

УДК 624.011.14; 625.142.21

Н. В. Мазаник, И. К. Божелко

Белорусский государственный технологический университет

**ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛЕЕВ
ДЛЯ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Проведено сравнение прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон фенольно-резорцинового клея ФРФ-50 производства НПО «Карбохим» (Российская Федерация), поливинилацетатной дисперсии Kleiberit 314.3 и полиуретанового клея Kleiberit PUR 501.0 производства Klebchemie M. G. Becker GmbH & Co. KG (Германия). Испытания проведены непосредственно после склеивания и прохождения 40 циклов температурно-влажностных воздействий, ускоряющих старение клеевых швов.

Были получены следующие результаты: предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон с использованием полиуретанового клея Kleiberit PUR 501.0 составил 6,4 МПа, ФРФ-50 – 5,3 МПа, Kleiberit 314.3 – 4,8 МПа. В большинстве случаев разрушение клеевого соединения носило когезионный характер и происходило по древесине. Также было определено, что клеевые соединения, полученные при использовании фенольно-резорцинового клея ФРФ-5, имеют максимальную стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям ($A = 79,25\%$). Их стойкость может быть классифицирована по ГОСТ 33121-2014 как повышенная.

Проведен эксперимент по определению зависимости прочности клеевого соединения на основе клея ФРФ-50 от влажности древесины, подвергаемой склеиванию. В результате испытаний было выявлено, что прочность клеевых соединений с фенольно-резорциновым клеем ФРФ-50 при варьировании влажности древесины в диапазоне от 8 до 25% изменяется незначительно (5,1–5,3 МПа).

Установлено, что склеивание клеем ФРФ-50 может производиться при транспортной влажности древесины, а это позволяет значительно повысить гибкость и вариативность технологического процесса без негативного влияния на прочность клеевого соединения.

Ключевые слова: составные деревянные конструкции, клей, режим склеивания, предел прочности клеевого соединения, температурно-влажностные воздействия.

N. V. Mazanik, I. K. Bozhelko

Belarusian State Technological University

**OPERATING CHARACTERISTICS OF GLUES INTENDED
FOR COMBINED WOODEN STRUCTURES**

A comparison of the strength of adhesive joints to shearing along the fibers phenol-resorcinol glue FRF-50 produced by the STO “Karbohim” (Russian Federation), polyvinyl acetate dispersion Kleiberit 314.3 and polyurethane adhesive Kleiberit PUR 501.0 produced by the Klebchemie M. G. Becker GmbH & Co. KG (Germany). Tests were carried out immediately after bonding and after passing the 40 temperature-humidity influences cycles, accelerating the aging of the glue joints.

Results were as follows: tensile strength of the adhesive connection with cleaving along the grain using the polyurethane adhesive Kleiberit PUR 501.0 was 6,4 MPa, the FRF-50 – 5,3 MPa, Kleiberit 314.3 – 4,8 MPa. In most cases, the destruction of the adhesive bond had cohesive character and was going for wood. It was also determined the glue joints obtained using phenol-resorcinol adhesive FRF-50 have a maximum resistance to cyclic temperature and humidity influences ($A = 79,25\%$). Their resistance can be classified according to GOST 33121-2014 as increased.

The experiment to determine the dependence of bonding strength based adhesive FRF-50 from moisture of wood subjected bonding was conducted. The result of the tests revealed that the strength of adhesive joints with phenol-resorcinol glue FRF-50 by varying the moisture content of wood in the range of 8 to 25% varies insignificantly (5,1–5,3 MPa).

It was found that the adhesive bonding of FRF-50 can be made at transport humidity of wood, which can significantly enhance the flexibility and variability of the process without negatively affecting the bonding strength.

Key words: combined wooden structures, glue, bonding mode, the tensile strength of the adhesive compound, temperature and humidity exposure.

Введение. Рациональность использования древесного сырья является одним из важнейших факторов, влияющих на конкурентоспособность

деревобрабатывающих предприятий. Особенно актуален данный аспект для производств, в которых полезный выход основной продукции огра-

ничен в силу ее специфики, например при производстве крупномерных сортиментов, таких как шпалы, столбы, рудничные стойки и т. п. Проблема усугубляется тем фактом, что для выработки подобных изделий используется сырье крупных диаметров, количество которого в Республике Беларусь весьма ограничено. Кроме того, известно, что стоимость сырья с диаметром более 26 см существенно выше по сравнению со стоимостью пиловочника, обычно используемого на лесопильных заводах.

Вышеупомянутые факты являются причиной того, что в последние годы все большую популярность приобретает идея составных деревянных конструкций, в которых крупномерные элементы изготавливаются из нескольких деталей меньшего размера. Это позволяет, во-первых, вовлечь в производство более дешевое тонкомерное сырье, а во-вторых – повысить качество конечной продукции за счет камерной сушки и более глубокой биозащитной пропитки элементов малой толщины.

Так, в настоящее время известно достаточно много патентов на конструкции составных деревянных шпал для железнодорожных путей. Следует, однако, отметить, что подавляющее большинство предлагаемых в них решений отличается сложностью и высокой себестоимостью изготовления, что связано с применением дорогостоящих крепежных элементов либо обвязок. Поэтому подобные шпалы не нашли широкого применения на практике. В этой связи становится очевидным, что положительный экономический эффект может быть достигнут исключительно при использовании наиболее простых и низкотратных способов соединения, таких, например, как клеевые.

Железнодорожные составные шпалы предъявляют собой ответственные изделия, к которым предъявляются высокие требования:

- прочность клеевого соединения, которая не должна быть ниже средней прочности древесины на скалывание;
- высокая водостойкость клеевого шва (класс эксплуатации D4);
- высокая устойчивость клеевого соединения к старению в условиях переменных температурно-влажностных воздействий;
- стойкость клеевого соединения к вибрационным нагрузкам, которые могут иметь место при эксплуатации шпал в железнодорожном пути.

Во многом схожие требования выдвигаются к клеям, применяемым для склеивания несущих деревянных конструкций. Анализ научно-технической литературы позволил установить, что наиболее широко используемыми в производстве клееных деревянных конструкций являются резорциновые, фенольно-резорциновые,

поливинилацетатные и полиуретановые клеи. При этом фенольно-резорциновые связующие зарекомендовали себя как обеспечивающие наиболее долговечные клеевые соединения при эксплуатации под действием различных атмосферных воздействий, в том числе при эксплуатации в районах с нормальным холодным климатом. Соединения древесины на резорциновых и фенольно-резорциновых клеях отличаются также высокой стойкостью к ускоренному старению и вибрационным нагрузкам, а прочность клеевых соединений на скалывание может достигать 15–16 МПа. В то же время, развернутая информация о поведении клеевых швов в условиях, приближенных к эксплуатационным для железнодорожных шпал, отсутствует, равно как и четкие рекомендации по режимам склеивания. Последний факт объясним, поскольку оптимальные параметры режима склеивания существенно зависят от свойств клея конкретного производителя.

Основная часть. Целью нашей работы стало сравнение прочностных свойств клеев, потенциально пригодных для склеивания элементов составной шпалы. В качестве таких связующих рассматривались:

- фенольно-резорциновый клей ФРФ-50 производства НПО «Карбохим» (Российская Федерация);
- поливинилацетатная дисперсия Kleiberit 314.3 производства Klebchemie M. G. Becker GmbH & Co. KG (Германия);
- полиуретановый клей Kleiberit PUR 501.0 производства Klebchemie M. G. Becker GmbH & Co. KG (Германия).

Склеиванию подвергались сосновые образцы влажностью 8%. Режимы склеивания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы склеивания

Параметр	Марка клея		
	ФРФ-50	Kleiberit 314.3	Kleiberit PUR 501.0
Расход клея, г/м ²	240	150	200
Время открытой выдержки, мин	7	5	20
Давление склеивания, МПа	0,4	0,4	0,7
Продолжительность закрытой выдержки под давлением, ч	10	20	1
Температура склеивания, °С	20 ± 2	20 ± 2	20 ± 2
Продолжительность выдержки после склеивания до начала испытаний, ч	24	24	24

Программа испытаний включала определение прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон, причем для каждого клея 20 образцов подвергались испытанию непосредственно после склеивания, еще 20 – после прохождения 40 циклов температурно-влажностных воздействий, ускоряющих старение клеевых швов. Один цикл ускоренного старения, согласно ГОСТ 33120-2014, включал следующие операции:

1) образцы помещали в сосуд и на 20 ч заливали водой, имеющей температуру $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, таким образом, чтобы они были покрыты водой на 2–3 см;

2) извлеченные из воды мокрые образцы переносили в морозильную камеру и выдерживали в течение 6 ч при температуре минус $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;

3) замороженные образцы, извлеченные из морозильной камеры, раскладывали на стеллажах и оставляли оттаивать в течение 16 ч при температуре воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;

4) после оттаивания образцы помещали в сушильную камеру и выдерживали в ней 6 ч при температуре $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$ и влажности воздуха $(60–75)\%$.

Контроль влажности образцов, их нагревание и выдержку при определенной температуре осуществляли с использованием низкотемпературной лабораторной электропечи SNOL 67/350. Заморозка, оттаивание и кондиционирование опытных образцов проводились в климатической камере ТХВ 225. Перед проведением механических испытаний образцы, прошедшие температурно-влажностные воздействия, подсушивали при температуре плюс 40°C до достижения ими первоначальной влажности.

Относительную прочность клеевых соединений рассчитывали с погрешностью 1% по формуле

$$A = \frac{\sigma_{\text{ц}}}{\sigma_{\text{к}}} 100\%,$$

где $\sigma_{\text{ц}}$ – среднее арифметическое результатов испытаний образцов после циклических температурно-влажностных воздействий; $\sigma_{\text{к}}$ – среднее арифметическое результатов испытаний контрольных образцов.

Группу стойкости клеевых соединений к циклическим температурно-влажностным воздействиям определяют в зависимости от их относительной прочности:

- при A до 30% – низкая стойкость;
- при A от 30 до 60% – средняя стойкость;
- при A более 60% – повышенная стойкость.

Прочность образцов на скалывание определялась в соответствии с межгосударственным

стандартом ГОСТ 33120-2014. «Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений». Результаты испытаний представлены в табл. 2. Расчетная относительная прочность клеевых соединений для клея ФРФ-50 составила 79,25%, для Kleiberit 314.3 – 39,58%, для Kleiberit PUR 501.0 – 60,94%.

Таблица 2

Результаты испытаний прочности клеевых соединений

Марка клея	Среднее значение прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон, МПа, по результатам испытаний 20 сосновых образцов	
	не подвергавшихся циклам ускоренного старения	после 40 циклов ускоренного старения по ГОСТ 33120-2014
ФРФ-50	5,3	4,2
Kleiberit 314.3	4,9	1,9
Kleiberit PUR 501.0	6,4	3,9

Анализ полученных экспериментальных данных позволил сделать следующие выводы:

– максимальный предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины был получен при использовании полиуретанового клея Kleiberit PUR 501.0 и составил 6,4 МПа;

– несколько меньшее значение предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины было получено при использовании фенольно-резорцинового клея ФРФ-50 – 5,3 МПа, что составляет 78,1% от прочности, полученной для клея Kleiberit PUR 501.0;

– минимальный предел прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон древесины был получен при применении поливинилацетатного клея Kleiberit 314.3 и составил 4,8 МПа, или 75% от прочности, полученной для клея Kleiberit PUR 501.0;

– в большинстве случаев разрушение клеевого соединения носило когезионный характер и происходило по древесине, что указывает на возможное занижение прочностного показателя соединения из-за ограниченной прочности самой древесины сосны. Тем не менее, поскольку для изготовления шпалопродукции используется древесина сосны и ели, проведение дополнительных испытаний с использованием твердых пород не является необходимым;

– максимальную стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям ($A = 79,25\%$) показали клеевые соединения, полученные при использовании фенольно-резорци-

нового клея ФРФ-50. Их стойкость может быть классифицирована по ГОСТ 33121-2014 как повышенная.

Следующим этапом исследований стало изучение влияния влажности древесины при склеивании на прочность получаемого клевого шва. Как известно, сушка толстомерных древесных сортиментов сопряжена с рядом трудностей, таких как необходимость использования очень мягких режимов сушки (существенно увеличивает продолжительность процесса и может спровоцировать поражение древесины различными видами плесневых, деревоокрашивающих и дереворазрушающих грибов); низкая производительность сушильных камер; необходимость тщательного контроля за параметрами сушильного агента и наличия систем их автоматического регулирования, отличающихся низкой инертностью и повышенной точностью (предполагает использование дорогостоящего сушильного оборудования); существенные потери материала из-за растрескивания в процессе камерной сушки. Из вышеизложенного следует, что возможность склеивания элементов шпалы при их влажности выше 8–12% будет являться существенным преимуществом.

По некоторым литературным данным, фенольно-резорциновые клея допуская склеива-

ние древесины с повышенной влажностью, однако конкретные экспериментальные данные, из которых можно было бы сделать вывод о предельно допустимой влажности при склеивании, в литературе отсутствуют. Поэтому решено было провести эксперимент, целью которого является определение зависимости прочности клевого соединения на основе клея ФРФ-50 от влажности древесины, подвергаемой склеиванию. В результате проведенных испытаний было установлено, что прочность клеевых соединений с фенольно-резорциновым клеем ФРФ-50 при варьировании влажности древесины в диапазоне от 8 до 25% изменяется существенно и составляет 5,1–5,3 МПа.

Заключение. При производстве составных деревянных конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях переменных температуры и влажности, рекомендуется использование фенольно-резорцинового клея ФРФ-50. Данный клей обеспечивает требуемую прочность клеевого соединения на скальвание и имеет повышенную стойкость к циклическим температурно-влажностным воздействиям. Кроме того, склеивание клеем ФРФ-50 может производиться при транспортной влажности древесины, что позволяет повысить гибкость и вариативность технологического процесса.

Информация об авторах

Мазаник Наталья Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

Information about the authors

Mazanik Natal'ya Vladimirovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nata.mazanik@mail.ru

Bozhelko Igor' Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant Lecturer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Поступила 15.02.2016