

ISSN 2091-5527

№ 2/2026

Ўзбекистон

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТИФРИКЦИОННЫХ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Шернаев А.Н., Негматов С.С., Усенова Г.С., Гулямов Г.

Аннотация. В данной работе описываются материалы и комплексная методика исследования древесно-полимерных композитов (ДПК), предназначенных для работы в узлах трения. Рассматриваются технологические режимы получения образцов методом экструзии, стандарты механических и термических испытаний, а также специализированная методика трибологических тестов по схеме «вал–втулка».

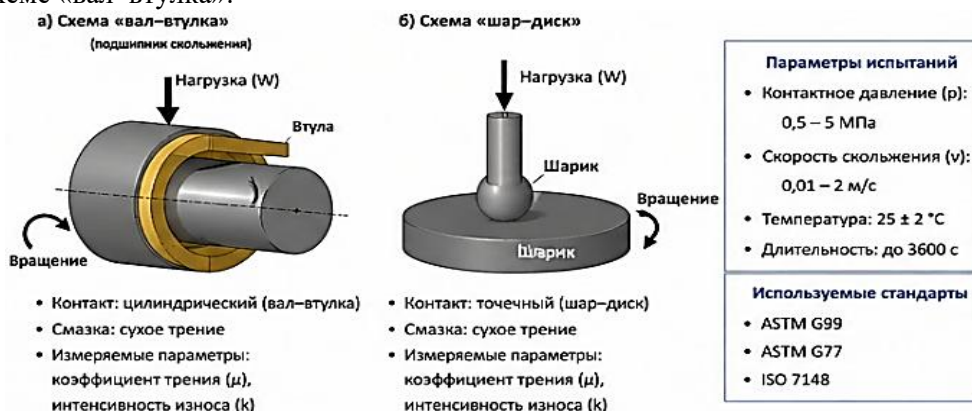


Рисунок 1. Схемы трибологических испытаний

Особое внимание уделено методам математического планирования эксперимента (DOE) для оптимизации состава композита и построения регрессионных моделей (рисунок 2).

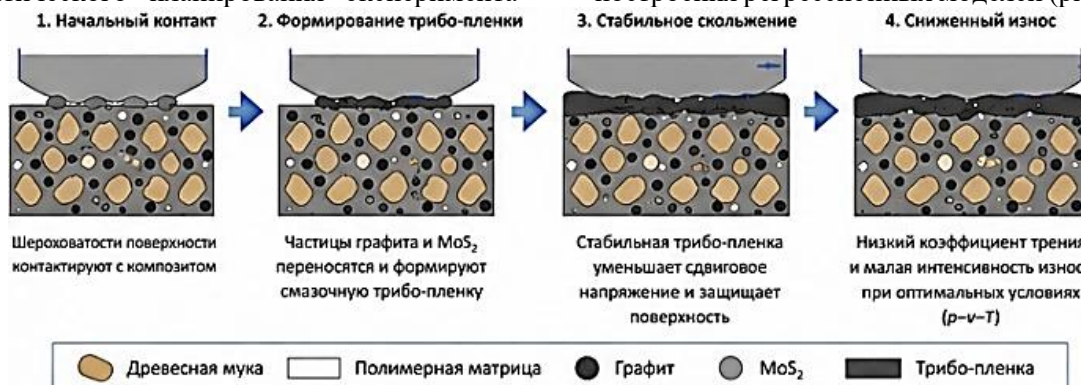
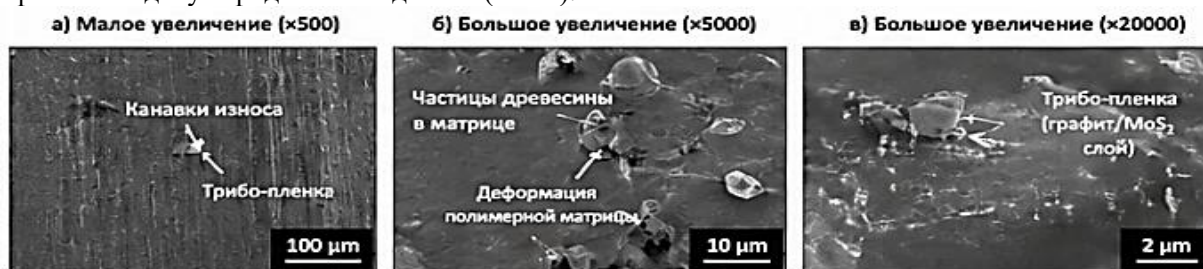


Рисунок 2. Механизм износа и формирования трибо-пленки в ДПК

Материалы исследования. В качестве полимерной матрицы для создания композитов использовались полиэтилен высокой плотности (HDPE) и полипропилен (PP). Наполнителем служила древесная мука с фракцией частиц 80–200 мкм. Для придания антифрикционных свойств в состав вводились модификаторы: графит и дисульфид молибдена (MoS_2).

Взаимодействие между компонентами обеспечивалось применением совместителя на основе МАН-графтированного полимера [1-3].

Микроструктурные особенности распределения наполнителя и формирование трибо-плёнки представлены на микрофотографиях (рисунок 3).



Поверхность износа покрыта гладкой трибо-пленкой с внедренными смазывающими частицами, что обеспечивает низкий коэффициент трения и сниженный износ.

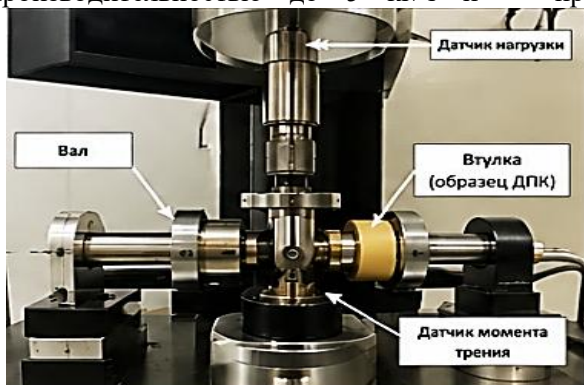
Рисунок 3. СЭМ-микрофотографии поверхности износа ДПК

Технология получения образцов.

Процесс создания композита включал следующие этапы:

1. **Смешение:** Компоненты перерабатывались в лабораторном смесителе при температуре 160–180 °С.

2. **Экструзия:** Использовался двухшнековый экструдер (диаметр шнека 20–25 мм) с производительностью до 5 кг/ч и



Конфигурация «вал–втулка» на трибометре

Рисунок 4. Экспериментальная установка и процесс получения образцов

контролем температуры в зонах от 120 до 200 °С. Скорость вращения шнеков варьировалась в пределах 50–300 об/мин.

3. **Формование:** Образцы втулок изготавливались методом прессования из полученного экструдата.

Технологическая схема получения композита и экспериментальная установка приведены на рисунке 4.

**Методы испытаний и оборудование.**

Трибологические исследования. Испытания проводились на универсальном трибометре (аналог TRB3) по схемам «вал–втулка» и «шар–диск» согласно стандартам ASTM G99, G77 и ISO 7148. Параметры испытаний включали:

– Контактное давление: 0,5–5 МПа.

– Скорость скольжения: 0,01–2 м/с.

– Регистрация коэффициента трения осуществлялась в реальном времени с погрешностью не более ±2%. Интенсивность износа определялась по модели Арчарда на основе потери массы образцов.

Параметры испытаний:

– Давление: 0,5–5 МПа

– Скорость: 0,01–2 м/с

Коэффициент трения рассчитывался по формуле: $\mu = \frac{F_{tr}}{N}$

Интенсивность износа определялась по модели Арчарда: $k = \frac{V}{W \cdot L}$

Механические испытания. Прочность при растяжении и модуль упругости определялись по стандартам ASTM D638 и ISO 527 на универсальной машине трения с усилием до 50 кН. Также проводились испытания на трехточечный изгиб (ASTM D790) и ударную вязкость по методу Шарпи (ISO 179).

Структурный и тепловой анализ.

– **Микроскопия:** Морфология поверхности и распределение частиц наполнителя изучались с помощью сканирующей электронной микроскопии (SEM) с увеличением до ×50 000 и EDS-анализатором для определения элементного состава.

– **Термические методы:** Степень кристалличности и тепловые переходы определялись методом ДСК (ISO 11357), а термостабильность - методом ТГА (ISO 11358).

Планирование эксперимента и статистическая обработка. Для минимизации количества опытов и выявления взаимодействий между факторами применялся полный факторный эксперимент 2³. В качестве варьируемых факторов выступали:

1. Содержание древесного наполнителя (10–40 мас.%).

2. Контактное давление (1–3 МПа).

3. Скорость скольжения (0,5–1,5 м/с).

Результаты обрабатывались методом дисперсионного анализа (ANOVA) с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Для оценки адекватности полученных регрессионных моделей рассчитывался коэффициент детерминации **R²**.

Кодирование переменных: $x_i = \frac{x_i - x_0}{\Delta x}$

Список литературы

1. Archard J. F. Contact and rubbing of flat surfaces // Journal of Applied Physics. – 1953. – Vol. 24, No. 8. – P. 981–988. (Основание для модели износа Archard).
2. Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiments. – 9th Edition. – Wiley, 2017. (Для методологии планирования эксперимента DOE и ANOVA).
3. Snedecor G. W., Cochran W.G. Statistical Methods. – Iowa State University Press, 1989. (Для статистической обработки результатов и корреляционного анализа Пирсона).

Шернаев А.Н, Негматов С.С., Усенова Г.С., Гулямов Г. Методология исследования структуры и триботехнических характеристик антифрикционных древесно-полимерных композитов	54
Xusanov N.A., Rajerova M. Kesuvchi materiallarga vakuumda CVD va PVD usulida qoplama qoplash texnologiyasi	56
Berdiyev Sh.A., Cho‘lliyev Z.F., Hamdamov D.H. Detallarni azotlash so‘ngra oksidlash bilan kompozit nitrid-oksidi qoplamalarini olish usuli	58
Mardanova Y.O‘., Kamalova D.I., Abed N.S. Yarim elektr o‘tkazuvchi kompozitsion polimer materiallarning elektr o‘tkazuvchanlikning xossalari tadqiq etish	60
Раззоков Х.Қ., Амонов М.Р. Табиий сапропел минералини механик майдаланиш даражасининг поралар умумий ҳажми ўзгаришига таъсири	63

3. Разработка и технология получения композиционных материалов

Косимов Ш.Б., Абед Н.С., Негматов Ж.Н. Исследование и разработка технологии получения композиционных полипропиленовых материалов и колковых деталей из них для применения в рабочих органах хлопкоперерабатывающих машин и механизмов	65
Номозов С.С., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Рахимов Х.Ю., Жовлиев Ш.Х., Абдуганиев А.И. Разработка научно-методических принципов и инновационной технологии получения композиционных химических ингибиторов на основе местного сырья и отходов производств..	68
Inog‘omov S.Y., Asrorov U.A. Natriy–karboksimetiltellyuloza va poliakrilamid asosida interpolimer kompleksini olinish texnologiyasi	70
Бердиев Ш.И., Эркабаев Ф.И., Абдулакимов И.Ф., Шокиров А.П., Эсанбаев Ф.И. Получение Н-пермутита	73
Талипов Н.Х., Панжиев О.Х., Салимова С.А., Абед Н.С., Икрамова М.Э. Разработка технологии получения тампонажных композиционных материалов на основе местного сырья и отходов производств, и растворов из них	76
Хамдамова Ч.Х., Очилов Э.А., Сайфиева П.О., Бекпулатов Х.О., Абед Н.С. Способы переработки золы от сжигания энергетических углей и перспективы комплексного использования золошлаковых отходов Ангренской ТЭС	77
Xasanova S.X., Shamanov Sh.X. Birlamchi va ikkilamchi polietilentereftalat asosida olingan kompozitsion kalavani bo‘yash jarayonini tadqiq etish	80
Эшдавлатова Г.Э., Исмаилова Х.Дж. Эффективность работы пеногасителей на основе ЭО-ПО-ПДМС в растворах диэтанолamina	82
Негматов С.С., Эрниева Н.Б., Негматов Ж.Н., Негматова К.С., Бозоров Д., Курбонов У.М., Абед Н.С., Икрамова М.Э., Бозоров А.Н., Раупова Д.Н. О развитии металлургической промышленности в области извлечения цветных, благородных и редких металлов	86
Нурназарова Г.У., Тухтаев Ф.С., Негматова К.С., Уктамова Ф.А., Уктамова З.А. Исследование изотермических закономерностей адсорбционного процесса в композиционных сорбентах	91
Умиров Ф.Э., Шодиева М.С., Номозова Г.Р. Получение дефолианта на основе хлората магния, содержащего поверхностно-активные вещества	94
Джумаева М.С. Физико-химические основы крашения хлопчатобумажной тканей растворами металлокомплексными соединениями	96
Qoraboyeva N.M., Gafurova D.A., Qurbonov H.G., Ikramova S.M., Rustamov M.K. Xlorlangan polivinilxlorid asosida anionitning olinishi	99

4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов

Номозов С.С., Негматов С.С., Негматова К.С., Икрамова М.Э., Абед Н.С., Рахимов Х.Ю., Жовлиев Ш.Х., Абдуганиев А.И. Исследование физико-химических свойств органоминеральных ингредиентов на основе местного сырья и отходов производств и разработка эффективных составов композиционных ингибиторов, применяемых для защиты от коррозии рабочих органов испытательных машин и механизмов, используемых в процессе оценки эффективности нефтегазовых скважин.....	104
--	-----