

ВЛАГОПЕРЕНОС В БИКОМПОНЕНТНЫХ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ НА БАЗЕ НЕПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

Н. Е. Беспалько

*Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и военная подготовка»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; bgd@mail.nnn.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: амиды; амины; атмосферная коррозия; массоперенос воды; индустриальное масло; *n*-гептан; *n*-нонан; *n*-декан; экологически безопасные материалы.

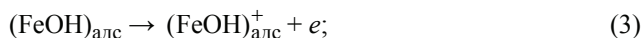
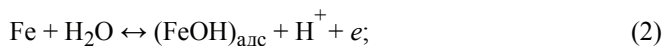
Аннотация: Рассмотрена зависимость массопереноса воды через бинарные антикоррозионные материалы на основе неполярных растворителей и поверхностно-активных веществ от природы алкана и полифункциональной присадки. Обоснованы возможные закономерности массопереноса воды через консервационные материалы. Описаны результаты, которые являются теоретической основой при разработке малокомпонентных экологически безопасных антикоррозионных материалов.

Введение

Атмосферная коррозия углеродистой стали в нейтральных средах, в отсутствии специфических деполаризаторов, протекает с участием воды. В самом общем виде реакция катодного восстановления растворенного молекулярного кислорода имеет вид [1]



Согласно источнику [2], вода является реагентом анодной ионизации железа. Ее молекулы чаще всего расходуются в первой квазиравновесной стадии. В соответствии с механизмом Бокриса [2], имеем:



Поэтому, при разработке малокомпонентных экологически безопасных консервационных материалов необходимо учитывать их способность затруднять формирование на защищаемой поверхности пленки влаги и препятствовать проникновению воды к корродирующему металлу [3].

Изучение влагопроницаемости различных консервационных покрытий [4] показывает, что полностью прекратить подачу воды к поверхности влагопоглотителя, а следовательно, и к поверхности металла, не удастся.

Предположительно в барьерной пленке имеются несплошности – каналы переменного сечения, направленные нормально, тангенциально либо под произ-

вольным углом к поверхности [5], поглощающей воду посредством химической реакции, например



или сорбирующей ее. В процессе коррозии подводимая вода расходуется на участие в парциальных электродных реакциях: в катодной (с участием растворенного кислорода [6]) и анодной (гидратация ионов металлов с образованием $\text{Me}^{Z+} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ [6]). Согласно [7], сечения по ходу отдельных каналов меняются во времени при практически постоянном суммарном сечении, что доказывается неизменной скоростью влагопереноса ($d\Delta m/dt = \text{const}$). Все поры, радиус которых превышает критический r^* , могут быть заполнены водой. Величина критического радиуса определяется избыточным давлением P , под действием которого жидкость вдавливается в пористую гидрофобную мембрану [7]

$$r^* = 2\sigma|\cos\theta|/P, \quad (6)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения; θ – угол не смачивания жидкостью поверхности гидрофобных пор.

Доля надкритических пор составляет согласно [12]

$$\gamma = \int_{r^*}^{\infty} f(r) dr, \quad (7)$$

где $f(r)$ – плотность распределения пор по радиусам. Значения γ находятся в пределах $0 \leq \gamma \leq 1$. Все остальные поры, подкритические ($r < r^*$), заполнены газом или парами воды. Более вероятно, что несплошности пленки заполнены водной коррозионно-агрессивной средой в виде самостоятельной фазы.

Диффузия паров воды через несплошности в масляной пленке протекает по трем механизма [8]:

- молекулы ударяются о стенки капилляра, сразу отражаются от них и вновь сталкиваются и т. д.;

- столкнувшись со стенками капилляра, молекулы воды остаются на них некоторое время, испаряются, затем начинается все с начала;

- адсорбированные молекулы воды двигаются вдоль стенок капилляра (двумерная поверхностная диффузия) в течение определенного времени τ .

В связи с низкой растворимостью воды в масле, а, следовательно, и слабым взаимодействием молекул воды и углеводов масла, τ должно быть крайне малым. В этом случае реализуется первый механизм. Скорее всего, массоперенос воды осуществляется как за счет капиллярной конденсации, так и в результате диффузии воды в виде паровой фазы [14] в результате снижения парциального давления насыщенного пара в капиллярах P_k по сравнению с гладкой поверхностью P_s в соответствии с известным уравнением

$$P_k = P_s \exp\left(-\frac{2\sigma V_m}{RT r}\right), \quad (8)$$

где σ – поверхностное натяжение жидкости, Дж/м²; V_m – молярный объем конденсирующегося пара, м³/моль; r – радиус капилляра, м; R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура процесса, К.

Оба эти подхода удовлетворительно объясняют снижение массопереноса воды в присутствии загустителя, с учетом того, что последний создает определенную пространственную структуру, снижая при этом эффективное суммарное сечение капилляров в композиции [9].

Исследования влагопроницаемости для неметаллических покрытий проводились лишь на пленках на основе минеральных масел, представляющих собой исходные многокомпонентные системы, усложненные заводскими присадками. В силу антагонистических и синергетических взаимодействий неопределенность состава подобных композиций не позволяет оценить роль природы растворителя и присадки. В связи с этим изучена кинетика массопереноса воды в модельных системах на основе чистых алканов нормального строения ($n_c = 7 - 15$) и поверхностно-активные вещества (**ПАВ**) ($C_{\text{ПАВ}} = 3 \dots 10$ мас. %): амиды непредельных карбоновых кислот (олеиновой и эруковой), гомологическая смесь амидов предельных свободных жирных кислот (**СЖК**) ($n_c = 10 - 23$), дистиллированные амины (**ДА**), амины кубовых остатков (**КО**), высшие алифатические амины (**ВАА**) (фракция I и II (**ФI** и **ФII**)).

Методика эксперимента

Эксперименты проводились в герметичных эксикаторах, в которых при комнатной температуре создавалась 70- и 100%-я относительная влажность воздуха $H_{\text{отн}}$. В них располагались стеклянные стаканы с перфорированными металлическими крышками, на дне которых находились бюксы с определенным количеством влагопоглотителя (цеолит марки NaX-B-2Г). На поверхность перфорированных крышек наносили слой растворителя или исследуемой композиции фиксированной толщины $L = 10 \dots 20$ мкм с гравиметрически контролируемой массой. Место притирания крышки и ячейки герметизировали для исключения попадания влаги внутрь бюкса. Через определенные временные интервалы (1, 2, 4 и 6 ч) оценивалось количество поглощенной воды, прошедшей через слой масла или исследуемой композиции. С этой целью рассчитывали разность масс бюксов с влагопоглотителем до опыта и за фиксированный промежуток времени. Для снижения ошибки эксперимента учитывали наличие в ячейках определенного количества влаги из воздуха до опыта.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

По источникам [6, 10, 18], для неметаллических покрытий на масляной основе характерны достаточно высокая влагопроницаемость и электрическая проводимость. Однако эти факторы не лимитируют скорость коррозии металла [6] под защитной пленкой при погружении образцов в объем агрессивной среды либо в результате возникновения на покрытии конденсированного водного слоя (влажная, мокрая коррозия).

Влагопроницаемость защитной пленки – самопроизвольный процесс диффузии водяного пара или конденсированной водной фазы через барьерное покрытие, характеризующийся определенной скоростью и направлением, для возникновения которого необходимо наличие движущей силы в виде разности концентраций воды (давления водяного пара) по обе стороны масляной пленки [10]. Кроме того, должен существовать источник воды со стороны потолка барьерного слоя и поглотитель – со стороны его дна. Последний, в результате одной или нескольких параллельно протекающих стадий химических реакций с водой, снижает давление паров воды со стороны дна барьерного масляного слоя.

Отметим, что ряд моделей переноса вещества через полимерную пленку предложен в [11]. Причем, сам факт наличия нескольких механизмов переноса

**Скорость массопереноса воды, $г/(см^2 \cdot ч)$,
через барьерные пленки на основе растворителей и ПАВ
в зависимости их природы**

| ПАВ | Растворитель | | | |
|----------------------------|---------------|---------------|------------------|-------|
| | $n-C_7H_{16}$ | $n-C_9H_{20}$ | $n-C_{10}H_{22}$ | И-20А |
| $C_{17}H_{33}CONH_2$ | 0,16 | 0,21 | 0,08 | 0,05 |
| $C_{10-23}H_{21-47}CONH_2$ | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,13 |
| $C_{21}H_{41}CONH_2$ | 0,20 | 0,31 | 0,20 | 0,15 |
| Дистиллированные амины | 0,25 | 0,15 | 0,08 | 0,05 |
| Амины КО | 0,08 | 0,08 | 0,07 | 0,05 |
| Высшие амины (фракция I) | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,11 |
| Высшие амины (фракция II) | 0,31 | 0,15 | 0,16 | 0,11 |

Примечание: $C_{ПАВ} = 10$ мас. %; $H_{отн} = 70$ %.

вещества указывает на нерешенность проблемы. Массоперенос воды через барьерные пленки подчиняется уравнению Фика [10]

$$m = -DSt(P_2 - P_1)/L, \quad (9)$$

где m – количество диффундирующего вещества (моль, грамм) за время τ через сечение площадью S ; D – коэффициент диффузии; L – толщина покрытия, м; $P_2 - P_1$ – разность давления паров воды по различные стороны барьерного слоя.

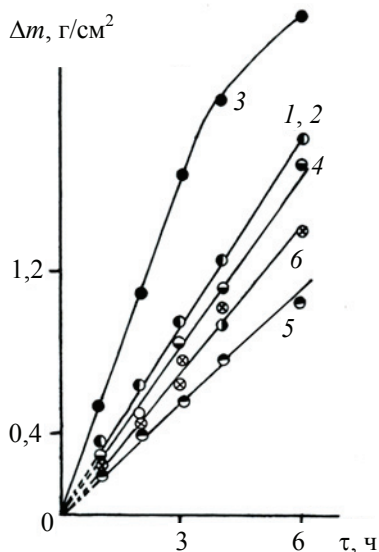


Рис. 1. Влияние природы растворителя на водопроницаемость барьерных пленок.

Растворитель: 1 – без покрытия;
2 – $n-C_7H_{16}$; 3 – $n-C_9H_{20}$; 4 – $n-C_{10}H_{22}$;
5 – $n-C_{15}H_{32}$; 6 – И-20А. $H_{отн} = 100$ %.
Комнатная температура

Все изученные составы на основе n -алканов и ПАВ (аминов и амидов) влагопроницаемы (табл. 1).

Зависимость $\Delta m = f(\tau)$, где Δm – масса прошедшей через барьерную пленку и поглощенной воды, удовлетворительно аппроксимируется уравнением прямой (рис. 1)

$$\Delta m = a + k\tau, \quad (10)$$

k – скорость массопереноса воды, $г/(см^2 \cdot ч)$; $a = 0$, так как прямая проходит через начало координат. Таким образом, выполняются неравенства:

$$(\partial \Delta m / \partial \tau) > 0 \quad \text{и} \quad (\partial \Delta m / \partial \tau) = \text{const.}$$

Следовательно, скорость массопереноса воды, по крайней мере в течение первых 4 ч от начала эксперимента, остается постоянной.

Кинетика массопереноса воды через барьерные пленки n -гептана практически схожа с таковой при отсутствии покрытия, что, вероятно, можно объяснить высокой летучестью самого рас-

творителя, в результате чего его пленка практически отсутствует на металле при проведении эксперимента (рис. 1, 2, табл. 2). Покрытия на основе чистого $n\text{-C}_9\text{H}_{20}$ при $H_{\text{отн}} = 70 \dots 100 \%$ стимулируют процесс массопереноса воды (см. рис. 1, 2, табл. 2). Этот факт можно связать с высокой летучестью растворителя (высокое давление насыщенного пара), движение которого направленно как в противоположную сторону от металлической поверхности и от влагопоглотителя, так и непосредственно к ним, что и вызывает дополнительное увеличение массы цеолита за счет поглощения летучих алканов.

Введение ПАВ, выступающего в роли антикоррозионной присадки, приводит к уменьшению водопроницаемости барьерных пленок (см. табл. 1, 2). Причем, тем эффективнее, чем больше концентрация присутствующего в растворителе ингибитора.

Во всех рассмотренных случаях скорость подачи воды через барьерные пленки композиций на базе ПАВ и углеводородных растворителей к металлической поверхности при $C_{\text{ПАВ}} = \text{const}$ и $H_{\text{отн}} = \text{const}$ уменьшается с ростом n_c в молекуле растворителя (см. рис. 2).

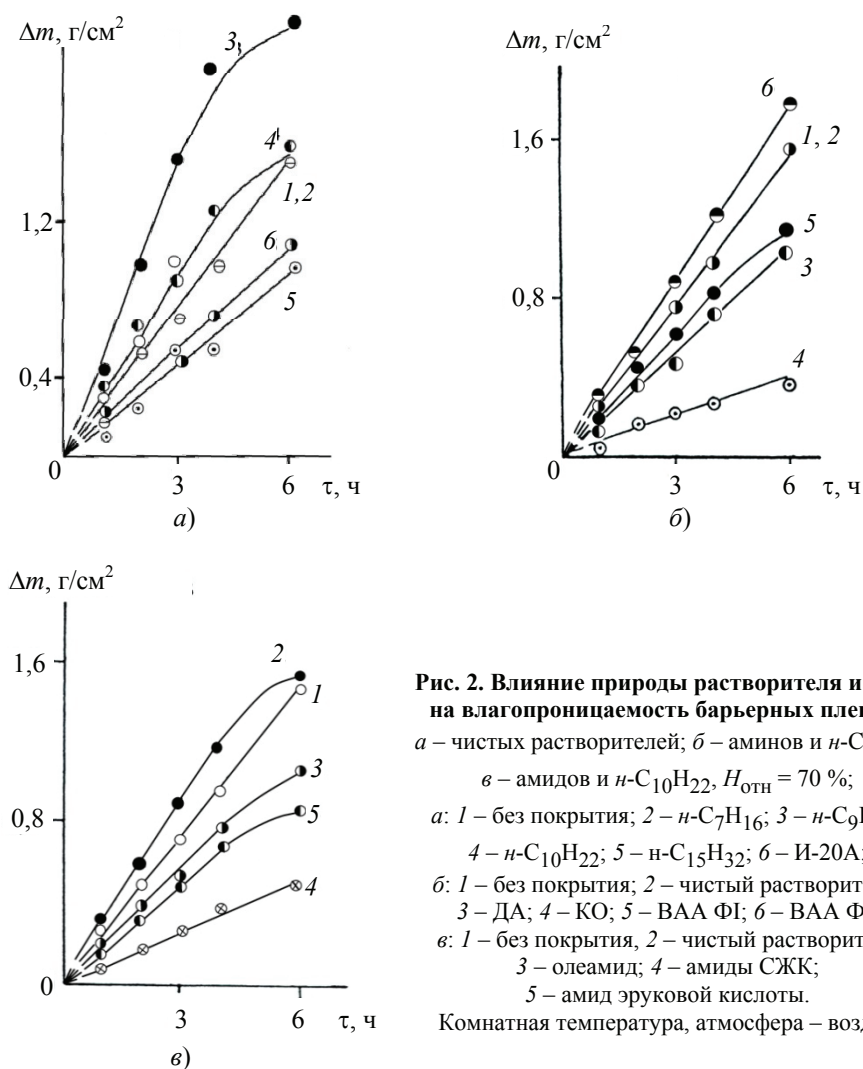


Рис. 2. Влияние природы растворителя и ПАВ на влагопроницаемость барьерных пленок:

a – чистых растворителей; *б* – аминов и $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$;

в – амидов и $n\text{-C}_{10}\text{H}_{22}$, $H_{\text{отн}} = 70 \%$;

a: 1 – без покрытия; 2 – $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$; 3 – $n\text{-C}_9\text{H}_{20}$;

4 – $n\text{-C}_{10}\text{H}_{22}$; 5 – $n\text{-C}_{15}\text{H}_{32}$; 6 – И-20А;

б: 1 – без покрытия; 2 – чистый растворитель;

3 – ДА; 4 – КО; 5 – ВАА ФІ; 6 – ВАА ФІІ;

в: 1 – без покрытия; 2 – чистый растворитель;

3 – олеамид; 4 – амиды СЖК;

5 – амид эруковой кислоты.

Комнатная температура, атмосфера – воздух

Таблица 2

**Скорость массопереноса воды, г/(см²·ч),
через барьерные пленки на основе растворителей и амидов
в зависимости от их природы**

| Амид | С _{ПАВ} , мас. % | Растворитель | | | | |
|---|------------------------------|--|--|---|---|-----------|
| | | <i>n</i> -C ₇ H ₁₆ | <i>n</i> -C ₉ H ₂₀ | <i>n</i> -C ₁₀ H ₂₂ | <i>n</i> -C ₁₅ H ₃₂ | И-20А |
| Без покрытия | – | 0,25/0,34 | | | | |
| Чистый растворитель | – | 0,25/0,34 | 0,50/0,58 | 0,25/0,30 | 0,18/0,19 | 0,19/0,25 |
| C ₁₇ H ₃₃ CONH ₂ | 3 | 0,16/0,24 | 0,30/0,35 | 0,23/0,37 | 0,10/0,13 | 0,11/0,22 |
| | 5 | 0,16/0,24 | 0,30/0,35 | 0,22/0,30 | 0,08/0,10 | 0,11/0,18 |
| | 7 | 0,16/0,24 | 0,23/0,25 | 0,20/0,32 | 0,06/0,09 | 0,09/0,16 |
| | 10 | 0,15/0,15 | 0,22/0,23 | 0,18/0,28 | 0,05/0,09 | 0,06/0,16 |
| C ₂₁ H ₄₁ CONH ₂ | 3 | 0,20/0,29 | 0,28/0,36 | 0,22/0,30 | 0,19/0,19 | 0,14/0,24 |
| | 5 | 0,20/0,29 | 0,24/0,36 | 0,16/0,28 | 0,19/0,19 | 0,12/0,19 |
| | 7 | 0,17/0,29 | 0,23/0,24 | 0,12/0,18 | 0,15/0,15 | 0,12/0,19 |
| | 10 | 0,20/0,20 | 0,19/0,23 | 0,07/0,13 | 0,15/0,15 | 0,09/0,18 |
| Амиды СЖК | 3 | 0,18/0,26 | 0,43/0,50 | 0,20/0,36 | 0,18/0,25 | 0,12/0,18 |
| | 5 | 0,18/0,26 | 0,30/0,50 | 0,18/0,24 | 0,14/0,18 | 0,09/0,18 |
| | 7 | 0,15/0,17 | 0,30/0,30 | 0,16/0,20 | 0,14/0,18 | 0,09/0,18 |
| | 10 | 0,15/0,17 | 0,30/0,31 | 0,16/0,20 | 0,14/0,16 | 0,08/0,17 |

Примечание: в числителе – значения для случая $H_{отн} = 70\%$; в знаменателе – для $H_{отн} = 100\%$.

Кинетика массопереноса воды через пленки ПАВ в апротонных алканах, характеризующаяся, в частности, величиной $\partial\Delta m/\partial t$, контролируется в определенной мере эффективным суммарным сечением S несплошностей, зависящим от структуры композиции. Причем величина S остается практически постоянной во времени, что следует из $\partial\Delta m/\partial t = \text{const}$.

Пусть в эксикаторе задана относительная влажность воздуха $H_1 = P_1/P_0$, где P_1 и P_0 – фактическое давление водяного пара в эксикаторе и давление насыщенного пара при фиксированных исследуемых условиях соответственно. Кроме того, имеет место капиллярная конденсация паров воды. Тогда относительная влажность воздуха вблизи потолка защитного барьерного слоя $H_2 = P_2/P_0$, где P_2 – давление паров воды надбарьерной пленкой. Причем $P_2 < P_1$, поскольку вода смачивает капилляры цеолита, и для вогнутого сферического мениска, согласно уравнению Томсона–Кельвина [4], имеем:

$$P_2 = P_1 \exp(-2\sigma V/rRT); \quad (11)$$

$$H_2 = H_1 \exp(-2\sigma V/rRT), \quad (12)$$

σ – поверхностное натяжение, Дж/м²; r – радиус капилляра, м; V – парциальный молярный объем воды, м³/моль, который, в первом приближении, можно считать постоянным. Остальные обозначения – общепринятые. Пленка является определенным препятствием для транспорта молекул воды, поэтому влажность воздуха

под защитным покрытием H_3 меньше H_2 . Обозначим давление паров воды на дне барьерной пленки как P_3 , тогда

$$\Delta P = P_2 - P_3. \quad (13)$$

Сочетая уравнения (13) – (15), получим:

$$H_3 = (P_2 - \Delta P)/P_0; \quad (14)$$

$$H_3 = H_1 \exp(-2\sigma V/rRT) - \Delta P/P_0, \quad (15)$$

причем ΔP определяется природой ПАВ при H_1 и $\tau = \text{const}$.

Пусть σ состава мало отличается от поверхностного натяжения чистого растворителя и для пентадекана равно $27,2 \cdot 10^{-3}$ Дж/м² [12]; $T = 298$ К; $V = 18 \cdot 10^{-6}$ м³/моль, радиус капилляра (мезопоры, заполняемые посредством капиллярной конденсации [13]) будет варьировать от 0,1 до 0,01 мкм. Тогда величина H_2 колеблется от $0,996 H_1$ до $0,960 H_1$, а уменьшение r капилляра в 10 раз практически не сказывается на H_2 ($H_2 \approx H_1$); $\Delta m = f(\Delta P)$, поскольку именно H_3 определяет градиент относительной влажности воздуха, так как ее величина на поверхности цеолита остается постоянной до исчерпания адсорбционной емкости. При продолжительности эксперимента $\tau \leq 4$ ч

$$\Delta m = k\tau, \quad (16)$$

так как величина a в уравнении (10) равна нулю (см. рис. 1).

Предположим, что, в первом приближении, защитная пленка имеет несплошности в виде цилиндрических капилляров с радиусом r_i , в которых протекает конденсация паров воды. Тогда площадь суммарного сечения, примыкающего к металлической поверхности $S = \pi \sum_i n_i r_i^2$. Перенос воды через капиллярно-пористую пленку выражается уравнением [11]

$$\frac{\Delta m}{\tau \rho} = \frac{\pi \sum_i n_i r_i^4}{8\eta l} \Delta P, \quad (17)$$

где Δm – изменение массы, г; η и ρ – динамическая вязкость, Па·с, и плотность, кг/м³, воды соответственно; n_i – число пор i -го радиуса; P_1 и P_2 – давление паров воды над и под пленкой соответственно, Па; $\Delta P = P_1 - P_2$, можно рассчитать по уравнению (11).

Обозначим $\pi \sum_i n_i r_i^4 = Q$, где $r_i = 0,01 \dots 0,1$ мкм [13]. Тогда уравнение (17) принимает вид

$$\Delta m = \frac{Q\rho}{8\eta l} \Delta P\tau, \quad (18)$$

где $\frac{Q\rho}{8\eta l} \Delta P = \text{const}$, что следует из условий эксперимента; Q характеризует долю

обнаженной площади удельной поверхности металла $S = \pi \sum_i n_i r_i^2$, обеспечивающей протекание электрохимической коррозии. Важно, что Q можно получить из экспериментальных данных. Величина k из (16) задается формулой

$$k = \frac{\pi \sum_i^{\infty} n_i r_i^4 \rho}{8\eta l} \Delta P. \quad (19)$$

Рассмотренное выше предположение капиллярной конденсации воды отнюдь не исключает транспорт паров H_2O через пленку состава, вклад которого не является определяющим.

Заключение

В ранее проведенных работах установлено отсутствие корреляции между величинами защитного эффекта и адсорбционной способностью [12 – 14]. Это говорит о возможном существовании мицеллярной или молекулярной пленки ажурного характера, что способствует влагопереносу в результате поглощения молекул H_2O поверхностными мицеллами по механизму поверхностной или объемной сольубилизации. Частицами адсорбата в тонких пленках могут выступать преимущественно мицеллы ПАВ. Их структура и определяет условия массопереноса стимуляторов коррозии к корродирующему металлу. В связи с этим, возможно проникновение воды с последующей адсорбцией на незащищенных активных металлических центрах.

Введение в растворитель эффективного загустителя затормаживает водопроницаемость барьерных слоев. Одновременно с проникновением воды в виде водяного пара возможно и направленное движение сольубилизированной воды. При наличии водопоглотителя появляется движущая сила диффузии и направленное движение воды в его сторону (от потолка к дну барьерного слоя). Таким образом, если введение эффективного загустителя снижает эффективное сечение несплошностей барьерного слоя, то растет концентрация агрегатированных частиц. По мере роста содержания ПАВ, не зависимо от его природы уменьшается влагопроницаемость барьерных покрытий. При этом вклад влагопроницаемости за счет движения через барьерный слой водяного пара уменьшается, а вклад эффекта движения сольубилизированной воды возрастает, либо с определенной концентрации ПАВ, выполняющего функцию мицеллообразователя, остается постоянным.

Водопроницаемость исследуемых составов уменьшается при переходе от аминов к амидам. Наиболее эффективно тормозит процесс массопереноса молекул воды олеамид. В ряду аминов четкой зависимости от природы ПАВ не наблюдается, вероятно здесь сказывается тот факт, что в роли полифункциональной присадки выступают гомологические смеси, а не индивидуальные вещества. По мере увеличения n_c алкана наблюдается уменьшение влагопроницаемости барьерных пленок исследуемых композиций. Таким образом, на фоне влияния природы ПАВ наиболее важным оказывается действие природы используемого растворителя. Увеличение молекулярной массы последнего сопровождается повышением защитных свойств композиций.

Полученные экспериментальные данные могут служить теоретической основой при разработке малокомпонентных экологически безопасных антикоррозионных материалов. А создание малокомпонентных консервационных систем, состоящих в наиболее оптимальном случае из растворителя – основы и полифункциональной присадки, является актуальной задачей. Причем, второй компонент консервационного материала должен обладать универсальностью, выполняя функции многочисленных добавок традиционных защитных составов. Одновременно такой подход позволяет сократить номенклатуру антикоррозионных материалов, решить многочисленные сырьевые и экологические проблемы. В частности, в ряде случаев отпадают вопросы утилизации отработанных продуктов, которые пока не удается решить региональными экологическими службами страны.

Список литературы

1. Вигдорович, В. И. Использование отработанного моторного масла для защиты от коррозии сельскохозяйственной техники / В. И. Вигдорович, В. Д. Прохоренков, Н. В. Тужилкина // Защита металлов. – 1987. – Т. 23, № 1. – С. 167 – 170.
2. Bockris, J. O'M. The Electrode Kinetics of the Deposition and Dissolution of Iron / J. O'M. Bockris, D. Drazic, A. R. Despic // Elektrochim. Acta. – 1961. – Vol. 4, No. 2–4. – P. 325.
3. Рабоче-консервационные смазочные материалы / В. М. Школьникова [и др.]. – М. : Химия, 1979. – 256 с.
4. Шель, Н. В. Влагопроницаемость масляных пленок в присутствии сернистого газа в воздушной атмосфере / Н. В. Шель, О. Г. Четыршин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – Т. 15, № 1. – С. 170 – 177.
5. Вигдорович, В. И. Кинетика электродных реакций на стали Ст3, покрытой масляными пленками, в хлоридных растворах / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, Н. В. Шель // Коррозия: материалы, защита. – 2004. – № 2. – С. 33 – 40.
6. Таныгина, Е. Д. Разработка антикоррозионных консервационных композиций на базе полифункциональной присадки гидразекс-89 / Е. Д. Таныгина, Н. В. Шель, В. И. Вигдорович // Химия и хим. технология. – 1999. – Т. 42, вып. 4. – С. 128 – 134.
7. Чирков, Ю. Г. Расчет проницаемости по жидкости и по газу низкопористых гидрофобных мембран произвольной толщины / Ю. Г. Чирков, В. И. Ростокин // Электрохимия. – 2004. – Т. 40, № 2. – С. 185 – 196.
8. Ratkowsky, D. A. Research Article Spectrophotometric Evaluation of Activity Coefficients in Aqueous Solutions of Sulfur Dioxide / D. A. Ratkowsky, J. L. McCarthy // J. Phys. Chem. – 1962. – Vol. 66, No. 3. – P. 516 – 519.
9. Влагопроницаемость масляных композиций, содержащих ИФХАН-29а / Н. В. Шель [и др.] // Коррозия: материалы и защита. – 2004. – № 8. – С. 30 – 34.
10. Путилова, И. Н. Ингибиторы коррозии металлов / И. Н. Путилова, С. А. Балезин, В. П. Баранник. – М. : Госхимиздат, 1958. – 62 с.
11. Кестинг, Р. Е. Синтетические полимерные мембраны / Р. Е. Кестинг. – М. : Химия, 1991. – 336 с.
12. Влияние природы растворителя на влагопроницаемость, вязкость, толщины формирующихся пленок и защитную эффективность композиций на базе алканов / В. И. Вигдорович [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. Сер. Естеств. и техн. науки. – 2004. – Т. 47, вып. 2. – С. 141 – 146.
13. Защитная эффективность и адсорбция амидов высших карбоновых кислот на стали Ст3 из композиций на основе неполярных растворителей / В. И. Вигдорович [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. Сер. Естеств. и техн. науки. – 2004. – Т. 47, вып. 3. – С. 125 – 133.
14. Вигдорович, В. И. Влияние природы неполярного углеводородного растворителя на полифункциональные свойства амидов в бинарных антикоррозионных составах / В. И. Вигдорович, Н. Е. Соловьева, Е. Д. Таныгина // Коррозия: материалы и защита. – 2003. – № 1. – С. 32 – 37.
15. Справочник химика. В 6 т. Т. 1 / редкол.: Б. П. Никольский (гл. ред.) [и др.]. – М. ; Л. : Госхимиздат, 1963. – 1012 с.
16. Фридрихсберх, Д. А. Курс коллоидной химии / Д. А. Фридрихсберх. – СПб. : Химия, 1995. – 400 с.
17. Шкловский, Б. И. Электронные свойства легированных полупроводников / Б. И. Шкловский, А. Л. Эфрос. – М. : Наука, 1979. – 416 с.
18. Осетров, А. Ю. Применение ингибированных масляных композиций в целях защиты от коррозии металлических изделий в атмосфере, содержащей CO₂ / А. Ю. Осетров, О. Г. Четырина, Н. В. Шель // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 843 – 854.

Water Transfer in Bicomponent Conservation Materials Based on Nonpolar Solvents

N. E. Bespalko

Department "Safety and Military Training", TSTU; bgd@mail.nnn.tstu.ru

Key words and phrases: amides; amines; atmospheric corrosion; environmentally safe materials; industrial oil; mass transfer of water; *n*-heptane; *n*-nonane; *n*-decane.

Abstract: The paper shows the dependence of the mass transfer of water through the binary anticorrosive materials based on non-polar solvents and surfactants on the nature of the alkane and multifunctional additives. Possible patterns of mass transfer of water through conservation materials have been substantiated. The obtained results are the theoretical basis for the development of small-component environmentally friendly anti-corrosion materials.

Feuchteübertragung in den bikomponenten Konservationsmaterialien auf Grund von den nicht polaren Lösungsmitteln

Zusammenfassung: Es ist die Abhängigkeit der Massenübertragung des Wassers durch die binären Rostschutzmaterialien aufgrund der nicht polaren Lösungsmittel und der oberaktiven Stoffe von der Alkannatur und des Mehrfunktionszusatzes bestimmt. Es sind die möglichen Gesetzmäßigkeiten der Massenübertragung des Wassers durch die Konservationsmaterialien rechtfertigt. Die bekommenen Ergebnisse sind eine theoretische Grundlage bei der Entwicklung der komponentarmen ökologisch sicheren antikorrosiven Materialien begründet.

Transfert d'humidité dans les matériaux biocomposants de coservation à la base des dissolvants non polaires

Résumé: Est établie la dépendance du transfert de masse de l'eau à travers les matériaux binaires anticorrosifs à la base des dissolvants non polaires et les matières tensio-actives de la nature de l'alcan et de l'addition polyfonctionnelle. Sont argumentées les régularités possibles du transfert de masse de l'eau à travers les matériaux de coservation. Les résultats obtenus sont la base théorique lors du traitement des des matériaux anticorrosifs peu composites sûrs du point de vue écologique.

Авторы: *Беспалько Наталья Евгеньевна* – кандидат химических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и военная подготовка», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Килимник Александр Борисович* – доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».