

УДК 539.3: 624.014

**Н.М. Якупов** – доктор технических наук, профессор кафедры строительной механики, заведующий лабораторией ИММ КазНЦ РАН

**А.Р. Нургалиев** – младший научный сотрудник

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН

## О ВЛИЯНИИ ДЕФЕКТОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕМБРАН, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

Знание закономерностей коррозионного износа помогает при проектировании конструкций, а также при подборе защитных покрытий. На поверхности металла, находящегося в агрессивной среде, образуется тонкая пленка – природная защитная пленка. Для исследования данного явления была создана экспериментальная установка ДМК-1 и разработан экспериментально-теоретический подход. Приведены результаты одной серии экспериментов.

Защита от коррозионного разрушения элементов конструкций и сооружений, работающих при интенсивных механических воздействиях, является одной из важнейших задач современности. Определение закономерностей коррозионного износа позволяет проводить осмысленное проектирование конструкций и сооружений, правильно их эксплуатировать, а также разрабатывать способы защиты конструкций от коррозионного износа, в том числе правильно подбирать защитные покрытия. Все это позволяет предотвращать техногенные катастрофы

и решать экологические проблемы, а также дает возможность значительно снижать потери от коррозионного износа.

Согласно электрохимической теории коррозионного износа, характерная поляризационная кривая, характеризующая зависимость скорости  $i$  анодного растворения от величины анодного потенциала  $j$ , имеет вид сплошной линии, приведенной на рис.1.

В начальный период на поверхности металла, находящегося в агрессивной среде, образуется тонкая пленка – природная защитная пленка. Эту пленку обычно называют пассивирующим слоем [1-3]. Пассивирующий слой до достижения определенного потенциала  $j_{III}$  является изолирующим слоем, предотвращающим развитие коррозионного процесса. При достижении определенного потенциала  $j = j_{III}$  (рис. 1) пассивирующий слой разрушается и начинается бурное коррозионное разрушение.

В элементах металлических конструкций, которые воспринимают различные нагрузки, возникают

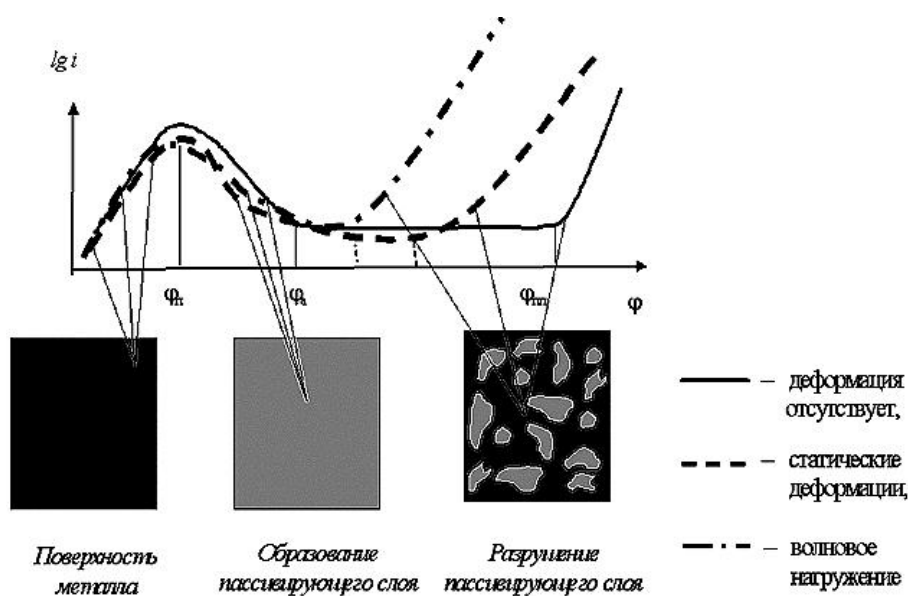


Рис. 1. Зависимость скорости анодного растворения металла  $i$  от потенциала  $j$

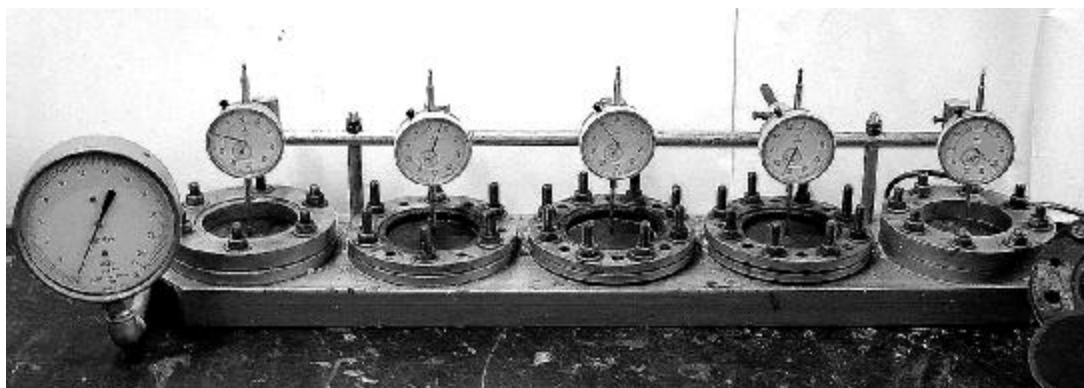


Рис. 2. Экспериментальная установка ДМК-1

деформации. При этом состояние пассивирующего слоя становится еще более нестабильным, он разрушается при меньших значениях потенциала  $j_{III}$  [1-3].

Особо значительный вклад вносит в этот разрушительный процесс волновое воздействие, постоянно разбивая природную защитную пленку на отдельные островки (рис. 1). В результате этого вновь начинается активный коррозионный процесс. Наибольшую опасность для конструкций представляют случаи, когда одновременно имеет место два и более источника разрушения: концентраторы напряжений + коррозия; волновые явления + коррозия, концентрация напряжений + волновые явления + коррозия.

Для более детального исследования этих явлений разработан эффективный экспериментально-теоретический подход исследования металлических мембран, подвергаемых коррозионному износу под воздействием нагрузки [2-4].

Для исследования процесса коррозионного износа под нагрузкой создана экспериментальная установка ДМК-1 [2-5]. Установка ДМК-1 (рис. 2) позволяет производить замеры прогибов испытываемых образцов круглой формы, закрепленных по контуру, находящихся в коррозионной среде и подвергаемых воздействию

равномерным давлением воздуха. Также установка позволяет наблюдать за процессом деформирования мембраны. Установка ДМК-1 внедрена в научно-исследовательскую практику в ИММ КазНЦ РАН.

На этапе обработки экспериментальных результатов используются, в частности, соотношения для гибких упругих мембран и гибких мембран при пластических деформациях.

Некоторые полученные результаты с использованием экспериментально-теоретического подхода были применены для анализа состояния конструкции крупногабаритной градирни СК-1200 и учтены в практических разработках [6-13].

Проведены исследования влияния поверхностных дефектов на механические характеристики мембран, подверженных механическому воздействию и находящихся в коррозионной среде. В частности, рассмотрены образцы с дефектами в виде царапин (рис. 3) и вмятин (рис. 4).

Были подготовлены образцы из листового железа марки Сталь 3, толщиной материала 0,5 мм и диаметром 115 мм (диаметр рабочей части  $D_{раб}=105$  мм). Рассмотрены пять образцов: один образец бездефектный; два образца, имеющие дефекты

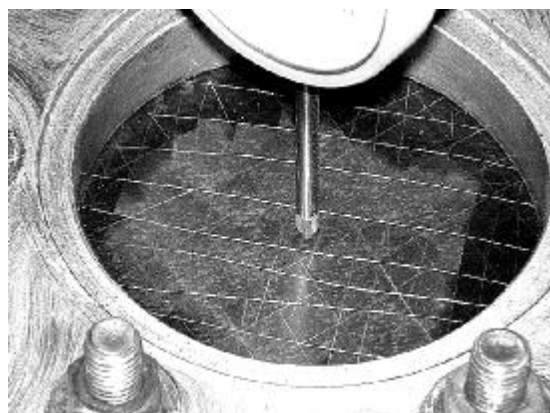


Рис. 3. Образец с дефектами в виде царапин

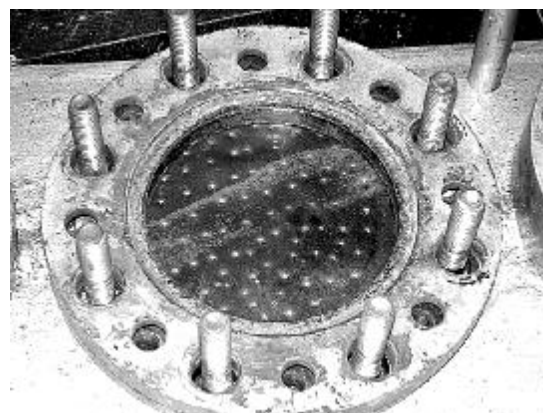


Рис. 4. Образец с дефектами в виде вмятин



в виде царапин; два образца, имеющие дефекты в виде вмятин. Царапины были нанесены в виде сетки острым предметом (гвоздем) с частотой 10-12 мм и глубиной около 0,01 мм. Вмятины были нанесены с частотой одна вмятина на 1 см<sup>2</sup> острым предметом (гвоздем) диаметром около 1,2 мм на глубину 1 мм. Образцы были закреплены с использованием резиновых прокладок на соответствующих гнездах экспериментальной установки. Полость, образованная верхними поверхностями образцов №№ 2-3 и соответствующими зажимными кольцами, была залита агрессивной средой до такого уровня, чтобы верхние поверхности образцов всегда находились под агрессивной средой. В качестве агрессивной среды использовалась 10% известь хлорная.

Все образцы были подвержены одностороннему нагружению давлением сжатого воздуха, подаваемого от компрессора на нижние поверхности образцов, то есть все образцы испытывались под одинаковым давлением. Подаваемое давление поддерживалось около 0,3 МПа (вследствие невозможности обеспечения полной герметизации давление несколько падало, поэтому проводилась регулярная подпитка до 0,3 МПа). Общая продолжительность эксперимента составила 1536 часов (начало 6 марта 2006 года). В течение эксперимента снимались показания высоты подъема купола образцов. Толщина образцов, подверженных коррозионному износу, в конце эксперимента составила 0,45 мм.

Построены графики изменения прогиба от времени, которые приведены на рис.5. Проведен анализ результатов. Минимальные прогибы более чем в 5-6 раз превышают исходные толщины образцов. То есть имеют место большие прогибы – геометрически нелинейный случай. Следует отметить также, что при снятии нагрузки прогибы существенно не изменились, что говорит о необратимых пластических деформациях. В связи с этим для обработки экспериментальных данных применялись физически нелинейные соотношения.

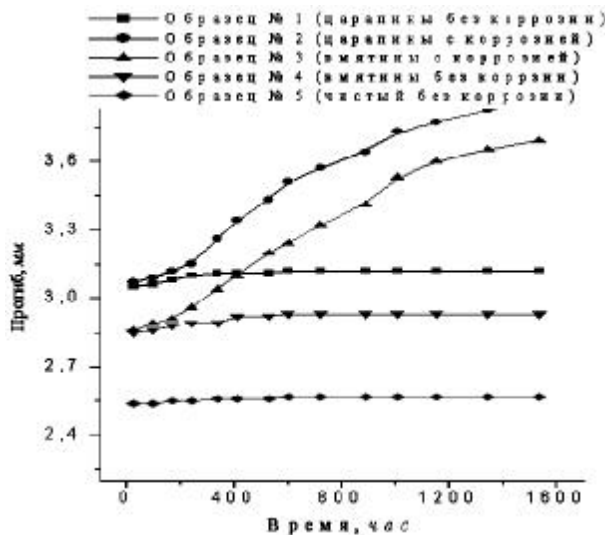


Рис. 5. Зависимость максимального прогиба образцов от времени

В начальный период эксперимента (до 200-250 часов) коррозионный износ идет очень медленно, практически отсутствует (рис. 5). Незначительное увеличение в этом диапазоне времени объясняется податливостью уплотняющих резиновых колец и небольшими перепадами подаваемого давления. Практическое отсутствие коррозионного износа в начальный промежуток времени можно объяснить, опираясь на электрохимическую теорию коррозионного износа. Вычислены также условные модули упругости при пластических деформациях. Изменение условных модулей упругости приведено на рис. 6.

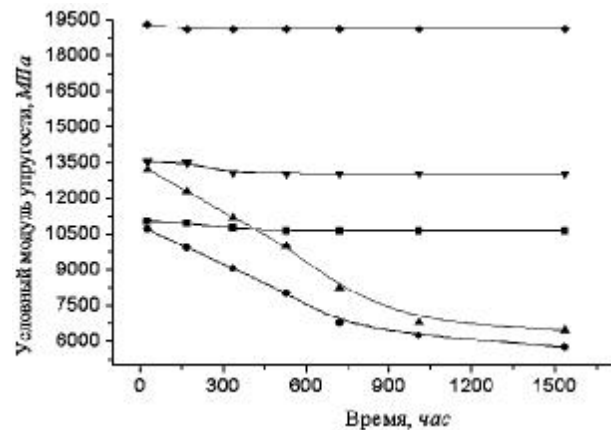


Рис. 6. Изменение условных модулей упругости

Разработанный экспериментально-теоретический метод, установка ДМК-1, а также некоторые полученные эффекты включены в «Отчет о деятельности Российской академии наук в 2006 году. Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук» [14].

*Работа выполняется в рамках программы фундаментальных исследований ОЭМППУ РАН, координатор программы – академик РАН Горячева И.Г.*

### Литература

1. Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Коррозия – союзник аварий и катастроф. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 93 с.
2. Низамов Х.Н., Сидоренко С.Н., Якупов Н.М. Прогнозирование и предупреждение коррозионного разрушения конструкций. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 355 с.
3. Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та, 2006. – С.160-161.
4. Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов Н.М.



- Исследование механических характеристик металлических мембран в процессе коррозионного износа // Труды XXI Международной конференции по теории оболочек и пластин. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та, 2005. – С.176-179.
5. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ испытаний образцов металлических мембран под напряжением и устройство для его осуществления. Решение о выдаче патента РФ по заявке № 2004116460 на изобретение. МПК G01N17/00, 2006.
  6. Нургалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н. Определение деформационных характеристик мембран с дефектами // Тр. Математического центра им. Н.И. Лобачевского. Т.28. Модели механики сплошной среды. – Казань: Изд-во Казан. матем. об-ва, 2004. – С.160-163.
  7. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р. О состоянии строительных конструкций градирен СК-1200 и способах их усиления // Актуальные проблемы механики сплошной среды. – Казань: ИММ КазНЦ РАН, Изд-во КГУ, 2004. – С.119-128.
  8. Предотвращение разрушения промышленных сооружений и снижение загрязнения ими окружающей среды: Отчет о деятельности РАН в 2004 году. Важнейшие итоги. – М.: Наука, 2005. – С.31.
  9. Предотвращение разрушения промышленных сооружений и снижение загрязнения ими окружающей среды: Отчет о деятельности РАН в 2004 году. Основные исследования и разработки, готовые к практическому применению. – М.: Наука, 2005.
  10. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Состояние конструкций градирен и предотвращение их разрушения. // Проблемы энергетики, 2006, № 7-8. – С. 36-42.
  11. Нургалиев А.Р., Якупов Н.М. Исследование механических характеристик тонкостенных элементов конструкций, подверженных коррозионному износу и находящихся под воздействием нагрузки // Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 15-летию ИММ КазНЦ РАН. – Казань, 2006. – С.244-254.
  12. Якупов Н.М. Лаборатория нелинейной механики оболочек: история и разработки последних лет, Казань: ИММ КазНЦ РАН, 2006. – 98 с.
  13. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Усиление металлической части конструкции крупногабаритной градирни СК-1200 / Национальная конференция по теплоэнергетике. Материалы докладов. – Казань, 2006. – С.43-46.
  14. Отчет о деятельности Российской академии наук в 2006 году. Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук. – М.: Наука, 2007. – С.62.