

К.А. КАРАПЕТЯН, А.О. БАХШЯН, В.В. АКОПЯН, А.К. ПОГОСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ФРИКЦИОННО-ИЗНОСОСТОЙКИХ СВОЙСТВ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ РЯДА НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Исследованы свойства ряда наполнителей в проектируемых композициях фрикционного назначения. Изучены некоторые виды минеральных наполнителей, отходов и продуктов строительных и горно-металлургических производств Армении. Показано, что некоторые из них целесообразно применять в составах полимерных фрикционных композитов.

Ключевые слова: фрикционные свойства, износостойкость, наполнители, композитный материал, прочность, твердость.

Среди современных материалов, успешно эксплуатируемых в узлах трения механизмов и машин, важное место занимают полимерные композиты (фрикционные и антифрикционные), обладающие целым комплексом необходимых физико-механических и фрикционных свойств, из которых основными считаются: достаточно высокая механическая прочность, стабильный коэффициент трения, высокое значение износостойкости, теплостойкости, отсутствие схватывания и др. [1]. Все большее ужесточение требований к указанным материалам, обусловленное повышением скорости и массы механизмов и их рабочих органов, предопределяет важность создания новых полимерных композитов, пригодных для эксплуатации в более тяжелых условиях.

Эксплуатационное качество фрикционных композиционных материалов зависит как от собственных свойств составляющих компонентов (полимерное связующее, наполнители целевого назначения), так и от их свойств в композиции [2]. Для правильного подхода к проектированию состава этих материалов целесообразно определить физико-механические и фрикционно-износостойкие свойства отдельных компонентов в композиции со связующим.

Существующий опыт применения местных горных пород с целью разработки новых фрикционных и антифрикционных полимерных материалов [3,4], а также предварительный анализ составов промышленных отходов и местного сырья, которые в комплексе содержат оксиды, сульфиды, карбиды некоторых металлов, показывают, что они могут служить ингредиентами, придающими композитам необходимые эксплуатационные свойства.

В настоящей работе делается попытка оценить поведение исходных компонентов в проектируемых композициях фрикционного назначения.

Исследования проводились на опытных образцах, изготовленных из двухкомпонентных композиций (ингредиент с размерами частиц до 50 мкм + новолак СФ-012 в соотношении 2,12:1,00), методом горячего прессования.

Технология изготовления опытных образцов следующая: смешивание ингредиентов со связующим производилось в фарфоровой шаровой

мельнице. Формовочные пресс-порошки высушивались в вакуум-сушилке при температуре 70...80°C до содержания влаги не более 3%. Формование образцов производилось в металлических пресс-формах при температуре 165±5 °С и удельном давлении 65 МПа с продолжительностью прессования в течение времени из расчета до 1,5 мин. на 1 мм толщины готового образца.

Определение прочности образцов на сжатие и изгиб и твердости по методу вдавливания шарика было осуществлено согласно ГОСТ 4652-81, ГОСТ 4648-71 и ГОСТ 4670-91 соответственно, определение величины коэффициента термического линейного расширения двухкомпонентных композиций производилось на кварцевом dilatометре ДКВ-2, а определение температуры интенсивной деструкции - на дериватографе Q-1500. Фрикционные и износостойкие свойства двухкомпонентных композиций исследовались на машине трения ИМ-58 по методике испытаний на трение и износ кольцеобразных образцов с внешним и внутренним диаметрами 75 и 53 мм и высотой 10 мм. Материал контртела Сталь 40Х. Величина коэффициента взаимного перекрытия ($K_{вз}$) составляла 0,2.

При исследовании фрикционных свойств двухкомпонентных композиций исходили из того, чтобы при нормальном давлении 0,27 МПа величина температуры на поверхностях трущихся тел в течение опыта (20 мин) не превышала 150 °С. Замеры коэффициента трения проводились через каждую минуту. Линейная скорость скольжения на среднем диаметре кольцеобразных образцов в этом случае составляла 2,7 м/с.

Линейный износ по толщине как опытных образцов, так и контртела определялся за час испытаний при постоянном моменте трения 0,23 кг·м и скорости скольжения 2,7 м/с.

Химические составы (масс.%) исследуемых ингредиентов, полученные в результате химических анализов, приведены в табл.1, результаты исследований физико-механических свойств двухкомпонентных композиций - в табл.2.

Согласно литературным данным, величины прочности на сжатие и изгиб, модуля упругости при изгибе асбестсодержащих фрикционных материалов колеблются в пределах соответственно 78,2...151,8; 48,4...72,8 и 3230...6900 МПа, а твердость - в пределах 190...500 Н/мм² [1]. Величины этих же характеристик для известных нам безасбестовых фрикционных материалов составляют соответственно до 150; 52 и 6600...6700 МПа и 340...360 Н/мм² [1].

Из приведенных в табл.2 данных следует, что исследуемые двухкомпонентные композиции, кроме тех, которые содержат концентрат молибдена, имеют достаточно большие значения прочности (особенно при сжатии), модуля упругости при изгибе и твердости, что является косвенным доказательством хорошей адгезии связующего с выбранными наполнителями. Отмеченный факт имеет немаловажное значение при подборе ингредиентов для создания полимерных композитов, предназначенных для эксплуатации в тяжело нагруженных узлах трения.

Химические составы (масс. %) исследуемых ингредиентов

Таблица 1

	Минералы и отходы производства											
	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	SO ₃	FeO	H ₂ O	П.п.п.*
Пылевидные отходы												
Разданского цемзавода	15,88	54,52	2,66	3,98	2,22	1,31						19,4
Обоженная глина (Панджесар, р.Арабат), отходы производства черепицы и глиняного кирпича	58,81	6,90	5,92	19,72	2,61	2,52	3,35				0,12	3,67
Булачинский шлак (Кармашен)	55,18	6,37	7,6	15,73	6,81	3,02	1,21					0,7
Туф (Други)	63,05	3,56	4,47	15,56	9,46	1,38	1,00			0,25		8,49
Диатомит (Сисман)	75,68	1,49	2,44	9,74			1,28					
Цеолит (Ноемберн)	65,41	4,62	0,44	12,96	2,16	0,82	0,14				13,23	44,5
Доломит (Иджеван)	1,05	31,34	0,47	1,16			21,48					42,95
Мрамор (Аргашат)	0,23	53,50	0,11	0,42			2,14					20,29
Серпентинит (Шоржа)	32,00	1,32	3,35	5,80			35,06			1,68	0,41	
Сланец негорючий (Раздан)	64,32	4,61	5,42	13,93	0,8	0,7	2,6					7,62

* П.п.п. – потери при прокаливании.

	Продукты горно-металлургического производства												
	Cu	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ +P ₂ O ₅	S	CaO	MgO	Zn	Pb	Mo	As	Sn	P
Медный концентрат (Ахтала)													
Необогатенный медный концентрат (Ахтала)	17,17	5,56	33,76	1,65	36,3			0,012	0,004				
Обогащенный концентрат моллибдена (Каджаран)	24,70	2,38	32,22	1,00	34,80			0,016	0,002	50,00	0,07	0,07	0,07
Отходы медно-колчеданного рудника (Ахтала)	0,46	61,58	9,68	3,12	7,25	2,65	4,39						

Физико-механические и фрикционно-износные свойства двухкомпонентных композиций

Таблица 2

Основная двухкомпонентная композиция	Удельная масса, г/см ³	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Модуль упругости при изгибе, МПа·10 ²	Твердость, Р _{0,5} мм ²	Коэффициент терм. линейного расширения α _т , 10 ⁻⁶ , К ⁻¹	Температура начала интенсиной деформации, °С	Коэффициент трения	Износ, мм
Отходы цемзавода	2,18	330,5	84,4	192,13	640	10,2	310	0,28	0,04
Обожженная глина	2,17	415,8	99,9	217,44	710	10,9	360	0,50	0,10
Вулканический шлак	2,17	342,4	89,5	210,34	710	13,8	325	0,77	0,04
Серпентинит	2,11	187,7	55,9	144,72	640	13,8	315	0,42	0,06
Доломит	2,28	253,0	70,8	249,84	700	12,1	330	0,40	0,02
Мрамор	2,18	267,9	58,4	173,36	670	5,4	295	0,46	0,02
Сланец неогюкчий	2,19	239,2	84,7	216,33	610	6,2	325	0,62	0,08
Цеолит	1,93	273,2	67,3	172,17	640	15,9	330	0,40	0,15
Туф	2,05	244,3	65,7	234,31	650	6,0	300	0,47	0,07
Диатомит	2,19	304,9	67,3	91,38	450	4,6	280	0,38	0,17
Медный концентрат необогащенный	3,00	247,2	71,4	196,33	610	11,1	320	0,44	0,29
Медный концентрат обогащенный	3,00	228,2	62,7	170,46	570	9,3	288	0,35	0,42
Концентрат молибдена	3,51	66,3	20,3	138,63	137	8,5	350	0,21	0,06
Барит	3,27	184,9	61,2	185,77	700	17,7	305	0,53	0,08
Отходы медно-колчеданного рудника	2,30	236,0	86,8	227,95	650	16,6	298	0,66	0,16
Волокно неорганического происхождения	1,81	132,9	83,4	125,82	270	5,3	350	0,46	0,09

Для наглядности расположим рассматриваемые ингредиенты (табл. 2), как это сделано в [2], в виде двух рядов, в которых они размещены соответственно в порядке убывания коэффициента трения и возрастания линейного износа:

- фрикционный ряд: вулканический шлак > отходы медно-колчеданного рудника > сланец негорючий > барит > обожженная глина > туф > волокно неорганического происхождения > мрамор > медный концентрат необогащенный > серпентинит > цеолит > доломит > диатомит > медный концентрат обогащенный > отходы цементного производства > концентрат молибдена;

- ряд износостойкости: мрамор = доломит < вулканический шлак = отходы цементного производства < концентрат молибдена = серпентинит < туф < сланец негорючий = барит < волокно неорганического происхождения < обожженная глина < цеолит < отходы медно-колчеданного рудника < диатомит < медный концентрат необогащенный < медный концентрат обогащенный.

Следует отметить, что ряд ингредиентов: вулканический шлак, отходы медно-колчеданного рудника, сланцы негорючие, барит, мрамор, в определенной мере и волокно неорганического происхождения, показали достаточно высокий (табл. 2) и весьма стабильный коэффициент трения на протяжении всего опыта, не вызывая вибрации, в то время как коэффициент трения для остальных ингредиентов к концу опытов значительно уменьшился, и имела место сильная вибрация. В этом плане особенно плохо себя показала двухкомпонентная композиция на основе туфа.

Очевидно, что указанные 6 ингредиентов целесообразно использовать в составах разрабатываемых полимерных материалов фрикционного назначения, и нужно ожидать, что они придадут композитам высокий коэффициент трения и обеспечат его стабильность.

Из данных табл. 2, относящихся к износостойкости, замечаем, что достаточно хорошую износостойкость показали двухкомпонентные композиции на основе мрамора, доломита, шлака, отходов цемзавода, серпентинита, туфа. Однако двухкомпонентные композиции на основе отходов цемзавода, как и отходов медноколчеданного рудника, барита, волокон неорганического происхождения, показавших высокие фрикционные свойства, приводят к линейному износу контртела на величину 0,01 мм.

Известно, что с целью самосмазывания, а также во избежание схватывания фрикционного материала с контртелом в процессе торможения в его состав вводится определенное количество ингредиента с малым коэффициентом трения, в качестве которого обычно применяется графит. Согласно приведенным в работе [2] данным, значение коэффициента трения графита в двухкомпонентной композиции (50% графит + 50% бакелизованная фенолформальдегидная смола) составляет 0,245. Среди рассматриваемых нами ингредиентов в качестве подобного компонента может служить концентрат молибдена, который показал сравнимый с графитом коэффициент трения (табл. 2) и достаточно хорошую стабильность на всем протяжении опыта. Добавим также, что износостойкость концентрата молибдена достаточно велика (табл. 2) и не приводит к износу контртела.

Согласно данным табл.2, перечисленные выше 6 двухкомпонентных композиций, показавших хорошие результаты в опытах на трение, а также

композиции на основе доломита, отходов цемзавода, серпентинита и туфа, показавшие достаточно хорошую износостойкость, обладают высокой температурой начала интенсивной деструкции (295...350 °С), что является положительным фактором при создании материалов с высокой фрикционной теплостойкостью. Однако композиции на основе барита, отходов медно-колчеданного рудника и цемзавода, вулканического шлака, доломита, серпентинита и туфа имеют большие коэффициенты термического линейного расширения (табл. 2), что не является положительным фактором в плане термической усталости материалов, эксплуатируемых в условиях высоких перепадов температуры. Тем не менее указанный недостаток можно компенсировать введением в состав композиции фрикционных материалов небольшого количества корректирующих добавок с низким или отрицательным термическим расширением (например, титанат свинца, эвкрипит, сподумен и т.д.).

Таким образом, из вышеизложенного анализа физико-механических и фрикционно-износостойких свойств двухкомпонентных композиций в целом можно предположить, что среди рассмотренных ингредиентов есть перспективные в плане использования их для создания новых высокоэффективных фрикционных композиционных материалов. Из них особенно следует отметить мрамор и вулканический шлак, показавшие высокий коэффициент трения, низкий линейный износ и практически не приводящие к износу контртела.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А-892.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Погосян А.К., Сысоев П.В., Меликсетян Н.Г.** и др. Фрикционные композиты на основе полимеров.- Гомель: Изд. АН Беларуси. Информтрибо, 1992.- 218с.
2. **Георгиевский Г.А.** Особенности создания теплостойких фрикционных материалов // В кн.: Повышение эффективности тормозных устройств. Свойства фрикционных материалов.- М.: Изд. АН СССР, 1959.- С.93-109.
3. **Погосян А.К., Меликсетян Н.Г., Ламбарян Н.В.** Разработка и исследование безасбестовых фрикционных композиционных материалов // Трение и износ.- 1987. - Т.8, N5.- С. 785-791.
4. **Погосян А.К., Оганесян К.В., Исаджанян А.Р.** Композиционные материалы на полимерной основе с использованием минеральных наполнителей // Трение и износ.- 2002.- Т.23, N3.- С. 324-328.

Ин-т механики НАН РА, ГИУА. Материал поступил в редакцию 20.12.2005.

Կ.Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Օ. ԲԱԽՇՅԱՆ, Վ.Վ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ա.Կ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

ԵՐԿԲԱՂԱԴՐԻՉ ՊՈԼԻՄԵՐԱՅԻՆ ԿՈՄՊՈԶԻՏՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ԵՎ
ՇՓԱՍԱՇԱԿԱՅՈՒՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄՆ ԱՆՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ԼՑԱՆՑՈՒԹԵՐԻ
ՇԱՐՔԻ ՀԱՄԱՐ

Հետազոտվել են մի շարք լցանյութերի հատկությունները նախագծվող շփական նշանակության կոմպոզիտային նյութերի բաղադրությունում: Որպես լցանյութեր օգտագործվել են Հայաստանի որոշ ապարների, շինարարական և լեռնամետալուրգիական արտադրությունների թափոններ և արտադրանք: Ցույց է տրված, որ դրանցից մի քանիսը նպատակահարմար է օգտագործել պոլիմերային շփական կոմպոզիտային նյութերի բաղադրակազմում:

Առանցքային բառեր. շփական հատկություններ, մաշակայունություն, լցանյութեր, կոմպոզիտային նյութ, կարծրություն, ամրություն:

**K.A. KARAPETYAN, A.O. BAKHSHYAN, V.V. HAKOBYAN,
A.K. POGOSIAN**

**INVESTIGATION OF PHYSICOMECHANICAL, FRICTION AND
WEAR-RESISTANT PROPERTIES OF TWO-COMPONENT POLYMERIC COMPOSITES FOR
SERIES OF INORGANIC FILLERS**

The properties of filler series in designed compositions of frictional purpose are investigated. As fillers some kinds of minerals, waste and products of building and mining-smelting manufactures of Armenia have been used. It is shown that some of them are appropriate to use in structures of polymeric frictional composites.

Keywords: frictional properties, wear resistance, fillers, composite material, strength, hardness.