

УДК 620.193

## ТОЛЩИНА ПЛЕНКИ ВЛАГИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ КОРРОЗИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРЫ

канд. техн. наук Л.С. ЛИС, канд. техн. наук Т.Я. ЦАРЮК, Ю.В. МЕДВЕДЕВА  
(Институт проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, Минск),  
А.-Д.М. ШАВКИ  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

*Исследуется толщина пленки влаги на металлических поверхностях при моделировании коррозионного воздействия атмосферы. Установлено, что толщина пленки влаги существенным образом зависит от температуры среды: с повышением температуры ее значение уменьшается, что можно объяснить ослаблением структурных связей в слое влаги за счет увеличения хаотического движения молекул воды. Показано, что тенденция роста коррозионного поражения стальной пластины во времени совпадает с таковой для толщины пленки влаги в этих условиях. При окунании испытуемых пластин в растворы, содержащие коррозионно-агрессивные ионы хлора и соединения серы, толщина пленки уменьшается с повышением концентрации этих ионов в растворе за счет ослабления сил поверхностного натяжения при взаимодействии их с твердой поверхностью.*

*Полученные значения толщины пленки влаги на металлических поверхностях различных вариантов их защиты использованы для расчетов продолжительности увлажнения поверхности металлов в различных условиях их эксплуатации.*

**Введение.** Важным направлением развития техники является обеспечение безопасной эксплуатации производственных машин и оборудования. В решении этой проблемы помимо современных методов проектирования решающее значение придается защите конструкций, узлов и агрегатов производственной техники от коррозии. Мировая статистика свидетельствует, что в промышленно развитых странах до 40 % выплавляемой стали ежегодно расходуется на компенсацию потерь металла от коррозии [1].

Коррозионная устойчивость металлических конструкций при эксплуатации в атмосферных условиях определяется как внешними погодно-климатическими параметрами, так и составом среды.

Как установлено исследованиями [2, 3], определяющим фактором развития процесса коррозии является наличие на металле пленки влаги. Причем именно в этой влаге растворяются находящиеся в атмосферном воздухе агрессивные соли и газы, что обеспечивает развитие электрохимических реакций на поверхности металла. Такие пленки можно считать непрерывно возобновляющимися (в период выпадения дождя) и тонкими видимыми и невидимыми (в результате конденсации влаги при туманах и выпадении росы). Особенности протекания электрохимической коррозии при этом различны: в первом случае наблюдается, как правило, постоянство скорости коррозии, во втором – явная зависимость от сплошности пленки и скорости ее высыхания. В этом случае при уменьшении толщины пленки влаги облегчается доступ кислорода, а влаги (электролита) еще достаточно для протекания электрохимических процессов коррозии. В дальнейшем при испарении влаги процесс коррозии будет замедляться вследствие недостатка влаги на поверхности.

Отметим, что скорость процесса коррозии при высыхании пленки влаги неоднозначно зависит от метеорологических параметров окружающей среды. Установлено, что для низких температур (2...12 °С) имеется тенденция линейного возрастания, а при температурах 12...30 °С – линейного снижения [2].

Время увлажнения металлических поверхностей является обобщенным параметром метеорологических условий и зависит от влажности и температуры воздуха, от разности температур металла и окружающей среды, от скорости ветра и числа смачиваний дождем. Если время выпадения осадков и конденсации влаги определяется по метеорологическим приборам, то время высыхания (испарения) пленок влаги может быть рассчитано по предложенной в [4, 5] эмпирической формуле, основанной на линейных зависимостях от относительной влажности, температуры воздуха и скорости ветра:

$$V = 35,5 - 0,38w + 0,85t + 0,6c,$$

где  $V$  – скорость испарения влаги, мкм/ч;  $w$  – относительная влажность воздуха, %;  $t$  – температура воздуха, °С;  $c$  – скорость ветра, м/с.

**Основная часть.** Для установления продолжительности высыхания необходимо знать толщину слоя влаги. В литературе имеются различные мнения о значении этого параметра. При расчетах времени испарения используются или условно принимаются значения толщины пленки, равные 80...100 мкм [4], а при расчетах общей продолжительности увлажнения на территории бывшего СССР – 30 мкм [5].

Эти обстоятельства обусловили необходимость проведения дополнительных исследований по определению толщины пленки влаги в различных условиях. При этом были исследованы варианты: дождевание испытываемых пластин, погружение их в воду и конденсация влаги.

В качестве объектов исследований использовали пластины из стали 10 размером 50×50×5 мм трех вариантов защиты поверхности: незащищенные, покрытые маслом Белакор (ТУ РБ 600125053.020-2004) и окрашенные серебряной краской (ТУ 4808097-85).

Методически определение толщины пленки влаги состоит в установлении разницы масс увлажненной и сухой пластины, переводе массы в объем при допущении плотности воды, равной единице, и пересчете объема на площадь испытываемой пластины. Во всех испытаниях нами условно принималось равномерное распределение пленки влаги.

Отметим, что проводимые исследования характеризуются методическими трудностями ввиду широкой вариации значений получаемых результатов.

При дождевании пластин в горизонтальном положении со скоростью падения капель 50...60 в минуту (дождь средней интенсивности [4]) продолжительность увлажнения составляла 2, 5 и 10 минут. Результаты показывают, что среднеквадратическое отклонение данных не зависит от времени дождевания, а коэффициент вариации значений разницы масс мокрой и сухой пластины составляет порядка 10...30 % (табл. 1).

Таблица 1

Значения толщины пленки влаги при дождевании на пластинах с разными вариантами защиты

Состояние поверхности пластины	Толщина пленки, мкм	Коэффициент вариации, %
Незащищенные	607	26,0
Покрытые:		
- маслом Белакор	294	11,3
- краской серебряной	762	8,2

Наблюдения за формированием пленки воды при дождевании привели к выводу, что получаемый разброс для каждого варианта поверхности пластины обусловлен неизбежными дефектами их формы, особенно в зоне краев, и неоднородностью поверхности при подготовке к испытаниям, что особенно отчетливо проявляется на незащищенных пластинах.

Испытания были продолжены при окунании испытываемых пластин в воду с последующим выдерживанием их в течение 1 минуты на воздухе, при этом исследовалось влияние температуры на толщину пленки в этих условиях.

Прежде всего отметим, что полученные результаты явились более приемлемыми с метрологических позиций, коэффициент вариации составил для различных состояний поверхности около 5 %, а значения толщины пленки значительно ниже, чем при дождевании.

Зависимость толщины остающейся на пластинках пленки влаги от температуры воды представлена на рисунке 1 – с повышением температуры толщина пленки уменьшается.

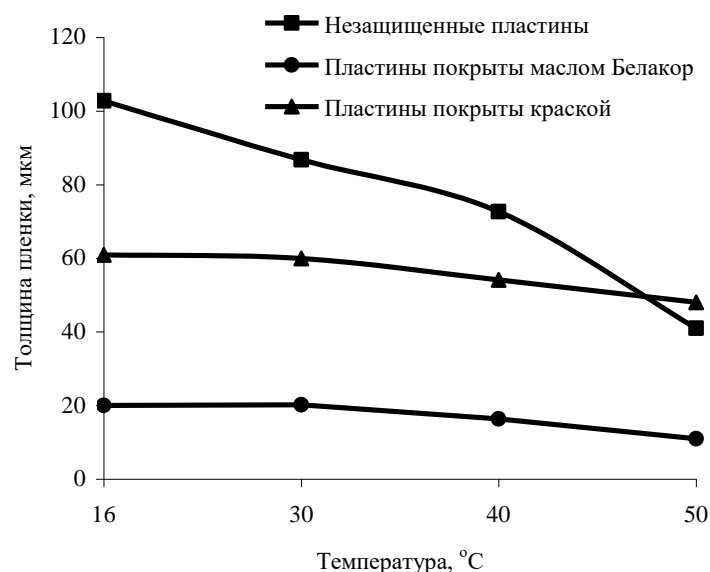


Рис. 1. Температурная зависимость толщины пленки влаги, образующейся на пластине при окунании

Известно, что образование слоя влаги на твердых поверхностях при увлажнении обусловлено силами адсорбции и поверхностного натяжения молекул раствора на твердой поверхности [6]. Здесь имеет место как молекулярная, так и ионная адсорбция, определяемая свойствами твердой поверхности и природой раствора.

В выполненных исследованиях, как отмечено выше, нами изменялось состояние твердой поверхности. Показателем смачиваемости поверхности является краевой угол смачивания, поэтому была проведена оценка этого показателя для используемых состояний поверхности пластин. На рисунке 2 приведена совмещенная диаграмма значений краевого угла смачивания и толщины пленки для температуры 20 °С.

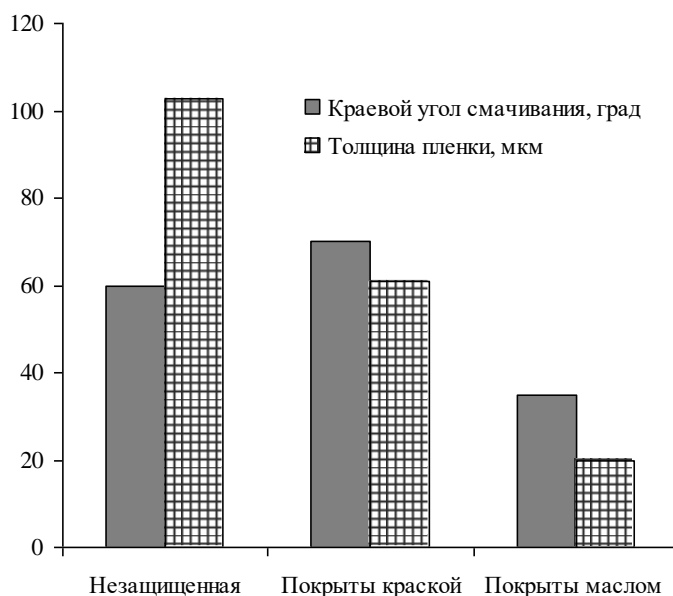


Рис. 2. Зависимость краевого угла смачивания и толщины водяной пленки от типа защиты стальной пластины

Полученные результаты свидетельствуют о неоднозначной взаимосвязи этих двух показателей. Данные для незащищенных пластин нарушают линейную связь, что свидетельствует о сложном характере воздействия сил адсорбции. Необходимо отметить также наблюдаемую неравномерность пленки влаги для поверхностей пластин, покрытых маслом и краской.

Выполнены исследования по определению толщины пленки влаги, образующейся на пластине при окунании в растворы, содержащие наиболее коррозионно-агрессивные по отношению к стали ионы серных соединений и хлора. Для этого незащищенные пластины окунали в растворы электролитов в течение 3 секунд и взвешивали с пленкой через 1 минуту.

В таблице 2 представлены полученные результаты, которые свидетельствуют, что в пределах исследованных концентраций KCl достоверных различий в толщине пленки влаги не отмечается. Для растворов H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> повышение концентрации приводит к уменьшению толщины пленки влаги на пластинах. Отмеченное различие в значениях толщины пленки влаги в использованных растворах может быть объяснено различной степенью гидратации ионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Таблица 2

Значения толщины пленки влаги на пластинках после окунания в растворы электролитов

Растворы	Толщина пленки влаги, мкм
0,01 % KCl	65
0,25 % KCl	63
0,01 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	81
0,25 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	74
0,5 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	67

Дальнейшие исследования выполнены для условий конденсации влаги, что наблюдается в атмосферных условиях при воздействии туманов и выпадении росы на металле. Такие условия нами идентифицированы с помещением пластин в термовлагокамеры, используемые для испытаний консервационных материалов по ГОСТ 9.054. Испытания проводились при двух температурных режимах камеры: 20 и 40 °С, и относительной влажности 95...100 %, при этом время выдержки в камере составляло 0,5; 1; 2; 3 и 6 часов. Коррозию пластин оценивали по потере массы стали за время экспозиции.

Прежде всего отметим, что значения толщины пленки в условиях конденсации существенно меньше, чем при дождевании и окунании пластины. В этом случае пленка имеет неравномерную структуру, со временем на пластине появляются отдельные образования в виде капель. Установлено, что время экспозиции пластины и температура в камере влияют на толщину пленки (рис. 3).

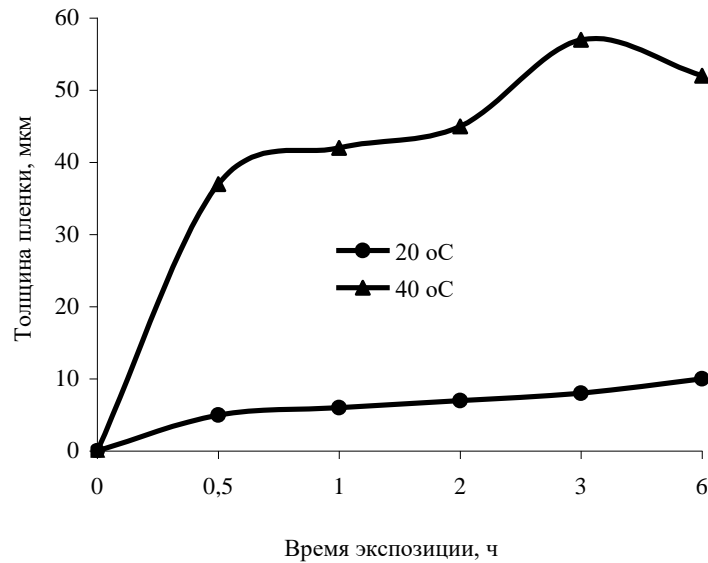


Рис. 3. Зависимость толщины водяной пленки на пластинах в термовлагокамере от времени экспозиции

На рисунке 4 представлен совмещенный график, отображающий связь толщины водяной пленки на пластинах в термовлагокамере при 40 °С и их коррозионного поражения.

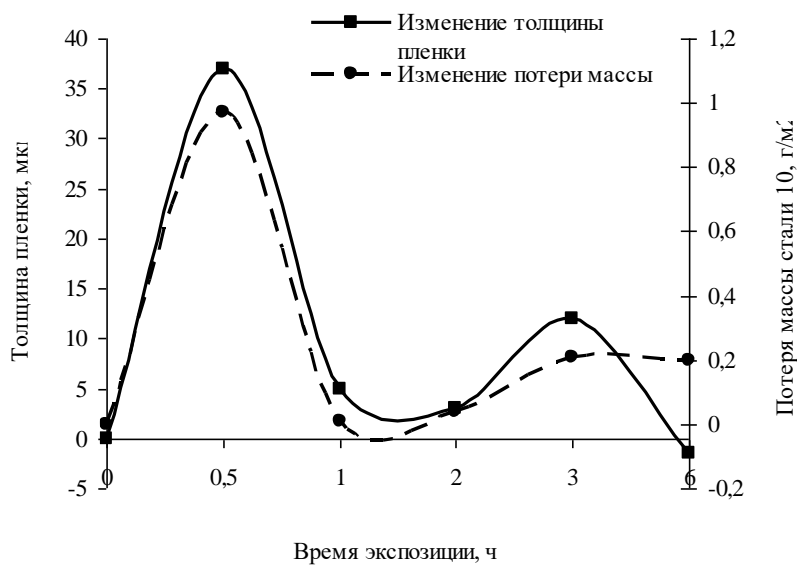


Рис. 4. Изменение толщины водяной пленки и потери массы пластины в зависимости от времени экспозиции

Как видно на представленных рисунках, с увеличением времени экспозиции пластин в камере наблюдается рост толщины пленки влаги, причем он наиболее интенсивен до 1 часа экспозиции. Кроме того, тенденция роста коррозионного поражения стали во времени совпадает с тенденцией роста толщины пленки влаги.

**Заключение.** Результаты исследований показали, что максимальное значение толщина пленки влаги имеет при дождевании испытуемых пластин, и этот показатель находится в пределах 300...800 мкм, в зависимости от состояния поверхности пластин.

При окунании пластин в воду и растворы электролитов значения толщины пленки влаги значительно меньше и составляют 20...100 мкм.

При помещении пластин в термовлагокамеру наблюдается наименьшая толщина пленки влаги, при этом ее значение существенным образом зависит от времени экспозиции пластин.

Установлено, что толщина пленки влаги существенным образом зависит от температуры среды: с повышением температуры ее значение уменьшается, что можно объяснить ослаблением структурных связей в слое влаги за счет увеличения хаотического движения молекул воды.

Показано, что при окунании испытуемых пластин в растворы, содержащие коррозионно-агрессивные ионы хлора и соединения серы, толщина пленки уменьшается с повышением концентрации этих ионов в растворе за счет ослабления сил поверхностного натяжения при взаимодействии их с твердой поверхностью. При этом отмечается, что для растворов серной кислоты значения толщины пленки влаги на 25...30 % больше, чем для раствора KCl, что объясняется более высокими значениями гидратации ионов  $SO_4^{2-}$ .

Показано, что тенденция роста коррозионного поражения стальной пластины во времени совпадает с таковой для толщины пленки влаги в этих условиях.

Полученные значения толщины пленки влаги на металлических поверхностях различных вариантов их защиты использованы для расчетов продолжительности увлажнения поверхности металлов в различных условиях их эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, Е.С. Ингибиторы коррозии металлов / Е.С. Иванов, С.С. Иванов // Новое в жизни, науке, технике. Сер. Химия. – М., 1980. – № 6. – С. 64.
2. Розенфельд, И.А. Атмосферная коррозия металлов / И.А. Розенфельд. – М., 1960. – 372 с.
3. Томашов, Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н.Д. Томашов. – М., 1960. – 591 с.
4. Берукштис, Г.К. Коррозионная устойчивость металлов и металлических покрытий в атмосферных условиях / Г.К. Берукштис, Г.Б. Кларк. – М., 1971. – 162 с.
5. Голубев, А.И. Расчет увлажнения и коррозии металлов в атмосферных условиях: тр. III Междунар. конгресса по коррозии металлов / А.И. Голубев, М.Х. Кадыров. – М., 1963. Т. IV. – С. 531 – 540.
6. Писаренко, А.П. Курс коллоидной химии / А.П. Писаренко, К.А. Посиелова, А.Г. Яковлев. – М., 1964. – 347 с.

Поступила 30.10.2007