Оценка свойств древесно-полимерных композитов методом микротомографии

И. Н. Мусин, к. т. н.¹, И. З. Файзуллин, к. т. н.², С. И. Вольфсон, д. т. н.³,
Р. Б. Юферев, Dr. sc. nat.⁴

УДК 678.7

Приведены результаты оценки свойств древесно-полимерных композитов (ДПК). В качестве объектов исследования выбраны промышленно выпускаемые ДПК на основе различных полимеров. Для анализа структуры ДПК использовали компьютерную микротомографию – достаточно новый неразрушающий метод изучения объемного строения композитов с помощью рентгеновского излучения. Для оценки общей долговечности и поведения готовых изделий в реальных условиях эксплуатации проводили испытания в специальных аппаратах искусственной погоды (везерометрах).

Ключевые слова: древесно-полимерный композит, полипропилен, полиэтилен, поливинилхлорид, древесная мука, физико-механические свойства, микротомография

The results of evaluating the properties of wood-polymer composites (WPC) are presented. As objects of study were selected commercially available WPC based on different polymers. To analyze the structure of WPC using computer microtomography – one of enough new non-destructive methods for the study of the bulk structure of composites using X-rays. To assess the overall durability and behavior of finished products in actual use tests were carried out in special devices artificial weather (weatherometer).

Keywords: wood-polymer composite, polypropylene, polyethylene, polyvinyl chloride, wood flour, physical and mechanical properties, microtomography

Статья получена 06.04.2020

Принята к публикации 20.04.2020

Введение

Древесно-полимерные композиты находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Это обусловлено эстетическими свойствами и удобством использования изделий из ДПК. Они хорошо перерабатываются, устойчивы к ультрафиолету, водостойки, обладают хорошими теплоизоляционными свойствами [1]. ДПК состоит из полимерного связующего, органического наполнителя

и различных добавок [2]. Свойства ДПК в значительной степени зависят от типа и характеристик выбранного полимера, а также комплекса добавок и модификаторов [3–11]. Подходы в оптимизации свойств древесно-полимерных композиций состоят в подборе полимерного связующего с целью достижения приемлемых прочностных характеристик ДПК при максимальном наполнении.

Выбор полимера определяется индивидуальными преимуществами и недостатками, присущими изделиям на полимерной основе. ДПК на основе полипропилена (ПП) обладает высокой прочностью, однако хрупкость при пониженных температурах сужает область их использования. ДПК на основе полиэтилена (ПЭ) применяются в широком диапазоне температур, но обладают меньшей прочностью. ДПК на основе поливинилхлорида (ПВХ)

¹ ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет, imusin@kstu.ru.

² ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет.

³ ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет.

⁴ ООО «КР-Аналитика».

обладают максимальной в ряду жесткостью и прочностью, однако требуется введение специальных добавок для снижения токсичности. Что же касается экологии, ПП и ПЭ являются безопасными, а ПВХ считают неблагоприятным для окружающей среды.

Несмотря на невысокие механические свойства ПЭ по сравнению с ПП и ПВХ, он является самым распространенным полимером, используемым в производстве ДПК. Преимущества и свойства ДПК с различными полимерными связующими широко освещаются производителями. Однако в литературе мало информации о сравнении структуры и свойств ДПК разных производителей. В работе с помощью микротомографии проведена сравнительная оценка структуры ДПК некоторых наиболее массово промышленно выпускаемых ДПК на основе различных связующих.

Экспериментальная часть

Свойства композиций в значительной степени зависят от характеристик исходных полимеров. Представлялось важным оценить свойства исходных полимеров и полученных ДПК.

В качестве объектов исследования были выбраны промышленно выпускаемые ДПК на основе различных полимеров. Для изучения ДПК на основе ПЭ выбраны террасные доски марок Мультидек (Мультипласт, Россия) – ДПК-ПЭ1 и Terrapol (Россия) – ДПК-ПЭ2, а также образцы ДПК марки NewWood (Россия) на основе ПП (ДПК-ПП) и Holzdorf (Украина) на основе ПВХ (ДПК-ПВХ). Некоторые прочностные характеристики исследуемых ДПК представлены в табл. 1. Данные взяты из информации производителей, представленной в открытых источниках.

Рис. 1. Рентгеновский микротомограф SkyScan 1272 (Bruker)

Изучение структуры ДПК проводили на рентгеновском микротомографе марки SkyScan 1272 производства компании Bruker [10], который позволяет визуализировать трехмерную внутреннюю микроструктуру изучаемого объекта с разрешением до 350 нм. Прибор дополнительно оборудован приспособлениями для проведения испытаний: сканирование при охлаждении, нагревании, сжатии и растяжении образца. Рентгеновская трубка 100 кВ закрытого типа. Детектор – ПЗС-матрица, 4904×3280 пикселей, размер пикселя 7×7 мкм². Анализ результатов проводили с помощью программного пакета VGStudioMAX.

Оценка долговечности и стойкости к атмосферным воздействиям древесно-полимерных композитов была проведена по стандартной процедуре теплового старения полимеров, подвергаемых окислительной деструкции (ASTMD5510), а также стандартным методом для осуществления естественного погодного воздействия на полимеры (ASTMD1435) и природного старения (EN ISO 877) на аппарате искусственной погоды везерометр Q-SUN производства компании Q-LabCorporation (США).

Таблица 1. Прочностные характеристики ДПК

Показатели	ДПК-ПЭ1	ДПК-ПЭ2	ДПК-ПП	ДПК-ПВХ
Плотность, кг/м ³	1 200	1 200	1 275	1 150
Водопоглощение через 24 ч, %	3	3	3	0,6
Предел прочности при растяжении, МПа	23	~22	16,1	20
Предел прочности при изгибе, МПа	48,8	51	50	49
Макс. нагрузка на ед. площади, кг/м ²	500	500	600	550
Термостойкость, °С	От –45 до +80	От –50 до +70	От –60 до +70	От –60 до +80

Таблица 2. Технические характеристики ДПК

Название образца	Технические характеристики			
	предел прочности при изгибе, МПа	максимальная нагрузка на ед. площади, кг / м ²	водопоглощение через 24 ч, %	удельный вес (плотность), г / см ³
ДПК-ПП	780	600	3,0	1 275
ДПК-ПВХ	770	550	0,6	1 100
ДПК-ПЭ1	750	500	3,0	1 200
ДПК-ПЭ2	816	500	3,0	1 200

Обсуждение результатов

На поведение изделий в процессе эксплуатации влияет множество факторов. Безусловно, это выбор связующего, степень наполнения, размер частиц и природа наполнителей. Производители также используют специальные добавки для улучшения совместимости и технологичности. Поэтому при сравнении ДПК важно учитывать не только физико-механические свойства, но и поведение изделий в процессе эксплуатации. В табл. 2 представлены некоторые свойства изученных ДПК.

Разница удельного веса представленных изделий свидетельствует о разной степени наполнения ДПК. Значительное отличие в водопоглощении изделий через 24 ч подтверждает данный вывод. Свой вклад также вносит размер частиц древесного наполнителя.

Для анализа ДПК, помимо традиционных физико-механических и эксплуатационных характеристик, важно оценить размер и характер распределения наполнителя. Поэтому была проведена микротомография исследуемых образцов древесно-полимерных композитов на рентгеновском микротомографе SkyScan 1272 (рис. 2). В основе метода лежит восстановление изображения объекта исследования на основании полученных теневых проекций, которые регистрируются рентгеновской камерой при облучении образца с помощью микрофокусной рентгеновской трубки. Образец размещается на поворотной платформе, угол поворота регулируется до тысячной доли градуса.

Образец перемещается автоматически, скорость сканирования определяется заданием количества съемок на каждый угол поворота платформы. На основе тысяч проекций, собранных под разными углами при вращении объекта, программное обеспечение реконструирует набор виртуальных сечений и предоставляет трехмерную модель материала с разрешением до сотен нанометров.

Полученная 3D-модель образца материала может быть исследована в любой плоскости среза. Программное обеспечение позволяет идентифицировать фазы и включения разной плотности,

Рис. 2. Сканы структуры ДПК с различным типом связующего, полученные с помощью микротомографии

НАСТОЛЬНЫЙ МИКРОТОМОГРАФ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ SkyScan 1272

- Уникальный 16 Мп охлаждаемый детектор с питчем 7 мкм
- Разрешение деталей до 0,35 мкм с высочайшим фазовым контрастом
- Микрофокусный рентгеновский источник закрытого типа, не требующий обслуживания, (размер пятна <5 мкм) с регулировкой энергии в пределах 20–100 кВ, 6-ти позиционным автоматическим чейнджером фильтров, автоматической подборкой мощности излучения и фильтра для любого материала
- Реконструкция до 209 Мп (14450×14450) в каждом отдельном срезе
- Самая быстрая реконструкция на базе иерархического алгоритма InstaRecon
- Автоматически изменяемая геометрия системы
- Возможность проведения механических (на сжатие и растяжение) и температурных (нагревание и охлаждение) испытаний непосредственно в процессе сканирования
- Держатель на 16 образцов с функцией автоматической замены

КР-АНАЛИТИКА
КОМПЛЕКС РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ

Варшавское ш., дом 1, стр. 6,
БЦ «W-Палаз 2», офис B107

+7 (495) 118-41-60
general@kr-analytical.ru

www.kr-analytical.ru

в том числе различные дефекты, а также поровое пространство.

Как видно из рис. 2, с помощью микротомографии можно оценить распределение наполнителей, размер частиц, наличие пор, гомогенность изученных композиций. Максимальный размер частиц наполнителя наблюдался у композиций ДПК-ПЭ1 и ДПК-ПВХ. Минимальный размер частиц и лучшее распределение наполнителя демонстрирует образец ДПК-ПЭ2. Наиболее гомогенную структуру демонстрируют композиции ДПК-ПЭ и ДПК-ПВХ.

Для потребителя, помимо прочностных характеристик, важнейшее значение имеет поведение изделий в процессе эксплуатации. Коробление и выцветание – основные дефекты, проявляющиеся в процессе эксплуатации. Для оценки общей долговечности и поведения готовых изделий в реальных условиях эксплуатации проводили испытания в специальных аппаратах искусственной погоды (везерометрах). В лабораторных условиях моделировали интенсивное воздействие солнечного света, дождя, образование конденсата и температурные перепады, проводя оценку светостойкости покрытий, материалов и изделий. Условия испытаний на светостойкость и атмосферную устойчивость образцов соответствовали эксплуатации под дождем и солнцем в течение 2,5 лет. По результатам испытаний максимальную сохранность геометрических размеров продемонстрировал образец ДПК-ПЭ2, неплохо прошел испытания ДПК-ПВХ.

Выводы

Представленные на рынке промышленно выпускаемые ДПК отличаются типом связующего, размером частиц наполнителя, характером распределения и гомогенностью. Важно учитывать эти параметры наряду с прочностными характеристиками. Использование микротомографии позволяет оценить эффективность смешения в процессе производства ДПК, гомогенность полученных композиций. По результатам исследований лучшие физико-механические свойства демонстрируют образцы с хорошей гомогенностью и минимальным размером частиц. Климатические испытания показывают наиболее высокую долговечность тех же материалов.

Литература / References

1. Мусин И. Н., Файзуллин И. З., Вольфсон С. И. Влияние добавок на свойства древесно-полимерных композитов // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15. № 24. Вып. 24. С. 97–99.
Musin I. N., Fayzullin I. Z., Volfson S. I. The effect of additives on the properties of wood – polymer composites. Herald of Technological University. 2012. V. 15. № 24. P. 97–99.

2. Файзуллин И. З., Мусин И. Н., Вольфсон С. И. Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно-полимерных композитов // Вестник Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16. № 5. Вып. 5. С. 106–109.
Fayzullin I. Z., Musin I. N., Volfson S. I. The effect of particle size of the filler on the properties of wood-polymer composites. Herald of Technological University. 2013. V. 16. № 5. P. 106–109.
3. Файзуллин И. З., Вольфсон С. И., Мусин И. Н., Лыгина Т. З., Трофимова Ф. А. Модифицированные древесно-полимерные композиты // Пластические массы. 2014. № 1–2. С. 41–44.
Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Lygina T. Z., Trofimova F. A. Modified wood-polymer composites. Plastics. 2014. № 1–2. P. 41–44.
4. Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Fayzullin A. Z., Grachev A. N., Pushkin S. A. The physicomaterial and rheological characteristics of wood-polymer composites based on thermally and mechanically modified filler. International Polymer Science and Technology, 2017, v. 44, no. 2, pp. 39–43.
5. Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Fayzullin A. Z., Nikiforov A. A. Influence of the type of wood flour and nano-additives on structure and mechanical properties of wood polymer composites based on polypropylene. Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures (MRDMS-2016) AIP Conf. Proc. 1785, 040098-1-040098-6; DOI: 10.1063/1.4967155 Published by AIP Publishing.
6. Файзуллин И. З., Вольфсон С. И., Мусин И. Н. Влияние наполнителей и нанодобавок на структуру и механические свойства древесно-полимерных композиций на основе полипропилена // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 12. С. 30–33.
Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N. The effect of fillers and nano-additives on the structure and mechanical properties of wood-polymer compositions based on polypropylene. Deformation and destruction of materials, 2015, no. 12, pp. 30–33.
7. Вольфсон С. И., Файзуллин И. З., Мусин И. Н., Грачев А. Н., Пушкин С. А. Физико-механические и реологические характеристики древесно-полимерных композитов на основе термически и механически модифицированного наполнителя // Пластические массы. 2015. № 5–6. С. 39–43.
Volfson S. I., Fayzullin I. Z., Musin I. N., Grachev A. N., Pushkin S. A. Physical-mechanical and rheological characteristics of wood-polymer composites based on thermally and mechanically modified extender. Plastics. 2015, no. 5–6, pp. 39–43.
8. Файзуллин И. З., Вольфсон С. И., Мусин И. Н., Гордеев А. С. Влияние нанонаполнителей на структуру древесно-полимерных композитов // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 11. С. 79–81.
Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Gordeev A. S. The effect of nanofillers on the structure of wood-polymer composites. Herald of Technological University. 2015, v. 18, no. 11, pp. 79–81.
9. Мусин И. Н., Файзуллин И. З., Новокшонов В. В., Вольфсон С. И. Влияние полимерного связующего на свойства древесно-полимерных композитов // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 14. С. 306–309.
Musin I. N., Fayzullin I. Z., Novokshonov V. V., Volfson S. I. The effect of the polymer binder on the properties of wood-polymer composites. Herald of Technological University. 2014, v. 17, no. 14, pp. 306–309.
10. Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Fayzullin A. Z., Filippov A. S. Wood-filled composites based on polypropylene and thermally modified filler. XX Mendeleev Congress on general and applied chemistry. Vol. 2a: abstracts. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016. 464 p.
11. Fayzullin I. Z., Volfson S. I., Musin I. N., Fayzullin A. Z., Filippov A. S. Composition based on polypropylene and modified wood filler. X Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций»: сб. материалов. – Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2016. С. 178. [X International Conference «Mechanics, Resource and Diagnostics of Materials and Structures»: Sat. materials. – Yekaterinburg: IES UB RAS, 2016. P. 178].

16-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ

ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ – ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

2-4 июня 2020 г., Москва,
ВДНХ, павильон 75

16th MOSCOW INTERNATIONAL
INNOVATION FORUM

ACCURATE MEASUREMENTS – THE BASIS FOR QUALITY AND SAFETY

June 2-4, 2020, Moscow,
VDNH, Exhibition hall 75

ОРГАНИЗАТОРЫ:

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ

METROLEXPO

МЕТРОЛОГИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ

CONTROL&DIAGNOSTIC

КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

LABTEST

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

PROMAUTOMATIC

ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ

RESMETERING

УЧЕТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

WEIGHT SALON

ВЕСОВОЙ САЛОН

ФОРУМ 2019 г. (ЦИФРЫ И ФАКТЫ):

Участники – 256 компаний из 24 стран мира

Посетители – 4870 специалистов

Площадь экспозиции – 6500 м²

Приборы и оборудование – более 2000 ед.

Докладов и презентаций – 68 чел.

Участников съезда – 1100 чел.

ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

Тел./факс: +7 [495] 937-40-23

E-mail: metrol@expoprom.ru

Спешите забронировать стенд

www.metrol.expoprom.ru