

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ИНГИБИТОРОВ СЕРИИ «СОЛИНГ» В КИСЛЫХ СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕДАХ

И.А. Меньшиков, А.Б. Шеин

Иван Александрович Меньшиков, Анатолий Борисович Шеин*
Кафедра физической химии, Пермский государственный национальный исследовательский университет, ул. Букирева, 15, Пермь, Российская Федерация, 614990
E-mail: ivanmenshikov574@gmail.com, ashein@psu.ru*

В работе приведены результаты исследования ряда ингибирующих композиций серии «СолИнг» на основе ацетиленовых спиртов и их смесей с азотсодержащими соединениями различного типа в солянокислой среде (0,1 М HCl), содержащей 100 ppm сероводорода. Гравиметрические испытания и электрохимические исследования выполнены на стали Ст3 при температуре 20 °С, время экспозиции образцов составляло 24 ч. Поляризационные кривые снимали в трехэлектродной ячейке ходом из катодной области в анодную со скоростью развертки потенциала 10 мВ/мин, используя электрохимический измерительный комплекс SOLARTRON 1280 С. Исследованы защитные композиции: СолИнг ИК-1 на основе ненасыщенного спирта в смеси с серосодержащим амидом в водной среде; СолИнг ИК-2 на основе ненасыщенного спирта с добавками четвертичной соли аммония и комплексона; СолИнг ИК-3 на основе ненасыщенного спирта в органическом растворителе, а также СолИнг ИК-4(А) на основе высокомолекулярного азотсодержащего ПАВ (молекулярной массы от 300 до 400) с добавками ненасыщенного спирта в системе органических растворителей и СолИнг ИК-4(Б) на основе высокомолекулярного азотсодержащего ПАВ с молекулярной массой до 300. Установлено, что применение ненасыщенных спиртов без добавок для защиты от коррозии в присутствии сероводорода возможно только при достаточно высоких концентрациях последних, при малых концентрациях коррозионный процесс заметно стимулируется (композиция ИК-3). В смеси ИК-3 с азотсодержащими соединениями (композиции ИК-1, ИК-2, ИК-4(А)) удается достичь высоких показателей защитного действия, позволяющих применять данные композиции для сероводородсодержащих сред. Наиболее эффективными являются композиции ИК-2 и ИК-4(А), для которых защитный эффект при Синг. = 0,2 г/л достигает значений 97 и 90% соответственно, а также данные композиции во всём исследуемом диапазоне концентраций устраняют проявление водородного блистеринга. В большинстве случаев исследуемые композиции характеризуются эффективным торможением парциального катодного процесса. Для СолИнг ИК-2 явно выражено торможение и парциальной анодной реакции.

Ключевые слова: солянокислый раствор, малоуглеродистая сталь, ингибитор, сероводород

PROTECTIVE PROPERTIES OF «SOLING» SERIES INHIBITORS IN ACIDIC MEDIA CONTAINING HYDROGEN SULPHIDE

I.A. Menshikov, A.B. Shein

Ivan A. Menshikov, Anatoliy B. Shein*
Department of Physical Chemistry, Perm State University, Bukireva st., 15, Perm, 614990, Russia
E-mail: ivanmenshikov574@gmail.com, ashein@psu.ru*

The work presents the results of the study of a number of inhibitory compositions of the «SolIng» series based on acetylenic alcohols and their mixtures with nitrogen-containing compounds of various types in a hydrochloric acid (0.1 M HCl) containing 100 ppm of hydrogen sulphide. Gravimetric tests and electrochemical studies were performed on mild steel St3 at ambient temperature. The exposure time of the samples was 24 h. Polarization curves were obtained in a three-electrode cell, using the SOLARTRON 1280 C electrochemical measuring complex. The following protective compositions were studied: Soling IK-1 on the basis of unsaturated alcohol in a mixture with sulfur-containing amide in an aqueous medium; Soling IK-2 on the basis of unsaturated alcohol with additions of quaternary ammonium salt and complexone; Soling IK-3 on the basis of unsaturated alcohol in the system of organic solvents, as well as Soling IK-4(A) on the basis of a high-molecular nitrogen-containing surfactant (molecular weight from 300 to 400) with additions of unsaturated alcohol in a system of organic solvents and Soling IR-4(B) based on a high-molecular nitrogen-containing surfactant with a molecular weight of up to 300. It has been obtained that the use of unsaturated alcohols without additives in the presence of hydrogen sulphide is possible only at sufficiently high concentrations. At low concentrations, the corrosion process is markedly stimulated (composition IK-3). In a mixture with nitrogen-containing compounds (compositions IK-1, IK-2, IK-4(A)) it is possible to achieve high protective effect allowing the use of these compositions for hydrogen sulfide-containing media. The most effective are the compositions IK-2 and IK-4(A), for which the protective effect reaches the values of 97 and 90%, respectively, and also these compositions in the whole range of concentrations studied eliminate the appearance of hydrogen blistering. In most cases, the studied compositions are characterized by effective inhibition of the partial cathodic process. For SolIng IK-2 inhibition of the partial anodic reaction is clearly expressed.

Key words: hydrochloric acid solution, low-carbon steel, inhibitor, hydrogen sulphide

Для цитирования:

Меньшиков И.А., Шейн А.Б. Защитные свойства ингибиторов серии «СолИнг» в кислых сероводородсодержащих средах. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. Вып. 7. С. 91–98

For citation:

Menshikov I.A., Shein A.B. Protective properties of «SolIng» series inhibitors in acidic media containing hydrogen sulphide. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2018. V. 61. N 7. P. 91–98

Одним из факторов, вызывающим интенсивную коррозию нефтегазодобывающего оборудования, является наличие в продуктовом потоке растворенного сероводорода. Присутствие H_2S в продукции добывающих скважин и месторождений вызывает серьезные проблемы при добыче, транспорте, подготовке и переработке нефти и газа, так как он является ядовитым и коррозионным газом, вступающим в химические реакции со многими веществами [1]. Борьба с сероводородом начинается еще с введения в продукцию скважины серопоглотителей, и согласно ГОСТ Р 51858–2002 «Нефть. Общие технические условия» остаточное содержание сероводорода в нефти должно находиться в пределах 20–100 ppm. Такой концентрации сероводорода, однако, достаточно для существенного усиления коррозионного процесса, что обуславливает необходимость непрерывного дозирования в продуктовый поток ингибиторов коррозии.

Классический подход при защите сталей в коррозионно-активных средах предполагает применение ингибиторов коррозии на основе имидазолинов различного строения, первичных-вторичных-третичных аминов и четвертичных аммониевых солей (ЧАС) с различной длиной и разветвленностью углеводородной цепи [2–10]. В современной литературе информация о применении ацетиленовых спиртов в качестве ингибиторов сероводородной коррозии практически отсутствует, несмотря на их высокие защитные свойства в кислых средах [11–16].

В данной работе приведены результаты исследования ряда ингибирующих композиций серии «СолИнг» на основе ацетиленовых спиртов и их смесей с азотсодержащими соединениями различного типа в солянокислой среде, содержащей 100 ppm сероводорода. Ранее [17, 18] данные композиции были изучены нами в растворах серной и соляной кислот, не содержащих сероводород.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследования проводили в водных растворах 0,1 М HCl, насыщенных сероводородом до концентрации 100 ppm. Растворы готовили из реактивов марки «х. ч.» на дистиллированной воде. Дозировка ингибиторов коррозии для гравиметрических испытаний составляла 0,01-0,025-0,05-0,1-0,2 г/л, для электрохимических исследований 0,1 г/л. Гравиметрические испытания проводились на пластинах, изготовленных из ленты стали Ст3 размером 25×20×0,5 мм, обработанных этанолом для удаления жировых и иных загрязнений. Время экспозиции образцов составляло 24 ч при температуре 20 °С. До и после испытаний образцы взвешивали на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Сероводород получали непосредственно в рабочем растворе добавкой расчетного количества Na₂S·9H₂O и 1М HCl. Содержание сероводорода в рабочем растворе контролировали йодометрическим титрованием по ОСТ 39-234-89 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Определение содержания сероводорода». Допустимым отклонением от целевой концентрации считали ±10 ppm.

Электрохимические исследования осуществлялись на неподвижном электроде, армированном в эпоксидную смолу. Электроды изготавливали из прута малоуглеродистой стали 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. Площадь рабочей поверхности составляла 0,78 см². Перед измерениями электрод зачищали на мелкозернистой шлифовальной бумаге, промывали дистиллированной водой, обезжиривали этанолом и выдерживали в рабочем растворе 1 ч до установления постоянного значения потенциала E (ΔE не более 2 мВ за последние 10 мин). Данное значение потенциала принимали за потенциал коррозии E_{корр}. Точность воспроизведения значений потенциала коррозии была не ниже ±2 мВ. Поляризационные кривые снимали не менее 3 раз на свежеприготовленном электроде, при температуре 20 °С в трехэлектродной ячейке ходом из катодной области в анодную со скоростью развертки потенциала 10 мВ/мин, используя электрохимический измерительный комплекс фирмы SOLARTRON 1280 С (Великобритания). Электрод сравнения – насыщенный хлоридсеребряный, вспомогательный электрод – платиновый. Потенциалы в статье приведены относительно стандартного водородного электрода.

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

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

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

где K₀, i₀, K_{инг}, i_{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: γ = K₀/K_{инг}. Ток коррозии и Тафелевы наклоны b_a и b_к определяли автоматическим способом по соответствующим программам, в основе которых лежал метод экстраполяции катодных и анодных Тафелевых участков на потенциал коррозии E_{корр}. При измерениях и обработке данных электрохимических исследований использовали программы CorrWare2, ZPlot2, ZView2 (Scribner Associates, Inc.).

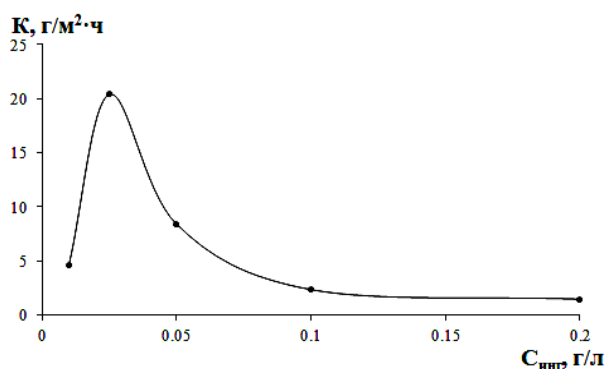
Микрофотографии поверхности металлических пластин были получены с помощью микроскопа «OLYMPUS BX 51M» с системой визуализации изображений при увеличении х(5-20).

Исследованы защитные композиции: СолИнг ИК-1 на основе базовой композиции ИК-3 в смеси с серосодержащим амидом в водной среде; СолИнг ИК-2 на основе базовой композиции ИК-3 с усиливающими добавками четвертичной соли аммония (ЧАС) и комплексона; СолИнг ИК-3 – базовый ингибитор на основе ненасыщенного спирта (ТУ 2499-043-53501222-2014), а также СолИнг ИК-4(А) на основе высокомолекулярного азотсодержащего ПАВ (молекулярной массы от 300 до 400) с усиливающей добавкой ненасыщенного спирта (ИК-3) и СолИнг ИК-4(Б) на основе высокомолекулярного азотсодержащего ПАВ с молекулярной массой до 300.

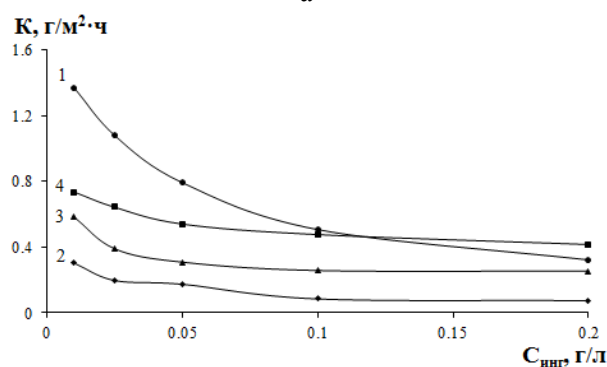
РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гравиметрических испытаний представлены в табл. 1 и на рис. 1. Скорость коррозии приведена как усредненный параметр 3-х экспериментов, отклонения от среднего значения не превышали 0,01 г/м²·ч. Полученные данные свидетельствуют о высоких защитных характеристиках исследуемых композиций. Исключение составляет базовая композиция ИК-3, для которой характерно стимулирование коррозионного процесса в диапазоне концентраций 0,01-0,05 г/л (рис. 1а), что было зафиксировано в трёх независимых параллельных экспериментах. Для остальных композиций, представляющих модификацию ИК-3 соответствующими добавками, с ростом концентрации ингибитора в растворе скорость коррозии закономерно снижается. Наиболее высокими защитными характеристиками обладает композиция ИК-2, для которой при концентрации 0,2 г/л достигается защитное действие Z_{грав} = 97%. Известно, что при малых концентрациях (10⁻⁶-10⁻⁴ моль/л) в растворе HCl,

когда степень заполнения поверхности адсорбированным водородом высока (а в случае наличия в среде H_2S наводороживание сильно возрастает и можно предполагать, что указанные концентрации могут сместиться в область более высоких значений), ацетиленовые соединения могут оказывать стимулирующее действие, что и было зафиксировано в случае СолИнг ИК-3. Для композиций СолИнг ИК-1, ИК-2, ИК-4(А), где в составе помимо ацетиленовых спиртов присутствуют азотсодержащие соединения, высокие защитные свойства могут быть обусловлены синергетическим взаимодействием компонентов состава.



а



б

Рис. 1. Зависимость скорости коррозии стали Ст3 в 0,1М НСl в присутствии 100 ppm H_2S от концентрации ингибиторов: а – ИК-3; б – ИК-1 (1), ИК-2 (2), ИК-4(А) (3), ИК-4(Б) (4)
Fig. 1. The dependence of corrosion rate of steel St3 in 0.1M HCl + 100 ppm H_2S on the inhibitor concentration: а – ИК-3; б – ИК-1 (1), ИК-2 (2), ИК-4(А) (3), ИК-4(Б) (4)

Так в работе [19] обсуждалось исследование взаимного влияния ЧАС и ацетиленовых спиртов на коррозию сталей в растворах кислот, и авторы пришли к заключению, что присутствие в растворе кислоты гидрофобизатора (ЧАС) поверхности приводит к улучшению адсорбции ацетиленового спирта, что в свою очередь существенно увеличивает защитный эффект композиции. Учитывая, что в составах ИК-1, ИК-2 и ИК-4(А) при-

сутствуют ЧАС и другие азотсодержащие соединения, можно предполагать, что усиление защитных характеристик данных композиций происходит за счет первичной адсорбции азотсодержащих соединений и вторичной адсорбции ацетиленового спирта. Для состава ИК-4(Б) защитный эффект составил 71-84%, что несколько ниже по сравнению с другими исследуемыми композициями. Однако если учесть, что ИК-4(Б) представляет собой индивидуальное соединение, то полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале исследуемого ингибитора при разработке на его основе защитной композиции для исследуемой среды.

Таблица 1

Результаты гравиметрических испытаний исследуемых композиций СолИнг в 0,1М НСl в присутствии 100 ppm H_2S

Table 1. The results of gravimetric tests of compositions under study of Soling in 0.1M HCl + 100 ppm H_2S

Ингибитор	С инг., г/л	К, г/м ² ·ч	Z, %	γ
-	-	2,53	-	-
ИК-1	0,01	1,37	45,9	1,8
	0,025	1,08	57,4	2,3
	0,05	0,79	68,7	3,2
	0,1	0,51	80,0	5,0
ИК-2	0,2	0,32	87,3	7,9
	0,01	0,30	88,0	8,3
	0,025	0,20	92,2	12,9
	0,05	0,17	93,1	14,5
ИК-3	0,1	0,09	96,6	29,7
	0,2	0,07	97,1	34,1
	0,01	4,65	-	0,5
	0,025	20,38	-	0,1
ИК-4	0,05	8,40	-	0,3
	0,1	2,36	6,9	1,1
	0,2	1,47	41,9	1,7
	0,01	0,58	76,9	4,3
ИК-4(А)	0,025	0,39	84,6	6,5
	0,05	0,31	87,8	8,2
	0,1	0,26	89,8	9,8
	0,2	0,25	90,0	10,0
ИК-4(Б)	0,01	0,74	71,0	3,4
	0,025	0,64	74,6	3,9
	0,05	0,54	78,7	4,7
	0,1	0,48	81,2	5,3
	0,2	0,42	83,6	6,1

Как было отмечено ранее, присутствие в агрессивной среде сероводорода существенно усиливает коррозию и наводороживание. В связи с этим, более эффективной ингибирующей композицией будет являться та, в присутствии которой величины катодных токов будут минимальны по

сравнению с неингибированной средой. Коррозионно-электрохимические характеристики Ст3 в исследуемом растворе представлены в табл. 2. На рис. 2 приведены поляризационные кривые в 0,1 М HCl без и с добавкой ингибиторов ИК-1 и ИК-2. Полученные данные свидетельствуют о высоких защитных характеристиках композиции ИК-2, что, в частности, характеризуется существенным увеличением значений Тафелевых наклонов b_a и b_k в ингибированном растворе по сравнению с неингибированным, что указывает на повышение перенапряжения парциальных электродных реакций, а также снижением тока коррозии с $1,72 \text{ А/м}^2$ в чистом растворе до $0,32 \text{ А/м}^2$ при добавлении композиции ИК-2. Для композиции ИК-1 также наблюдается увеличение значений b_a и b_k , но в меньшей степени (табл. 2). Рассчитанный из величин коррозионного тока защитный эффект для ИК-1 и ИК-2 составил соответственно 74 и 81%, что достаточно хорошо согласуется с данными гравиметрических испытаний.

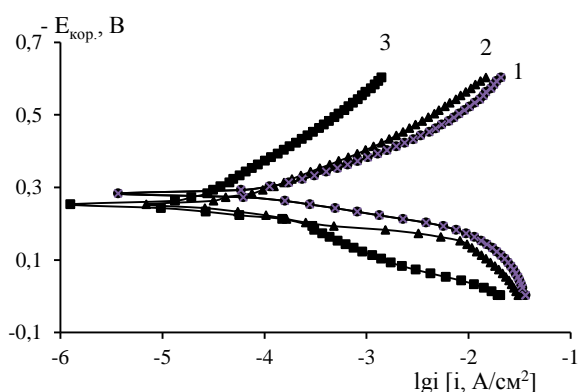


Рис. 2. Поляризационные кривые стали Ст3 в 0,1М HCl в присутствии 100 ppm H₂S (1) и 0,1 г/л защитных композиций СолИнг: 2 – ИК-1, 3 – ИК-2

Fig. 2. Polarization curves of St3 in 0.1M HCl + 100 ppm H₂S (1) and with inhibitors Soling (0.1 g/l): 2 – IK-1, 3 – IK-2

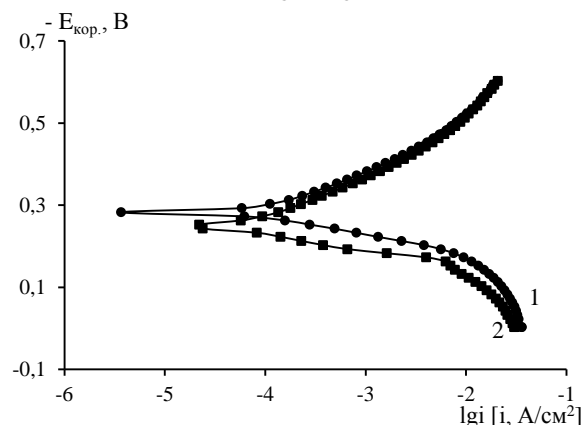


Рис. 3. Поляризационные кривые стали Ст3 в 0,1М HCl в присутствии 100 ppm H₂S (1) и 0,1 г/л СолИнг ИК-3 (2)

Fig. 3. Polarization curves of St3 in 0.1M HCl + 100 ppm H₂S (1) and with 0.1 g/l inhibitor Soling IK-3 (2)

На рис. 3 представлены поляризационные кривые в случае добавки композиции ИК-3, где наблюдается практически неизменный вид поляризационной кривой по сравнению с неингибированным раствором, а защитное действие $Z_{\text{эл/х}}$ составило 31%. Для композиций ИК-4(А) и ИК-4(Б) (рис. 4) наблюдаются близкие по форме и электрохимическим характеристикам поляризационные кривые – рассчитанные значения b_a и b_k свидетельствуют о преимущественном торможении катодной реакции указанными композициями.

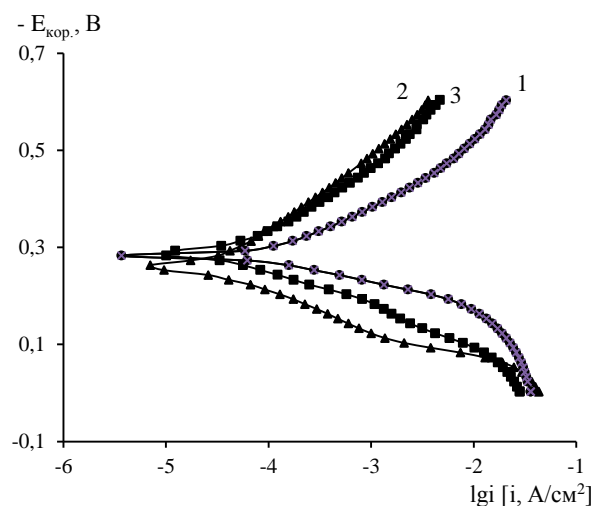


Рис. 4. Поляризационные кривые в 0,1М HCl в присутствии 100 ppm H₂S (1) и 0,1 г/л СолИнг: 2 – ИК-4(А), 3 – ИК-4(Б)
Fig. 4. Polarization curves of St3 in 0.1M HCl + 100 ppm H₂S (1) and with inhibitors Soling (0.1 g/l): 2 – IK-4(A), 3 – IK-4(B)

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики Ст3-электрода в 0,1М HCl в присутствии 100 ppm H₂S и 0,1 г/л защитных композиций СолИнг

Table 2. Corrosion- electrochemical parameters of steel St3 in 0.1M HCl + 100 ppm H₂S with inhibitors Soling

Ингибитор	$E_{\text{корр}}$, В	$i_{\text{корр}}$, А/м ²	b_a , мВ	b_k , мВ	$Z_{\text{эл/хим}}$, %
-	-0,293	1,72	44	94	-
СолИнг ИК-1	-0,259	0,44	55	112	74
СолИнг ИК-2	-0,258	0,32	118	161	81
СолИнг ИК-3	-0,261	1,18	31	112	31
СолИнг ИК-4(А)	-0,266	0,45	92	161	74
СолИнг ИК-4(Б)	-0,283	0,59	65	127	66

Как правило, в присутствии сероводорода на поверхности металла можно наблюдать такие коррозионные разрушения как язвы, питтинги, каверны, вздутия (блистеринг). При эксплуатации стальных конструкций в наводороживающих средах наблюдается ступенчатое развитие в металле водородно-индуцируемых трещин, вызываемое высоким внутренним давлением молекулярного

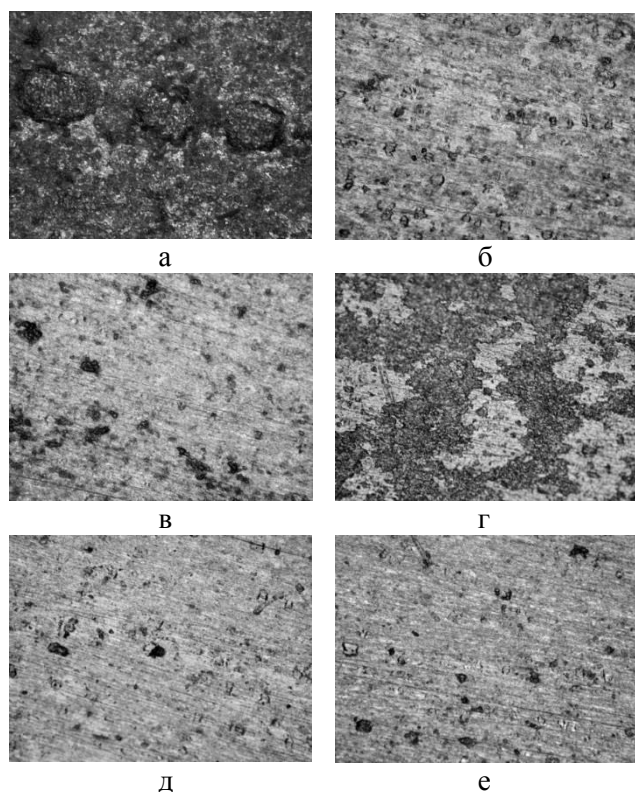


Рис. 5. Микрофотографии поверхности стали Ст3 после выдержки 24 ч в растворе 0,1М НСl, содержащем 100 ppm H₂S без ингибиторов (а) и с ингибиторами СолИнг (0,2 г/л): б- ИК-1; в – ИК-2; г – ИК-3; д – ИК-4(А); е – ИК-4(В)
 Fig. 5. The surface of St3 after 24 h exposure in 0.1M HCl + 100 ppm H₂S without inhibitor (a) and with inhibitors (0.2 g/l): б - ИК-1; в – ИК-2; г – ИК-3; д – ИК-4(А); е – ИК-4(В)

водорода, что может проявляться как в виде водородного блистеринга, когда на поверхности металла наблюдаются вздутия (blister – вздутие), так и в виде подповерхностного расслаивания и ступенчатого растрескивания наводороженного металла. В конечном счете развитие такого проявления приведет к охрупчиванию металла и разрушению детали. На рис. 5 представлены фотографии поверхности пластины Ст3 после 24 ч выдержки в 0,1М НСl в присутствии 100 ppm H₂S без и в присутствии исследуемых ингибиторов. Наряду с равномерной общей коррозией, на поверхности стали наблюдаются хорошо выраженные вздутия (рис. 5а). Введение в раствор композиции СолИнг ИК-1 несколько изменяет общий вид поверхности. С ростом концентрации ингибитора 0,01 – 0,05 – 0,2 г/л наблюдается существенное уменьшение общей коррозии, а при концентрации 0,2 г/л устраняется и блистеринг. В присутствии ингибирующей композиции СолИнг ИК-2 (рис. 5в) вздутий не наблюдается даже при минимальной концентрации в 0,01 г/л и с ростом концентрации несколько снижается количество таких коррозионных разрушений,

как язвы. Для композиции ИК-3 зависимость морфологии поверхности от концентрации несколько иная (рис. 5г) – в целом в присутствии данной композиции не наблюдается таких локализованных центров коррозионного разрушения, как блистеринг или язвы, но общая коррозия более выражена в сравнении с другими композициями. Микрофотографии поверхности пластин в присутствии композиций ИК-4(А) и ИК-4(В) представлены на рис. 5 д,е). В обоих случаях с ростом концентрации ингибиторов в растворе наблюдается снижение общей коррозии поверхности, а для ИК-4(В), в присутствии которой наблюдается блистеринг при концентрации 0,05 г/л, вышеуказанное разрушение устраняется с повышением концентрации. Полученные данные изменения морфологии поверхности металлических пластин в зависимости от присутствия в среде той или иной композиции при различных концентрациях также свидетельствуют о высоких защитных характеристиках композиций ИК-2 и ИК-4(А). Присутствие в среде композиции ИК-3 при малых концентрациях существенно стимулирует коррозионный процесс, что также подтверждает полученные данные гравиметрических испытаний и поляризационных измерений.

ВЫВОДЫ

Исследован ряд защитных композиций серии СолИнг на основе ненасыщенных спиртов (кроме ИК-4(В)) в среде 0,1М НСl в присутствии 100 ppm H₂S. По результатам гравиметрических, электрохимических и оптических исследований установлено, что применение ненасыщенных спиртов как таковых для защиты от коррозии в присутствии сероводорода возможно только при достаточно высоких концентрациях последних (ИК-3), в противном случае коррозионный процесс заметно стимулируется. В смеси ИК-3 с азотсодержащими соединениями (композиции ИК-1, ИК-2, ИК-4(А)) удается достичь высоких показателей защитного действия, позволяющих применять данные композиции для сероводородсодержащих сред. Наиболее эффективными являются композиции ИК-2 и ИК-4(А), для которых защитный эффект при $C_{инг.} = 0,2$ г/л достигает значений 97 и 90% соответственно, а также данные композиции во всем исследуемом диапазоне концентраций устраняют проявление водородного блистеринга. Перспективной в отношении защиты от сероводородной коррозии также является композиция ИК-4(В), для которой характерен высокий защитный эффект 71-83% (в зависимости от концентрации), а также подавление блистеринга при концентрации 0,05 г/л и выше.

В большинстве случаев исследуемые композиции характеризуются эффективным торможением парциального катодного процесса. Для СолиИнг ИК-2 явно выражено торможение и парциальной анодной реакции, что в сумме может обуславливать высокие защитные характеристики исследуемого состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркин А.Н., Низамов Р.Э., Суховерхов С.В. Нефтепромышленная химия: практическое руководство. Владивосток: Дальнаука. 2011. 288 с.
2. Edwards A., Osborne C., Webster S., Klenerman D., Joseph M., Ostovar P., Doyle M. Mechanistic studies of the corrosion inhibitor oleic imidazoline. *Corrosion Sci.* 1994. V. 36. N 2. P. 315-325. DOI: 10.1016/0010-938X(94)90160-0.
3. Ramachandran S., Jovancevic V., Boyce G., Zeadow C. New water soluble high shear, high temperature corrosion inhibitor. NACE Corrosion Conference and Expo. Houston, Texas: NACE. 2013. P. 2277.
4. Aiad, I.A., Hafiz, A.A., El-Awady, M.Y., Habib A.O. Some imidazoline derivatives as corrosion inhibitors. *J. Surfact. Detergent.* 2010. V. 13. N 3. P. 247-254. DOI: 10.1007/s11743-009-1168-9.
5. Cruz J., Martinez R., Genesca J., Garcia-Ochoa E. Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazoline as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media. *J. Electroanal. Chem.* 2004. V. 566. N 1. P. 111-121. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.11.018.
6. Плотникова М.Д., Шейн А.Б. Ингибирование коррозии малоуглеродистой стали в кислых и нейтральных средах. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2013. Т. 56. Вып. 3. С. 35-40.
7. Плотникова М.Д., Шейн А.Б. Защита от коррозии ингибиторами «ФЛЭК» малоуглеродистой стали в кислых средах. *Коррозия: материалы, защита.* 2013. № 6. С. 33-39.
8. Awad M.K. Semiempirical investigation of the inhibition efficiency of thiourea derivatives as corrosion inhibitors. *J. Electroanal. Chem.* 2004. V. 567. P. 219-225. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.12.028.
9. Okafor P.C., Liu X., Zheng Y.G. Corrosion inhibition of mild steel by ethylamino imidazoline derivative in CO₂-saturated solution. *Corrosion Sci.* 2009. V. 51. N 4. P. 761-768. DOI: 10.1016/j.corsci.2009.01.017.
10. Zhang G., Chen C., Lu M., Chai C., Wu Y. Evaluation of inhibition efficiency of an imidazoline derivative in CO₂-containing aqueous solution. *Material. Chem. Phys.* 2007. V. 105. N 2-3. P. 331-340. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2007.04.076.
11. Finšgar M., Jackson J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. *Corrosion Sci.* 2014. V. 86. P. 17-41. DOI: 10.1016/j.corsci.2014.04.044.
12. Фриньяни А., Монтичелли С., Зукки Ф., Трабанелли Д. Ингибирование кислотной коррозии железа ацетиленовыми спиртами: механизм защитного действия, пути повышения эффективности. *Коррозия: материалы, защита.* 2014. № 9. С. 25-34.
13. Кузнецов Ю.И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов в водных растворах. *Усп. химии.* 2004. Т. 73. № 1. С. 79-93.

Таким образом, для применения в качестве ингибиторов коррозии в кислых сероводородсодержащих средах можно рекомендовать составы СолиИнг ИК-2 и ИК-4(А). Применение же составов на основе только ненасыщенных спиртов может привести к стимуляции коррозионного процесса и разрушению технологического оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Markin A.N., Nizamov R.E., Sukhoverkhov S.V. Oil industry chemistry: a practical guide. Vladivostok: Dalnauka. 2011. 288 p. (in Russian).
2. Edwards A., Osborne C., Webster S., Klenerman D., Joseph M., Ostovar P., Doyle M. Mechanistic studies of the corrosion inhibitor oleic imidazoline. *Corrosion Sci.* 1994. V. 36. N 2. P. 315-325. DOI: 10.1016/0010-938X(94)90160-0.
3. Ramachandran S., Jovancevic V., Boyce G., Zeadow C. New water soluble high shear, high temperature corrosion inhibitor. NACE Corrosion Conference and Expo. Houston, Texas: NACE. 2013. P. 2277.
4. Aiad, I.A., Hafiz, A.A., El-Awady, M.Y., Habib A.O. Some imidazoline derivatives as corrosion inhibitors. *J. Surfact. Detergent.* 2010. V. 13. N 3. P. 247-254. DOI: 10.1007/s11743-009-1168-9.
5. Cruz J., Martinez R., Genesca J., Garcia-Ochoa E. Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazoline as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media. *J. Electroanal. Chem.* 2004. V. 566. N 1. P. 111-121. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.11.018.
6. Plotnikova M.D., Shein A.B. Corrosion protection of low-carbon steel in acidic and neutral media by inhibitors. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2013. V. 56. N 3. P. 35-40 (in Russian).
7. Plotnikova M.D., Shein A.B. Corrosion protection of low-carbon steel in acidic media by inhibitors "FLEK". *Korroziya: materialy, zaschita.* 2013. N 6. P. 33-39 (in Russian).
8. Awad M.K. Semiempirical investigation of the inhibition efficiency of thiourea derivatives as corrosion inhibitors. *J. Electroanal. Chem.* 2004. V. 567. P. 219-225. DOI: 10.1016/j.jelechem.2003.12.028.
9. Okafor P.C., Liu X., Zheng Y.G. Corrosion inhibition of mild steel by ethylamino imidazoline derivative in CO₂-saturated solution. *Corrosion Sci.* 2009. V. 51. N 4. P. 761-768. DOI: 10.1016/j.corsci.2009.01.017.
10. Zhang G., Chen C., Lu M., Chai C., Wu Y. Evaluation of inhibition efficiency of an imidazoline derivative in CO₂-containing aqueous solution. *Material. Chem. Phys.* 2007. V. 105. N 2-3. P. 331-340. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2007.04.076.
11. Finšgar M., Jackson J. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. *Corrosion Sci.* 2014. V. 86. P. 17-41. DOI: 10.1016/j.corsci.2014.04.044.
12. Frigyan A., Montichelli C., Zucchi F., Trabaneli D. Inhibition of acid corrosion of iron by acetylene alcohols: mechanism of the protective action, improving the efficiency. *Korroziya: materialy, zaschita.* 2014. N 9. P. 25-34 (in Russian).
13. Kuznetsov Yu.I. Physicochemical aspects of metal corrosion inhibition in aqueous solutions. *Russ. Chem. Rev.* 2004. V. 73. N 1. P. 75-87.

14. **Авдеев Я.Г., Кузнецов Ю.И.** Физико-химические аспекты ингибирования кислотной коррозии металлов ненасыщенными органическими соединениями. *Усп. химии*. 2012. Т. 81. № 12. С. 1133-1145.
15. **Авдеев Я.Г.** О классификации ацетиленовых ингибиторов кислотной коррозии железа. *Коррозия: материалы, защита*. 2006. № 1. С. 18-24.
16. **Подобаев Н.И., Авдеев Я.Г.** Ацетиленовые соединения как ингибиторы кислотной коррозии железа. Обзор. *Защита металлов*. 2004. Т. 40. № 1. С. 11-18.
17. **Меньшиков И.А., Шеин А.Б.** Защита от коррозии малоуглеродистой стали в кислых средах ингибиторами серии СолИнг. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2016. Т. 59. Вып. 2. С. 70-73.
18. **Меньшиков И.А., Шеин А.Б., Лукьянова Н.В.** Исследование адсорбционных свойств ингибиторов коррозии СолИнг в соляной кислоте методом спектроскопии импеданса. *Коррозия: материалы, защита*. 2017. № 7. С. 29-34.
19. **Barmatov E., Hughes T., Nagl M.** Performance of organic corrosion inhibitors on carbon steels and high alloys in 4M hydrochloric acid. NACE Corrosion Conference and Expo. Dallas, Texas: NACE. 2015. P. 5893.
14. **Avdeev Ya.G., Kuznetsov Yu.I.** Physicochemical aspects of inhibition of acid corrosion of metals by unsaturated organic compounds. *Uspekhi Khimii*. 2012. V. 81. N 12. P. 1133-1145 (in Russian).
15. **Avdeev Ya.G.** On the classification of acetylenic inhibitors of acid corrosion of iron. *Korroziya: materially, zaschita*. 2006. N 1. P. 18-24 (in Russian).
16. **Podobaev N.I., Avdeev Ya.G.** A review of acetylene compounds as inhibitors of acid corrosion of iron. *Protect. Metal. Phys. Chem. Surf*. 2004. V. 40. N 1. P. 7-13.
17. **Menshikov I.A., Shein A.B.** Corrosion protection of low-carbon steel in acidic media by inhibitors of SOLING series. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol*. 2016. V. 59. N 2. P. 70-73 (in Russian).
18. **Menshikov I.A., Shein A.B., Lukianova N.V.** Investigation of adsorption properties of corrosion inhibitors Soling in hydrochloric acid by electrochemical impedance spectroscopy method. *Korroziya: materially, zaschita*. 2017. N 7. P. 29-34 (in Russian).
19. **Barmatov E., Hughes T., Nagl M.** Performance of organic corrosion inhibitors on carbon steels and high alloys in 4M hydrochloric acid. NACE Corrosion Conference and Expo. Dallas, Texas: NACE. 2015. P. 5893.

Поступила в редакцию 15.11.2017

Принята к опубликованию 07.05.2018

Received 15.11.2017

Accepted 07.05.2018