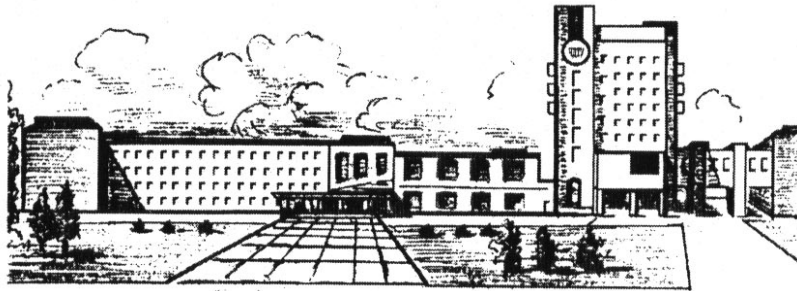


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



В І С Н И К
ЧЕРНІГІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

СЕРІЯ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ»

№ 3(51)

Чернігів 2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

УДК 62/69+004

30/35

В 53

Друкується за рішенням вченої ради університету (протокол № 5 від 30.05.2011 р.). Вісник ЧДТУ включено до нового переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою президії ВАК України від 01.07.2010 р. № 1-05/5. Бюлетень ВАК України № 7, 2010.

Головний редактор:

Казимир В.В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи

Заступник головного редактора

Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор

Члени редакційної колегії:

Болотов Г.П., доктор технічних наук, доцент;

Волков І.В., доктор технічних наук, професор;

Денисов Ю.О., доктор технічних наук, професор;

Дубенець В.Г., доктор технічних наук, професор;

Дудла І.О., доктор технічних наук, доцент;

Кальченко В.І., доктор технічних наук, професор;

Кальченко В.В., доктор технічних наук, професор;

Литвинов В.В., доктор технічних наук, професор;

Сенько В.І., доктор технічних наук, професор;

Сиза О.І., доктор технічних наук, професор;

Скоробогатова В.І., доктор технічних наук, професор;

Харченко Г.К., доктор технічних наук, професор;

Чередніченко П.І., доктор технічних наук, професор.

Рецензенти:

Виноградов Б.В., доктор технічних наук;

Гутько Ю.І., доктор технічних наук;

Квасніков В.П., доктор технічних наук;

Литвинов В.В., доктор технічних наук;

Мошель М.В., доктор технічних наук;

Нікіфорчин Г.М., доктор технічних наук;

Павленко П.М., доктор технічних наук;

Павленко І.І., доктор технічних наук;

Ступа В.І., доктор технічних наук;

Харченко Г.К., доктор технічних наук;

Хома М.С., доктор технічних наук;

Tõnu Lehtla, Dr. Sc. Techn.

В 3(51) Вісник Чернігівського Державного технологічного університету.

Збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 3(51). – 261 с.

Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 14994-3966 ПР від 27.02.2009 р.

© Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2011

РОЗДІЛ IV. МЕХАНОХІМІЯ	93
14. Чередніченко П.І., Бакалов В.Г., Бакалов О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ПЛОСКОЦІЛИННОЇ ГОЛОВКИ НА ЯКІСТЬ ПЛІВКИ	93
15. Кузязев И.М., Митрохин А.А., Рожко Н.А. ПОЛУЧЕНИЕ ХИМВОЛОКОН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ЭКСТРУДЕРАХ	100
16. Курмакова И.Н., Королев А.А., Сизая О.И. ИНГИБИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ БРОМИДА ИМИДАЗОАЗЕПИНИЯ ПРИ КИСЛОТНОМ ТРАВЛЕНИИ СТАЛИ	106
17. Внуков А.А., Чигиринец Е.Э. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОГО МЕДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПОРОШКА	112
18. Бондарь Е.С., Ткаченко С.В., Демченко А.М., Сизая О.И. КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ И ХРОМИРОВАННОЙ СТАЛИ В СРЕДЕ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ СУЛЬФАТРЕДУКЦИЕЙ	117
19. Гуменюк О.Л., Кващук Ю.В. ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ГЕРБИЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ МЕТАЛЕВИХ СПОРУД І КОМУНІКАЦІЙ	122
20. Слободян З.В., Маглатюк Л.А., Синіло В.М., Купович Р.Б. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНГІБІТОРА КОРСОЛ–2 ДЛЯ ЗАХИСТУ ЛОКАЛЬНИХ ВОДООБОРОТНИХ СИСТЕМ	128
РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА	132
21. Oleksandr Husev, Lauris Bisenieks, Dmitri Vinnikov FRONT-END ACTIVE RECTIFIER FOR GRID-CONNECTED PMSG BASED WIND TURBINES	132
22. Здановський В.Г., Шомін О.В., Денисова Н.М. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ САМОДОСТАТНОСТІ РЕГІОНІВ	139
РОЗДІЛ VI. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ	144
23. Казимир В.В., Сіра Г.А., Мушкетик І.І. РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ EMS	144
24. Павленко П.М., Задонцев Ю.В. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОФЕСІЙНИМ НАВЧАННЯМ ІТ-ФАХІВЦІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	154
25. Нестеренко С.О. АЛГОРИТМ УЩІЛЬНЕННЯ ТРИАНГУЛЯЦІЙ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ	161
26. Никитенко Е.В., Силиченко А.И. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА	167
27. Єрошенко А.М., Міхнєва Г.П. ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В ЗАДАЧАХ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ	173
28. Заровський Р.В., Бисько Р.О. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРИКОПТЕРАМИ	177

УДК 620.197.3

Е. С. Бондарь, аспирант

С. В. Ткаченко, канд. биол. наук

А. М. Демченко, д-р.фарм.наук

Черниговский национальный педагогический университет имени Т.Г. Шевченко, Украина

О. И. Сизая, д-р.техн.наук

Черниговский государственный технологический университет, Украина

КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ МЕДИ И ХРОМИРОВАННОЙ СТАЛИ В СРЕДЕ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ СУЛЬФАТРЕДУКЦИЕЙ

Исследовано коррозионное поведение меди и хромированной стали в нейтральной среде с бактериальной сульфатредукцией. Показано, что сульфатовосстанавливающие бактерии способны прикрепляться как к поверхности меди, так и хромированной стали. При этом хромированная сталь является более устойчивой в указанной среде. Регуляция бактериальной сульфатредукции с помощью производных изохинолина с биоцидным действием обеспечивает защитный эффект меди до 75%.

Постановка проблемы

В технологических процессах и системах часто используются среды с бактериальной сульфатредукцией. Они являются чрезвычайно агрессивными за счет накопления биогенного сероводорода – продукта функционирования сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ). Коррозионное разрушение, инициированное жизнедеятельностью СВБ, в большей мере изучено для сплавов железа, при этом установлено, что малоуглеродистые стали в таких средах не устойчивы [1-4]. Медь также подвержена коррозии в средах с бактериальной сульфатредукцией [1]. При этом микробиологический фактор, являющийся доминирующим при биокоррозии металлов, для меди и хромированной стали изучен недостаточно. Представляет практическую ценность оценка коррозионного поведения меди и хромированной стали в среде с бактериальной сульфатредукцией и ее регуляция с применением биоцидов, в том числе ряда производных изохинолина.

Анализ последних исследований и публикаций

Микроорганизмы играют важную роль в процессах повреждений конструкционных материалов, в том числе коррозии металлов [1-4]. Процесс биокоррозии осуществляется микробным сообществом, в состав которого входят бактерии цикла серы – сульфатовосстанавливающие, тионовые, а также железовосстанавливающие, денитрифицирующие, амонифицирующие и другие [4, 5]. При этом микробные сообщества прикрепляются к поверхности металла и образуют биопленку, что интенсифицирует биоповреждение [4–6].

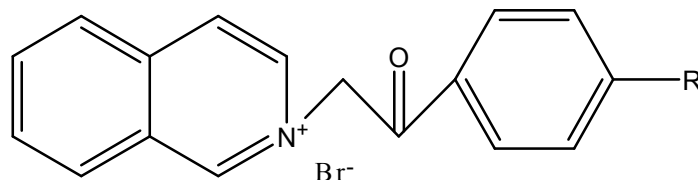
Микробную коррозию металлов ингибируют органические соединения, которые одновременно проявляют и биоцидное действие по отношению к коррозионно активным микроорганизмам, и тормозят электрохимический процесс [4, 7]. Антимикробные и противокоррозионные свойства характерны для азотсодержащих гетероциклических соединений, в том числе содержащих четвертичный азот [4, 8, 9]. При этом одним из показателей их эффективного биоцидного действия на СВБ является угнетение продуцирования бактериями биогенного сероводорода.

Формулирование целей статьи

Цель работы – оценить скорость коррозии меди и хромированной стали в нейтральной среде с бактериальной сульфатредукцией, а также влияние на нее производных изохинолина с различной биоцидной активностью.

Изложение основного материала исследований

Биоцидную активность производных изохинолина **I-III** (рис. 1) по отношению к СВБ, продуцирующих сероводород, изучали методом диффузии в агар и оценивали по диаметру зоны подавления роста микроорганизмов в питательной среде Постгейта "В" (ПСР) [10].



где **I** – R=H, **II** – R=Cl, **III** – R= C (CH₃)₃.

Рис.1 Общая формула производных изохинолина

Производные изохинолина получены с высоким выходом конденсацией изохинолина с α-бромкетонами в ацетоне, их строение доказано методами физико-химического анализа (хромато-масс спектроскопия, ПМР).

Коррозионное поведение образцов меди и хромированной стали (пластины, 4,8 см²) исследовалось в герметических сосудах, заполненных водно-солевой средой Постгейта "В" с СВБ (пятисуточная культура с начальным титром 10⁸ кл/мл). Культура СВБ выделена из ферросферы корродировавшего газопровода методом накопления на питательной среде Постгейта "В" [10]. Время испытаний – 240 часов, концентрация веществ – 3,5 ммоль/л. Методом предельных 10-кратных разведений определяли численность СВБ, которые за время эксперимента прикрепилась к металлической поверхности. Бактерии с металлической поверхности снимали с помощью ультразвука частотой 25 кГц на приборе УЗМ-003/н.

По результатам весовых измерений рассчитывали скорость коррозионного процесса в средах с бактериальной сульфатредукцией без и в присутствии производных изохинолина **I-III** ($K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$, де Δm – потеря массы образца, г; S – площадь образца, м²; τ – экспозиция, час), глубинный показатель ($\Pi = K_m \cdot 8,76 \cdot 10^{-3} / 7,86$, мм/год), коэффициент торможения коррозионного процесса ($\gamma_m = K_m / K_m'$, где K_m, K_m' – скорость коррозии без и в присутствии ингибитора).

Концентрацию накопленного сероводорода оценивали методом йодометрического титрования.

Эффективные заряды на атомах молекул соединений **I-III** рассчитывали с помощью компьютерной программы ChemOffice (Cambride Soft) по методу MNDO-PM 3.

Статистическую обработку результатов электрохимических исследований проводили для уровня вероятности 0,95, число измерений $n = 3$.

Полученные экспериментальные данные приведены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2.

Установлено, что в среде с бактериальной сульфатредукцией медь корродирует со скоростью $6,81 \cdot 10^{-6}$ мм/год (табл.1), а хромированная сталь остается устойчивой. Коррозии меди способствует повышение агрессивности среды в результате накопления сероводорода – основного продукта жизнедеятельности СВБ, концентрация которого к концу эксперимента составила 283 мг/л. При этом на поверхности и меди, и хромированной стали выявлены прикрепленные СВБ в количестве $6 \cdot 10^3$ и $6 \cdot 10^4$ кл/см² соответственно.

Введение в коррозионную среду производных изохинолина (**I – III**) влияет на скорость коррозии исследованных металлов. В случае меди вещества **I** и **II** ускоряют коррозионный процесс в 2,17 и 2,38 раза, а **III** проявляет защитный эффект – 75% (табл. 1).

Таблица 1

Показатели коррозии меди в водно-солевой среде с бактериальной сульфатредукцией в присутствии производных изохинолина

Коррозионная среда	$K_m \cdot 10^3$, г/(м ² ·час)	$P \cdot 10^6$, мм/год	γ_m
ПСП + СВБ	6,94	6,81	–
ПСП + СВБ + I	26,9	26,40	0,46
ПСП + СВБ + II	16,49	16,18	0,42
ПСП + СВБ + III	1,73	1,70	4,00

Установленное действие исследованных изохинолинов на коррозию меди объясняется их влиянием на процесс сульфатредукции планктонных СВБ, активностью и количеством прикрепленных к металлической поверхности микроорганизмов. Так, вещество **I**, являясь слабым биоцидом (рис. 2), угнетает жизнедеятельность СВБ: накопление сероводорода за счет функционирования планктонных бактерий снижается по сравнению с контролем на 19,8% (табл. 2). СВБ обнаруживаются на поверхности меди, при этом они проявляют, вероятно, большую активность, чем в среде без ингибитора, и инициируют процесс биокоррозии.

Вещество **II** не проявляет биоцидного действия на СВБ, что способствует усилению их сульфатредукции на 13,1%. На поверхности меди обнаруживается на порядок больше прикрепленных бактерий, чем в случае действия вещества **I**, что также ускоряет коррозионный процесс.

Таблица 2

Микробиологические показатели процесса коррозии меди и хромированной стали в водно-солевой среде с бактериальной сульфатредукцией в присутствии производных изохинолина

Коррозионная среда	Медь		Хромированная сталь	
	Накопление H ₂ S, мг/л	Количество СВБ, кл/см ²	Накопление H ₂ S, мг/л	Количество СВБ, кл/см ²
ПСП + СВБ	283	6·10 ³	283	6·10 ⁴
ПСП + СВБ + I	227	6·10 ¹	227	6·10 ³
ПСП + СВБ + II	320	6·10 ²	340	6·10 ²
ПСП + СВБ + III	170	не зафиксированы	255	не зафиксированы

Производное изохинолина **III** с достаточным биоцидным действием (рис. 2) угнетает жизнедеятельность планктонных СВБ, что снижает сульфатредукцию на 39,9%. Прикрепленных к поверхности меди бактерий при действии этого вещества не обнаружено, что и обеспечивает его защитное действие.

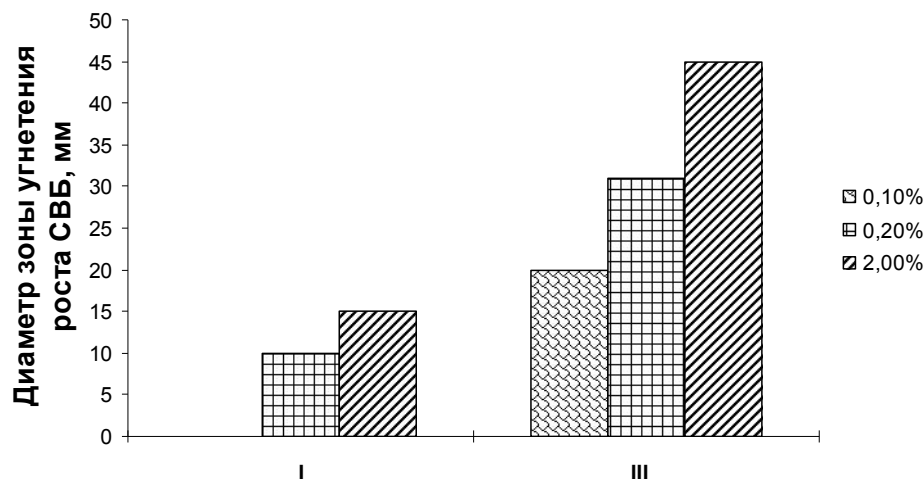


Рис. 2. Биоцидное действие производных изохинолина

Биоцидное действие исследованных производных изохинолина, которое обусловлено способностью молекулы адсорбироваться на отрицательно заряженной поверхности бактериальной клетки, согласуется с величиной зарядов (табл. 3). Производное *III* характеризуется наименьшим отрицательным зарядом на бензольном ядре, что приводит к минимальному отталкиванию при электростатическом взаимодействии поверхности клетки и положительно заряженного атома азота гетероцикла.

Таблица 3

Заряды на атоме азота и циклических заместителях производных изохинолина

Вещество	Суммарный заряд на гетероцикле	Заряд на атоме N	Суммарный заряд на бензольном ядре
<i>I</i>	1,01381	0,49196	-0,97426
<i>II</i>	0,88806	0,61251	-1,00299
<i>III</i>	0,72266	0,49620	-0,92654

Установлено, что усиление агрессивности среды за счет процесса сульфатредукции СВБ при введении в коррозионную среду добавок может понижать устойчивость и хромированной стали. Так, скорость коррозии при концентрации вещества *II* 3,5 ммоль/л составила 1,7 мг/(м²·час).

Выводы

Таким образом, к поверхности меди и хромированной стали в среде с бактериальной сульфатредукцией могут прикрепляться сульфатвосстанавливающие бактерии. Регуляторами их активности являются производные изохинолина. При этом изохинолин с хлорзамещенным арильным радикалом не обладает биоцидным действием, усиливает сульфатредукцию, скорость биокоррозии меди и хромированной стали. Изохинолин с алкильным (третбутил-) заместителем в бензольном ядре обладает биоцидным действием, угнетает процесс сульфатредукции, препятствует прикреплению бактерий на поверхность, снижает скорость биокоррозии меди, проявляя защитный эффект 75%.

Список литературных источников

1. Гарг Г.Н. Саньял Б., Пандей Г.Н. Микробиологическая коррозия металлов, вызываемая сульфатвосстанавливающими бактериями // Биоповреждения в строительстве / под ред. Ф.М. Иванова, С.Н. Горшина. – М. : Стройиздат, 1984. – С. 222–230.

2. Iverson W.P. Microbial corrosion of metals // *Adv. Appl. Microbiol.* – 1987. – Vol. 32. – P. 1–36.
3. Герасименко А.А. Биокоррозия и защита металлоконструкций. 1. Особенности процесса биокоррозии. Микробная коррозия в природных средах // *Практика противокоррозионной защиты.* – 1998. – № 4(10). – С. 14–26.
4. Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптева Ж.П. та ін. Мікробна корозія підземних споруд. К.: Наук. думка, 2005. 260 с.
5. Liu H., Huang L., Zheng J. Specification of sulfate reducing bacteria biofilms accumulation effects on corrosion initiation // *Mater. and Corros.* – 2007. – Vol. 58, № 1. – P. 44–48.
6. Lewandowski Z. Structure and function of bacterial biofilms // *Biofilms: recent advances in their study and control* / [ed. by L. V. Evans]. – Haywood : Haywood Acad. publ., 2000. – P. 2–17.
7. Погребова И.С., Козлова И.А., Пуриш Л.М. и др. Механизм ингибирования микробной коррозии стали в присутствии сульфатредуцирующих бактерий // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2001. – Т. 37, № 1. – С. 57–63.
8. Белоглазов С.М., Кондрашев Е.М., Чупахина Г.Н. Замещенные триазины как ингибиторы-биоциды при коррозии мартенситных сталей в водно-солевой среде с СРБ // *Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естеств. и техн. науки.* – 1999. – Т. 4, № 2. – С. 202–203.
9. Приходько С.В., Курмакова І.М., Демченко Н.Р., Третяк О.П. Мікробноіндукована корозія сталі в присутності похідних триазолоазепінію // *Фізико-хімічна механіка матеріалів.* – 2006. – Спец. вип. № 5 – С. 919–923.
10. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / под ред. Н.С. Егорова. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 215с.