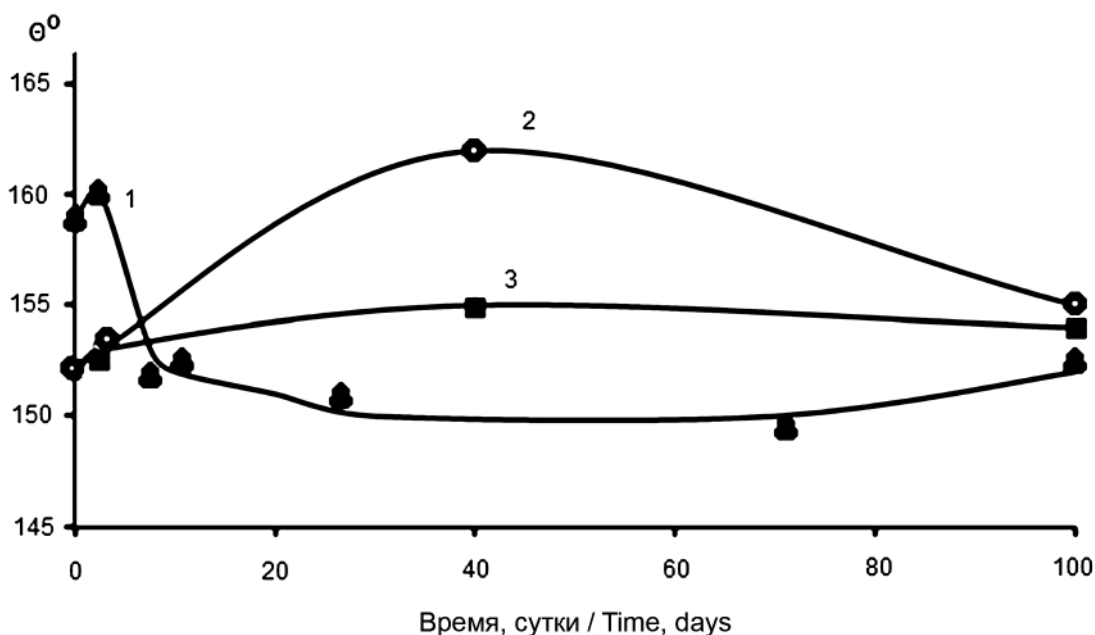


Рис. 5. Изменение во времени при 100%-ой влажности краевого угла смачивания супергидрофобной поверхности, полученной на медном катоде в этанольном растворе хлорида никеля и миристиновой кислоты при ориентации каждой стороны катода к поверхности анода в течение 5 мин (1), при 9 мин катодного тока и 1 мин анодного (2) и 8 мин катодного тока и 2 мин анодного (3)

Fig. 5. Change in time at 100% humidity of the contact angle of wetting of a superhydrophobic surface obtained on a copper cathode in an ethanol solution of nickel chloride and myristic acid when each side of the cathode is oriented to the anode surface for 5 min (1), at 9 min of cathodic current and 1 min of anodic one (2) and 8 min of cathodic current and 2 min of anodic one (3)

растает до 160°, а в последующие сутки то снижается, то несколько возрастает из-за некоторой деградации и залечивания слабых мест покрытия, оставаясь в пределах 150° в течение 100 суток (рис. 5, кривая 1).

При реверсе тока начальный угол смачивания оказывается ниже, чем в предыдущем случае и составляет 151°, но во времени в условиях 100%-ой влажности он возрастает, сохраняя к 100 часам экспозиции значение, близкое к 155° (рис. 5). Видимо, этому способствует изменение направления тока при формировании покрытия, причем лучший эффект наблюдается для длительности анодного тока, равной 1 мин, нежели 2 мин. Можно полагать, что анодный ток способствует возникновению пор в покрытии, служащих дополнительными ловушками для пузырьков воздуха, предотвращающих контакт жидкой среды с металлической подложкой. Значения углов

смачивания, равных или выше 150°, свидетельствуют о том, что на поверхности меди в процессе электрохимической обработки сформировалась многомодальная шероховатость. Вид капель дистиллированной воды на поверхности супергидрофобного покрытия, сформированного на медном катоде в этанольном растворе в присутствии хлорида никеля и миристиновой кислоты, а также величины угла смачивания в разные промежутки времени экспозиции пластин при 100%-ой влажности показаны на рис. 6.

Морфология покрытия, полученного на стальном электроде при электроосаждении никеля, показана на рис. 7. На поверхности видны крупные образования размером до 5 мкм и значительно более мелкие, что свидетельствует о разнородной шероховатости поверхности. Кроме того, просматриваются поры, наличие которых определяется одновременным выделени-

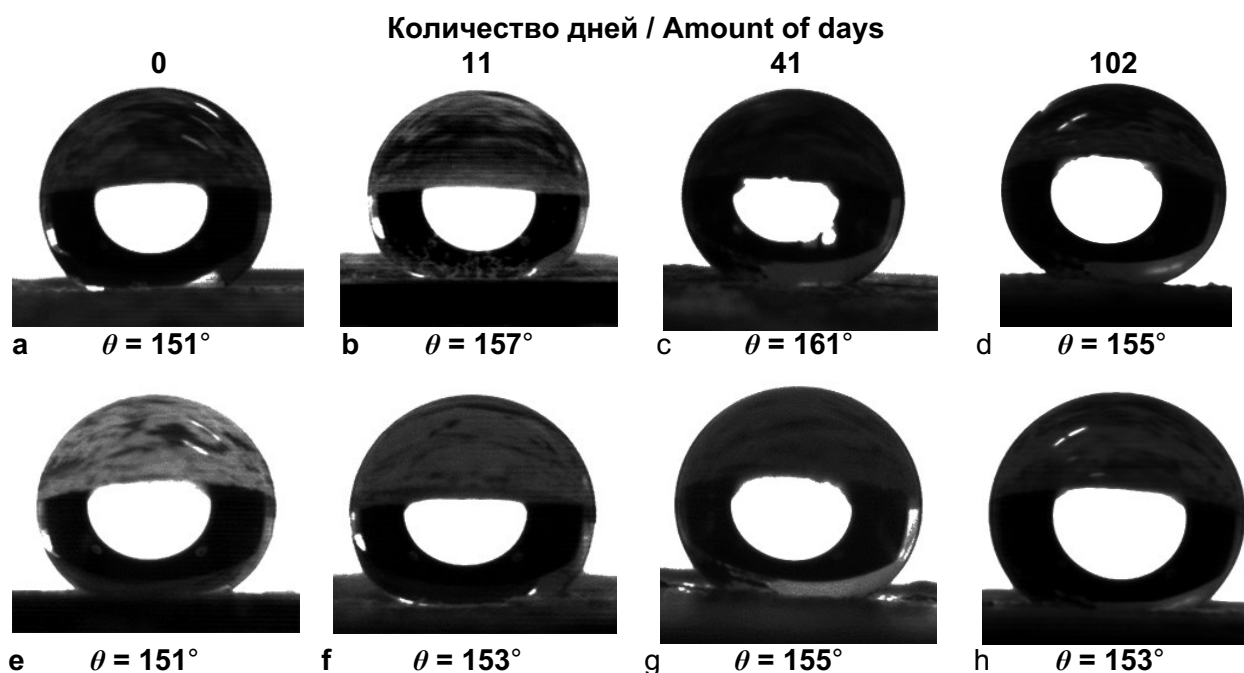


Рис. 6. Изображения капель воды на поверхности супергидрофобного покрытия с миристином никеля при разной продолжительности экспозиции образцов в условиях 100%-ой влажности. Супергидрофобное покрытие получено на электроде при 9 мин катодной и 1 мин анодной поляризации (a, b, c, d) и 8 мин катодной и 2 мин анодной поляризации (e, f, g, h)

Fig. 6. Images of water droplets on the surface of a superhydrophobic coating with nickel myristate at different exposure times of the samples under conditions of 100% humidity.

Superhydrophobic coating was obtained on the electrode at 9 min cathodic and 1 min anodic polarization (a, b, c, d) and 8 min cathodic and 2 min anodic polarization (e, f, g, h)

ем водорода на катоде. Взаимодействие миристиновой кислоты со свежесформированным *Ni* покрытием способствует понижению поверхностной энергии. Наличие пор способствует захвату пузырьков воздуха, препятствующих контакту жидкой среды с поверхностью металла. При продолжительности электролиза в течение 5 мин исход-

ный краевой угол смачивания, в среднем, оказался равным 149°, при 7 минутах – 151°.

При экспозиции образцов с покрытием при 100%-ой влажности в течение 50 суток контактный угол в первом случае уменьшился до 139°, во втором увеличился до 154° через 14 суток, потом уменьшился до 150° после 28-дневной экспозиции и снова увеличился до 154° через 50 суток. Это связано с некоторой деградацией покрытия с последующим залечиванием слабых

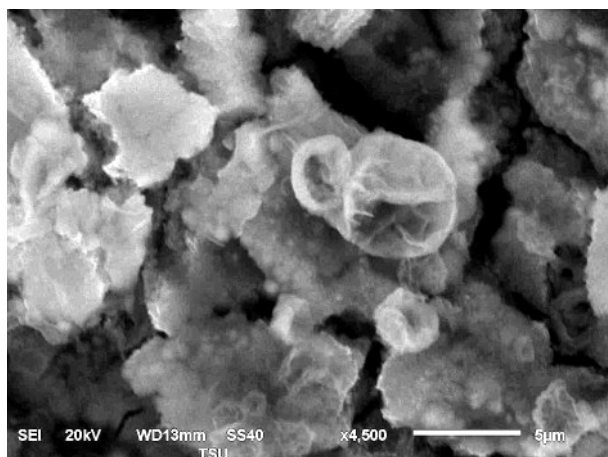


Рис. 7. Морфология супергидрофобного покрытия, полученного на стальной пластине после катодного осаждения никеля и выдержки в этанольном растворе миристиновой кислоты

Fig. 7. Morphology of the superhydrophobic coating obtained on a steel plate after cathodic deposition of nickel and exposure to ethanol solution of myristic acid

мест, чему способствует окисление поверхностных атомов никеля и автоадсорбция продуктов из окружающей среды. Потери образцов в весе отсутствовали. Внешний вид каплей дистиллированной воды на поверхности супергидрофобного покрытия и величины углов смачивания показаны на рис. 8.

Медные пластины без покрытия в условиях 100%-ой влажности характеризуются после 186 суток экспозиции заметными коррозионными поражениями, а стальные пластины уже через 10 суток имеют ярко выраженные следы коррозии (рис. 9).

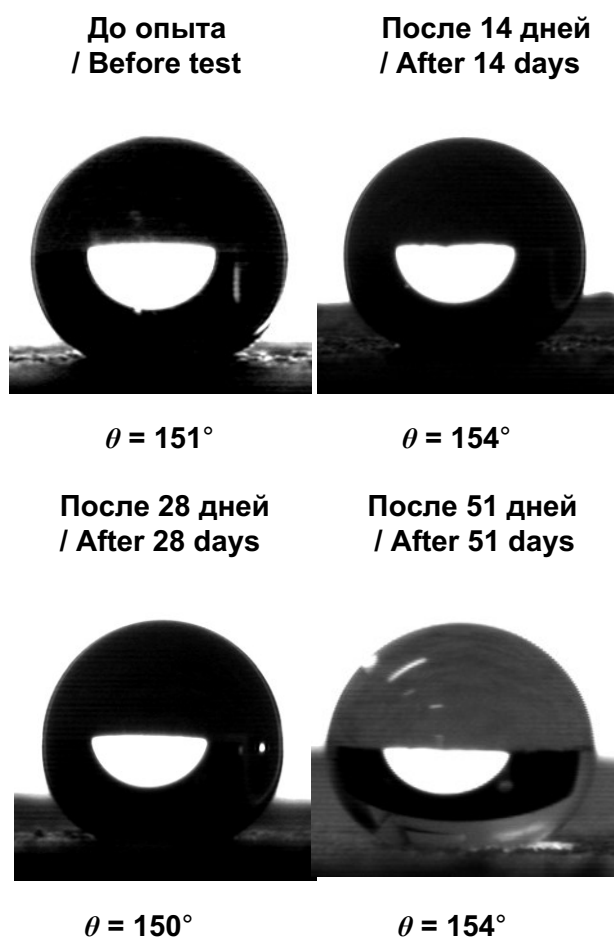
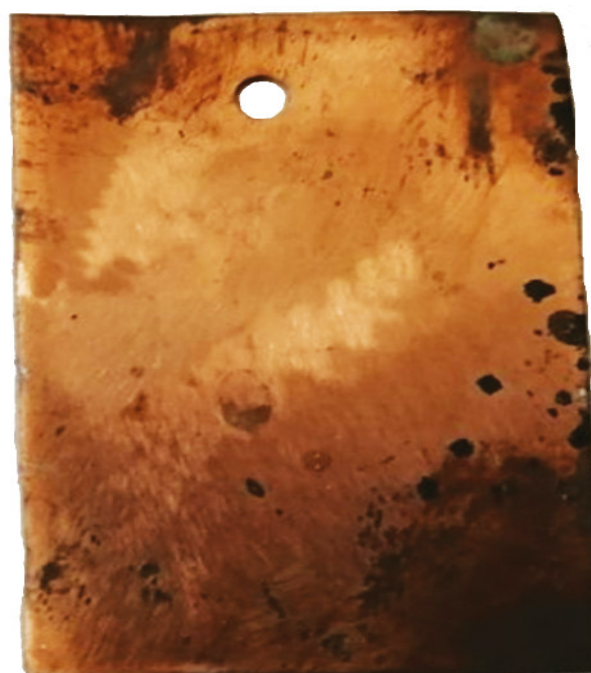


Рис. 8. Изображения каплей воды на поверхности супергидрофобного покрытия на стальном электроде при разной продолжительности экспозиции образцов в условиях 100%-ой влажности

Fig. 8. Images of water droplets on the surface of a superhydrophobic coating on a steel electrode at different duration of exposure of the samples under conditions of 100% humidity



a



b

Рис. 9. Внешний вид медной пластины после 186 суток экспозиции в условиях 100%-ой влажности (слева) и стального образца после 10 суток в тех же условиях (справа)

Fig. 9. Appearance of a copper plate after 186 days of exposure in conditions of 100% humidity (left) and a steel sample after 10 days in the same conditions (right)

Выводы

1. На медной пластине получено супергидрофобное покрытие при катодном выделении меди из раствора сульфата меди и последующей выдержке в этанольном растворе стеариновой кислоты, характеризующееся краевым углом смачивания, равным 155° . Данное покрытие предохраняет медную подложку от коррозии в условиях 100%-ой влажности в течение 186 дней, сохраняя при этом угол смачивания в пределах $152...154^\circ$.

2. Супергидрофобное покрытие, полученное на медном катоде в этанольном растворе хлорида никеля и миристиновой кислоты, характеризуется краевым углом смачивания, равным в среднем 159° . Экспозиция в течение 100 дней в условиях 100%-ой влажности показала отсутствие коррозионных потерь при сохранении величины угла смачивания в пределах 150° . Применение кратковременного реверса тока позволило получить супергидрофобное покрытие, характеризующееся углом смачивания к концу 100-дневной экспозиции при 100%-ой влажности, равным $153...155^\circ$.

3. Супергидрофобное покрытие, полученное на стальной пластине при катодном осаждении никеля с последующей выдержкой в этанольном растворе миристиновой кислоты, характеризуется исходным краевым углом смачивания 151° , увеличивающимся до 154° при экспозиции в условиях 100% влажности в течение 50 суток.

Исследования выполнены при финансировании Российским Научным Фондом, проект № 18-16-00006.

Экспериментальные результаты получены на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием ТГУ имени Г.Р. Державина.

Литература

1. Wang Y., Wang W., Zhong L., Wang J., Jiang Q., Guo X. Super-hydrophobic surface on pure magnesium substrate by wet chemical method // *Appl. Surf. Sci.* – 2010. – V. 256. – P. 3837-3840.
2. Kang Z., Ye Q., Sang J., Li Y. Fabrication of super-hydrophobic surface on copper surface by polymer plating, *J. Mater. Process. Technol.* – 2009. – V. 209 – P. 4543-4547.

Technol. – 2009. – V. 209 – P. 4543-4547.

3. Boinovich L.B., Emelyanenko K.A., Domantovsky A.G., Emelyanenko A.M. Laser tailoring the surface chemistry and morphology for wear, scale and corrosion resistant superhydrophobic coatings // *Langmuir*. – 2018. – V. 34, № 24. – P. 7059-7066.

4. Xu W., Shi X., Lu S. Controlled growth of superhydrophobic films without any low surface-energy modification by chemical displacement on zinc substrates // *Mater. Chem. Phys.* – 2011. – V. 129. – P. 1042-1046.

5. Khorsand S., Raeissi K., Ashrafizadeh F., Arenas M.A. Relationship between the structure and water repellency of nickel-cobalt alloy coatings prepared by electrodeposition process // *Surface & Coatings Technology*. – 2015. – V. 276. – P. 296-304.

6. Глухов В.Г., Поляков Н.А., Семилетов А.М., Кузнецов Ю.И. Получение супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов // Материалы конференции «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича. (23-25 октября 2019). – Тамбов, 2019. – С. 392-394.

7. Chen Z., Hao L., Chen A., Song Q., Chen C. A rapid one-step process for fabrication of superhydrophobic surface by electrodeposition method // *Electrochim. Acta*. – 2012. – V. 59. – P. 168-171.

8. Wang P., Zhang D., Qiu R., Wu J. Superhydrophobic metal-complex film fabricated electrochemically on copper as a barrier to corrosive medium // *Corrosion Science*. – 2014. – V. 83. – P. 317-326.

References

1. Wang, Y., Wang, W., Zhong, L., Wang, J., Jiang, Q., & Guo, X. (2010). Super-hydrophobic surface on pure magnesium substrate by wet chemical method. *Appl. Surf. Sci.*, 256, 3837-3840.
2. Kang, Z., Ye, Q., Sang, J., & Li, Y. (2009). Fabrication of super-hydrophobic surface on copper surface by polymer plating. *J. Mater. Process. Technol.*, 209, 4543-4547.
3. Boinovich, L. B., Emelyanenko, K. A., Domantovsky, A. G., & Emelyanenko, A. M. (2018). Laser tailoring the surface chemistry

and morphology for wear, scale and corrosion resistant superhydrophobic coatings. *Langmuir*, 34 (24), 7059-7066.

4. Xu, W., Shi, X., & Lu, S. (2011). Controlled growth of superhydrophobic films without any low surface-energy modification by chemical displacement on zinc substrates. *Mater. Chem. Phys.*, 129, 1042-1046.

5. Khorsand, S., Raeissi, K., Ashrafizadeh, F., & Arenas, M. A. (2015). Relationship between the structure and water repellency of nickel-cobalt alloy coatings prepared by electrodeposition process. *Surface & Coatings Technology*, 276, 296-304.

6. Glukhov, V. G., Polyakov, N. A., Semiletov, A. M., & Kuznetsov, Yu. I. (2019). Obtaining superhydrophobic coatings on copper using electrochemical methods.

Proceedings of the conference «Topical issues of electrochemistry, ecology and protection against corrosion», dedicated to the memory of Professor, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation V.I. Vigdorovich, (23-25 Octob. 2019, Russia, Tambov), 392-394.

7. Chen, Z., Hao, L., Chen, A., Song, Q., & Chen, C. (2012). A rapid one-step process for fabrication of superhydrophobic surface by electrodeposition method. *Electrochim. Acta*, 59, 168-171.

8. Wang, P., Zhang, D., Qiu, R., & Wu, J. (2012). Superhydrophobic metal-complex film fabricated electrochemically on copper as a barrier to corrosive medium. *Cor. Sci.*, 83, 317-326.

Информация об авторах

Цыганкова Людмила Евгеньевна, д.х.н., профессор, зав. кафедрой химии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Урядников Александр Алексеевич, к.х.н., доцент кафедры химии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Дорохов Андрей Валерьевич, к.х.н., н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

Шель Наталья Владимировна, д.х.н., профессор кафедры «Химическая технология», Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

Дорохова Анастасия Николаевна, аспирант кафедры химии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Курыто Николай Алексеевич, м.н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация

Information about authors

Liudmila E. Tsygankova, Doctor of Chemistry, Professor, Head of Department of Chemistry, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Alexander A. Uryadnikov, Ph.D. in Chemistry, associate Professor, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Andrei V. Dorokhov, Ph.D. in Chemistry, researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in agriculture, Tambov, Russian Federation

Natalia V. Shel, Doctor of Chemistry, Professor of «Chemical Technology» Department, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

Anastasiya N. Dorokhova, postgraduate student, Derzhavin State University, Tambov, Russian Federation

Nikolai A. Kur'yato, junior scientist, All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in agriculture, Tambov, Russian Federation