

ОБЗОРЫ

УДК 691.175.5/.8

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Шишакينا О.А., Паламарчук А.А.

*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,
e-mail: olya.shishakina@mail.ru*

Полимерные композиционные материалы используются в строительстве с древнейших времён. Ведь древесина, первый строительный материал, использованный человеком, представляет собой полимерный композиционный материал из волокон целлюлозы, соединённых лигнином. Современные полимерные композиционные материалы активно используются во всех отраслях строительства, постепенно вытесняя традиционные строительные материалы. Полимербетоны всё чаще используются не только для ремонта традиционных бетонных сооружений, но и как основной строительный материал для несущих конструкций. Пенопласты практически полностью заменили традиционные теплоизоляционные материалы (войлок, солому, минеральную вату) в многоэтажном строительстве. Сэндвич-панели, которые способны выполнять сразу несколько функций (несущая конструкция, теплоизоляция, гидроизоляция), активно применяются при строительстве малоэтажных быстровозводимых зданий. А древесина, хоть и продолжает использоваться в виде досок, бруса и бревен, сейчас чаще используется в переработанном виде. Применение древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит позволяет использовать для строительства отходы древесины. Использование фанеры позволяет сократить вес готовых изделий и избавиться от существенного недостатка древесины – анизотропности. Модифицирование древесины позволяет превратить низкосортные сорта древесины в прочные строительные материалы. Древесно-полимерные композиты не только позволяют сформировать любую желаемую форму готового изделия без механической обработки, но и избавиться от значительного количества полимерных и древесных отходов.

Ключевые слова: строительные материалы, полимерные композиционные материалы, полимербетон, сэндвич-панели, пластмассы, теплоизоляционные материалы

REVIEW OF MODERN CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Shishakina O.A., Palamarchuk A.A.

Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletovs, Vladimir, e-mail: olya.shishakina@mail.ru

Polymer composite materials have been used in construction since ancient times. After all, wood, the first building material used by man, is a polymer composite material from cellulose fibers connected by lignin. Modern polymer composite materials are actively used in all sectors of construction, gradually replacing traditional building materials. Polymer concrete is increasingly used not only for the repair of traditional concrete structures, but also as the main building material for load-bearing structures. Foams almost completely replaced traditional heat-insulating materials (felt, straw, mineral wool) in multi-story construction. Sandwich panels that are capable of performing several functions at once (supporting structure, thermal insulation, waterproofing) are actively used in the construction of low-rise prefabricated buildings. And wood, although it continues to be used in the form of boards, beams and logs, is now more often used in processed form. The use of chipboard and fiberboard allows the use of wood waste for construction. Using plywood can reduce the weight of finished products and get rid of a significant lack of wood – anisotropy. Modification of wood allows you to turn low-quality wood grades into durable building materials. Wood-polymer composites not only allow you to form any desired shape of the finished product without mechanical processing, but also get rid of a significant amount of polymer and wood waste.

Keywords: building materials, polymer composite material, polymer concrete, sandwich panels, plastics, heat-insulating materials

Около 30% всех полимеров, производимых каждый год, используются в строительной отрасли [1]. Они предлагают много преимуществ по сравнению с обычными материалами, в том числе легкость, устойчивость к коррозии и простоту обработки. Применение полимеров в качестве связующих для формирования композитов позволяет получать новые материалы с улучшенными свойствами, к которым относятся легкость, прочность, химическая стойкость, низкое водопоглощение и др. [2, 3]. Полимерные композиты были впервые разработаны в 1940-х гг. для военных и аэрокосмических применений. Значительные успехи

были сделаны с тех пор в использовании полимерных композитов в строительстве. В отличие от используемых традиционных строительных материалов, полимерные композиционные материалы требуют больших усилий по разработке и более глубокого понимания материала. Свойства готового полимерного композита являются результатом процесса проектирования, который учитывает многие факторы, такие как анизотропное поведение материала, механические, термические и химические свойства компонентов. Поэтому проектирование с использованием композитов является сложным процессом, который требует

понимания технологии изготовления композита и его составных частей [4].

Цель работы: анализ современного состояния и перспектив развития различных полимерных композиционных материалов в строительстве.

Пенопласты

Пенопласты являются важным полимерным композиционным материалом, полимерная матрица которого содержит большое количество крошечных пузырьков воздуха внутри. По сравнению с другими полимерными материалами, пенопласты имеют много преимуществ, таких как низкая плотность, хорошая теплоизоляция, хорошие звукоизоляционные свойства, высокая удельная прочность и устойчивость к коррозии. В настоящее время пенопласты являются одними из наиболее широко используемых полимерных материалов и играют очень важную роль в полимерной индустрии. В строительстве основной сферой применения пенопластов является теплоизоляция. В качестве теплоизоляции чаще всего применяют пенополистирол и пенополиэтилен, которые используют для утепления стен, крыш, перекрытий, а также в составе сэндвич-панелей. Реже пенопласт применяют для звукоизоляции. Подобное применение пенопласта актуально при строительстве жилых домов рядом с оживлёнными автострадами и железными дорогами, а также для специальных помещений с высокими требованиями к звукоизоляции (звукозаписывающие студии и т.п.) [5].

Пенопласты изготавливают из полимера с использованием физических или химических вспенивающих агентов. В качестве химических вспенивающих агентов используют вещества, которые при нагревании разлагаются с выделением газообразных продуктов (азота, аммиака, углекислого газа). Физическими вспенивающими агентами являются жидкости с низкой температурой кипения, пары которых вспенивают композицию во время переработки. Технологии переработки пенопластов в основном включают экструзию, заливку, прессование и литье под давлением [6]. Пенопласты подразделяются в зависимости от структуры ячеек на открытопористые, закрытопористые, интегральные и синтактные. Открытопористые – пенопласты с открытыми порами, соединёнными друг с другом и окружающей атмосферой. Примерами таких пенопластов являются пенопласты из меламинаформальдегидной и эпоксидной смолы. Закрытопористые пенопласты представляют собой пенопласты с закрытыми порами, которые не соединя-

ются друг с другом и окружающей атмосферой. В качестве примера можно привести пенополиуретан и пенополиэтилен. Интегральными являются пенопласты с закрытыми ячейками, имеющими толстый наружный слой невспененного полимера, придающий значительную жёсткость готовому изделию. Такие пенопласты чаще всего изготавливают из полипропилена. Синтактными являются пенопласты, в которых ячейки с воздухом образованы маленькими полыми шариками – микросферами. Такие пенопласты обладают значительно большей прочностью, но дороги и имеют большую плотность. Чаще всего синтактные пенопласты делают на основе реактопластов, таких как полиэфирные и кремнийорганические смолы [7].

Сэндвич-панели

Сэндвич-панели представляют собой структуру, состоящую из трех слоев: сердцевины низкой плотности, и тонких наружных слоев, соединённых друг с другом. Сэндвич-панели используются в тех случаях, когда требуется сочетание высокой структурной жесткости и малого веса.

Сэндвич-панели являются примером многослойного структурированного композита: прочность и легкость этой технологии делают ее популярной и широко распространённой. Материалы сердцевины и оболочки могут широко варьироваться, а сердцевина может иметь различную структуру. В качестве наружного слоя могут быть использованы листовая металл, фанера, цемент, плиты из оксида магния или ДСП, а ядро может быть из пенополистирола, пенополиэтилена, пенополиуретана или являться составной сотовой структурой. В некоторых сэндвич-панелях используют фиброцементные или фанерные листы для панелей и отходы сельского хозяйства, такие как пшеничная солома, для сердцевины [8]. Сэндвич-панели объединяют в себе несколько компонентов обычного здания, такие как несущие элементы, теплоизоляция и пароизоляция. Они могут использоваться для многих элементов зданий, таких как наружные стены, крыша, пол и фундаментные системы [9].

Хотя панели с пенопластом начали активно использовать лишь в 1970-х гг., идея использования панелей с твёрдым наружным слоем для строительства появилась еще в 1930-х гг. Использование сэндвич-панелей обладает множеством преимуществ и имеет некоторые недостатки по сравнению с обычным каркасным зданием. Стоимость сэндвич-панелей выше, чем материалов для сопоставимого каркасного здания [10]. Хо-

рошо построенный дом с использованием сэндвич-панелей будет иметь более крепкий фундамент, а стены будут иметь более высокие теплоизоляционные свойства, что приведет к уменьшению эксплуатационных расходов. Кроме того, из-за стандартизированных размеров и универсальности сэндвич-панелей время строительства может быть меньше, чем для каркасного дома, а также требует меньшего количества рабочих. Из панелей можно сделать пол, стены и крышу, при этом панели в качестве полов особенно полезны при использовании над неизолированным пространством ниже. Кроме того, поскольку сэндвич-панели работают как каркас, изоляция и наружная обшивка, то они могут поставляться заранее с завода для конкретной работы, и внешние стены здания могут быть построены довольно быстро. Они также обеспечивают устойчивость к воздействию влаги и холода, а также усадке или разбуханию от изменений влажности, которые не могут быть обеспечены древесиной и другими традиционными строительными материалами [11].

Полимербетон

К полимербетонам принято относить материалы, в которых для устранения недостатков классического портландцементного бетона используют полимерное связующее, полностью или частично заменяющее минеральное связующее. Обычно полимербетоном называют бетоны, в которых присутствует только полимерное связующее, без добавок минеральных вяжущих. Такие составы также называют пластобетонами. Но существуют и композиты с участием минеральных связующих, например бетонополимер и полимерцементный бетон.

Пластобетон представляет собой разновидность бетона, в составе которого вместо традиционных минеральных связующих используются исключительно полимерные связующие. Наиболее часто в качестве полимерного связующего для пластобетонных используют реактопласты – полиэфирные, фенолформальдегидные и эпоксидные смолы [7]. Процесс производства пластобетона очень прост и сводится к равномерному смешению заполнителей с полимерным связующим. К достоинствам пластобетонных можно отнести высокую химическую стойкость, значительную прочность и износостойкость, отличную адгезию к другим строительным материалам. Из недостатков пластобетона стоит выделить высокую стоимость, низкую термостойкость и ползучесть. Основной областью применения пластобетона являются защитные покрытия и монолитные конструкции, которые кон-

тактируют с химически агрессивными средами. Также пластобетон используют для ремонта бетонных или каменных зданий и сооружений [12].

Полимерцементный бетон – бетон, при приготовлении которого используются сразу два различных связующих: полимерное и минеральное. Полимерное связующее вводят в цементное тесто, поэтому их отверждение происходит одновременно. Полимерным связующим могут быть терморезактивные олигомеры – фенолоформальдегидные, эпоксидные и другие смолы, каучуки, а также мономеры – фурфуролацетонный мономер. Термопластичные связующие используются значительно реже, так как для добавления в минеральное вяжущее полимер должен быть жидким или растворимым в воде, например используют акриловые полимеры или поливинилацетат. Минеральным связующим обычно являются различные разновидности цемента, но возможно использование гипсовых, пуццолановых и магнезиальных связующих в зависимости от предъявляемых к материалу требований [13].

Бетонополимер – портландцементный бетон, который после затвердевания пропитывают жидкими мономерами или олигомерами. После проведения термообработки жидкие компоненты превращаются в твердый полимер, заполняющий все полости и трещины бетона. После такой обработки прочность и износостойкость бетона значительно возрастает. Бетонополимер имеет очень высокую морозостойкость благодаря почти нулевому водопоглощению. Для пропитывания бетона в основном используют стирол и метилметакрилат, которые полимеризуются в полистирол и полиметилметакрилат соответственно [14].

Композиты на основе древесины

На основе древесины выпускается значительное количество полимерных композиционных материалов: древесно-стружечные плиты, древесно-волоконные плиты, фанера, модифицированная древесина и древесно-полимерные композиты.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) изготавливают из смеси отходов деревоперерабатывающих производств (опилки, стружка и др.), к которым добавляют полимерное связующее. Тщательно перемешанную массу прессуют с нагревом в специальных прессах для получения готовых листов. Преимуществами ДСП является их дешевизна, ведь для их производства используют отходы или древесину хвойных малоценных пород. Также их преимуществом можно считать приблизительно равную

прочность материала в любой плоскости. Недостатками древесно-стружечных плит является более высокая, по сравнению с массивом древесины, плотность, а также низкая прочность кромки и токсичность. К тому же плиты могут сильно набухать при повышенной влажности, поэтому необходимо наличие влагозащитного покрытия. Несмотря на все эти недостатки, ДСП является основным материалом при производстве мебели. В строительстве ДСП применяется при сооружении опалубки при заливке бетона, для обшивки стен, в качестве промежуточного слоя при укладке полов [15].

При производстве древесноволокнистой плиты (ДВП) применяют массу из перемолотых стружек, опилок, коры, которые смешиваются с олигомерным связующим и добавками. ДВП является заменителем досок, фанеры и ДСП. Может использоваться при производстве мебели, ящиков и других неответственных изделий. Преимуществами ДВП являются однородность, нетоксичность, стойкость к набуханию и усушке. Из недостатков стоит отметить низкую механическую прочность, которая не позволяет применять древесностружечные плиты в качестве несущего элемента. Поэтому ДВП чаще выполняет роль вспомогательных материалов, которые применяют для снижения массы готового изделия. В строительстве ДСП используют для тепло- и звукоизоляции стен, утепления перекрытий, внутренней облицовки [16].

Фанера – многослойный листовый материал, который получают склеиванием множества слоёв шпона. Слои шпона накладывают в определённой последовательности: волокна древесины в следующем слое должны быть перпендикулярны волокнам в предыдущем слое. Это позволяет достичь равной прочности листа в двух плоскостях, что является несомненным преимуществом по сравнению с массивом древесины. Также к преимуществам фанеры можно отнести возможность изгибать фанеру без опасности коробления, устойчивость к набуханию и усушке, низкую токсичность и эстетичный внешний вид готовых изделий. Прочность фанеры в значительной степени зависит от количества слоёв шпона, из которого она склеена. В строительной отрасли фанера используется для возведения опалубки, строительных лесов, внутренней и наружной отделки зданий, возведении элементов крыш [17].

Модифицированная древесина – древесина, обработанная различными химическими веществами и, в некоторых случаях, прошедшая тепловую, механическую или

иную обработку, направленную на улучшение (модифицирование) её свойств. Наиболее часто древесина пропитывается растворами или расплавами мономеров или олигомеров с последующим отверждением последних [18]. Это способствует образованию химических связей между древесиной и полимером, что существенно влияет на её свойства. Первые опыты по модифицированию древесины полимерами проведены еще в начале XX в. В 1930-е гг. Германия и США широко использовали модифицированную древесину в авиастроении и электротехнике. К преимуществам модифицированной древесины можно отнести высокую механическую прочность, стойкость к воздействию воды и агрессивных химических веществ, износостойкость и стабильность размеров. Свойства модифицированной древесины позволяют применять её в строительстве так же, как и обычную древесину: для внутренней и наружной облицовки зданий, возведения стен и перекрытий. Высокая устойчивость к влаге и агрессивным средам способствует активному использованию модифицированной древесины для крыш, напольных покрытий, сельскохозяйственных построек. Обычно для модифицирования применяют листовые породы деревьев малоценных пород – ольху, осину, тополь [19].

Древесно-полимерные композиты (ДПК) – все еще новые материалы относительно длинной истории натурального пиломатериала в строительстве. Древесно-пластиковые композиты были впервые представлены на рынке настилов в начале 1990-х гг. ДПК производятся путем тщательного смешивания измельченных древесных частиц и нагретого термопластичного полимера. Наиболее распространенным способом производства является экструдирование материала желаемого профиля, хотя также используется литье под давлением [20]. ДПК могут быть изготовлены из первичных или переработанных термопластов, включая ПЭВП, ПЭНП, ПВХ, ПП, АБС, ПС и ПЛА. Добавки, такие как красители, связующие агенты, УФ-стабилизаторы, вспенивающие агенты, пенообразователи и смазочные материалы, помогают адаптировать конечный продукт к целевой области применения. Наиболее распространенное использование ДПК – это полы, перила, заборы, облицовка и сайдинг, парковые скамьи, карнизы, оконные и дверные рамы, а также мебель для дома [21].

Заключение

Полимеры имеют много преимуществ по сравнению с обычными строительными

ми материалами: они легкие, устойчивы к коррозии и просты в обработке. Объединение их с наполнителями для формирования композитов улучшает их свойства, делая их полезными для таких строительных компонентов, как несущие конструкции, модульные блоки, теплоизоляция, сэндвич-панели, внутренняя и внешняя отделка [22]. Полимерные композиционные материалы обладают превосходными свойствами, которые дают реальную выгоду для строительной отрасли и становятся важными материалами во всех отраслях строительства. Стоит учитывать и широкие возможности по утилизации различных отходов в качестве как наполнителей, так и связующих, что, с одной стороны, обеспечивает снижение темпов накопления отходов, а с другой, позволяет получить изделия с пониженной стоимостью [23–25]. И поскольку полимерные композиты с каждым годом становятся всё лучше и лучше, масштабы использования этих материалов в строительной промышленности будут увеличиваться.

Список литературы

1. Байер В.Е. Архитектурное материаловедение: учебник для студентов вузов. М.: Архитектура, 2012. 234 с.
2. Сокольская М.К., Колосова А.С., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 10–2. С. 290–295.
3. 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.
4. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия: Учебник для инженерно-экономических специальностей строительных вузов, 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1988. 527 с.
5. Клемпнер Д.П. Полимерные пены и технологии вспенивания. СПб.: Профессия, 2009. 599 с.
6. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные методы получения полимерных композиционных материалов и изделий из них // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 8. С. 123–129.
7. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5. С. 245–256.
8. Киреева Ю.И. Строительные материалы: учебное пособие. Минск: Новое знание, 2005. 399 с.
9. Величко Е.Г. Строение и основные свойства строительных материалов: учебное пособие. М.: ЛКИ, 2014. 496 с.
10. Попов К.Н., Каддо М.Б. Строительные материалы: учебник для вузов. М.: Студент, 2012. 440 с.
11. Рамачандран В.С. Добавки в бетон. Справочное пособие. Перевод с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева. М.: Стройиздат, 1988. 286 с.
12. Bedi R., Chandra R., Singh S.P. Reviewing some properties of polymer concrete. *Indian Concrete Journal*. 2014. № 8. P. 47–68.
13. Bedi R., Chandra R., Singh S.P. Mechanical Properties of Polymer Concrete. *Journal of Composites*. 2013. № 11. P. 1–12.
14. Домокеев А.Г. Строительные материалы: учебник для строительных вузов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1989. 495 с.
15. Алимов Л.А., Воронин В.В. Строительные материалы: учебник для бакалавров. М.: Академия, 2012. 320 с.
16. Кочуров Д.В. Высокопрочные полимерные композиционные материалы // Международный студенческий научный вестник. 2018. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://eduherald.ru/ru/article/view?id=19200> (дата обращения: 25.11.2019).
17. Основин В.Н., Шуляков Л.В., Дубяго Д.С. Справочник по строительным материалам и изделиям. М.: Феникс, 2006. 448 с.
18. Микульский В.Г. Строительные материалы и изделия. М.: АСВ, 2009. 520 с.
19. Панибратов Ю.П., Тихонов Ю.М., Мещеряков Ю.Г. Архитектурное материаловедение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: Академия, 2012. 288 с.
20. Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 528 с.
21. Сентюрин Е.Г., Мекалина И.В., Тригуб Т.С. Все материалы. Энциклопедический справочник. М.: Химия, 2012. 203 с.
22. Кабанов В.А., Акутин М.С., Бакеев Н.Ф. Энциклопедия полимеров. Т. 2. М.: Советская Энциклопедия, 1974. 178 с.
23. Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Разработка способа получения облицовочного композиционного материала на основе полимерных и стеклянных отходов // Экология промышленного производства. 2018. № 3. С. 2–6.
24. Торлова А.С., Виткалова И.А., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Утилизация керамических и полимерных отходов в производстве облицовочных композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2019. № 7. С. 36–41.
25. 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.