

Фурье–преобразования псевдоансамбля сегментов знакового сигнала / В. Н. Якимов, А. В. Машков, О. В. Горбачев // Цифровая обработка сигналов. – 2016. – № 2. – С. 31–34.

13. Погорелов, А. В. Исследование частотных характеристик рудничной сети с пассивными фильтрокомпенсирующими устройствами / А. В. Погорелов // Интеллектуальная электротехника. – 2019. – № 3. – С. 27–35.

14. Юрик Е.А., Ильичев В.Ю. Использование функций быстрого преобразования Фурье для спектрального анализа шума перлина. E–Scio. 2021. № 9 (60). С. 287–297.

15. Шляхтенко П.Г., Пименов В.И., Кофнов О.В. Использование двумерного дискретного преобразования Фурье для компьютерного анализа материала с повторяющейся структурой. Автоматизация и современные технологии. 2013. № 7. С. 20–27.

A.Y. Ryabikin, A.D. Shestakov, L.D. Tuptei, M.A. Skotnikova, A.D. Novokshenov
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
Saint Petersburg, Russia. ryabikin-98@mail.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF ABRASIVE WEAR OF STEELS BY PHYSICAL MODELING AND MACHINE LEARNING

Abstract

Comparative tribotechnical tests of wear-resistant equal-hard steels of the martensitic class Hardox 450, Quard 450 in comparison with ferrite-pearlite steel 09G2C were carried out. The wear resistance increased in the direction of 1.0 → 7.9 → 18.1 in steels 09G2C → Hardox 450 → Quard 450, respectively. Graphs of fluctuations in time of the friction moments of the studied steels are constructed, their smoothing (averaging) by the Hanna method is carried out. The Fourier transform was performed and the amplitude-frequency characteristics of the friction moments were calculated. It is shown that the decrease in the amplitude of the sine wave of the first (main) harmonic occurred in the direction of 3.40 → 2.15 → 1.40 in steels 09G2C → Hardox 450 → Quard 450, respectively. In the same steels, the second harmonic was formed with sinusoid amplitudes in the direction of 1.50 → 1.60 → (0.85 and 0.70). As it turned out, after testing samples made of Quard 450 steel, on the surface of which traces of martensitic transformation were found, the amplitude-frequency response revealed the spectra of two exciting forces (abrasive wear and structural-phase (martensitic) transformation), strengthening the surface in the contact zone and increasing its wear resistance.

Keywords: moment of friction, steel, phase transformation, Hann window, Fourier transform.

УДК 621.3

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-270

В.А. Яхимович^{1,2}, В.О. Токарев^{1,2}, Д.А. Виноградов^{1,2}, Naghavi Yanal³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

²НТК «Новые технологии и материалы»

Санкт-Петербург, Россия. den895619@gmail.com

³The University of Jordan, Amman, Jordan

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ ПОКОЯ И СКОЛЬЖЕНИЯ ПАРЫ ТРЕНИЯ «ПКМ-СТАЛЬ»

Аннотация

В работе были исследованы полимерные композиционные материалы (ПКМ), определены коэффициенты трения покоя и скольжения пар трения «ПКМ-сталь» в условиях притирания композитного материала к искусственно состаренному стальному контртелу. Приведённые параметры могут быть использованы в расчётах и моделировании. Для исследований были отобраны изделия различных производителей, композиции которых предполагаются для использования при изготовлении свай.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, коэффициент трения покоя, коэффициент трения скольжения, сталь

Введение

Соединение элементов является одним из решающих звеньев в любой системе. Существует перечень крепёжных соединений, в числе которых находятся обжимные соединения, [1-3]. Несмотря на недостатки такого вида соединений в сравнении с методом соединения внахлёт [4], они способны обеспечивать надёжность и высокую несущую способность конструкций [5]. При расчёте обжимных соединений необходимо учитывать ряд параметров, таких как материал соединяемых деталей, их геометрические размеры, а также условия эксплуатации. Одним из таких параметров является коэффициент трения, влияющий на надёжность соединения. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) обладают рядом преимуществ в сравнении с традиционными [6-11] (Рис. 1), что делает их перспективными для применения. В настоящее время уже имеется опыт внедрения новых материалов взамен традиционных в различные строительные конструкции [12-14], однако существует необходимость в пересмотре и адаптации существующих конструктивных решений, чтобы в полной мере реализовать преимущества ПКМ [15].

Целью работы являлось определение коэффициентов трения скольжения и покоя перечня полимерных композиционных материалов в условиях контакта с искусственно состаренной сталью после притирания при различных нагрузках.

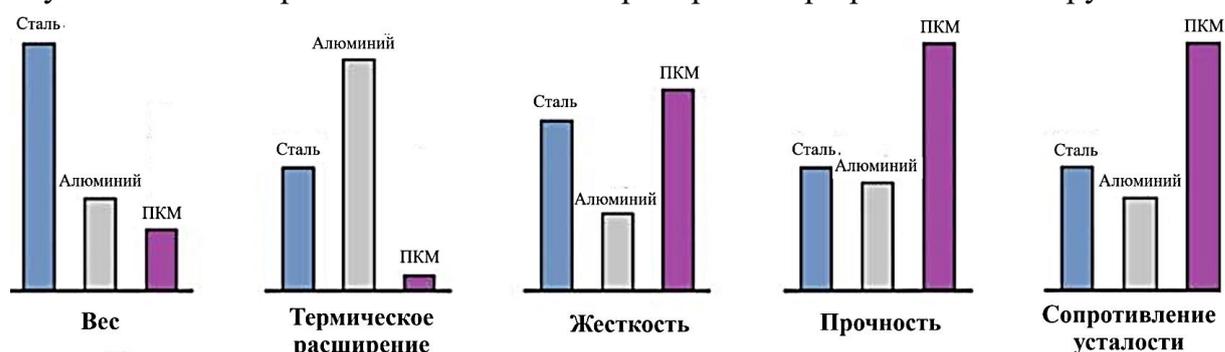


Рисунок 1 – Сравнение традиционных монолитных материалов с композитными [3]

Методы и материалы

Определение коэффициентов трения проводилось через замер горизонтального усилия в Ньютонах (F), необходимого для сдвига и дальнейшего движения образца ПКМ, на который давит контртело с заданной нагрузкой в Ньютонах (N) (1):

$$\eta = \frac{F}{N} \quad (1)$$

Определяемый параметр будет изменяться в зависимости от степени наработки. Рассмотренный в данной работе сценарий предполагает определение коэффициентов трения на участке нормального износа пары после завершения этапа приработки, что требует некоторого количества итераций, количество которых может отличаться в зависимости от свойств исследуемых материалов. Для возможности исследования образцов, обладающих кривизной поверхности, был разработан специальный стенд – машина трения МТВП, позволяющий осуществлять возвратно-поступательные движения контртела (Рис. 2).

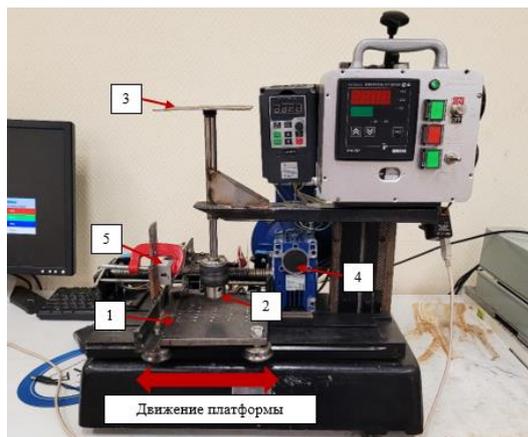


Рисунок 2 – Машина трения возвратно-поступательного типа МТВП

На подвижной платформе 1 жёстко закреплялся образец. В патрон 2 вставлялось контртело и после прижималось к образцу (Рис. 3). На образец через контртело задавалась некоторая нормальная нагрузка через расположение на площадке 3 грузов массой 1 кг. Исследования проводились при нормальных нагрузках в 3 кг, 6 кг, 9 кг, прикладываемых последовательно от меньшего к большему.

Двигатель 4 приводил в горизонтальное относительно контртела возвратно-поступательное движение платформу 1. Усилие считывалось тензодатчиком 5 и записывалось в реальном времени с интервалом 1 сек. Ход платформы составлял ~30 мм при скорости её передвижения ~300 мм/мин. Данного расстояния достаточно, чтобы зафиксировать силы трения покоя и перехода в скольжение.



а)



б)

Рисунок 3 – Закрепление образца: а) общий вид; б) зона контакта «ПКМ-сталь»

Количество проходов платформы выбиралось исходя из продолжительности приработки, что определялось достижением приблизительно равной нагрузки

трения покоя после каждой итерации (Рис. 4).

Получаемый график анализировался – определялись пики сил трения покоя и сил перехода в скольжение (Рис. 5). Полученные значения усреднялись, после чего вычислялся коэффициент трения (1).

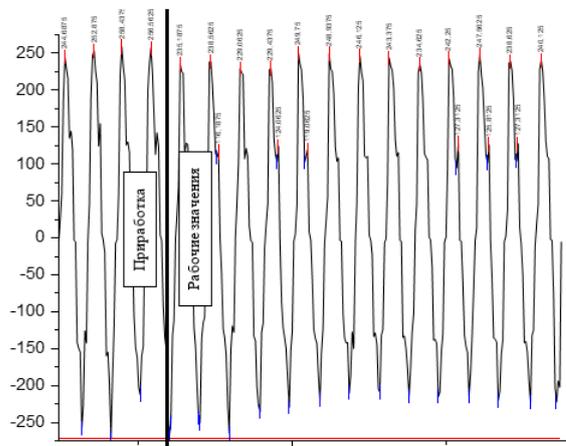


Рисунок 4 – Получаемые результаты

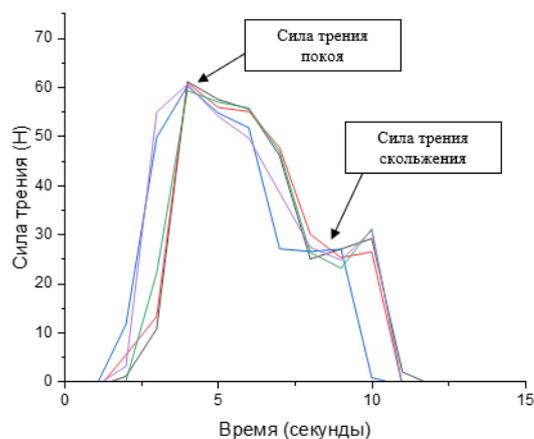


Рисунок 5 – Наложенные итерации сил трения

Материал для исследований представлял собой готовые изделия, изготовленных в форме листа и трубы (Табл. 1, Рис. 6).

Таблица 1 – Материал для исследований

№ п.п	Производитель	Технология изготовления	Форма
1	Пултра	Пултрузия	Лист
2	Центр Полимерных Композитов (ЦПК)	Пултрузия	Лист
3.1	Завод Базальтовых Труб (ЗБТ)	Намотка	Труба
3.2			
3.3			
4.1	Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (ГАСУ)	Пултрузия	Труба
4.2			

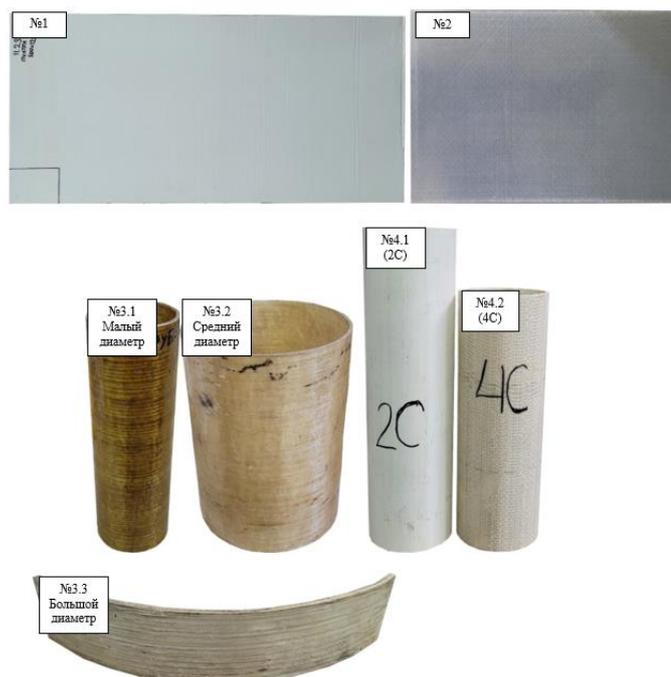


Рисунок 6 – Внешний вид представленных изделий

Основными требованиями при изготовлении образцов являлось обеспечение хода контртела на расстояние в ~ 30 мм и определение коэффициента трения в направлении, соответствующему эксплуатационному. С учётом запаса, из материала были изготовлены образцы длиной ~ 50 мм в продольном направлении армирования и оси для листов и труб соответственно (Рис.7).

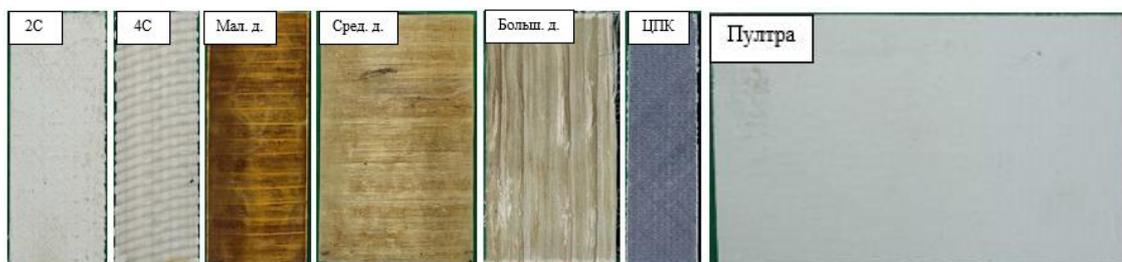


Рисунок 7 – Образцы для испытаний

Для образцов из труб, дополнительно были изготовлены подкладки под образец с радиусом кривизны, аналогичным их внутреннему диаметру с целью исключения прогиба образца в момент приложения нагрузки.

При выборе контртела были составлены следующие требования и предложения:

- Материал изготовления – сталь;
- Отсутствие дефектов на поверхности (трещины, царапины, заусенцы и т.п., что могло бы привести к закусыванию);
- Площадь контакта не должна быть слишком малой, чтобы исключить разрушение материала при приложении нагрузки;
- Поверхность контакта должна быть приблизительно схожа с той, что могло бы встретиться при эксплуатации.

Таким образом, необходимо предварительное старение материала.

Для исследований в качестве контртела были выбраны стальные оцинкованные болты DIN 603 с полукруглой шляпкой. Слой цинка снимался выдержкой в растворе 5% HCl при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ в течение 24 часов, старение проводилось выдержкой в растворе 5% NaCl в течение 72 часов. В результате проведённых операций поверхность контртела представляла собой сталь с продуктами коррозии (Рис. 8).



Рисунок 8 – Внешний вид контртела после искусственного старения

Результаты и обсуждение

В Табл. 2 и на Рис. 9 приведены измеренные коэффициенты трения покоя и скольжения для приведённых материалов. С увеличением прикладываемой нормальной нагрузки коэффициент трения может изменяться приблизительно линейным характером как в большую, так и меньшую сторону в зависимости от материала, что позволяет спрогнозировать параметр при иных нагрузках. При этом

общее отношение силы трения покоя к скольжению для материалов, за исключением изделий производителей «Пултра» и «ГАСУ 4С», не изменялось, где отмечался его заметный рост.

Таблица 2 – Коэффициенты трения покоя/скольжения

Производитель	Нормальная нагрузка (кг)	Коэффициент трения		Отношение величины коэффициента трения покоя к скольжению
		Покоя	Скольжения	
Пултра	3	0,36	0,19	1,89
	6	0,76	0,31	2,45
ЗБТ (большой диаметр)	3	1,05	0,68	1,54
	6	0,95	0,60	1,58
ЗБТ (средний диаметр)	3	0,97	0,47	2,06
ЗБТ (малый диаметр)	3	0,35	0,23	1,52
	6	0,52	0,34	1,53
	9	0,64	0,39	1,64
ГАСУ (4С)	3	1,14	0,66	1,73
	6	1,00	0,47	2,13
	9	0,99	0,49	2,02
ГАСУ (2С)	3	1,20	0,58	2,06
	6	1,07	0,53	2,02
	9	0,88	0,48	1,83
ЦПК	3	1,01	0,66	1,53
	6	0,84	0,54	1,56
	9	0,77	0,50	1,54

Температура проведения испытаний – +22-24°С, относительная влажность – 60%

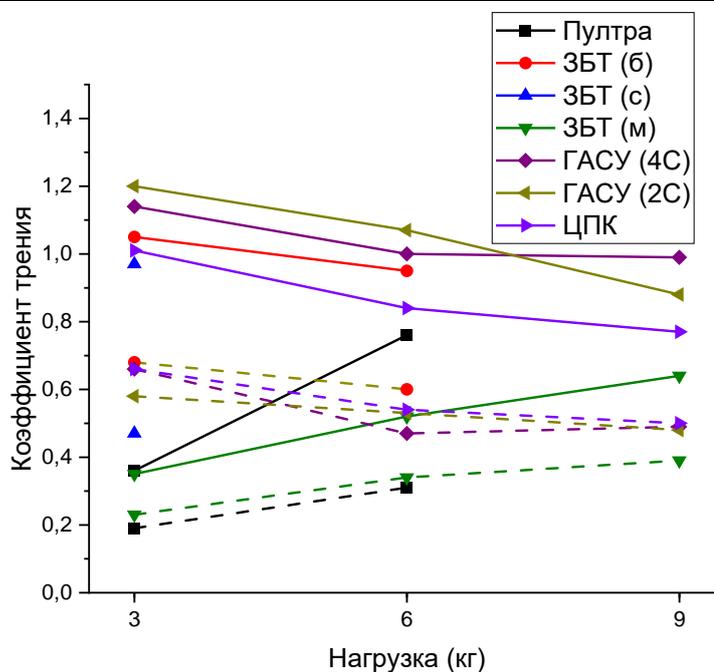


Рисунок 9 – График изменения коэффициента трения покоя (сплошная линия) и скольжения (пунктирная) в зависимости от приложенной нагрузки

Заключение

По результатам проведенных исследований были определены коэффициенты трения покоя и скольжения для перечня полимерных композиционных материалов

и показан характер их изменения при различных нормальных нагрузках.

Стоит отметить, что предоставленные результаты были получены для материала в исходном состоянии при комнатной температуре и при сухой атмосфере, что не соответствует реальным условиям эксплуатации. Так как коэффициент трения также может изменяться в зависимости от дополнительно приложенных агрессивных воздействий, например, появление на поверхности конденсата; от температур; от общего состояния поверхности материала – дальнейшим развитием работы может являться проведение более комплексных исследований, включающее моделирование различных условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николаев С. В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России //Жилищное строительство. – 2012. – №. 4. – С. 2-8.
2. Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01–85). М.: Стройиздат, 1989. 304 с.
3. Батанова И. А. Способы соединения арматурных стержней //перспективное развитие науки, техники и технологий. – 2013. – С. 201-204.
4. Пецольд Т. М., Латыш В. В. Практика применения механических соединений арматуры при строительстве «Гостинично-делового комплекса с теннисным центром в городе Минске» //Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2017.
5. Власов В. А. и др. Опыт применения муфтовых соединений в полносборной домостроительной системе КУПАСС //Жилищное строительство. – 2017. – №. 10. – С. 28-34.
6. Михаил Ю.А. Конструкционные полимерные материалы. 2-е изд. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 822 стр., ил.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / М.Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с., ил.
8. K.K. Chawla, Composite materials: science and engineering, Springer Science & Business Media, 2012.
9. Современные полимерные материалы: учебное пособие / М. В. Шишонок. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 278 с.: ил., [4] л. цв. ил
10. Бобович Б. Б. Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение) //М.: ФОРУМ. – 2014.
11. Яшнов А. Н., Пиняжин С. В. Некоторые направления развития мостостроения в условиях Крайнего Севера //Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. – 2021. – С. 499-502.
12. Власенко Ф. С., Раскутин А. Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях //Труды ВИАМ. – 2013. – №. 8. – С. 3.
13. Колосова А. С. и др. Современные полимерные композиционные материалы и их применение //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – №. 5-1. – С. 245-256.
14. Nkurunziza G. et al. Durability of GFRP bars: A critical review of the literature //Progress in structural engineering and materials. – 2005. – Т. 7. – №. 4. – С. 194-209.
15. Jabbar S. A. A., Farid S. B. H. Replacement of steel rebars by GFRP rebars in the concrete structures //Karbala international journal of modern science. – 2018. – Т. 4. – №. 2. – С. 216-227.

V.A. Yakhimovich^{1,2}, V.O. Tokarev^{1,2}, D.A Vinogradov^{1,2} Naghavi Yanal³
¹Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE COEFFICIENTS OF FRICTION OF REST AND SLIDING OF THE FRICTION PAIR "PC-STEEL"

Abstract

In the work, the coefficients of friction of rest and sliding of the friction pair "PC-steel" were determined under conditions of lapping a composite material to an artificially aged steel counterbody. These parameters were obtained for materials intended for use in the manufacture of piles and can be used in calculations and modeling.

Key words: polymer composite materials, static friction coefficient, sliding friction coefficient, steel

УДК 621.45.038.7

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-271

Е.В.Овчинников¹, В.В.Михайлов², Х.Худойназаров³, В.Ч. Белаш¹, А.Ч.Свистун¹,
Г.Нарзуллаев³, Е.В.Матук¹

¹Гродненский государственный университет
им. Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ovchin@grsu.by

²Институт прикладной физики, Кишинев, Молдова

³Самаркандский государственный университет, Узбекистан

АНТИФРИКЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРХТВЕРДЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Аннотация

В работе рассмотрены триботехнические характеристики электроискровых покрытий (ЭИЛ), сформированных по бесконтактной технологии. Данный технологический подход позволяет уменьшить дефектность формируемых ЭИЛ покрытий, а также получать антифрикционные слои из непроводящих материалов, в частности из оксидной керамики. Исследовали покрытия различной природы происхождения, полученные на титановых субстратах. Установлено, что формирование многокомпонентных и многофункциональных электроискровых покрытий при взаимодействии плазмы низковольтного разряда с порошковыми материалами позволяет получить защитные слои с высокими антифрикционными свойствами, обеспечивающими снижение значений коэффициента трения на 30-35% и интенсивности изнашивания в 1.5-2 раза по сравнению с исходным материалом ВТ1-0.

Ключевые слова: покрытие, плазма, морфология, трение, титан, диоксид кремния, карбид титана

Введение

В связи с экономическими требованиями дальнейшего повышения эффективности производственных процессов, важно использовать весь потенциал применения сверхтвердых покрытий. TiN, TiCN, TiC и покрытия на их основе