

УДК 678

ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ СТЕКОЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г.

ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru

В данной статье представлены результаты исследования влияния количества наполнителя на основные физико-механические и эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала для наружной и внутренней облицовки стен зданий и сооружений. В качестве наполнителя сырьевая смесь содержит бой листового оконного стекла, а в качестве связующего – отходы непластифицированного поливинилхлорида, растворенные в метилхлориде. Изделия на основе данной смеси могут быть получены холодным прессованием с последующей термообработкой при температуре кипения метилхлорида. По итогам проведения исследований установлено, что повышение содержания наполнителя приводит к повышению плотности, теплопроводности, водопоглощения, общей и открытой пористости при одновременном снижении морозостойкости. Значения прочностей на сжатие и изгиб повышаются при увеличении содержания наполнителя до 40 мас. %, а с дальнейшим увеличением количества стеклобоя начинают снижаться из-за недостатка связующего. На основании полученных зависимостей содержание наполнителя было выбрано равным 40 мас. %, что обеспечивает не только максимальную для данного состава прочность, но и позволяет получить энергоэффективный по теплотехническим характеристикам материал. Водопоглощение и морозостойкость при указанном содержании наполнителя находятся на уровне, позволяющем использовать получаемый композиционный материал как для внутренней, так и для наружной облицовки стен зданий и сооружений.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, облицовочный материал, полимерные отходы, стеклобой, наполнитель, поливинилхлорид

INFLUENCE OF FILLER ON PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL MADE FROM GLASS AND PLASTIC WASTES

Vitkalova I.A., Torlova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G.

*Federal Educational Institution of Higher Education Vladimir State University of a name
of Alexander Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletovs, Vladimir, e-mail: evgeniy-pikalov@mail.ru*

This article presents the results of the influence of the amount of filler on the basic physico-mechanical and operational properties of the polymer composite material for external and internal lining walls of buildings and construction. As a filler, the raw material mix contains a broken of sheet window glass, and as a binder – unplasticized polyvinyl chloride waste, dissolved in methylene chloride. Products based on this mixture can be obtained by cold pressing, followed by heat treatment at the boiling point of methylene chloride. Based on the results of the research it was established that an increase in the filler content leads to an increase in density, thermal conductivity, water absorption, total and open porosity, while reducing frost resistance. The strength of compression and bending increase with the filler content up to 40 wt. %, and with a further increase in the amount of cullet begin to decline due to the shortage of a binder. On the basis of the dependences obtained, the filler content was chosen to be 40 wt. %, which provides not only the maximum strength for a given composition, but also allows obtaining an energy-efficient material with respect to heat engineering characteristics. Water absorption and frost resistance at the specified filler content are at a level that allows using the resulting composite material for both internal and external wall cladding of buildings and structures.

Keywords: polymer composite material, cladding material, polymer waste, glass waste, filler, polyvinyl chloride

В современном мире одной из наиболее активно развивающихся отраслей промышленности является строительная индустрия. Предприятия по производству строительных материалов и изделий относятся к одним из самых крупнотоннажных, а их продукция в последние годы остается одной из самых востребованных.

В связи с этим в настоящее время развиваются процессы производства строительных материалов и изделий, совершенствуются оборудование, технологии и составы сырьевых смесей для повышения производительности и качества при одновременном снижении себестоимости. Расширяет-

ся и ассортимент продукции, выпускаемой предприятиями отрасли строительного производства. В этой отрасли широко применяются как традиционные натуральные материалы, к которым относятся керамика, стекло, минеральные вяжущие вещества (в первую очередь цемент), дерево и металл, так и синтетические материалы, к которым относятся полимеры, резины, органические вяжущие (битум, деготь и др.) и различного рода композиционные материалы [1–3].

Большинство строительных материалов и изделий отличаются высокой плотностью, а следовательно, создают нагрузку на фундамент и несущие конструкции, характе-

ризуются невысокими значениями прочности на изгиб и растяжение, а также низкой стойкостью к агрессивным средам [3–5]. Эти недостатки могут быть сведены к минимуму за счет использования полимерных композиционных материалов, в которых полимерные связующие придают легкость и химическую стойкость, а наполнители повышают прочностные характеристики [6, 7]. Стоит отметить, что и полимерным композиционным материалам свойственны недостатки, которые заключаются в явлении старения и горючести полимерных связующих, что снижает эффективность их применения в качестве строительных материалов и изделий. Однако, эти недостатки также могут быть уменьшены за счет применения негорючих наполнителей и специальных добавок в полимерные связующие (антипиренов, стабилизаторов и др.). Еще одним недостатком полимерных композиционных материалов является их сравнительно высокая стоимость, которая может быть снижена за счет использования дешевых наполнителей, в том числе на основе отходов, и применения в качестве связующих вторичного полимерного сырья [8, 9].

Авторами данной работы ранее проводились эксперименты по разработке способа получения облицовочного композиционного материала, в котором связующим являлся непластифицированный поливинилхлорид (НПВХ), получаемый путем растворения отходов потребления изделий из данного полимера в метиленхлориде, а наполнителем являлся стеклобой, также получаемый из отходов потребления. В результате было установлено, что наибольшее значение прочности на сжатие и наименьшее значение водопоглощения разрабатываемого материала могут быть получены при соотношении НПВХ : метиленхлорид в растворе связующего равном 1 : 2, при введении 40 мас. % наполнителя и при давлении прессования, равном 8 МПа [10, 11].

Целями данной работы являлись изучение зависимостей основных физико-механических и эксплуатационных свойств разрабатываемого композиционного материала от количества наполнителя в составе сырьевой смеси и определение количества наполнителя, обеспечивающего высокое качество получаемых изделий и соответствие свойств материала требованиям, предъявляемым к облицовочным материалам.

Материалы и методы исследования

В состав сырьевой смеси для получения разрабатываемого полимерного композиционного материала входили полимерное

термопластичное связующее, дисперсный наполнитель и растворитель.

Для получения термопластичного связующего применялись отходы НПВХ, представляющие собой отходы производства строительных профилей (стыковочных профилей и плинтусов) и отделочных стеновых панелей. Выбор данных отходов и полимера обоснован крупнотоннажностью производства и востребованностью указанных изделий, большими объемами накопления отходов НПВХ. Также стоит учитывать, что НПВХ отличается прочностью, низким водопоглощением и относится к трудногорючим веществам, что важно для облицовочных материалов, и относится к нетермостабильным полимерам [9, 12, 13], а значит, его растворение и холодная переработка позволят исключить вероятность деградации при получении изделий.

В качестве наполнителя применялись отходы потребления листового оконного стекла (далее – стеклобой) следующего состава (в мас. %): $\text{SiO}_2 = 73,5$; $\text{CaO} = 7,4$; $\text{MgO} = 1,9$; $\text{Na}_2\text{O} = 11,1$; $\text{K}_2\text{O} = 5,2$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,9$ [11]. Выбор стеклобоя, как и в случае выбора связующего, объясняется наличием большого количества данных отходов, образующихся в результате хозяйственно-бытового потребления стекольных изделий, производство которых характеризуется большими объемами [14, 15]. Стеклобой как материал для получения композиционных материалов отличается прочностью, водостойкостью и негорючестью, а следовательно, может быть использован для получения облицовочных материалов.

Для перевода термопластичного связующего в жидкое состояние применялся метилен хлористый технический (МХ) первого сорта по ГОСТ 9968-86 с содержанием основного вещества 98,8 %. Этот растворитель отличается хорошей растворяющей способностью, связанной с малым молярным объемом, который позволяет молекулам растворителя легко проникать между молекулами полимера и ускоряет процесс растворения. Высокая летучесть и низкая температура кипения метиленхлорида позволяют легко удалить растворитель при термообработке. К преимуществам метиленхлорида также относятся трудногорючесть, невысокая токсичность (4 класс опасности) и низкая по сравнению с большинством растворителей стоимость.

При проведении исследований образцы разрабатываемой керамики получали по технологии холодного прессования [10, 11]. НПВХ и стеклобой предварительно измельчались с отбором фракций с размером частиц менее 0,63 мм и высушивались до

постоянной массы. Затем НПВХ смешивали с МХ в соотношении 1 : 2 с получением раствора связующего, который в свою очередь перемешивали с заданным количеством наполнителя до получения однородной сырьевой смеси. Из полученной сырьевой смеси при удельном давлении 8 МПа формовали образцы композиционного материала, которые подвергали термической обработке при температуре 45–50 °С в течение 45 мин для удаления растворителя. Образцы по каждому составу сырьевой смеси изготавливали сериями по пять образцов.

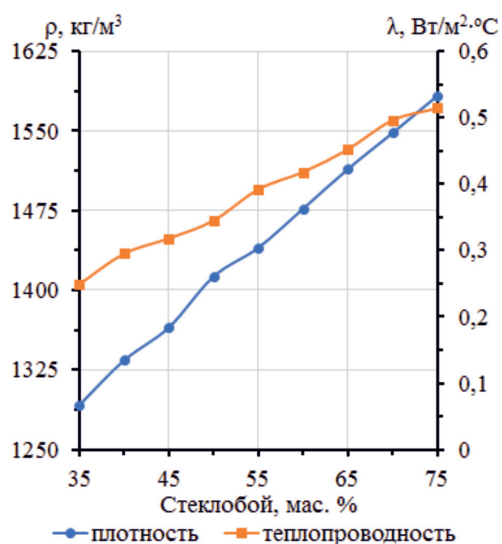
Для получения зависимостей свойств разрабатываемого композиционного материала от содержания наполнителя и оценки результатов исследования у полученных образцов по стандартным для материалов строительного назначения методикам определяли плотность (ρ , кг/м³), водопоглощение (В, %), пористость (П, %), морозостойкость (М, циклы), прочность на сжатие ($\sigma_{сж}$, МПа) и изгиб ($\sigma_{изг}$, МПа), теплопроводность (λ , Вт/м·°С).

Результаты исследования и их обсуждение

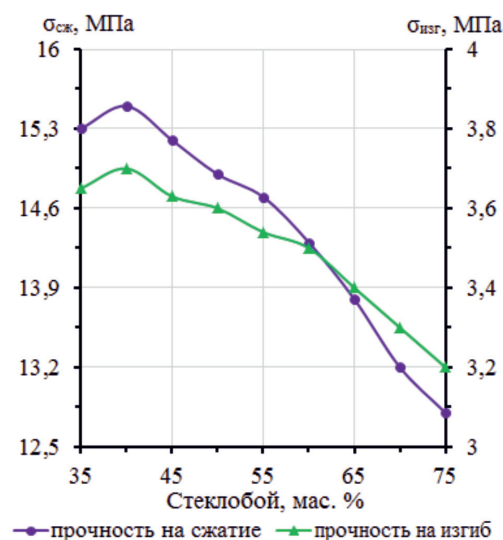
Как следует из данных, полученных в результате экспериментальных исследований, плотность и теплопроводность разрабатываемого материала (рис. 1, а) практически линейно повышаются с увеличением содержания стеклобоя, что связано с тем, что плотность и теплопроводность стеклобоя (2470–2500 кг/м³ и 0,6–0,7 Вт/(м·°С) соответственно) существенно выше, чем

у НПВХ (1350–1430 кг/м³ и 0,15–0,175 Вт/(м·°С) соответственно). Следует отметить, что при содержании наполнителя не более 65 мас. %, теплопроводность материала оказывается ниже 0,46 Вт/(м·°С) и получаемый материал в соответствии с ГОСТ 530-2012 может быть отнесен к условно-эффективным, а при содержании наполнителя менее 50 мас. % теплопроводность материала снижается до значений, соответствующих эффективным по теплотехническим характеристикам изделий ($0,24 < \lambda < 0,36$).

Из зависимостей прочностей на сжатие и изгиб от количества наполнителя в составе сырьевой смеси (рис. 1, б) следует, что данные свойства достигают максимальных значений при содержании 40 мас. % стеклобоя в составе сырьевой массы, а при дальнейшем повышении количества наполнителя начинают снижаться. Подобный характер зависимости объясняется тем, что при увеличении содержания стеклобоя до 40 мас. % наполнитель повышает прочность получаемого материала, образуя каркас из частиц стеклобоя, связанных между собой через слои НПВХ [11]. При более высоком содержании СБ из-за уменьшения количества связующего толщина слоев оказывается недостаточной для получения прочного каркаса. Одновременно с уменьшением толщины слоев начинают появляться частицы стеклобоя, не связанные между собой через слои НПВХ, что проявляется в резком снижении прочностных характеристик и в расслоении материала по высоте изделия.



а)



б)

Рис. 1. Зависимость плотности и теплопроводности (а), прочности на сжатие и изгиб (б) материала от количества наполнителя

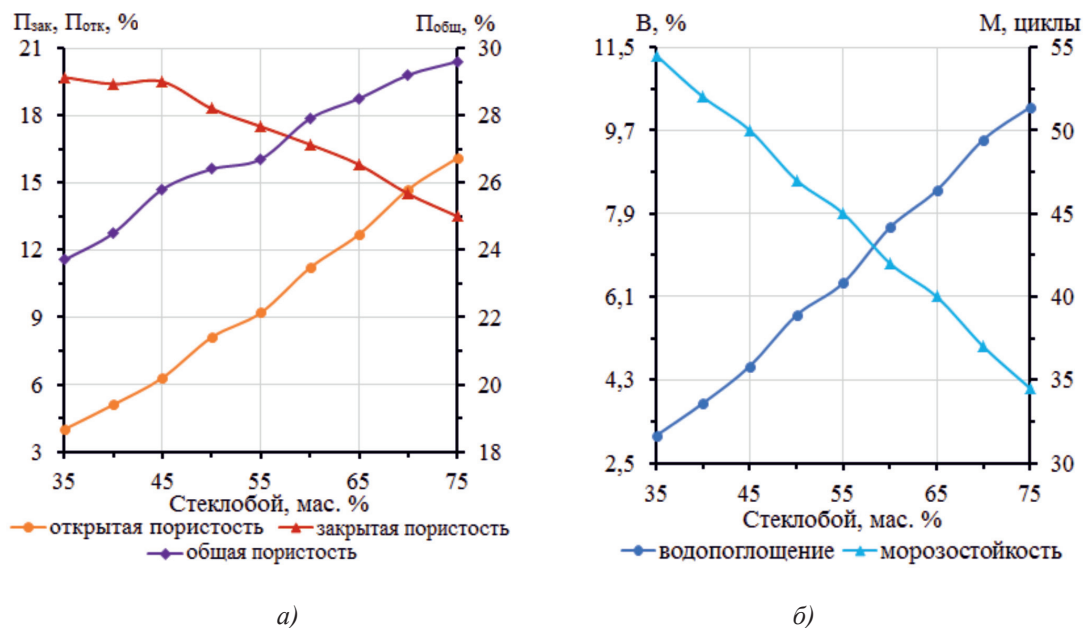


Рис. 2. Зависимость пористости (а), водопоглощения и морозостойкости (б) материала от количества наполнителя

В результате проведенных исследований также установлено, что с увеличением содержания стеклобой в составе сырьевой смеси общая и закрытая пористости разрабатываемого полимерного композиционного материала повышаются, а закрытая пористость понижается (рис. 2, а). Поры в разрабатываемом материале образуются в первую очередь из-за наличия пузырьков воздуха на границе раздела фаз в системе наполнитель – связующее при перемешивании, которые сохраняются на последующих стадиях получения изделий и в самих изделиях из-за неидеальной адгезии связующего к частицам наполнителя и высокой вязкости связующего, препятствующего удалению пузырьков воздуха. Поры в материале также образуются в результате процессов кипения и удаления растворителя. При малом количестве наполнителя границы раздела фаз в системе наполнитель – связующее незначительны, а количества связующего достаточно для заполнения большинства пор и пустот в объеме материала и для перевода практически всех оставшихся пор в закрытые. С повышением количества наполнителя количество образующихся пор растет, а связующего для их заполнения и перевода в закрытую пористость оказывается недостаточно [11].

Из зависимостей водопоглощения и морозостойкости разрабатываемого материала от содержания наполнителя в составе сырьевой смеси (рис. 2, б) видно, что водопоглощение практически линейно повышает-

ся с увеличением количества наполнителя, что связано с повышением общей и открытой пористостей материала (рис. 2, а). В свою очередь повышение водопоглощения приводит к линейному снижению морозостойкости.

Следует отметить, что для отделочных и облицовочных материалов водопоглощение должно быть не менее 2 % и не более 5 % при отделке цоколей, или не более 9 % при отделке фасадов, или не более 16 % в случае внутренней облицовки стен. Морозостойкость материалов для наружной облицовки должна составлять не менее 40 циклов для облицовки фасадов и не менее 50 циклов для облицовки цоколей. Таким образом, разрабатываемый материал подходит для внутренней облицовки при всех рассматриваемых содержаниях наполнителя, для облицовки фасадов при содержании наполнителя не более 65 мас.% и для облицовки цоколей при содержании не более 45 мас. %.

По итогам проведенных исследований было выбрано количество наполнителя в составе сырьевой смеси, равное 40 мас. %, что позволяет после удаления метилхлорида получить облицовочный композиционный материал, состоящий на 33,3 мас. % из НПВХ и на 66,7 мас. % из СБ, а также позволяет достичь наилучшего сочетания исследуемых свойств разрабатываемого материала для применения изделий из него в качестве облицовочных.

Заключение

В результате выполнения данной работы было установлено, что при введении в состав сырьевой смеси 40 мас. % стеклобоя в качестве наполнителя может быть получен полимерный композиционный материал, основные физико-механические и эксплуатационные свойства которого позволяют использовать его в производстве облицовочных изделий. Наряду со стеклобоям состав сырьевой смеси включает 20 мас. % отходов НПВХ и 40 мас. % метилхлорида.

Указанный состав сырьевой смеси обеспечивает степень наполнения композиционного материала равной 66,7 мас. %. При этом плотность материала относительно невысокая, что снижает нагрузку, оказываемую облицовочными изделиями на несущие конструкции. Теплопроводность разработанного материала ($0,295 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) позволяет отнести его к группе энергоэффективных, что способствует соблюдению современных теплотехнических норм и рациональному расходу строительных материалов. Прочностные характеристики материала сравнительно невысоки ($\sigma_{\text{сж}} = 15,5 \text{ МПа}$ и $\sigma_{\text{изг}} = 3,7 \text{ МПа}$), однако сравнимы с керамическим кирпичом марки М150 ($\sigma_{\text{сж}} = 15 \text{ МПа}$ и $\sigma_{\text{изг}} = 2,8 \text{ МПа}$), поэтому разработанный материал может применяться при отсутствии высоких механических нагрузок при эксплуатации. Водопоглощение (3,8 %) и морозостойкость (52 цикла) материала соответствуют требованиям, предъявляемым к материалам для наружной и внутренней облицовки стен зданий и сооружений. Таким образом, основные физико-механические характеристики материала позволяют использовать изделия из него для облицовки внутренних стен, фасадов и цоколей зданий и сооружений.

Список литературы

1. Белов В.В., Петропавловская В.Б., Храмов Н.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров; под общ. ред. В.В. Белова. Тверь: ТвГТУ, 2014. 236 с.
2. Данильян Е.А., Овчинникова С.В. Новые строительные материалы и изделия: учебное пособие. Ставрополь: Сервисшкола, 2013. 184 с.
3. Перфилов В.А. Строительное материаловедение. Технология конструкционных материалов: учебное пособие. Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. 104 с.
4. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии. В 2 т. Т. 1 / Под ред. Х. Нестле; перевод с нем. А.К. Соловьева. М.: Техносфера, 2007. 520 с.
5. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Труды ВИАМ. 2013. № 8. С. 3.
6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–3. С. 459–465.
7. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учебное пособие. Саратов: СГТУ, 2010. 68 с.
8. Шахова В.Н., Воробьева А.А., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные технологии переработки полимерных отходов и проблемы их использования // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 11–2. С. 320–325.
9. Ершова О.В., Чупрова Л.В. Получение композиционного материала на основе вторичного поливинилхлорида и техногенных минеральных отходов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–1. С. 9–12.
10. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Способ переработки полимерных отходов и стеклобоя с получением облицовочных и отделочных материалов // Заявка на изобретение № 2017140373 от 20.11.2017.
11. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стекловых отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.
12. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 118 с.
13. Галимов Э.Р., Мухин А.М., Галимов Н.Я., Шибиков В.Г. Композиционные материалы на основе поливинилхлорида, дисперсных наполнителей и полимерных модификаторов: монография. Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. академии, 2012. 170 с.
14. Чупрова Л.В., Мишурина О.А. Экологические и экономические аспекты утилизации отходов стекла // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 11–2. С. 222–225.
15. Вайсман Я.И., Кетов А.А. Воздействие на окружающую среду и перспективы переработки стеклобоя // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2011. № 4. С. 78–95.