

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ И АЛЮМИНИИ

Н.В. Грудина

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель О.Р. Юркевич

Введение

Анализ исследований в области современного фрикционного материаловедения показывает, что наиболее технологичным и экономичным является использование материалов в узлах трения в виде тонкослойных полимерных покрытий, отличаю-

щихся высокими триботехническими свойствами. Узлы трения, содержащие такие покрытия, имеют высокую долговечность при относительно низких давлениях и скоростях скольжения [1], [2]. В связи с этим разработка композиционных материалов и покрытий на основе модифицированных эпоксидных смол, предназначенных для работы в узлах трения, остается актуальной задачей. Срок службы покрытий определяется не только режимами нагружения и триботехническими характеристиками (коэффициентом трения, скоростью изнашивания), но и адгезионными, механическими и другими свойствами композиционного материала, зависящими от его состава. Сравнительно низкая долговечность и высокий коэффициент трения композитов на основе эпоксидных связующих требуют оптимизации состава таких компаундов.

Цель работы

Настоящая работа посвящена исследованию физико-механических и триботехнических свойств высоконаполненных композиционных материалов и покрытий на основе модифицированных эпоксидных смол, исследованию влияния концентрации и природы наполнителей на эти свойства.

Методика эксперимента

В качестве основы полимерного покрытия служила эпоксидно-диановая смола марки ЭД-20. Для улучшения антифрикционных характеристик материала в его состав вводились дисперсные наполнители: графит коллоидный С-1 и электрографит, полученный вторичной переработкой использованных троллейбусных вкладышей – токосъемников. Для снижения хрупкости в композиции дополнительно вводился пластификатор – дибутилфтолат. Реологические свойства регулировались растворителем, представляющим собой смесь спирта и ацетона в соотношении 1:1. Композиция отверждалась полиэтиленполиамином. Эпоксидную смолу, модификаторы и наполнители перемешивали в требуемом соотношении до образования однородной смеси и выдерживали в течение времени, необходимого для образования гомогенной термодинамически устойчивой системы (10,8 кс) при температуре 393 К. Покрытия отверждались на воздухе в течение 168 часов.

Для получения пленок и покрытий из высоконаполненной ЭД-20 использовали центробежный метод формирования тонкопленочных систем. Разработана методика получения покрытий различной толщины на модельных субстратах (ПТФЭ, алюминий, сталь), причем можно получать одновременно две пленки на разных подложках и регулировать толщину формируемых покрытий дозировкой материала [3]. Равнотолщинность формируемых покрытий достигалась изменением скорости вращения формы (в данном случае $n = 3600$ об/мин). Подбором условий проведения эксперимента были получены тонкие пленки толщиной от 0,37 до 0,55 мм. Прочность сцепления пленок с основой при сдвиге и на расслаивание определяли на разрывной машине модели РМУ-0,05-1 по ГОСТ 28840-90. Антифрикционные свойства покрытий оценивали на этой же машине, снабженной специальным приспособлением. В верхний захват машины закрепляли один конец исследуемой пленки (100 × 10 мм), а второй конец зажимался между двумя цилиндрическими инденторами из фторопласта-4. Инденторы нагружали ступенчато с интервалом 1 кгс. Измеряли силу трения, коэффициент трения рассчитывали по формуле:

$$f = F/2 \times p_n,$$

где F – сила трения, Н; p_n – нормальная нагрузка на инденторы, кгс.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Введение в полимерную матрицу дисперсных наполнителей оказывает заметное влияние на адгезионную прочность покрытий при сдвиге и прочность при отслаивании (неравномерном отрыве), полученных на стали и алюминии в зависимости от типа наполнителя и степени наполнения (табл. 1, 2). Наблюдается увеличение значений адгезионной прочности покрытий, полученных из композиций с содержанием наполнителей до 60 масс.ч. при введении в них пластификатора, причем на стали они выше, чем на алюминии. Одной из причин наблюдаемых закономерностей может быть селективная адсорбция низкомолекулярных фракций из объема связующего на поверхность наполнителя и усиления упругих свойств полимерной матрицы [4]. Установлено, что увеличение содержания наполнителя более 60 масс.ч. приводит к снижению адгезионной прочности. Причиной снижения адгезионной прочности при этом, вероятно, является уменьшение гибкости цепей в результате все большего взаимодействия связующего с частицами наполнителя.

Таблица 1

Зависимость разрушающей нагрузки при сдвиге композиционного материала от вида и количества наполнителя

Состав композиции				Разрушающая нагрузка при сдвиге, Н/см ²	
ЭД-20	Коллоидный графит (С1)	Вторичный графит	ДФБ (дибутилфтолат)	Стальная подложка	Алюминиевая подложка
100	40	-	-/5	122 / 113	118 / 105
	60	-	-/5	113 / 153	106 / 142
	80	-	-/5	71 / -	65 / -
100	-	40	-/5	90 / 158	112 / 139
	-	60	-/5	123 / 144	70 / 127

Таблица 2

Зависимость разрушающей нагрузки при отслаивании покрытий от подложки

Состав композиции				Разрушающая нагрузка при неравномерном отрыве, кгс/см	
ЭД-20	Коллоидный графит (С1)	Вторичный графит	ДФБ (дибутилфтолат)	Стальная подложка	Алюминиевая подложка
100	40	-	-/5	0,95 / -	1,3 / -
	60	-	-/5	0,1 / 0,5	1,2 / 1,25
	80	-	-/5	- / -	0,6 / -
100	-	40	-/5	0,1-0,2 / -	0,1-0,2 / -
	-	60	-/5	0,1 / 0,1	не более 0,1

Оценки влияния типа наполнителя и степени наполнения на коэффициент трения композиционных покрытий на стальных и алюминиевых подложках показали, что его значения на внешней свободной поверхности композита и внутрен-

ней, отслоенной от подложки, различны (табл. 3), причем на свободной поверхности значения выше, чем на последней. Возможно, такая разница возникает из-за разного количества наполнителя в поверхностном и граничащим с подложкой слоях, а также внешнего состояния самой поверхности. Поверхность композита, отслоенного от подложки, повторяет ее текстуру, т. е. более ровная и имеет глянцевый блеск, чем противоположная, на которой присутствуют мелкие неровности. В композициях, наполненных 40–60 масс.ч. коллоидным графитом, коэффициент трения возрастает в области нагрузок от 2 до 4 кг и снижается при дальнейшем нагружении. Минимум коэффициента трения наблюдается при содержании 60 масс.ч. графита, что объясняется увеличением твердости композиции. При введении в состав композиции вторичного графита коэффициент трения монотонно убывает с увеличением его содержания. Это можно объяснить формированием пленки переноса из материала наполнителя в процессе фрикционного нагружения.

Таблица 3

Значения коэффициента трения композиционного материала

Нагрузка, кг	Сила трения, Н		Коэффициент трения	
	на поверхности	у подложки	на поверхности	у подложки
ЭД-20 +5%ДБФ				
1	1,5	2	0,075	0,1
2	3	3	0,075	0,075
3	4,5	5,5	0,075	0,092
4	6,5	7	0,081	0,088
5	8	10	0,08	0,1
6	9	12	0,075	0,1
ЭД-20 +40%С1+5%ДБФ				
1	1	2	0,05	0,1
2	2,5	4,5	0,063	0,113
3	3	6	0,05	0,1
4	5,5	7	0,069	0,088
5	6,5	8	0,065	0,08
6	8	10	0,067	0,083
ЭД-20+60%С1+5%ДБФ				
1	1	2	0,05	0,1
2	2,5	3,5	0,063	0,088
3	4	5	0,067	0,083
4	5,5	5,5	0,069	0,069
5	6,5	7,5	0,065	0,075
6	8,5	9,5	0,071	0,079
ЭД-20+40%ВГ+5%ДБФ				
1	0,5	1,5	0,025	0,075
2	2,5	4	0,063	0,1
3	3,5	5	0,08	0,083
4	5,5	6	0,069	0,075
5	6,5	7,5	0,065	0,075
6	8,5	11	0,071	0,092

Окончание табл. 3

Нагрузка, кг	Сила трения, Н		Коэффициент трения	
	на поверхности	у подложки	на поверхности	у подложки
ЭД-20+60%ВГ+5%ДБФ				
1	2	1	0,1	0,05
2	3,5	4	0,088	0,1
3	6	7	0,1	0,117
4	7	8	0,088	0,1
5	9,5	10,5	0,095	0,105
6	10	11,5	0,083	0,096

Выводы

Исследовано влияние степени наполнения полимерной матрицы на триботехнические и физико-механические свойства композиционных покрытий, для которых оптимальное содержание наполнителя – от 40 до 60 масс.ч. Полученные результаты показали необходимость проведения дальнейших исследований по выбору способа модификации связующего и разработки рецептуры высоконаполненного композиционного материала, а также изучения физики поведения таких материалов.

Литература

1. Ли, Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам /Х. Ли, К. Невилл; пер. с англ. – М.: Энергия, 1973. – 416 с.
2. Кутьков, А.А. Износостойкие и антифрикционные покрытия /А.А. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
3. Друзик, Н.В. Технология получения тонкослойных покрытий антифрикционного назначения /Н.В. Друзик //Сборник материалов науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и магистрантов. – Гомель: УО «ГГТУ им. П.О.Сухого», 2004.
4. Крыжановский В.К. Износостойкие реактопласты /В.К. Крыжановский. – Л.: Химия, 1984. – 120 с.