

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i5.02>

Aminocarboxylate corrosion inhibitors of carbon steel in tap water

E. Amangeldieva, I. Khamidolla, S. Sagindikova, N. Akatyev*

M. Utemisov West Kazakhstan University, Uralsk, Kazakhstan

*Corresponding author: niko_aikidzin@mail.ru

Abstract. The article presents the investigation results of the anti-corrosion activity of two-component aminocarboxylate systems based on organic acids and amines in tap water relative to steel ST3SP2-GP2. 126 systems obtained from 9 organic acids and 14 amines at concentration of $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol}^{-1}$ were tested. Investigation was performed with steel specimen weight loss assay. It has been found that such systems have a wide range of protective effectiveness. A number of dependencies of the protective effect on the type of compounds used to obtain anticorrosive compositions have been revealed. Both aromatic and aliphatic acids and amines were tested in this work. Among them, mono-, di-, and tribasic acids, as well as amines with one and two amino groups, including N, N-substituted ones, have been also studied. The concentration dependence of the rate of inhibitors has been studied. Corrosion protection using inhibitors is one of the most promising methods that have found application in world practice. Corrosion resistance caused by inhibitors is the result of physical and chemical adsorption of ions and molecules of organic substances on the surface of metals. Various types of organic compounds are widely used as corrosion inhibitors to protect materials. The most effective inhibitors used in industry are organic compounds, which mainly contain oxygen, sulfur and nitrogen atoms and have numerous bonds in their molecules, due to which they are adsorbed on the surface of metals.

Keywords: aminocarboxylates, inhibition, corrosion, metal protection, inhibitory effect, corrosion rate, dicomponent corrosion inhibitors.

1. Введение

Аминокарбоксилаты широко применяются в различных отраслях промышленности. Многие из них обладают повышенной стабильностью при хранении, необходимыми технологическими свойствами и входят в состав косметических и моющих средств. Аминокарбоксилаты демонстрируют хорошую биоразлагаемость и, таким образом, не являются опасными для окружающей среды. В условиях стремительно растущей тенденции к расширению сфер применения «зелёных» технологий, последний факт наиболее способствует интенсивному поиску новых путей использования таких систем.

Аминокарбоксилаты являются чрезвычайно важной группой комплексобразователей. С иммобилизованными ионами металлов (так называемые металл-хелатные сорбенты) они широко используются в протеомике, и в последнее время также нашли своё применение для пробоподготовки при исследованиях наркотических веществ и антибиотиков [1]. Аминокарбоксилатные комплексы металлов близки по силе устойчивости к фосфонатам, что позволяет применять их в качестве диспергаторов металлосодержащих пигментов и наполнителей в водно-дисперсионных системах с целью повышения их устойчивости [2].

Хорошо известно, что в присутствии некоторых солей слабых карбоновых кислот в нейтральных водных растворах коррозия железа и углеродистых сталей может подавляться, то есть происходит ингибирование [3,4]. Аминокарбоксилатные системы очень удобны для использования с целью антикоррозионной защиты матери-

алов, так как образуются *in situ* в результате реакции амина и карбоновой кислоты, что позволяет вводить отдельные компоненты (амины и кислоты) в состав лакокрасочных и смазочных материалов без предварительного синтеза и очистки антикоррозионных композиций [5]. Аналогичным образом такие составы можно использовать при производстве упаковочного материала для транспортировки металлических изделий [6].

Органические вещества, содержащие карбоксильные группы (-COOH), являются донорами протонов и считаются кислотами Брёнстеда-Лоури. За последние десятилетия широко изучалось влияние электронодонорных и электроноакцепторных заместителей в структуре кислот на их эффективность в защите металлов от коррозии. Так же изучалась антикоррозионная эффективность поликарбоксилатов в зависимости от длины углеродной цепи и присутствия в структуре различных функциональных групп [7].

Аминокарбоксилаты так же широко применяются в качестве летучих (газофазных) ингибиторов коррозии. Механизм предотвращения коррозии металлов составами на основе аминокарбоксилатов, заключается в их действии в газовой, жидкой и на границе раздела фаз. Это позволяет подобным системам предотвращать развитие коррозии в труднодоступных местах, в которые другие ингибиторы коррозии не проникают. Добавки летучих ингибиторов на основе аминокарбоксилатов экологически безопасны и не оказывают негативного влияния на воду, поэтому они находят применение для защиты материалов в пресной и соленой воде.

Главное отличие таких ингибиторов заключается в наличии в их составе компонентов с относительно высоким давлением паров, что позволяет предотвратить коррозию без непосредственного нанесения антикоррозионного состава на поверхность металла [8-10]. Теоретические и практические аспекты применения летучих ингибиторов для антикоррозионной защиты подробно рассмотрены в обзоре Вальдеса (Valdez) [11].

Аминокарбоксилаты так же являются основными компонентами так называемых мигрирующих ингибиторов, разработанных для защиты внутренней стальной арматуры в бетонных конструкциях. Мигрирующие ингибиторы коррозии способны проникать в бетон, чтобы защитить сталь арматуры от воздействия агрессивной среды, содержащей хлориды. Ингибитор мигрирует через капиллярную структуру бетона достигая поверхности арматуры примерно за 120 дней, формируя на её поверхности защитный слой [12,13].

Такие системы могут применяться не только для антикоррозионной защиты железа и его сплавов, но и для предотвращения коррозионного разрушения других металлов и сплавов на их основе [14]. Алкилкарбоксилаты с длинной цепью, такие как стеарат, пальмитат и миристит, исследовали Диноди и Шетти (Dinodi, Shetty) на предмет их эффективности в ингибировании коррозии магниевого сплава ZE41 в водно-солевой среде. Было высказано предположение, что ингибирование является следствием образования компактной модифицированной поверхностной пленки за счет осаждения адсорбированных алкилкарбоксилатов магния [15].

Лиу (Liu) с сотрудниками исследовали эффективность и механизм действия аминокарбоксилатного ингибитора коррозии на основе бензойной кислоты и диметилэтаноламина на стальной поверхности. Такая аминокарбоксилатная композиция повышает пороговый уровень устойчивости стали к хлоридам даже при 120-дневной экспозиции. Механизм ингибирования при этом заключается в быстром адсорбционном и буферном действии в начальный момент времени с последующим формированием защитного слоя на поверхности стали после длительного пребывания в хлоридсодержащей среде [16].

Бурловым (Burlov) с сотрудниками изучены некоторые молекулярные аспекты защитного действия углеводородо-растворимых солей аминов с карбоновыми кислотами в водно-органических средах. Проанализированы гипотетические схемы адсорбции и вероятная ингибиторная эффективность продуктов с учетом данных об электронных зарядах и гидрофобности молекул [17].

Као (Cao) с сотрудниками исследовали ингибирующую способность карбоксилат-функционализированных ионных жидкостей на углеродистой стали в 0.5 М растворе HCl. Результаты показали, что такие ионные жидкости могут действовать как эффективные ингибиторы путем адсорбции на стальной поверхности [18].

В обзоре Кузнецова (Kuznetsov) представлен подробный анализ работ, посвященных пассивации различных металлов и влиянию на них органических карбоновых кислот и их солей. Широко освещены результаты коррозионных и электрохимических исследований, а также изучения состава и особенностей строения поверхностных слоев на металлах, защищаемых различными аминокарбоксилатными системами [19].

Таким образом, исследование аминокарбоксилатных композиций, в том числе и изучение их антикоррозионных свойств, является актуальным и имеет большие перспективы практического применения.

2. Методы и материалы

Кислоты и амины, использованные в настоящей работе для приготовления антикоррозионных композиций представлены на рисунке 1. Все использованные в работе реактивы имели квалификацию не ниже химически чистого и использовались без предварительной очистки.

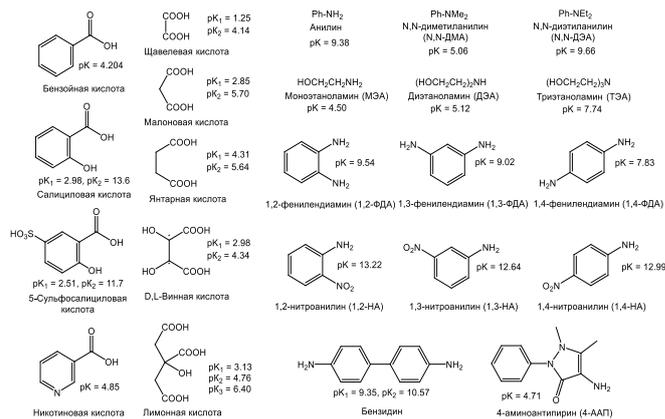


Рисунок 1. Кислоты и амины, используемые в настоящей работе для приготовления аминокарбоксилатных ингибирующих композиций

Стальные пластинки. Испытания проводили на пластинках из стали марки СТЗСП2-ГП2 (ГОСТ 535-2005). Химический состав (масс.%): С – 0.22, Mn – 0.65, Si – 0.3, P – 0.04, S – 0.05, Cr – 0.3, Ni – 0.3, Cu – 0.3, N – 0.01, As – 0.08, остальное – Fe.

Коррозионная среда. В качестве коррозионной среды использовалась водопроводная вода со следующими показателями (по ГОСТ 2874-82) [20]:

- рН – 7.38 ± 0.36 ,
- электрическая проводимость – 1058 ± 72 мкСм (572 ± 24 мг·дм⁻³ NaCl),
- содержание сухого остатка – 516 ± 36 мг·дм⁻³,
- жесткость общая – 6.35 ± 0.22 ммоль·дм⁻³,
- хлориды – 236 ± 28 мг·дм⁻³,
- железо – 0.16 ± 0.07 мг·дм⁻³.

Приготовление ингибирующих композиций. Аминокарбоксилатные композиции получали растворением стехиометрических количеств реагентов непосредственно в коррозионной среде. Количества веществ рассчитывали для получения аминокарбоксилатов в концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹.

Проведение коррозионных испытаний. Стальные пластинки размером 20x30x4 мм последовательно обрабатывались наждачной бумагой (120-1200 меш) до блеска. Затем промывались бидистиллированной водой, спиртом, ацетоном и высушивались на воздухе. Пластинки измеряли с помощью штангенциркуля I типа (ШЦ-1-150-0.1, класс точности 2, ± 0.1 мм), взвешивались на аналитических весах OHAUS Adventurer Pro AV264C (± 0.1 мг) и помещались в коррозионную среду при доступе воздуха при комнатной температуре. Объем коррозионной среды составлял 15 см³ на 1 см² площади пластинки. Через 10 суток пластинки вынимали, очищали от

легко отделяемых продуктов коррозии и помощью щетки с полимерной щетиной средней жесткости под струей водопроводной воды. Трудноотделяемые продукты коррозии удалялись выдерживанием пластинки при комнатной температуре в течение 10 минут в растворе соляной кислоты 1:1 содержащей уротропин 3.5 г/л [21]. Затем пластинки промывались водой, спиртом, ацетоном, высушивались на воздухе и взвешивались на аналитических весах с точностью до ± 0.1 мг. Среднюю скорость коррозии v_{cp} ($\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) определяли по потере массы стальных пластинок за время экспозиции и рассчитывали по формуле:

$$v_{cp} = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}$$

где m_1 - масса стальной пластинки до опыта, г;
 m_2 - масса стальной пластинки после опыта, г;
 S - площадь поверхности образца, м^2 ;
 τ - время экспозиции, сут.

Защитное действие ингибитора (Z%) рассчитывали по нижеследующему уравнению и выражали в процентах:

$$Z = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \cdot 100\%$$

где C_0 скорость коррозии металла в отсутствие ингибитора, $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$;

Таблица 1. Антикоррозионная эффективность аминокарбоксилатных композиций ($1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹) по отношению к стали СТЗСП2-ГП2 в водопроводной воде

Кислота	Амин	Средняя скорость коррозии, $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$	Глубинный показатель, $\mu\text{м}\cdot\text{год}^{-1}$	Защитный эффект, %
Бензойная	Анилин	2.45	113.6	Отриц.
	N,N-ДМА	2.14	99.3	10.8
	N,N-ДЭА	2.06	95.5	14.2
	1.2-ФДА	2.05	95.1	14.6
	1.3-ФДА	1.22	56.6	49.2
	1.4-ФДА	0.94	43.6	60.8
	МЭА	1.39	64.5	42.1
	ДЭА	1.22	56.6	49.2
	ТЭА	1.09	50.6	54.6
	Бензидин	0.87	40.3	63.8
	4-ААП	0.52	24.1	78.3
	1.2-НА	0.75	34.8	68.8
	1.3-НА	0.79	36.6	67.1
1.4-НА	0.81	37.6	66.3	
Салициловая	Анилин	2.94	136.4	Отриц.
	N,N-ДМА	2.51	116.4	Отриц.
	N,N-ДЭА	2.41	111.8	Отриц.
	1.2-ФДА	2.02	93.7	15.8
	1.3-ФДА	1.15	53.3	52.1
	1.4-ФДА	0.65	30.1	72.9
	МЭА	1.21	56.1	49.6
	ДЭА	1.66	77.0	30.8
	ТЭА	3.04	141.0	Отриц.
	Бензидин	1.76	81.6	26.7
	4-ААП	0.43	19.9	82.1
	1.2-НА	0.73	33.9	69.6
	1.3-НА	0.81	37.6	66.3
1.4-НА	0.82	38.0	65.8	

C_i - скорость коррозии металла при наличии ингибитора, $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$;

Глубинный показатель коррозии ($\mu\text{м}\cdot\text{год}^{-1}$) вычисляли по формуле:

$$K_n = \frac{v_{cp}}{\rho} \cdot 8.76 \cdot 1000$$

где v_{cp} - средняя скорость коррозии, $\text{г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{час}^{-1}$;
 ρ - плотность металла, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$ ($\rho(\text{Fe}) = 7,87 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$),
 1000 - коэффициент пересчета мм в $\mu\text{м}$.

3. Результаты и обсуждение

Результаты проведенного исследования представлены в Таблице 1. Скорость коррозии стали в чистой коррозионной среде без добавок ингибитора составила $2.40 \text{ г}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$, что эквивалентно глубинному показателю $111.3 \mu\text{м}\cdot\text{год}^{-1}$. Отрицательный результат показали 52 системы (41.2%). Значение защитного эффекта варьируется в широких пределах от 1.7 до 82.1%. В независимости от природы кислот в составе антикоррозионных композиций, наблюдается снижение скорости коррозии и, соответствующее увеличение защитного эффекта, в ряду 1.4 - фенилендиамин < 1.3 - фенилендиамин < 1.2 - фенилендиамин.

Сульфосалициловая	Анилин	4.24	196.6	Отриц.
	N,N-ДМА	4.34	201.3	Отриц.
	N,N-ДЭА	4.65	215.7	Отриц.
	1.2-ФДА	2.33	108.1	2.9
	1.3-ФДА	1.63	75.6	32.1
	1.4-ФДА	0.75	34.8	68.8
	МЭА	1.47	68.2	38.8
	ДЭА	1.61	74.7	32.9
	ТЭА	1.73	80.2	27.9
	Бензидин	1.69	78.4	29.6
	4-ААП	1.68	77.9	30.0
	1.2-НА	0.69	32.0	71.3
	1.3-НА	0.76	35.2	68.3
	1.4-НА	0.82	38.0	65.8
Никотиновая	Анилин	4.96	230.2	Отриц.
	N,N-ДМА	2.98	138.3	Отриц.
	N,N-ДЭА	2.54	117.8	Отриц.
	1.2-ФДА	4.87	225.7	Отриц.
	1.3-ФДА	5.55	257.4	Отриц.
	1.4-ФДА	6.23	289.0	Отриц.
	МЭА	3.56	165.0	Отриц.
	ДЭА	3.21	148.9	Отриц.
	ТЭА	2.82	130.7	Отриц.
	Бензидин	7.61	353.1	Отриц.
	4-ААП	5.99	277.8	Отриц.
	1.2-НА	1.81	83.9	24.6
	1.3-НА	1.86	86.3	22.5
	1.4-НА	1.92	89.0	20.0
Щавелевая	Анилин	2.56	118.7	Отриц.
	N,N-ДМА	10.60	491.5	Отриц.
	N,N-ДЭА	13.83	641.4	Отриц.
	1.2-ФДА	11.16	517.4	Отриц.
	1.3-ФДА	8.57	397.5	Отриц.
	1.4-ФДА	6.31	292.6	Отриц.
	МЭА	6.14	284.7	Отриц.
	ДЭА	5.81	269.5	Отриц.
	ТЭА	5.36	248.5	Отриц.
	Бензидин	12.29	570.2	Отриц.
	4-ААП	10.48	486.2	Отриц.
	1.2-НА	1.01	46.8	57.9
	1.3-НА	1.26	58.4	47.5
	1.4-НА	1.38	64.0	42.5
Малоновая	Анилин	6.61	306.6	Отриц.
	N,N-ДМА	5.11	237.0	Отриц.
	N,N-ДЭА	3.98	184.6	Отриц.
	1.2-ФДА	3.09	143.3	Отриц.
	1.3-ФДА	1.88	87.2	21.7
	1.4-ФДА	0.75	34.8	68.8
	МЭА	1.43	66.3	40.4
	ДЭА	1.83	84.9	23.8
	ТЭА	2.15	99.7	10.4
	Бензидин	2.92	135.4	Отриц.
	4-ААП	1.43	66.5	40.3
	1.2-НА	0.73	33.9	69.6
	1.3-НА	0.75	34.8	68.8
	1.4-НА	0.81	37.6	66.3

Янтарная	Анилин	4.77	221.2	Отриц.
	N,N-ДМА	3.79	175.8	Отриц.
	N,N-ДЭА	2.61	121.0	Отриц.
	1.2-ФДА	2.97	137.7	Отриц.
	1.3-ФДА	2.34	108.5	2.5
	1.4-ФДА	1.52	70.5	36.7
	МЭА	2.32	107.6	3.3
	ДЭА	2.19	101.6	8.8
	ТЭА	1.94	90.0	19.2
	Бензидин	2.31	107.1	3.7
	4-ААП	2.19	101.6	8.8
	1.2-НА	2.14	99.3	10.8
	1.3-НА	2.22	103.0	7.5
	1.4-НА	2.36	109.5	1.7
D,L-Винная	Анилин	5.54	256.9	Отриц.
	N,N-ДМА	4.25	197.1	Отриц.
	N,N-ДЭА	3.16	146.6	Отриц.
	1.2-ФДА	3.99	185.1	Отриц.
	1.3-ФДА	2.46	114.1	Отриц.
	1.4-ФДА	1.52	70.3	36.8
	МЭА	1.48	68.6	38.3
	ДЭА	1.58	73.3	34.2
	ТЭА	1.73	80.2	27.9
	Бензидин	2.24	103.9	6.7
	4-ААП	1.31	60.9	45.3
	1.2-НА	1.26	58.4	47.5
	1.3-НА	1.34	62.1	44.2
	1.4-НА	1.52	70.5	36.7
Лимонная	Анилин	8.89	412.3	Отриц.
	N,N-ДМА	6.55	303.8	Отриц.
	N,N-ДЭА	4.22	195.7	Отриц.
	1.2-ФДА	14.13	655.3	Отриц.
	1.3-ФДА	8.48	393.3	Отриц.
	1.4-ФДА	1.27	59.1	46.9
	МЭА	2.20	102.0	8.3
	ДЭА	3.55	164.6	Отриц.
	ТЭА	4.29	199.0	Отриц.
	Бензидин	5.38	249.5	Отриц.
	4-ААП	0.89	41.1	63.1
	1.2-НА	1.03	47.8	57.1
	1.3-НА	1.07	49.6	55.4
	1.4-НА	1.09	50.3	54.8

При этом наиболее высоким защитным эффектом обладают системы на основе салициловой кислоты и 1.4-фенилендиамина (72.9%), а также салициловой кислоты и 4-аминоантипирин (82.1%). Скорость коррозии стали в ряду анилинов уменьшается в порядке анилин > N,N-диметиланилин > N,N-диэтиланилин, за исключением систем с наиболее сильными из рассматриваемых кислот – щавелевой ($pK_a = 1.25$) и 5-сульфосалициловой ($pK_a = 2.51$), для которых наблюдается обратная зависимость. При этом большинство этих систем оказались не эффективны. Лишь две из них, в случае с бензойной кислотой, продемонстрировали невысокий защитный эффект, не превышающий 14.2%.

В системах, содержащих этаноламины, скорость коррозии увеличивается в ряду МЭА < ДЭА < ТЭА для случаев с салициловой, сульфосалициловой, малоновой, винной и лимонной кислотами. В системах с бензойной,

никотиновой, щавелевой и янтарной кислотами скорость коррозии изменяется в обратной последовательности. Наилучший защитный эффект при этом, наблюдается для аминокарбоксилатной системы бензойная кислота – ТЭА и достигает 54.6%. В остальных случаях значения защитного эффекта небольшие и изменяются в диапазоне 3.3-49.6%.

Все системы, содержащие замещенные нитроанилины, обладают защитным эффектом в диапазоне 1.7-71.3%. При этом во всех случаях степень защиты возрастает в ряду п-нитроанилин < м-нитроанилин < о-нитроанилин. Наибольшее значение защитного эффекта наблюдается для системы о-нитроанилин – 5-сульфосалициловая кислота (71.3%). В ранее опубликованных работах уже отмечалась ингибирующая способность нитроанилинов по отношению к углеродистой стали в кислых средах и синергетический эффект иодид-ионов [22].

Аминокарбоксилатные системы, содержащие в качестве основания бензидин демонстрируют величину защитного эффекта от отрицательных значений до 63.8% в случае с бензойной кислотой. Аналогичным же образом ведут себя системы с 4-аминоантипирином, демонстрируя защитную способность до 78.3% так же для случая с бензойной кислотой. Антикоррозионные свойства чистого 4-аминоантипирина и ряда его производных ранее также были изучены по отношению к различным типам стали в кислых средах и описаны в литературе [23].

Наименее эффективными оказались системы с никотиновой и щавелевой кислотами, а так же композиции содержащие в качестве основания незамещенный анилин и его N,N-диметил- и диэтил - производные.

Во всех исследованных системах не наблюдается какой-либо четкой зависимости защитного эффекта от кислотности или основности входящих в их состав компонентов. Например, значения рКа для бензойной и никотиновой кислоты очень близки (4.204 и 4.85 соответственно). Однако при этом 13 из 14 систем с бензойной кислотой обладают защитным эффектом в довольно широком диапазоне (10.8-78.3%), в то время как почти все системы с никотиновой кислотой демонстрируют отрицательный результат.

4. Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что аминокарбоксилатные системы во многих случаях являются эффективными ингибиторами коррозии по отношению к углеродистой стали в нейтральной среде. Десятисуточный эксперимент показал, что защитный эффект при стехиометрическом соотношении исходных компонентов проявляется более чем у половины композиций в широком диапазоне значений от 1.7 до 82.1%. Какой-либо четкой зависимости защитного эффекта аминокарбоксилатных систем, охватывающей одновременно весь спектр рассматриваемых соединений, от кислотности или основности компонентов (рК в воде) не выявлено. Имеются лишь частные случаи прямой или обратной корреляции указанных величин от природы компонентов аминокарбоксилатных систем в рядах однотипных или изомерных соединений. Зависимостей величины защитного эффекта от числа карбоксильных групп в кислотах и аминогрупп в аминах, так же не выявлено. Поэтому предсказать антикоррозионную активность таких систем основываясь на литературных данных о константах кислотности или основности, не представляется возможным. В связи с этим при исследовании подобных систем, их антикоррозионную эффективность необходимо определять только экспериментальным путём.

Литература / References

- [1] Takeda, N., Matsuoka, T. & Gotoh, M. (2010). Potentiality of IMAC as sample pretreatment tool if food analysis for veterinary drugs. *Chromatographia*, 72 (1/2), 127-131
- [2] Sharygina, E. Ju. (2021). Osobennosti podbora dispergatora dlja polimer-silikatnyh krasok na vodnoj osnove. LVI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «World science: problems and innovations». *Penza: MCNS «Nauka i Prosveshhenie»*
- [3] Takahashi, K., Bardwell, J.A., MacDougall, B. & Graham, M.J. (1992). Mechanism of anodic dissolution and passivation of iron—II. Comparison of the behavior in neutral benzoate and acetate buffer solutions. *Electrochimica Acta*, 3(37), 489-494. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(92\)87040-7](https://doi.org/10.1016/0013-4686(92)87040-7)
- [4] Rammelt, U., Kohler, S. & Reinhard G. (2008). EIS characterization of the inhibition of mild steel corrosion with carboxylates in neutral aqueous solution. *Electrochimica Acta*, 23(53), 6968-6972. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.01.004>
- [5] Zhenglin, Tang. (2019). A review of corrosion inhibitors for rust preventative fluids. *Current Opinion in Solid State & Materials Science*, 4(23), 100759. <https://doi.org/10.1016/j.cossms.2019.06.003>
- [6] Vuorinen, E., Kralmran, E. & Focke, W. (2004). Introduction to vapour phase corrosion inhibitors in metal packaging. *Surface Engineering*, 4(20), 281-284. <https://doi.org/10.1179/026708404225016481>
- [7] Ormellese, M., Lazzari, L., Goidanich, S., Fumagalli, G., Brenna, A. (2009). A study of organic substances as inhibitors for chloride-induced corrosion in concrete. *Corrosion Science*, 12(51), 2959–2968. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.018>
- [8] Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, ASTM G-5. (2004). *American Society for Testing and Materials*
- [9] Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals (ASTM G-31). (2004). *American Society for Testing and Materials*
- [10] Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens (ASTM G-1). (2003). *American Society for Testing and Materials*
- [11] Valdez, B., Schorr, M., Cheng, N., Beltran, E. & Salinas, R. (2018). Technological applications of volatile corrosion inhibitors. *Corrosion Reviews*, 36(3), 227-238. <https://doi.org/10.1515/corrrev-2017-0102>
- [12] Bjegovic, D. & Miksic, B. (1999). Migrating Corrosion Inhibitor Protection of Concrete. *MP, NACE International*
- [13] Rosignoli, D., Gelner, L. & Bjegovic, D. (1995). Anticorrosion Systems in the Maintenance, Repair & Restoration of Structures in Reinforced Concrete. *International Conference of Corrosion in Natural & Industrial Environments: Problems and Solutions, Italy*
- [14] Ansari, F.A., Verma, C., Siddiqui, Y.S., Ebenso, E.E. & Quraishi, M.A. (2018). Volatile corrosion inhibitors for ferrous and non-ferrous metals and alloys: A review. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 2(7), 126–150. [10.17675/2305-6894-2018-7-2-2](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-2-2)
- [15] Dinodi, N., Nityananda A.Sh. (2014). Alkyl carboxylates as efficient and green inhibitors of magnesium alloy ZE41 corrosion in aqueous salt solution. *Corrosion Science*, 85, 411–427. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.04.052>
- [16] Liu, J.Z., Cai, J.S., Shi, L., Zhao, D., Chen, C.C., Jiang, Q. & Sha, J.F. (2017). Corrosion behavior of carbon steel in chloride contaminated simulated concrete pore solution with carboxylate of benzoic acid and dimethylethanolamine. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 64(5), 555-562. <https://doi.org/10.1108/ACMM-03-2016-1654>
- [17] Altsybeeva, A.I., Tronova, E.A. & Burlov, V.V. (2014). Hydrocarbon-soluble metal corrosion inhibitors. II. Physicochemical aspects of inhibitor action. Amides and salts of carboxylic acids. *International Journal Corrosion and Scale Inhibition*, (3), 160–166. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2014-3-3-160-166>

- [18]Cao, S., Liu, D., Ding, H., Lu, H., Gui, J. (2020). Towards understanding corrosion Inhibition of sulfonate /carboxylate functionalized ionic liquids: An Experimental and Theoretical Study. *Journal of Colloid and Interface Science*, (579), 315-329. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.04.019>
- [19]Kuznetsov, Yu.I. (2016). Organic corrosion inhibitors: where are we now? A review. Part II. Passivation and the role of chemical structure of carboxylates. *International Journal Corrosion and Scale Inhibition*, 5(4), 282–318. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2016-5-4-1>
- [20]GOST-2874-82. Drinking water. Hygienic requirements and quality control. Retrieved from https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30078278&pos=65;-54#pos=65;-54
- [21]ISO 8407-2021. Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimen. Retrieved from <https://www.iso.org/ru/standard/71866.html>
- [22]Ojo, F.K., Adejoro, I.A., Akromie, K., Ogunyemi, B., Oyeka, E.E. (2018). Effect of Iodide Ions on the Inhibitive Performance of O-, M-, P-Nitroaniline on Mild Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Journal Applied Sciences and Environmental Management*, 22(5), 775-782. <https://doi.org/10.4314/jasem.v22i5.32>
- [23]El-Rehim, S.S.A., Ibrahim, M.A.M. & Khaled, K.F. (1999). 4-Aminoantipyrine as an inhibitor of mild steel corrosion in HCl solution. *Journal of Applied Electrochemistry*, (29), 593–599. <https://doi.org/10.1023/A:1003450818083>

Көміртекті болаттың ағынды сулардағы коррозия процесіне аминкарбоксилатты ингибиторлар әсері

Э. Амангельдиева, И. Хамидолла, С. Сагиндиқова, Н. Акатъев*

М. Өтемісов атындағы Батыс Қазақстан университеті, Орал, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: niko_aikidzin@mail.ru

Аңдатпа. Мақалада СТЗСП2-ГП2 болатына қатысты ағын суындағы органикалық қышқылдар мен аминдерге негізделген екі компонентті аминкарбоксилат жүйелерінің коррозияға қарсы белсенділігін зерттеу нәтижелері келтірілген. 9 органикалық қышқылға (бензой қышқылы, салицил қышқылы, 5-сульфосалицил қышқылы, никотин қышқылы, құмырсқа қышқылы, малон қышқылы, янтарь қышқылы, шарап қышқылы) негізделген 126 жүйе және $1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹ концентрациясындағы 14 амин зерттелді. Бұл жүйелерде кең ауқымды қорғаныс әсері бар екендігі көрсетілді. Коррозияға қарсы композициялар алу үшін қолданылатын қосылыстардың табиғатына қорғаныс әсерінің бірқатар тәуелділіктері анықталды. Жұмыста ароматты және алифатты қышқылдар мен аминдер зерттелген. Олардың ішінде бір, екі және үш негізді қышқылдар, сондай-ақ құрамында бір және екі амин тобы бар, оның ішінде N, N - алмастырылған аминдер зерттелді. Жүргізілген зерттеулер барысында аминкарбоксилат негізінде коррозияға қарсы ингибиторлар синтезделді. Қорғаныс қабықшасы металл атомдарының ингибитордың және коррозиялық орта иондарының химиялық өзара әрекеттесуінің өнімі болып табылады. Ингибиторлардың жылдамдығы концентрацияға тәуелділігі зерттелді. Ингибиторларды қолдану арқылы коррозиядан қорғау элементі тәжірибеде қолданылған ең перспективалы әдістердің бірі болып табылады. Ингибиторлардың әсерінен коррозияға төзімділік металдар бетіндегі органикалық заттардың иондары мен молекулаларының физикалық және химиялық адсорбциясының нәтижесі болып табылады. Органикалық қосылыстардың әртүрлі түрлері материалдарды қорғау үшін коррозия ингибиторлары ретінде кеңінен қолданылады. Өнеркәсіпте қолданылатын ең тиімді ингибиторлар органикалық қосылыстар болып табылады, олардың құрамында негізінен оттегі, күкірт және азот атомдары бар және олардың молекулаларында көптеген байланыстар бар, соның арқасында олар металдар бетіне адсорбцияланады.

Негізгі сөздер: аминкарбоксилаттар, тежегіштер, жемірілу процесі, металл қорғанысы, қорғаныс эффектісі, коррозия жылдамдығы, коррозияға қарсы екі компонентті тежегіштер.

Аминкарбоксилатные ингибиторы коррозии углеродистой стали в водопроводной воде

Э. Амангельдиева, И. Хамидолла, С. Сагиндиқова, Н. Акатъев*

Западно-Казахстанский университет им. М. Утемисова, Уральск, Казахстан

*Автор для корреспонденции: niko_aikidzin@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования антикоррозионной активности двухкомпонентных аминкарбоксилатных систем на основе органических кислот и аминов в водопроводной воде по отношению к стали СТЗСП2-ГП2. Исследовано 126 систем на основе 9 органических кислот (бензойная кислота, салициловая кислота, 5-сульфосалициловая кислота, никотиновая кислота, муравьиная кислота, малоновая кислота, янтарная кислота, винная кислота) и 14 аминов в концентрации $1 \cdot 10^{-3}$ моль·л⁻¹. Исследования проводились методом потери массы стальных пла-

стинок. Показано, что такие системы обладают широким диапазоном защитного эффекта. Выявлены ряд зависимостей защитного эффекта от природы соединений, применяемых для получения антикоррозионных композиций. В работе исследованы как ароматические, так и алифатические кислоты, и амины. В их числе изучены одно-, двух- и трёхосновные кислоты, а так же амины, содержащие одну и две аминогруппы, в том числе N,N-замещенные. В ходе проведенных исследований были синтезированы антикоррозионные ингибиторы на основе аминокарбоксилата. Защитная пленка является продуктом химического взаимодействия атомов металла ингибитора и ионов агрессивной среды. Исследована концентрационная зависимость скорости ингибиторов. Защита от коррозии с помощью ингибиторов является одним из наиболее перспективных методов, нашедших применение в мировой практике. Коррозионная устойчивость, вызываемая ингибиторами, является результатом физической и химической адсорбции поверхностью металлов ионов и молекул органических веществ. Различные типы органических соединений широко используются в качестве ингибиторов коррозии для защиты материалов. Наиболее эффективными ингибиторами, используемыми в промышленности, являются органические соединения, которые в основном содержат атомы кислорода, серы и азота имеют многочисленные связи в своих молекулах, благодаря которым они адсорбируются на поверхности металлов.

Ключевые слова: *аминокрбоксилаты, ингибирование, коррозия, защита металлов, защитный эффект, скорость коррозии, двухкомпонентные ингибиторы коррозии.*