

Keywords: polymer composite materials, mechanical properties, defects

УДК 531.43

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-250

Е.О. Куома

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Россия. kuk.kukob@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ВЫСЫХАНИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ ПОСЛЕ ТРЕНИЯ В ВОДЕ

Аннотация

Рассмотрено явление водопоглощения при эксплуатации в условиях водной смазки подшипников скольжения из углеродного волокна в паре со стальными, изготовленными с различными типами переплетения углеродного волокна. Наблюдалось разбухание углеродного волокна, что привело к неточности измерения его износа. При проведении триботехнических испытаний по схеме колодка-ролик в условиях водной смазки регистрировались изменения крутящего момента, коэффициента трения, массы ролика, колодок, температуры колодок и воды. После проведения испытаний определяется фактический износ колодки и скорость ее высыхания.

Ключевые слова: углепластик, подшипник, водяная смазка.

Введение

Углепластик – это полимерный композиционный материал из переплетенных нитей углеродного волокна, расположенных в полимерной матрице [1]. В Российском производстве наиболее популярные марки УГЭТ и ФУТ (ТУ 5.966-11704—99), соответственно с эпоксидной и фенолформальдегидной матрицами, разработанные в ЦНИИ КМ “Прометей” (Россия), а также износостойкие УРАЛ и УРАЛ 2 (ТУ 22.92.91-001-27593592-2019), разработанные в ООО “РАДА Индастриз” (Россия) [2], хорошо зарекомендовали себя в качестве материалов для подшипников скольжения, смазываемых водой и работающих в широком диапазоне контактных давлений [3-12].

В частности, углепластик УГЭТ [3] применяется в качестве: узлов трения гидротурбин: тихоходных тяжело-нагруженных подшипников скольжения цапф лопаток направляющего аппарата гидротурбины, которые эксплуатируются в воде при контактных давлениях до 25 МПа и скоростях скольжения от 0,004 до 0,1 м/с; узлов трения поршневых насосов: эксплуатируются при контактных давлениях до 20 МПа и скоростях скольжения до 0,6 м/с в режиме возвратно-поступательного движения со смазкой перекачиваемыми средами, например с водой.

Углепластик ФУТ [3] применяется в качестве: опорных подшипников судовых гребных валов, в качестве смазки используется забортная вода, жидкая или пластичная смазка; торцевых уплотнений гидротурбин: о линии вала гидротурбины имеются высокоскоростные торцевые уплотнения, эксплуатирующиеся в воде при контактных давлениях от 0,1 до 0,5 МПа скоростях скольжения до 12 м/с по различным контртелам; узлов трения насосов: узлы трения центробежных насосов эксплуатируются при контактных давлениях до 1 МПа и скоростях скольжения до

40 м/с. Набухание полимеров может приводить к изменению размеров деталей изделия, что делает их применение неприемлемым в узлах, где необходима точность.

В работе И. А. Рашкован и др. [6], обсуждается явление трибоокисления, происходящее в процессе трения в воде термопластичных углепластиков. В качестве причины трибоокисления авторы указывают на процессы выделения азота с кислородом, и дезинтеграции хрупких волокон на поверхности. На поверхности углепластиков в процессе трения также происходило резкое снижение количества азота, а количество кислорода, находящегося в амидной связи, увеличивалось. Одновременное возрастание содержания углерода позволило сделать вывод о развитии процесса обуглероживания поверхности. [6].

В работе Б. М. Гинзбурга и др. [7] отмечается, что выделение водорода при трении в воде термопластичных углепластиков может катализировать механодеструкцию фенолформальдегидной смолы путем деароматизации фенольных колец и превращения их в циклогексановые структуры, которые, будучи менее прочными, в свою очередь, разрушают до линейных цепей [7].

Таким образом, есть много преимуществ использования полимерных материалов: их малый вес, широкий ассортимент, экологичность. Но имеются недостатки, такие как относительно низкие упругость и прочность, по сравнению с металлами, склонность к образованию адгезионного сцепления и изменение размеров из-за впитывания воды. Молекулы воды легко проникают в свободный объем аморфной фазы полимера, что приводит к его пластификации, набуханию и размягчению, что снижает твердость и прочность полимера. Диффузия воды также уменьшает силы притяжения между полимерными цепями, что приводит к удалению материала с поверхности во время скольжения и увеличению скорости износа.

Целью данной работы явилось исследование триботехнических свойств узлов трения на основе углепластиков, с учетом их скорости впитывания и высыхания воды при эксплуатации.

Методы и материалы

Триботехнические испытания были проведены на машине трения СМЦ-2 (рис.1) по схеме ролик-колодка, согласно методике МНОЦ "BaltTribo-Polytechnic" СПбПУ [13-15], с целью моделирования условия работы подшипника. Трение образцов осуществлялось в условиях водяного смазывания, с постоянной подачей воды. Были проведены по 2 испытания, для разных режимов испытания, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Режимы испытания.

	Первая серия	Вторая серия
Скорость трения об/мин	300 об/мин	1000 об/мин
Линейная скорость м/с	0,785 м/с	2,6 м/с
Нагрузка, кгс	685 Н	150 Н
Испытываемый материал	УРАЛ	УРАЛ-2

Для определения изменения массы, из-за впитывания воды, были произведено несколько взвешиваний. Так же в ходе испытаний фиксировалась температура воды и помощью пирометра, и температуры ролика с помощью термометра. В качестве образцов для испытания по схеме «колодка - ролик» были выбраны

ролики (Рис. 2,а) из стали ШХ18 и колодки (Рис. 2,б) из двух марок углепластиков УРАЛ (Рис. 3,а,б) и УРАЛ-2 (Рис. 3,в,г) с двумя видами плетения углеродных волокон: типом 1 (Рис. 3,а,в) и типом 2 (Рис. 3,б,г), предоставленными ООО “РАДА Индастриз”.



Рисунок 1 – Вид машины трения СМЦ-2.

Так как в этом исследовании рассматривается влияние расположения волокон в углепластики, в качестве материала колодки (рисунок 2.б) рассматривается УРАЛ и УРАЛ-2. Физические свойства материалов представлены в таблице 2.

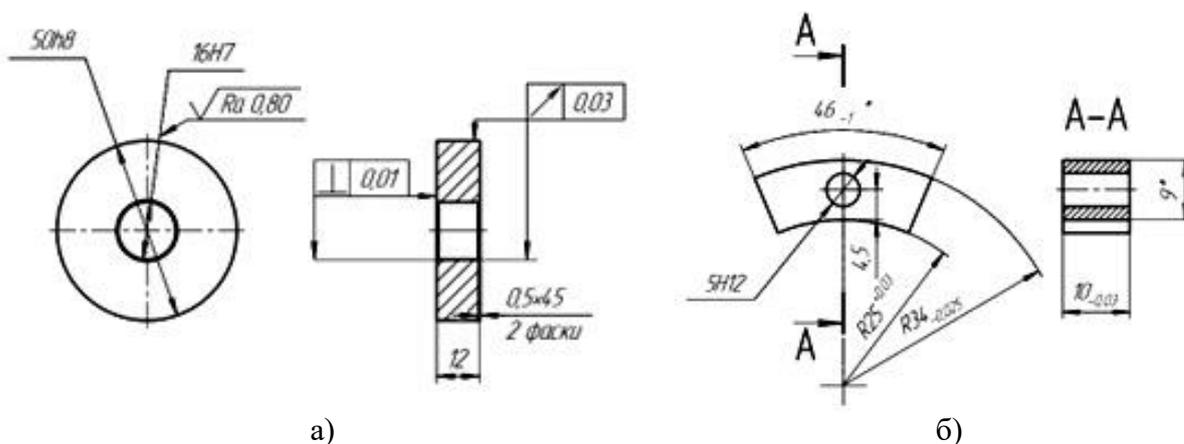


Рисунок 2 – Чертежи образцов трибопары: а) ролик; б) колодка.

Таблица 2 - Физические свойства УРАЛ и УРАЛ-2 [2].

	Плотность кг/м ³	Прочность при сжатии МПа	Модуль Юнга ГПа	Допускаемое контактное давление МПа	Рабочая температура °С
УГЭТ	1450	200	15	100	-200 + 80
УРАЛ	1450	250	25	120	-200 + 100
ФУТ	1450	150	15	5	-200 + 125
УРАЛ-2	1450	250	25	10	-200 + 200

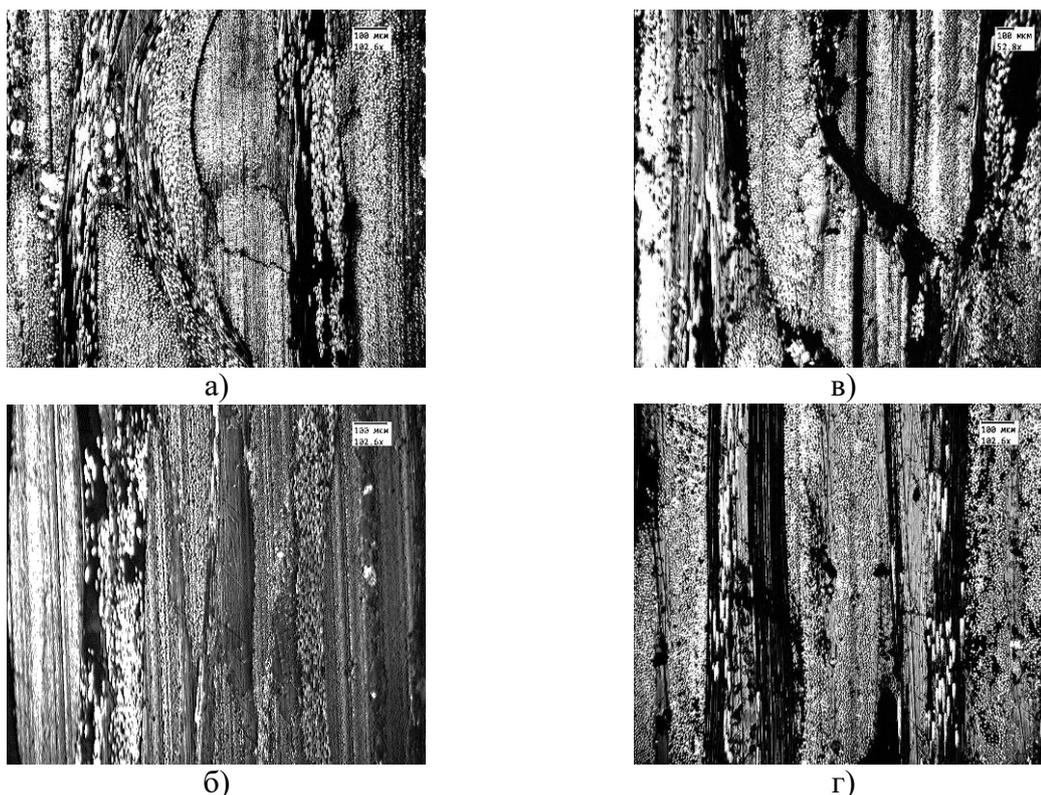


Рисунок 3 - Структура углепластика марки: а), б) Урал; в), г) Урал-2, с плетениями углеродных волокон: а), в) типа 1; б), г) типа 2.

Результаты и обсуждение

Износ колодки по изменению её массы фиксировался сразу после 6-ти часовых испытаний ($M_{\text{тек}}$) и спустя определенные промежутки времени. Через время высыхания ($t_{\text{выс}}$) после стабилизации итоговой массы ($M_{\text{ит}}$), измерения прекращались. Итоговая масса колодки по сравнению с исходной массой, позволили оценить фактический (итоговый) износ колодки после 6-ти часового испытания (см. Табл.3).

Вес воды в колодке ($M_{\text{в}}$) определяли по формуле 1

$$M_{\text{в}} = M_{\text{тек}} - M_{\text{ит}} \quad (1)$$

где $M_{\text{ит}}$ – масса итоговая, после того как процесс испарения жидкости из образца прекратился, а $M_{\text{тек}}$ – это масса образца в текущий момент времени.

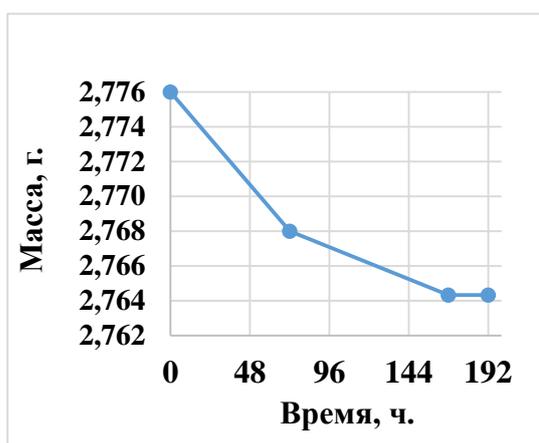
Скорость испарения воды будет рассчитываться по формуле 2

$$U_{\text{исп}} = \frac{M_{\text{в}}}{t_{\text{выс}}} \quad (2)$$

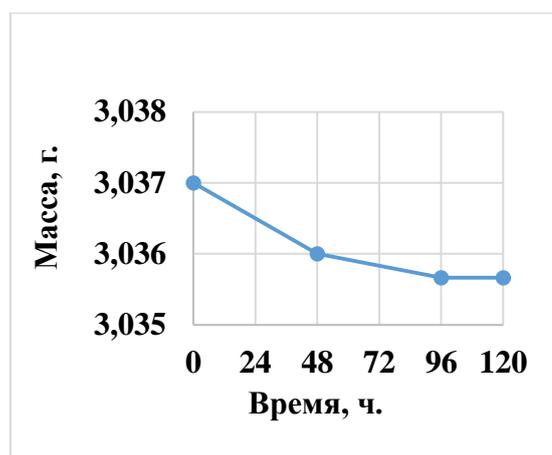
где $U_{\text{исп}}$ – скорость, с которой испарялась вода, мг/час, $t_{\text{выс}}$ – это время, за которое вода испарилась.

Значения времени высыхания $t_{\text{выс}}$ не являлись постоянными для каждого образца, и их определяли исходя из графиков испарения во времени воды из колодок, представленных на рисунке 4.

Результаты испытаний представлены в таблице 3. На рисунке 3 представлены фотографии микроструктуры колодок.



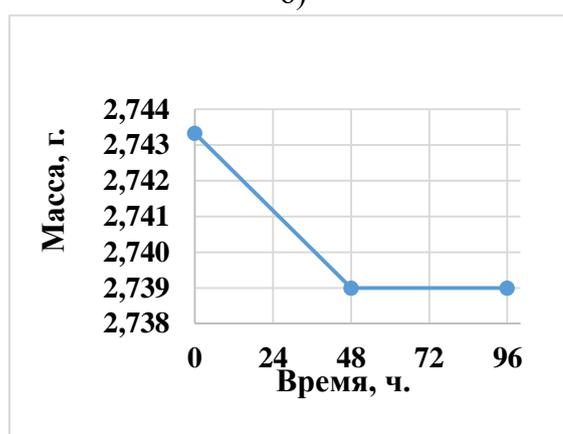
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Графики высыхания воды: а), б) Урал; в), г) Урал-2 с плетением углеродных волокон: а), в) типа 1; б), г) типа 2.

Таблица 3 – Результаты 6-ти часовых испытаний колодок из углепластика с водяной смазкой.

Материал, наполнитель	Масса до испытания, мг.	Масса сразу после испытания, мг.	Масса после испытания и высыхания, мг.	Фактический износ колодки после испытания, мг.	Масса воды в колодке после испытания, мг.
Линейная скорость 0,785 м/с; Нагрузка 685 Н					
УРАЛ, плетение волокон типа 1	2777	2776	2764	13	12
УРАЛ плетение волокон типа 2	3045	3037	3035	10	2
Линейная скорость 2,6 м/с; Нагрузка 150 Н					
УРАЛ-2, плетение волокон типа 1	2688	2685	2681	7	4
УРАЛ-2 плетение волокон типа 2	2741	2743	2739	2	4,3

Как видно из таблицы 3, для образцов с плетением волокон типа 2 по сравнению с типом 1, характерен меньший износ. Меньший износ углепластика возможно связан с тем, что направление волокон в нем совпадает с направлением трения, что уменьшает разрушение углеродных волокон.

Скорость высыхания образцов УРАЛ с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2, равна, 0,07 мг/час и 0,014 мг/час, соответственно. Для образцов из УРАЛ-2 с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2, равна, 0,09 мг/час и 0,083 мг/час, соответственно. Можно полагать, что углепластик с плетением типа 1

обладает скоростью высыхания чуть большей по сравнению с типом 2.

Исходя из полученных данных (см. Табл. 3) можно полагать, что образцам УРАЛ, работающим при малой линейной скорости 0,785 м/с, большему износу характерно большее впитывание воды, что можно объяснить тем, что процесс впитывания воды оказывается больше для менее износостойкой поверхности.

Так же видно, что образцам УРАЛ-2, работающим при большой линейной скорости 2,6 м/с, скорость высыхания, практически, не зависит от износа.

Графики изменения температуры колодки и воды во время 6-ти часового испытания представлены на рисунке 5.

Средняя температура воды образца УРАЛ с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2 составляла 43 °С и 53 °С, а средняя температура колодки с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2 составляла 63 °С и 70 °С,

Средняя температура воды образца УРАЛ-2 с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2 составляет 43 °С и 48 °С, а средняя температура колодки с плетением углеродных волокон типа 1 и типа 2 составляет 53 °С и 62 °С,

Видно, что для образцов с плетением углеродных волокон типа 1 характерна более низкая температура контактной зоны трибосистемы. Следует отметить, что в колодке из углепластика УРАЛ-2, испытанного с большой скоростью, по сравнению с образцом УРАЛ, испытанного с малой скоростью, контактная температура была очень нестабильна (Рис. 5).

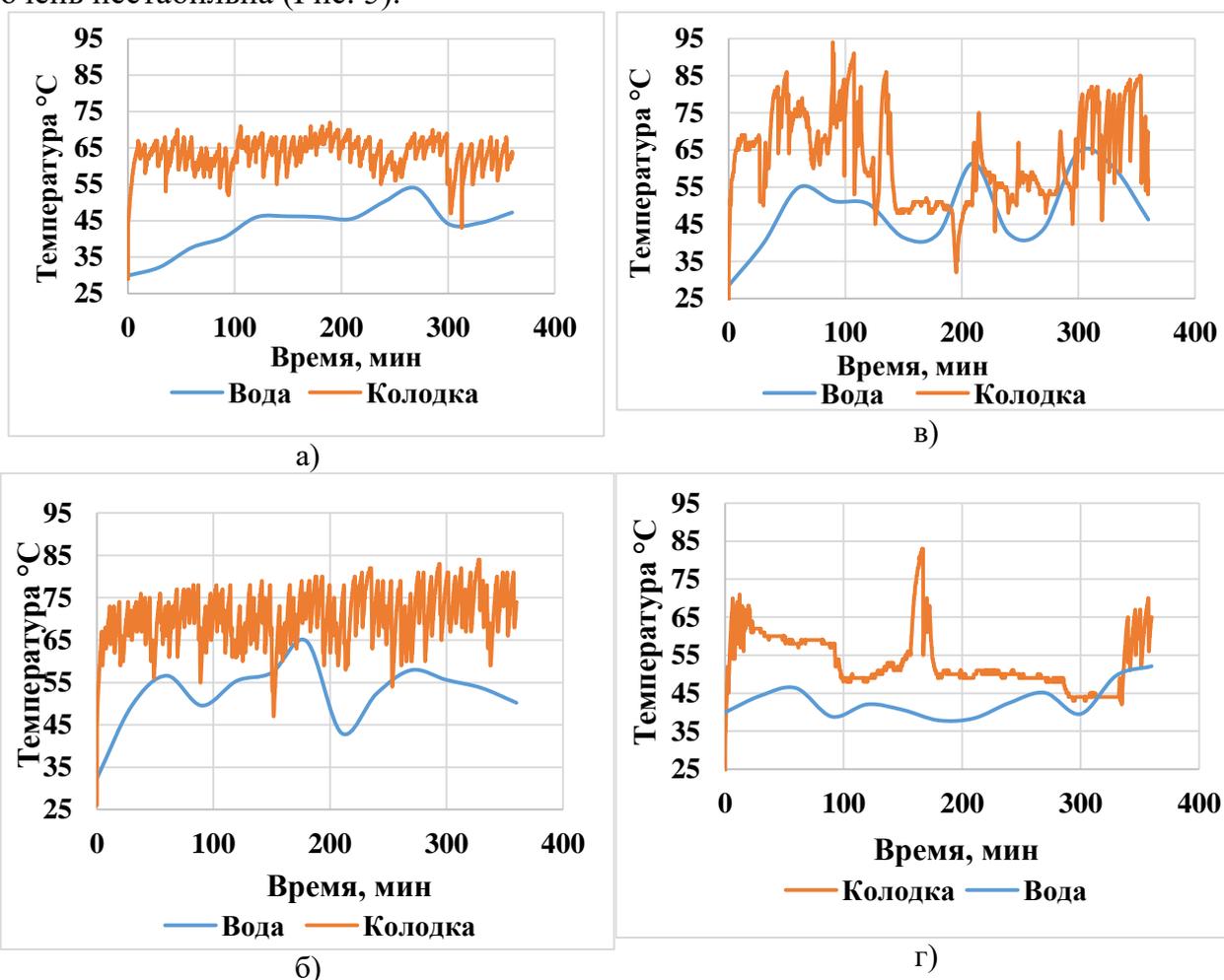


Рисунок 5 – Графики изменения температуры воды и колодки: а), б) Урал; в), г) Урал-2 с углеродными волокнами: а), в) типа 1; б), г) типа 2.

Заключение

В результате данной работы можно сделать следующие выводы:

1. Скорость высыхания для образцов из УРАЛ с плетением углеродных волокон типа 1, равна 0,07 мг/час, для волокон типа 2 равна 0,014 мг/час. Для образцов из УРАЛ-2 с плетением углеродных волокон типа 1, равна 0,09 мг/час, для волокон типа 2, равна 0,083 мг/час.
2. Для образцов с плетением углеродных волокон типа 2 характерен меньший износ, но больший коэффициент трения.
3. Для образцов с плетением углеродных волокон типа 1 характерна более низкая контактная температура трибосистемы.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00178, <https://rscf.ru/project/22-19-00178/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 57407-2017. ГОСТ Р 57407-2017 ВОЛОКНА УГЛЕРОДНЫЕ. Общие технические требования и методы испытаний. – Введ. 10.09.2017. – М.: Стандарт информ, 2020. – 15 с.
2. <https://radaindustries.ru/polymaterials>.
3. Применение антифрикционных углепластиков в подшипниках скольжения / Г. И. Николаев, В. Е. Бахарева, В. А. Власов [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 2(46). – С. 7-21.
4. Трение термопластичных углепластиков в воде / И. А. Рашкован, А. П. Краснов, М. Е. Казаков [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2006. – № 2(46). – С. 100-104.
5. Бахарева В. Е., Абозин И. Ю., Рыбин В. В. Разработка физико-химических основ и создание антифрикционных высокопрочных полимерных композитов // Вопросы материаловедения. — 2001 (26), № 2, 9—21.
6. Рашкован И. А., Краснов А. П., Афоничева О. В., Казаков М. Е., Арапов Н. С. Влияние природы смесей волокнистых наполнителей на характер трибохимических превращений углеводопластов // Трение и износ. – 2004. – Т. 25, № 1. – С. 93–98.
7. Гинзбург Б. М., Точильников Д. Г., Бахарева В. Е. и др. Полимерные материалы для подшипников скольжения, смазываемых водой. Обзор // Журнал прикладной химии. — 2006 (79), № 5, 705—716
8. Bin Hong, Guijun Xian and Zike Wang. Durability study of pultruded carbon fiber reinforced polymer plates subjected to water immersion. *Advances in Structural Engineering* 2018, Vol. 21(4) 571–579. DOI: 10.1177/1369433217732664.
9. Краснов А. П., Рашкован И. А., Афоничева О. В., Казаков М. Е., Мить В. А., Дубовик И. И.
10. Трибохимические процессы и триботехнические свойства углеводопластов со стекловолокном и стеклошарами на основе смеси полиамида и полиэтилена // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 6. – С. 654- 660.
11. Коршак В. В., Грибова И. А., Краснов А. П. и др. Особенности характера трения поликапроамида // ВМС. – 1987. – Сер. А, № 8. – С. 1699–1704.
12. Гинзбург, Б. М. Влияние химического состава металлических контртел на изнашивание углепластиков с полимерной матрицей при смазывании водой / Б. М. Гинзбург, Д. Г. Точильников, Л. А. Шibaев // Трение и износ. – 2007. – Т. 28, № 3. – С. 282-287.
13. Skotnikova M.A., Ivanov E.K., Ivanova G.V., Syundyukov I.S., Ryabikin A.Y. Comparative Studies of Motor Oils on Upgraded Friction Machine. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. Springer, 2022, pp. 59 - 69. DOI: 10.1007/978-3-030-91553-7.

14. Skotnikova M.A., Breki A.D., Evsinc M.G., Kalinin V.Y. Wasilewski M.R. Influence of the Concentration and Particle Size of Rock Powders on the Anti-Wear Properties of Oils // AIP Conference Proceedings, 2021, 2340, 060005. DOI: 10.1063/5.0047387.

15. Syundyukov, I., Skotnikova, M., Padgurskas, J., Tsvetkova, G., Tarasenko, E. Wearproof structural and phase status of the surface of preparation of steel 45 after plasma spraying of powder PN85Y15 // Materials Today: Proceedings, 2019, 30, pp. 650–655. DOI: 10.1016/J.MATPR.2020.01.454

E. O. Kuoma
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
Saint Petersburg, Russia. kuk.kukob@yandex.ru

RESEARCON ON SPEED OF DRYING FOR POLYMERS AFTER FRICTION IN WATER

Abstract

The phenomenon of water absorption during operation in conditions of water lubrication of carbon fiber plain bearings paired with steel bearings made with various types of carbon fiber interlacing is considered. The swelling of the carbon fiber was observed, which led to inaccuracy in measuring its wear. During tribotechnical tests according to the pad-roller scheme, changes in torque, coefficient of friction, mass of the roller, pads, temperature of pads and water were recorded in conditions of aqueous lubrication. After the tests, the actual wear of the pad and its drying rate are determined.

Key words: carbon fiber, bearing, water lubrication

УДК 620.193.272

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-251

А.К. Леонов¹, Wu Jianguy, М.А. Скотникова¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия, leonov_anton@bk.ru

²Jiangsu Pedagogical University, Xuzhou, 101 Shanghai Road, China

СТОЙКОСТЬ СПЛАВОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Аннотация

С помощью методов оптической металлографии и электрохимического окрашивания проведено систематическое исследование особенностей разрушения структурно и кристаллографически текстурированных титановых заготовок после малоцикловых испытаний в синтетической морской воде, содержащей 3,5 % NaCl. Показано, что за снижение малоцикловой выносливости ответственны коррозионно нестойкие структурно и кристаллографически выделенные области с базисной ориентацией границ раздела и шириной 20-30 мкм, которые периодически с шагом 100-170 мкм залегали по всей толщине заготовки. Показано, что для сталей аустенитного класса существует двойственность относительно наличия хлора в морской воде: он снижает активность микробиологической коррозии, но повышает риск питтинговой и щелевой коррозии.

Ключевые слова: коррозия, морская вода, микробиологическая, питтинговая, щелевая коррозия и коррозионное растрескивание.