

УДК 678.019.34

Свойства полимерных антифрикционных покрытий в кислых средах

В. А. Кохановский, В. В. Рубанов, И. Б. Власенко

(Донской государственной технической университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований адгезионной прочности и ползучести полимерных композиционных покрытий в кислых водных средах.

Ключевые слова: антифрикционные полимерные композиты, кислые водные среды, адгезионная прочность, деформация ползучести.

Введение. Полимерные самосмазывающиеся покрытия на основе фторопластовых волокон часто используются в различных химически активных средах. Это подшипники насосов при производстве синтетических материалов, перекачки различных моющих, охлаждающих и других сред.

Рассматриваемые антифрикционные полимерные покрытия представляют собой гибридный композит, состоящий из фенольной матрицы и армирующей компоненты в виде технической ткани из фторопластовых нитей «полифен» и полиимидных нитей «аримид Т» [1].

Определяющей особенностью структуры и состава рассматриваемых антифрикционных композитов является наличие в армирующем каркасе фторопластовых нитей «полифен». Имея практически нулевую адгезию к матричному связующему, эти нити образуют целую сеть микроканалов в переходном слое с матрицей как в сечении самого композита, так и в зоне контакта с субстратом (рис. 1).

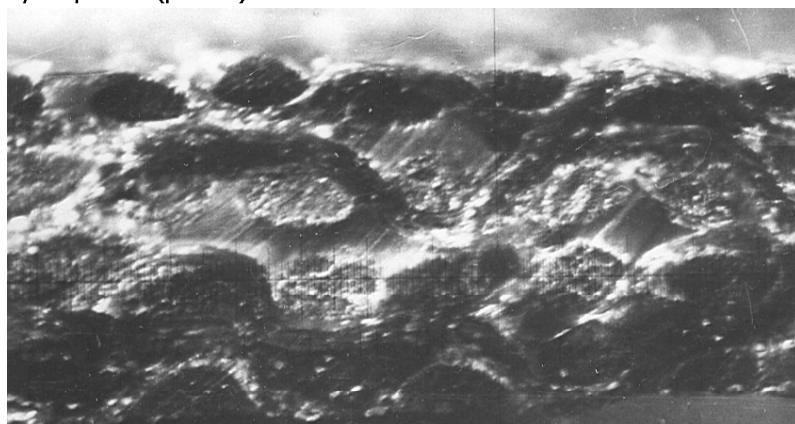


Рис. 1. Сечение полимерного композита (×60)



Рис. 2. Испытания на ползучесть в водных средах

Благодаря имеющемуся тканному армирующему каркасу когезионная прочность покрытий значительно превышает адгезионную. В связи с этим, а также учитывая возможность подслоной коррозии при использовании стального субстрата, первостепенное значение приобретает адгезионная прочность покрытий.

Кроме того, проникая в поры и микронесплошности композита в результате капиллярных эффектов, а также диффундируя в вязкоупругую матрицу, активные среды существенно снижают весь комплекс эксплуатационных свойств покрытия. В первую очередь это проявляется в увеличении деформации ползучести, вносящей заметный вклад в формирование зазора трибосопряжения, определяющего его ресурс.

Таким образом, экспериментальные исследования интенсификации ползучести покрытия и снижения его адгезионной прочности представляются интересными и актуальными.

Методика исследований. Перед испытаниями образцы исследуемых покрытий на стальном субстрате выдерживались в водных кислых буферных растворах, являющихся моделями различных технологических сред, при экспозиции 120 часов. Сами испытания также выполнялись непосредственно в активных средах (рис. 2).

В качестве сквозного параметра, характеризующего свойства водных сред, был выбран водородный показатель pH. Он варьировался в пределах от 1,68 (концентрированная кислая среда) до 7,0 (дистиллированная вода).

Образцы покрытия изготавливались из препрега на основе полутораслойного шестиремизного неправильного атласа средней толщиной 0,63 мм.

Адгезионная прочность покрытий оценивалась по величине прочности на неравномерный отрыв при угле 180° на машине для испытания текстильных материалов модели РТ250М-2.

Стойкость рассматриваемых покрытий в химически активных средах исследовалась на высокоточном комплексе для механических испытаний модели TIRA test 2850 фирмы DOLI. Этот комплекс представляет собой универсальную испытательную машину с механическим приводом, управляемую электронной системой EDC-120, которая имеет интерфейс с персональным компьютером, позволяющий в диалоговом режиме выполнять необходимые настройки параметров испытаний.

Все эксперименты планировались по многофакторным планам, а их результаты обрабатывались статистически.

Экспериментальные результаты. Результаты исследования прочности антифрикционных покрытий на неравномерный отрыв после экспозиции в средах с различным pH приведены на рис. 3.

Для интерполяционных расчётов получена регрессионная модель

$$P = 2,63t^{-0,365}, \quad (1)$$

где P — прочность на отслаивание при 180°, кН/м; t — время экспозиции, 10^{-2} час.

Средняя погрешность модели равна 4,3 %.

Известно, что концентрированные кислоты плохо реагируют с металлами, вызывая лишь пассивацию их поверхности, а разбавленные кислоты растворяют металл.

Для изучения влияния на адгезионную прочность связующего различной величины водородного показателя проведены дополнительные специальные исследования (см. рис. 4).

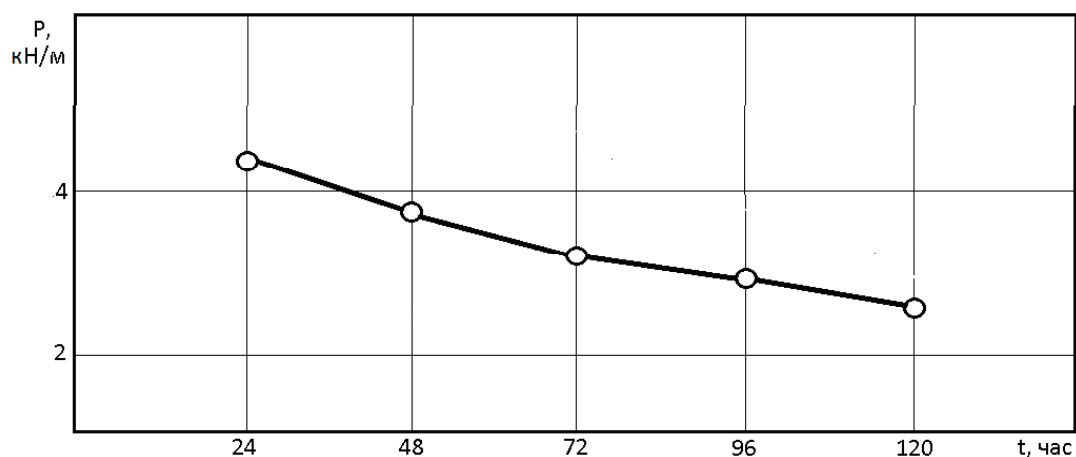


Рис. 3. Влияние времени экспозиции и водородного показателя среды на адгезионную прочность покрытий в кислой среде (pH = 1,68)

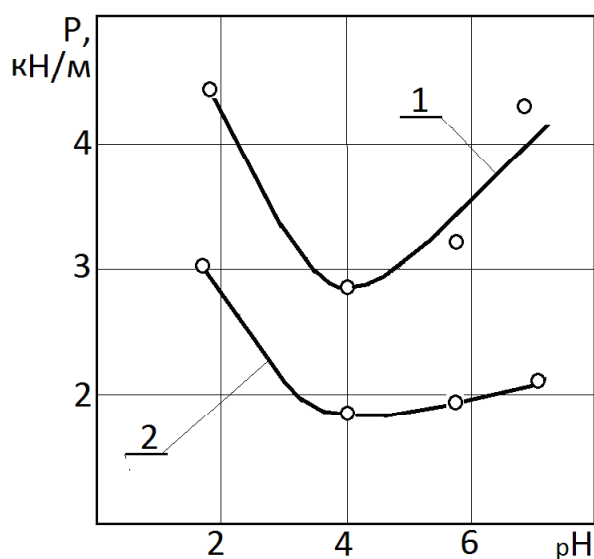


Рис. 4. Влияние водородного показателя водной среды на адгезионную прочность покрытия: 1 — 24 часа; 2 — 120 часов

Анализ графиков показывает чёткий минимум адгезионной прочности для относительно слабых водных растворов при величине $\text{pH} \approx 4$. Причём снижение прочности происходит в результате подслоного травления и окончательного (не восстанавливающегося после высыхания) разрушения водородных связей.

Итоговая оценка влияния активных водных сред выполнялась по коэффициенту остаточной адгезионной прочности, определяемому отношением текущей адгезионной прочности $P_{\text{сред}}$ к исходной, найденной в условиях обычной атмосферы P_0 ,

$$K = (P_{\text{сред}} / P_0) 100 \% \quad (2)$$

Исследования влияния водных сред на коэффициент остаточной прочности в связи со значительной кривизной поверхности отклика осуществлялись по квадратичному экспериментальному плану. Полученная регрессионная модель имеет следующий вид:

$$K = 61,273 - 2,265(\text{pH}) - 20,673t - 1,884(\text{pH})t + 0,371(\text{pH})^2 - 2,242t^2 \quad (3)$$

Модель адекватна, обеспечивает среднюю погрешность в 4,8 %, а наибольшую — 8,8 %. Зависимость адгезионной прочности покрытий в исследованном диапазоне нелинейна.

Знание величины остаточной адгезионной прочности позволяет установить область работоспособности фторопластсодержащих композиционных покрытий.

При исследовании ползучести покрытий в связи с их малой толщиной измерения деформации осуществлялись по траверсному пути машины TIRA test. Начальные участки диаграмм возрастания нагрузки (рис. 5), снятые непосредственно с испытательной машины, имеют горизонтальный участок, вызванный смятием поверхностного «ворса» ткани, и осцилляции, связанные, по-видимому, с выжиманием жидкости из пор покрытия. Через ≈ 10 с скорость роста силы уменьшается, что говорит о начале процесса деформации.

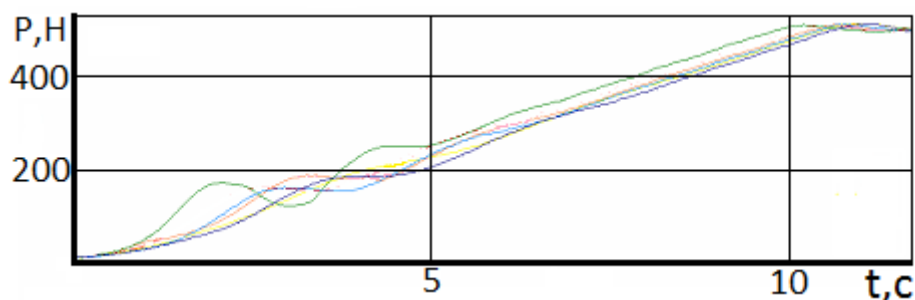


Рис. 5. Начальные участки зависимостей силы от времени нагружения

Примеры диаграмм ползучести образцов за первые 30 минут испытания даны на рис. 6. Здесь розовая точка обозначает начальный момент нарастания нагрузки, а зелёная — фиксацию нагрузки и начало ползучести. Таким образом, полученные графики иллюстрируют суммарную вязкоупругую деформацию.

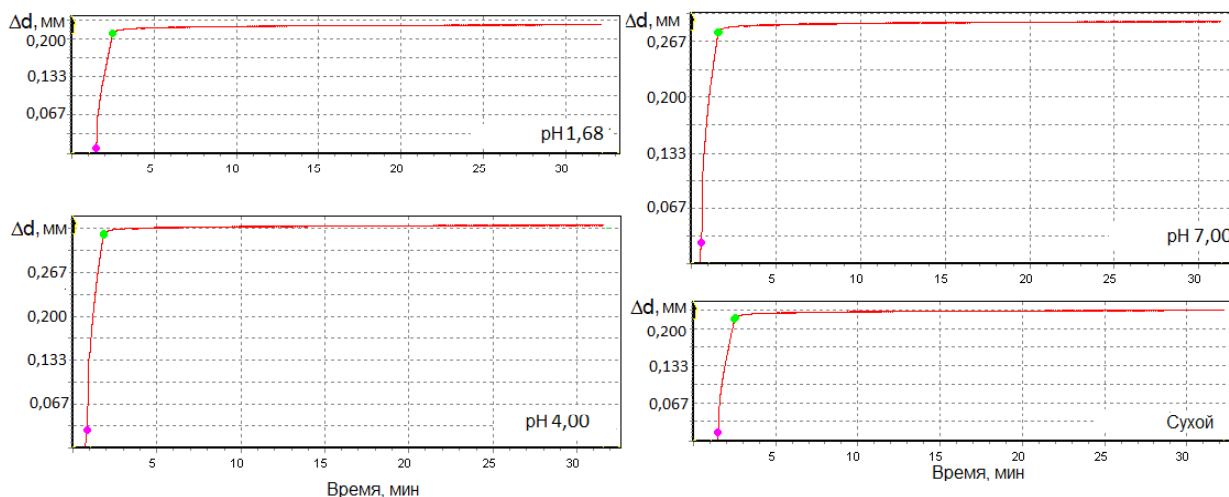


Рис. 6. Зависимости вязкоупругой деформации от времени (100 МПа)

Для количественного описания явления ползучести при постоянной нагрузке использовалась известная модель «типичного тела» [2].

$$\varepsilon(t) = \sigma \cdot \left[\frac{1}{E_\infty} - \left(\frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0} \right) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right], \quad (4)$$

где E_0 — так называемый мгновенный модуль упругости, E_∞ — при бесконечном времени испытания на ползучесть, τ — постоянная времени.

Таблица 4

Зависимость модулей $E_0 / E_{\text{ср}}$ МПа, от напряжений сжатия σ и водородного показателя pH для композита

Напряжения сжатия, МПа	Сухой материал	pH химически активной среды		
		1,8	4,0	7,0
5	20,6	17,2	11,6	28,5
	18,2	15,9	10,6	25,9
50	113,6	112,4	74,1	108,7
	103,6	102,6	67,8	98,5
100	250	263	147	202
	227	232	139	187

Анализ представленных графиков показывает, что материал при больших значениях сжимающих напряжений демонстрирует сильно нелинейное поведение, которое проявляется в значительном росте обоих модулей с ростом $\sigma_{сж}$. Так, практически для всех образцов с увеличением сжимающей нагрузки оба модуля увеличиваются примерно на порядок. Поведение модулей материалов, выдержанных в различных средах, резко различается.

Зависимость мгновенного и равновесного модулей от напряжений сжатия и водородного показателя даны в табл. 4.

Интересно отметить, что модули образцов композита, находившейся в дистиллированной воде, при малых напряжениях даже несколько превосходят модули сухого материала. Это объясняется определёнными затруднениями выжимания жидкостей из пор композита. С увеличением напряжений до 50 МПа модули материала, подвергнутого влиянию активных сред, уже на 10 % ниже, чем у сухого, а при напряжениях 100 МПа это снижение уже составляет 30—35 % (см. рис. 6).

Выводы. Анализ моделей и графиков позволяет отметить для антифрикционных покрытий на стальном субстрате наличие области минимальной адгезионной прочности в кислых водных средах с водородным показателем $pH \approx 4-5$. Остаточная адгезионная прочность покрытия составляет для исследованной области переменных факторов 55—20 %.

Вклад деформации ползучести в формирование зазора трибосопряжения при воздействии на композит кислых водных растворов составляет в исследованном диапазоне 41—53 %. С ростом нагрузки деформация ползучести возрастает. Наибольшее снижение жёсткости наблюдается в слабокислых растворах при $pH \approx 4-5$.

С увеличением времени экспозиции разница во влиянии величины водородного показателя среды на адгезионную прочность и величину деформации ползучести сглаживается.

Библиографический список

1. Кохановский, В. А. Армирующая компонента антифрикционных полимерных покрытий / В. А. Кохановский // Управление. Конкуренентоспособность. Автоматизация: сб. тр. / под общ. ред. И. В. Богуславского. — Вып. 1. — Ростов-на-Дону: Изд-во ИУИ АП, 2002. — С. 73—79.

2. Латешенко, В. А. Диагностика жёсткости и прочности материалов / В. А. Латешенко. — Рига: Зинатне, 1968. — 320 с.

Материал поступил в редакцию 09.12.2011.

References

1. Koxanovskij, V. A. Armiruyushaya komponenta antifrikcionny`x polimerny`x pokry`tij / V. A. Koxanovskij // Upravlenie. Konkurentosposobnost`. Avtomatizaciya: sb. tr. / pod obshh. red. I. V. Boguslavskogo. — Vy`p. 1. — Rostov-na-Donu: Izd-vo IUI AP, 2002. — S. 73—79. — In Russian.

2. Latishenko, V. A. Diagnostika zhyostkosti i prochnosti materialov / V. A. Latishenko. — Riga: Zinatne, 1968. — 320 s. — In Russian.

PROPERTIES OF POLYMERIC ANTIFRICTION COATINGS IN ACID AQUATIC MEDIA

V. A. Kokhanovskiy, V. V. Rubanov, I. B. Vlasenko

(Don State Technical University)

The field research of the adhesion strength and creep flow of the polymeric composite coatings in the acid aquatic media is resulted.

Keywords: *antifricition polymeric composites, acid aquatic media, adhesion strength, creep flow.*