

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИСУЛЬФОНА

Шевчуков А. П., Сенатов Ф. С., Чердынцев В. В.

Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", Москва, Ленинский пр-т, 4

Методом механоактивации получены порошковые композиционные материалы на основе полисульфона с последующим нанесением на подложку в качестве защитного покрытия нефте- и газопроводов. Для увеличения износостойкости материал основного защитного слоя формировался по схеме многокомпонентного и многоуровневого композита, оптимальным образом использующего полезные свойства матричного и упрочняющего материалов. В качестве упрочняющей фазы твердофазным методом вводились в полимер разномасштабные металлические, керамические и алюмосиликатные порошки. Введение наполнителей в полимерную матрицу на базе полисульфона положительно сказалось на снижении коэффициента трения и уровня износа. В работе также было определено количество «скручиваний-раскручиваний» резьбовых соединений без потери их герметичности. Количество циклов «соединение-разъединение» резьбовых соединений было увеличено в среднем в два раза по сравнению с необработанными резьбами.

Ключевые слова: полисульфон, покрытия, коэффициент трения, износостойкость.

STUDY OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF PROTECTIVE COMPOSITE COATINGS BASED ON POLYSULFONE

Shevchukov A. P., Senatov F. S., Cherdynceev V. V.

National University of Science and Technology "MISIS", 119049, Moscow, Leninsky prospect, 4

Powder of composite materials based on polyphenylene sulfide was obtained by the method of mechanical activation followed by application on substrate as a protective coating of oil and gas pipelines. To increase wear-resistance, the material of the main protective layer was formed as a multi-level and multi-component composite, optimally utilizing the useful properties of the matrix and reinforcement materials. Polymer matrix was filled by solid-state method with the hardening phase introduced by various scale polymer, metal, ceramic and silica-alumina powders. Introduction of fillers in polymer matrix based on reduce friction coefficient and wear. Amount of "twisting-untwisting" threaded connections without loss of tightness was studied. Cycles "connection-disconnection" for threaded connections has been increased in two times compared to untreated threads.

Keywords: polysulfone, coatings, coefficient of friction, wear.

1. Введение

Основными задачами при разработке нефте- и газопроводов является увеличение надежности и сроков безаварийной эксплуатации ответственных элементов и узлов. Важнейшими параметрами является износостойкость материала покрытия и количество «скручиваний-раскручиваний» резьбовых соединений без потери их герметичности. Материал покрытий должен характеризоваться низким коэффициентом трения и износом. Особенно важным представляется высокая износостойкость покрытия, так как именно она наряду с адгезией будет определять его долговечность, а значит и ресурс защищаемого изделия.

Резьбовые соединения находят все большее применение в трубопроводном транспорте (обсадные и бурильные трубы, газовые и перспективные нефтепроводы, запорная арматура, фиттинги и др.). Показатель в 40–45 циклов «скручиваний-раскручиваний» без потери

герметичности соединений в сочетании с защитой резьбовых соединений от коррозии позволят осуществлять значительную экономию на работах по восстановлению резьбы или ее полной замене, что в свою очередь повысит надежность всей системы в целом.

2. Материалы и методика эксперимента

Основой всех типов покрытий в данной работе является полисульфон – высокоэффективный инженерный термопласт, который является одним из немногих производимых в России инженерных супертермопластов. В ряде отечественных статей полисульфон уже упоминался как перспективный матричный материал [1,2]. Для реализации поставленной задачи – дисперсного упрочнения полимерной матрицы с целью повышения износостойкости – были созданы функциональные многокомпонентные сложнонаполненные порошковые покрытия на основе полисульфона.

В качестве наполнителей полимерной матрицы были использованы твердые частицы ультрадисперсного Na-монтмориллонита, карбида титана, микропорошка оксида алюминия (30–60 мкм) и политетрафторэтилен. В недавних работах [3,4] наносиликаты, такие как монтмориллонит, уже применялись для создания композитов на основе полисульфона и зарекомендовали себя как перспективные дисперсные наполнители.

Наполнитель вводился твердофазным методом с помощью совместной механоактивационной обработки с порошком полисульфона в различных пропорциях. Механообработка проводилась с помощью планетарной мельницы Fritsch Pulverisette 5 барабанах емкостью 500 мл с мелящими телами в виде шаров размером 10 мм. Заполнение барабанов мелющими телами составляло 45 об. % [5]; масса загрузки на один барабан 30 г. На основании данных об изменении морфологии частиц полисульфона во время механоактивации была подобрана оптимальная продолжительность механообработки для получения композитов, которая составила 90 мин [6].

Полученный порошок наносился на металлическую подложку методом электростатического осаждения.

Трибологические испытания покрытий проводились по наиболее приближенному к реальным условиям методу «вращающийся диск – плоский образец», дающему реальную количественную оценку. Трибологические испытания проводились в режиме сухого трения при комплексе контактных параметров, характерных для узлов широкого класса механизмов на установке типа УИЛ-2. Модель трения выполнена по схеме вращающийся диск – плоский образец, как показано на рисунке 1. Диск выполнен из стали и имеет твердость, по Роквеллу, по шкале “С” не менее 55 единиц и среднюю шероховатость поверхности 0,2 мкм (9 класс). Нагрузка во время испытания составила 1,9 кг, скорость скольжения 2,5 м/с. Пробег ($L_{тр}$) каждого испытания равнялся 2,5 км.

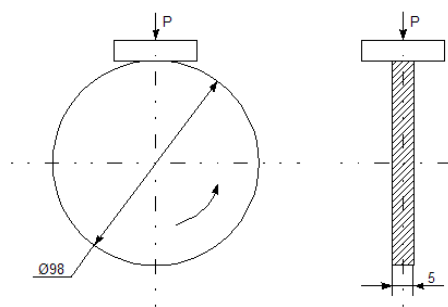


Рисунок 1. Сопряжение типа «блок-на-кольце»

Расчёт следующих показателей осуществлялся по формулам:

$$f = (2 \cdot M) / (D \cdot F_N), \quad (1)$$

где f – коэффициент трения;

M – момент трения, кг·см.

$$I = h / L_{\text{тр}} \quad , \quad (2)$$

где I – интенсивность изнашивания, мм/мм;

h – высота канавки износа, мм.

Для анализа поверхности износа применялся оптический микроскоп AXIOSCOP 40 и оптический профилометр WYKO NT 1100.

Для испытаний свойств покрытий (для резьбовых соединений) были использованы две методики, позволяющие определить герметичность резьбовых соединений во время длительной эксплуатации.

Первая методика заключается в погружении в ванну с водой трубы диаметром 73 мм с муфтой, соединенных резьбовым соединением. С одной стороны труба и муфта имеют нарезанную резьбу с нанесенным защитным покрытием, а с другой – они герметично заварены. При соединении трубы и муфты образуется единый элемент, который погружается в ванну на глубину 0,5 м. Каждые 24 часа трубы извлекаются, сушатся и разъединяются для оценки герметичности. Внутренняя поверхность труб обработана специальной легкосмываемой краской, которая позволяет определить попадание воды внутрь элемента. Испытание продолжается до тех пор, пока не будут обнаружены следы воды на внутренней поверхности труб. Для оценки герметичности по данной методике было сделано 30 элементов с защитным покрытием на резьбах.

Вторая методика отличается от первой тем, что муфта на заваренном конце имеет отверстие, в которое поступает вода под давлением 5 атм. Таким образом, герметичность

резьбового соединения проверяется под избыточным давлением, создаваемым внутри элемента. Каждые 30 минут элемент разбирался и собирался заново. Для оценки герметичности по данной методике было произведено 50 элементов с защитным покрытием на резьбах.

На все экспериментальные образцы было нанесено покрытие на базе полисульфона, наполненное 10 % масс. политетрафторэтилена и 15 % масс. ультрадисперсного монтмориллонита.

3. Результаты и их обсуждение

Наполнение полисульфона твердофазными наполнителями позволило значительно снизить коэффициент трения и износа. Испытания показали наличие интенсивного износа только у образцов, содержащих микронный оксид алюминия, как это продемонстрировано на рисунке 2. Это, вероятно, связано с тем, что при прикладывании нагрузки поверхность деформируется неоднородно из-за большой разницы в твердости наполнителя и матрицы. Обнаруживается не только выкрашивание керамических частиц из матрицы, но и ответный износ контр-тела. В других системах пятно износа по форме близко к эллипсу, что свидетельствует об отсутствии абразивного износа. Исходя из этого, можно сделать вывод о высокой адгезии наполнителей к базовому полимеру. Минимальный коэффициент трения 0,15 и износ 0,25 мм среди двухкомпонентных систем имеет образец, наполненный 20 % масс. монтмориллонита. Среди трехкомпонентных систем лучшими показателями обладают образцы системы ПФС/ПТФЭ 4-МБ /ММТ (20/10 % масс.).

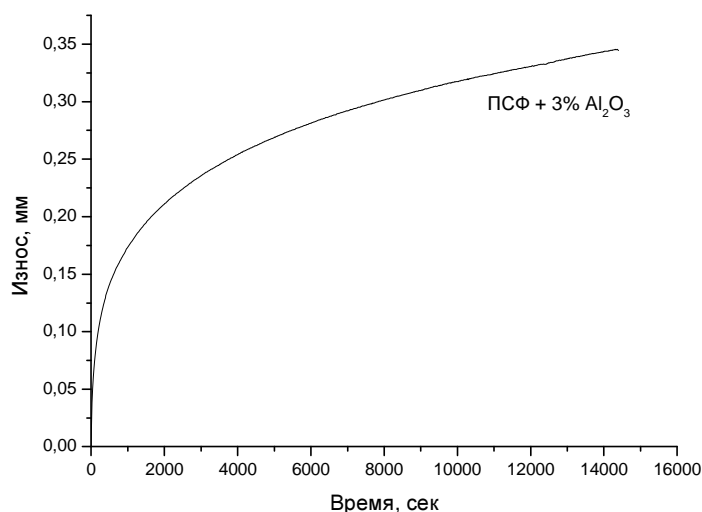


Рисунок 2. Зависимость износа покрытия полисульфон- Al_2O_3 от времени трения

В рамках работы рассматривался вопрос защиты и упрочнения резьбы трубопроводов, фитингов, запорной арматуры и т.д. Еще одной серьезной проблемой в этой области является низкая герметичность резьбовых соединений, которая стремительно падает в процессе эксплуатации, так как многократные «скручивания-раскручивания» резьбовых элементов приводят к износу и, как следствие, потери герметичности.

Помимо защиты от коррозии разрабатываемые покрытия позволят увеличить количество циклов «скручивания-раскручивания» резьбовых соединений за счет своих физико-механических свойств. Так как модуль композиционного материала значительно ниже модуля металлической подложки (резьбы), покрытие будет служить подобно уплотняющей прокладке. Таким образом, по результатам исследований количество циклов «соединение-разъединение» до потери герметичности составило более 50 циклов.

4. Заключение

Введение наполнителей благоприятно сказывается на трибологических свойствах полифениленсульфида – снижается коэффициент трения и износ. Оптимальными наполнителями являются монтмориллонит и политетрафторэтилен.

Разработанное защитное покрытие показало высокую эффективность в деле увеличения количества циклов «соединение-разъединение» резьбовых соединений. Количество циклов «соединение-разъединение» резьбовых соединений было увеличено в среднем в два раза по сравнению с необработанными резьбами.

Список литературы

1. Баронин Г. С., Комбарова П. В., Кобзев Д. Е., Разинин А. К., Лосева А. С. Структура и эксплуатационные свойства ПСФ-нанокompозитов, прошедших обработку давлением в твердой фазе // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2010. Т. 16. № 3. С. 656-663.
2. Новаков И. А., Сидоренко Н. В., Ваниев М. А., Фролова В. И., Лукасик В. А. Фазовая стабильность и реологические характеристики систем термопласт-полимеризационноспособное соединение в условиях приложения механического поля // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 911-915.
3. Волкова Т. С., Бейдер Э. Я. Полимерсиликатные нанокompозиты на основе полисульфона, полученные различными способами // Авиационные материалы и технологии. 2010. №2. С. 22-34.

4. Волкова Т. С., Бейдер Э. Я., Чурсова Л. В. Свойства композитов на основе полисульфона, модифицированного наносиликатами // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №3. С. 13-19.
5. Shelekhov E. V., Tcherdyntsev V. V., Pustov L. Y. Computer simulation of mechanoactivation process in the planetary ball mill: Determination of the energy parameters of milling/ Metastable, mechanically alloyed and nanocrystalline materials, pts 1 and 2 Book Series: Materials science forum. Volume: 343-3, P: 603-608, Part 1,2, 2000.
6. Senatov F. S., Kaloshkin S. D., Tcherdyntsev V. V., and Kuznetsov D. V. Physicomechanical Properties of a Composite Material Based on Ultrahigh_Molecular_Weight Polyethylene Filled with Ceramic Particles // Russian Metallurgy (Metally). Vol. 2012. No. 4. P. 344–349.

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», Государственный контракт от 08 июля 2011 г. № 16.516.11.6086.

Рецензенты:

Ховайло В. В., д.ф-м.н., профессор, кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС», г. Москва.

Калошкин С. Д., д.ф-м.н., профессор, директор Института новых материалов и нанотехнологий НИТУ «МИСиС», г. Москва.