

УДК 539.3+624.014

Р.Р. Кантюков, к.т.н., зам. главного инженера, ООО «Газпром трансгаз Казань»; С.Н. Якупов, к.т.н., старший научный сотрудник, Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ И ИХ АДГЕЗИИ К ПОДЛОЖКЕ

Некоторые проблемы повышения безопасности и надежности, возникающие при эксплуатации трубопроводов, рассмотрены в статье [1]. Одной из важных проблем является проблема покрытий. Покрытия в системе «трубопровод – покрытие» позволяют на некоторое время изолировать трубопровод от внешних воздействий, в частности от коррозионного износа, и увеличить тем самым срок службы трубопровода.

Создаются различные покрытия и связующие (адгезионные) компоненты, которые, как любые материальные объекты, характеризуются определенными физико-механическими характеристиками. Развиваются также технологии формирования изоляционного покрытия в системе «трубопровод – покрытие», которые также существенно влияют на адгезионные свойства и механические характеристики покрытия. Исходя из функционального назначения и требуемого качества разрабатываются непосредственно на поверхности трубопровода композиционные покрытия сложной структуры – так называемые материал-конструкции, имеющие цилиндрическую или тороидальную форму. Определение механических характеристик композиционных покрытий, созданных непосредственно на поверхности трубопровода, то есть имеющих цилиндрическую или тороидальную форму, представляет собой сложную задачу. Решение проблемы определения механических характеристик плоских и сферических мембран и покрытий, а также вопросы адгезии рассмотрены, в частности, в [2–12].

Сложность структуры покрытия трубопровода возникает также вследствие появления дефектов (царапин, трещин и др.) в процессе эксплуатации, в результате физического, механического, биологического и химического воздействия окружающей среды, а также под воздействием физических полей.

Ключевые слова: адгезив, подложка, покрытие, сила отрыва, пленка, коррозионный износ, экспериментально-теоретический метод.

Свойства покрытий могут изменяться в широких пределах. Они зависят от природы и типа продукта, от структуры материала и режима изготовления и переработки, от молекулярной массы и ориентации макромолекул и наполнителей, от внутреннего напряжения и содержания влаги и т.д. При этом жесткость покрытий, например даже однородных полиуретановых, простирается от упругости высокоэластичных мягких резин до

твердости жестких пластиков, для которых твердость по Шору может изменяться от 15 по шкале А до 60 по шкале D. Модуль упругости может изменяться от 10 до 10 000 МПа. В процессе эксплуатации трубопровода с изоляционным покрытием покрытие взаимодействует с внешней средой, воспринимает воздействие физических полей, подвергается совместно с трубопроводом механическим деформациям. При этом существенно

меняются механические характеристики изоляционного покрытия, а также адгезионные характеристики покрытия к трубопроводу. В результате покрытие отслаивается от трубопровода и приходит в негодность.

При выборе покрытия для трубопровода и технологии его нанесения возникают вопросы, связанные с определением: адгезии покрытия к трубопроводу; необходимой толщины и характеристик покрытия;



срока службы покрытия и адгезионного составов в зависимости от окружающей среды трубопровода, деформации поверхности трубопровода, воздействующих физических полей и т.д.

Вопросы воздействия магнитного поля, ультрафиолетового излучения и механической деформации на процесс коррозионного износа рассмотрены, в частности, в [13–18]. Для оценки срока службы используемых и новых материалов покрытия и адгезионных компонент, а также новых технологий их нанесения необходимо провести серию исследований. Существующие подходы определения механических характеристик покрытий на базе одноосного испытания полос практически неприменимы (малоэффективны) для цилиндрических и тороидальных покрытий со сложной структурой, для покрытий «материал – конструкция».

Определение адгезии к трубопроводу на базе существующих измерителей адгезии малоэффективно, трудно обеспечить идентичность замеров в процессе изучения влияния среды, деформации поверхности и физических полей.

В связи с этим возникает необходимость разработки экспериментально-теоретического подхода, включающего создание экспериментальной установки для исследования механических характеристик покрытий сложной структуры и их адгезии к подложке в двумерной постановке в



системе «труба – покрытие». При этом на теоретическом этапе необходимо разработать численную модель изоляционного покрытия в системе «труба – покрытие» и получить необходимые зависимости для оценки изменения механических характеристик покрытий и адгезии покрытия на трубопроводе в зависимости от толщины покрытия, от факторов воздействия различных полей, включая деформационное поле, наличие различных сред и т.д.

Далее необходимо провести комплексные исследования и получить модели влияния тех или иных параметров на исследуемые характеристики. В частности, необходимо разработать модели покрытия для исследования механических характеристик покрытия цилиндрической и тороидальной форм; зависимости для оценки изменения механических характеристик покрытий и адгезии покрытия на трубопроводе в зависимости от толщины покрытия, от факторов воздействия различных полей, включая деформационное поле, наличия различных сред.

Решения поставленных задач необходимы: при выборе того или иного покрытия для проведения ремонтных работ на определенном объекте, то есть для оценки качества приобретаемого покрытия и технологии его реализации в зависимости от условий работы трубопровода; для определения состояния покрытия трубопровода, находящегося под воздействием различных сред и полей, включая деформационное поле, что крайне важно для прогнозирования работоспособности покрытия и принятия решения о необходимости выполнения соответствующих работ, например срочного ремонта.

О НОВИЗНЕ ЗАДАЧИ

Невозможно исследовать стандартным одноосным способом механические характеристики покрытий цилиндрической и тороидальной форм, имеющих сложную структуру и различные дефекты. Не всегда эффективны методы индентирования, позволяющие судить о свойствах материала в окрестности рассматриваемой точки. Трудно, а порой и невозможно численно смоделировать поведение покрытия (материал-конструкция), имеющих сложную структуру и дефекты. Возникают трудности при описании сложной структуры и на квантово-молекулярном уровне. Становится актуальной проблема определения механических характеристик тонких сложных структур цилиндрической формы с различными дефектами, а

также исследование изменения их механических свойств от воздействия внешних факторов. Возникает необходимость создания инструмента для таких исследований. Существующие измерители адгезии имеют свои недостатки и не всегда эффективны, а иногда просто неприменимы.

Новизна решаемой задачи состоит в развитии в двумерной постановке экспериментально-теоретического метода исследования механических характеристик цилиндрических и тороидальных мембран (покрытий) со сложной структурой и с дефектами, а также адгезии покрытия к трубопроводу в системе «покрытие – трубопровод».

О ЗАДЕЛЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Разработан экспериментально-теоретический метод исследования механических характеристик плоских и сферических тонких пленок, мембран, покрытий и различных композиций сложной структуры, основы которого опубликованы [2–12]. Исследованы вопросы воздействия физических полей на процесс коррозионного износа [13–18]. Разработаны способы определения адгезии пленки к плоской подложке на базе двумерного подхода [19–21]. На теоретическом этапе можно использовать наряду с известными методами сплайновый вариант метода конечных элементов для

расчета элементов конструкций трехмерными элементами [22].

По данной теме в рамках Программы Президиума РАН и Программы № 13 ОЭММПУ РАН выполнены следующие разработки:

1) способ определения прочностных свойств тончайших пленок и нанопленок и устройство для его осуществления (Золотая медаль Международного салона «Архимед-2011»);

2) подход исследования механических свойств тонких покрытий (Диплом II степени с вручением Серебряной медали XIX Международной выставки-конгресса «Высокие технологии (Hi-Tech)», 2013 г., Санкт-Петербург).

Литература:

- Кантюков Р.А., Якупов Н.М., Тамеев И.М., Якупов С.Н., Кантюков Р.Р. О проблемах повышения безопасности и надежности, возникающих при эксплуатации трубопроводов, о моделях коррозионного износа // Газовая промышленность. 2012. № 9. С. 14–18.
- Галимов Н.К., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Экспериментально-теоретический метод определения механических характеристик сферических пленок и мембран со сложной структурой // Механика твердого тела. 2011. № 3. С. 58–66.
- Якупов С.Н. Механические характеристики тонких покрытий из оксида титана в системе «покрытие – полимерная пленка» // Механика композиционных материалов и конструкций. 2010. Т. 16. № 3. С. 436–444.
- Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Якупов С.Н., Методология исследования механических характеристик тонких пленок и нанопленок // Вестник машиностроения. 2009. № 6. С. 44–47.
- Якупов Н.М., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Методика испытания пленок и мембран в условиях равномерного распределенного поверхностного давления // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2008. Т. 74. № 11. С. 54–56.
- Yakupov N.M., Yakupov S.N. Definition of mechanical characteristics of films with the pores, nanoinclusions and nanocoatings. The second Nanotechnology International Forum. Moscow, Rusnanotech, 2009. P. 344–346.
- Yakupov S.N. Way of definition of mechanical characteristics of thin coverings in system «the covering – the substrate». The Second International Competition of Scientific Papers in Nanotechnology for Young Researchers. Moscow, Rusnanotech, 2009. P. 439–440.
- Якупов С.Н., Якупов Н.М. Исследование систем «подложка – покрытие» // Механика наноструктурированных материалов и систем: Сборник трудов 2-й Всероссийской конференции (17–19 декабря 2013 г., Москва) / Под ред. проф., д.т.н. Ю.Г. Яновского. М., 2014. Т. 1. С. 112–121.
- Якупов Н.М., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств покрытий, включая нанопокртия // Важнейшие исследования и разработки научных учреждений РАН в 2011 г., готовые к практическому применению. Раздел 5.4. Технологии диагностики наноматериалов и наноустройств. М., 2012. С. 87.
- Якупов Н.М., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств покрытий, включая нанопокртия // Важнейшие исследования и разработки научных учреждений РАН в 2008–2012 гг., готовые к практическому применению. М., 2013. С. 87–88.
- Якупов С.Н. К исследованию адгезии пленки к подложке // Труды VI Международной конференции «Инженерные системы – 2013». М.: РУДН, 2013. С. 44–49.
- Якупов С.Н., Якупов Н.М. Оценка адгезионных свойств пленки к подложке // Труды 11-й Международной конференции. 6–8 мая 2013 г. СПб.: Изд-во Политехнич. ун-та, 2013. С. 87–89.
- Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of a Magnetic Field on Corrosive Wear. Doklady Physics, 2012, Vol. 57, No. 3, pp. 104–106.
- Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние магнитного поля на коррозионный износ // Доклады АН. 2012. Т. 443. № 2. С. 173–175.
- Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние ультрафиолетового излучения на коррозионный износ стальных образцов // Доклады АН. 2012. Т. 446. № 6. С. 624–626.
- Yakupov N.M., Giniyatullin R.R., Yakupov S.N. Effect of Ultraviolet Radiation on the Corrosive Wear of Steel Samples. Doklady Physics, 2012, Vol. 57, No. 10, pp. 393–395.
- Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние характера деформирования поверхности элементов конструкции на коррозионный износ // Проблемы прочности. 2012. № 2. С. 76–84.
- Якупов Н.М., Гиниятуллин Р.Р., Якупов С.Н. Влияние направления силовых линий магнитного поля Земли на коррозионный износ // ДАН. 2015. Т. 463. № 6. С. 684–686.
- Якупов С.Н. Исследование адгезии пленки к подложке // Труды VII Всероссийской (с международным участием) конференции по механике деформируемого твердого тела. 15–18 октября 2013 г. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. Т. II. С. 249–253.
- Способ определения адгезии пленки к подложке: патент на изобретение РФ № 2421707.
- Способ определения адгезии пленки к подложке. Заявка на изобретение РФ 2014145390/28(073167).
- Якупов Н.М., Киямов Х.Г., Якупов С.Н., Киямов И.Х. Моделирование элементов конструкций сложной геометрии трехмерными конечными элементами // Механика композиционных материалов и конструкций. 2011. Т. 17. № 1. С. 145–154.