

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ДРЕВЕСНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРИ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕ

Тихомирова В.В., Смирнова П.С.

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина»,
Москва, e-mail: poliinchiik888@gmail.com

В данной работе рассматриваются общая характеристика, тенденции и перспективы развития производства и расширения применения полимерных композиционных материалов с древесными наполнителями. Приводится общая классификация данной группы композиционных материалов по типу наполнителя с указанием разновидностей, сравнительной характеристики, областей применения, преимуществ и недостатков материалов с дисперсным наполнителем в виде древесных муки и стружки, древесных волокон и древесного шпона. Также в работе дается оценка ситуации, которая сложилась на сегодняшний день с образованием и накоплением древесных и полимерных отходов, проблем, связанных с их переработкой и утилизацией, а также возможности и перспектив совместного использования данных отходов в производстве рассматриваемых композиционных материалов. Также рассматриваются пути повышения качества композиционных материалов и изделий, получаемых в результате совместной утилизации древесных и полимерных отходов. Представленная в данной работе информация позволяет сделать вывод об актуальности производства и применения древесно-полимерных композиционных материалов, в том числе с использованием древесных и полимерных отходов в качестве сырья для их получения, что, с одной стороны, позволяет получать материалы с высокими эксплуатационными свойствами, а с другой стороны, способствует решению проблемы защиты окружающей среды и утилизации отходов.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, полимерные отходы, древесные отходы, утилизация, древесный наполнитель, термопластичное связующее

POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH WOOD FILLERS AND PROSPECTS FOR USING WASTE IN THEIR PRODUCTION

Tikhomirova V.V., Smirnova P.S.

I.M. Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Moscow, e-mail: poliinchiik888@gmail.com

This paper discusses the general characteristics, trends and prospects for the development of production and the expansion of the use of polymer composite materials with wood fillers. The general classification of this group of composite materials by type of filler is given, indicating the varieties, comparative characteristics, areas of application, advantages and disadvantages of materials with dispersed filler in the form of wood flour and shavings, wood fibers and wood veneer. The paper also assesses the current situation with the formation and accumulation of wood and polymer waste, the problems associated with their processing and disposal, as well as the possibilities and prospects for the joint use of these wastes in the production of the considered composite materials. The ways of improving the quality of composite materials and products obtained as a result of joint utilization of wood and polymer waste are also considered. The information presented in this paper allows us to conclude about the relevance of the production and use of wood-polymer composite materials, including the use of wood and polymer waste as raw materials for their production, which on the one hand allows us to obtain materials with high performance properties, and on the other hand contributes to solving the problem of environmental protection and waste disposal.

Keywords: polymer composite material, polymer waste, wood waste, recycling, wood filler, thermoplastic binder

В настоящее время древесные композиционные материалы являются одними из самых распространенных и востребованных. Наиболее перспективными в данной группе материалов являются композиты на основе полимерных связующих, которые характеризуются большим ассортиментом продукции и наиболее распространены как отделочные и теплоизоляционные изделия, а также широко применяются в производстве корпусной мебели, дверных и оконных блоков, подоконников, террасных досок и сайдинга [1–3]. Наиболее прочные разновидности данных материалов используются в машиностроении и авиации.

В последние годы активно развиваются технологии производства полимерных

композитов с древесными наполнителями. Основными тенденциями этого развития являются:

– расширение ассортимента продукции по размерам и форме, цветовой гамме и фактуре;

– модификация основных эксплуатационных свойств, в первую очередь повышение прочности и водостойкости, снижение горючести, а также снижение теплопроводности для теплоизоляционных материалов;

– снижение энергоемкости и себестоимости производства при сохранении качества материалов и изделий за счет оптимизации технологических параметров и использования альтернативных источников и видов сырья.

Наиболее актуальными альтернативными источниками и видами сырья в данном случае являются отходы производства и потребления, так как в данном случае существует возможность использования древесных отходов в качестве наполнителей и полимерных отходов в качестве связующего, т.е. возможность создания композиционного материала из вторичного сырья. Такая возможность, с одной стороны, снижает техногенную нагрузку на окружающую среду, а с другой – существенно снижает стоимость композиционных материалов, которая в большинстве случаев является достаточно высокой и ограничивает масштабы использования композиционных материалов в строительной индустрии и при проведении строительных работ.

Целью данной работы является обзор основных видов полимерных композиционных материалов с древесными наполнителями, рассмотрение их характеристик и оценка возможности использования вторичных ресурсов при их производстве.

*Древесно-полимерные
композиционные материалы
и их характеристика*

Полимерные композиционные материалы с древесными наполнителями отличаются большим количеством разновидностей, которые могут существенно различаться по свойствам и областям применения. Как и в случае с другими композиционными материалами, классификационным признаком, учитывающим особенности этих разновидностей, является тип наполнителя, от которого, наряду с количественным соотношением между наполнителем и связующим, в первую очередь зависят свойства композиционного материала.

В соответствии с типом древесного наполнителя можно выделить три группы материалов: древесно-наполненные полимеры (ДНП) и древесно-полимерные композиты (ДПК), композиты с наполнителями в виде древесных стружек и волокон, а также древесно-слоистые пластики (ДСП).

К ДНП и ДПК относятся материалы, в которых наполнителем являются древесная мука или мелкая щепа в количестве до 50% для ДНП и от 50 до 85% для ДПК [1]. В качестве связующих для этой группы композитов применяют термопластичные полимеры, в основном полипропилен, полиэтилен и поливинилхлорид, несколько реже полистирол и акрилонитрилбутадиенстирол [3–5]. При этом с увеличением доли наполнителя получаемый композиционный материал по своим свойствам все

больше соответствует древесине, т.е. ДНП в большей степени соответствуют полимерным материалам, а ДПК – древесине. Материалы этой группы характеризуются легкостью механической обработки, прочностью удержания крепежных элементов (шурупов, гвоздей и т.д.), малой плотностью, низким водопоглощением и атмосферостойкостью [6, 7].

Композиты с наполнителем в виде древесной стружки выпускаются в форме древесно-стружечных плит (ДСтП). Существует несколько разновидностей ДСтП, среди которых наиболее распространены ориентированно-стружечные плиты (ОСП), в которых стружка наружных слоев ориентирована параллельно длине и ширине плиты, а стружка внутренних слоев ориентирована перпендикулярно наружным слоям или расположена произвольно [8, 9]. Также существуют ДСтП, в которых наружные слои делают из измельченного древесного волокна (волокнуисто-стружечная плита) или из древесной пыли.

Композиты с наполнителем в виде древесных волокон выпускаются в виде древесноволокнистых плит (ДВП), среди которых различают мягкие ДВП (МДВП) теплоизоляционного назначения, твердые и полутвердые ДВП для отделочных работ, изготовления опалубки и мебели. В свою очередь, твердые ДВП подразделяют на плиты средней плотности (600–850 кг/м³) или МДФ (Medium Density Fiberboard) и плиты высокой плотности (более 850 кг/м³) или ХДФ (High Density Fiberboard). Среди твердых плит также выделяют такие модификации, как сверхтвердые, биостойкие, водостойкие и трудносгораемые, которые получают путем специальной обработки.

Для дополнительного повышения прочности и водостойкости, защиты от внешних воздействий и придания более эстетического внешнего вида лицевые поверхности ДСтП и ДВП в ряде случаев шпонируют, ламинируют и лакируют (окрашивают). Твердые ДВП с защитным лицевым слоем называют оргалитом.

ДСтП и ДВП (кроме МДВП) по сравнению с ДНП и ДПК отличаются более высокими значениями прочности и ударной вязкости, но их сложнее обрабатывать из-за более высоких значений твердости и хрупкости, у них меньшая прочность удержания крепежных элементов, особенно у ДСтП.

ДСП (фанера) представляет собой композиционные материалы с наполнителем из нескольких слоев древесного шпона (листа древесины толщиной от 0,5 до 3 мм), скрепленных полимерным связую-

щим. ДСП выпускают в виде плит, досок и панелей, они являются более прочными, долговечными и водостойкими по сравнению с рассмотренными выше группами композитов.

В качестве связующих для ДСтП, ДВП и ДСП используют реактопласты, преимущественно фенолоформальдегидные, карбамидоформальдегидные, аминоальдегидные и фурановые смолы [3, 8, 10]. Есть разновидности данных материалов с биоразлагаемыми связующими. В случае МДВП связующим веществом являются натуральные смолы, содержащиеся в древесине.

К полимерным композиционным материалам на реактопластичных связующих, в том числе карбамидоформальдегидной, полиэфирной и других смол, с наполнителем в виде стружки или пробки, можно отнести теплоизоляционный и конструкционно-теплоизоляционный полимербетон строительного назначения, которые отличаются высокими значениями прочности, абразивной стойкости и морозостойкости [11].

В отдельную группу полимерных композитов с древесным наполнителем можно выделить древесно-корьевые плиты (ДКП) и короласты, в которых в качестве наполнителя используют частицы коры, а в качестве связующих – указанные выше термореактивные смолы [1, 12]. Материалы данной группы композитов уступают уже рассмотренным композитам по прочности, но обладают хорошими теплоизоляционными характеристиками. Они применяются в качестве отделочного материала и утеплителя.

Перспективы применения отходов в производстве древесно-полимерных материалов

Как следует из представленной информации, все рассмотренные разновидности композитов за исключением ДСП могут быть получены с использованием древесных отходов, а ДНП и ДПК позволяют использовать древесные отходы как наполнитель и полимерные отходы как связующее. Существует и возможность частичной или полной замены реактопластичных связующих на термопластичные. Например, известны конструкционный древесно-полимерный материал, где связующим является фенолформальдегидная смола с добавлением полиэтилентерефталата [13], и теплоизоляционный композиционный материал с использованием древесных опилок и отходов пенополистирола, который соответствует МДВП по теплопроводности и полутвердым ДВП по прочности, отличаясь от них

меньшим водопоглощением и повышенной водостойкостью [14].

Актуальность использования древесных и полимерных отходов в производстве композиционных материалов связана с большими темпами накопления и объемами образования данных отходов, а также с проблемами их утилизации [14–16].

Проблема образования древесных отходов, с одной стороны, связана с большими запасами лесных ресурсов России и крупнотоннажностью лесопромышленного комплекса, а с другой стороны, с тем, что отходы составляют до 37% от объемов лесозаготовки и до 52% от объемов лесопиления и деревообработки [16, 17]. Кроме того, древесные отходы образуются при очистке строительных площадок от деревьев и кустарников, при санитарной рубке в процессе ухода за зелеными насаждениями, при ремонте зданий и помещений с использованием пиломатериалов, а также в результате эксплуатации изделий из древесины.

Проблема образования полимерных отходов также связана с большими объемами производства и потребления изделий из пластмасс, которые характеризуются длительными сроками разложения и токсичностью продуктов горения, что затрудняет их переработку [13, 18, 19]. Трудности утилизации данных отходов заключаются в преобладании объемов их образования над объемами их переработки, а также в низкой востребованности низкосортных древесных (мелкокусковые мягкие сорта хвойных и лиственных пород) и полимерных (отходы с неполимерными включениями и частичной деструкцией) отходов [19, 20].

Таким образом, расширение возможностей по утилизации данных отходов является перспективной и актуальной задачей. При этом особое внимание следует уделять возможностям использования термопластичных связующих. С одной стороны, это позволит использовать вторичное полимерное сырье, а с другой – является альтернативой термореактивным смолам, которые отличаются токсичностью продуктов миграции и горения, особенно в случае фенолоформальдегидных смол.

Также стоит учитывать более высокую производительность процессов переработки материалов с термопластичными связующими в изделия, что связано с возможностью использования таких непрерывных процессов, как экструзия, широко применяемая для переработки ДПК и ДНП, и тем, что охлаждение термопласта происходит быстрее, чем отверждение реактопласта.

При этом стоит учитывать, что использование реактопластов в качестве связующих позволяет получить более прочные и водостойкие композиционные материалы, поэтому для эффективного использования термопластичных связующих, как и для синтетических смол, необходимо применение дополнительных добавок, а также использование полиматричных связующих, сочетающих несколько полимерных материалов, и гибридных наполнителей, в которых наряду с древесными используются другие материалы [21–23]: стеклянные, углеродные или полимерные волокна, кварцевый песок и т.д. В случае дополнительных добавок, которые могут применяться для модификации как древесного наполнителя, так и полимерного связующего, используются стабилизаторы, биоциды, антипирены, пенообразователи, гидрофобизаторы и добавки, повышающие адгезию между древесным наполнителем и связующим [5, 24, 25]. Эти добавки позволяют улучшить перерабатываемость композиций, повысить прочность и твердость изделий.

Заключение

На основании представленной информации можно сделать вывод о том, что полимерные композиционные материалы с древесными наполнителями являются альтернативной заменой натуральной древесине, выгодно отличаясь от нее стойкостью к гниению, долговечностью и водостойкостью. При этом большое разнообразие наполнителей, связующих, добавок и соотношений между ними, а также технологий производства рассматриваемых композитов позволяет получать изделия высокого качества и варьировать значения основных эксплуатационных свойств в широких пределах с получением изделий различного назначения. При этом наиболее перспективными и разноплановыми материалами являются ДНП и ДПК, характеризующиеся легкостью обработки, широким ассортиментом и большими возможностями по повышению прочности и водопоглощения за счет модификаций.

Большое значение имеет возможность производства полимерных композитов с древесными наполнителями с применением отходов – это позволяет расширить сырьевую базу для производства строительных материалов низкой стоимости и позволяет уменьшить степень загрязнения окружающей среды. В данном случае ДНП и ДПК также являются наиболее актуальными материалами, так как могут быть получены только на основе вторичных ресурсов. Интерес для комплексной утилизации

отходов представляет и возможность замены термореактивных связующих на термопластичные при использовании в качестве наполнителей щепы, стружки, коры и других древесных отходов.

Преимущества и перспективы развития полимерных композитов с древесными наполнителями способствуют дальнейшему развитию технологий их получения, расширению объемов производства и применения.

Список литературы

1. Ушков В.А., Семочкин А.Ю., Невзоров Д.И. Древесно-полимерные композиты – эффективные отделочные строительные материалы // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 8. С. 82–85.
2. Сафин Р.Г., Степанов В.В., Исхаков Т.Д., Гайнуллина А.А., Степанова Т.О. Новые исследования и разработки в области получения древесно-композиционных материалов на основе древесных отходов // *Вестник Технологического университета*. 2015. № 6. С. 139–142.
3. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные эффективные теплоизоляционные материалы на основе древесного сырья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021. № 3. С. 66–77.
4. Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2013. № 2. С. 20–23.
5. Гиревая Х.Я., Шубина Н.И. Утилизация полимерных отходов путем получения древесно-полимерного композиционного материала и исследование его свойств // *Теория и технология металлургического производства*. 2012. № 12. С. 156–161.
6. Ершова О.В., Мельниченко М.А., Муллина Э.Р. Влияние компонентного состава наполнителя на свойства древесно-полимерного композита // *Современные наукоемкие технологии*. 2015. № 10. С. 29–31.
7. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Характеристика современных материалов для облицовки фасадов и цоколей зданий и сооружений // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 4. С. 55–61.
8. Шумкова И.Н., Линькова Т.С., Земский Д.Н., Хабирбрахманова О.В. Получение формальдегида на новой каталитической системе // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. Т. 80. № 2 (76). С. 275–282.
9. Hermawan A., Ohuchi T., Tashima R., Murase Y. Manufacture of strand board made from construction scrap wood. *Resources, Conservation and Recycling*. 2007. Vol. 50 (4). P. 415–426.
10. Liu Y., Li X., Wang W., Sun Y., Wang H. Decorated wood fiber/high density polyethylene composites with thermoplastic film as adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2019. Vol. 95. Article 102391.
11. Сангалов Ю.А., Карчевский С.Г., Ионов В.И. Дисперсная древесина как перспективное химическое сырье // *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. 2014. № 4. С. 5–15.
12. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные материалы // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 7. С. 76–87.
13. Крылов А.А., Вахнина Т.Н. Разработка древесно-полимерного композита строительного назначения с добавкой вторичного полиэтилентерефталата // *Строительные материалы*. 2016. № 7. С. 67–70.
14. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древес-

ных и полимерных отходов // Экология и промышленность России. 2020. № 2. С. 28–33.

15. Базунова М.В., Прочухан Ю.А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского университета. 2008. Т. 13. № 4. С. 875–885.

16. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования // Инженерный вестник Дона. 2015. № 2–2. С. 81.

17. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 10. С. 148–155.

18. Колосова А.С., Пикалов Е.С. Современные газонаполненные полимерные материалы и изделия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2020. № 10. С. 54–67.

19. Перовская К.А., Петрина Д.Е., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Применение полимерных отходов для повышения энергоэффективности стеновой керамики // Экология промышленного производства. 2019. № 1. С. 7–11.

20. Пикалов Е.С. Полимерстеклянный строительный материал на основе отходов // Экология промышленного производства. 2022. № 1. С. 7–12.

21. Стородубцева Т.Н. Результаты влияния свойств древесного наполнителя на полимер-песчаный композит // Воронежский научно-технический вестник. 2017. № 2. С. 47–52.

22. Пономарев А.Н., Рассохин А.С. Гибридные древесно-полимерные композиты в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 8. С. 45–57.

23. McHenry E., Stachurski Z.H. Composite materials based on wood and nylon fibre. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2003. Vol. 34 (2). P. 171–181.

24. Юрченко В.В. Анализ модифицирующих добавок, применяемых в композиционных материалах с наполнителем из отходов древесины и термопластичных полимеров // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2018. № 48. С. 39–45.

25. Jiang P., Zhu Y., Wu Y., Lin Q., Yu Y., Yu W., Huang Y. Synthesis of flame-retardant, bactericidal, and color-adjusting wood fibers with metal phenolic networks. *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 170. Article 113796.