

УДК 626.666.974

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ДРЕВЕСНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА
ПОЛИМЕР-ПЕСЧАНЫЙ КОМПОЗИТ

Т. Н. Стородубцева

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова»

E-mail: tamara-tns@yandex.ru

По сути композиты представляют собой термодинамические неравновесные системы, состоящие из двух или более компонентов, отличающихся по химическому составу, физико-механическим свойствам и разделенных в материале четко выраженной границей. Каждый из компонентов вводится в состав, чтобы придать ему требуемые свойства, которыми не обладает каждый из компонентов в отдельности. Комбинируя объемное соотношение компонентов, можно получать материалы с требуемыми характеристиками.

Основным фактором, определяющим выбор метода получения композитов является технологическая совместимость компонентов, т. к. возможно разупрочнение волокон в результате химического взаимодействия с матрицей в процессе изготовления, а также их механическое повреждение. Если выбор армирующего компонента определяется назначением композиционного материала (КМ), то в выборе матричного материала руководствуются главным образом уровнем рабочих температур.

Обзор научных публикаций, посвященных влиянию физических факторов – температуры, усадки и воды на прочностные и упругие характеристики главных компонентов КМ – полимер-песчаного раствора и древесины, позволил установить наиболее важные результаты проведенных исследований и частично использовать их. Было обращено внимание на то, что такие данные в отношении композита с использованием древесины практически отсутствуют.

К настоящему времени мы получили составы и механические характеристики композита, армированного, например, щепой с длиной элементов от ста пятидесяти до двухсот миллиметров или каркасом из необработанных досок, получаемых из отходов шпалопиления. Изучены процессы совместимости полимер-песчаного раствора и древесного заполнителя, ползучесть и выносливость этого материала. Однако длительные эксплуатационные испытания шпал показали, что одной из причин появления трещин на их поверхностях является влага, диффузи-

онно проникающая через слой полимерной матрицы к предварительно высушенному древесному армирующему заполнителю, склонному к разбуханию, а также температура, усадочные процессы и их сочетания [1].

В связи с изложенным, представлялось важным изучить влияние различных физических факторов на полимерную матрицу из полимер-песчаного композиционного материала, древесный наполнитель и, в целом, на композит с учетом анизотропии их свойств.

Целью данных исследований, результаты которых излагаются в данной работе, является выработка на их основе материаловедческих, технологических и иных приемов, гарантирующих прочностные свойства композита в течение заданного срока эксплуатации шпал, в том числе лесовозных железных дорог [2].

Обзор научных публикаций, посвященных влиянию физических факторов – температуры, усадки и воды на прочностные и упругие характеристики главных компонентов композита – полимер-песчаного раствора и древесины, позволил установить наиболее важные результаты проведенных исследований и частично использовать их. Прочность и жесткость КМ определяются главным образом свойствами высокопрочных и высокомодульных волокон, однако роль матрицы также существенна.

Также особенностью является большое сопротивление распространению усталостной трещины при знакопеременных или пульсирующих нагрузках, что характерно для волокнистых структур. Обычно в композите трещина усталости, достигнув границы раздела компонентов, развивается некоторое время вдоль нее, затем перерезает очередное волокно в его слабом участке и т. д.; это приводит к диссипации напряжений в устье трещины и замедлению ее распространения [3].

В известных исследованиях процесса усадки полимерных материалов их авторы учитывали только факты роста прочности, модуля упругости и самой усадки при отверждении. При этом совершенно не принималось во внимание, что этот процесс сопровождается повышением температуры, а это связано с понижением прочностных и упругих характеристик, что и учитывалось нами наряду с анизотропией свойств древесины при исследованиях усадки композита.

Установлено, что процесс отверждения полимер-песчаного раствора протекает по экспоненциальному закону, т. е. неравномерно во времени. Вначале он достаточно интенсивен в связи с саморазогревом его при экзотермической реакции полимеризации. Затем раствор густеет и с этого момента свободным деформациям его усадки начинают препятствовать элементы древесного запол-

нителя, в конкретном случае – грани деревянного кубика. При этом у его ребер возможна концентрация напряжений.

Их рассмотрение позволило сделать вывод о том, что наличие остаточных температурных напряжений на поверхности изделия делают в определенный момент напряженное состояние в кубе из полимер-песчаного композита и, конечно, любого изделия из этого материала более опасным, чем при его полном остывании [4]. Аналогичное состояние может возникнуть, например, в железнодорожной шпале, в летнее время и, в особенности, через рельсы на стрелочных переводах и в кривых, когда они разогреваются до температуры более 100 °С при движении по ним.

Был произведен анализ двух вариантов напряженного и деформированного состояния в кубике из древесины, найдены величины главных напряжений, определены через направляющие косинусы положения главных площадок, а затем величины главных относительных деформаций.

Наибольшую опасность представляет величина главной относительной деформации (расчет по второму предельному состоянию) по направлению между осями «*r*» и «*t*», равная 0,01 или 1 %. Она выше, чем максимальная относительная деформация при начале трещинообразования, равная 0,0066 или 0,66 %. Так как аналогичная деформация без учета действия воды составляла 0,48 %, то это означает, что, как и следовало ожидать, ее действие повысило деформативность стекловолоконного композита вдвое. Это означает, что трещины в полимерной оболочке после увеличения ее толщины не должны появиться, т. к. снижение величины модуля упругости стекловолоконного композита при растяжении под действием воды уменьшило и фактические напряжения в ней, что потребовало экспериментальной проверки.

Был поставлен эксперимент по выявлению стойкости образцов-балок из композита базового состава, погруженных в воду, которые затем испытывали на чистый изгиб. Получены аппроксимирующие функции, с высокой точностью представляющие данные эксперимента и позволяющие определить величину коэффициента стойкости, равную, на конец заданного срока эксплуатации шпал – 40 лет, 0,47-0,48, а на 260 сут. – 0,50-0,51. Для композита с армирующим каркасом – 0,76 и 0,76, соответственно [2].

Необходимо учитывать также, что значения коэффициентов величины относительные, т. к. при их равенствах абсолютные значения пределов прочности и пределов длительного сопротивления могут быть и более высокими,

например, при применении армирующего каркаса, использовании гидрофобизирующих растворов, восстановлении прочностных и упругих характеристик материала при высоких летних температурах и т. д.

В итоге мы рассмотрели достоинства и недостатки возможных компонентов полимер-песчаной матрицы КМ на основе древесины с позиций включения их в ее состав с целью повышения водостойкости, предельной растяжимости, прочности и экологической безопасности, а именно:

– определены основные физико-механические характеристики по составу полимерной матрицы, которые практически полностью использованы в предложенном теоретическом составе композита, содержащем армирующий каркас из древесины;

– изготовлены образцы, разработана технологическая линия по отливке изделий для транспортного строительства, а также соответствующий регламент, в которых учтена возможность налаживания их производства в существующих шпалопильных цехах. При этом целесообразно использовать не только имеющиеся в них станки и оборудование, но и древесные отходы, которые шли ранее на изготовление тарной дощечки [6].

Для увеличения трещиностойкости в верхних и нижних волокнах шпал и в местах забивки костылей, дюбелей или болтов применяли стекловолокнистую арматуру, а именно: жгут ЖС 24/10 (ГОСТ 17139-71), сечку из жгута и стеклосетку типа СС-3 (ТУ 6-11-99-75) на основе стекла алюмоборосиликатного состава [2].

Главным компонентом бесщелочного стекловолокна является кремнезем SiO_2 , образующий основной каркас стекла, не разрушающийся даже под действием сильных кислот.

Для уменьшения температуры плавления и понижения вязкости в состав стекла вводят окислы щелочных и щелочноземельных металлов. Особенно важную роль играет присутствие в составе бесщелочного стекла глинозема Al_2O_3 и B_2O_3 . Они уменьшают склонность стекла к рекристаллизации, понижают коэффициент расширения, повышают (что очень важно) атмосферо- и водостойкость, улучшают текстильные свойства.

Предел прочности стеклянных волокон алюмоборосиликатного состава равен 3000-3500 МПа, модуль упругости – $2\text{-}7\cdot 10^4$ МПа.

Эти значения выше соответствующих природных и синтетических волокон и зависят от их диаметра и состояния поверхности.

Следует отметить также, что для стеклянного волокна максимальное

удлинение при разрыве составляет 3,5 %, коэффициент Пуассона равен 0,22. Термический коэффициент линейного расширения $\alpha = 4,9 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, удельное объемное электрическое сопротивление $10^{15} \text{ Ом}\cdot\text{см}$, коэффициент теплопроводности – 0,0348 Вт/м·К, плотность – 2,40-2,50 г/см³.

Стекланные волокна плавятся, но не горят и не подвергаются гниению, под действием влаги окружающего воздуха их прочность уменьшается. Адсорбированная на волокнах влага уменьшает поверхностную энергию и приводит к развитию существующих и образованию новых микротрещин. Снижается она под действием внешней нагрузки и воды, а также это происходит в результате коррозии на внутренних структурных дефектах стекла, количество которых на 1 см стекловолокна составляет 10^4 .

Вместе с тем следует отметить, что инкубационный период длится достаточно долго и составляет 95 % долговечности стекловолокна. Это объясняется накоплением гидроксил – ионов вплоть до критического значения рН, когда химическое воздействие на эти дефекты приобретает автоклавный характер, способствуя повышению концентрации концевых катионов, что приводит к разрушению решетки SiO₂.

Повышение температуры в пределах 200-250 °С практически не снижает прочности и модуля упругости стекловолокна. При 300 °С прочность падает примерно на 25 %, при 400 °С – на 50 %.

Такое понижение прочности при термообработке делает мало выгодным удаление замазливателя с поверхности волокна выжиганием при 450-600 °С в течение 0,5-1,5 мин, так как наличие замазливателя уменьшает прочность адгезионного сцепления всего на 10-26 % [2].

В связи с изложенным, было сделано обоснование выбора компонентов водостойкого состава матрицы композита и разработана технология изготовления из него изделий для транспортного строительства – железнодорожных шпал, например, в существующих цехах шпалопиления; сборно-разборных плит для лесовозных автомобильных дорог.

Следует отметить, что в России рост потребления КМ за год составил более тридцати процентов. С учетом стадии жизненного цикла рынка, динамикой роста потребления и производства в других странах, потенциал российского рынка композитов огромен. Мировой рынок композиционных материалов сейчас находится в стадии роста и ежегодное увеличение составляет около двадцати процентов [5].

Библиографический список

1 Стородубцева, Т. Н. Моделирование напряженного состояния древесины, подверженной действию агрессивных сред в композиционном материале [Текст] / Т. Н. Стородубцева. – Журнал "Фундаментальные исследования", № 4 (часть 1), 2013. – С. 65-70.

2 Стородубцева, Т. Н. Композиционный материал на основе древесины для железнодорожных шпал : Трещиностойкость под действием физических факторов [Текст] : монография / Т. Н. Стородубцева. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 216 с.

3 Композиционные материалы. Справочник [Текст] : учебник для вузов / под ред. Д. М. Карпиноса. – К., 1985. – 260 с.

4 Формирование механических характеристик и макроструктуры композита в зависимости от синергетических эффектов взаимодействия его компонентов [Текст] / «Лесотехнический журнал», РИО ФГБОУ ВПО, «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж. – 2013. – № 4(12). – С. 134-138.

5 Рынок композиционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.kompozit-deck.ru/dpk_market.php. – Загл. с экрана.

6 Стородубцева, Т. Н. Производство железнодорожных шпал из отходов лесной промышленности [Текст] / Т. Н. Стородубцева, А. И. Томилин, Н. В. Федянина, В. И. Харчевников // Воронежский научно-технический Вестник. 2012. Т. 1. № 2. – С. 85-92.