

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА РЯДА ПРОИЗВОДНЫХ ТИАДИАЗОЛА В РАСТВОРАХ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

А.Б. Шеин, М.Д. Плотникова, А.Е. Рубцов

Анатолий Борисович Шеин *, Мария Дмитриевна Плотникова, Александр Евгеньевич Рубцов
Кафедра физической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Букирева, 15, Пермь, Российская Федерация, 614990
E-mail: ashein@psu.ru *, plotnikova-md@mail.ru, rubtsov@psu.ru

В работе приведены результаты исследования ряда производных тиадиазола в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в 5-20% растворах серной кислоты. Гравиметрические испытания и электрохимические исследования выполнены на малоуглеродистой стали Ст3 при температуре 20 °С, время экспозиции образцов составляло 24 ч. Поляризационные кривые снимали в потенциодинамическом режиме в трехэлектродной ячейке ходом из катодной области в анодную со скоростью развертки потенциала 1 мВ/с, используя электрохимический измерительный комплекс SOLARTRON 1280 С. Исследованы (Е)-N,N-диметил-4-[[5-фенил-1,3,4-тиадиазол-2-ил)имино]метил]анилин, (Е)-5-[[4-(диметиламино)бензильден]амино]-1,3,4-тиадиазол-2-тиол, (Е)-N,N-диметил-4-[[5-(фуран-2-ил)-1,3,4-тиадиазол-2-ил)имино]метил]анилин и 1,3,4-тиадиазол-2-иламид уксусной кислоты. Установлено, что исследованные соединения в концентрациях 0,1-0,2 г/л проявляют достаточно хорошее защитное действие. Наилучший результат дает (Е)-5-[[4-(диметиламино)бензильден]амино]-1,3,4-тиадиазол-2-тиол с защитным действием Z более 90%. Наименьшим защитным действием (менее 62%) обладает 1,3,4-тиадиазол-2-иламид уксусной кислоты. Введение бензольного кольца и фуранового фрагмента в молекулы исследуемых соединений приводит к уменьшению их защитного действия по сравнению с тиольной группой. Защитное действие исследованных соединений (за исключением (Е)-5-[[4-(диметиламино)бензильден]амино]-1,3,4-тиадиазол-2-тиола) заметно снижается с увеличением концентрации раствора серной кислоты с 5 до 20%. Электрохимическими исследованиями установлено, что исследованные соединения являются ингибиторами смешанного (катодно-анодного) типа, но в большей степени снижают скорость катодного процесса. Расчет защитного действия ингибиторов по изменению величин плотности тока коррозии дает результаты, качественно совпадающие с результатами гравиметрических испытаний. Результаты работы указывают на перспективность поиска потенциальных ингибиторов кислотной коррозии в ряду производных тиадиазола и разработки ингибирующих композиций на их основе.

Ключевые слова: серная кислота, малоуглеродистая сталь, ингибитор, тиадиазол

PROTECTIVE PROPERTIES OF SOME THIADIAZOLE DERIVATIVES IN SULFURIC ACID SOLUTIONS

A.B. Shein, M.D. Plotnikova, A.E. Rubtsov

Anatoliy B. Shein *, Mariya D. Plotnikova, Alexander E. Rubtsov
Department of Physical Chemistry, Perm State University. Bukireva st., 15, Perm, 614990, Russia
E-mail: ashein@psu.ru *, plotnikova-md@mail.ru, rubtsov@psu.ru

The work presents the results of the study of some thiadiazole derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 5-20% H₂SO₄. Gravimetric tests and electrochemical studies were performed on low-carbon steel St3 at ambient temperature. The exposure time of the samples was 24 h. Polarization curves were obtained by potentiodynamic method ($v = 1$ mV/s) in a three-electrode cell, using the SOLARTRON 1280 C electrochemical measuring complex. The following thiadiazole derivatives were studied: (E)-N,N-dimethyl-4-[[5-phenyl-1,3,4-thiadiazol-2-yl)imino]methyl]aniline, (E)-5-

{[4-(dimethylamino)benzylidene]amino}-1,3,4-thiadiazol-2-thiol, (E)-4-[(5-(furan-2-yl)-1,3,4-thiadiazol-2-yl)imino]methyl}-N,N-dimethylaniline, N-(1,3,4-thiadiazol-2-yl)acetamide. It was established that the studied compounds at a concentration of 0.1 – 0.2 g/l show a good protective effect. The best result is given by (E)-5-[[4-(dimethylamino)benzylidene]amino]-1,3,4-thiadiazol-2-thiol with a protective effect Z more than 90%. The introduction of the benzene ring and the furan fragment into the molecules of the compounds under study leads to a decrease in their protective action as compared with the thiol group. With the help of electrochemical studies it was shown that the compounds studied are inhibitors of a mixed (cathodic-anodic) type, but to a greater extent they reduced the rate of the cathodic process. The results of the work indicate the promise of searching for potential acid corrosion inhibitors in a series of thiadiazole derivatives and the development of inhibiting compositions based on them.

Key words: sulfuric acid solution, low-carbon steel, inhibitor, thiadiazole

Для цитирования:

Шейн А.Б., Плотникова М.Д., Рубцов А.Е. Защитные свойства ряда производных тиадиазола в растворах серной кислоты. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 7. С. 123–129

For citation:

Shein A.B., Plotnikova M.D., Rubtsov A.E. Protective properties of some thiadiazole derivatives in sulfuric acid solutions. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 7. P. 123–129

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших методов защиты металлов от коррозии является введение в агрессивную среду ингибиторов – органических и неорганических веществ, резко снижающих скорость коррозии металла. Как показывает опыт, метод ингибирования экономичен, технологичен и не требует существенных материальных затрат. Поэтому использование ингибиторной защиты нашло широкое применение во многих отраслях современного промышленного производства.

Несмотря на то, что в настоящее время ассортимент ингибиторов коррозии весьма обширен, интенсивно ведется поиск новых эффективных ингибиторов полифункционального назначения. Многочисленные исследования направлены на разработку универсальных ингибиторов, проявляющих высокую эффективность в широком диапазоне агрессивных сред в жестких условиях эксплуатации.

В данной работе приведены результаты исследования ряда производных тиадиазола в качестве ингибиторов коррозии стали в растворах серной кислоты. Ранее нами выполнено аналогичное исследование в растворах соляной кислоты [1, 2].

Следует отметить, что ранее некоторые производные тиазола и тиадиазола уже являлись предметом исследований, правда большинство исследований было выполнено в солянокислотных средах. Так в работе [3] методами весовых испытаний, поляризационных и импедансных исследований изучены защитное действие и адсорбция 2-меркаптотиазолина на малоуглеродистой стали в растворах соляной кислоты. Показано, что 2-мер-

каптотиазолин является эффективным ингибитором коррозии стали в 0,5 М HCl. В работе [4] приводятся результаты исследования ингибирующих свойств 2-амино-5-меркапто-1,3,4-тиадиазола на малоуглеродистой стали в 0,5 М HCl. Установлено, что защитное действие данного соединения при концентрации 10^{-2} М, оцененное гравиметрическим методом, после 120 ч испытаний превышает 99%, при этом сам ингибитор демонстрирует хорошую термостабильность. В работе [5] приведены результаты исследования 2-амино-5-фенил-1,3,4-тиадиазола в качестве ингибитора коррозии малоуглеродистой стали в 0,5 М H₂SO₄ и 1 М HCl. Показано, что защитное действие соединения в 0,5 М H₂SO₄ выше, чем в 1 М HCl, и оно возрастает с увеличением его концентрации в растворе. В работе [6] исследовано защитное действие бис-производных тиадиазола на малоуглеродистой стали в 1 М HCl. Показано, что при концентрации 0,04 г/л все соединения обладают защитным действием, превышающим 90%, а их адсорбция описывается изотермой Ленгмюра. Методом поляризационных кривых установлено, что исследованные соединения относятся к смешанному типу ингибиторов (тормозят оба парциальных электродных процесса). В малых концентрациях они адсорбируются физически, а при высоких концентрациях имеет место хемосорбция соединений.

В работах [7, 8] исследовано защитное действие 2,5-бис(4-пиридил)-1,3,4-тиадиазола на малоуглеродистой стали в 1 М HCl, 1 М HClO₄. Показано, что наилучшую эффективность данное соединение проявляет в 1 М HCl, а в 1 М HClO₄ при низких концентрациях данного соединения происходит стимулирование коррозионного процесса. В

работе [9] в качестве потенциальных ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в 1 М HCl исследован ряд новых 2,5-замещенных 1,3,4-тиадиазолов. Показано, что большинство из них является хорошими ингибиторами коррозии, однако при малых концентрациях 2,5-бис(4-нитрофенил)-1,3,4-тиадиазол и 2,5-бис(4-хлорфенил)-1,3,4-тиадиазол проявляют стимулирующий эффект.

Значительно меньше исследований проведено в растворах серной кислоты. Так, защитное действие 2,5-бис(2-тиенил)-1,3,4-тиадиазола и 2,5-бис(3-тиенил)-1,3,4-тиадиазола при коррозии малоуглеродистой стали в 0,5 М H₂SO₄ методами гравиметрических, поляризационных и импедансных исследований изучено в работе [10]. Показано, что данные соединения являются весьма эффективными ингибиторами коррозии, а их адсорбция зависит от положения атома серы в тиенильном заместителе. Оба соединения являются ингибиторами смешанного типа. В работе [11] представлены результаты сравнительного исследования 2,5-бис(4-диметиламинфенил)-1,3,4-оксадиазола (1) и 2,5-бис(4-диметиламинфенил)-1,3,4-тиадиазола (2) в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в 1 М HCl и 0,5 М H₂SO₄ при T = 30 °С. Показано, что соединение (2) несколько более эффективно в 0,5 М H₂SO₄, чем в 1 М HCl, а соединение (1), наоборот, более эффективно в 1 М HCl. В общем случае, соединение (2) обладает более высоким защитным действием по сравнению с (1). В 1 М HCl оба соединения являются ингибиторами смешанного типа, а в 0,5 М H₂SO₄ они являются ингибиторами катодного типа. В работе [12] изучено 6 производных тиадиазола в качестве ингибиторов коррозии углеродистой стали в 1 М H₂SO₄. Показано, что соединения относятся к смешанному типу ингибиторов с небольшим преимуществом катодной составляющей. Обнаружен синергетический эффект, проявляемый данными соединениями в смесях с KSCN, KI, KBr. В работе [13] также обнаружен синергетический эффект в композиции 2,5-бис(4-метоксифенил)-1,3,4-тиадиазола с иодидами при исследовании коррозии малоуглеродистой стали в 0,5 М H₂SO₄.

Некоторые производные тиадиазола проявляют защитное действие на стали в 20% растворах муравьиной и уксусной кислот [14], а также на меди в 3,5% растворе хлорида натрия [15].

Детальный обзор результатов исследования производных тиомочевины и тиадиазола в качестве ингибиторов коррозии сталей в различных средах представлен в работе [16].

Таким образом, анализ литературных данных указывает на перспективность поиска потенциальных ингибиторов в ряду производных тиазола и тиадиазола, а также других пятичленных гетероциклических соединений, содержащих атомы азота и серы [17-20].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводили в водных растворах 5-20% H₂SO₄. Растворы готовили из реактивов марки «х. ч.» на дистиллированной воде. Материал для испытаний на коррозию – малоуглеродистая сталь Ст3 состава, % мас.: Fe – 98,36; С – 0,2; Mn – 0,5; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,3; Ni – 0,2; Cu – 0,2. Для гравиметрических испытаний использовали стальные пластинки прямоугольной формы размером 20×25×2 мм, в которых для крепления были высверлены отверстия диаметром 0,3 см. Образцы для исследования зачищали наждачной бумагой, обезжиривали спиртом, ополаскивали дистиллированной водой, высушивали и взвешивали (m). Далее образцы погружали в соответствующие растворы на 24 ч. По окончании эксперимента образцы извлекали, промывали дистиллированной водой и удаляли продукты коррозии мягким ластиком, просушивали фильтровальной бумагой и вновь взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.

Скорость коррозии стали (K) рассчитывали по формуле: $K = \Delta m / (S \cdot \tau)$, где Δm – убыль массы образца (г), S – площадь образца (м²), τ – время экспозиции в растворе (ч).

Защитное действие ($Z_{\text{грав}}$ и $Z_{\text{эл/х}}$) определяли по формулам:

$$Z_{\text{грав}}, \% = \frac{(K_0 - K_{\text{инг}}) \cdot 100}{K_0},$$

$$Z_{\text{эл/х}}, \% = \frac{(i_0 - i_{\text{инг}}) \cdot 100}{i_0},$$

где K_0 , i_0 , $K_{\text{инг}}$, $i_{\text{инг}}$ – скорость коррозии (г/м²·ч) и ток коррозии (А/м²) соответственно в чистом растворе и с добавкой ингибиторов. Ингибиторный эффект γ рассчитывали по формуле: $\gamma = K_0 / K_{\text{инг}}$. В работе приведены усредненные данные 3-х независимых опытов для каждой концентрации кислоты и ингибиторов.

Электрохимические исследования осуществлялись на неподвижном электроде, армированном в эпоксидную смолу, площадь рабочей поверхности $S = 0,13$ см². Перед измерениями электрод зачищали на мелкозернистой шлифовальной

бумаге, промывали дистиллированной водой, бидистиллятом, обезжиривали и выдерживали в рабочем растворе 0,5-1 ч до установления постоянного значения (ΔE не более 1 мВ за последние 10 мин) потенциала коррозии $E_{кор}$. Поляризационные кривые снимали не менее 3-х раз в трехэлектродной ячейке ходом из катодной области в анодную со скоростью развертки потенциала 1 мВ/с, используя электрохимический измерительный комплекс фирмы SOLARTRON 1280С (Великобритания). Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный, вспомогательный электрод – платиновый. Потенциалы приведены относительно стандартного водородного электрода.

Ток коррозии и Тафелевы наклоны b_a и b_k определяли автоматически по соответствующим программам, в основе которых лежал метод экстраполяции катодных и анодных Тафелевых участков на потенциал коррозии $E_{кор}$. При измерениях и обработке данных электрохимических исследований использовали программы CorWare2, ZPlot2, ZView2 (Scribner Associates, Inc.).

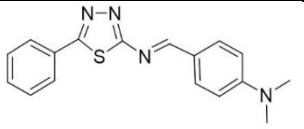
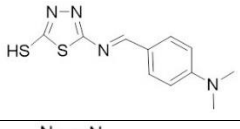
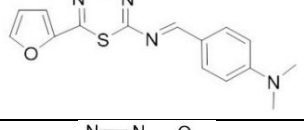
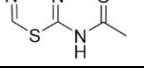
В качестве потенциальных ингибиторов исследованы соединения, представленные в табл. 1. Данные соединения хорошо растворимы в 5-20% H_2SO_4 и являются первичными ингибиторами, т.е. они устойчивы в исследуемых растворах серной кислоты.

Таблица 2
Результаты гравиметрических испытаний исследуемых соединений в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в 5-20% H_2SO_4
Table 2. The results of weight-loss measurements of the protective effect of investigated inhibitors on low-carbon steel in 5-20% H_2SO_4

Ингибитор	$C_{инг}$, г/л	5% H_2SO_4		15% H_2SO_4		20% H_2SO_4	
		K, г/м ² ·ч	Z, %	K, г/м ² ·ч	Z, %	K, г/м ² ·ч	Z, %
нет	-	11,00±0,20	-	18,26±0,30	-	22,40±0,40	-
1	0,05	3,63±0,10	66,7±1,8	11,15±0,10	39,9±1,4	10,78±0,10	50,6±2,5
	0,1	2,29±0,10	78,9±1,5	7,68±0,10	58,6±0,5	7,81±0,10	64,2±2,0
	0,2	1,59±0,10	85,4±1,3	4,68±0,10	74,8±0,5	5,16±0,10	76,4±1,4
2	0,05	1,81±0,10	83,4±1,3	5,86±0,10	68,4±0,5	3,77±0,10	82,7±1,2
	0,1	1,05±0,05	90,4±0,7	1,89±0,05	89,8±0,3	1,34±0,05	93,9±0,4
	0,2	0,68±0,05	93,7±0,7	0,98±0,05	94,7±0,3	0,67±0,05	96,9±0,4
3	0,05	4,96±0,10	54,5±2,0	11,60±0,10	37,4±0,6	13,37±0,10	38,8±3,1
	0,1	3,58±0,10	67,1±1,8	9,60±0,10	48,2±0,6	11,88±0,20	45,6±3,1
	0,2	2,54±0,10	76,7±1,5	7,33±0,10	60,5±0,5	8,27±0,10	62,1±2,1
4	0,05	5,81±0,10	46,7±2,2	14,53±0,20	21,6±1,2	15,91±0,20	27,1±4,0
	0,1	5,00±0,20	54,1±3,0	13,79±0,20	25,7±1,1	15,38±0,20	29,6±3,8
	0,2	4,13±0,10	62,1±1,9	12,31±0,20	33,6±1,1	13,22±0,20	39,5±3,0

Из представленных результатов видно, что минимальное защитное действие Z в 5-20% растворах H_2SO_4 проявляет соединение 4. При этом величина Z уменьшается практически в 2 раза с ростом концентрации сернокислого раствора с 5 до 15%,

Таблица 1
Соединения, исследованные в качестве ингибиторов коррозии в 5-20% H_2SO_4
Table 1. Compounds studied as corrosion inhibitors in 5-20% H_2SO_4

№	Соединение	Название по номенклатуре
1.		(E)-N,N-диметил-4-[[5-фенил-1,3,4-тиадиазол-2-ил)имино]метил}анилин
2.		(E)-5-[[4-(диметиламино)бензиден]амино}-1,3,4-тиадиазол-2-тиол
3.		(E)-N,N-диметил-4-[[5-(фуран-2-ил)-1,3,4-тиадиазол-2-ил)имино]метил}анилин
4.		1,3,4-тиадиазол-2-иламид уксусной кислоты

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гравиметрических испытаний исследуемых соединений в качестве ингибиторов коррозии малоуглеродистой стали в 5-20% H_2SO_4 представлены в табл. 2 (нумерация соединений в табл. 2 соответствует табл. 1).

после чего она стабилизируется. Защитное действие возрастает с увеличением концентрации ингибитора в растворе с 0,05 до 0,2 г/л. Максимальное защитное действие показывает соединение 2 (при концентрации 0,2 г/л величина Z составляет

93,7-96,9%, при этом есть тенденция к росту защитного действия с увеличением концентрации кислоты). Величины защитного действия соединений 1 и 3 заметно ниже, нежели соединения 2, и они уменьшаются с увеличением концентрации раствора с 5 до 15%. Следует заметить, что согласно ранее проведенным исследованиям [2], в растворе соляной кислоты защитное действие соединений 1-3 не превышало 89%.

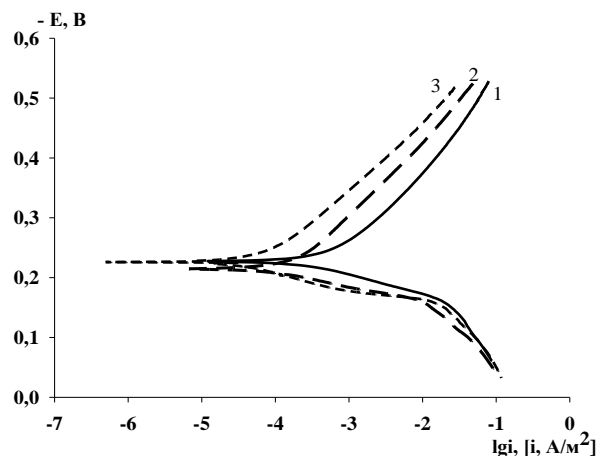
Ранее [2] было установлено, что в растворе 5% HCl при замещении тиольной группы на фуран и бензольное кольцо защитное действие исследуемых соединений незначительно уменьшается. Защитное действие фурансодержащего соединения 3 было несколько больше, чем защитное действие соединения 1, в котором фуран замещен на бензол. Возможно, замена бензольного кольца на фуран позволяла увеличить защитное действие (в фуране есть электроотрицательный атом кислорода, который обеспечивает лучшую адсорбцию).

В сернокислых растворах, как показывают наши результаты, введение бензольного кольца в молекулы исследуемых соединений приводит к некоторому уменьшению их защитного действия по сравнению с тиольной группой (соединение 2).

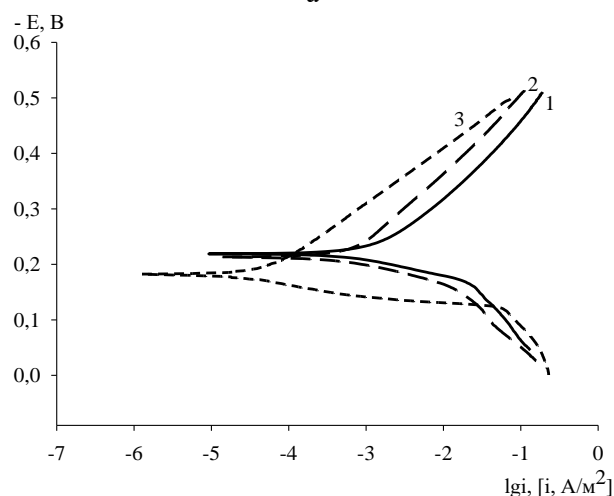
В работе [5] было определено защитное действие 2-амино-5-фенил-1,3,4-тиадиазола в 0,5 М H₂SO₄, которое при сопоставимых концентрациях оказывается ниже, чем у соединения 1. Повидимому, усложнение молекулы 2-амино-5-фенил-1,3,4-тиадиазола заменой группы -NH₂ на фрагмент с большим весом приводит к большей кроющей способности при адсорбции и, соответственно, к росту Z.

Результаты исследования кинетики парциальных электродных процессов на стали в неингибированном и ингибированном растворах серной кислоты методом поляризационных кривых приведены в табл. 3. Типичные поляризационные кривые для ряда соединений приведены на рис. 1. По поляризационным кривым определены Тафелевы наклоны катодной (b_к) и анодной (b_а) ветвей, потенциал коррозии (E_{корр}), плотность тока коррозии (i_{корр}). Путем сравнения плотности тока коррозии в растворе с ингибитором и без ингибитора было рассчитано защитное действие (Z_{эл/х}). В таблице приведены данные по соединениям 1-3, проявившим лучшую эффективность при гравиметрических испытаниях.

Из представленных в табл. 3 результатов следует, что все исследуемые соединения сдвигают



а



б

Рис. 1. Поляризационные кривые стали 3, полученные в 5% H₂SO₄ (а) и 15% H₂SO₄ (б): 1- без ингибитора; 2 – +0,2 г/л соединения 1; 3 - +0,2 г/л соединения 2

Fig. 1. Polarization curves for low-carbon steel in 5% H₂SO₄ (а) and 15% H₂SO₄ (б): 1 – no inhibitor; 2 - + 0.2 g/l of compound 1; 3 - + 0.2 g/l of compound 2

потенциал коррозии стали в область более положительных значений на ~-1-20 мВ. Анодный Тафелев наклон b_а, как правило, в ингибированных средах уменьшается (наиболее заметно в 5% H₂SO₄). Изменения катодного наклона b_к не проявляют четко выраженной тенденции. Расчет защитного действия ингибиторов Z_{эл/х} по изменению величин плотности тока коррозии i_{корр} дал результаты, качественно совпадающие с результатами гравиметрических испытаний. Анализ поляризационных кривых показал, что исследуемые соединения относятся к ингибиторам смешанного типа, поскольку снижают скорости обеих парциальных реакций коррозионного процесса – реакции выделения водорода и реакции анодного растворения металла.

Таблица 3

Коррозионно-электрохимические характеристики Ст3-электрода в 5-20% H₂SO₄ в присутствии 0,2 г/л исследуемых соединений

Table 3. Electrochemical parameters of low-carbon steel in 5-20% H₂SO₄ in the presence of 0.2 g/l of investigated compounds

Ингибитор	-E _{корр} , В	b _к , мВ	b _а , мВ	i _{корр} , А/М ²	Z, %
5% H ₂ SO ₄					
Нет	0,224±0,002	115±1	41±1	6,26±0,02	-
1	0,203±0,002	121±1	22±1	1,75±0,01	72,1±0,3
2	0,208±0,002	115±1	24±1	0,57±0,01	90,9±0,2
3	0,210±0,001	118±1	26±1	1,40±0,01	77,6±0,1
15% H ₂ SO ₄					
Нет	0,219±0,001	106±1	40±1	14,02±0,08	-
1	0,210±0,002	122±1	36±1	6,48±0,02	53,8±0,1
2	0,218±0,001	113±1	34±1	0,68±0,02	95,1±0,1
3	0,200±0,001	133±1	40±1	5,54±0,03	60,5±0,1
20% H ₂ SO ₄					
Нет	0,211±0,001	118±1	34±1	17,45±0,2	-
1	0,203±0,001	122±1	35±1	9,10±0,1	47,9±0,1
2	0,207±0,001	107±1	28±1	0,94±0,1	94,6±0,5
3	0,206±0,001	125±1	34±1	4,68±0,1	73,2±0,3

ВЫВОДЫ

Изучено коррозионно-электрохимическое поведение малоуглеродистой Ст3 в 5-20% H₂SO₄, исследовано защитное действие ряда производных тиадиазола в данных условиях. Гравиметрическим методом установлено, что исследованные соединения в концентрации 0,1-0,2 г/л обладают выраженным защитным действием. Наилучший результат дает (Е)-5-{[4-(диметиламино)бензилиден]амино}-1,3,4-тиадиазол-2-тиол с защитным действием Z более 90%.

Электрохимическими исследованиями методом поляризационных кривых установлено, что исследованные соединения являются ингибиторами смешанного (катодно-анодного) типа, но в большей степени снижают скорость катодного процесса.

Результаты работы указывают на перспективность поиска потенциальных ингибиторов кислотной коррозии в ряду производных тиадиазола и разработки ингибирующих композиций на их основе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-43-590419).

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

1. Мокрушин М.А., Шейн А.Б., Рубцов А.Е. Поиск потенциальных ингибиторов коррозии в ряду серосодержащих органических соединений. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2017. Т. 27. Вып. 3. С. 271-278. DOI: 10.17072/2223-1838-2017-3-271-278.
Mokrushin M.A., Shein A.B., Rubtsov A.E. The search of potential corrosion inhibitors in a series of sulfur-containing organic substances. *Vestn. Perm. Un-ta. Ser. Khimiya*. 2017. V. 27. N 3. P. 271-278 (in Russian). DOI: 10.17072/2223-1838-2017-3-271-278.
2. Пономарев Д.А., Плотникова М.Д., Шейн А.Б., Рубцов А.Е. Исследование защитного действия производных тиазола и тиадиазола на малоуглеродистой стали в растворе соляной кислоты. *Вестн. Перм. ун-та. Сер. Химия*. 2018. Вып. 3(31). С. 349-359. DOI: 10.17072/2223-1838-2018-3-349-359.
Ponomarev D.A., Plotnikova M.D., Shein A.B., Rubtsov A.E. Study of the protective action of thiazole and thiadiazole derivatives on low-carbon steel in hydrochloric acid solution. *Vestn. Perm. Un-ta. Ser. Khimiya*. 2018. N 3(31). P. 349-359 (in Russian). DOI: 10.17072/2223-1838-2018-3-349-359.
3. Solmaz R., Kardas G., Gulha M., Yazici B., Erbil M. Investigation of adsorption and inhibitive effect of 2-mercaptotiazoline on corrosion of mild steel in hydrochloric acid media. *Electrochim. Acta*. 2008. V. 53. P. 5941-5952. DOI: 10.1016/j.electacta.2008.03.055.
4. Solmaz R., Kardas G., Yazici B., Erbil M. Adsorption and corrosion inhibitive properties of 2-amino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole on mild steel in hydrochloric acid media. *Colloid. Surf. A: Physicochem. Eng. Asp.* 2008. V. 312. P. 7-17. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2007.06.035.
5. Tang Y., Yang X., Yang W., Chen Y., Wan R. Experimental and molecular dynamics studies on corrosion inhibition of mild steel by 2-amino-5-phenyl-1,3,4-thiadiazole. *Corrosion Sci.* 2010. V. 52. P. 242-249. DOI: 10.1016/j.corsci.2009.09.010.
6. Singh A.K., Quraishi M.A. The effect of some bis-thiadiazole derivatives on the corrosion of mild steel in hydrochloric acid. *Corrosion Sci.* 2010. V. 52. P.1373-1385. DOI: 10.1016/j.corsci.2010.01.007.
7. Lebrini M., Bentiss F., Vezin H., Lagrenee M. The inhibition of mild steel corrosion in acidic solutions by 2,5-bis(4-pyridyl)-1,3,4-thiadiazole: Structure – activity correlation. *Corrosion Sci.* 2006. V. 48. P. 1279-1291. DOI: 10.1016/j.corsci.2005.05.001.
8. Bentiss F., Mernari B., Traisnel M., Vezin H., Lagrenee M. On the relationship between corrosion inhibiting effect and molecular structure of 2,5-bis(n-pyridyl)-1,3,4-thiadiazole derivatives in acidic media: AC impedance and DFT studies. *Corrosion Sci.* 2011. V. 53. P. 487-495. DOI: 10.1016/j.corsci.2010.09.063.
9. Bentiss F., Lebrini V., Lagrenee M., Traisnel M., Elfarouk A., Vezin H. The influence of some new 2,5-disubstituted 1,3,4-thiadiazoles on the corrosion behaviour of mild steel in 1 MYCl solution: AC impedance study and theoretical approach. *Electrochim. Acta*. 2007. V. 52. P. 6865-6872. DOI: 10.1016/j.electacta.2007.04.111.

10. **Lebrini M., Lagrenee M., Traisnel M., Gengembre L., Vezin H., Bentiss F.** Enhanced corrosion resistance of mild steel in normal sulfuric acid medium by 2,5-bis(n-thienyl)-1,3,4-thiadiazoles: Electrochemical, X-ray photoelectron spectroscopy and theoretical studies. *Appl. Surf. Sci.* 2007. V. 253. P. 9267-9276. DOI: 10.1016/j.apsusc.2007.05.062.
11. **Bentiss F., Traisnel M., Vezin H., Hildebrand H.F., Lagrenee M.** 2,5-Bis (4-dimethylaminophenyl)-1,3,4-oxadiazole and 2,5-Bis (4-dimethylaminophenyl)-1,3,4-thiadiazole as corrosion inhibitors for mild steel in acidic media. *Corrosion Sci.* 2004. V. 46. P. 2781-2792. DOI: 10.1016/j.corsci.2004.04.001.
12. **Fouda A.S., Heakal F.E., Radwan M.S.** Role of some thiadiazole derivatives as inhibitors for the corrosion of C-steel in 1M H₂SO₄. *J. Appl. Electrochem.* 2009. V. 39. P. 391-402. DOI: 10.1007/s10800-008-9684-2.
13. **Bentiss F., Lebrini M., Traisnel M., Lagrenee M.** Synergistic effect of iodide ions on inhibitive performance of 2,5-bis(4-methoxyphenyl)-1,3,4-thiadiazole during corrosion of mild steel in 0.5 M sulfuric acid solution. *J. Appl. Electrochem.* 2009. V. 39. P. 1399-1407. DOI: 10.1007/s10800-009-9910-9.
14. **Rafiquee M.Z.A., Khan S., Saxena N., Quraishi M.A.** Influence of some thiadiazole derivatives on corrosion inhibition of mild steel in formic and acetic acid media. *Portugaliae Electrochim. Acta.* 2007. V. 25. P. 419-434.
15. **Yadav M., Sharma D.** Inhibition of corrosion of copper by 2,5-dimercapto-1,3,4- thiadiazole in 3,5% NaCl solution. *Indian J. Chem. Technol.* 2010. V. 17. P. 95-101.
16. **Loto R.T., Loto C.A., Popoola A.P.I.** Corrosion inhibition of thiourea and thiadiazole derivatives: A Review. *J. Mater. Environ. Sci.* 2012. N 3(5). P. 885-894.
17. **Quraishi M.A., Ali H.** A study of some new acidizing inhibitors on corrosion of N-80 alloy in 15% boiling hydrochloric acid. *Corrosion.* 2002. N 4. P. 317-321. DOI: 10.5006/1.3287679.
18. **Quraishi M.A., Jamal D., Singh R.N.** Inhibition of mild steel corrosion in the presence of fatty acid thiosemicarbazides. *Corrosion.* 2002. N 3. P. 201-207. DOI: 10.5006/1.3279870.
19. **Quraishi M.A., Sardar R.** Dithiazolidines - A new class of heterocyclic inhibitors for prevention of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution. *Corrosion.* 2002. N 2. P. 103-107. DOI: 10.5006/1.3277308.
20. **Bentiss F., Lebrini M., Vezin H., Lagrenee M.** Experimental and theoretical study of 3-pyridyl-substituted 1,2,4-thiadiazole and 1,3,4-thiadiazole as corrosion inhibitors of mild steel in acidic media. *Materials Chem. Phys.* 2004. V. 87. P. 18-23. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2004.05.040.

Поступила в редакцию 11.01.2019
Принята к опубликованию 30.05.2019

Received 11.01.2019
Accepted 30.05.2019