

УДК 691.175.5/8

Ю.М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ, чл.-корр. НАН Беларуси
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

М.И. МИХАЙЛОВ, д-р техн. наук; З.Я. ШАБАКАЕВА, канд. техн. наук; А.А. КАРПОВ;
К.М. МИХАЙЛОВ

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АБРАЗИВОСОДЕРЖАЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИХ ПРОЧНОСТЬ

В работе представлены результаты исследования адгезионной прочности композиционных покрытий на основе полимерных материалов. Показано, что наибольшее влияние оказывает зернистость абразивосодержащего наполнителя и его процентное содержание.

Ключевые слова: полимерные материалы с абразивосодержащими наполнителями, параметры, прочность

Введение. Одним из направлений повышения прочности сборного инструмента является оптимизация контактных поверхностей элементов системы крепления. Это направление реализуется дополнительной обработкой контактных поверхностей или нанесением покрытий из композиционных материалов на основе полимеров. Изучению свойств полимеров и композиций на их основе с целью определения путей их оптимального использования в качестве покрытий, в том числе фрикционного назначения, посвящен целый ряд научных исследований как за рубежом, так и у нас в стране [1–4].

Анализ работ, посвященных исследованию свойств полимеров, показывает, что значительная их часть, при определенных условиях эксплуатации, может быть применена для создания материалов различного назначения. Для каждого конкретного случая и эксплуатации требуются полимерные материалы с заданными физико-механическими и технологическими свойствами, обеспечивающие нужный ресурс узлов и конструкций, где они будут использоваться и выдерживать определенные виды нагрузки.

Введение в основной полимерный состав из эпоксидных смол различных наполнителей позволяет получать множество композиций. Значительное расширение ассортимента полимерных материалов, получаемых на основе эпоксидных смол, и повышение эксплуатационных характеристик готовых изделий приводят соответственно и к расширению областей их применения. В этом аспекте большой интерес представляют возможности модификации полимерных композиций различного рода абразивосодержащими наполнителями при различном количественном их соотношении [3, 5, 6 и др.].

Целью настоящей работы являлось установление влияния параметров абразивосодержащих полимерных покрытий на их прочность.

Объекты и методы исследования. Исследования выполнялись в три этапа. На первом этапе проводились пробные испытания композиционного материала для сравнения различного содержания эпоксидной смолы ЭДМ-20 и отвердителя. Для этого были изготовлены образцы согласно ГОСТ для испытаний полимерных материалов на сжатие: размеры образцов — диаметр 8 мм и высота 15 мм.

В качестве наполнителя для композиционных материалов на основе полимерных смол был выбран электрокорунд нормальный с зернистостью 40.

Процентное содержание компонентов для каждого состава было следующее:

- состав 1: эпоксидная смола — 84%; отвердитель для эпоксидной смолы — 8%; наполнитель — 8% (соотношение в массовых долях 10:1:1);
- состав 2: эпоксидная смола — 77%; отвердитель для эпоксидной смолы — 7%; наполнитель — 16% (соотношение в массовых долях 11:1:2);
- состав 3: эпоксидная смола — 70%; отвердитель для эпоксидной смолы — 6%; наполнитель — 24% (соотношение в массовых долях 10:1:3).

Для оценки стабильности полученных результатов было изготовлено по 4 образца каждого состава. Скорость нагружения образцов составляла 50 Н/с. Нагружение производилось до определенной нагрузки, которую выдерживал образец без окончательного разрушения. Максимальная нагрузка составляла 5000 Н. На втором этапе исследований определялась наиболее оптимальная зернистость наполнителя, а на третьем этапе выполнялась оптимизация параметров композиционного материала.

Результаты экспериментов. В таблице 1 приведены результаты исследований первого этапа.

Полученные результаты позволяют заключить, что образцы состава 3 обладают наибольшей прочностью.

На втором этапе исследований в качестве наполнителя композиционного материала на основе полимерных смол был выбран абразивный материал различной зернистости. Исследуемые образцы содержали: 70% эпоксидной смолы; 6% отвердителя для эпоксидной смолы и 24% абразивного наполнителя (соотношение в массовых долях 10:1:3).

В качестве наполнителя был выбран электрокорунд зернистостью: М40, 40, 80, 160.

В таблице 2 приведены данные нагружения образцов. На рисунке 1 показаны графики зависимости средних перемещений образцов от нагрузки.

В процессе исследований были получены следующие результаты: композиционный материал с наполнителем электрокорунд белый с зернистостью М40 при 5000Н нагружения получал 7,0 мм перемещений без разрушения; композиционный материал с наполнителем

Таблица 1 — Данные исследования образцов

Состав 1: эпоксидная смола — 84%; отвердитель для эпоксидной смолы — 8%; наполнитель — 8% (соотношение в массовых долях 10:1:1)		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	4000	8,6
2	4000	8,7
3	4000	8,5
4	4000	8,6
Состав 2: эпоксидная смола — 77%; отвердитель для эпоксидной смолы — 7%; наполнитель — 16% (соотношение в массовых долях 11:1:2)		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	7,9
2	5000	7,7
3	5000	8,0
4	5000	8,0
Состав 3: эпоксидная смола — 70%; отвердитель для эпоксидной смолы — 6%; наполнитель — 24% (соотношение в массовых долях 10:1:3)		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	7,7
2	5000	7,8
3	5000	7,5
4	5000	7,6

Таблица 2 — Влияние зернистости наполнителя на прочность

С наполнителем электрокорунд белый с зернистостью М40		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	7,0
2	5000	7,3
3	5000	6,8
4	5000	7,1
С наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 40		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	6,2
2	5000	6,5
3	5000	6,0
4	5000	6,3
С наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 80		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	7,2
2	5000	7,4
3	5000	7,1
4	5000	6,9
С наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 160		
№ образца	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения, мм
1	5000	7,8
2	5000	7,7
3	5000	7,9
4	5000	7,8

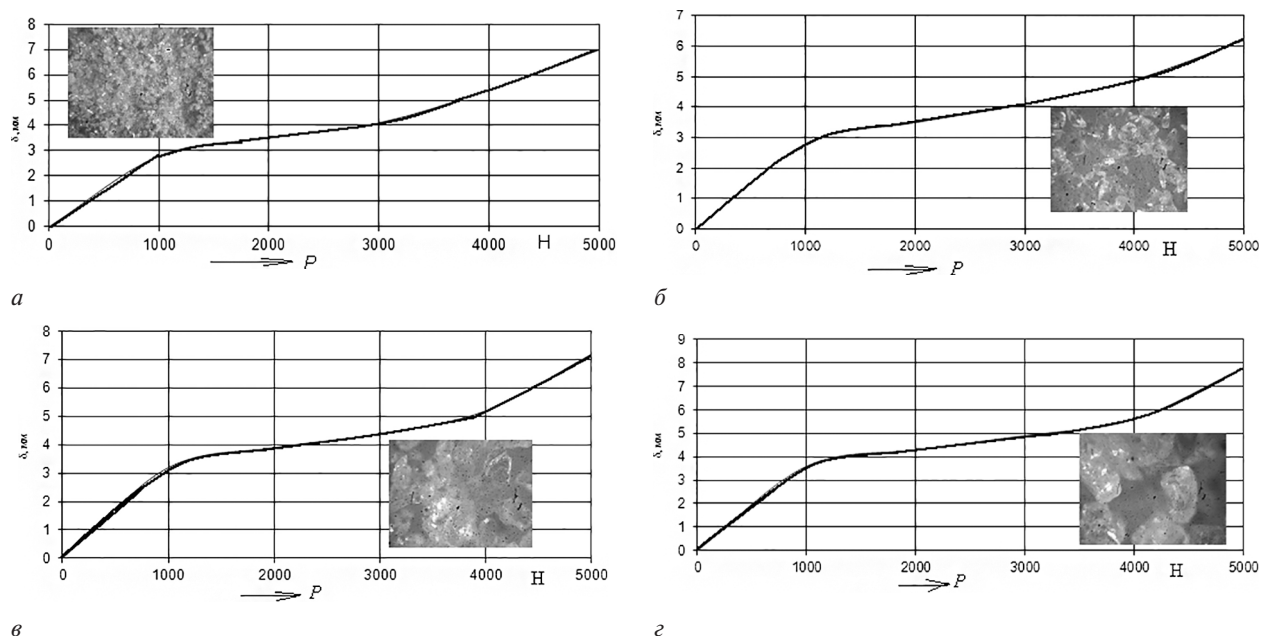


Рисунок 1 — Графики зависимости перемещений от нагрузки образцов с зернистостью М40 (а), 40 (б), 80 (в), 160 (г)

Таблица 3 — Составы композиционного материала

		Независимые переменные		
		Эпоксидная смола	Наполнитель	Отвердитель эпоксидной смолы
Уровни варьирования	+1,682	10,841	3,841	1,0841
	+1,00	10,5	3,5	1,05
	0,00	10	3	1
	-1,00	9,5	2,5	0,95
	-1,682	9,159	2,159	0,9159
Интервал варьирования		0,5	0,5	0,05
Номера опытов или составов	1	+1,00	+1,00	+1,00
	2	+1,00	-1,00	+1,00
	3	-1,00	+1,00	-1,00
	4	+1,00	+1,00	-1,00
	5	-1,00	-1,00	+1,00
	6	-1,00	+1,00	+1,00
	7	+1,00	-1,00	-1,00
	8	-1,00	-1,00	-1,00
	9	0,00	0,00	+1,682
	10	+1,682	0,00	0,00
	11	0,00	+1,682	0,00
	12	0,00	0,00	-1,682
	13	-1,682	0,00	0,00
	14	0,00	-1,682	0,00
	15	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	
17	0,00	0,00	0,00	
18	0,00	0,00	0,00	
19	0,00	0,00	0,00	
20	0,00	0,00	0,00	

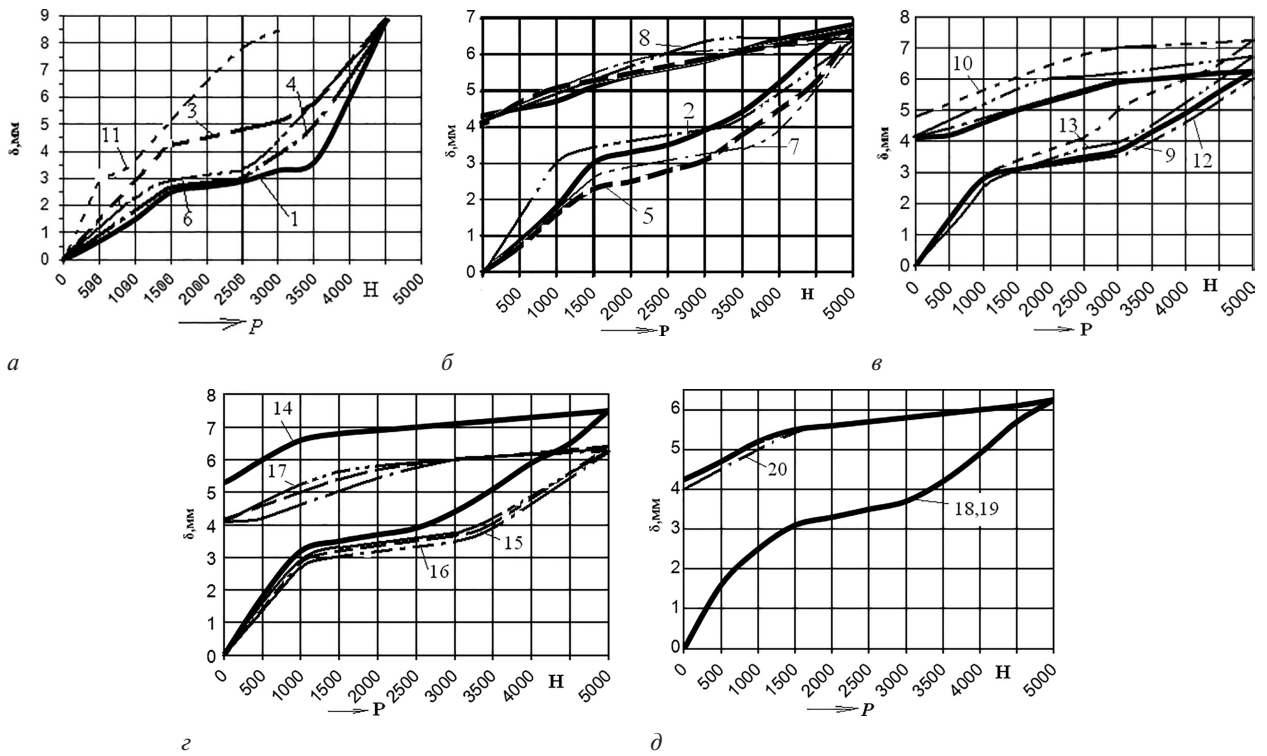


Рисунок 2 — Графики зависимости перемещений от нагрузки композиционных материалов составов: 1, 3, 4, 6, 11 (а); 2, 5, 7, 8 (б); 9, 10, 12, 13 (в); 14, 15, 16, 17 (г); 18, 19, 20 (д)

электрокорунд белый с зернистостью 40 при 5000 Н нагружения получал 6,2 мм без разрушения; композиционный материал с наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 80 разрушался при максимальных перемещениях 7,2 мм, а композиционный материал с наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 160 — при 7,8 мм.

Полученные результаты позволили заключить, что наибольшей прочностью обладают образцы компози-

ционного материала с наполнителем электрокорунд белый с зернистостью 40.

Таблица 5 — Влияние составов композиционного материала на предельные нагрузки и напряжения

Таблица 4 — Данные исследования образцов композиционного материала

Номера опытов или составов	Максимальная нагрузка, Н	Максимальные перемещения при нагружении, мм
1	4500	8,8
2	5000	6,8
3	4500	8,7
4	4500	8,6
5	5000	6,7
6	4500	8,9
7	5000	6,6
8	5000	6,7
9	5000	6,25
10	5000	7,3
11	3000	9,3
12	5000	6,2
13	5000	6,6
14	5000	7,5
15	5000	6,3

№ опытов или составов	$P_{тек}$, Н	P_{max} , Н	$\sigma_{тек}$, МПа	σ_{max} , МПа
	1	2	3	4
1	1500	4500	29,86	89,57
2	2000	5000	39,81	99,52
3	1500	4500	29,86	89,57
4	1500	4500	29,86	89,57
5	1500	5000	29,86	99,52
6	1000	4500	19,90	89,57
7	2000	5000	39,81	99,52
8	2000	5000	39,81	99,52
9	1500	5000	29,86	99,52
10	1500	5000	29,86	99,52
11	1000	3000	19,90	59,71
12	1500	5000	29,86	99,52
13	1500	5000	29,86	99,52
14	1500	5000	39,81	99,52
15	1500	5000	29,86	99,52
16	2000	5000	39,81	99,52
17	1500	5000	29,86	99,52
18	2000	5000	39,81	99,52
19	1500	5000	29,86	99,52
20	2000	5000	39,81	99,52

На третьем этапе выполнялись эксперименты по оптимизации параметров составов с использованием ротатбельных планов второго порядка [7]. В качестве варьируемых параметров принимались: содержание эпоксидной смолы, содержание наполнителя и содержание отвердителя для эпоксидной смолы (таблица 3). Центральный ротатбельный план второго порядка составляли по известной методике полного факторного эксперимента типа $k = 2^3$, шести опытов в «звездных точках» и шести опытов в центре плана. Величина «звездного плеча» составила 1,682. Каждый опыт повторялся 4 раза (таблица 3).

По данным исследования образцов были построены графики зависимости перемещений от нагрузки (рисунок 2) и проведены расчеты основных параметров составов композиционного материала (таблицы 4, 5).

Напряжения рассчитывались по известным зависимостям:

$$\sigma_{\text{пр}} = P_{\text{пр}} / A_0;$$

$$\sigma_{\text{тек}} = P_{\text{тек}} / A_0,$$

где $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{тек}}$ — нагрузки, соответствующие пределу прочности и пределу текучести образцов, Н; A_0 — площадь минимального начального сечения образца, мм^2 : $A_0 = (\pi \times d^2) / 4$.

Полученные результаты позволили заключить, что при увеличении содержания эпоксидной смолы в 2,83 раза максимальные перемещения возраста-

ют в 1,12 раза, а остаточные перемещения возрастают в 1,25 раза. При увеличении содержания наполнителя в 2,83 раза образцы разрушаются при нагрузке 3000 Н, а текучесть возникает при 500 Н. При увеличении содержания отвердителя в 2,83 раза максимальные перемещения возрастают в 1,03 раза.

Список литературы

1. Лапицкий, В.А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В.А. Лапицкий, А.А. Крицук. — Киев: Навук. думка, 1986. — 96 с.
2. Липатов, Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю.С. Липатов. — М.: Химия, 1991. — 260 с.
3. Погосян, А.К. Фрикционные композиты на основе полимеров / А.К. Погосян [и др.]. — Минск: Информтрибо, 1992. — 218 с.
4. Чернин, И.З. Эпоксидные полимеры и композиции / И.З. Чернин, Ф.М. Смехов, Ю.В. Хирдов. — М.: Машиностроение, 1989. — 256 с.
5. Михайлов, М.И. Оптимизация состава фрикционного покрытия твердосплавных пластин сборного инструмента / М.И. Михайлов, З.Я. Шабакаева // *Материалы, технологии, инструмент*. — 1996. — № 3. — С. 28–30.
6. Белоцерковский, М.А. Анализ особенностей полимерных порошковых композиционных покрытий / М.А. Белоцерковский, И.В. Макаревич // *Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки: тезисы докл. междунар. науч.-техн. конф.* — Минск, 2017. — С. 28–30.
7. Тихомиров, В.Б. Математические методы планирования эксперимента при изучении нетканых материалов / В.Б. Тихомиров. — М: Легкая индустрия, 1968. — 155 с.

Pleskachevsky Yu.M., Mikhailov M.I., Shabakayeva Z.Ya., Karpov A.A., Mikhailov K.M.

Study of the influence of parameters of abrasive-containing polymer coatings on their strength

The paper presents the results of adhesion strength studies composite coatings based on polymeric materials. It is shown that the greatest influence is exerted by granularity abrasive filler and its percentage.

Поступил в редакцию 23.10.2017.