

УДК 621.763:629.192

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭПОКСИПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ НА ЕГО СВОЙСТВА

**М. И. МИХАЙЛОВ, А. А. КАРПОВ**

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

**Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ**

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск*

### **Введение**

Рост требований к эксплуатационным характеристикам полимерных материалов, расширение области их применения, необходимость снижения производственных расходов и энергетических затрат на их получение и переработку, улучшение качества продукции и исключения загрязнения окружающей среды выдвигает на первый план изыскание эффективных путей создания композиционных полимерных материалов на основе рециклинга производств. Введение в основной полимерный состав из эпокси-полиэфирных смол различных наполнителей позволяет получать множество композиций. Значительное расширение ассортимента полимерных материалов, получаемых на основе модифицированных эпоксиполиэфирных 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 [1]–[5] и др.

Целью данного исследования является изучение влияния количественного состава компонентов композиционного материала на свойства этого материала.

### **Постановка задачи и методика исследования**

В качестве основного полимерного материала была выбрана композиция эпоксидной и полиэфирной смол с соответствующими для этих смол отвердителями. В качестве наполнителей использовались абразивный материал и отработки после шлифования различных материалов абразивным инструментом (табл. 1). Процентное соотношение каждого из элементов композиционного материала:

– композиция № 1: наполнитель – 35 %; эпоксидная смола – 35 %; полиэфирная смола – 20 %; отвердитель для эпоксидной смолы – 8 %; отвердитель для полиэфирной смолы – 2 %;

– композиция № 2: наполнитель – 45 %; эпоксидная смола – 30 %; полиэфирная смола – 15 %; отвердитель для эпоксидной смолы – 8 %; отвердитель для полиэфирной смолы – 2 %;

– композиция № 3: наполнитель – 60 %; эпоксидная смола – 22 %; полиэфирная смола – 10 %; отвердитель для эпоксидной смолы – 7 %; отвердитель для полиэфирной смолы – 1 %.

Исследованию на сжатие подвергались образцы, изготовленные по ГОСТ 4651–82 для испытаний на сжатие полимерных материалов. Размеры образцов: диаметр 8 мм, высота 15 мм. С каждым наполнителем были изготовлены и подвергались сжатию по четыре образца. Скорость нагружения образцов составляла 50 Н/с. Нагружение производилось от 0 до определенной нагрузки, которую выдерживал образец без окончательного разрушения. Измерение деформации образцов производилось через каждые 500 Н непрерывного сжатия каждого образца. После того, как было проведено нагружение, образцы подвергались непрерывной разгрузке с измерением величины деформации через каждые 500 Н. Результаты измерения деформаций приведены в табл. 2 и 3. После проведенного эксперимента образцы измерялись в течение 30 мин с интервалом через каждые 5 мин. По результатам испытания каждой серии образцов были построены графики влияния нагрузки на величину перемещения образцов при их нагружении и разгрузке, а также с течением времени после полной разгрузки (рис. 1–3). Кроме того, по полученным данным были определены значения коэффициентов жесткости при нагружении и разгрузке (табл. 4).

Таблица 1

## Состав наполнителей

Наполнитель	Состав наполнителя	Примечание
1	Электрокорунд нормальный	Зернистость 40
2	Электрокорунд белый (25А 40 СМ) с эмульсией и стальной стружкой (сталь Р6М5)	Подвергался прокаливанию
3	Электрокорунд белый (24А 40 СМ) со стальной стружкой (сталь 45)	–

## Результаты эксперимента и их обсуждение

Проведенные эксперименты показали, что полимерные композиции № 1 с различными наполнителями (табл. 1) выдерживают нагрузку до 5000 Н без полного разрушения, полимерные композиции № 2 с различными наполнителями (табл. 1) выдерживают нагрузку до 4000 Н без полного разрушения, а полимерные композиции № 3 с различными наполнителями при нагрузке 3000 Н разрушались.

Таблица 2

## Значения приращения перемещения образцов при нагружении, мм

Номер образца	$\Delta\delta_1$	$\Delta\delta_2$	$\Delta\delta_3$	$\Delta\delta_4$	$\Delta\delta_5$	$\Delta\delta_6$	$\Delta\delta_7$	$\Delta\delta_8$	$\Delta\delta_9$	$\Delta\delta_{10}$
1.1	0,20	0,15	0,12	0,13	0,15	0,15	0,20	0,33	0,57	0,40
1.2	0,14	0,21	0,27	0,48	0,34	0,26	0,20	0,20	0,30	0,30
1.3	0,13	0,10	0,13	0,12	0,29	0,22	0,46	0,40	0,30	0,65
2.1	0,22	0,16	0,18	0,19	0,20	0,25	0,50	–	–	–
2.2	0,26	0,19	0,28	0,15	0,32	0,40	0,50	0,30	–	–
2.3	0,37	0,18	0,23	0,40	0,82	1,20	0,40	–	–	–
3.1	0,80	1,50	1,90	1,60	1,30	1,80	–	–	–	–
3.2	1,03	2,11	2,18	1,03	1,40	–	–	–	–	–
3.3	0,81	2,06	2,37	1,26	0,60	–	–	–	–	–

Анализ результатов позволяет заключить, что при соотношении эпоксидной смолы и наполнителя к количеству полиэфирной смолы 1,75 : 1,75 : 1 и при переходе от наполнителя из электрокорунда нормального (№ 1 табл. 1) к наполнителям из электрокорунда белого со стальной стружкой из стали Р6М5 (№ 2 табл. 1) и стали 45 (№ 3 табл. 1) происходит изменение предела текучести и среднего коэффициента жесткости в соотношении 2,33:1 : 1,33 и 1,3:1 : 1,3 (рис. 1. табл. 4). Изменяя соотношение эпоксидной смолы и наполнителя к количеству полиэфирной смолы как 2 : 3 : 1 и при переходе от наполнителя из электрокорунда нормального (№ 1 табл. 1) к наполнителям из электрокорунда белого со стальной стружкой из стали Р6М5 (№ 2 табл. 1) и стали 45 (№ 3 табл.1) происходит изменение предела текучести и среднего коэффициента жесткости в соотношениях 1,5 : 1 : 1,0 и 1,23 : 1 : 0,74 (рис. 2, табл. 4). Увеличение количества наполнителя и доведение соотношения эпоксидной смолы и наполнителя к количеству полиэфирной смолы как 2,2 и 6 : 1, при том же использовании наполнителей, что и в предыдущих сериях опытов, не приводит к изменению предела текучести, а средний коэффициент жесткости изменяется в соотношении 1,02 : 1,29 (рис. 3, табл. 4).

Таблица 3

Значения приращения перемещения образцов при разгрузении, мм

Номер образца	$\Delta\delta_1$	$\Delta\delta_2$	$\Delta\delta_3$	$\Delta\delta_4$	$\Delta\delta_5$	$\Delta\delta_6$	$\Delta\delta_7$	$\Delta\delta_8$	$\Delta\delta_9$	$\Delta\delta_{10}$
1.1	0,15	0,20	0,20	0,20	0,10	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05
1.2	0,15	0,15	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
1.3	0,06	0,06	0,05	0,06	0,04	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03
2.1	0,20	0,10	0,05	0,05	0,08	0,09	0,03	–	–	–
2.2	0,05	0,10	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	–	–
2.3	0,06	0,05	0,05	0,05	0,10	0,06	0,04	–	–	–

Таблица 4

Значения  $\Delta P / \Delta\delta$ , Н/мм

Номер образца	Изменение нагрузки	$\Delta P / \Delta\delta$	$\Delta P / \Delta\delta_2$	$\Delta P / \Delta\delta_3$	$\Delta P / \Delta\delta_4$	$\Delta P / \Delta\delta_5$
1.1	Нагрузка	1667	3333	4167	3846	3333
	Разгрузка	3333	2500	2500	2500	5000
1.2	Нагрузка	3571	2381	1852	1042	1471
	Разгрузка	5000	5000	5000	5000	5000
1.3	Нагрузка	3846	5000	3846	4167	1724
	Разгрузка	8333	8333	10000	8333	12500
2.1	Нагрузка	2273	3125	2778	2632	2500
	Разгрузка	2500	5000	10000	10000	6250
2.2	Нагрузка	1923	2632	1786	3333	1563
	Разгрузка	10000	5000	10000	10000	10000
2.3	Нагрузка	1351	2778	2174	1250	610
	Разгрузка	8333	10000	10000	10000	5000
3.1	Нагрузка	625	333	263	313	385
	Разгрузка	–	–	–	–	–
3.2	Нагрузка	485	237	229	485	357
	Разгрузка	–	–	–	–	–

Номер образца	Изменение нагрузки	$\Delta P / \Delta \delta$	$\Delta P / \Delta \delta 2$	$\Delta P / \Delta \delta 3$	$\Delta P / \Delta \delta 4$	$\Delta P / \Delta \delta 5$
3.3	Нагрузка	617	243	211	397	833
	Разгрузка	–	–	–	–	–
1.1	Нагрузка	3333	2500	1515	877	1250
	Разгрузка	3333	10000	10000	10000	10000
1.2	Нагрузка	1923	2500	2500	1667	1667
	Разгрузка	10000	10000	10000	10000	–
1.3	Нагрузка	2273	1087	1250	1667	769
	Разгрузка	16667	12500	12500	25000	16667
2.1	Нагрузка	2000	1000	–	–	–
	Разгрузка	5556	16667	–	–	–
2.2	Нагрузка	1250	1000	1667	–	–
	Разгрузка	8333	8333	16667	–	–
2.3	Нагрузка	417	1250	–	–	–
	Разгрузка	8333	12500	–	–	–
3.1	Нагрузка	278	–	–	–	–
	Разгрузка	–	–	–	–	–

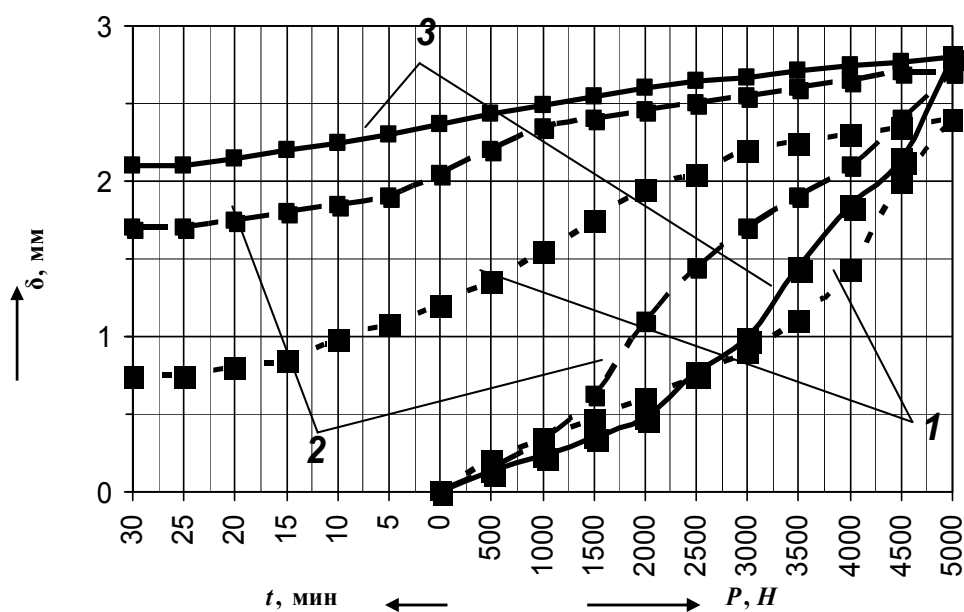


Рис. 1. Графики влияния нагрузки на перемещения образцов: 1 – для образца № 1.1; 2 – для образца № 1.2; 3 – для образца № 1.3

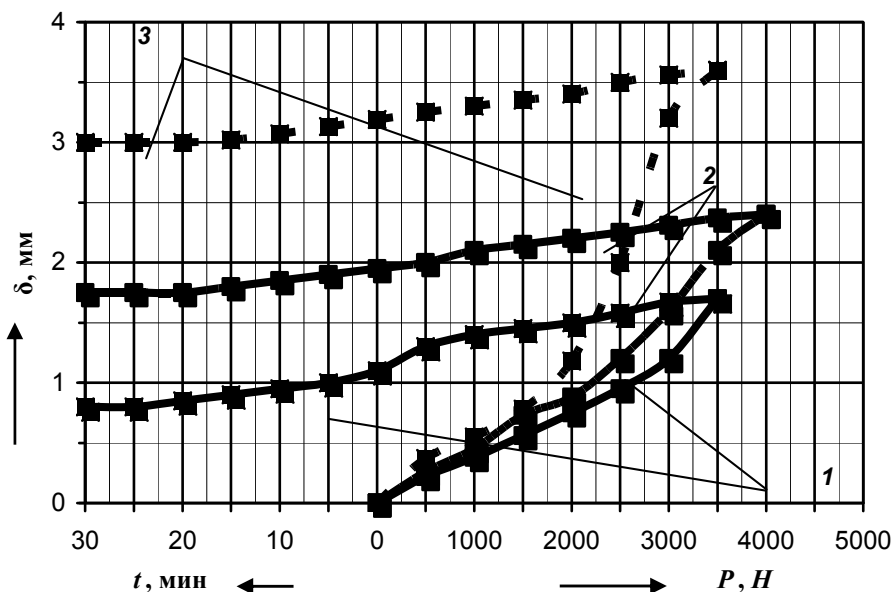


Рис. 2. Графики влияния нагрузки на перемещения образцов: 1 – для образца № 2.1; 2 – для образца № 2.2; 3 – для образца № 2.3

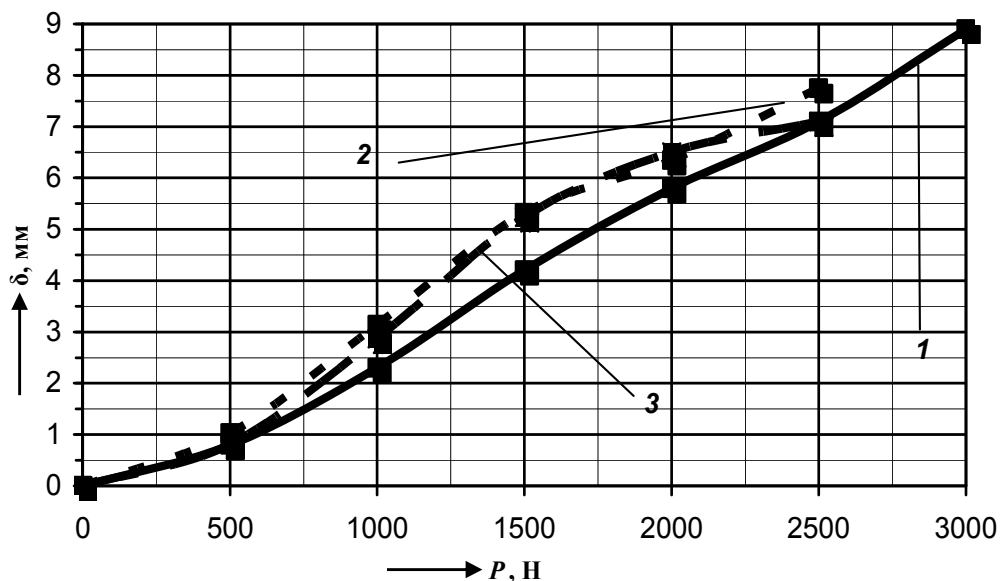


Рис. 3. Графики влияния нагрузки на перемещения образцов: 1 – для образца № 3.1; 2 – для образца № 3.2; 3 – для образца № 3.3

В результате применения в качестве наполнителя электрокорунда нормального, и увеличивая его содержание в композициях в 1,3 и в 1,7 раза соответственно, при соотношении эпоксидной и полиэфирной смол в опытах 1,75 : 1; 2 : 1 и 2,2 : 1 получили уменьшение предела текучести и среднего коэффициента жесткости в соотношении 1 : 0,86; 0,14 и 1 : 0,9 : 0,14. Использование в качестве наполнителя электрокорунда белого со стальной стружкой из стали Р6М5 с эмульсией при росте его содержания в композициях в 1,3 и в 1,7 раза соответственно, при соотношении эпоксидной и полиэфирной смол в опытах 1,75 : 1; 2 : 1 и 2,2 : 1 получили уменьшение предела текучести и среднего коэффициента жесткости в соотношении 1 : 0,75; 0,33 и 1 : 0,92 : 0,17. Увеличение наполнителя, в виде электрокорунда белого со стальной

стружкой из стали 45, в 1,3 и в 1,7 раза соответственно, при соотношении эпоксидной и полиэфирной смол в опытах 1,75 : 1; 2 : 1 и 2,2 : 1 привело к уменьшению предела текучести и среднего коэффициента жесткости в соотношении 1 : 1 : 0,25 и 1 : 0,55 : 0,18.

### **Заключение**

Полученные результаты позволяют заключить, что применение абразивосодержащего наполнителя в полимерном композиционном материале на основе эпоксиполиэфирных смол, в количестве более 35 %, снижает их прочность. Применение в качестве наполнителей абразивосодержащую смесь со стальной стружкой повышает поглощающую способность композиции. Кроме того, данные исследований позволяют выбрать композицию с тем или иным наполнителем в зависимости от конкретных условий работы композиционного материала.

### **Литература**

1. Лапицкий, В. А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В. А. Лапицкий, А. А. Крицук. – Киев : Наукова думка, 1986. – 96 с.
2. Липатов, Ю. С. Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю. С. Липатов. – Москва : Химия, 1991. – 260 с.
3. 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. – Москва : 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.

*Получено 20.11.2008 г.*