

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ



Научная статья

УДК 669:620.19:544.63

<https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-709-713>

Особенности латексных покрытий для защиты стали от коррозии

Ариадна Алексеевна Яковлева^{1✉}, Сергей Владимирович Садловский²,Наталья Игоревна Вострикова³, Владимир Валерьевич Халбаев⁴¹⁻⁴Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия¹ayakovistu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5747-2864>²vip.sadlovskiy@mail.ru³vosnatalia@mail.ru⁴khalbaev98@mail.ru

Резюме. Цель работы – оценка результатов исследования кинетики коррозионного процесса на образцах стали Ст3, защищенных латексным покрытием 69Б-2к, выпускаемым ООО «Капиталь» (г. Иркутск). Для достижения цели проанализированы результаты гравиметрических испытаний с экспериментальными образцами стали. В качестве электролита использовали 3% масс. раствор хлорида натрия. Достоверность полученных результатов подтверждена проведением как минимум двух параллельных опытов. Перед нанесением покрытий поверхности металлических образцов были тщательно подготовлены согласно ГОСТ Р 9.907-2007. Пленочные покрытия нанесены на поверхность металла трехкратным окунанием образцов в жидкий латекс и высушиванием в течение суток. Качество покрытия до и после опытов оценивали визуально и с помощью микрофотографирования. Гравиметрические исследования были проведены при термостатировании ($25 \pm 0,2$ °С) рабочего пространства. При этом фиксировали изменения массы образцов за контролируемый промежуток времени (от 1 до 24 ч). Полученные в ходе опытов результаты взвешивания образцов до и после опытов проанализированы с помощью кинетической блок-схемы, в которой поиск типа реакции проводится поэтапно в логической последовательности. Кинетический анализ результатов гравиметрических исследований подтвердил отсутствие характерных признаков протекания химических взаимодействий на поверхности стали Ст3 с покрытием из латекса 69Б-2к. Из известных математических моделей феноменологической кинетики для описания механизма процесса приемлемым оказывается использование уравнения первого порядка, моделирующее протекание простой реакции – вариант, наиболее обоснованный для гетерогенного взаимодействия, в котором лимитирующей стадией оказывается проникновение реагентов через латексную пленку. В результате проведенного кинетического анализа выявилась необходимость изучить свойства латексных пленок, определен рациональный путь дальнейших коррозионных исследований.

Ключевые слова: коррозия, механизм, лимитирующая стадия, константа скорости, антикоррозионное покрытие, латекс

Для цитирования: Яковлева А. А., Садловский С. В., Вострикова Н. И., Халбаев В. В. Особенности латексных покрытий для защиты стали от коррозии // iPolytech Journal. 2022. Т. 26. № 4. С. 709–713. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-709-713>.

BRIEF COMMUNICATION

Characteristics of latex coatings for steel protection against corrosion

Ariadna A. Yakovleva^{1✉}, Sergey V. Sadlovsky²,Natalia I. Vostrikova³, Vladimir V. Khalbaev⁴¹⁻⁴Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia¹ayakovistu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5747-2864>²vip.sadlovskiy@mail.ru³vosnatalia@mail.ru⁴khalbaev98@mail.ru

Abstract. This paper examines the kinetics of corrosion for steel St3 samples covered with a latex coating 69B–2k, manufactured by Kapitel LLC (Irkutsk), by analysing gravimetric tests performed using steel samples. A 3 wt % solution of sodium chloride was used as an electrolyte. The accuracy of the obtained results was confirmed by carrying out at least two parallel experiments. Prior to coating, the metal surface of samples was carefully prepared as per GOST R 9.907-2007. Film coatings were applied onto the metal surface by threefold dipping of samples in liquid latex followed by drying within 24 hours. The quality of the coating prior to and following the experiments was assessed visually and by microphotography. Gravimetric studies were carried out under temperature control ($25 \pm 0.2^\circ\text{C}$) in the working area. At the same time, changes in the sample mass were recorded over a controlled time interval (from 1 to 24 hours). The results of weighing samples obtained prior to and following the experiments were analysed using a kinetic flowchart, in which the type of reaction is defined in stages in a natural sequence. Kinetic analysis of the gravimetric results confirmed the absence of characteristic signs associated with chemical interactions on the surface of steel St3 coated with latex 69B-2k. Out of the known mathematical models of phenomenological kinetics, it is admissible to use a first-order equation to describe the course of a simple reaction during heterogeneous interaction, where the penetration of reagents through a latex film comprises a limiting stage. The kinetic analysis showed that it is necessary to study the properties of latex films; a strategy for further corrosion studies was determined.

Keywords: corrosion, mechanism, rate-limiting step, rate constant, corrosion resistant coating, latex

For citation: Yakovleva A. A., Sadlovsky S. V., Vostrikova N. I., Khalbaev V. V. Characteristics of latex coatings for steel protection against corrosion. *iPolytech Journal*. 2022;26(4):709-713. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2022-4-709-713>.

ВВЕДЕНИЕ

Коррозия может приводить к сложным и опасным повреждениям различных сооружений – от мостов и общественных зданий до сооружений в химической, металлургической и других отраслях промышленности. При защите от коррозии в атмосферных условиях или в случаях защиты конструкций, уложенных на землю или находящихся в постоянном контакте с водой и жидкостями, необходимо рассматривать большое количество факторов, оказывающих влияние на выбор систем защитных покрытий. В современном материаловедении антикоррозионная защита стальных поверхностей покрытиями на основе органических связующих является актуальной темой [1–6].

Представляемая работа является продолжением в ходе разработки специализированных полимерных покрытий, предназначенных для защиты днищ, выполненных из стали Ст3, морских кораблей и связана с необходимостью получения кинетических характеристик для оценки свойств защитных пленок, их устойчивости во времени. Цель работы состоит в кинетической оценке результатов исследования коррозионного процесса на стали Ст3, защищенной латексным покрытием 69Б-2к, выпускаемым ООО «Капител» (г. Иркутск).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования были образцы стали Ст3 в виде пластинок. В ходе исследований проводили испытание их защищенности от коррозии латексной пленкой. Используемые методические приемы представлены ранее [7].

В качестве защитной пленки был испытан латекс 69Б-2к – смесь стирол-акриловых латексов, полученных методом радикальной эмульсионной полимеризации сополимеров акриловой кислоты и бутилакрилата, в качестве эмульгаторов использованы сульфонал и неонол – добавки, способствующие повышению антикоррозионных свойств покрытий. Используемый латекс 69Б-2к предоставлен компанией ООО «Капител-Иркутск». В ходе опытов была отработана методика получения пленок, достаточно прочных и эластичных (рис. 1).

В качестве электролита использовали солевой раствор, близкий по составу к морской воде – 3% масс. раствор NaCl в дистиллированной воде.

Подготовку поверхности перед нанесением покрытия проводили по стандартной методике⁵, которая состояла из зачистки, обезжиривания, полирования и других необходимых процедур. Образцы стали погружали в солевой раствор на 1 ч, 2 ч, 4 ч, 8 ч, 12 ч и

⁵ГОСТ Р 9.907-2007. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические. Методы удаления продуктов коррозии после коррозионных испытаний. Введ. 01.01.2009. М.: Изд-во стандартов, 2009.

24 ч. Для возможности сравнения использовали схожие образцы без покрытий. Все результаты получены усреднением из двух параллельных опытов. Коррозионные испытания проводили при температуре $25 \pm 0,2^\circ\text{C}$, поддерживаемой термостатом.

По истечении времени образцы извлекали из раствора, сушили и взвешивали на аналитических весах серии HR-150AZ с точностью до $\pm 0,0002$ г. Вычисляли разность массы образцов до опыта m_0 и после – m_τ . В качестве количественного показателя коррозии рассчитывали скорость коррозии: $K = \frac{m_0 - m_\tau}{S \cdot \tau} = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}$ с размерностью $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Площадь поверхности S определяли, измеряя размеры образцов штангенциркулем.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из данных эксперимента установлено, что гравиметрический показатель K для исследуемого латекса часто принимает отрицательное значение: $(m_0 - m_\tau)_0 < 0$. Темпы роста величины m_τ во времени настолько активны, что могут служить основанием для предположения о накоплении каких-то веществ на поверхности пленки в результате протекания химического взаимодействия. Следов набухания пленки или ее механического повреждения ни визуально, ни микрофотографированием не обнаруживается. Чтобы разобраться, были проведены кинетические расчеты, для которых данные гравиметрического эксперимента оказались

наиболее подходящими. Была использована кинетическая блок-схема, в которой сравниваются скорости расходования реагентов (или образования продуктов), устанавливаются их взаимосвязи и выявляются интермедиаты на основе анализа материального баланса [5]. Одной из основных идей данной методики является линеаризация кинетических уравнений, например, для реакции первого порядка – линеаризация уравнения $k = \frac{1}{\tau} \ln \frac{c_0}{c_\tau}$ или $\ln c_\tau = \ln c - k\tau$, которое в нашем случае удобнее представить через массы (начальную и при времени τ) в следующем виде: $\ln m_\tau = \ln m_0 - k\tau$.

При графической интерпретации линейность графика является доказательством того, что поверхностный процесс протекает по закономерностям реакций первого порядка, а угол наклона равен константе скорости реакции (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что достоверность аппроксимации данных линейным уравнением первого порядка высока и составляет 0,94. Из уравнения линии тренда $\ln m_\tau = -4,7387 - 0,0853 \cdot \tau$ константа скорости оказывается равной $0,0853 \text{ ч}^{-1}$. Данное значение имеет смысл кажущейся или экспериментально определенной константы скорости, полученной в частном случае, однако это не снижает его значимости для анализа дальнейших результатов. Использование рассчитанного по кинетическому уравнению значения m_τ для определения скорости коррозии K



Рис. 1. Образец пленки латекса
Fig. 1. Latex film sample

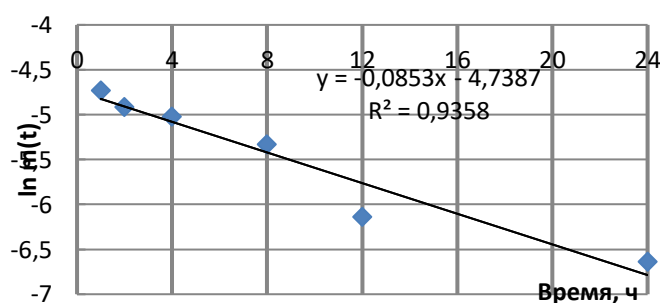


Рис. 2. Кинетическая интерпретация коррозионных испытаний
Fig. 2. Kinetic interpretation of corrosion tests

дает высокую сходимость с экспериментальными результатами, это позволяет модернизировать эксперимент и работать с другими конфигурациями образца, который, например, в электрохимических исследованиях выполняет функцию электрода [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Примененный в настоящей работе кинетический подход позволил объяснить результаты исследования коррозионного процесса на поверхности стали Ст3, защищенной ла-

тексным покрытием. По результатам экспериментальных исследований показано, что химические взаимодействия на поверхности пленок отсутствуют, процесс протекает по механизму первого порядка и лимитируется диффузионными процессами. Полученные данные важны для выбора направления дальнейших исследований, поскольку стали типа Ст3 используются очень широко, например, из них изготавливают днища морских судов.

Список источников

1. Шинкарева Е. В., Кошевар В. Д. Антикоррозионная грунтовка на основе водной эпоксидной эмульсии и углеродных наночастиц // Журнал прикладной химии. 2016. Т. 89. № 1. С. 68–76.
2. Смирнов М. А., Соколова М. П., Дмитриев И. Ю., Власова Е. Н., Розова Е. Ю., Ляшевич Г. К. Барьерные свойства и структура неорганических слоев на границе раздела полианилин-сталь // Журнал прикладной химии. 2015. Т. 88. № 7. С. 1007–1082.
3. Яковлева А. А., Анциферов Е. А., Гусева Е. А., Садловский С. В. Влияние защитного покрытия на основе органического связующего на коррозионную устойчивость стали // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 4. С. 600–611. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-600-611>.
4. Гусева Е. А., Константинова М. В. Порошковые полимерные покрытия как альтернативный способ защиты металлов от коррозии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 10. С. 71–76.
5. Петрунин М. А., Максаева Л. Б., Гладких Н. А., Юрасова Т. А., Котенев В. А., Цивадзе А. Ю. Адсорбция органосиланов на поверхности металлов и неорганических материалов. 1. Адсорбция на минеральных поверхностях // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2021. Т. 57. № 5. С. 451–468. <https://doi.org/10.31857/S004418562105020X>.
6. Яковлева А. А., Анциферов Е. А., Садловский С. В. Определение коррозионных характеристик в координатах Найквиста при защите поверхности стали латексами // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 4. С. 519–527. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-4-519-527>.
7. Немчинова Н. В., Яковлева А. А. Оптимизация кинетических исследований в металлургии // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 9. С. 119–129. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-9-119-129>.

References

1. Shinkareva E. V., Koshevar V. D. Corrosion inhibiting primer based on aqueous epoxy emulsion and carbon nanoparticles. *Zhurnal Prikladnoj Himii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2016;89(1):68-76. (In Russ.).
2. Smirnov M. A., Sokolova M. P., Dmitriev I. Yu., Vlasova E. N., Rozova E. Yu., L'yashevich G. K. Barrier properties and structure of inorganic layers at polyaniline-steel interface. *Zhurnal Prikladnoj Himii = Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015;88(7):1007-1082.
3. Yakovleva A. A., Antsiferov E. A., Guseva E. A., Sadlovsky S. V. Effect of an organic binder protective coating on the corrosion resistance of steel. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(4):600-611. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-600-611>.
4. Guseva E. A., Konstantinova M. V. Polymer powder coatings as an alternative to protect metals from corrosion. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2015;10:71-76. (In Russ.).
5. Petrunin M. A., Maksaeva L. B., Gladkih N. A., Yurasova T. A., Kotenev V. A., Civadze A. Yu. Organosilanes adsorption on the surface of metals and inorganic materials. *Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov*. 2021;57(5):451-468. <https://doi.org/10.31857/S004418562105020X>.
6. Yakovleva A. A., Antsiferov E. A., Sadlovsky S. V. Determination of corrosion characteristics of steel protected by a latex coating in Nyquist coordinates. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2021;25(4):519-527. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2021-4-519-527>.
7. Nemchinova N. V., Yakovleva A. A. Kinetic studies optimization in metallurgy. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2016;20(9):119-129. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2016-9-119-129>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Яковлева Ариадна Алексеевна,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры химии и биотехнологии
им. В. В. Тугуриной,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Садловский Сергей Владимирович,
аспирант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Вострикова Наталья Игоревна,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Халбаев Владимир Валерьевич,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 11.04.2022; одобрена после рецензирования 29.06.2022; принята к публикации 09.12.2022.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ariadna A. Yakovleva,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Chemistry
and Biotechnology named after V.V. Tugurina,
Irkutsk National Research Technical
University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Sergey V. Sadlovsky,
Postgraduate student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Natalia I. Vostrikova,
Master's Degree Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Vladimir V. Khalbaev,
Master's Degree Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia

Contribution of the authors

The authors contributed equally to the preparation of the article.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interests.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 11.04.2022; approved after reviewing 29.06.2022; accepted for publication 09.12.2022.