

РАЗРАБОТКА И ПОЛУЧЕНИЕ ФЕНОПЛАСТОВЫХ КОМПОЗИТОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Е.В. Гусев, Н.А. Набойщикова, М.Ю. Колобов, Т.А. Агеева

Евгений Валентинович Гусев (ORCID 0000-0003-0705-6368)*

Кафедра энергетики теплотехнологий и газоснабжения, Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, ул. Рабфаковская, 34, Иваново, Российская Федерация, 153003

E-mail: gusev_pcm@mail.ru*

Наталья Алексеевна Набойщикова (ORCID 0000-0001-6829-2060), Татьяна Арсеньевна Агеева (ORCID 0000-0001-9445-4262)

Кафедра химии и технологии высокомолекулярных соединений, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: natalina.nn13@gmail.com, tageeva@isuct.ru

Михаил Юрьевич Колобов (ORCID 0000-0001-6317-8816)

Кафедра технологических машин и оборудования, Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

Приведены исследования, позволяющие выявить возможность применения в машиностроительной области полимерных композиционных материалов на основе твердых фенолоформальдегидных смол резольного и новолачного типов и органических отходов целлюлозного материала картонно-фибрового производства целлюлозно-бумажной промышленности с использованием минеральных и органических добавок и термических методов прямого пластикационного и полимеризационного прессования. Рассмотрены технологические способы и режимы переработки сырьевых материалов, их смешивания, термической пластикации и горячего силового отверждения, а также рекомендуемое аппаратное оформление технологических процессов по получению фенопластовых композитов с рекомендациями по улучшению их свойств. Приведены прочностные свойства (прочность при растяжении и изгибе, ударная вязкость, твердость) и физико-химические характеристики (водопоглощение, маслопоглощение) фенопластовых композитов с 50% наполнением при заданных условиях термического прессования (температура 170 °С, удельное давление 20 МПа, время выдержки - 1 мин на 1 мм толщины изделия). Установлено влияние порошковой химической добавки сульфата алюминия на уплотнение сетчато-пространственной структуры разработанных композитов и повышение их механических характеристик, физико-химической стойкости и износостойкости. Определены закономерности изменения триботехнических свойств композитов (коэффициента трения, интенсивности и продолжительности изнашивания) от прилагаемой силовой динамической нагрузки и скорости скольжения при сухом и смазывающем взаимодействии в зоне контакта пары трения с фиксацией поверхностной температуры образца. Установлены закономерности термической стойкости фенопластовых композитов в условиях сухого и жидкостного трения. Приведен сравнительный анализ прочностных, физико-химических и трибологических характеристик фенопластовых композитов по типу связующих олигомеров и применяемой структурирующей химической добавки.

Ключевые слова: смола, наполнитель, композит, состав, пластикация, термопрессование, температура, давление, растяжение, изгиб, ударная вязкость, маслопоглощение, водопоглощение, трение

Для цитирования:

Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Колобов М.Ю., Агеева Т.А. Разработка и получение фенопластовых композитов машиностроительного назначения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2024. Т. 67. Вып. 9. С. 82–89. DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.7021.

For citation:

Gusev E.V., Naboyshchikova N.A., Kolobov M.Yu., Ageeva T.A. Development and production of phenoplastic composites for engineering purpose. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 9. P. 82–89. DOI: 10.6060/ivkkt.20246709.7021.

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF PHENOPLASTIC COMPOSITES FOR ENGINEERING PURPOSE

E.V. Gusev, N.A. Naboyshchikova, M.Yu. Kolobov, T.A. Ageeva

Evgeny V. Gusev (ORCID 0000-0003-0705-6368)*

Department of Energy, Heat Technologies and Gas Supply, Ivanovo State Power Engineering University named after V.I. Lenin, Rabfakovskaya st., 34, Ivanovo, 153003, Russia

E-mail: gusev_pcm@mail.ru*

Natalia A. Naboyshchikova (ORCID 0000-0001-6829-2060), Tatiana A. Ageeva (ORCID 0000-0001-9445-4262)

Department of Chemistry and Technology of Macromolecular Compounds, Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: natalina.nn13@gmail.com, tageeva@isuct.ru

Mikhail Yu. Kolobov (ORCID 0000-0001-6317-8816)

Department of Technological Machines and Equipment, Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

Research is presented that makes it possible to identify the possibility of using in the engineering field polymer composite materials based on solid phenol-formaldehyde resins of the resol and novolac types and organic waste cellulose material from cardboard and fiber production of the pulp and paper industry using mineral and organic additives and thermal methods of direct plasticization and polymerization pressing. Technological methods and modes of processing raw materials, their mixing, thermal plasticization and hot power curing are considered, as well as the recommended hardware design of technological processes for the production of phenol plastic composites with recommendations for improving their properties. The strength properties (tensile, bending, impact strength, hardness) and physical and chemical characteristics (water absorption, oil absorption) of phenolic composites with 50% filling at technological parameters of thermal pressing (temperature 170 °C, specific pressure 20 MPa, holding speed of 1 mm per product thickness) are given. The influence of the powder chemical additive of aluminum sulfate on the compaction of the network-spatial structure of the developed composites and the increase in their mechanical characteristics, physico-chemical resistance and wear resistance has been established. The patterns of changes in the tribological properties of composites (friction coefficient, intensity and duration of wear) from the applied dynamic force load and sliding speed during dry and lubricating interaction in the contact zone of the friction pair were determined, with the surface temperature of the sample being fixed. The regularities of thermal resistance of phenol plastic composites under conditions of dry and liquid friction have been established. A comparative analysis of the strength, physicochemical and tribological characteristics of phenol plastic composites according to the type of binding oligomers and the structuring chemical additive used is presented.

Key words: resin, filler, composite, composition, plasticization, heat pressing, temperature, pressure, stretching, bending, impact strength, oil absorption, water absorption, friction

ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой ряда производств целлюлозно-бумажной промышленности является

накопление больших отвальных отходов, требующих их утилизации в связи с повышением санитарно-экологических требований. Одним из пер-

спективных направлений по использованию отходов является создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе синтетических связующих и структурированных дисперсно-волоконистых наполнителей [1-5]. Из имеющейся практики установлено, что сочетание ряда фенолоформальдегидных смол с дисперсно-волоконистыми наполнителями (асбест, сульфатная и хлопковая целлюлоза и др.) и некоторыми легирующими добавками позволяет создать ПКМ с повышенными стабилизированными эксплуатационно-техническими свойствами по сравнению с другими терморезистивными полимерами [6-9]. Поэтому разработка рациональных составов фенопластовых композитов с использованием отвальных отходов и технологий их переработки и получения полимерных композиционных изделий является актуальными задачами по утилизации отходов и созданию востребованных технических изделий общетехнического и машиностроительного назначения, имеющих возможность конкурировать с другими аналогами по их производству [10-11].

Целью исследования являлось апробирование использования разработанных рациональных составов фенопластовых композиционных материалов (ФКМ), технологических способов их получения и оценка комплекса эксплуатационно-технических свойств ФКМ, необходимых для создания изделий машиностроительного назначения.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве основных компонентов ФКМ использовались измельченные отходы волокнистой целлюлозной фибры и связующие в виде твердых фенолоформальдегидных смол резольного (СФ-342) и новолачного типов (СФ-010) типов. В качестве технологических добавок использовались минеральные и органические вещества: окись магния, каолин, стеарат кальция, уротропин, сульфат алюминия, пигменты.

Технологический цикл получения ФКМ на твердых олигомерах достаточно апробирован в химической технологии производства технических полимерных изделий, однако эксплуатационно-технические и технологические свойства компонентов и их смесей накладывают свой отпечаток на способы и режимы механической и термической переработки материала [12-14].

Основными технологическими стадиями производства ФКМ являются предварительная подготовка сырьевых материалов, их дозирование и смешение, термическая пластикация, подготовка пресс-материала, термопрессование, термическая обработка готовых изделий.

В основе подготовки синтетических смол и волокнистого наполнителя (ВН) преобладают процессы конвективной сушки, среднего и тонкого измельчения и классификации, позволяющие получить сухие дисперсные материалы с требуемыми комплексами полидисперсных составов. Фракция наполнителя должна иметь тонкодисперсные волокна длиной $l = 10-160$ мкм и диаметром от $d = 5-30$ мкм, т. е. в среднем $l = (4-5)d$. Размер частиц смолы в интервале 1,0-2,5 мм. В качестве технологического оборудования использованы камерная сушилка, роторный измельчитель типа ИПР-100, ударно-центробежная мельница с системой классификации дисперсно-волоконистого материала [15].

Смешение компонентов и добавок проводилось в условиях тесного их механического взаимодействия при использовании каткового смесителя (бегунов), что способствовало 10%-ному увеличению физико-механических характеристик композитов по сравнению с использованием лопастного смесителя вследствие большего усреднения и гомогенизации смеси.

Термическая пластикация полимерной массы является процессом предварительной пропитки смолой волокон наполнителя и обычно осуществляется способом вальцевания между обогреваемыми стальными полыми валками с зазором между ними 1-2 мм. В нашем случае был применен способ силовой пластикации в обогреваемой металлической форме для изготовления технических изделий при температуре 80-90 °С и сжимающей удельной нагрузке 10 МПа с выдержкой 0,5 мин на 1 мм изделия. Данный способ пластикации позволяет получить заготовку изделия для последующей стадии термического прессования, минуя процесс механической подготовки пресс-материала и способствует интенсификации процесса отверждения [16].

Отработка режимных параметров процесса прямого горячего прессования фенопластовых изделий проводилось ранее на гидравлических прессах при различных составах пресс-материала. При этом установлены следующие эффективные режимы отверждения: температура 170-180 °С, давление 20-30 МПа, выдержка – 1 мин на 0,8-1 мм толщины изделия [17].

Термическая обработка отпрессованных фенопластовых образцов является дополнительным технологическим процессом по снятию остаточных внутренних напряжений и повышению качества изделий. Данный процесс проводился при температуре 140 °С в нагревательном шкафу в течение 2 ч.

Полученные по данной технологии фенопластовые образцы с 50% наполнением и введением дополнительно к ранее разработанным составам [17] легирующей добавки в виде сульфата алю-

миния в олигомеры (табл. 1-2) подвергались исследованию по определению эксплуатационно-технических свойств в условиях статического и динамического нагружения.

Таблица 1

Состав (масс.%) фенопластового композита на основе смолы СФ-010
Table 1. Composition (mass.%) of phenolic composite based on SF-010 resin

ВН	Смола СФ-010	Уротропин	CaO	Каолин	Al ₂ (SO ₄) ₃	Стеарат кальция
50	35	6,8	0,9	4,4	2	0,9

Таблица 2

Состав (% масс.) фенопластового композита на основе смолы СФ-342

Table 2. Composition (% mass.) of phenolic composite based on SF-342 resin

ВН	Смола СФ-342	MgO	Каолин	Al ₂ (SO ₄) ₃	Стеарат кальция
50	41,5	0,9	4,4	2	1,2

Эксплуатационно-технические свойства предлагаемых фенопластовых образцов (табл. 1-2) определялись по их прочностным, трибологическим и физико-химическим характеристикам в соответствии с принятыми стандартизированными методами исследования.

Исследования прочностных свойств образцов ФКМ осуществлялось по стандартным методикам по определению пределов прочности при растяжении, статическом изгибе, удельной ударной вязкости, твердости по Роквеллу [18-21].

Физико-химические свойства фенопластовых образцов толщиной 3 мм на основе резольной и новолачной олигомерах определялись в соответствии со стандартными методиками на полимерные композиционные материалы [22]. При этом проводилась оценка относительного изменения массы и коэффициента набухания в водных растворах кислот и щелочей и органических жидкостях в течение 24 ч.

Трибологические характеристики (коэффициент трения, интенсивность и продолжительность изнашивания) и термические показатели фенопластовых образцов получены в результате проведения испытаний по стандартной методике на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме трения «колodka – диск». Контртело представляет собой стальной диск диаметром 40 мм из стали 45 с твердостью 50 НВ, шероховатость – R = 0,06-0,08 мкм. Испытания проводились при переменных режимах в диапазонах контактной нагрузки – P = 1-6 МПа и линейной скорости скольжения – $v_s = 0,6-2,5$ м/с (n = 300-1200 об/мин) при сухом и смазывающим

взаимодействии (масло индустриальное И-40) в зоне контакта пары трения с фиксацией поверхностной температуры образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования прочностных свойств образцов ФКМ плотностью 1400-1460 кг/м³ по предельным характеристикам (прочности при растяжении σ_p , и изгибе $\sigma_{из}$, ударной вязкости a_n по Изоду (образцы с надрезом), модуля упругости E_p (модуля Юнга)) получены при использовании испытательной техники test systems и приведены в табл. 3.

Таблица 3

Прочностные свойства фенопластовых композитов с 50% наполнением
Table 3. Strength properties of phenolic plastics composites with 50% filling

Смола	σ_p , МПа	$\sigma_{из}$, МПа	a_n , кДж/м ²	E_p , ГПа
СФ342	15,1	60,2	11,8	1,42
СФ010	15,6	54,5	13,6	1,44

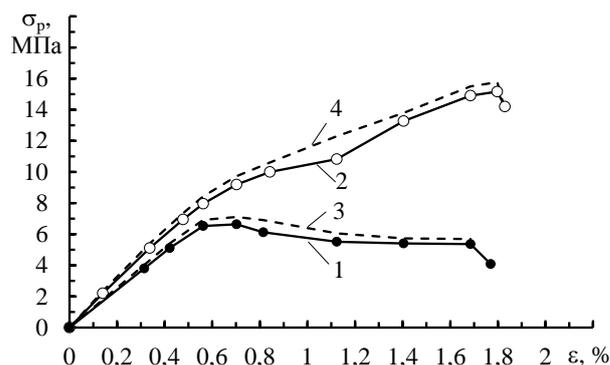


Рис. 1. Диаграмма растяжения фенопластовых образцов на основе олигомеров СФ342 и СФ010 с 50% наполнением ВН: 1 – СФ342 без добавки сульфата алюминия; 2 – СФ342 с добавкой соли; 3 – СФ010 без добавки сульфата алюминия; 4 – СФ010 с добавкой соли

Fig. 1. Tensile diagram of phenol plastic samples based on oligomers SF342 and SF010 with 50% VN filling: 1 – SF342 without the addition of aluminum sulfate; 2 – SF342 with added salt; 3 – SF010 without the addition of aluminum sulfate; 4 – SF010 with added salt

По сравнению с ранее разработанными фенопластовыми композитами без использования легирующей добавки сульфата алюминия при вальцевом способе пластикации и термическом отверждении, полученные фенопластовые образцы рекомендуемых составов (табл. 1-2) отличаются повышенными прочностными показателями, особенно это наблюдается при одноосном растяжении. На рис. 1 приведены сравнительные экспериментальные диаграммы растяжения композитов при одноосном нагружении.

Как следует из диаграммы растяжения фенопластовых образцов, характер зависимости относительной деформации ϵ от напряжения σ_p для обоих композитов на основе рассматриваемых олигомеров идентичен и отражается в изменении механизма деформации. Введение 2% сернокислого алюминия в состав композита позволило увеличить упругие свойства материала, повысить структурную плотность дисперсно-волокнутого наполнителя в полимерной матрице, что отражается для фенопластовых образцов, содержащих сульфат алюминия, в увеличении предела прочности σ_p при растяжении в среднем в 2,5 раза и модуля упругости E_p на границе упругой области ($\epsilon = 0,0056$) на 22%. При этом следует отметить, что при увеличении силовой нагрузки σ_p при растяжении фенопластовых образцов с добавкой сульфата алюминия, процесс деформирования плавно переходит из упругой области в зону упруго-пластичного состояния, что приводит к повышению ресурса работоспособности композитов.

С целью оценки химической стойкости фенопластовых композитов на основе олигомеров СФ342 и СФ-010 к воздействию различных агрессивных жидкостей в течение 24 ч были определены физико-химические характеристики с применением стандартных методов по измерению массы и объема испытуемых образцов [22]. Относительные изменения массы и коэффициента набухания фенопластовых образцов (толщина 3 мм) приведены в табл. 4.

Представленные характеристики химической стойкости фенопластовых композитов к воздействию различных агрессивных сред в основном показывают хорошую стабильность, позволяющую разработанные ФКМ отнести к группе химически стойких материалов [22].

На рис. 2-4 приведены результаты испытаний полученных фенопластовых образцов на машине трения, отражающие зависимости изменения

коэффициентов трения от приложенной контактной нагрузки, скорости скольжения в режимах сухого и жидкостного взаимодействия пары трения.

Полученные данные имеют небольшой разброс величин коэффициента трения, что предположительно связано с эффектом самосмазывающей способности в зоне контакта пары трения, т. е. при испытаниях наблюдалось появление поверхностного пылеобразного налета нестабильного микрослоя.

Таблица 4

Физико-химические свойства композитов на основе олигомеров СФ342 и СФ-010
Table 4. Physico-chemical properties of composites based on oligomers SF342 and SF-010

Среда	Изменение массы, %		Коэффициент набухания, %	
	СФ342	СФ010	СФ342	СФ010
Уксусная кислота, 20%	0,65	0,77	1,54	1,17
Уксусная кислота, 50%	0,75	0,83	1,49	1,24
Азотная кислота, 10%	2,24	2,5	3,72	2,23
Азотная кислота, 40%	4,65	3,69	5,15	8,91
Соляная кислота, 10%	1,52	1,79	1,14	5,68
Соляная кислота, 20%	1,89	1,55	1,58	2,92
Соляная кислота, 35%	2,27	1,51	1,85	2,24
Серная кислота, 10%	1,15	1,21	2,26	2,75
Серная кислота, 20%	1,48	1,67	2,39	2,05
Серная кислота, 30%	1,55	1,85	2,43	1,1
NH ₄ OH, 10%	0,91	0,81	3,3	1,67
NaOH, 5%	2,29	-	6,32	-
Трансформаторное масло	0,18	0,2	0,22	0,23
Керосин	0,19	0,54	0,26	0,82

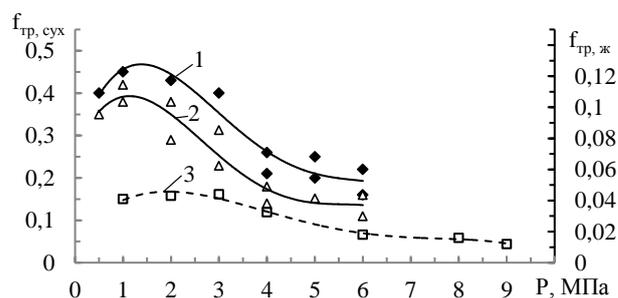


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения образцов на основе олигомера СФ342 от контактной нагрузки при скорости 1 м/с: 1 – без добавки; 2, 3 – с добавкой сульфата алюминия при сухом (1; 2) и жидкостном трении (3)

Fig. 2. Dependence of the friction coefficient of samples based on the SF342 oligomer against contact load and speed 1 m/s with dry (1; 2) and liquid friction (3): 1 – without additive; 2, 3 – with the addition of aluminum sulfate

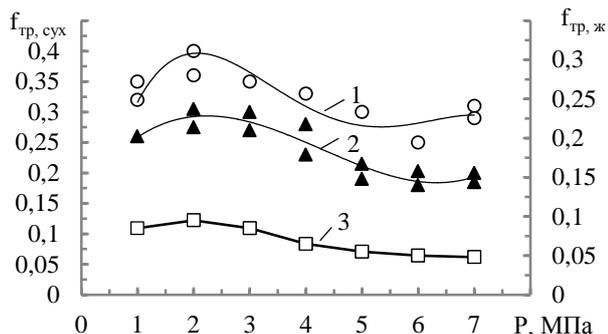


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения образцов на основе олигомера СФ010 от контактной нагрузки при скорости 1 м/с: 1 – без добавки; 2, 3 – с добавкой сульфата алюминия при сухом (1; 2) и жидкостном трении (3)

Fig. 3. Dependence of the friction coefficient of samples based on oligomer SF010 on contact load and speed 1 m/s with dry (1; 2) and liquid friction (3): 1 – without additive; 2, 3 – with the addition of aluminum sulfate

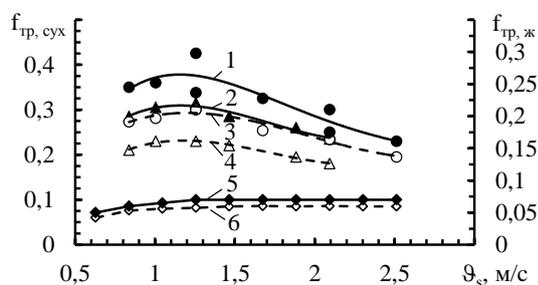


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения образцов на основе олигомеров СФ010 (1; 3; 5-6) и СФ342 (2; 4) от скорости скольжения при контактной нагрузке 4 МПа при сухом (1-4) и жидкостном трении (5-6): 1, 2, 5 – без добавки; 3, 4, 6 – с добавкой сульфата алюминия

Fig. 4. Dependence of the friction coefficient of samples based on oligomers SF010 (1; 3; 5-6) and SF342 (2; 4) on sliding speed at contact load 4 МПа with dry (1-4) and liquid friction (5-6): 1, 2, 5 – without additive; 3, 4, 6 – with the addition of aluminum sulfate

Результаты испытаний, представленных на рис. 2-4, показывают, что область устойчивого стабилизированного износа (без признаков заедания поверхности трения) при сухом трении по коэффициентам трения наблюдается в интервале значений 0,9-2,1 м/с скорости скольжения при контактной нагрузке 4 МПа, а при жидкостном контакте износостойкость фенопластовых образцов повышается с существенным снижением коэффициента трения [23-24]. Следует отметить, что введение 2% добавки сульфата алюминия к твердой смоле способствует снижению коэффициентов трения на 22-26%, что говорит о повышении уплотняющего адгезионного сцепления компонентов сетчатой структуры композита (рис. 2-3; 5) [25].

При проведении испытаний на трение средняя интенсивность (скорость массового износа) при параметре $[Pv_s] = 4 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ составила $I_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ кг/ч}$.

Полученные трибологические характеристики разработанных ФКМ свидетельствуют о возможности их применения в технике в качестве антифрикционных материалов [26-27].

Оценка термической устойчивости полученных фенопластовых образцов на основе олигомеров СФ342 и СФ010 производилась по изменению температуры поверхностного слоя материала от пути трения при сухом и жидкостном трении при контактной нагрузке 4 МПа и скорости 1 м/с, т. е. при $[Pv_s] = 4 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ (рис. 6).

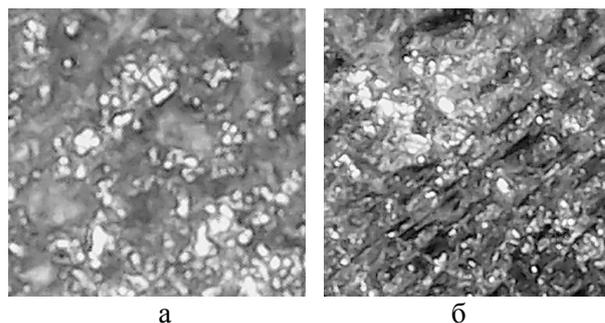


Рис. 5. Микроскопические изображения фенопластовых образцов с добавкой сульфата алюминия до испытаний (а) и после сухого трения (б) при увеличении 500х

Fig. 5. Microscopic images of phenoplast samples with the addition of aluminum sulfate before testing (a) and after dry friction (b) at a magnification of 500x

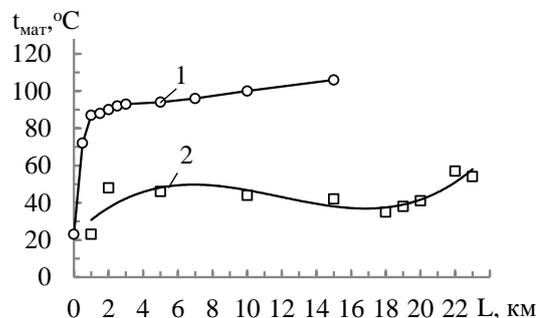


Рис. 6. Зависимость поверхностной температуры образцов на основе олигомеров СФ342 (1) и СФ010 (2) от пути трения при сухом (1) и жидкостном трении (2) при контактной нагрузке 4 МПа и скорости 1 м/с

Fig. 6. Dependence of surface temperature of samples based on oligomers SF342 (1) and SF010 (2) on the friction path for dry (1) and liquid friction (2) at a contact load of 4 МПа and a speed of 1 м/с

Представленные данные на рис. 6 показывают относительно малое изменение температуры нагрева поверхностного слоя фенопластовых композитов по пути трения как при сухом, так при жидкостном контакте рабочих поверхностей после их приработки без превышения максимальной температуры 180 °С для известных антифрикционных фенопластовых материалов [28-29].

Полученные фенопластовые образцы также подвергались испытаниям на твердость с использованием прибора ТК-2М в соответствии со стандартными рекомендациями на испытания композиционных материалов. Установлены показания твердости образцов толщиной 10 мм по Роквеллу при нагрузке 150 кг в пределах 54-62 HRC, что соответствует показаниям твердости для относительно твердых материалов и подтверждает хорошую способность полученных композитов к механической обработке.

ВЫВОДЫ

Установлено, что разработанные составы фенопластовых материалов с использованием твердых фенолоформальдегидных смол и отходов целлюлозной фибры и технологические способы их получения с учетом полученного комплекса эксплуатационно-технических свойств можно рекомендовать для производства технических изделий общетехнического и машиностроительного назначения.

Показано, что модификация фенолоформальдегидных олигомеров сульфатом алюминия в количестве 2% от их массы способствует увеличению плотности сетчатой структуры терморезистивных полимеров и усилению адгезионного сцепления дисперсно-волоконного наполнителя в полимерной матрице, что подтверждается повышением эксплуатационно-технических свойств фенопластовых композитов при воздействии статических, динамических, химических и тепловых нагрузок.

Установлено, что разработанные фенопластовые композиты в соответствии с полученными прочностными и триботехническими характеристиками можно отнести к антифрикционным материалам и рекомендовать их для изготовления технических устройств (муфт, тормозов, шестерен и др.), применяемых в подвижных сопряженных узлах трения в легких и средних условиях нагружения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артеменко С.Е., Устинова Т.П., Кононенко С.Г. // Сб. науч. тр. конф. под ред. проф. А.А. Лысенко и С.В. Буринского. СПб.: СПГУТД. 2007. С. 7.
2. Ершов О.В., Ивановский С.К., Чупрова Л.В., Бахаева А.Н. // *Международ. журн. приклад. и фундамент. иссл.* 2015. № 4-1. С. 14-18.
3. Худяков В.А., Прошин А.П., Кислицына С.Н. Современные композиционные материалы. М.: Изд-во АСВ. 2006. 144 с.
4. Кадыкова Ю.А. // *Журн. приклад. химии.* 2012. Т. 85. № 9. С. 1523-1527.
5. Ершова О.В. // *Международ. журн. приклад. и фундамент. иссл.* 2015. № 4. С. 14-18.
6. Алиева А.П. // *Промышл. пр-во и использ. эластомеров.* 2021. № 1. С. 34-43. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-1-34-43.
7. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб: Изд-во «Научные основы и технологии». 2013. 752 с.
8. Крыжановский В.К. Пластмассовые детали технических устройств. СПб: Изд-во «Научные основы и технологии». 2013. 456 с.
9. Застрогина О.Б., Синяков С.Д., Серкова Е.А. // *Тр. ВИАМ.* 2021. № 11 (105). С. 55-65. DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65.
10. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технологии. СПб.: Изд-во «ЦОП Профессия». 2014. 592 с.
11. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. // *Науч. обозрение. Техн. науки.* 2017. № 2. С. 15-28.
12. Крыжановский В.К. Технические свойства пластмасс. СПб.: ЦОП: «Профессия», 2014. 240 с.
13. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С. // *Науч. обозрение. Техн. науки.* 2017. № 2. С. 96-114.

REFERENCES

1. Artemenko S.E., Ustinova T.P., Kononenko S.G. // *Sat. scientific tr. conf. edited by prof. A.A. Lysenko and S.V. Burinsky.* SPb.:SPGUTD. 2007. P. 7 (in Russian).
2. Ershov O.V., Ivanovsky S.K., Chuprova L.V., Bakhaeva A.N. // *Mezh. Zhurn. Prikl. Fund. Issl.* 2015. N 4-1. P. 14-18 (in Russian).
3. Khudyakov V.A., Proshin A.P., Kislicyna S.N. Modern composite materials. M.: Izd-vo ASV. 2006. 144 p. (in Russian).
4. Kadykova Yu.A. // *Zhurn. Prikl. Khim.* 2012. V. 85. N 9. P. 1523-1527 (in Russian).
5. Ershova O.V. // *Mezh. Zhurn. Prikl. Fund. Issl.* 2015. N 4. P. 14-18 (in Russian).
6. Alieva A.P. // *Promysh. Proizv. Isp. Elastomer.* 2021. N 1. P. 34-43 (in Russian). DOI: 10.24412/2071-8268-2021-1-34-43.
7. Mikhailin Yu.A. Fibrous polymer composite materials in technology. SPb: Izd-vo "Scientific bases and technologies". 2013. 752 p. (in Russian).
8. Kryzhanovsky V.K. Plastic parts for technical devices. SPb: Izd-vo "Scientific bases and technologies". 2013. 456 p. (in Russian).
9. Zastrogina O.B., Sinyakov S.D., Serkova E.A. // *Tr. VIAM.* 2021. N 11 (105). P. 55-65 (in Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-11-55-65.
10. Kerber M.L. Polymer composite materials: structure, properties, technologies. Ed. Academician of Berlin A.A. SPb.: Izd-vo "TsOP Professiya". 2014. 592 p. (in Russian).
11. Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S. // *Nauch. Obozren. Tekh. Nauki.* 2017. N 2. P. 15-28. (in Russian).
12. Kryzhanovsky V.K. Technical properties of plastics. SPb.: TsOP: "Profession", 2014. 240 p. (in Russian).
13. Torlova A.S., Vitkalova I.A., Pikalov E.S. // *Nauch. Obozren. Tekh. Nauki.* 2017. N 2. P. 96-114 (in Russian).

14. **Ившин С.С., Ившина А.А., Федоров А.В., Зарипова Д.Н.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 9. С. 104-109. DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6707.
15. **Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н.** // *Совр. наукоем. технол. Регион. прил.* 2020. № 3. С. 54-59.
16. **Брагинский В.А.** Технология прессования точных деталей из термореактивных пластмасс. Л.: Химия. 1971. 256 с.
17. **Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 58-63. DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6553.
18. **Букеткин Б.В., Горбатовский А.А., Кисенко И.Д.** Экспериментальная механика. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. 136 с.
19. **Герасимова В.М., Зубова Н.Г., Захаревич А.М., Устинова Т.П.** // *Вестн. технол. ун-та*. 2017. Т. 20. № 2. С. 70-71.
20. **Корохин Р.А., Солидолов В.И., Горбаткина Ю.А., Отегов А.В.** // *Пласт. массы*. 2013. № 4. С. 37-41.
21. **Самойлов В.М., Будник Д.А., Тарасов К.А., Фатеева М.А., Гончарова Н.Н., Находнова А.В., Ельчанинова В.А., Кonyushenkov A.A.** // *Пласт. массы*. 2022. 11-12. С. 26-29. DOI: 10.35164/0554-2901-2022-11-12-26-29.
22. **Селяев В.П., Иващенко Т.А., Низина Ю.Г.** Полимербетоны. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2016. 284 с.
23. **Когаев В.Н., Дроздов Ю.Н.** Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высш. шк. 1991. 319 с.
24. **Гусев Е.В., Набойщикова Н.А., Агеева Т.А.** // *Пласт. массы*. 2023. 1(1-2). С. 14-16. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-1-2-14-16.
25. **Кахраманов Н.Т., Касумова Г.Ш., Осипчик В.С., Гаджиева Р.Ш.** // *Пласт. массы*. 2017. 11-12. С. 8-15. DOI: 10.35164/0554-2901-2017-11-12-8-15.
26. **Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С., Халимжонов Т.С., Садикова М.М., Матшарипова М.М., Улмасов Т.У., Бозорбоев Ш.А., Абдулаев О.Х., Махамаджанов З.У.** // *Пласт. массы*. 2021. № 1-2. С. 28-32. DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-28-32.
27. **Клабукова Л.Ф., Панова М.О., Краснов А.П., Рахимова Н.А., Соловьева В.А., Буяев Д.И., Колыбанов К.Ю.** // *Пласт. массы*. 2020. 1(11-12). С. 20-22. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-11-12-20-22.
28. **Кальнесон М.Ю., Балаев Г.А.** Пластические массы: свойства и применение. СПб.: Химия. 1978. 384 с.
29. **Сабадаха Е.Н., Прокончук Н.Р., Шутова А.Л., Гроба А.И.** // *Тр. Белорус. гос. технол. ун-та*. 2017. № 2. Сер. 2. С. 108-115.
14. **Ivshin S.S., Ivshina A.A., Fedorov A.V., Zaripova D.N.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 9. P. 104-109 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20236609.6707.
15. **Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N.** // *Sovr. Naukoemk. Tekhnol. Reg. Pril.* 2020. N. 3. P. 54-59 (in Russian).
16. **Braginsky V.A.** Technology of pressing precision parts from thermosetting plastics. L.: Khimiya. 1971. 256 p. (in Russian).
17. **Gusev E.V., Naboishchikova N.A., Ageeva T.A.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 6. P. 58-63 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226506.6553.
18. **Buketkin B.V., Gorbatsky A.A., Kisenko I.D.** Experimental mechanics. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman. 2004. 136 p. (in Russian).
19. **Gerasimova V.M., Zubova N.G., Zakharevich A.M., Ustinova T.P.** // *Vest. Tekh. Univ.* 2017. T. 20. N 2. P. 70-71 (in Russian).
20. **Korokhin R.A., Solidolov V.I., Gorbatkina Yu.A., Otegov A.V.** // *Plastich. Massy*. 2013. N 4. P. 37-41 (in Russian).
21. **Samoilov V.M., Budnik D.A., Tarasov K.A., Fateeva M.A., Goncharova N.N., Nakhodnova A.V., Elchaninova V.A., Konyushenkov A.A.** // *Plastich Massy*. 2022. (11-12). P. 26-29 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2022-11-12-26-29.
22. **Selyaev V.P., Ivashchenko T.A., Nizina Yu.G.** Polymer concrete. Saransk: Mordov Publishing House. un-ta. 2016. 284 p. (in Russian).
23. **Kogaev V.N., Drozdov Yu.N.** Strength and wear resistance of machine parts. M.: Vyssh. shk. 1991. 319 p. (in Russian).
24. **Gusev E.V., Naboishchikova N.A., Ageeva T.A.** // *Plastich. Massy*. 2023. 1(1-2). P. 14-16 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2023-1-2-14-16.
25. **Kakhramanov N.T., Kasumova G.Sh., Osipchik V.S., Gadzhieva R.Sh.** // *Plastich. Massy*. 2017. (11-12). P. 8-15 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2017-11-12-8-15.
26. **Negmatov S.S., Abed N.S., Negmatova K.S., Khalimjonov T.S., Sadikova M.M., Matsharipova M.M., Ulmasov T.U., Bozorboev Sh.A., Abdulaev O.Kh., Makhmadzhanov Z.U.** // *Plastich. Massy*. 2021. N 1-2. P. 28-32 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-28-32.
27. **Klabukova L.F., Panova M.O., Krasnov A.P., Rakhimova N.A., Solovieva V.A., Buyaev D.I., Kolybanov K.Yu.** // *Plastich. Massy*. 2020. 1(11-12). P. 20-22 (in Russian). DOI: 10.35164/0554-2901-2020-11-12-20-22.
28. **Kalneson M.Yu., Balaev G.A.** Plastics: Properties and Applications. SPb.: Khimiya. 1978. 384 p. (in Russian).
29. **Sabadakha E.N., Prokonchuk N.R., Shutova A.L., Groba A.I.** // *Tr. BGTU*. 2017. N 2. Ser. 2. P. 108-115 (in Belarus).

Поступила в редакцию 05.12.2023

Принята к опубликованию 18.04.2024

Received 05.12.2023

Accepted 18.04.2024