**Наименование проекта**

Разработка способов получения модифицированных полимерных композиционных материалов и методов прогнозирования упруго-прочностных и трибологических свойств создаваемых композитов

**Наименование Заказчика**

РФФИ

**№ Соглашения или Договора**

Договор № 20-08-00614\20 от 20.03.2020

**Сроки выполнения**

Год начала: 2020

Год окончания: 2020

**Наименование этапов работ и что по ним выполнено**

2020 г. (1-ый год выполнения проекта)

Ужесточение требований к функциональным и эксплуатационным параметрам материалов, используемых в триботехнике, является характерной чертой сегодняшнего состояния трибоматериаловедения. Промышленность России испытывает нехватку в конструкционных материалах собственного производства для узлов трения, работающих в жестких условиях (подшипники скольжения, торцевые уплотнения, поршневые кольца и т.д.). Решение этой задачи может быть реализовано применением новых композиционных полимерных материалов, более технологичных в заданных условиях трения и изнашивания механических систем. Расширение же сферы использования полимерных композитов возможно только путем модификации свойств известных типов полимеров.

Одним из наиболее перспективных методов создания полимерных композиционных материалов с новыми или улучшенными характеристиками является введение в полимерную матрицу различных видов наномодифицированных наполнителей и наноразмерных добавок. Свойства композиционных материалов с наноразмерными добавками существенно отличаются от композитов с макродисперсными наполнителями из-за развитой поверхности и высокой поверхностной активности. Причем, с ростом дисперсности наполнителя можно минимизировать степень наполнения полимерной матрицы наполнителем, при которой ее прочность и износостойкость растет без увеличения модуля упругости, жесткости и коэффициента трения. Применение в качестве добавок наноразмерных частиц способствует формированию новых соединений в поверхностном слое, отличающихся малым коэффициентом трения и повышенной износостойкостью.

В ходе выполнения проекта проведен целенаправленный поиск наполнителей и функциональных присадок для композитных полимерных материалов. В качестве полимерных связующих для антифрикционных композитных материалов были рассмотрены термопластичные полимеры: поликапроамид (ПА-6) и фенилон (ФС-2), а также эпоксидные-фенольные смолы. В качестве армирующих наполнителей были рассмотрены: аримидная нить (Аримид 29,4 Текс), углеродные гидроцеллюлозные волокна. В качестве антифрикционного наполнителя выбран порошок политетрафторэтилена марки Ф4МБ (сополимер тетрафторэтилена с гексафторпропиленом). Для улучшения характеристик композиционного материала рассмотрена возможность введения наноразмерных добавок: шпинели (железа, марганца, магния, хрома), серпентинитов, фулереновой сажи, модифицированного графита. В общем случае – наполнитель должен иметь высокую адгезию к связующему, высокую степень дисперсности, высокую термическую, гидролитическую и химическую стабильность, а также высокую степень чистоты.

Для придания поверхности полимерного материала адгезионных свойств (повышение адгезионной прочности на границе раздела компонентов) и для улучшения характеристик композиционных материалов выбраны оптимальные способы для модифицирования поверхности наполнителей. В результате проведенной плазмохимической модификации поверхности выявлено изменение химического состава и структуры поверхностных слоев, в то время как свойства и состав основной массы материала остались неизменными.

Для определения эффективных механических характеристик многофазной среды (полимерный композиционный материал, модифицированный нанодобавками) использована модель самосогласования, которая обеспечивает компромисс между точностью и сложностью расчетов. Соотношения для определения эффективного тензора упругости для рассматриваемой гетерогенной среды в случае малой концентрации (менее 20%) эллипсоидальных включений получены на основании простой схемы метода самосогласования. В случае большей концентрации включений была применена, дифференциальная схема самосогласования. Исследована зависимость эффективных констант (модуля Юнга и модуля сдвига композиционного материала) в зависимости от концентрации наполнителя.

Показана возможность подавления релаксационных процессов в композитах путем использования наноразмерных добавок различного типа. С этой целью на основании диаграмм «F-h» (сила–деформация) полученных методом нормального наноиндентирования, которые являются аналогом диаграммы напряжение – относительная деформация при традиционных макроиспытаниях на разрывной машине, для композита с нанодобавками. Проанализирована величина внутреннего рассеяния энергии, которая обусловлена внутренним трением в исследуемом материале.

С целью изучения напряженно-деформированного состояния композиционного материала в условиях трибологического контакта рассмотрена контактная задача о движении штампа с плоским основанием по границе гетерогенного полупространства под действием заданной силы. Численное решение контактной задачи представлено на основе программы, написанной на макроязыке APDL ANSYS. На основании численного решения описанной задачи исследованы контактные напряжения, в зависимости от механических свойств среды (концентрации нанонаполнителя в матрице композита), коэффициента трения.

**Перечень основных публикаций по результатам работ**

а) Публикации по результатам исследований в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus или в базе данных "Сеть науки" (WEB of Science):

- Kolesnikov V.I., Suvorova T.V., Belyak O.A. Modeling antifriction properties of composite based on dynamic contact problem for a heterogeneous foundation. Materials Physics and Mechanics, 2020, 46, 139-148

б) Публикации по результатам исследований в научных журналах, индексируемых в базе данных РИНЦ:

- Суворова Т. В., Беляк О.А. Контактные задачи для пористоупругого композита при наличии сил трения. Прикладная математика и механика, 2020, 84 - 4, 529-539

- Иваночкин П.Г., Беляк О.А. Влияние наноразмерных наполнителей на вязкоупругие свойства композиционных материалов с матрицей на основе фенилона. Новые материалы и технологии в машиностроении, 2020, 32, 25-29

- Суворова Т.В., Беляк О.А. Колебания штампа на гетерогенном основании при учете трения в области контакта и структуры среды. 2020, 163

- Суворова Т.В., Беляк О.А. Колебания штампа на гетерогенном основании при учете трения в области контакта и структуры среды. 2020, 2, 216-220

- Колесников В.И., Мантуров Д.С., Карпенко К.И., Ананко А.М. Влияние концентрации наполнителя на механические и трибологические свойства композиционного полимерного материала. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2020, 4, 56-60

в) Публикации по результатам исследований в прочих научных журналах

- Kolesnikov V.I., Suvorova T.V., Belyak O.A. Modeling antifriction properties of composite coatings based on dynamic contact problems. 2020, 6

г) Участие в мероприятиях по демонстрации и популяризации результатов проекта:

- 12-ая Международная научно-практическая конференция (Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава), РФ, Ростов-на-дону, 23 - 25 ноября 2020 г.

- Международная научно-практическая конференция "Транспорт: наука, образование, производство" ("Транспорт-2020"), РФ, Ростов-на-Дону, 20 - 22 апреля 2020 г.

- Международная научно-практическая конференция "Транспорт: наука, образование, производство" ("Транспорт-2020"), РФ, Ростов-на-Дону, 20 - 22 апреля 2020 г.

- XLVIII International Summer School – Conference Advanced Problems in Mechanics; минисимпозиум: "Contact mechanics, tribology and technology".

- XX Международная конференция «Современные проблемы механики сплошной среды».

- XXXII международная научно-техническая интернет-конференция «Новые материалы и технологии в машиностроении».