

УДК 620:674.8

УВЕЛИЧЕНИЕ РОСТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИТОВ

Стородубцева Т.Н., Аксомитный А.А.

ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж,
e-mail: tamara-tns@yandex.ru

Краткий анализ свойств композиционных материалов показал, что необходимо искать новые пути в решении проблемы их применения в РФ для железнодорожных шпал. Одним из них оказалась возможность использования в композите отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. Наши исследования были направлены на то, чтобы пропитывать древесину до предела насыщения не просто водой, а составами, способными, кроме этого, защитить ее от гниения. Решение о выборе состава для пропитки древесины связано со многими и часто взаимно исключаящими требованиями, предъявляемыми к нему. Состав должен: достаточно быстро проникать в древесину; защищать ее в течение всего срока эксплуатации от гниения; не препятствовать хотя бы механической адгезионной связи между древесиной и полимерной матрицей; содержать минимальное количество компонентов; быть достаточно технологичным и дешевым; соответствовать требованиям экологической и пожарной безопасности. Увеличение роста эффективности производства изделий из древесных материалов может быть достигнуто за счет замены традиционных шпал на шпалы из древесного композита. Это будет способствовать сохранению строевого леса, использованию отходов лесного комплекса, оздоровлению экологической обстановки и созданию новых рабочих мест в районах его заготовки.

Ключевые слова: древесина, изделия, композиционный материал, гидрофобизация, лесной комплекс.

INCREASE IN GROWTH OF PRODUCTION EFFICIENCY OF PRODUCTS WITH USE OF WOOD COMPOSITES

Storodubtseva T.N., Aksomitny A.A.

FGBOU VPO "Voronezh State Forestry Academy", Voronezh, e-mail: tamara-tns@yandex.ru

The short analysis of properties of composite materials showed that it is necessary to look for new ways in a solution of the problem of their application in the Russian Federation for railway cross ties. Possibility of use in a composite of waste of forestry and wood industry appeared one of them. Our researches were directed on impregnating wood to a limit of saturation not simply with water, and the structures capable, besides, to protect it from rotting. The decision on a structure choice for impregnation of wood is connected with many and often mutually excluding requirements imposed to it. The structure has to: quickly enough to get into wood; to protect it during all term of operation from rotting; not to interfere at least with mechanical adhesive communication between wood and a polymeric matrix; to contain the minimum quantity of components; to be rather technological and cheap; to conform to requirements of ecological and fire safety. The increase in growth of production efficiency of products from wood materials can be reached due to replacement of traditional cross ties by cross ties from a wood composite. It will promote timber preservation, use of waste of a forest complex, improvement of an ecological situation and creation new workplaces in areas of its preparation.

Keywords: wood products, composite material, water-repellency treatment, waste forest complex.

Актуальность применения новых материалов и совершенствование технологии изготовления брусковых изделий определяется не только значительной стоимостью эксплуатируемых изделий: на железных дорогах России уложено свыше 250 млн. деревянных и 100 млн. железобетонных шпал. Но и еще в большей степени последствиями от применения нерациональных конструкций и материалов, приводящих к повышенному износу подвижного состава и невозможным потерям из-за ухудшения экологии при вырубке лесов – для замены шпал и на развитие сети железных дорог необходимо вырубать ежегодно до 12 млн. м³ лесов, причем рубке подлежат деревья в возрасте 80-100 лет.

В настоящее время на лесовозных железных дорогах и общего назначения, а также подъездных и трамвайных путях исполь-

зуются в основном деревянные и железобетонные шпалы.

В результате анализа работ, посвященных вопросам конструкции железнодорожного пути и его взаимодействия с подвижным составом, а также исследованиям работоспособности деревянных шпал сделан вывод о том, что основными причинами их дефицита является небольшой срок их службы из-за механического износа и гниения, особенно в узле соединения «рельс-шпала». Деревянные шпалы из высокосортового леса в возрасте 80...100 лет фактически потеряли сырьевую базу в России из-за варварского ее уничтожения.

Использование железобетонных шпал в конструкциях верхнего строения пути железных дорог хотя и решает в какой-то мере проблему дефицита железнодорожных шпал, но ведет к большому экономическому

потерям, которые складываются из физико-технических и механических недостатков железобетона – большой массы, хрупкости, ограниченной коррозионной стойкости и, главное, жесткости, приводящей к разрушению ходовой части подвижного состава, появлению профессиональных заболеваний. Кроме этого, для железобетонных шпал, работающих в условиях блуждающих токов, существует опасность электрокоррозии бетона, т.к. они содержат дефицитную высокопрочную стальную арматуру, которая часто выступает из торцов шпал, снижая их диэлектричность в присутствии воды.

Наиболее серьезные работы по изготовлению шпал из композиционных материалов проводились в Австрии и Японии – это синтетические шпалы из жесткого полиуретана, армированного стекловолокном; в США и Японии – это древесностружечные шпалы, спрессованные из мелко измельченного волокнистого растительного материала и полимерного связующего, шпалы из склеенных послойно древесностружечных плит (ДСП) большой плотности и обычной ДСП. В данном случае можно сделать вывод о том, что, несмотря на практически неограниченный срок службы синтетических шпал, меньшую массу по сравнению с железобетонными, применение их в России экономически не выгодно из-за дефицита полиуретана и сложности конструкции железобетонного основания. Опыт изготовления шпал из древесностружечного материала интересен тем, что в качестве вяжущего была использована смола ФАМ, но прессование увеличивает их стоимость, сомнительны технологичность узла «рельс-шпала» и водостойкость.

Краткий анализ свойств композита показал, что необходимо искать новые пути в решении проблемы их применения в РФ для железнодорожных шпал. Одним из них оказалась возможность использования в композите отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности. Представлялось крайне актуальным применить их как для производства весьма ценного продукта – фурфурола, в процессе поликонденсации которого с ацетоном можно получить смолу (олигомер) ФАМ – вяжущее вещество полимерной матрицы, так и в качестве армирующего заполнителя.

Обращаясь к литературным источникам в начале работы над созданием нового композиционного материала для шпал, мы не обнаружили публикаций о каких-либо серьезных теоретических исследованиях, подтверждающих совместимость фурановых смол и древесины, хотя косвенные сведения об этом имелись.

В работе [1] сделан анализ структурных схем молекул компонентов древесного композиционного материала – составляющих смолы ФАМ (моно- и дифурфурилиденациетонов) и древесины (целлюлозы и лигнина), который показал возможность возникновения водородных связей по схеме диполь-дипольного взаимодействия и гидроксильных групп с образованием эфирных связей, что создает прочное адгезионное соединение в зоне раздела фаз и подтверждается экспериментально.

Из изложенного видно, что этот процесс очень сложный, его фазы взаимно переплетаются во времени и завершается отверждением системы, которое сопровождается обжатием древесного армирующего заполнителя за счет усадочных сил [1].

Поскольку возникновение прочных адгезионных связей между смолой ФАМ и древесиной было установлено, дальнейшие исследования были направлены на разработку базового состава древесного композиционного материала и получение его механических характеристик, которые удовлетворяли бы требованиям МПС РФ к железнодорожным шпалам. Такой состав был разработан и использован при отливке шпал, которые затем были впервые установлены в действующий путь Елецкого отделения Юго-Восточной железной дороги.

Однако эксплуатационные испытания показали, что на поверхности шпал после осенне-зимнего периода появились волосные трещины, одной из причин возникновения которых, как выяснилось, является влага, диффузионно проникающая через слой полимерной матрицы на ФАМ к древесному армирующему заполнителю [1].

Как известно, древесина содержит капилляры и поры различных размеров. Крупные капилляры могут заполняться водой, которая мало влияет на состояние древесины и ее качество как строительного материала. Она сравнительно легко проходит в капилляры и поры, заполняет полости и может составлять 100...200% к массе абсолютно сухой древесины, но она также сравнительно быстро и легко удаляется из них при сушке.

Тонкие поры и капилляры заполняются водой не только при контакте с ней, но и в условиях влажного воздуха, в связи с гигроскопичностью древесины и по законам капиллярных сосудов. Эта гигроскопическая влага сорбируется на стенках клеток и частично переходит в коллоидно-связанное состояние с веществом дерева.

Было обращено внимание на то, что насыщение волокон древесины гигроскопической влагой составляет в среднем 30% к мас-

се абсолютно сухой древесины (Wп.н.=30%), называемое точкой насыщения. Насыщение гигроскопической влагой до этой точки сопровождается набуханием древесины и ухудшением ее физико-механических свойств. Увеличение влажности после 30% ее содержания в древесине почти не отражается на свойствах последней и, что самое главное, не увеличивается ее объем за счет разбухания, что очень важно учитывать при создании композита.

Таким образом, стало ясно, что без предварительной пропитки армирующего древесного наполнителя жидкими растворами примерно до Wп.н.=30%, матрица древесного стекловолокнистого композиционного материала будет давать трещины под влиянием давления стесненного набухания.

Наши дальнейшие исследования были направлены на то, чтобы пропитывать древесину до предела насыщения не просто водой, а составами, способными, кроме этого, защитить ее от гниения.

Решение о выборе состава для пропитки древесины связано со многими и часто взаимно исключаящими требованиями, предъявляемыми к нему. Состав должен: достаточно быстро проникать в древесину; защищать ее в течение всего срока эксплуатации от гниения; не препятствовать хотя бы механической адгезионной связи между древесиной и полимерной матрицей; содержать минимальное количество компонентов; быть достаточно технологичным и дешевым; соответствовать требованиям экологической и пожарной безопасности [1, 5].

Для обработки поверхности и объема древесных наполнителей применялись следующие составы: раствор в керосине низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ, ТУ 6-05-1837-82) – «саломассы», являющейся отходом производства полиэтилена; раствор дивинилстирольного термоэластопласта (ДСТ 30Р-01) и канифоли в бензине, керосине, этилацетате, уайт-спирите или нефрасе; раствор сырого каучука в керосине; раствор эфира глицериновой таловой канифоли в керосине (ЭГТК, ТУ 13-002.81074-462-950); отработанное машинное масло (ОММ); глиоксаль (ГЛ, ТУ 2633-003-67017122-2011); кубовые остатки ректификации стирола (КОРС) малеиновым ангидридом, растворенные в толуоле с добавкой керосина или дизельного топлива.

Некоторые из примененных составов имели существенные недостатки. Например, при обработке древесины раствором НМПЭ в керосине ее поверхность покрывалась тонким слоем «саломассы», которая вызывала при нагружении «проскальзывание» армирующего наполнителя в полимер-

ной матрице, снижая прочность и жесткость древесного композиционного материала. Вместе с тем, поверхностная обработка этим составом шпал была использована в дальнейшем для обеспечения последним гидрофобных свойств.

Наиболее приемлемыми на данном этапе исследований были признаны составы, представляющие собой раствор сырого каучука в керосине и отработанное машинное масло. Они способны защищать древесину от гниения, быстро (за 15 часов) ее насыщать, гидрофобны и дешевы. Однако для обеспечения адгезии наполнителя к полимерной матрице после его пропитки необходимо предварительно обрабатывать, например, раствором соляной кислоты или подсушивать поверхность с целью обезжиривания [4]. Лучшим составом был признан глиоксаль.

В результате проведенных исследований был разработан водостойкий производственный состав древесного композита, включающий в себя следующие компоненты (% по массе на 1 шпалу и м³) [4-2]:

- фурфуролацетоновый олигомер (смола ФАМ, ТУ 64-11-17-89) – 19,0;
- бензолсульфо кислота (БСК, ТУ 6-36-02040229125-89) – 4,8;
- песок речной с модулем крупности, равным 1,2 (П, ГОСТ 8736-85) – 43,5;
- графитовая электродная мука (ГЭ, ГОСТ 7885-86) – 2,5;
- мука из пиритовых огарков с удельной поверхностью 350 м²/кг (ПО) – 3,9;
- кусковые отходы из отходов переработки древесины с длиной элементов 150...200 мм и условной площадью поперечного сечения 4...6 см² – щепа, пропитанная глиоксалем (ГЛ) – 12,7;
- стеклосетка (СС-3, ТУ 6-99-75) – 1,6%;
- глицерин (ЗРК – замедлитель реакции кристаллизации БСК, ГОСТ 6259-75) – 0,1% от массы ФАМ;
- дивинилстирольный термоэластопласт (ДСТ-30Р-01) с канифолью (400 г на 1 м² поверхности шпалы).

Нормативные физико-механические характеристики древесного композиционного материала приведенного выше состава при его использовании для отливки железнодорожных шпал должны соответствовать указанным в таблице в пределах ±5%.

Выводы

1. Поскольку предварительные эксплуатационные испытания шпал из древесного стекловолокнистого композита показали, что его матрица, представляющая собой отвержденный полимерраствор на смоле ФАМ, недостаточно защищает древесный армирующий наполнитель от набухания в ре-

зультате постоянного увлажнения шпал, впервые предложено вначале пропитывать его объем гидрофобизирующими составами, например, отработанным машинным маслом, содержащим продукты сгорания, в количестве до 30% от массы сухого заполнителя.

2. Разработанные технологические приемы, основанные на результатах теоретических и экспериментальных исследований авторов, позволили снизить водопоглощение древесного стекловолоконного композита до 0,045%, относительную деформацию набухания до 0,05%, модуль упругости при изгибе до $1,3 \cdot 10^4$ МПа, повысить коэффициент его стойкости в воде до 0,77, а предельную растяжимость – до 0,50% на общепринятые сроки эксплуатации образцов в воде.

3. Полученные физико-механические характеристики древесного стекловолоконного композиционного материала полностью удовлетворяют требованиям к материалу железнодорожных шпал, в том числе по жесткости, 24 шпалы из древесного композита предложенного состава были установлены на полигонные испытания в путь экспериментального кольца ГУП ВНИИЖТ МПС. Полугодовая их эксплуатация в зимне-весенний период показала, что они находятся в удовлетворительном состоянии и оставлены в пути для дополнительного изучения их долговечности в реальных условиях с целью оценки возможности выдачи рекомендаций для налаживания серийного производства [3].

Нормативные характеристики древесного композиционного материала

Характеристика	Средне-арифметическое значение	Коэффициент однородности	Нормативная характеристика
1	2	3	4
Условные пределы прочности, МПа при растяжении вдоль волокон сжатии (смятии) поперек волокон щепы изгибе скальвании (полимер-древесина)	9,67	0,73	7,0
	23	0,82	20,0
	25	0,83	15,0
	8,5	0,81	7,0
Предел выносливости, МПа при сжатии вдоль волокон щепы	35,0	0,71	25,0
Условные модули упругости, 10^4 МПа, при растяжении сжатии изгибе	1,33	0,88	1,21
	1,17	0,83	1,08
	1,34	0,87	1,30
Плотность, т/м ³	1,42	0,83	1,12...1,72
Водопоглощение за 260 сут, %	0,045	–	–
Относительная деформация набухания на 180 сут, %	0,05	–	–
Коэффициент стойкости в воде на 260 сут	0,77	–	–
Предельная растяжимость, %	0,49	0,9	0,45
Диэлектрическая проницаемость, ϵ	5,60	–	–
Тангенс угла диэлектрических потерь, $\text{tg}\delta$	$3,03 \cdot 10^{-2}$	–	–
Выдергивание болтов-шпилек, кН	69,0	0,86	61,0
Удельная ударная вязкость, Дж/см ²	0,15...0,25	–	–
Истираемость, г/см ²	0,018...0,21	–	–
Показатель горючести	0,14	–	–
Морозостойкость не ниже, циклы	300	–	–

Увеличение роста эффективности производства изделий из древесных композиционных материалов может быть достигнуто за счет замены традиционных шпал на шпалы из древесного композита. Это будет

способствовать сохранению строевого леса, использованию отходов лесного комплекса, оздоровлению экологической обстановки и созданию новых рабочих мест в районах его заготовки.

Список литературы

1. Стородубцева Т.Н. Строительные древесностекловолокнистые композиционные материалы для изделий специального назначения : автореф. ... д-ра. техн. наук : 05.23.05 / Т.Н. Стородубцева; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т». – Воронеж, 2005. – 42 с.
2. Стородубцева Т.Н. Применение гидрофобизирующих и модифицирующих составов для пропитки древесного армирующего заполнителя / Т.Н. Стородубцева, В.И. Харчевников, А.И. Томилин, К.В. Батулин // Лесотехнический журнал». – 2012. – № 2. – С. 36-46.
3. Стородубцева Т.Н. Экономическая эффективность применения древесностекловолокнистого композиционного материала / Т.Н. Стородубцева, В.И. Харчевников, А.И. Томилин, Н.В. Федянина // Воронежский научно-технический Вестник. – 2012. – Т. 1. – № 2. – С. 93-100.
4. Харчевников В.И. Гидрофобизирующие и модифицирующие составы для пропитки древесного армирующего заполнителя композиционных конструкционных материалов / В.И. Харчевников, Т.Н. Стородубцева, Э.А. Черников, Е.Н. Сапрыкин // Технологии и оборудование деревообработки в XXI веке: Сб. науч. тр. – Воронеж. гос. лесотехн. акад.: Воронеж, 2001. – С. 105–109.
5. Хрулев В.М. Обработка древесины полимерами / В.М. Хрулев, Р.И. Рыков. – Улан-Уде: Бурятское кн. изд-во, 1984. – С. 51–53.

References

1. Storodubtseva TN. Construction drevesnosteklovoloknistye composite materials for products special purpose: Author. ... Drs. tehn. Sciences: 05.23.05 / TN Storodubtseva; State. obrazovat.

institutions of higher. prof. education «Voronezh. Reg. arhitektur.-builds. Univ.» – Voronezh, 2005. – 42 p.

2. Storodubtseva TN. Application of waterproofing and modifying compositions for impregnating wood reinforcing filler / TN Storodubtseva VI Harchevnikov AI Tomilin, KV Baturin. – «Journal of Forestry», Voronezh. – 2012. – № 2. – P. 36-46.

3. Storodubtseva TN. The economic efficiency of drevesnosteklovoloknistye composite material / TN Storodubtseva, VI Harchevnikov, AI Tomilin, NV Fedyanina. – Voronezh Scientific and Technical Bulletin. – 2012. Т. 1. № 2. – P. 93-100.

4. Harchevnikov VI. Hydrophobic and modifying compositions for impregnating wood reinforcing filler composition of structural materials / VI Harchevnikov, TN Storodubtseva, EA Chernikov, EN Saprykin // Technology and equipment of woodworking in the XXI Century: Sat scientific. tr. – Voronezh. Reg. lesotehn. Acad.: Voronezh, 2001. – P. 105-109.

5. Hrulev VM. Woodworking polymers / VM Hrulev, RI Rykov. – Ulan-Ude: Buryat book. Publishing House, 1984. – P. 51-53.

Рецензенты:

Астанин В.К., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», г. Воронеж;
 Мануковский А.Ю., д.т.н., доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 29.07.2014.