

КОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНОЙ СМОЛЫ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

В. П. Ярцев, М. А. Подольская

*Кафедра «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
kzis@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: агрессивная среда; композит; полимерные добавки; полиэфирная смола; прочность при поперечном изгибе; циклы замораживания-оттаивания.

Аннотация: Представлена разработка полимерных композиционных материалов с использованием отходов промышленного производства. Рассмотрено объединение двух перспективных направлений развития индустрии строительных материалов: использование промышленных отходов и разработка новых композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Исследования направлены на утилизацию внушительного объема отходов и снижение стоимости композита с улучшением его эксплуатационных характеристик.

Определена прочность при поперечном изгибе для композита на основе полиэфирной смолы с полимерными добавками для различной концентрации и гранулометрического состава наполнителя. Исследовано влияние циклов замораживания-оттаивания, а также воздействия некоторых агрессивных сред на механические свойства полученного композита.

В настоящее время в строительстве широко используются армированные пластики на основе термореактивных (эпоксидных и полиэфирных) и термопластичных матриц. Это обусловлено их высокими механическими свойствами, определяемыми характеристиками волокнистых наполнителей (стеклянных, углеродных и амидных) [1]. Количество отходов, требующих утилизации, непрерывно растет. Необходимо найти эффективный способ утилизации ряда полимерных отходов при производстве строительных материалов.

Для определения оптимального гранулометрического состава изготовлены образцы с различным количеством наполнителя в композите и размером гранул [2 – 5]. В полиэфирную смолу в качестве заполнителя вводили отходы пластиковой тары различных фракций с гранулами в виде квадратов 5×5, 4×4, 3×3, 2×2 мм совместно с отвердителем и ускорителем (5 %). Затем готовую смесь заливали в формы 120×20×20 мм и отправляли в термокамеру. В течение 2 ч при температуре 100 °С образцы выдерживали в камере, а затем их охлаждали до комнатной температуры.

На специальном стенде проводили длительные и кратковременные испытания при поперечном изгибе [2 – 7]. Результаты испытаний зависимости прочности при поперечном изгибе от гранулометрического состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Прочность композита при изгибе, Па,
в зависимости от гранулометрического состава**

Размер фракций, мм	Расположение заполнителя	
	по нижнему поясу	по сечению ребра
2×2	10,1	10,2
3×3	11,0	15,0
4×4	8,8	11,2
5×5	11,7	13,5

Из таблицы 1 видно, что прочность композита достигает максимума при введении отходов пластиковой тары с размерами гранул 3×3 и 5×5 мм. При введении наполнителя с фракцией 4×4 мм наблюдается резкое падение прочности материала при изгибе. Фрактография исследованных образцов показала, что наполнитель с гранулами 3×3 и 5×5 мм ориентирован параллельно горизонтальной плоскости, а с гранулами 4×4 мм – под углом к ней, более неравномерно. Фрактография плоскости разрушения выявила, что разлом образцов 4×4 мм происходит по ломаным линиям, а разрушение других групп образуется по ровной плоскости.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее рациональным является использование в качестве заполнителя полиэфирной смолы отходов пластиковой тары с фракциями 3×3 и 5×5 мм.

Для выбора оптимальной концентрации полимерного наполнителя исследовали композиты различного состава при постоянном соотношении отвердителя и ускорителя 5 %: при размере фракции 3×3 мм содержание наполнителя составляло 5, 15 и 25 %; при размере фракции 5×5 мм – 25, 40 и 50 %.

Полученные результаты приведены на рис. 1.

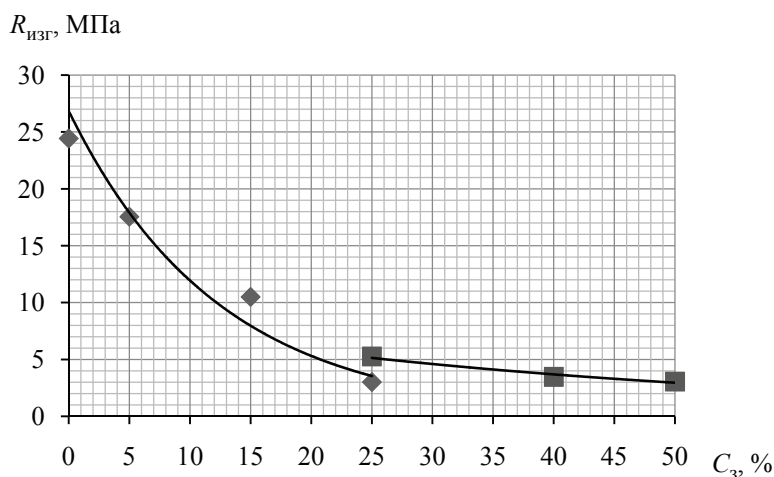


Рис. 1. Зависимость прочности композита на основе полиэфирной смолы при поперечном изгибе от процентного содержания полимерной добавки C_3 для фракций заполнителя 3×3 (◆) и 5×5 (■) мм

Влияния циклов замораживания-оттаивания на физические свойства полиэфирной смолы с полимерным наполнителем. Для исследования зависимости прочности от числа циклов замораживания-оттаивания образцы с фракцией наполнителя 5×5 мм замачивали в течение 2 ч в воде, затем замораживали также в течение 2 ч. Продолжительность цикла замораживания-оттаивания составила 4 ч. Число циклов составило 5, 10 и 20. В ходе испытаний измеряли массу образцов и определяли водопоглощение материала. Результаты испытаний приведены на рис. 2, откуда видно, что с ростом числа циклов прочность повышается. Это, по-видимому, связано с тем, что при замораживании и оттаивании в частицах композита перераспределяются внутренние напряжения, выравнивание которых благотворно влияет на прочность при изгибе. После проведения испытаний никаких повреждений или цветовых изменений на образцах не наблюдалось.

Влияния агрессивных сред на физические свойства композита на основе полиэфирной смолы. Для изучения влияния агрессивных сред на физические свойства полиэфирной смолы выбрано 6 сред: хлорид натрия – 35%-й раствор, натрий двууглекислый – 35 %, уксусная кислота – 9 %, соляная кислота концентрированная, азотная кислота концентрированная, концентрированная серная кислота. В агрессивной среде образцы выдерживали в течение 5, 10 и 20 суток. До и после воздействия на композит агрессивных сред измерялись его размеры и масса. После выдержки в кислотах и других средах образцы испытывались на изгиб. Полученные результаты приведены в табл. 2 и на рис. 3.

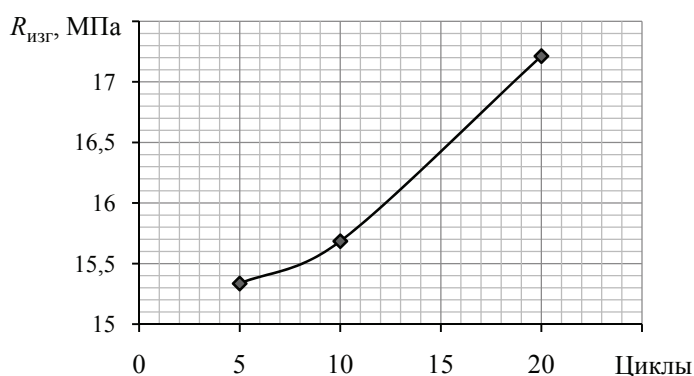


Рис. 2. Зависимость прочности композита при изгибе от числа циклов замораживания-оттаивания

Таблица 2

Прочность при изгибе композита на основе полиэфирной смолы с полимерными добавками

Вид агрессивной среды	Концентрация раствора, %	Прочность при изгибе, МПа, после выдержки в агрессивной среде, сутки		
		5	10	20
Хлорид натрия	35	4,84	2,12	3,66
Натрий двууглекислый	35	2,72	2,42	1,82
Кислота:				
соляная	Неразбавленная	1,90	2,07	2,80
серная	Неразбавленная	1,49	1,00	–
уксусная	9	2,32	2,08	2,18
азотная	Неразбавленная	2,69	1,83	2,81

После взаимодействия с соляным раствором прочность образца при растяжении вначале падает, а затем повышается. Можно сделать вывод, что данный композит стоек к воздействию солей как с большой концентрацией, так и с малой. При взаимодействии с натрием двууглекислым (содой) наблюдается спад прочности материала по линейной зависимости. Это свидетельствует о том, что данный вид материала не стоек к воздействию кислой натриевой соли угольной кислоты. После воздействия соли цвет образцов не изменяется, а после воздействия соды их поверхность побелела и стала матовой (рис. 3, б).

Аналогичная картина наблюдается и при воздействии с уксусной и соляной кислотами. После взаимодействия с соляной кислотой прочность образца возросла при изгибе. Можно сделать вывод, что данный композит стоек к воздействию соляной кислоты. При взаимодействии с уксусной кислотой наблюдается спад прочности материала по близкой к линейной зависимости. Это свидетельствует о том, что данный вид материала не стоек к воздействию уксусной кислотой. После воздействия с соляной кислотой образцы приняли зеленоватый окрас, так же как и сам раствор соляной кислоты поменял цвет с желтого на зеленый, после воздействия уксуса поверхность образцов побелела, стала матовой и рыхлой.

После взаимодействия с азотной кислотой прочность образцов вначале падает, а затем растет. Можно сделать вывод, что данный композит стоек к длительному воздействию азотной кислоты. При взаимодействии с серной кислотой наблюдается спад прочности материала по зависимости, близкой к линейной. Это свидетельствует о том, что данный вид материала не стоек к воздействию серной кислотой. После воздействия азотной кислотой образцы стали с желтоватым окрасом. Чем дольше время воздействия азотной кислоты, тем интенсивнее становился желтый цвет. После воздействия серной кислоты поверхность образцов почернела и стала скользкой. К 20 суткам все образцы распались на две части и потеряли несущую способность. Можно сделать вывод, что данный композит не стоек к серной кислоте.

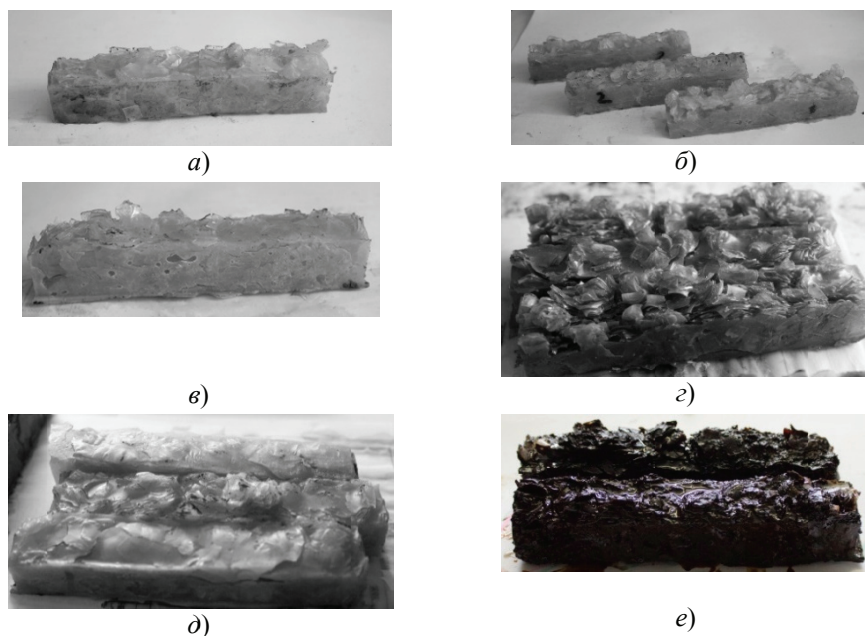


Рис. 3. Фотографии образцов:

a – исходный образец; *б, в* – после выдержки в растворах натрия двууглекислого и уксусной кислоты соответственно; *г, д, е* – после выдержки в соляной, азотной и серной кислотах соответственно

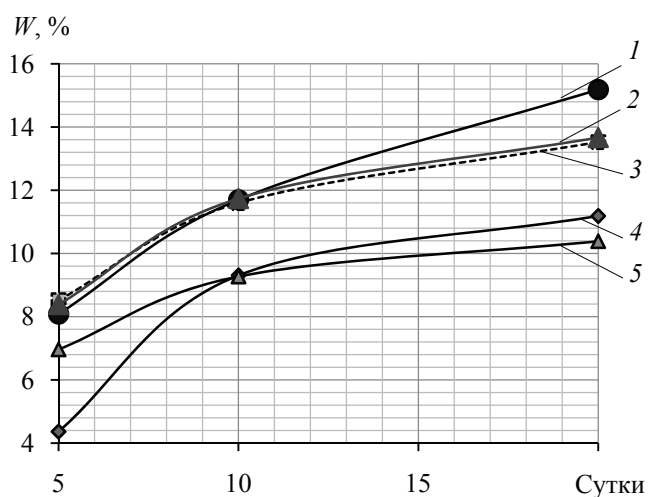


Рис. 4. Водопоглощение композита W в зависимости от времени воздействия агрессивной среды:

1 – соль; 2 – уксус; 3 – сода; 4, 5 – соляная и азотная кислоты соответственно

Из фотографий образцов, на которые воздействовали агрессивными средами (см. рис. 3), видно, что изменению подверглась лишь смола, а наполнитель остался без изменения. Следовательно, наполнитель из пластиковой тары повышает стойкость композита к исследованным агрессивным средам.

Водопоглощение композита. В ходе испытаний измерено поглощение жидкости в различных средах, результаты приведены на рис. 4. Как видно по графикам, водопоглощение композитов в различных условиях имеет один и тот же характер, с увеличением длительности нахождения во влажной среде водопоглощение растёт сначала быстро, а затем замедляется.

Выводы. Композит на основе полиэфирной смолы можно использовать в качестве малонагруженных конструкций при строительстве или отделке зданий и сооружений, например в качестве декоративных фасадных плит или малых архитектурных форм.

Список литературы

1. Мэттьюз, Ф. Композитные материалы. Механика и технология : учеб. для физ. и материаловед. специальностей / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс ; пер. с англ. С. Л. Баженова. – М. : Техносфера, 2004. – 408 с.
2. Воронков, А. Г. Исследование физико-механических свойств полимеров и полимерных композитов : лаб. работы / А. Г. Воронков, В. П. Ярцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 28 с.
3. Бормотов, А. Н. Исследование реологических свойств композиционных материалов методами системного анализа / А. Н. Бормотов, И. А. Прошин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 4. – С. 916 – 925.
4. Иванов, Д. В. Повышение физико-механических характеристик и долговечности пенополистирола / Д. В. Иванов, В. П. Ярцев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 529 – 534.

5. Ярцев, В. П. Влияние утилизируемых отходов полиэтилентерефталата на эксплуатационные свойства композитов на основе полиэфирной смолы / В. П. Ярцев, А. А. Маркин // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2013. – № 2(46). – С. 22 – 26.

6. Ерофеев А. В. Влияние атмосферных воздействий на прочность декоративных плит / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2014. – № 1(50). – С. 114 – 118.

7. Ерофеев, А. В. Влияние агрессивных сред на прочность декоративных плит / А. В. Ерофеев, В. П. Ярцев // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2012. – № 2(40). – С. 34 – 38.

Composites Based on Polyester Resins with Polymer Additives

V. P. Yartsev, M. A. Podolskaya

*Department "Structure of Buildings and Constructions", TSTU;
kzis@nnn.tstu.ru*

Key words and phrases: aggressive environment; composite; durability at cross bend; freeze-thaw cycles; polyester resin; polymeric additives.

Abstract: The paper is devoted to the development of polymeric composite materials using industrial production waste. The purpose is association of two perspective directions of the development of construction materials: the use of industrial waste and development of new composite materials with the improved operational characteristics. From a practical point of view, the research is focused on the utilization of an impressive amount of waste and reduction in the cost of composites with the improvement of its operational characteristics.

The durability was determined at a cross bend for a composite on the basis of polyester resin with polymeric additives for various concentration and granular metric structure of a filler. The influence of freeze-thaw cycles, as well as impact of some aggressive environment on mechanical properties of the received composite was studied.

References

1. Matthews F.L., Rawlings R.D. *Composite materials: engineering and science*, Oxford, Alden Press, 1999, 470 p.
2. Voronkov A.G., Yartsev V.P. *Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv polimerov i polimernyh kompozitov* (Research of physicomechanical properties of polymers and polymeric composites), Laboratory works, Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2004, 28 p.
3. Bormotov A.N., Proshin I.A. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 4, pp. 916-925.
4. Ivanov D.V., Yartsev V.P. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2011, vol. 17, no. 2, pp. 529-534.
5. Yartsev V.P., Markin A.A. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2013, no. 2(46), pp. 22-26.
6. Erofeev A.V., Yartsev V.P. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2014, no. 1(50), p. 114-118.
7. Erofeev A.V., Yartsev V.P. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2012, no. 2(40), pp. 34-38.

Verbundwerkstoffe aufgrund des Polyfunkharzes mit den polymeren Zusätzen

Zusammenfassung: Die Arbeit ist der Entwicklung der polymeren Kompositionsmaterialien unter der Ausnutzung der Abfälle der industriellen Produktion gewidmet. Das Ziel ist die Vereinigung der zwei perspektivischen Richtungen der Entwicklung der Industrie der Baustoffe: die Nutzung der Industrieabfälle und die Entwicklung der neuen Kompositionsmaterialien mit den verbesserten Betriebscharakteristiken. Vom praktischen Standpunkt sind die Forschungen auf die Verwertung des eindrucksvollen Umfanges der Abfälle und die Senkung des Wertes des Verbundwerkstoffs mit der Verbesserung seiner Betriebscharakteristiken gerichtet.

Es ist die Haltbarkeit bei der querlaufenden Biegung für den Verbundwerkstoff aufgrund des Polyfunkharzes mit den polymeren Zusätzen für verschiedene Konzentration und des granulometrischen Bestandes der Füllmasse bestimmt. Es ist der Einfluss der Zyklen des Einfrierens-Tauens, sowie der Einwirkung einiger aggressiver Umgebungen auf die mechanischen Eigenschaften des bekommenen Verbundwerkstoffs untersucht.

Composites à la base de la résine polyester avec les additions polymères

Résumé: L'article est consacré à l'élaboration des matériaux composites avec l'emploi des déchets de la production industrielle. Le but est la réunion de deux orientations perspectives, celle de l'utilisation des déchets et celle de l'élaboration de nouveaux matériaux composites avec les caractéristiques d'exploitation améliorées.

Est définie la solidité pour le composite à la base de la résine polyester avec les additions polymères. Est étudiée l'influence des cycles de refroidissement-dégel ainsi que de l'action des milieux agressifs sur les propriétés mécaniques du composite.

Авторы: *Ярцев Виктор Петрович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструкции зданий и сооружений»; *Подольская Мария Андреевна* – магистрант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Леденёв Виктор Васильевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
