УДК 684.4.059.3.001.5

© С. И. Миронова, канд. техн. наук, доцент
© А. В. Тихомиров, заведующий лабораторией
© С. Е. Кирютина, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: mstefania@mail.ru, a9765598@mail.ru,
sekir@lan.spbgasu.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-2-90-95

© S. I. Mironova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© A. V. Tikhomirov, laboratory head
© S. E. Kiryutina, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: mstefania@mail.ru, a9765598@mail.ru,
sekir@lan.spbgasu.ru

ИЗУЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ОДНОКОМПОНЕНТНОГО ПОЛИУРЕТАНОВОГО КЛЕЯ К ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

STUDYING THE RESISTANCE TO TEMPERATURE AND MOISTURE INFLUENCES OF GLUED JOINTS OF WOODEN DESIGNS ON THE BASIS OF ONE-COMPONENT POLYURETHANE GLUE

Рассматривается изучение прочностных свойств клеевых соединений на основе однокомпонентного полиуретанового клея марки «Иовапур 686.30» (Германия). Приведена методика прочностных испытаний на расслаивание и определение циклической стойкости клеевых соединений. Показано, что данный клей соответствует 2-му классу функционального назначения клеевых конструкций по ГОСТ 33122-2014.

Ключевые слова: полиуретановые клеи, прочность клеевого соединения, стойкость к расслаиванию клеевого соединения, температурно-влажностные воздействия.

The paper deals with the study of strength properties of adhesive compounds based on one-component polyurethane adhesive of the "Iovapur 686.30" type (Germany). The technique of peeling tests and assessing the cyclic durability of adhesive compounds is presented. It is proved that this adhesive complies with Class 2 of functionality envisaged glued structures in accordance with GOST 33122-2014.

Keywords: polyurethane adhesives, bonding strength, peeling resistance of adhesive compound, temperature and humidity exposures.

Применение склеивания в производстве деревянных конструкций дало возможность изготавливать элементы практически любой кривизны, не нарушая монолитности поперечных сечений. Равнопрочность и долговечность клеевых соединений в деревянных конструкциях могут быть достигнуты путем применения водостойких конструкционных клеев [1]. Клеи, которые используются в нашей стране при изготовлении несущих деревянных клеевых конструкций (ДКК), представлены в табл. 2 СП 64.13330.2011 [2].

В настоящее время для изготовления ДКК все чаще используются полиуретановые клеи (ПУ), которые обеспечивают устойчивое и надежное соединение и широко распространены в Европе [8].

Клей состоит из предполимера на основе таких веществ, как полиэфирполиол и изоцианат. Дополнительно содержит функциональные добавки, усиливающие все положительные свойства продукта — легкость и простоту в использовании, малую токсичность, высокопрочную склейку и хорошую адгезию к дереву.

Появление нового клеевого материала на рынке производства клееной древесины с рядом выгодных преимуществ требует определения типа стойкости клеевого состава в зависимости от его прочностных свойств [3, 4].

Исследования прочности, водо-, тепло- и морозостойкости клеевых соединений на полиуретановом клее (клей марки «Иовапур 686.30»

(Германия) деревянных строительных конструкций были описаны в [5]. В данной работе авторы продолжают экспериментальное изучение клеевых соединений деревянных строительных конструкций на предмет соответствия 2-му классу функционального назначения клеевых конструкций по ГОСТ 33122–2014 [4].

Определение стойкости клеевых соединений к расслаиванию

Наиболее распространенным видом испытания клеевых соединений древесины является равномерное расслаивание. Предметом настоящих исследований стало снижение прочности клеевых соединений образцов древесины от перепада влажности и температуры. В качестве показателя стойкости клеевых соединений к расслаиванию использован показатель общего расслоения клеевых швов и максимальное расслоение одного шва.

Исследования проводились на малых образцах из сосны в соответствии с утвержденной нормативно-технической документацией ГОСТ 33121–2014 [6] и ГОСТ 15613.1–84 [7].

Влажность древесины сосны находилась в пределах 8–14 %. При этом перепад влажности между смежными слоями составлял не более 3 %.

До начала испытаний образцы выдерживали (кондиционировали) в нормальных температурно-влажностных условиях (относительная влажность воздуха 65 ± 5 %, температура 20 ± 2 °С и атмосферное давление 760...765 мм рт. ст.) для полного отверждения клея и релаксации внутренних напряжений в древесине в течение не менее трех суток.

В качестве показателей стойкости клеевых соединений к расслаиванию принимают показатель общего расслоения клеевых швов и максимальное расслоение отдельного шва образцов, прошедших испытания.

Принципиальная схема выпиливания образцов для определения стойкости соединений к расслаиванию в соответствии с п. 10 ГОСТ 33121–2014 показана на рис. 1.

Образцы для испытаний вырезают из торцевых частей готовых клеевых элементов не ранее чем через 24 ч после их запрессовки. Образцы, предназначенные для испытаний на стойкость к расслаиванию, взвешивают с точностью до 5 г, после этого подсчитывают общую длину клеевых швов на обеих торцевых поверхностях каждого образца [6].

Рис. 1. Принципиальная схема выпиливания образцов для испытания на стойкость соединений к расслаиванию: H и S — высота и ширина клееного элемента; 1 — многослойный элемент; 2 — заготовка для выпилки образцов для предварительных испытаний на послойное скалывание; 3 — образец для испытаний на расслаивание; 4 — торцевой срез; 5 — клеевые швы

Для проведения испытаний использовались образцы размерами 188'168'50 мм. Расстояние от клеевых швов таких образцов отличалось не более чем на 30 %, при этом число клеевых швов в каждом образце пять.

Метод испытаний в автоклаве назначался в соответствии с методикой ООО «ЦНИПС ЛДК», количество циклов назначено на основании требований [3]. Для подтверждения возможности отнесения клеевого соединения к классу 2а функциональной ответственности конструкций был использован метод Д. Отнесение образцов клеевых соединений к классу 2а проводили после испытаний на основании требований п. 6.3.7 [3]. Тип и последовательность воздействия на образцы представлены в табл. 1.

Испытания в автоклаве (рис. 2) проводили по режиму Д в количестве двух циклов.

После окончания двух циклов испытаний в каждом образце определялись показатели расслоения клеевых швов. Результаты округлялись с точностью до целого числа.

Результаты вычислений с характеристиками расслоений в клеевых соединениях представлены в табл. 2.

За результат испытаний принимались наибольший показатель общего расслоения клеевых швов из числа всех испытанных образцов — 5 % (образец № 1) и показатель максимального расслоения отдельного клеевого шва — 6,9 % (клеевой шов 1, образец № 1).

Среднее значение предела прочности клеевых соединений всех образцов, прошедших испытания в автоклаве, — 5,8 МПа. При этом снижение прочности составило 9,4 % от среднего значения

предела прочности контрольных образцов — 6,4 МПа.

Полученные в результате испытаний значения максимального суммарного процента расслоений клеевых соединений после двух циклов воздействий не превышают требований, установленных в [6] — 8 и 30 % (допускаемое расслоение в пределах одного клеевого шва).

Данные результаты являются положительными для класса функционального назначения 2а.

Определение циклической стойкости клеевых соединений

Испытания по определению циклической стойкости клеевых соединений проводили по п. 7 [6].

Этот вид испытаний позволяет в относительно короткий срок подвергать соединения весьма жестким переменным температурно-влажностным воздействиям и тем самым оценивать долговечность соединений.

Перед испытаниями измерялись геометрические размеры образцов и определялась влажность древесины, а также, при необходимости, другие физические характеристики (плотность древесины, ширина годовых колец и др.). При проведении испытаний фиксировали величину разрушающей нагрузки и характер разрушения образца (отношение площади разрушения образца по древесине к площади разрушения по клеевой прослойке, выраженное в процентах). Испытания образцов проводились при температуре воздуха (20 ± 2) °С и влажности (65 ± 5) %. Испытания проводились на испытательной машине с погрешностью измерения нагрузки не более 1 %, позволяющей проводить испытания со

Таблица 1

Методика испытаний

Режим (метод)	Последовательность воздействий и значение нагрузок										
	Вакуум		Избыточное давление		Вакуум		Избыточное давление		Сушка		
	Нагрузка, кПа	Время воздействия, мин	Нагрузка, кПа	Время воздействия, мин	Нагрузка, кПа	Время воздействия, мин	Нагрузка, кПа	Время воздействия, мин	Время, ч	Температура, °С	Относительная влажность воздуха, %
Д	20–30	5	575–625	60	20–30	5	575–625	60	22	65 ± 5	15

Рис. 2. Испытания в автоклаве: а — общий вид автоклава; б — автоклав с загруженными образцами

Таблица 2

Результаты вычислений с характеристиками расслоений в клеевых соединениях

Номер образца	Длина клеевых швов, мм	№ клеевого шва в брус	Величина расслоений		
			Расслоение, мм	Расслоение, %	Скрытые дефекты
1	188'3'2 = 1128	1	(6) + 10 + 16	6,9	Сердцевина
		2	5 + 15	5,3	
		3	(7) + 4 + 5	2,4	Сучок
		Итого	55	4,9	
		Среднее значение расслоения		5	
2	188'3'2 = 1128	1	5 + 0	1,3	
		2	0 + 13 + (63) + 23	9,6	Сердцевина
		3	(6) + (6)	0	Сердцевина, сердцевина
		Итого	41	3,6	
		Среднее значение расслоения		4	
3	188'3'2 = 1128	1	0 + 0	0	
		2	0 + 0	0	
		3	4 + 5	2,4	
		Итого	9	0,8	
		Среднее значение расслоения		1	
4	190'3'2 = 1140	1	0 + (10)		
		2	0 + 9		
		3	(5) + (11)		Сердцевина, сердцевина
		Итого	9	0,8	
		Среднее значение расслоения		1	
5	188'3'2 = 1128	1	(33) + 11 + (10) + (30)	2,9	Сердцевина, смоляной карман, сердцевина
		2	10 + 5 + (63)	4,0	Сучок, сердцевина
		3	(12) + (31) + (5)	0	Сучок, сердцевина, сучок
		Итого	26	2,3	
		Среднее значение расслоения		2	

скоростью перемещения нагружающей головки от 2 до 10 мм/мин. За результат испытаний принимали среднее арифметическое предела прочности всех испытанных образцов, фиксируя при этом минимальное значение и характер разрушения.

Для проведения испытаний было изготовлено 50 образцов: 10 контрольных и по 10 образцов для испытаний после 10, 20, 30 и 40 циклов воздействий.

Один цикл температурно-влажностных воздействий на образцы включал следующие операции:

- образцы помещали на 20 ч в сосуд с водой, имеющей температуру $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, таким образом, чтобы они были покрыты водой на 2–3 см;
- извлеченные из воды мокрые образцы переносили в морозильную камеру и выдерживали в течение 6 ч при температуре минус $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;
- замороженные образцы, извлеченные из морозильной камеры, раскладывали на стеллажах и оставляли оттаивать в течение 16 ч при температуре воздуха $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;

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

Проведение механических испытаний образцов проводилось при достижении ими первоначальной влажности (рис. 3).

Относительная прочность клеевых соединений А (%) представлена в табл. 3.

Выводы

По результатам, полученным в ходе испытаний, величины относительной прочности клеевых соединений после 10, 20, 30 и 40 циклов температурно-влажностных воздействий по отношению к прочности контрольных образцов составили 106, 94, 92 и 83 % соответственно. Прочность клеевых соединений после 10 циклов, превышающую прочность контрольных образцов, можно объяснить разной прочностью древесины образцов. Снижение прочности при столь жестких воздействиях в равной степени может быть отнесено как к древесине, так и клею. По характеру разрушения преобладаю-

Рис. 3. Испытания стойкости образцов к циклическим температурно-влажностным изменениям

Таблица 3

Относительная прочность клеевых соединений

№	Кол-во циклов	Прочность образцов после испытаний, МПа	Прочность контрольных образцов, МПа	А, %
1	10	6,8	6,4	106
2	20	6	6,4	94
3	30	5,9	6,4	92
4	40	5,3	6,4	83

щее количество образцов (83 %) разрушалось по древесине в зоне клеевого шва, и лишь незначительная (17 %) их часть разрушалась по границе «клей — древесина», что в первую очередь связано с технологией изготовления образцов. Относительная прочность клеевых соединений после 40 циклов температурно-влажностных воздействий составила 83 %, что соответствует установленным значениям этого параметра в [4] для повышенной группы стойкости (более 60 % — повышенная стойкость) и позволяет классифицировать клей по данному параметру, как тип II по [5], что позволяет его использование в ДКК класса функционального назначения 2а по [2].

Библиографический список

1. Серов Е. Н. Развитие клеевых деревянных конструкций. Проблемы и воззрения. СПб.: СПбГАСУ, 2015. 152 с.
2. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-8.
3. ГОСТ 20850–2014. Конструкции деревянные клееные. Общие технические условия.
4. ГОСТ 33122–2014. Клеи для несущих деревянных конструкций. Общие технические требования.
5. Миронова С. И., Тихомиров А. В., Кирютин С. Е. Исследование однокомпонентного полиуретанового клея на соответствие 2-му классу функционального назначения деревянных клеевых конструкций // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 5 (58). С. 44–49.
6. ГОСТ 33121–2014. Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к различным температурно-влажностным воздействиям.
7. ГОСТ 15613.1–84. Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клеевого соединения при скалывании вдоль волокон.
8. Миронова С. И. Исследование прочности и стойкости клеевых соединений (клей марки Иовapur 686.30 (Германия) деревянных конструкций. Материалы 72-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета / СПбГАСУ. Октябрь 2016 г. СПб., 2015. С. 40–47.

References

1. Serov E. N. *Razvitie kleevykh derevyannykh konstruktсий. Problemy i vozzreniya* [Development of glued wooden designs. Problems and views]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2015, 152 p.
2. SP 64.13330.2011. *Derevyannye konstruktсии. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-25-8* [Wooden designs. The revised edition of SNiP II-25-8].
3. GOST 20850–2014. *Konstruktсии derevyannye kleenye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST 20850–2014. Wooden glued designs. General specifications].
4. GOST 33122–2014. *Klei dlya nesushchikh derevyannykh konstruktсий. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [GOST 33122–2014. Glues for the bearing wooden designs. General technical requirements].
5. Mironova S. I., Tikhomirov A. V., Kiryutina S. E. *Issledovanie odnokomponentnogo poliuretanovogo kleya na sootvetstvie 2-mu klassu funktsional'nogo naznacheniya derevyannykh kleevykh konstruktсий* [Research of single-component polyurethane resin glue on compliance to the 2-nd class of the functional purpose of wooden glued designs]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016. No. 5 (58), pp. 44–49.
6. GOST 33121–2014. *Konstruktсии derevyannye kleenye. Metody opredeleniya stoykosti kleevykh soedineniy k razlichnym temperaturno-vlazhnostnym vozdeystviyam* [GOST 33121–2014. Wooden glued designs. Methods of definition of glue connections resistance to various temperature and moist influences].
7. GOST 15613.1–84. *Drevesina kleenaya massivnaya. Metody opredeleniya predela prochnosti kleeвого soedineniya pri skalyvanii vdol' volokon* [GOST 15613.1–84. Glued massive wood. Methods of definition of glued connection strength at splitting along the fibers].
8. Mironova S. I. *Issledovanie prochnosti i stoykosti kleevykh soedineniy (kley marki Iovapur 686.30 (Germaniya) derevyannykh konstruktсий* [Research of durability and firmness of glued joints (Iovapur 686.30 type glue (Germany) of wooden designs]. *Trudy 72-y nauchnoy konferentsii professorov, prepodavateley, nauchnykh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta* [Proc. of the 72-nd scientific conference of professors, teachers, scientists, engineers and graduate students of university]. St. Petersburg, SPSUACE, October 2016, pp. 40–47.