

УДК 621.763

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

М. И. МИХАЙЛОВ, О. А. ЛАПКО

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

Представлены результаты экспериментального исследования на прочность эпоксидполиэфирного материала с добавлением карбида кремния. Варьируется состав композиционного материала (содержание полиэфирной смолы и карбида кремния, а также зернистость наполнителя). Получены составы композиционного материала на основе испытаний на сжатие.

Ключевые слова: эпоксидная смола, карбид кремния, полиэфирная смола, предел прочности на сжатие.

ANALYSIS OF PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY COMPOSITES

M. I. MIKHAILOV, O. A. LAPKO

Educational Institution "Sukhoi State Technical University of Gomel", the Republic of Belarus

The article presents the results of experimental study on strength of epoxy polyether material with addition of silicon carbide. The composition of the composite material varies (the content of polyester resin and silicon carbide, as well as the grain content of the filler). The article presents the composite material compositions based on compression.

Keywords: epoxy resin, silicon carbide, polyester resin, compressive strength.

Введение

В машиностроительной промышленности используются различные полимерные материалы, отличающиеся комплексом физико-механических свойств, технологией переработки, что обусловлено способами получения, химическим составом и строением молекул. В ряде работ авторами приводятся сравнительные характеристики полимерных материалов, по которым можно определить физико-механические и физико-химические свойства [1]–[11].

Как установлено из литературных источников, одним из наиболее перспективных путей повышения эксплуатационных свойств эпоксидных композиций является использование в качестве их модификатора полиэфирных смол. Целесообразность применения полиэфирных смол для модифицирования эпоксидов определяется хорошей совместимостью компонентов в широком температурном интервале. Полиэфирные смолы также отличаются хорошей адгезией к различным материалам. В зависимости от применяемых эпоксидных и полиэфирных смол, наполнителей и отвердителей можно получать материалы и покрытия с широким диапазоном физико-механических свойств.

Цель данной работы – оптимизация композиционного материала на основе эпоксидных смол.

Методика исследований

При исследовании свойств композиционных материалов в качестве связующего использовали эпоксидную смолу марки ЭД-20.

Для получения композиционных материалов и покрытий на основе эпоксидной смолы в качестве отвердителя применяли полиэтиленполиамин (ПЭПА), который предназначен для отверждения эпоксидных смол при комнатных температурах в условиях пониженной влажности. Концентрация отвердителя в композиции составляла 11–12 мас. % от количества эпоксидной смолы.

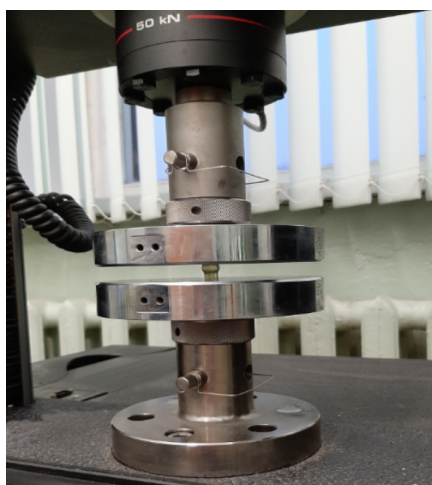
Для функционализации эпоксидиановой смолы использовали полиэфирную смолу Reoflex RX N-04. Среди общих характеристик полиэфирных смол отмечают такие показатели, как высокая адгезия к материалам, низкая теплопроводность, влагостойкость, быстрая полимеризация. В качестве отвердителя полиэфирной смолы использовали отвердитель RX H-42.

Исследования выполнялись в два этапа.

На первом этапе производилась оптимизация состава образцов при их сжатии.

Испытания проводились на оборудовании INSTRON 5969 с предельной нагрузкой 50 кН (рис. 1, *а*).

На втором этапе исследовались адгезионные свойства композиционного материала при сдвигающей (касательной) нагрузке.



а)



б)

Рис. 1. Испытательная машина (*а*) и образцы после испытаний (*б*)

Для проведения предварительных испытаний было подготовлено четыре образца с содержанием полиэфирной смолы в массовых частях относительно эпоксидной смолы соответственно: 10, 20, 30, 40 %. Деформационно-прочностные характеристики образцов определялись по стандартной методике (ГОСТ 4651–2014).

Результаты исследования и их анализ

В ходе предварительных испытаний было установлено, что введение полиэфирной смолы увеличивает эластичность, но уменьшает прочность композитов.

Было изготовлено восемь составов образцов, в которых содержание полиэфирной смолы варьировалось от 10 до 30 %, в качестве наполнителя использовался карбид кремния, содержание которого изменялось от 5 до 15 %, а зернистость – 50 и 250 мкм.

Результаты исследований представлены на рис. 2, 3.

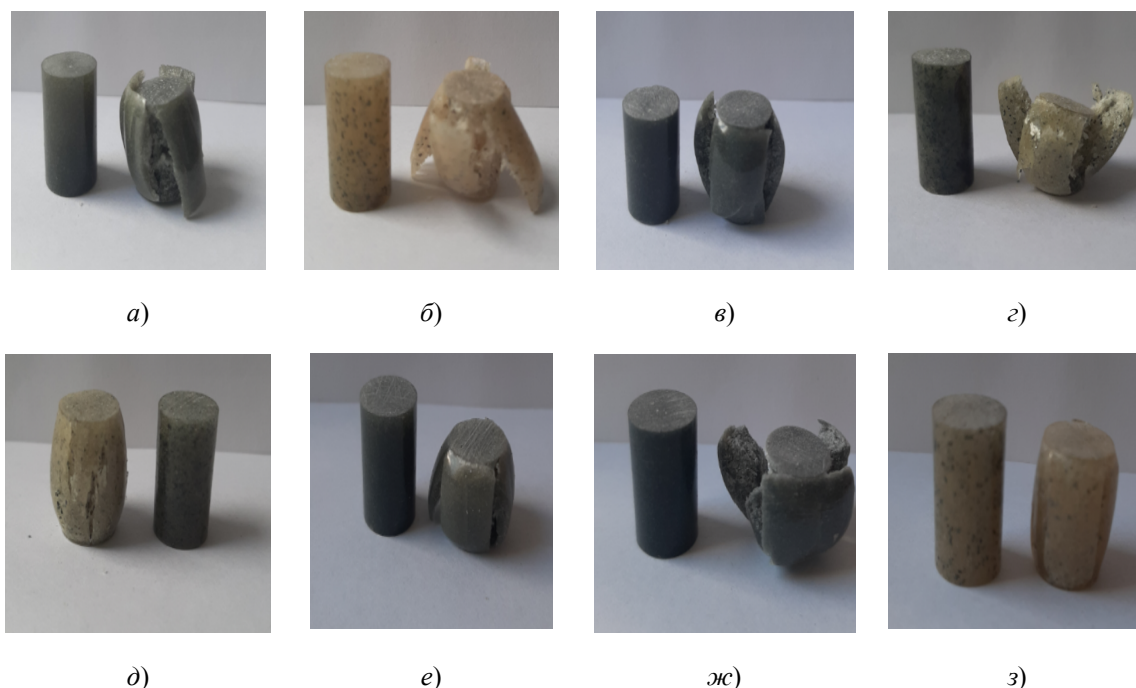


Рис. 2. Фотографии образцов до и после испытаний, содержащих полиэфирную смолу, карбид кремния с зернистостью:

a – 31 %, 5 %, 50 мкм; *б* – 31 %, 5 %, 250 мкм; *в* – 31 %, 15 %, 50 мкм;
г – 15 %, 15 %, 250 мкм; *д* – 15 %, 15 %, 50 мкм; *е* – 15 %, 5 %, 50 мкм;
ж – 31 %, 15 %, 250 мкм; *з* – 15 %, 5 %, 250 мкм

Как видно на рис. 3, *а, б*, увеличение зернистости при одинаковом соотношении компонентов приводит к уменьшению нагрузки упругой деформации и предела прочности в 1,3 раза, а увеличение в составе полиэфирной смолы (рис. 3, *б, г*) уменьшает нагрузку упругой деформации в 2,7 раза и предел прочности – в 1,5 раза. С увеличением процентного содержания карбида кремния (рис. 3, *б, в*) уменьшается нагрузка упругой деформации в 1,7 раза и предел прочности – в 1,1 раза.

Увеличение содержания карбида кремния (рис. 3, *б, г*) при одинаковом предельном содержании полиэфирной смолы (31 %) и одинаковой зернистости наполнителя (250 мкм) уменьшает нагрузку упругой деформации в 2,7 раза и предел прочности – в 1,5 раза, а увеличение процентного содержания полиэфирной смолы (рис. 3, *г, ж*) приводит к уменьшению нагрузки упругой деформации в 4,7 раза и предела прочности – в 1,4 раза.

Как показано на рис. 3, *в, г*, увеличение зернистости при одинаковом предельном соотношении компонентов уменьшает нагрузку упругой деформации в 1,6 раза и предел прочности – в 1,4 раза, а увеличение содержания карбида кремния (рис. 3, *д, е*) при одинаковом минимальном содержании полиэфирной смолы (15 %) и одинаковой зернистости (50 мкм) приводит к увеличению нагрузки упругой деформации в 1,1 раза и практически не влияет на предел прочности. Увеличение процентного содержания полиэфирной смолы (рис. 3, *а, е*) при постоянном составе уменьшает нагрузку упругой деформации в 1,5 раза и увеличивает предел прочности в 1,25 раза.

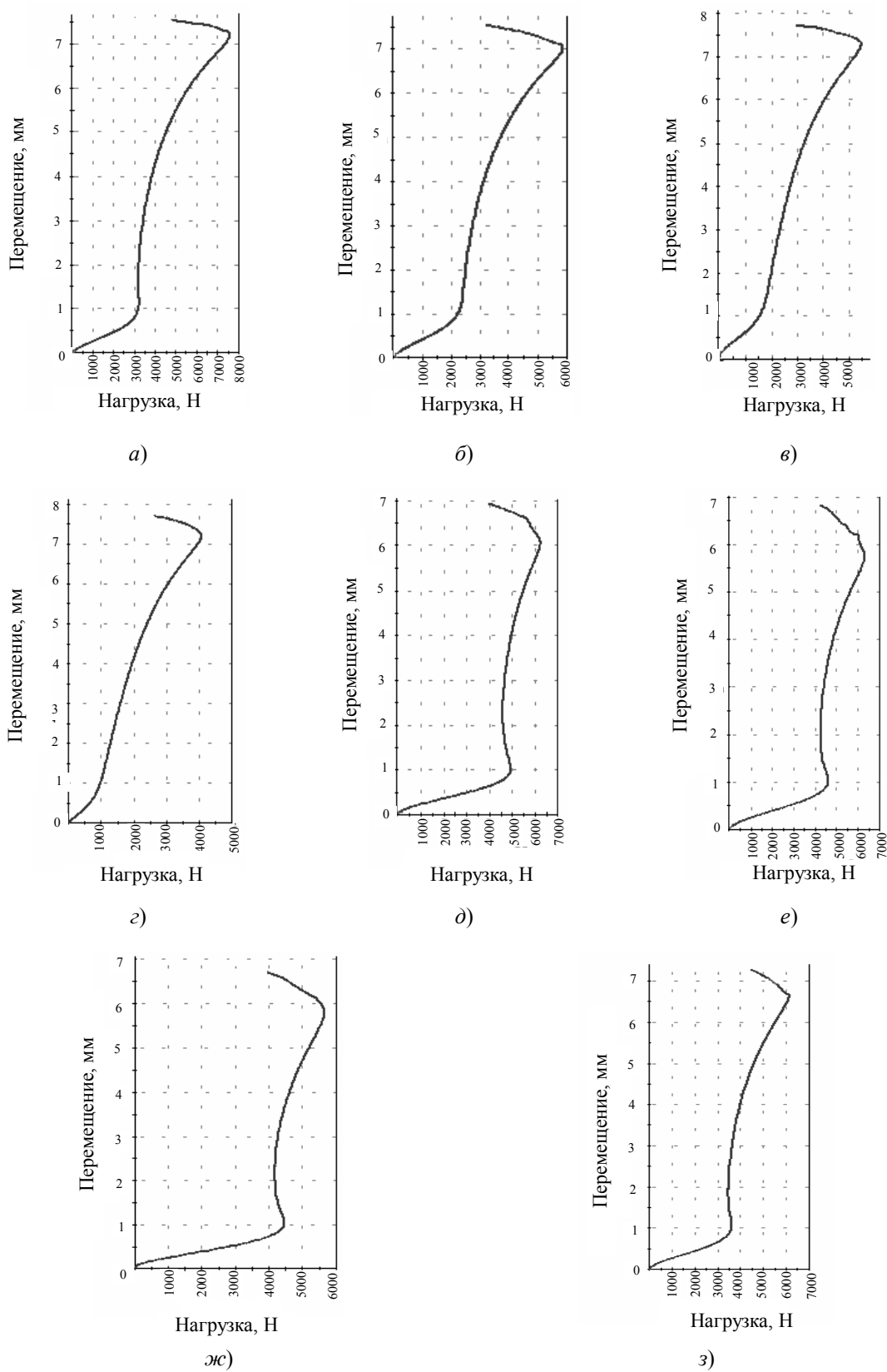


Рис. 3. Графики зависимости перемещения образцов от нагрузки, содержащих полиэфирную смолу, карбид кремния с зернистостью:
 а – 31 %, 5 %, 50 мкм; б – 31 %, 5 %, 250 мкм; в – 31 %, 15 %, 50 мкм;
 г – 15 %, 15 %, 250 мкм; д – 15 %, 15 %, 50 мкм; е – 15 %, 5 %, 50 мкм;
 ж – 31 %, 15 %, 250 мкм; з – 15 %, 5 %, 250 мкм

Исходя из рис. 3, *е, з*, можно заключить, что увеличение зернистости при одинаковом минимальном соотношении компонентов приводит к уменьшению нагрузки упругой деформации в 1,3 раза и практически не влияет на предел прочности. Увеличение содержания карбида кремния (рис. 3, *а, в*) при одинаковом содержании полиэфирной смолы (31 %) и одинаковой зернистости (50 мкм) уменьшает нагрузку упругой деформации в 2 раза и предел прочности – в 1,3 раза, а увеличение процентного содержания полиэфирной смолы (рис. 3, *в, д*) при постоянном составе приводит к уменьшению нагрузки упругой деформации в 3,3 раза и предела прочности – в 1,1 раза.

Как видно на рис. 3, *д, ж*, увеличение зернистости при одинаковом соотношении компонентов уменьшает нагрузку упругой деформации и предел прочности в 1,1 раза, а увеличение содержания карбида кремния (рис. 3, *ж, з*) при одинаковом содержании полиэфирной смолы (15 %) и одинаковой зернистости (250 мкм) приводит к увеличению нагрузки упругой деформации в 1,3 раза и к уменьшению предела прочности – в 1,1 раза. Увеличение процентного содержания полиэфирной смолы (рис. 3, *б, з*) при постоянном составе уменьшает нагрузку упругой деформации в 1,4 раза и предел прочности – в 1,05 раза.

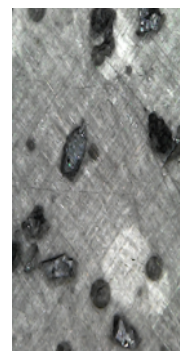
Исследования по второму этапу проводились с применением известной методики (ГОСТ 14759–69). Образцы из стали 45, предназначенные для испытаний, соединялись между собой внахлест композиционным материалом (рис. 4).



Рис. 4. Фотографии образцов



а)



б)

Рис. 5. Фотография образца № 5:
а – после испытаний; *б* – с помощью микроскопа

Размеры склеиваемого участка составляли 15×20 мм с толщиной слоя композиционного материала – 100 мкм.

Образцы подготавливались по стандартной методике [1].

После испытания рабочие поверхности образцов исследовались с помощью микроскопа (рис. 5).

Результаты испытаний представлены на рис. 6.

Как видно на рис. 6, *а, б*, увеличение зернистости при одинаковом соотношении компонентов приводит к уменьшению предела прочности в 1,35 раза, а увеличение в составе полиэфирной смолы (рис. 6, *б, в*) уменьшает предел прочности в 2 раза, кроме этого с увеличением процентного содержания карбида кремния (рис. 6, *б, в*) уменьшается предел прочности в 2,5 раза.

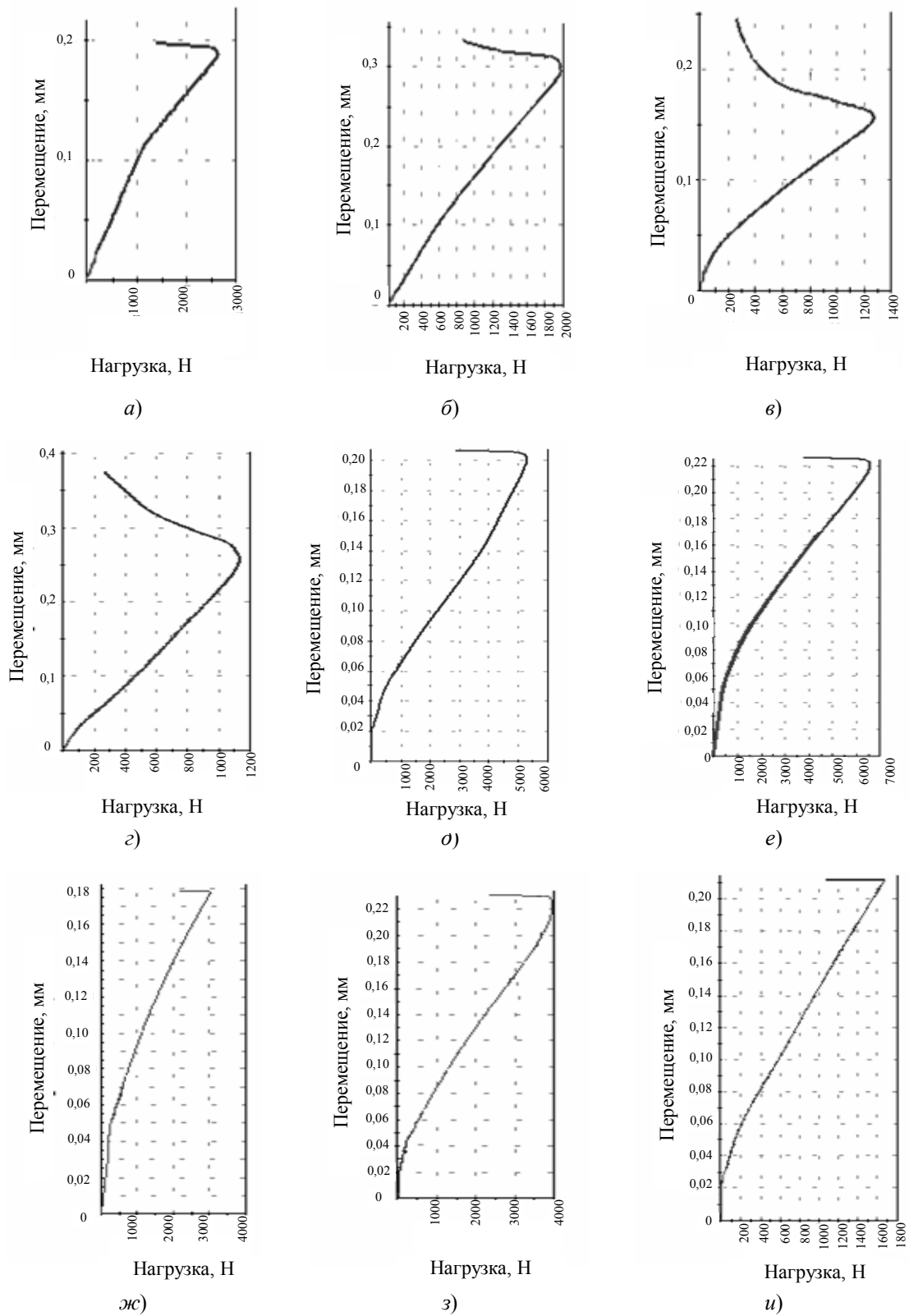


Рис. 6. Графики зависимости перемещения образцов от нагрузки, содержащих полиэфирную смолу, карбид кремния с зернистостью:

- a* – 31 %, 5 %, 50 мкм; *б* – 31 %, 5 %, 250 мкм; *в* – 31 %, 15 %, 50 мкм;
- г* – 31 %, 15 %, 250 мкм; *д* – 15 %, 15 %, 50 мкм; *е* – 15 %, 5 %, 50 мкм;
- ж* – 15 %, 15 %, 250 мкм; *з* – 15 %, 5 %, 250 мкм; *и* – без наполнителя

Увеличение содержания карбида кремния (рис. 6, б, з) при одинаковом предельном содержании полиэфирной смолы (31 %) и одинаковой зернистости наполнителя (250 мкм) уменьшает предел прочности в 1,7 раза, а увеличение процентного содержания полиэфирной смолы (рис. 6, з, ж) приводит к увеличению предела прочности в 2,5 раза.

С увеличением содержания карбида кремния (рис. 6, д, е) при одинаковом минимальном содержании полиэфирной смолы (15 %) и одинаковой зернистости (50 мкм) увеличивается предел прочности в 1,25 раза.

Как видно на рис. 6, е, з, увеличение зернистости при одинаковом минимальном соотношении компонентов приводит к уменьшению предела прочности в 1,6 раза.

Заключение

Совместное введение полиэфирной смолы и наполнителя карбида кремния приводит к получению более прочных композитов с требуемой эластичностью. Данные исследования позволяют выбрать композицию с оптимальным составом для конкретных условий работы композиционного материала.

Литература

1. Нильсон, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсон. – М. : Химия, 1978. – 378 с.
2. Полимерная фрикционная композиция : пат. 7400 Респ. Беларусь : МПК⁷ С 08 J 5/14 / Сысоев П. В., Шабакаева З. Я., Михайлов М. И. ; опубл. 30.09.05.
3. Лапицкий, В. А. Физико-механические свойства эпоксидных полимеров и стеклопластиков / В. А. Лапицкий, А. А. Крицук. – Киев : Наукова думка, 1986. – 96 с.
4. Липатов, Ю. С. Физико-химические основы наполнения полимеров / Ю. С. Липатов. – М. : Химия, 1991. – 260 с.
5. Фрикционные композиты на основе полимеров / А. К. Погосян [и др.]. – Минск : Информтрибо, 1992. – 218 с.
6. Чернин, И. З. Эпоксидные полимеры и композиции / И. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Хирдов. – М. : Машиностроение, 1989. – 256 с.
7. 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.
8. Белоцерковский, М. А. Анализ особенностей полимерных порошковых композиционных покрытий / М. А. Белоцерковский, И. В. Макаревич // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки : тез. докл. 32-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2017. – С. 28–30.
9. Бобрышев, А. Н. Прочность и долговечность полимерных композиционных материалов / А. Н. Бобрышев, В. Н. Коромазов, А. В. Лохно. – Липецк : Юлис, 2006. – 170 с.
10. Kudina, E. F. Synthesis and Properties of Dispersed Hybrid Materials Based on a Silicate Matrix / E. F. Kudina // Glass Physics and Chemistry. – 2012. – Vol. 38, № 1. – P. 172–179.
11. Свойства эпоксидиановых связующих, модифицированных полиметилентрифенилборатом и наночастицами различной природы / Е. С. Ананьева [и др.] // Ползунов. вестн. – 2013. – № 1. – С. 59–66.