

## УДК 620.197.3

# Защитные и пассивирующие свойства антиржавейных присадок на низкоуглеродистой стали Ст3 в нейтральном хлоридном растворе

Н.П. Андреева и М.О. Агафонкина\*

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), Ленинский просп.31, корп. 4, Москва, 119071 Россия*

\*E-mail: [agafonkina@inbox.ru](mailto:agafonkina@inbox.ru)

### Аннотация

Изучены пассивирующие и защитные свойства антиржавейных присадок КАП-25 и В-15/41 на низкоуглеродистой стали Ст3 в водных хлоридных и боратно-буферных растворах. Обе присадки способны самопроизвольно пассивировать стальной электрод и облагораживать потенциал локальной депассивации Ст3 в боратном буферном растворе с добавкой 0,01 М NaCl. Наиболее высокими пассивирующими свойствами обладает присадка В-15/41, у которой при 8 ммоль/л защитный эффект составляет 0,22 В. Композиции изучаемых присадок с 2-МБТ (9:1) оказывают более высокое защитное действие на низкоуглеродистой стали, чем сами индивидуальные вещества. В 0,01 М хлоридных растворах при 7 ммоль/л В-15/41+2-МБТ (9:1) Ст3 полностью защищена от коррозионного разрушения в течение 7 суток. Для полной защиты стали композицией NaКАП-25+2-МБТ (9:1) требуется 8 ммоль/л в 0,01 М растворе NaCl.

**Ключевые слова:** низкоуглеродистая сталь, пассивация, защитный эффект, степень защиты, алкенилянтарная кислота, хлоридный раствор.

Поступила в редакцию 07.03.2025 г.; После доработки 13.03.2025 г.; Принята к публикации 14.03.2025 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2025-3-1-85-96](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2025-3-1-85-96)

### Введение

В настоящее время для замедления коррозионных процессов металлов и сплавов наиболее привлекательны химические соединения – органические ингибиторы коррозии (ИК), доступные с экономической и практической стороны. К таким ИК относятся антиржавейные присадки: В-15/41 и КАП-25.

Антиржавейная присадка В-15/41 внешне представляет собой прозрачную малоподвижную массу с цветом от светло-желтого до коричневого. Основу вещества составляет кислый эфир этиленгликоля и алкенилянтарной кислоты. Антиржавейная

присадка В-15/41 используется для устранения процесса ржавления металлических поверхностей, работающих при постоянном контакте с водой или в условиях повышенной влажности.

Другая присадка КАП-25 представляет собой янтарную кислоту с углеводородным радикалом  $C_{12}-C_{15}$ . Это вязкая и очень малоподвижная масса, цвет которой может различаться от желтого и до светло-коричневого. КАП-25 добавляют к антикоррозионному составу, полученная смесь используется для устранения ржавления металлических поверхностей.

Обе изучаемые присадки своим основным составляющим относятся к классу дикарбоновых кислот. Соединения этого класса подробно изучались для защиты низкоуглеродистой стали и гораздо реже для других металлов [1–14]. А. Мерсер [2] показал, что дикарбоксилаты могут быть эффективней алкилмонокарбоксилатов. Однако позже немецкие исследователи [3], изучая влияние моно- и дикарбоксилатов на пассивацию мягкой стали в 0,01 М растворе  $KNO_3$  при рН 7,50 заметили, что её самопроизвольная пассивация происходит через разное время. Адсорбционная способность самих дикарбоксилатов слаба, но ее можно значительно улучшить, если использовать смеси ди- с монокарбоксилатами. Было отмечено, что процесс адсорбции очень длителен по времени и не ограничен одним часом экспозиции. Для образования плотноупакованного адсорбционного слоя требуется много часов, толщина слоя постоянна на протяжении всего времени погружения. Смесь себацината/каприната натрия обеспечивает наилучшую защиту среди других карбоксилатов, объясняемую взаимным влиянием анионов солей. Так, в растворе себацината натрия или его смеси с каприном, пассивное состояние устанавливается через 10–15 мин после погружения в него электрода. В растворе азелаината или его смеси с пеларгонатом, пассивация мягкой стали достигается не ранее, чем 25 мин. По результатам измерений спектроскопии электрохимического импеданса (СЭИ), сопротивление адсорбционного слоя  $R_{ad}$  для дикарбоксилатов ниже, чем для монокарбоксилатов, что связано с более низкой адсорбционной способностью дикарбоксилатов.

Алифатические монокарбоксилаты с прямой цепью ( $C_nH_{2n+1}COO^-$ ) с короткой цепью ( $n \leq 5$ ) были слабыми ИК мягкой стали в 3%-ном растворе хлорида натрия [8]. Однако при  $n = 6$  (гептаноат) эффективность ИК резко возрастает и остается высокой до  $n = 10$  (ундеcanoат). При переходе к  $n = 11$  (додеканоат, лаурат) эффективность ИК снижается вплоть до  $n = 17$ . Все монокарбоновые кислоты слабые и при рН 8,4 они находятся в своей анионной форме (>99,9%). Поскольку их значения  $pK_a$  незначительно меняется с длиной цепи, то усиление ингибирования в случае при  $6 \leq n \leq 10$  не может быть связано со структурными изменениями. Наиболее вероятным объяснением является усиление поверхностной адсорбции на поверхности гидратированного оксида/гидроксида металла из-за увеличения гидрофобности анионов монокарбоксилатов с увеличением длины цепи. А резкое

снижение эффективности ингибитора при  $n=11$  было вызвано снижением растворимости и/или увеличением мицеллообразования карбоксилат-ионов в испытуемых растворах.

Дикарбоксилаты на мягкой стали в 3% NaCl показывают плавное увеличение эффективности ингибирования до  $n=12$ , а затем происходит снижение ингибирующей способности. Здесь так же, как и в работах [2, 10] выявлена зависимость защитных свойств ИК от длины его цепи.

К. Арамаки [4] предположил, что  $\alpha,\omega$ -дикарбоксилаты с углеродными атомами в алкиле  $n_C=7$  и 8, адсорбируются на поверхности оксида железа за счет двух карбоксильных групп, образуя тем самым петлю. Такое их положение является невыгодным для образования плотноупакованного слоя, тогда как монокарбоксилаты с их длинным алкилом могут создавать его, располагая при адсорбции свои алкилы почти перпендикулярно к поверхности. В результате такой адсорбционный слой действует как барьер для агрессивных компонентов среды. Сравнивая результаты измерения СЭИ, можно прийти к выводу, что чем выше значение  $R_{ad}$ , тем плотнее упаковка у адсорбционного слоя.

Авторы [5] изучали дикарбоксилаты и их смеси с 1,2,3-бензотриазолом (БТА) на мягкой стали в 0,02 М NaCl водном растворе. Они определили, что нетоксичные дикарбоксилаты с  $n < 4$  самопроизвольно пассивируют мягкую сталь в хлоридном растворе. Эти ИК эффективно подавляют анодную реакцию, но практически не изменяют катодную реакцию. Эффективность дикарбоксилатов с ( $n > 4$ ) увеличивается, если использовать их смеси с БТА, например, высокой степени ингибирования коррозии стали можно наблюдать для смеси себацината с БТА.

В настоящей работе изучали пассивирующие и защитные свойства натриевых солей кислот, содержащихся в продукте известном под торговой маркой КАП-25 [15] и В-15/41 [16] на низкоуглеродистой стали Ст3 в нейтральном хлоридном растворе. В процессе коррозионных исследований были изучены не только сами антиржавейные присадки, но и их композиции с 2-меркаптобензотиазолом (2-МБТ). Добавка 2-МБТ составляла 10% от общей концентрации смеси по молям.

## Материалы и методы

Работа проводилась на электродах из низкоуглеродистой стали марки Ст3 состава в %: 97 Fe, 0,14–0,22 С, 0,65 Mn, 0,17 Si, 0,08 As, 0,05 S, 0,04 P [17].

В исследованиях использовали коммерческие соединения – присадка антиржавейная КАП-25 от 20.05.2003 г., ОАО ПО ТОС и В-15/41.

Точный состав антиржавейной присадки КАП-25 неизвестен, поэтому количество щелочи, необходимой для перевода кислот из его состава в соли бралось из кислотного числа, указанного в паспорте продукта, а именно 382 мг/г гидроксида калия. Из-за неизвестного нам состава КАП-25, в данной статье продукт,

получившийся после его нейтрализации, мы обозначаем как NaКАП-25. Значения pH рабочих растворов NaКАП-25 поддерживались в пределах 6,7–7,4.

Точный состав В-15/41 также неизвестен, но кислотное число его составляет 190 мг/г КОН. Значения pH рабочих растворов В-15/41 находятся в пределах 6,6–7,2.

Электрохимические исследования заключались в записи анодных поляризационных кривых в боратном буферном растворе с 0,01 М NaCl и определенных концентраций ИК. Эти кривые получали на электродах из Ст3 в электрохимической ячейке с разделенными электродными пространствами на потенциостате IPC-PRO MF (РФ). Рабочий электрод предварительно зачищали на наждачных бумагах разной зернистости 400–1000 и обезжиривали ацетоном.

Проводили две серии поляризационных измерений: при предварительном катодном восстановлении электрода и без катодного восстановления.

В первой серии опыта после удаления воздушнообразованной плёнки оксидов металлов на Ст3 (выдержкой электрода 15 мин в боратном буфере pH 7,4 с 0,01 М NaCl при  $E = -0,65$  В) потенциостат отключали до установления потенциала свободной коррозии  $E_{кор}$ . После установления новой величины  $E_{кор}$ , формирующегося при адсорбции на электроде вводимых в буферный раствор органических молекул ИК, снова подключали потенциостат и снимали поляризационные кривые со скоростью развертки потенциала 0,2 мВ/с.

Во второй серии опытов электрод погружали в хлоридный боратно-буферный раствор и выдерживали 15 мин при  $E_{кор}$ , затем вводили ИК определенной концентрации и снова выдерживали 15 мин. По истечении этого времени задавали развертку потенциала со скоростью 0,2 мВ/с и начинали запись анодной поляризационной кривой.

Потенциал локальной депассивации металла –  $E_{пт}$  определяли по резкому росту тока на поляризационной кривой с последующей визуальной идентификацией питтинга на поверхности электрода. Погрешность в измерении  $E_{пт}$  составляет 0,01 В. Защитный эффект ИК оценивали по величине возрастания  $E_{пт}$ , вызванного введением его в фоновый раствор, т.е.  $\Delta E = E_{пт}^{ин} - E_{пт}^{фон}$ .

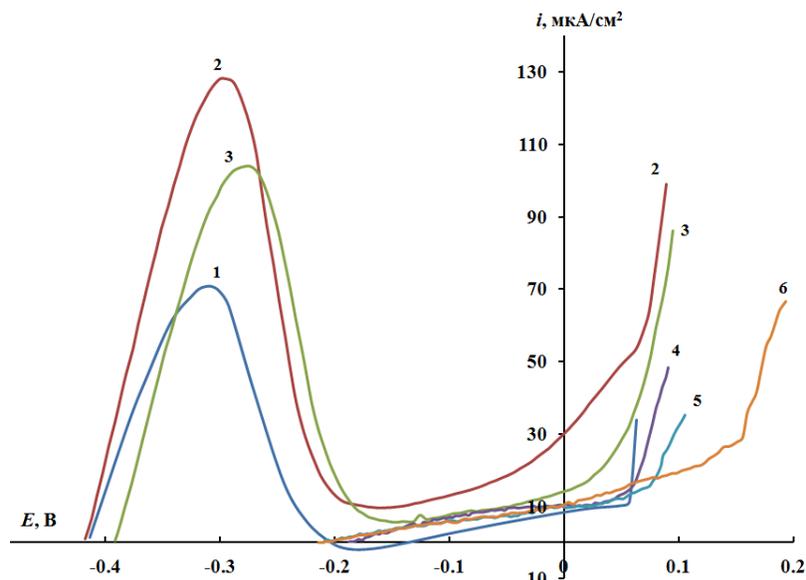
Коррозионные исследования пластин Ст3 проводили в дистиллированной воде, содержащей 0,01 М NaCl и разной  $C_{ин}$ . Пластины металла размерами 50×30×3 мм перед опытом зачищали на абразивной бумаге различной зернистости (от 180 до 1000), обезжиривали ацетоном и взвешивали. Погрешность при взвешивании составляла 0,0005 г. Затем образцы помещали в хлоридный раствор с добавками присадки различной  $C_{ин}$  при комнатной температуре  $t = 22 \pm 2^\circ\text{C}$  и естественной аэрации раствора. По истечении 7 суток пластины извлекали, очищали от продуктов коррозии и снова взвешивали. По разнице масс пластины до и после испытаний рассчитывали скорости коррозии в фоновом ( $K_0$ ) и ингибированном растворе ( $K_{ин}$ ) и определяли степень защиты металла  $Z$  по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_{\text{ин}}}{K_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

Для проведения коррозионных испытаний металлов были приготовлены смеси NaКАП-25+2-МБТ (9:1) и В-15/41+2-МБТ (9:1) с концентрацией 0,016 М.

### Экспериментальные результаты и их обсуждение

Поляризационные измерения Ст3 в буферном растворе, содержащем 0,01 моль/л NaCl проводились с добавками обеих антиржавейных присадок при их разных концентрациях. При  $C_{\text{ин}}=1$  ммоль/л NaКАП-25 на Ст3 наблюдается возрастание плотности тока активного растворения  $i_a$  до 130 мкА/см<sup>2</sup>, что вдвое превышает фоновое значение (Рисунок 1). Вероятно, происходит формирование водорастворимых комплексных соединений аниона дикарбоксилата с поверхностными катионами металла. Но увеличение добавки до  $C_{\text{ин}}=2$  ммоль/л приводит к снижению плотности тока активного растворения до 105 мкА/см<sup>2</sup>. При  $C_{\text{ин}}=3$  ммоль/л наступает самопроизвольная пассивация стального электрода без облагораживания  $E_{\text{пт}}$ . С дальнейшим увеличением  $C_{\text{ин}}$  добавки происходит расширение пассивной области стального электрода в области потенциалов  $-0,2 \dots +0,1$  В и облагораживание потенциала локальной депассивации на 0,1 В для  $C_{\text{ин}}=7$  ммоль/л.

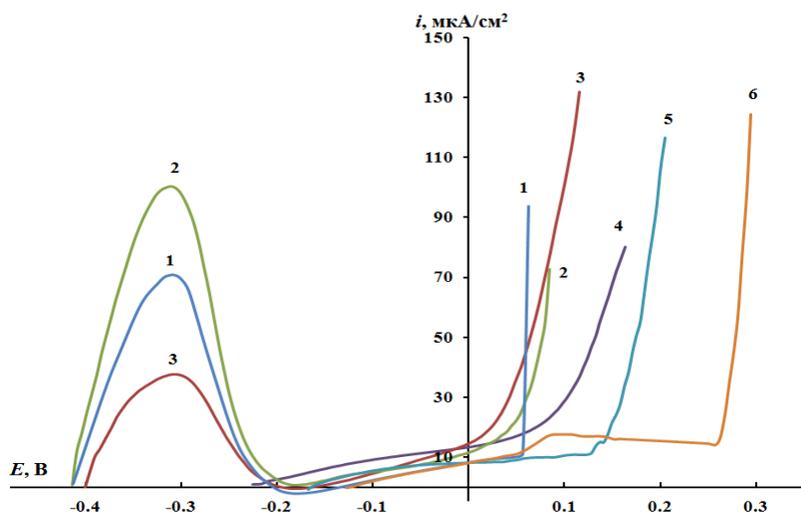


**Рисунок 1.** Анодные поляризационные кривые Ст3 при предварительном катодном восстановлении в 0,01 М хлоридном боратном буферном растворе pH 7,40 с добавкой NaКАП-25 в ммоль/л: 1–0,0; 2–1,0; 3–2,0; 4–3,0; 5–5,0; 6–7,0.

Поляризационные измерения стали Ст3 с добавками В-15/41 представлены на Рисунке 2. В этом случае, также происходит возрастание плотности тока активного

растворения  $i_a$  до 110 мкА/см<sup>2</sup> при  $C_{инн}=0,5$  ммоль/л и его снижение вдвое при  $C_{инн}=1$  ммоль/л. Дальнейшее возрастание  $C_{инн}$  в растворе приводит к пассивации Ст3 и облагораживанию  $E_{пт}$ . При  $C_{инн}=4$  ммоль/л значение  $E_{пт}$  сдвигается на 0,06 В, а при  $C_{инн}=8$  ммоль/л на 0,22 В.

Таким образом, присадка В-15/41 проявляет более высокие пассивирующие и защитные свойства по сравнению с NaКАП-25: при  $C_{инн}=1$  ммоль/л В-15/41 снижает токи активного растворения вдвое, а NaКАП-25, наоборот, их повышает.



**Рисунок 2.** Анодные поляризационные кривые Ст3 при предварительном катодном восстановлении в 0,01М хлоридном боратном буферном растворе pH 7,40 с добавкой В-15/41 в ммоль/л: 1–0,0; 2–0,5; 3–1,0; 4–2,0; 5–4,0; 6–8,0.

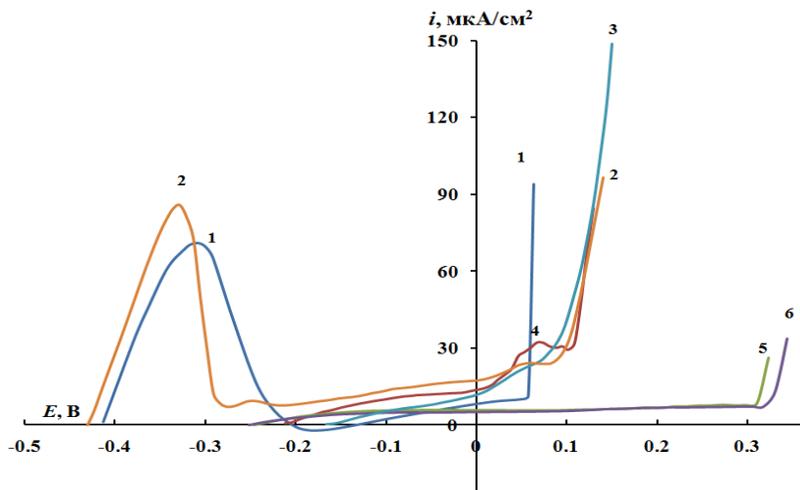
Усиление защитной и пассивирующей способности антикоррозийной присадки В-15/41 проводилось нами добавками 2-МБТ. Ранее уже изучалась подобная композиция NaКАП-25 и 2-МБТ (7,1:1)<sup>1</sup> на низкоуглеродистой стали в работе [18] и на меди и медном сплаве МНЖ5-1 в [19]. В этом случае, композиция NaКАП-25+2-МБТ (7,1:1) показала высокие защитные свойства на меди и сплаве в 0,01 М и 3,5%-ном растворе NaCl. На меди при 0,1537 г/л наблюдается степень защиты 98,3%, а при 0,461 г/л наблюдается полная защита в 0,01 М растворе хлорида натрия. В более агрессивном растворе 3,5% NaCl при 1,537 г/л на меди отсутствуют коррозионные поражения, и она полностью защищена от коррозии.

Для медного сплава при использовании смеси NaКАП-25+2-МБТ (7,1:1) при  $C_{инн}=0,3$  г/л  $Z>95\%$ , а при  $C_{инн}=0,6$  г/л достигается полная защита сплава в 0,01 М хлоридном растворе. В более агрессивной среде 3,5% NaCl при  $C_{инн}=1,5$  г/л удалось существенно повысить  $Z$  до 94,5% при защите МНЖ5-1.

<sup>1</sup> Здесь приведены массовые соотношения компонентов, а не объемные, как в нашей работе [18, 19].

Композиция В-15/41+2-МБТ (9:1) была подробно изучена на Ст3 при поляризационных измерениях как при катодном восстановлении электрода (первая серия опытов), так и без него (вторая серия опытов).

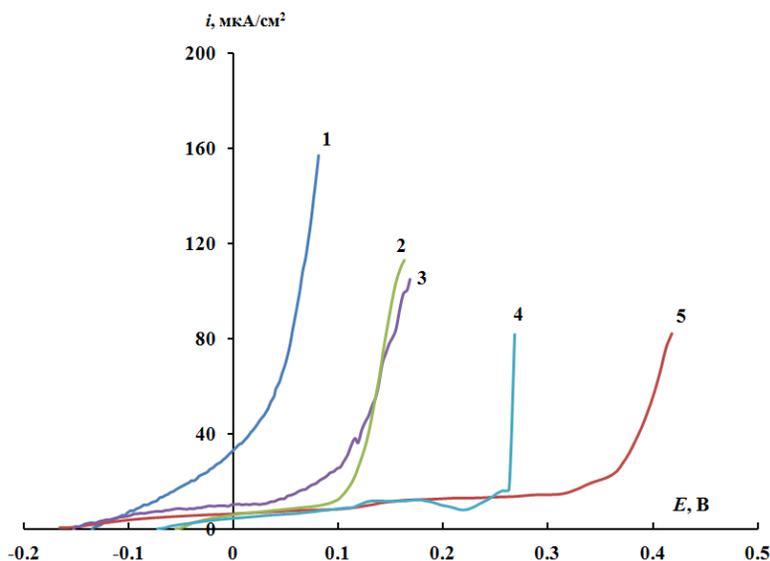
В первой серии опытов (Рисунок 3) уже при  $C_{\text{ин}}=0,5$  ммоль/л происходит снижение токов активного растворения Ст3 на  $20 \text{ мкА/см}^2$  и облагораживание  $E_{\text{пт}}$  на  $0,02 \text{ В}$ . Уже увеличение  $C_{\text{ин}}$  до  $0,5$  ммоль/л переводит стальной электрод в пассивное состояние. Высокий защитный эффект  $\Delta E=0,25$  и  $0,27 \text{ В}$  с продолжительной пассивной областью наблюдается в случае  $C_{\text{ин}}=3,0$  и  $6,0$  ммоль/л, соответственно.



**Рисунок 3.** Анодные поляризационные кривые при предварительном катодном восстановлении Ст3 в  $0,01 \text{ М}$  хлоридном боратном буферном растворе рН 7,40 с добавкой В-15/41+2-МБТ (9:1) в ммоль/л: 1–0,0; 2–0,25; 3–0,5; 4–1,0; 5–3,0; 6–6,0.

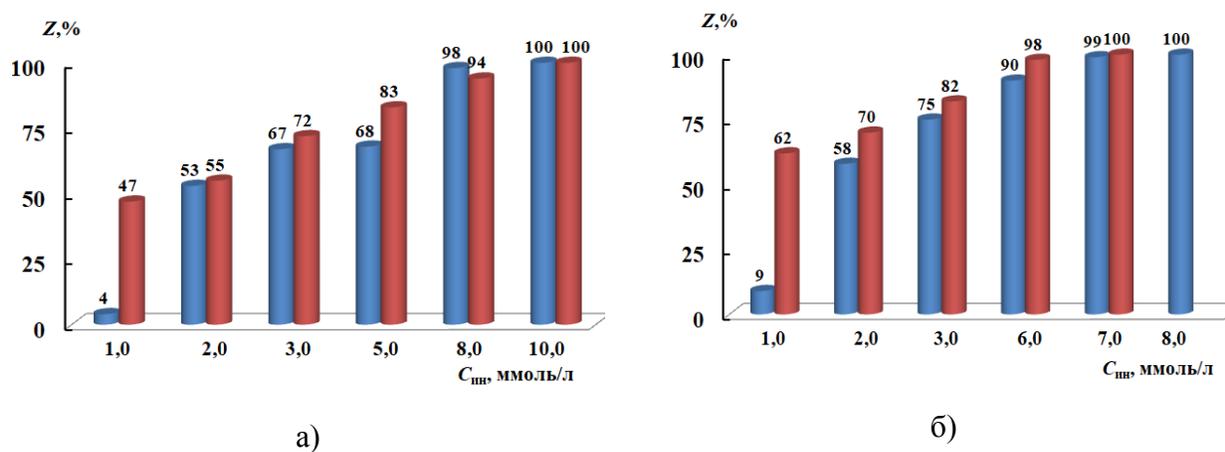
Во второй серии опытов Ст3 изначально находится в пассивном состоянии и  $E_{\text{пт}}=0,03 \text{ В}$  (Рисунок 4). Для В-15/41+2-МБТ (9:1) при  $1,0$  и  $3,0$  ммоль/л пассивное состояние сохраняется, при этом изменяется значение  $E_{\text{пт}}$  до  $0,09$  и  $0,25 \text{ В}$ , соответственно. Эти значения несколько ниже, чем в случае NaКАП-25+2-МБТ (7,1:1) [18]. Для последней композиции значение  $E_{\text{пт}}$  возрастает до  $0,11$  и  $0,35 \text{ В}$  при содержании ее  $C_{\text{ин}}=1,0$  и  $3,0$  ммоль/л в боратном буферном растворе с добавкой  $0,01 \text{ М NaCl}$ , соответственно.

Если проводить сравнение композиций антиржавейных присадок с 2-МБТ, то на поверхности Ст3, не подвергающейся катодному восстановлению, максимальный защитный эффект  $\Delta E=0,33 \text{ В}$  у композиции NaКАП-25+2-МБТ (9:1) при  $3,0$  ммоль/л.



**Рисунок 4.** Анодные поляризационные кривые Ст3 без катодного восстановления в 0,01 М хлоридном боратном буферном растворе pH 7,40 (1) и с добавкой В-15/41+2-МБТ (9:1) 1,0 ммоль/л (2) и 3,0 ммоль/л (4); NaКАП-25+2-МБТ (7,1:1) 1,0 ммоль/л (3) и 3,0 ммоль/л (5).

Следующим этапом изучения защитных свойств индивидуальных присадок и их композиции с 2-МБТ является проведение коррозионных испытаний. Результаты этого этапа исследований приведены на Рисунке 5.



**Рисунок 5.** Степень защиты  $Z$  низкоуглеродистой стали Ст3 в водном растворе 0,01 М NaCl антиржавейными присадками NaКАП-25 и В-15/41 (а: красные столбцы В-15/41, синие столбцы NaКАП-25) и их смесями (б: красные столбцы В-15/41+2-МБТ (9:1), синие столбцы NaКАП-25+2-МБТ (9:1)) в течение 7 суток при комнатной температуре.

При минимальной  $C_{ин}=1,0$  ммоль/л NaКАП-25 не защищает Ст3, а В-15/41 защищает Ст3 со степенью защиты  $Z=47\%$ . При последующем увеличении  $C_{ин}$  до

3,0 ммоль/л NaКАП-25 степень защиты стали возрастает до 67%, а для В-15/41 до 72%. При 8,0 ммоль/л NaКАП-25 немного эффективнее В-15/41, а при 10,0 ммоль/л обе присадки защищают металл полностью в течение 7 суток (Рисунок 5).

Ингибирующая композиция с 2-МБТ оказывает более высокий защитный эффект: уже для  $C_{инн}=1,0$  ммоль/л степень защиты стали возрастает с 4% для 1,0 ммоль/л NaКАП-25 до 9%, еще сильнее для В-15/41 с 47 до 62% (Рисунок 5б). С возрастанием  $C_{инн}$  растет и  $Z$  стали, при  $C_{инн}=3,0$  ммоль/л степень защиты Ст3 меняется с 67 и 72% до 75 и 82% для NaКАП-25 и В-15/41 и их композиций, соответственно. Для полной защиты Ст3 необходимо 7,0 ммоль/л композиции В-15/41+2-МБТ (9:1), либо 8,0 ммоль/л NaКАП-25+2-МБТ (9:1).

### Выводы:

1. Антиржавейные присадки КАП-25 и В-15/41 способны самопроизвольно пассивировать стальной электрод и облагораживать потенциал локальной депассивации в нейтральном боратном буферном растворе с добавкой 0,01 М NaCl. Наиболее высокими пассивирующими свойствами обладает присадка В-15/41, у которой при  $C_{инн}=8,0$  ммоль/л защитный эффект составляет 0,22 В.
2. Композиции изучаемых присадок с 2-МБТ оказывают более высокие защитные действия на низкоуглеродистой стали, чем индивидуальные вещества. В 0,01 М хлоридных растворах при 7,0 ммоль/л В-15/41+2-МБТ (9:1) низкоуглеродистая сталь полностью защищена от коррозионного разрушения в течение 7 суток. Для полной защиты стали композицией NaКАП-25+2-МБТ (9:1) необходимо 8,0 ммоль/л в 0,01 М растворе NaCl.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках Госзадания при финансовой поддержке Минобрнауки России

### Список литературы

1. G. Chan-Rosado and M.A. Pech-Canul, Influence of native oxide film age on the passivation of carbon steel in neutral aqueous solutions with a dicarboxylic acid, *Corros. Sci.*, 2019, **153**, 19–31. doi: [10.1016/j.corsci.2019.03.033](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2019.03.033)
2. A.D. Mercer, The properties of carboxilates as corrosion inhibitors for steel and other metals in neutral aqueous solutions, *In Proceeding of the 5th Europ. Symp. on Corros. Inhib.*, Ferrara (Italy), 1980, **2**, 563–581.
3. U. Rammelt, S. Köhler and G. Reinhard, Electrochemical characterization of the ability of dicarboxylic acid salts to the corrosion inhibition of mild steel in aqueous solutions, *Corros. Sci.*, 2011, **53**, 3515–3520. doi: [10.1016/j.corsci.2011.06.023](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.06.023)

4. K. Aramaki and T. Shimura, Self-assembled monolayers of carboxylate ions on passivated iron for preventing passive film breakdown, *Corros. Sci.*, 2004, **46**, 313–328. doi: [10.1016/S0010-938X\(03\)00156-2](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(03)00156-2)
5. D. Lahem, M. Poelman, F. Atmani and M.G. Olivier, Synergistic improvement of inhibitive activity of dicarboxylates in preventing mild steel corrosion in neutral aqueous solutions, *Corros. Eng. Sci. Technol.*, 2012, **47**, 463–471. doi: [10.1179/1743278212Y.0000000030](https://doi.org/10.1179/1743278212Y.0000000030)
6. M.O. Agafonkina, Yu.I. Kuznetsov and N.P. Andreeva, Inhibitor Properties of Carboxylates and Their Adsorption on Copper from Aqueous Solutions, *Russ. J. Phys. Chem. A*, 2015, 89, **6**, 1070–1076. doi: [10.1179/1743278212Y.0000000030](https://doi.org/10.1179/1743278212Y.0000000030)
7. E. Abelev, D. Starosvetsky and Y. Ein-Eli, Enhanced Copper Surface Protection in Aqueous Solutions Containing Short-Chain Alkanoic Acid Potassium Salts, *Langmuir*, 2007, **23**, 11281–11288. doi: [10.1021/la701434e](https://doi.org/10.1021/la701434e)
8. G.T. Hefter, N.A. North and S.H. Tan, Organic corrosion inhibitors in neutral solutions, Part 1. Inhibition of steel, copper and aluminum by straight chain carboxylates, *Corrosion*, 1997, **53**, 657–667. doi: [10.5006/1.3290298](https://doi.org/10.5006/1.3290298)
9. Ю.И. Кузнецов, И.А. Кузнецов, Н.П. Андреева и М.О. Агафонкина, Защита меди и сплава МНЖ5-1 от коррозии солями янтарной и алкенилянтарных кислот в хлоридном растворе, *Коррозия: защита материалов и методы исследований*, 2023, **4**, 114–130. doi: [10.61852/2949-3412-2023-1-4-114-130](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2023-1-4-114-130)
10. B. Lin and Y. Zuo, Corrosion inhibition of carboxylate inhibitors with different alkylene chain lengths on carbon steel in an alkaline solution, *RSC Advances*, 2019, **9**, no. 13, 7065–7077. doi: [10.1039/c8ra10083g](https://doi.org/10.1039/c8ra10083g)
11. S. Shiao, V. Chhabra, A. Patist, M. Free, P.D. Huibers, A. Gregory and D. Shah, Chain length compatibility effects in mixed surfactant systems for technological applications, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 1998, **74**, no. 1–3, 1–29. doi: [10.1016/s0001-8686\(97\)00005-5](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(97)00005-5)
12. I.B. Obot, I.B. Onyeachu, N. Wazzan and A.H. Al-Amri, Theoretical and experimental investigation of two alkyl carboxylates as corrosion inhibitor for steel in acidic medium, *J. Mol. Liq.*, 2019, **279**, 190–207. doi: [10.1016/j.molliq.2019.01.116](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.116)
13. S. Javadian, A. Yousefi and J. Neshati, Synergistic effect of mixed cationic and anionic surfactants on the corrosion inhibitor behavior of mild steel in 3.5% NaCl, *Appl. Surf. Sci.*, 2013, **285**, 674–681. doi: [10.1016/j.apsusc.2013.08.109](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.08.109)
14. F.A. Azeez, O.A. Al-Rashed and A.A. Nazeer, Controlling of mild-steel corrosion in acidic solution using environmentally friendly ionic liquid inhibitors: Effect of alkyl chain, *J. Mol. Liq.*, 2018, **265**, 654–663. doi: [10.1016/j.molliq.2018.05.093](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.05.093)
15. ТУ 2499-080-05015207-2003 Назначение: добавка к антикоррозионному составу для устранения ржавления металлических поверхностей.
16. ТУ 6-14-866-86–Присадка антиржавейная В-15/41: описание стандарта и тендеры.

- 
17. ГОСТ 380-2005 Сталь углеродистая обыкновенного качества.
  18. Yu.I. Kuznetsov, N.P. Andreeva and M.O. Agafonkina, Inhibition of metal corrosion in neutral aqueous solutions by succinic acid salts, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2024, **13**, no. 2, 1322–1336. doi: [10.17675/2305-6894-2024-13-2-36](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2024-13-2-36)
  19. M.O. Agafonkina, I.A. Kuznetsov, Yu.I. Kuznetsov and N.P. Andreeva, Corrosion inhibition of copper and its alloy MNZh5-1 by salts of succinic and alkenylsuccinic acids in chloride solution, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2021, **10**, no. 4, 1606–1620. doi: [10.17675/2305-6894-2021-10-4-14](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-4-14)

---

## Protective and passivating properties of anti-rust additives on low-carbon steel St3 in a neutral chloride solution

**N.P. Andreeva and M.O. Agafonkina**

The passivation and protective properties of anti-rust additives KAP-25 and V-15/41 on low-carbon steel St3 in chloride aqueous and borate-buffer solutions were studied. Both additives are capable of spontaneously passivating the steel electrode and improving the local depassivation potential of St3 in a borate buffer solution with the addition of 0.01 M NaCl. The highest passivation properties are possessed by V-15/41, which at 8 mmol/L has a protective effect of 0.22 V. The compositions of the studied additives with 2-MBT (9:1) have higher protective effects on low-carbon steel than the individual substances themselves. In 0.01 M chloride solutions at 7 mmol/L V-15/41+2-MBT (9:1) St3 is completely protected from corrosion destruction for 7 days. For complete protection of steel with the composition KAP-25+2-MBT (9:1) 8 mmol/L in 0.01 M NaCl solution is required.

**Keywords:** *low-carbon steel, passivation, protective effect, degree of protection, alkenylsuccinic acid, sodium chloride solution.*