

состав пассивационного слоя и скачок потенциала в пассивационной пленке $E_{п.л.}$

Выводы

1. Наличие двух пиков окисления стали 3 на анодных потенциодинамических кривых в карбонат-гидрокарбонатных растворах при свободном доступе кислорода связывается с процессами образования лепидокрокита $\gamma\text{-FeOOH}$, магнетита Fe_3O_4 и формированием пленки из гематита $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ соответственно при потенциалах первого ($-235 \div -340$ мВ) и второго ($-150 \div 60$ мВ) пиков.

2. Зависимость плотности тока пассивации от рН (в области рН 6–10.2) имеет экстремальный характер: при рН 9.2 наблюдается резкое увеличение плотности тока пассивации, что свидетельствует о сложности достижения эффективной защиты от коррозии лишь смещением величины рН в щелочную область. Появление пика связано с изменениями в составе оксидно-карбонатной пленки, формируемой на поверхности металла, и обусловлено изменением соотношения карбонат- и гидрокарбонат-ионов в растворе с изменением величины рН.

3. Ингибиторы коррозии могут по-разному влиять на процесс пассивации стали, ускоряя, замедляя или препятствуя ему. Широко применяемые в нефтяной промышленности соли жирных кислот и аминов могут как замедлять, так и ускорять процесс пассивации. Экстремальный характер зависимости плотности тока пассивации от рН сохраняется в присутствии азотсодержащих ингибиторов ИФХАН-29А, Нефтехим-3, СНПХ-6301, СНПХ-6011Б. Максимальное снижение тока пассивации при рН 9.2 наблюдалось в присутствии ингибиторов, состоящих из высших карбоновых кислот, эфиров моно- и дикарбоновых кислот и циклических кетонов (ИФХАН-38, КРЦ-3).

Это указывает на способность молекул ингибиторов, содержащих карбоксильную и карбонильную группы, влиять на соотношение карбонат- и бикарбонат-ионов в адсорбционном слое.

Список литературы

- [1] Лубенский С.А., Петров Н.А. // Защита от коррозии и охрана окружающей среды. Экспресс-информ. М.: ВНИИОЭНГ, 1992. № 5. С. 1–4.
- [2] Hussain K., Shaukat A., Hassan F. // Materials Performance. 1989. V. 28. № 2. P. 13–15.
- [3] Wieckowski A., Ghali E., Szklarczyk M., Sobkowski J. // Electrochim. Acta. 1983. V. 28. P. 1619–1627.
- [4] Xia Z., Chou K.-C. // Corrosion. 1989. № 8. P. 636–642.
- [5] Ингибиторы коррозии: Номенклатурный каталог / Сост. Е.С.Иванов, Т.К.Харламова, Н.И.Фатива. Черкассы: НИИТЭХИМ, ВНИИК, 1988. 48 с.
- [6] Ингибиторы коррозии металлов: Каталог. М.: ГКНТ, 1983. 223 с.
- [7] Батлер Дж. Н. Ионные равновесия. Л.: Химия, 1973. 448 с.
- [8] Гаррелс Р.М., Крайсм Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 367 с.
- [9] Сухотин А.М., Лисовая Е.В. // Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. М.: ВИНТИ, 1986. Т. 12. С. 61–127.
- [10] Vetter K.J. // J Electrochem. Soc. 1955. V. 59. N 1. P. 67–72.
- [11] Odziemkowski M., Flis J. // Ins. Soc. Electrochem. 37 Meet. August 24–31, 1986. Extend. Abstr V 1 Vilnius, 1986. P. 40.
- [12] Мусеева Л.С., Кузнецов Ю.И. // Защита металлов. 1996. № 6. С. 561–568.
- [13] Техника борьбы с коррозией / Пер. с польск. под ред. А.М.Сухотина. Л.: Химия, 1980. 224 с.
- [14] Справочник по растворимости. Т. 3. Кн. 1 / Под ред. В.В.Кафарова. Л.: Наука, 1969. 591 с.
- [15] Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. М.: Химия, 1974. 352 с.

Журнал прикладной химии 1998 № 6 С. 955–959.

УДК 620.197.3:502.7+547.14

ИНГИБИРУЮЩАЯ АКТИВНОСТЬ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДА КАПРОЛАКТАМА

© В.Г.Старчак, И.Н.Курмакова, Л.И.Бойко

Черниговский технологический институт, Украина

Поступило в Редакцию 13 августа 1996 г.; после исправления в марте 1997 г

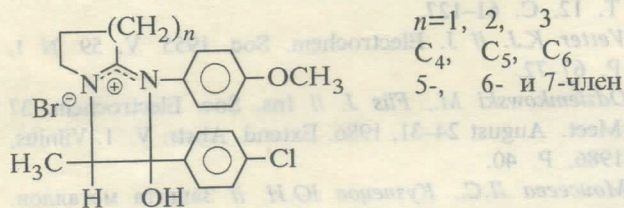
Исследовано коррозионно-электрохимическое поведение стали Ст.45 и Ст.05кп в зависимости от степени деформации в кислой среде, ингибированной синергетическими композициями на основе отхода капролактама с добавкой гетеробифенилических систем, включающих имидазольный фрагмент и азотсодержащий гетероцикл –N-ГТЦ, с числом атомов углерода $\text{C}_4\text{--C}_6$. Защитные свойства композиций интерпретированы в терминах частных эффектов ингибирования: блокировочного, активационного и энергетического – с привлечением концепций F- и I-напряжений.

Известно, что многие гетероциклические соединения, в том числе конденсированные системы, являются активными хелатообразователями (бипиридины, оксихинолины, азолы и др.) [1–5]. Однако оптимальные условия образования хелатных пленок на металле при участии гетероциклических соединений с определенной величиной цикла, конденсированного с имидазольным кольцом, еще не выяснены, особенно с учетом степени деформации стали, что очень важно для практики противокоррозионной защиты металлов, работающих в реальных эксплуатационных условиях под нагрузкой [6–10].

Целью данной работы было изучение ингибирующей активности синергетических композиций на основе отхода капролактама с добавкой гетероциклических систем (ГБЦС) – бромидов пирроло[1.2-а]имидазолия, имидазо [1.2-а]пиридиния и азепиния с одинаковыми (+R)-заместителями в бензольном кольце – в зависимости от степени деформации стали (ϵ 0, 0.4 и 0.8%).

Экспериментальная часть

Состав и строение веществ* общей формулы



получены на основе спектров ПМР (спектрофотометр Bruker WP-2000, f 200 МГц), данные элементного анализа соответствовали расчетным.

Ингибирующее действие ГБЦС и синергетических смесей с ними оценивали электрохимическим методом на отожженной стали Ст.45 и Ст.05кп в водном растворе HCl при pH 0–2 (потенциостат П-5848, П-5827М, коррозиметр Р-5035) по стандартным методикам [2, 5–15]. Поляризационные кривые ($20 \text{ мВ} \times \text{мин}^{-1}$) снимали от стационарного потенциала в стеклянной трехэлектродной электрохимической ячейке с разделенными катодным и анодным пространствами на торцевом электроде ($S=0.4 \text{ см}^2$), впрессованном во фторопластовый кожух. Потенциал рабочего электрода измеряли относительно хлорсеребряного электрода сравнения и пересчитывали на стандартный водородный электрод (с.в.э.). Вспомогательный электрод – Pt. Температура измерений 293–333 К.

Влияние степени деформации ϵ на электрохимические параметры сопряженных электродных процессов коррозии стали и противокоррозионную актив-

ность композиций изучали на пластинчатых образцах ($57 \times 12 \times 2.5 \text{ мм}$) с рабочей поверхностью S 0.9 см^2 [15–17]. Напряжения изгиба создавали с помощью трехопорного приспособления [15–17].

С использованием тафелевых участков на поляризационных кривых определяли тафелевы константы a , b , катодный i_k и анодный i_a токи при заданных значениях потенциала ($\phi_k -0.5$, $\phi_a -0.2 \text{ В}$), ϕ_k и ϕ_a при заданном значении тока ($i_k=i_a=20 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$), скорость i_c и потенциал свободной коррозии ϕ_c , а также коэффициенты торможения химической коррозии γ_x , электрохимической коррозии γ_c , ее катодной γ_k и анодной γ_a реакций и их токов обмена i_H^0 и i_M^0 . Находили также скорость химической коррозии [5, 6, 9, 12–15, 18, 19], используя результаты аналитических определений. Кроме того, рассчитывали эффекты катодно-ингибиторной β_3 и катодной защиты $\beta_{кп}$ ($\beta_3=i_c/i'$, $\beta_{кп}=i_c'/i'$, где i_c – без ингибитора при ϕ_c ; i_c' , i' – с ингибитором, i' – при $\phi_k -0.7 \text{ В}$, i_c' – при ϕ_c).

Определяли следующие вклады частных коэффициентов ингибирования [2, 6, 9, 13, 19] в результирующий коэффициент $\gamma = \gamma_c \gamma_x$: кинетические (активационные) γ_1 и γ_2 соответственно из токов обмена γ_M^0 и γ_H^0 ; γ_4 , характеризующий энергетический (двойнослойный) эффект по $\Delta\psi_1$; γ_3 , связанный с блокировочным (экранирующим) действием, рассчитывали по формуле $\gamma_3 = \gamma / (\gamma_1 \gamma_2 \gamma_4)$.

Отбрасывание маловероятных данных проводили с учетом Q -критерия. В качестве статистического критерия выбран t -критерий Стьюдента. Стандартная ошибка при числе измерения n 6, t 2.75 и доверительной вероятности 0.95 равна $\pm 5\text{--}10\%$ [20].

Полученные экспериментальные данные представлены в табл. 1, 2 и на рисунке. В ингибированной ГБЦС среде потенциал коррозии стали ($\epsilon=0$) повышается на 40–60 мВ, что указывает на преимущественное торможение анодного растворения металла вблизи ϵ_c . Электрохимические параметры сопряженных электродных процессов удовлетворительно коррелируют с коэффициентами ингибирования: константы a_k и a_a повышаются на 110–220 мВ. Исследованные ГБЦС – ингибиторы с преимущественным торможением химической коррозии (табл. 1), усиливающимся при повышении температуры (от 293 до 333 К) и величины цикла. Практически по всем показателям защиты ГБЦС можно расположить в ряд: 7-член > 6-член > 5-член (табл. 1). Из частных эффектов ингибирования преобладает блокировочный γ_3 коэффициент, характеризующий экранирующее действие ингибитора с образованием макроциклических металлохелатных пленок. Отход производства капролактама – ингибитор активационно-блокировочного типа, заметно уступающий по эффективности ГБЦС (табл. 1).

* ГБЦС синтезированы К.Г.Назаренко.

Таблица 1

Противокоррозионная активность ГБЦС и капролактама на стали Ст.45 ($\epsilon=0$) в 0.1 м. HCl
Концентрация ингибитора 0.5 ммоль·л⁻¹

Ингибитор	Коэффициенты торможения			Частные эффекты ингибирования			
	γ_c	γ_x	γ	кинетические		блокировочный γ_3	энергетический γ_4
				γ_1	γ_2		
7-Член	6.6	49.2	324.7	3.8	2.3	7.6	4.9
6-Член	5.1	38.1	194.3	3.7	2.0	5.8	4.5
5-Член	5.1	14.1	71.9	3.4	1.7	3.9	3.2
Капролактама	3.3	19.6	65.3	4.9	1.8	3.7	2.0

Таблица 2

Кратность увеличения ингибирующей способности синергетических композиций по сравнению с капролактамом (1 г·л⁻¹) в 1 м. HCl
Сталь Ст.05кп; концентрация ингибитора 1 г·л⁻¹ (капролактама+ГБЦС), ГБЦС – 8%

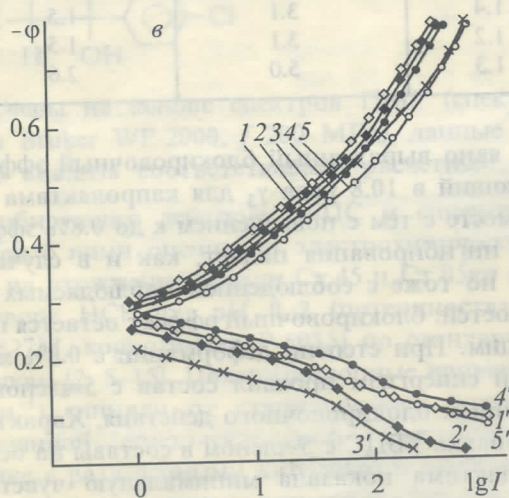
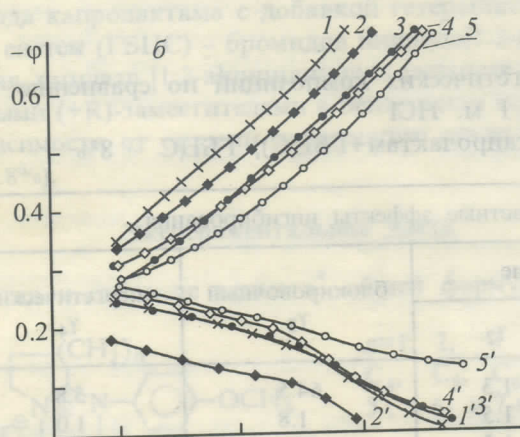
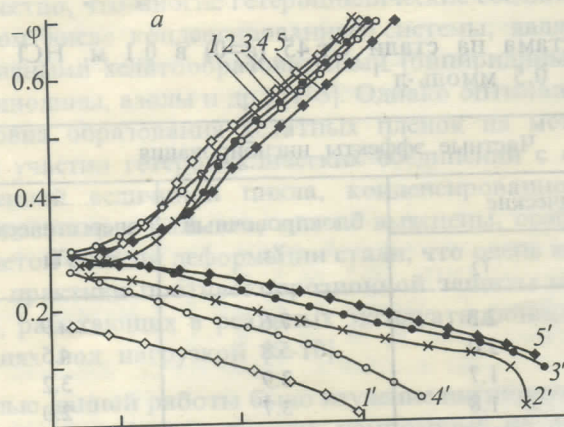
Ингибитор	$\epsilon, \%$	γ	Частные эффекты ингибирования			
			кинетические		блокировочный γ_3	энергетический γ_4
			γ_1	γ_2		
7-Член	0	2334	4.8	1.3	64.5	5.8
	0.8	3.8	1.4	1.5	1.8	1.0
6-Член	0.4	70.5	1.5	1.5	10.8	2.9
	0.8	7.2	1.5	1.4	3.1	1.5
5-Член	0.4	10.0	1.8	1.2	3.1	1.5
	0.8	60.8	3.6	1.3	5.0	2.6

Предварительные исследования показали, что оптимальной в составе композиций на основе капролактама является концентрация С ГБЦС 8%. Результаты экспериментов позволили провести выбор синергетических защитных композиций в зависимости от степени деформации стали 05кп в 1 м. HCl (см. рисунок, табл. 2).

В отсутствие деформации ($\epsilon=0$), как и следовало ожидать, синергизм действия обеспечивает ГБЦС с 7-членом, при этом максимальный частный эффект ингибирования – блокировочный в 64.5 раза превышает таковой в случае использования отхода капролактама без ГБЦС. Однако ГБЦС с 7-членом в составе композиции проявил высокую чувствительность к наличию нагрузок (напряжений в металле). При увеличении степени деформации ($\epsilon=0-0.8\%$) эффективность ингибирования падает по результирующему показателю γ она лишь в 3.8 раза превышает γ для капролактама без добавок ГБЦС. Но эта композиция также является ингибитором с преимущественным блокировочным действием. При степени деформации стали $\epsilon=0.4\%$ максимальный синергизм действия оказывает композиция с 6-членом. Она проявля-

ет также явно выраженный блокировочный эффект, превышающий в 10.8 раза γ_3 для капролактама без ГБЦС. Вместе с тем с повышением ϵ до 0.8% эффективность ингибирования падает, как и в случае с 7-членом, но тоже с соблюдением наблюдаемых закономерностей: блокировочный эффект остается преобладающим. При степени деформации $\epsilon=0.8\%$ максимальный синергизм проявил состав с 5-членом и преобладанием блокировочного действия. Характерно, что добавка ГБЦС с 5-членом в составы на основе капролактама показала минимальную чувствительность к наличию напряжений в металле. Более того, механохимический эффект [21] усиливает в этом случае эффективность ингибирования с увеличением степени деформации.

Синергизм действия при катодно-ингибиторной и катодной защите и $\epsilon=0$ проявила композиция с 7-членом, $\beta_3=279 \cdot 10^8$ и $\beta_{кп}=87.2 \cdot 10^8$, что соответственно в 24.5 и 7.7 раза выше по сравнению с неингибированной средой; при $\epsilon=0.4\%$ лучшей была композиция с 6-членом, кратность увеличения эффективности катодно-ингибиторной защиты (против капролактама) составляет 19.5, катодной защиты –



Поляризационные катодные (1–5) и анодные (1'–5') кривые стали 05кп в м. НСl, ингибированной композицией на основе капролактама с добавкой ГБЦС.

Концентрация ингибитора $1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ГБЦС – 8%.

ϕ – потенциал (В); i – плотность тока ($\text{А} \cdot \text{м}^{-2}$).

ϵ (%): а – 0, б – 0,4, в – 0,8.

- а) 1, 1' – с 7-членом; 2, 2' – с 5-членом; 3, 3' – с капролактамом (без ГБЦС); 4, 4' – без ингибитора; 5, 5' – с 6-членом.
 б) 1, 1' – с 5-членом; 2, 2' – с 6-членом; 3, 3' – с капролактамом (без ГБЦС); 4, 4' – с 7-членом; 5, 5' – без ингибитора.
 в) 1, 1' – с 7-членом; 2, 2' – с 6-членом; 3, 3' – с 5-членом; 4, 4' – с капролактамом (без ГБЦС); 5, 5' – без ингибитора.

5.5; при ϵ 0.8% наибольшую эффективность катодно-ингибиторной и катодной защиты проявила композиция с 5-членом (кратность увеличения по сравнению с капролактамом без добавок ГБЦС составляет 25 и 9.6 соответственно).

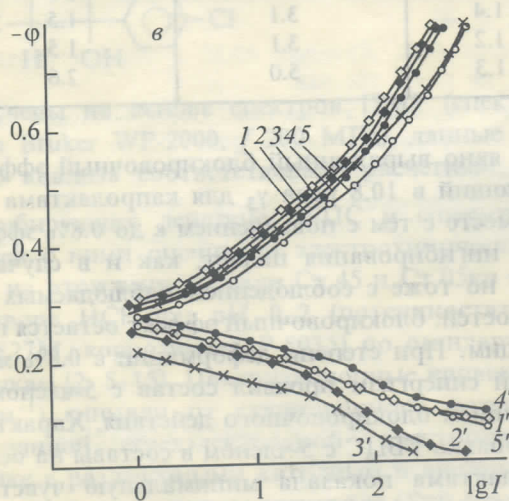
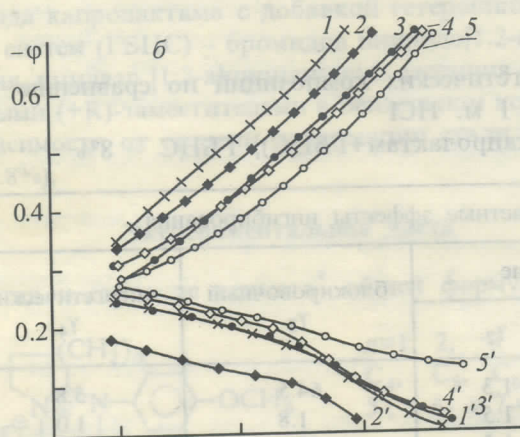
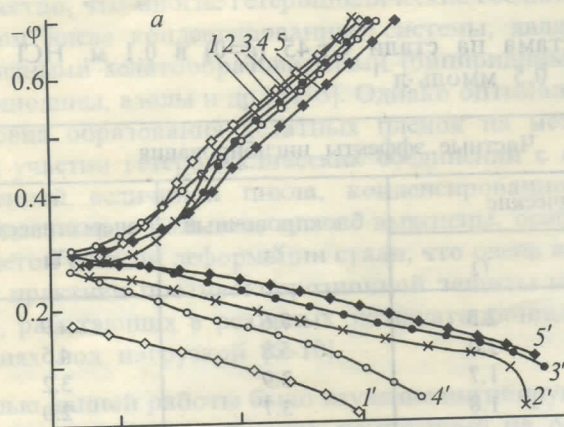
Объяснить полученные результаты байеровским (угловым) напряжением, связанным с деформацией валентных углов, и питчеровским (торсионным) напряжением, обусловленным стремлением заместителей занять наиболее энергетически выгодное взаимное расположение, т.е. по классической теории напряжений, очень трудно. Поэтому для установления корреляции свойства–величина цикла (в нашем случае скорость окислительно–восстановительных реакций кислотной коррозии–величина цикла и эффективность защиты от коррозии по частным эффектам ингибирования–величина цикла) приобретают важное значение F- и I-напряжения соответственно: увеличение стерического напряжения при пространственном взаимодействии заместителей (F) и изменение внутреннего напряжения циклической системы за счет изменения углов и конформации с изменением координационного числа атомов цикла в процессе реакции хелатообразования (I) [22, 23].

Ряды ингибиторов (ГБЦС) и композиций с их добавками по эффективности защиты от коррозии при ϵ 0 в целом соответствуют концепциям I- и F-напряжений, так как для реакций нуклеофильного замещения – хелатообразования комплексов железа модель I- и F-напряжений подходит в большей мере, чем для электрофильного замещения. В последнем случае влияние величины цикла существенно ниже за счет меньшей степени регибридизации в переходном состоянии [22].

Синергизм действия защитных композиций связан прежде всего с химической структурой основного компонента отхода – ϵ -капролактама* (составляет 25–50 мас%), содержащего амидные группы, где атомы С, N и O имеют sp^2 -гибридизацию [24, 25], поэтому при ингибировании возможно С-, N- и O-протонирование. Таким образом, N-протонирование синергетических добавок – ГБЦС дополняется С- и O-протонированием. Синергетическое действие защитных составов усиливается за счет того, что система с протонированным кислородом более стойкая благодаря резонансной стабилизации [25]. Кроме того, известную роль играют и олигомеры в составе отхода капролактама, усиливающие поверхностное комплексообразование за счет реакций нуклеофильного замещения лигандов, блокировки анодных участков с участием процессов химической и электрохимической полимеризации [26].

При наличии напряжений (ϵ 0.4 и 0.8%) происходит инверсия скоростей коррозии, которая ожидается на

* Цех регенерации ϵ -капролактама ЧПО “Химволокно”



Поляризационные катодные (1–5) и анодные (1'–5') кривые стали 05кп в 1 м. НСl, ингибированной композицией на основе капролактама с добавкой ГБЦС.

Концентрация ингибитора $1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ГБЦС – 8%.

ϕ – потенциал (В); i – плотность тока ($\text{А} \cdot \text{м}^{-2}$).

ϵ (%): а – 0, б – 0,4, в – 0,8.

- а) 1, 1' – с 7-членом; 2, 2' – с 5-членом; 3, 3' – с капролактамом (без ГБЦС); 4, 4' – без ингибитора; 5, 5' – с 6-членом.
 б) 1, 1' – с 5-членом; 2, 2' – с 6-членом; 3, 3' – с капролактамом (без ГБЦС); 4, 4' – с 7-членом; 5, 5' – без ингибитора.
 в) 1, 1' – с 7-членом; 2, 2' – с 6-членом; 3, 3' – с 5-членом; 4, 4' – с капролактамом (без ГБЦС); 5, 5' – без ингибитора.

5.5; при ϵ 0.8% наибольшую эффективность катодно-ингибиторной и катодной защиты проявила композиция с 5-членом (кратность увеличения по сравнению с капролактамом без добавок ГБЦС составляет 25 и 9.6 соответственно).

Объяснить полученные результаты байеровским (угловым) напряжением, связанным с деформацией валентных углов, и питчеровским (торсионным) напряжением, обусловленным стремлением заместителей занять наиболее энергетически выгодное взаимное расположение, т.е. по классической теории напряжений, очень трудно. Поэтому для установления корреляции свойства–величина цикла (в нашем случае скорость окислительно–восстановительных реакций кислотной коррозии–величина цикла и эффективность защиты от коррозии по частным эффектам ингибирования–величина цикла) приобретают важное значение F- и I-напряжения соответственно: увеличение стерического напряжения при пространственном взаимодействии заместителей (F) и изменение внутреннего напряжения циклической системы за счет изменения углов и конформации с изменением координационного числа атомов цикла в процессе реакции хелатообразования (I) [22, 23].

Ряды ингибиторов (ГБЦС) и композиций с их добавками по эффективности защиты от коррозии при ϵ 0 в целом соответствуют концепциям I- и F-напряжений, так как для реакций нуклеофильного замещения – хелатообразования комплексов железа модель I- и F-напряжений подходит в большей мере, чем для электрофильного замещения. В последнем случае влияние величины цикла существенно ниже за счет меньшей степени регибридизации в переходном состоянии [22].

Синергизм действия защитных композиций связан прежде всего с химической структурой основного компонента отхода – ϵ -капролактама* (составляет 25–50 мас%), содержащего амидные группы, где атомы С, N и O имеют sp^2 -гибридизацию [24, 25], поэтому при ингибировании возможно С-, N- и O-протонирование. Таким образом, N-протонирование синергетических добавок – ГБЦС дополняется С- и O-протонированием. Синергетическое действие защитных составов усиливается за счет того, что система с протонированным кислородом более стойкая благодаря резонансной стабилизации [25]. Кроме того, известную роль играют и олигомеры в составе отхода капролактама, усиливающие поверхностное комплексообразование за счет реакций нуклеофильного замещения лигандов, блокировки анодных участков с участием процессов химической и электрохимической полимеризации [26].

При наличии напряжений (ϵ 0.4 и 0.8%) происходит инверсия скоростей коррозии, которая ожидается на

* Цех регенерации ϵ -капролактама ЧПО “Химволокно”

основе модели I-напряжений для 5- и 7-, 6- и 7- и даже для 5- и 6-членных соединений, что связано с наличием объемных заместителей у реакционного центра. Это может привести к ускорению реакций для 6- и особенно 7-членных соединений [22, 23]. Положительное действие механохимического эффекта [21] для ГБЦС с 5-членом, очевидно, связано как с интенсификацией хемосорбции за счет хелатообразования, так и с повышением, констант устойчивости образванных на поверхности стали металлохелатов.

Выводы

1 Из исследованных защитных композиций на основе отхода капролактама с добавкой производных гетеробифенильных конденсированных систем с различной величиной N-гетероцикла (5-, 6- и 7-член) максимальный синергизм при $\varepsilon=0$ проявляет добавка с 7-членом – бромид имидазо[1,2-а]зепина, при $\varepsilon=0.4\%$ – с 6-членом бромид имидазо[1,2-а]пиридина, при $\varepsilon=0.8\%$ – с 5-членом – бромид пирроло[1,2-а]имидазолия.

2 Эффективность защиты растет с увеличением степени деформации стали 05кп в кислой среде, ингибированной синергетической композицией с 5-членом, что свидетельствует о преобладании хемосорбционных процессов при ингибировании и более стабильных металлохелатных пленок, надежно изолирующих металл от воздействия коррозионной среды.

3. Полученные результаты следует учитывать для научно обоснованного выбора ингибиторов коррозии под напряжением.

Список литературы

[1] Алцыбеева А.И., Левин С.З. Ингибиторы коррозии металлов. Л.: Химия, 1968. 254 с.
 [2] Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии. Л.: Химия, 1986. 144 с.
 [3] Кузнецов Ю.И., Подгорнова Л.П. // Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. М.: ВИНТИ, 1989. Т. 15. С. 132–185.
 [4] Weisstuch A., Carter D.A., Natham C.C. // Mater Prot. a. Perform. 1971 V 10. N 4. P 11–15.
 [5] Старчак В.Г., Косухина Л.Д. // Защита металлов. 1989. Т. 25. № 1. С. 143–146.

[6] Старчак В.Г., Кузина Н.А., Анищенко В.А. и др. // ЖПХ. 1995. Т. 67 № 9. С. 1524–1527
 [7] Грузнова С.В., Курмакова И.Н., Демченко А.М. и др. // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 6. С. 1020–1023.
 [8] Курмакова И.Н., Грузнова С.В., Демченко А.М. и др. // Защита металлов. 1994. Т. 30. № 5. С. 550–551
 [9] Старчак В.Г., Кузина Н.А., Багин В.К. и др. // Защита металлов. 1995. Т. 31 № 6. С. 640–642.
 [10] Экилик В.В., Сергеева Н.В. // Защита металлов. 1986. Т. 22. № 9. С. 528–534.
 [11] Розенфельд И.Л. Ингибиторы коррозии. М.: Химия, 1977 352 с.
 [12] Экилик В.В., Григорьев В.П. Природа растворителя и защитное действие ингибиторов коррозии. Ростов-на-Дону: РГУ, 1984. 192 с.
 [13] Антропов Л.И., Макушин Е.М., Панасенко В.Ф. Ингибиторы коррозии металлов. Киев: Техника, 1981 183 с.
 [14] Фокин М.Н., Жигалова К.А. Методы коррозионных испытаний металлов / Под ред. Я.М.Колотыркина. М.: Металлургия, 1986. 80 с.
 [15] Старчак В.Г. Комплексная система контроля и оценки эффективности защиты конструкционных сталей от коррозионно-механических разрушений в наводороживающих средах. Чернигов: ВСНТО, 1983. 69 с.
 [16] Бабей Ю.И., Сопрунок Н.Г. Защита стали от коррозионно-механического разрушения. Киев: Техника, 1981. 126 с.
 [17] Бабей Ю.И., Старчак В.Г., Клячко Ю.А. и др. // Защита металлов. 1976. Т. 12. № 3. С. 323–325.
 [18] Колотыркин Я.М., Флорианович Г.М. // Защита металлов. 1965. Т. 1. № 4. С. 7–12.
 [19] Старчак В.Г. // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 3. С. 509–512.
 [20] Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М.: Мир, 1976. 541 с.
 [21] Гутман Э.М. Механохимия металлов и защита от коррозии. М.: Металлургия, 1974. 230 с.
 [22] Граник В.Г. // Успехи химии. 1982. Т. 21 № 2. С. 207–238.
 [23] Пожарский А.Ф. // ХГС. 1989. № 1 С. 3–23.
 [24] Химический энциклопедический словарь / Под ред. И.Л.Кнунянца. М.: Сов. энциклопедия, 1983. С. 32.
 [25] Физер Л., Физер М. Органическая химия. М.: Химия, 1969. С. 626.
 [26] Manuel M. Baizer. Organic electrochemistry. New York: M. Dekker Inc., 1973. 731 p.