

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль: 22.06.01 Технологии материалов/ 05.16.06 Порошковая металлургия и композиционные материалы

Школа: Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научно-квалификационной работы
<b>Разработка антифрикционных трехкомпонентных композитов на основе полиимида и полиэфиримида с углеродными волокнами и твердосмазочными наполнителями микро- и миллиметрового размерного диапазона</b>

УДК 620.22-419.8:621.893:678.5.067-022.532

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A8-48	Ло Цзянкунь		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Панин Сергей Викторович	д-р техн. наук, профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Клименов Василий Александрович	д-р техн. наук, профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОМ ИШНПТ	Панин Сергей Викторович	д-р техн. наук, профессор		

Томск – 2022 г.

Научно – квалификационная работа посвящена разработке антифрикционных трехкомпонентных композитов на основе полиимида и полиэфиримида с углеродными волокнами и твердосмазочными наполнителями микро- и миллиметрового размерного диапазона.

Полиимид (ПИ) и полиэфиримид (ПЭИ) со структурой арилиmidного гетероцикла представляют класс конструкционных материалов с гармоничным сочетанием таких важных физико-механических и функциональных свойств, как высокая тепло- и термостойкость, огнестойкость, химическая, радиационная и фотостойкость, прочность при разрыве и высокий модуль упругости, а также сохранением работоспособности в широком интервале температур. Они находят применение в микропроцессорах и жидкокристаллических дисплеях, в автомобилестроении (для производства уплотнительных колец, упорных шайб), в космической промышленности и самолетостроении (в деталях, работающих при высоких температурах и давлениях, включая электрические изоляторы), в медицине (для контролируемой доставки лекарств) и др.

Однако, несмотря на все присущие им достоинства, ПИ и ПЭИ весьма редко применяются для изготовления деталей трибоузлов, поскольку в ненаполненном виде они испытывают значительный износ при сухом трении скольжения. Поэтому повышение сопротивления изнашиванию ПИ и ПЭИ композитов является актуальной научно-технической проблемой.

В последние годы трибологи активно исследуют поведение фрикционных (смазочных) добавок в малоизученные либо новые полимерные материалы. В частности, весьма эффективными оказались термопластичные ПИ и ПЭИ при одновременном введении в них армирующих волокон и твердосмазочных частиц. Введение волокон повышает прочность и сопротивление композита изнашиванию, в то время как вторые улучшают характеристики трения, способствуя снижению износа. Такие полимерные композиты предназначены для применения в

безсмазочных подшипниках скольжения в условиях металло- и керамополимерных трибосопряжений.

Объектом исследования являлись: порошки ПИ (Solver PI-Powder 1600, SOLVER POLYIMIDE) и ПЭИ (Solver PEI ROOH, Китай) со средним размером частиц 20 мкм; молотые углеродные волокна (МУВ),  $l=200$  мкм, диаметр 7,5 мкм (ООО «ЗУКМ», Челябинск); рубленные углеродные волокна (РУВ)  $l=2$  мм (ООО «ЗУКМ», Челябинск); политетрафторэтилена (PTFE) (диаметр 6-20 мкм, (марка Ф4-ПН20, ООО «Руфлон», РФ)), волокна политетрафторэтилена (диаметр 50-100 мкм, длина 3-6 мм (CF/W-3, Shanghai Linflon Film Technology Co., Ltd., КНР); мелкодисперсный порошок «Флуралит» получаемый термическим разложением фторопласта Ф-4 (ООО - Флуралит синтез, средний диаметр менее 3 мкм); коллоидный графит марки С-1 с размером частиц 1-4 мкм (ООО «Графит Сервис», Россия); дисульфид молибдена  $MoS_2$  с размером частиц 1-7 мкм (Climax Molybdenum, США).

Для оценки работоспособности деталей трибоузлов проведено испытание материала в различных условиях (при разных схемах нагружения, высоких температурах и в широком диапазоне нагрузочно-скоростных условий, характеризуемом величиной  $P*V$  - удельное давление/скорость скольжения). Создание многокомпонентных композитов, в которых каждый наполнитель выполняет определенную функцию при разных условиях нагружения, является актуальным и эффективным подходом.

Тема исследований в настоящей диссертации актуальна в приложении к разработке антифрикционных материалов для узлов трения в машиностроении, включая высокотемпературные, низко- и высоконагруженные узлы трения (подшипники, шестерни, зубчатые передачи), а также уплотнительные (насосы, клапаны, задвижки) для металло- и керамополимерных трибосопряжений.