

УДК 620.197.3

ОРГАНИЧЕСКИЕ ИНГИБИТОРЫ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛОВ

© Ю.И. Кузнецов

Ключевые слова: атмосферная коррозия металлов; ингибиторы; пассивация; конверсионные покрытия. Рассмотрен прогресс в нескольких важных областях защиты металлов от атмосферной коррозии органическими ингибиторами: пассивация водными растворами и восковыми дисперсиями, защита летучими ингибиторами и конверсионными оксидными покрытиями.

ВВЕДЕНИЕ

Противокоррозионная защита металлов и сплавов включает много различных методов и средств, среди которых за последние годы заметно возросла роль метода, основанного на применении ингибиторов коррозии (ИК), т. е. «химических соединений или их композиций, присутствие которых в небольших количествах в агрессивной среде замедляет коррозию металлов» [1]. Не должно вводить в заблуждение, что по объему производства ИК значительно уступают, например, лакокрасочным покрытиям (ЛКП) или защитным составам на основе различных углеводородов (масла, смазки и т. п.). Именно ИК, будучи включены в них в небольших количествах, во многих случаях обеспечивают высокую эффективность защиты в целом. Многие конверсионные составы – фосфатирующие, хроматирующие, преобразователи ржавчины и другие основаны на применении классических ИК (фосфатов, хроматов, танинов и т. п.) или содержат добавки других ИК, что часто имеет место при оксидировании металлов. Пассивирующая обработка металлов, а также «наполнение» покрытий почти всегда делается в водных растворах ИК. Велика роль ИК и в водоснабжении, где помимо природных ИК-солей кальция или силикатов, позволяющих иногда эксплуатировать годами водные системы без применения дополнительной защиты, ИК или их композиции с биоцидами и ингибиторами солей отложений широко используются при реagentной обработке воды.

Атмосферная коррозия по-прежнему остается наиболее распространенным разрушением металлов, поэтому разработке средств и способов защиты от нее уделяется большое внимание. На ее примере можно продемонстрировать существенный прогресс в пассивации металлов, которая проводится в водных растворах или из газопаровой фазы (летучими ингибиторами, ЛИК), а также в средствах и методах, обеспечивающих более продолжительную защиту металлов.

ПАССИВИРУЮЩИЕ СОСТАВЫ

Открытие нами в середине 1970-х гг. возможности адсорбционной пассивации металлов органическими соединениями в водных растворах [2–3] уже позволило отказаться от экологически опасных ИК (хроматов,

нитритов и т. п.) в пассивирующих составах и технологических жидкостях, например СОТС, и т. п. Особенность такой пассивации заключается в том, что перевод металла в пассивное состояние не сопровождается образованием оксидной пленки. В последние годы, во многом благодаря разработке эллипсометрического метода *in situ* изучения адсорбции различных химических соединений на свободной от оксидов (восстановленной) поверхности металлов [3–5], удалось разработать ряд эффективных ИК [3, 5–11]. Здесь имеются в виду не только химические соединения, но и различные композиции, т. н. комбинированные ИК. Насколько они могут лучше адсорбироваться на свободной от оксида поверхности железа, а следовательно, и эффективней ее пассивировать, показывают изотермы адсорбции фенилантранилата $[C_6H_5NH]C_6H_4COONa$ (ФАН) и олеата натрия (ОЛН) в сравнении с их композицией, известной как ИФХАН-25 (рис. 1). Ее адсорбция начинается при $C_{ин}$ на 5 порядков меньших, чем ФАН и описывается изотермой Темкина $\Theta = (1/f)\ln[VC_{ин}]$ со свободной энергией адсорбции $(-\Delta G_{ад}^0) = 51,8$ кДж/моль, превышающей в 3 раза $(-\Delta G_{ад}^0)$ для ФАН. ОЛН адсорбируется лучше ФАН, но слабее ИФХАН-25, оба они в отличие от ФАН способны обра-

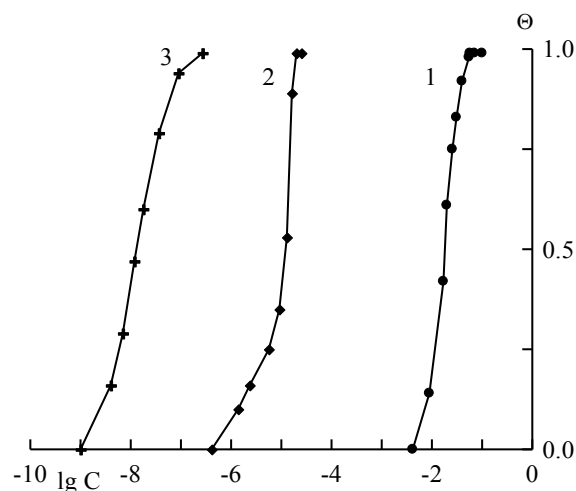


Рис. 1. Изотермы адсорбции ФАН (1), ОЛН (2) и ИФХАН 25 (3) на железе при $E = -0,65$ В из боратного буфера с pH 7,4

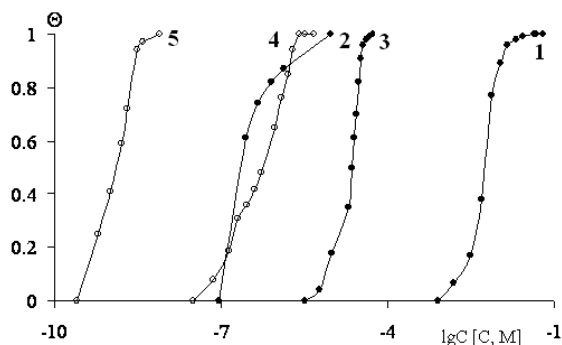


Рис. 2. Изотермы адсорбции ФАН (1), ФНН (2), ОЛН (3), ИФХАН 25 (4) и ИФХАН 25Ф (5) на железе при $E = +0,2$ В из боратного буфера с рН 7,4

зовывать полимолекулярные слои при больших $C_{ин}$, но здесь показан лишь первый монослой ИК, прочно связанный с железом. Если использовать флюоренаминат натрия [3-(CF₃)C₆H₄NH]C₆H₄COONa (ФФН), который как ИК эффективней ФАН, то его смесь с ОЛН (ИФХАН 25Ф) адсорбируется еще лучше, причем не только на свободной от оксида поверхности, но и на окисленном железе при $E = 0,2$ В (рис. 2).

В последнем случае величина $(-\Delta G_A^0) = 62,8$ кДж/моль намного больше, чем для ИФХАН-25 $(-\Delta G_A^0) = 41,0$ кДж/моль. Неудивительно, что в присутствии ИФХАН 25Ф уже при $C_{ин} = 2$ ммоль/л на железе не наблюдается образования питтингов вплоть до потенциалов выделения O₂, т. е. ИФХАН 25Ф обладает значительно лучшими защитными свойствами по сравнению с отдельными компонентами и другими композициями (рис. 3).

Успехи в создании новых смесевых ИК, водные растворы которых можно использовать в качестве пассивирующих составов, а из них самих создать новые антикоррозионных пигменты для ЛКП, несомненны. Однако внимания заслуживает и другое относительно новое научное направление применения ИК. Оно заключается не в самопроизвольной, как это имеет место в случае раствора смеси, а последовательной адсорбции ее компонентов на металле. Предварительно поверхность металла модифицируется обработкой раствором одного ИК, прочно на ней адсорбирующемся, и затем уже на модифицированной поверхности проводится адсорбция другого ИК. Впервые это показано нами при совместной адсорбции фенилундеконата C₆H₅C₁₀H₂₀COONa (ФУН) и мефенамината натрия [(CH₃)₂C₆H₃NH]C₆H₄COONa (МЕФН) [12]. Установлено, что адсорбция МЕФН начинается при меньших $C_{ин}$, если на окисленном железе предварительно адсорбировать монослой ФУН (рис. 4).

Последовательно адсорбируя анионы ИК на металлах можно увеличить их энергию адсорбции и повысить защитные свойства таких наноразмерных адсорбционных слоев (общая толщина их не превышает 5 нм).

Защитная способность композиции ИФХАН 25Ф изучалась при следующих вариантах: сначала адсорбировали монослой ФФН, а затем – ОЛН либо наоборот. Если первый слой – ОЛН, а второй – ФФН, то образцы защищены полностью от коррозии 14 суток. Однако если первый слой сформирован ФФН, а второй – ОЛН, то признаки появления на образцах коррозии обнаруживаются только на 20-е сутки.

Существенно, что метод последовательной адсорбции возможен из очень разбавленных растворов ИК. Более того, в работах [14–15] показано, что лучшие результаты могут достигаться при низкой степени заполнения модификатором поверхности Θ_M . Зависимость защитного эффекта от пассивации ИК может носить экстремальный характер, а его максимум достигаться в диапазоне $\Theta_M = 0,1 \div 0,5$ (табл. 1).

Это объяснено исходя из расположения хемосорбированного модификатора на металле. Так, при малых $\Theta_{ФФН}$ 1,2,3-бензотриазол (БТА) взаимодействует с ароматическими кольцами ФФН, подходя к вертикально

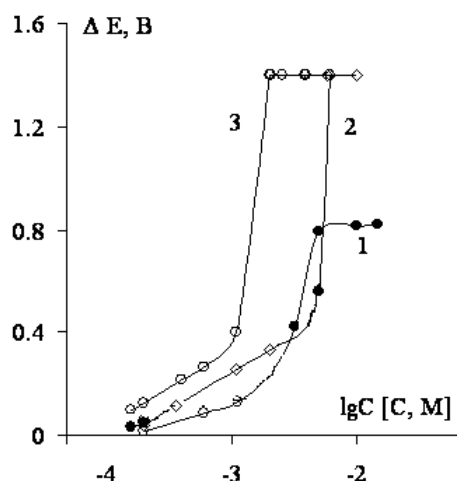


Рис. 3. Зависимость защитного эффекта $\Delta E = E_{pit}^{max} - E_{pit}^{ФФН}$ от концентрации ИК в боратном буферном растворе с рН 7,4, содержащем 10 ммоль/л NaCl: 1 – ФФН; 2 – ОЛН; 3 – ИФХАН 25Ф

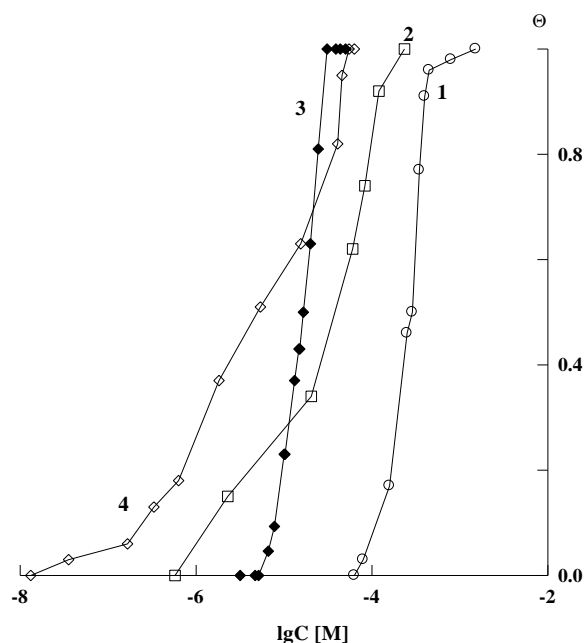


Рис. 4. Изотермы адсорбции солей органических кислот на окисленном железе при $E = 0,2$ В: МЕФН без (1) и с предварительной адсорбцией ФУН (2), ФУН без (3) и с преадсорбцией ФУН (1-й слой), а затем МЕФН (4)

Время до появления первых коррозионных поражений на пластинах Ст3, экспонированных в условиях 100 %-ной относительной влажности и ежесуточной конденсации влаги при различных режимах пассивации. Продолжительность пассивации – 24 ч

Состав пассивирующего раствора, в моль/л, и способ пассивации	БТА 3,0	ФФН 3,0	ФФН 3,0 + БТА, 3,0	ФФН, $\Theta = 0,1$, затем БТА, 3,0	ФФН, $\Theta = 0,33$, затем БТА, 3,0	ФФН, $\Theta = 0,5$, затем БТА, 3,0	ФФН, $\Theta = 0,84$, затем БТА, 3,0
Время до появления коррозии, в ч	$30 \pm 2,5$	90 ± 8	$140 \pm 4,5$	215 ± 10	247 ± 8	120 ± 7	120 ± 7

ориентированным его частицам сбоку, и адсорбируется на незаполненных участках поверхности. При больших $\Theta_{\text{ФФН}}$ такая возможность для адсорбции БТА отсутствует, а гидрофобные CF_3 -группы препятствуют присоединению сверху к адсорбированным анионам ФФН. В связи с этим такое применение ингибиторов способно существенно сократить их расход, а также увеличить ассортимент органических соединений, используемых в этой функции. Это, безусловно, должно способствовать и расширить области применения ИК в промышленности.

В качестве модифицирующего поверхность стали может применяться не только ИК адсорбционного типа, но и такие нетоксичные соединения, как цинковый комплекс 1-гидроксиэтилиден-1,1-дифосфоновой кислоты (ОЭДФЦ) [13], механизм защитного действия которыми не ограничивается адсорбцией, а более сложен [3]. Так, самостоятельно ОЭДФЦ не формирует устойчивых пассивных слоев для защиты сталей во влажной атмосфере в жестких условиях периодической конденсации влаги на их поверхностях. Однако модифицированная им поверхность после адсорбции на ней алкилкарбоксилата (АКН) в 3 раза дольше, чем в случае одностадийной пассивации тем же раствором АКН, предотвращает появление коррозионных поражений в камере влажности Г-4 (30 суток вместо 10).

Эти результаты показывают возможность создания многослойных наноразмерных покрытий ИК, используя низкие $C_{\text{ин}}$, что имеет большие экологические и экономические преимущества перед традиционными технологиями. Развитие этого направления во многом связано с использованием ИК, способных полимеризоваться на поверхности металла. Как нами уже отмечалось [3, 5, 10], это способно привести к снижению растворимости адсорбционного слоя и росту необратимости адсорбции.

ЛЕТУЧИЕ ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ

Управление полимеризации ИК в адсорбционных слоях может сформироваться в новое направление ингибиторной защиты. Именно этот подход был реализован нами при разработке ЛИК нового поколения, обладающего более сильным «эффектом защитного последствия» (ЭЗП) на разных металлах, чем для гетероалкилированных низших аминов [16]. В нем была использована комбинация летучих азометинов и силанов, способных под влиянием воды превращаться в силанолы, которые, конденсируясь, образуют полиорганосиланоксидные структуры [17]. Кроме того, согласно [18], адсорбция N-содержащих оснований может ускорить рост такой пленки и повысить степень конденсации силанолов. Это, учитывая наличие в азометинах двойной связи, обуславливающей возможность их сополимеризации с силанолами, позволяет предположить протекание сложных реакций в адсорбционных слоях, способных формировать на металлах наноразмерное покрытие, трудноудаляемое с поверхности металла даже при попадании на нее капля воды. Действительно, как следует из рассмотрения эллипсометрических измерений адсорбции на Ст3 и на цинке (рис. 5), совместная адсорбция двух ЛИК сильно ускоряется, а наноразмерное покрытие утолщается [19].

С другой стороны, при периодической конденсации влаги ни аminosилан, ни азометин сами не являются эффективными ЛИК в этих условиях (табл. 2). Лучшей защиты удается достигнуть, применяя смесевой ЛИК на основе азометина, но полного предотвращения коррозии (за исключением стали и сплава Д16) – лишь при совместном использовании его с (3-аминопропил)триэтоксисиланом. Эта комбинация ЛИК кроме отличной защиты черных и цветных металлов в длительных натуральных испытаниях показала и способность к очень длительному ЭЗП (табл. 3).

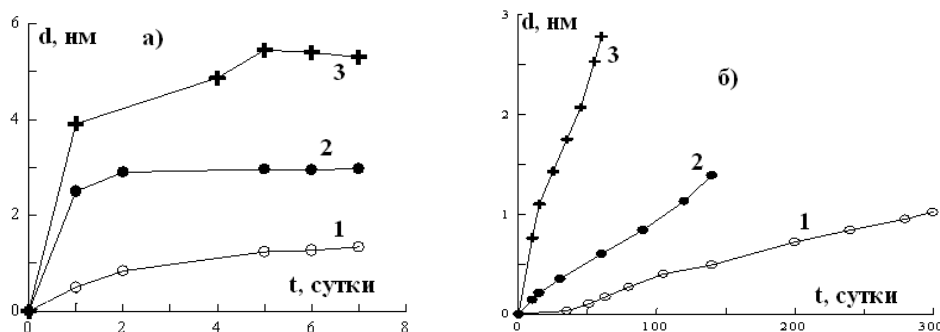


Рис. 5. Кинетика роста пленок ЛИК из паровой фазы на поверхности Ст3 (а) и цинка (б): 1 – N-бензилбензилиденимин; 2 – (3-аминопропил)триэтоксисилан; 3 – смеси N-бензилбензилиденимина с (3-аминопропил)триэтоксисиланом

Таблица 2

Защитное действие ЛИК в условиях ежесуточной конденсации влаги на образцах.
Продолжительность эксперимента – 21 сутки

Ингибитор	Ст3	Cu	Zn	Д16	Латунь	Чугун
(3-аминопропил)-триэтоксисилан	±	±	±	+	±	–
Азометин	±	+	–	+	±	–
ЛИК на базе азометина	++	+	+	++	+	+
ЛИК на базе азометина + (3-амино)-пропилтриэтоксисилан	++	++	++	++	++	++

Примечание: (++) – полная защита; (+) – хорошая защита; (±) – слабая защита; (–) – нет защиты от коррозии.

Таблица 3

Защитное последствие ЛИК на основе азометинов
во влажной атмосфере.
Продолжительность эксперимента – 3 мес.

Ингибитор	Ст	Cu	Zn	Al
ЛИК на базе азометина	++	+	+	++
ЛИК на базе азометина + (3-аминопропил)-триэтоксисилан	++	++	++	++

Рассмотренные выше ИК формируют на поверхности защищаемого металла ультратонкие слои, визуально неразличимые невооруженным глазом, но определенный прогресс достигнут и в защите металлов тонкими покрытиями ИК, получаемыми из водных растворов.

ВОДНО-ВОСКОВЫЕ ИНГИБИРОВАННЫЕ ДИСПЕРСИИ

В последние годы в нашей лаборатории продолжались работы по модификации пассивирующего состава на базе смеси ИК карбоксилатного типа – ИФХАН-39 [20]. Толщина покрытий (d), получаемых из водных растворов (ИФХАН-39А и -39АЛГ), не превышает

0,25 мкм. Покрытие из ИФХАН-39АЛГ, имея d практически ту же, что и из ИФХАН-39А, обеспечивает лучшую защиту благодаря содержанию в нем дополнительных ИК, в т. ч. солей фосфорсодержащей органической кислоты. Об этом свидетельствуют результаты коррозионных испытаний в термовлагокамере Г-4, проведенных согласно ГОСТ 9.054-75, в которых критерием эффективности защиты служит время до появления первых коррозионных поражений, $\tau_{кор}$ (рис. 6). Несмотря на довольно жесткие условия (100 %-ная относительная влажность воздуха, повышенная температура и ежесуточная обильная конденсация влаги на образцах), коррозия стали появилась лишь на 38 сут. Диспергирование добавки воска в водном растворе ИФХАН-39А повышает d до 1,3–1,8 мкм, гидрофобность и защитные свойства покрытия из ИФХАН-39В. Однако гораздо лучшую защиту демонстрирует двухслойное покрытие ИФХАН-39У, которое при такой же d предотвращает появление коррозии на низкоуглеродистой стали более 2 месяцев.

При защите этими составами алюминиевых сплавов, в частности сплава Д16, ситуация несколько меняется. В отличие от защиты стали водный раствор ИФХАН-39А малоэффективен, немногим лучше и ИФХАН-39В. Однако водная дисперсия ИФХАН-39У показывает высокие защитные свойства, лишь немного слабее, чем на низкоуглеродистой стали.

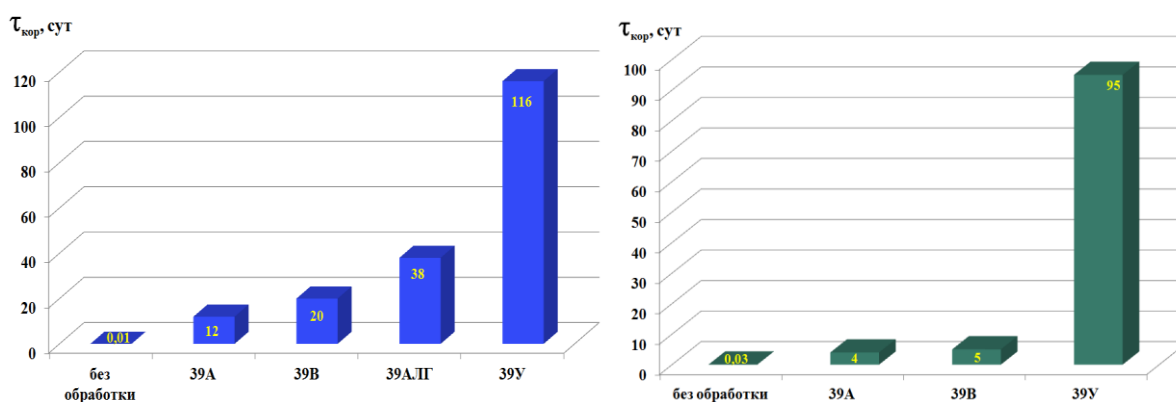


Рис. 6. Время до появления коррозии на Ст3 (а) и сплаве Д16 (б), защищаемых тонкопленочными покрытиями, полученными в 5 %-ных водных растворах (ИФХАН-39А и -39АЛГ) и водно-восковых дисперсиях ИК (ИФХАН-39В и -39У) в термовлагокамере Г-4

ИНГИБИТОРЫ В ОКСИДНЫХ КОНВЕРСИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Одним из давно известных способов защиты изделий из углеродистых сталей от атмосферной коррозии является формирование на их поверхности магнетитных покрытий (МП) в щелочных нитратных растворах, т. н. «воронение стали» [21]. Однако оно энергозатратно из-за высоких температур процесса и экологически опасно, поэтому разработаны составы, позволяющие получать МП при $t < 100$ °С в нейтральных растворах нитратов [22]. Для улучшения защитных свойств МП известны два способа применения ИК: введение их в оксидирующий состав и/или пропитка уже готовых МП водными пассивирующими составами. В качестве последних успешно могут использоваться упомянутые выше составы ИФХАН-39. Еще в работе [23] замечено, что структура МП, в частности его пористость и d , а также марка стали могут заметно сказываться не только на его коррозионной стойкости, но и защитном действии ИК. Например, пассивация в растворе ИФХАН-39А дает лучшие результаты для матовых МП, отличающихся более развитой поверхностью и толщиной, а низколегированная сталь ШХ 15 защищается ингибитором, по меньшей мере, не хуже, чем Ст3 (табл. 4).

Более детально этот вопрос изучался позднее в [24], где методом спектроскопии электрохимического импеданса показано, что один из основных ингибирующих компонентов ИФХАН-39А – ОЛН немного лучше адсорбируется на оксидированной стали, чем на пассивной поверхности без МП. Его адсорбция полимолекулярна, но формирование первого монослоя на оксидированной стали описывается изотермой Темкина. Адсорбционные характеристики зависят от состава МП: на покрытие ИФХАНОКС-3 величина $(-\Delta G_A^0) = 45,7$ кДж/моль, несколько ниже, чем в случае адсорбции стали, оксидированной в новом составе ИФХАНОКС-9: $(-\Delta G_A^0) = 47,5$ кДж/моль. Фактор же энергетической неоднородности поверхности f , напротив, выше в случае ИФХАНОКС-3 ($5,8 \pm 0,5$), чем для адсорбции на более тонком модифицированном МП ИФХАНОКС-9 ($4,2 \pm 0,4$). Это может служить дополнительным доказательством большей дефектности МП, сформированного в растворе ИФХАНОКС-3. Неудивительно, что в коррозионных испытаниях более эффективна пассивация сталей, оксидированных в новом составе.

Сочетание оптимизации пассивирующего раствора и направленной модификации МП привело в последние годы к резкому повышению их защитных свойств. Оказалось, что с помощью двухстадийного оксидирования удается значительно улучшить морфологию МП. Это повышает эффективность пассивации его составом ИФХАН-39У, и коррозия стали в термовлагокамере Г-4 не возникает даже за 90 суток [25].

Химическое оксидирование алюминиевых сплавов, вероятно, еще в большей степени, чем сталей, связано с использованием ИК в самой оксидирующей ванне. Замена токсичных хроматов на другие ИК неоднократно обсуждалось в обзорной литературе и выходит за рамки настоящей статьи. Пассивирование же оксидных покрытий, нередко называемое наполнением, традиционно осуществляемое в горячей воде, может быть достаточно эффективным и не уступать аналогичной обработке в растворах некоторых ИК [26]. Однако еще в работе [27] замечено, что пассивация оксидированного сплава АМг-3 в 0,1 %-ном растворе ИФХАН-25 резко увеличивает устойчивость покрытия к локальной коррозии. Недавно эффективность использования растворов ИФХАН-39А и -25 была подтверждена и для более толстых покрытий, полученных на алюминиевых сплавах АМг-5 и Д16 плазменно-электролитическим методом [28]. Однако еще более ценно, что дополнительная гидрофобизация низкомолекулярным фторопластом способна в 2–4 раза усилить защитное действие таких ингибированных покрытий [28].

Следует заметить, что гидрофобизации и даже супергидрофобизации оксидных покрытий на металлах уделяется большое внимание, поскольку кроме повышения противокоррозионной устойчивости они способны придать поверхности и другие важные функциональные свойства (противонакапные, противобледенительные и т. п.) [29–32]. Можно надеяться, что позитивный эффект от сочетания гидрофобизирующих реагентов и ИК приведет еще к большим успехам в борьбе с атмосферной коррозией металлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Органические ингибиторы могут успешно применяться для временной и длительной защиты металлов (сплавов) от атмосферной коррозии. Последние годы исследования в этой области направлены на разработку получения на металле ультратонких защитных слоев,

Таблица 4

Коррозионные ускоренные испытания стальных деталей с МП, запассивированных водными растворами ИК

Состав раствора для:		Марка стали	Время до появления коррозии в камере Г4, сут.	Характеристика МП
оксидирования	пассивации			
25 г/л NH ₄ NO ₃	Без пропитки	Ст3	0,4	Черное блестящее $d = 0,7-1,4$ мкм
	10 % ИФХАН-39А	- -	5,0	
- - + 150 мг/л (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	Без пропитки	- -	0,37	Матовое $d = 2,5-3,2$ мкм
	10 % ИФХАН-39А	- -	14,0	
ИФХАН-ОКС-1	Без пропитки	ШХ-15	0,87	Черное блестящее $d = 1,1-1,8$ мкм
	- -	Ст3	0,70	
	10 % ИФХАН-39А	ШХ-15	10,0	
	- -	Ст3	7,0	
ИФХАН-ОКС-3	Без пропитки	Ст3	0,37	Матовое $d = 2,9-3,5$ мкм
	10 % ИФХАН-39А	Ст3	22,0	

наносимых из водных растворов ИК, которые бы обладали повышенной устойчивостью к воздействию конденсирующейся влаги. Это необязательно должно быть вызвано сильной гидрофобизацией поверхности металла, а может быть следствием прочной адсорбции и протеканием в адсорбционных слоях процессов конденсации и полимеризации, способствующих необратимости адсорбции.

Кроме широко известных комбинаций осушителей воздуха с ЛИК или введения в ЛКП антикоррозионных пигментов все чаще ИК применяются совместно с различными конверсионными покрытиями и водно-восковыми дисперсиями. Органические ИК вытесняют токсичные хроматы, нитриты и другие окислители из указанных выше средств противокоррозионной защиты. Перспективным представляется и комбинация ИК с гидрофобизирующими реагентами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Химическая энциклопедия. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1990. Т. 2. С. 434.
2. Кузнецов Ю.И., Кербелева И.Я., Талыбов М.М. // Ингибиторы коррозии: тезисы науч.-тех. конф. (Пятое Негреевские чтения). Баку, 1977. С. 174.
3. Kuznetsov Yu.I. Organic Inhibitors of Corrosion of Metals. N. Y.: Plenum Press, 1996. 283 p.
4. Андреева Н.П., Кузнецов Ю.И. // Защита металлов. 2002. Т. 23. № 4. С. 601-607.
5. Кузнецов Ю.И. // Защита металлов. 2002. Т. 38. № 2. С. 122-131.
6. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П., Казанская Г.Ю. // Защита металлов. 2000. Т. 36. № 4. С. 390.
7. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П. // Электрохимия. 2006. Т. 42. № 10. С. 1224-1229.
8. Чиркунов А.А. // Коррозия: материалы, защита. 2011. № 1. С. 19-23.
9. Чиркунов А.А., Горбачев А.С., Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П. // Коррозия: материалы, защита. 2012. № 8. С. 18-22.
10. Кузнецов Ю.И. // Коррозия: материалы, защита. 2013. № 4. С. 1-7.
11. Бобер Я.Г. Ингибирование коррозии железа в нейтральных средах солями замещенных фенилантраниловых кислот: автореф. дис. ... канд. хим. наук / ИФХЭ РАН. М., 2009.
12. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П. // Коррозия: материалы, защита. 2005. № 9. С. 2-6.
13. Кузнецов Ю.И. и др. // Электрохимия. 2012. Т. 48. № 4.
14. Кузнецов Ю.И., Агафонкина М.О., Андреева Н.П., Соловьева А.Б. // Коррозия: материалы, защита. 2010. № 3. С. 1-5.
15. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П., Агафонкина М.О. // Фундаментальные аспекты коррозионного материаловедения и защиты металлов от коррозии: сб. докладов на Междунар. конф. памяти Г.В. Акимова. М.: ИФХЭ РАН, ВИАМ, 2011.
16. Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П., Агафонкин А.В., Гончарова О.А. Пат. РФ № 2457283 от 23.05.2011; оп. 27.07.2012.
17. Химическая энциклопедия. М.: Изд-во «Сов. энциклопедия», 1988. Т. 1. С. 97-98.
18. Stratman M., Furbeth W., Grundomeier G., Losch R., Reinartz C.R. // Corrosion Mechanisms in Theory and Practidce / ed. by P. Marcus, J. Oudar. N. Y.: Marcel Dekker, Inc., 1995. P. 373-420.
19. Агафонкин А.В., Кузнецов Ю.И., Андреева Н.П. // Коррозия: материалы, защита. 2010. № 8. С. 24-30.
20. Чиркунов А.А., Кузнецов Ю.И., Горбачев А.С. // Коррозия: материалы, защита. 2010. № 5. С. 30-33.
21. Самарцев А.Г. Оксидные покрытия на металлах. М.: Изд-во АН СССР, 1944. 107 с.
22. Кузнецов Ю.И., Бардашева Т.И. // Защита металлов. 1992. Т. 28. № 4. С. 586.
23. Кузнецов Ю.И., Подгорнова Л.П., Вершок Д.Б., Лапшина С.В., Федотова Т.В. // Защита металлов. 1998. Т. 35. № 1. С. 22-27.
24. Булгаков Д.С. Влияние состава нитратных растворов на оксидирование низкоуглеродистых сталей и защитные свойства оксидных покрытий: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М.: ИФХЭ РАН, 2011.
25. Вершок Д.Б., Кузнецов Ю.И., Орлов Д.Н., Ионов Ю.А., Сорокина О.В., Ваграмян А.Т. // Коррозия: материалы, защита. 2013.
26. Олейник С.В., Кузнецов Ю.И., Трубецкая Л.Ф., Котова Н.В. // Коррозия: материалы, защита. 2003. № 6. С. 30-35.
27. Олейник С.В., Малыгина Е.М. // Коррозия: материалы, защита. 2007. № 11. С. 38-42.
28. Олейник С.В., Руднев В.С., Кузнецов Ю.А., Яровая Т.П., Трубецкая Л.Ф., Недозоров П.М. // Коррозия: материалы, защита. 2013.
29. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Машталяр Д.В., Цветников А.К., Минаев А.Н. // Коррозия: материалы, защита. 2009. № 7. С. 32-36.
30. Gnedonov S.V., Sinebryukhov S.L., Egorkin V.S. et al. // Colloid and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2011. V. 383. P. 61-66.
31. Boinovich L.B., Gnedonov S.V., Alpysbaeva D.A. et al. // Corrosion Science. 2012. V. 55. P. 238-245.
32. Алпысбаева Д.А., Вершок Д.Б., Емельяненко А.М., Батищев О.В., Кузнецов Ю.И., Бойнович Л.Б. // Коррозия: материалы, защита. 2013. № 7. С. 32-36.

Поступила в редакцию 15 мая 2013 г.

Kuznetsov Y.I. ORGANIC INHIBITORS OF ATMOSPHERIC CORROSION OF METALS

Progress in several important areas of protection against atmospheric corrosion of metals with organic inhibitors, passivating by aqueous solutions and wax dispersions, protection volatile inhibitors and conversion oxide coatings, is reviewed.

Key words: atmospheric corrosion of metals; inhibitors; passivating; conversion coatings.