

Ким К. К., Иванов С. Н., Горбунов А. В.
K. K. Kim, S. N. Ivanov, A. V. Gorbunov

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF SLIDING ELEMENTS OF ELECTROMECHANICAL CONVERTERS

Ким Константин Константинович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и теплоэнергетики Петербургского государственного университета путей сообщения (Россия, Санкт-Петербург); Россия, 190031, Московский пр., д. 9; тел. 8(903)096-57-70. E-mail: kimkk@inbox.ru.

Konstantin K. Kim – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Theoretical Electrical Engineering Department, Sankt-Petersburg State Transport University (Russia, Sankt-Petersburg); house 9, Moskovsky Av., Sankt-Petersburg, Russia. E-mail: kimkk@inbox.ru.

Иванов Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ivanov.sn@email.knastu.ru.

Sergey N. Ivanov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: ivanov.sn@email.knastu.ru.

Горбунов Александр Владимирович – аспирант кафедры электромеханики Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: froze96@mail.ru.

Alexander V. Gorbunov – Postgraduate Student, Electromechanics Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk territory, Komsomolsk-on-Amur, 27 Lenin str. E-mail: froze96@mail.ru.

Аннотация. Повышение эффективности технических систем связано с использованием новых материалов и технологий. В статье рассмотрен вопрос применения разработок, полученных в результате практических исследований различных сочетаний компонентов композитных материалов в качестве триботехнических элементов электромеханических преобразователей.

Summary. Increase of efficiency of technical systems is connected with the use of new materials and technologies. In the article, the question of application of the developments received as a result of practical researches of various combinations of components of composite materials as tribotechnical elements of electromechanical transducers is considered.

Ключевые слова: триботехнические материалы, технология изготовления, электромеханический преобразователь.

Key words: tribotechnical materials, manufacturing technology, electromechanical converter.

УДК 621.74

Введение. Разработка и внедрение новых материалов с высокими триботехническими характеристиками позволяют не только улучшать эксплуатационные параметры существующих технических систем, но и являются основой для создания принципиально новых типов устройств. Примером такого решения являются универсальные приводные устройства на основе электромеханических преобразователей. Традиционные конструкции электродвигателей постоянного и переменного тока используют узлы на основе различных серий и исполнений подшипников качения или скольжения, которые стоят на втором месте по интенсивности отказов после моточных эле-

Анализ конструкции покрытия показывает, что ей свойственна высокая технологичность, обусловленная выбором процесса формирования внутреннего покрытия статора, являющегося опорной поверхностью вращающегося ротора. Для оценки получаемых показателей прочности, стабильности и точности толщины покрытия внутренней поверхности необходимо определение его физико-механических характеристик [5-7].

При измерении твёрдости используется стационарный твердомер («Точприбор», г. Иваново). В протоколах измерений твёрдости указываются: обозначение образца, диаметр индентора, значение испытательного усилия, продолжительность выдержки, число твёрдости для каждого отпечатка, число твёрдости, полученное в результате обработки результатов измерений (см. табл. 1).

Таблица 1

Твёрдость поверхностей образцов

№ опыта	D , мм	F , Н	t , с	d , мм	НВ, МПа	Примечания
1вн	5	612,9	180	3,10	72,5	Композит: ЭД-20+Ф-4 литьё центробежное, термообработки нет
1н	5	612,9	180	2,95	81,1	
2вн	5	612,9	180	2,97	79,7	
2н	5	612,9	180	2,80	92,5	
3вн	5	612,9	180	2,16	160,0	Композит: ЭД-20+Ф-4+MoS ₂ литьё центробежное, термообработки нет
3н	5	612,9	180	2,23	149,4	
4вн	5	612,9	180	2,46	121,0	
4н	5	612,9	180	2,13	163,5	

Твёрдость образцов из эпоксиэфторопластового состава (ЭД-20 – эпоксидно-диановая смола, ГОСТ 10587-84, ПЭПА (10 мас. %) – полиэтиленполиамин ТУ 6-02-594-70, Ф-4 – фторопласт ГОСТ 10007-80, MoS₂ – дисульфид молибдена) измеряется как с внутренней (вн), так и наружной (н) стороны в каждом опыте.

Твёрдость поверхности статора после полимеризации без термообработки имеет среднюю величину 232,5 НВ. Модификация композиции фторопластом Ф-4, который имеет твёрдость порядка 30...60 НВ, приводит к снижению твёрдости. Поскольку наполнитель в зависимости от его долевого содержания занимает определённый объём в композиции, это препятствует появлению и снижает число сшивок в полимерной матрице. При литье центробежным методом проявляется фактор разделения, возрастающий с увеличением частоты вращения. Под действием центробежных усилий наполнитель перемещается по толщине формирующегося слоя композиции. Перемещение смещается к наружной поверхности при плотности наполнителя больше, чем плотность матрицы, внутренней – при меньшей. Концентрация наполнителя по толщине зависит от фракционной репрезентативности наполнителя и формы отдельных компонентов. Определённое влияние оказывают абсорбционные свойства наполнителя. Например, фторопласт Ф-4 (один из самых низкофрикционных технических материалов) имеет разброс размеров фракталов 10...315 мкм и практически не смачивается матрицей.

Теоретически в зависимости от технологических особенностей центробежного литья можно сформировать внутренний, переходный и наружный слой, насыщенные различными фракциями фторопласта и имеющие разную износостойкость и коэффициенты трения.

Среднее напряжение на растяжение для синтезированной композиции, как показал анализ измерений, составляет порядка 42 МПа, на сжатие – 88 МПа (см. табл. 2). Для сравнения: матрица ЭД-20, полученная при скорости вращения 5 с^{-1} , имеет среднее напряжение на растяжение около 30 МПа.

Анализ трения и изнашивания материалов показывает, что между трением и износом существует взаимосвязь, приведённая к удельным нагрузкам, скорости скольжения, сочетаниям свойств материалов. Исследования триботехнических характеристик подшипников скольжения проведены при режимах трения: давление (p) до 12 МПа, скорость скольжения (v) 4 м/с, количе-

ство циклов – 100. Коэффициент трения при $[pv] = 14$ МПа·м/с композитного покрытия по стали составляет от 0,025 до 0,12 при $p = 4...12$ МПа.

Таблица 2

Прочность внутренней поверхности статора

Величины	Номера образцов					Среднее
	1	2	3	4	5	
	Растяжение					
Сила F , Н	380	350	410	370	360	374
Площадь S , мм ²	10,41	6,54	11,87	10,76	7,31	9,378
Напряжение σ , МПа	36,5	53,51	34,54	34,38	49,42	41,63
	Сжатие					
Сила F , Н	3470	3180	3260	2700	3750	3272
Площадь S , мм ²	38,7	35,76	38,90	32,70	41,38	37,488
Напряжение σ , МПа	89,7	88,9	83,8	82,6	90,6	88,1

Следует отметить, что при нагрузке полимерный материал характеризуется увеличением линейного размера в среднем на 3...4 мкм (предельное приращение осевого размера составило 8 мкм). Это требует учёта при определении допуска при изготовлении подшипника.

ЛИТЕРАТУРА

- Иванов, В. А. Прогрессивные самосмазывающиеся материалы на основе эпоксиэфиропластов для триботехнических систем / В. А. Иванов, Хосен Ри. – Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2000. – 429 с.
- Патент № 2410852 Российская Федерация, МПК7 H05B 6/10 (2006.01), F25B 29/00 (2006.01), B21D 5/012 (2006.01). Теплогенерирующий электромеханический преобразователь; № 2008144042/09; заявлено 05.11.2008; опубликовано 27.01.2011 / Иванов В. А., Захарычев С. П., Богачев А. П., Уханов С. В., Иванов С. Н., Ким К. К.; заявитель ГОУВПО «КНАГТУ». – 7 с.
- Патент № 2525234 Российская Федерация, МПК7 H05B 6/10 (2006.01), F25B 29/00(2006.01), H01B 3/40 (2006.01). Теплогенерирующий электромеханический преобразователь; № 2012133033/07; заявлено 01.08.2012; опубликовано 10.08.2014 / Ким К. К., Ким В. А., Иванов С. Н., Попкова А. А. – 2 с.
- Хопин, П. Н. Комплексная оценка работоспособности пар трения с твёрдосмазочными покрытиями в различных условиях функционирования / П. Н. Хопин. – М.: МАТИ, 2012. – 255 с.
- О теории газовой смазки и одной её задаче / Космынин А. В., Хвостиков А. С., Щетинин В. С., Смирнов А. В. // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № III-1 (43). – С. 94-98.
- Отряскина, Т. А. Исследование деформационных процессов при трении / Т. А. Отряскина, М. В. Хортик // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2020. – № III-1 (43). – С. 104-109.
- Расширение области применения портативных измерителей твёрдости при контроле изделий машиностроения / Е. Г. Кравченко, С. А. Афанасьева, А. К. Кравченко, С. Б. Пачурина // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2022. – № III-1 (59). – С. 91-98.