

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТВЕРЖДЕННОГО КЛЕЕВОГО СЛОЯ В ВИДЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

The technique of an estimation of mechanical characteristics of a firm glutinous layer in the form of a thin film is developed at a stretching and the results of experimental researches of the module Young's, major Poisson's ratio and the shear module of a firm glutinous layer, for the glutinous compositions applied at manufacturing of massive wood are presented.

Введение. Многие задачи, с которыми сталкиваются исследователи и инженеры при проектировании конструкций и изделий из древесины, не поддаются аналитическому решению либо требуют значительных затрат времени на выполнение расчетов, создание опытных образцов и проведение экспериментальных работ. Изучение объектов разработки путем проведения экспериментов на их математических моделях, реализованных на ЭВМ, является средством быстрого, а иногда и единственно возможного решения инженерных задач.

В последнее время, вследствие развития информационных технологий, значительное применение получило моделирование процессов производства [1], благодаря чему появилась возможность исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, прежде всего посредством метода конечных элементов [2, 3], что дает возможность разработки и внедрения новых и эффективных методик расчета и оптимизации объектов проектирования.

В соответствии с общими положениями метода конечных элементов рассчитываемая конструкция представляется в виде совокупности простых геометрических объектов – конечных элементов, для каждого из которых заранее определен вид функциональной зависимости распределения перемещений в этом элементе от перемещений в его узлах. Узлы обеспечивают соединение элементов между собой, их перемещения определяют напряженно-деформированное состояние конструкции. Однако большинство типов конечных элементов при описании модели конструкции требуют задания свойств материала.

Поэтому для конечно-элементного анализа деревянных клееных конструкций необходимо иметь сведения о механических характеристиках клеевых композиций в отвержденном состоянии, которые в настоящее время недостаточны, противоречивы и требуют более тщательного изучения.

Цель данной работы заключается в разработке методики определения механических характеристик отвержденного клеевого слоя в виде тонких пленок при растяжении и получение на ее основе экспериментальных данных по установлению модуля продольной упру-

сти E , коэффициента Пуассона μ и модуля сдвига G отвержденного клеевого слоя для ряда клеевых композиций, применяемых при изготовлении клееных конструкций и изделий из древесины.

Основная часть. Поскольку клеевые композиции в адгезионном соединении находятся в виде тонкого слоя, то предполагается, что свойства отвержденного клея, измеренные на образцах в виде тонких пленок, будут адекватны свойствам отвержденного клеевого слоя в составе адгезионного соединения [4].

Отбор образцов. Для испытания отвержденного клеевого слоя в виде тонких пленок изготавливаются образцы в форме прямоугольника шириной 15 мм, длиной 150 мм. Предельные отклонения по ширине образца должны быть $\pm 0,2$ мм.

Образцы отвержденного клеевого слоя в виде тонких пленок могут быть получены путем заливки клеевой композиции в рапель (емкость без дна с прорезью у основания шириной 30 мм и высотой, соответствующей толщине отвержденного клея, например, для поливинилацетатной дисперсии – 200 мкм), установленный на лавсановую пленку, и последующего протягивания его по поверхности пленки. Образцы вырезают на гильотинных ножницах из центральной части отвержденного клеевого слоя на вторые сутки, что позволяет обеспечить края образцов ровными, гладкими, без зазубрин и других видимых дефектов. После производится выдержка образцов в течение 7 сут при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности $50 \pm 5\%$. За толщину образца принимается толщина отвержденного клеевого слоя.

Механические характеристики отвержденного клеевого слоя (модуль продольной упругости, коэффициент Пуассона и модуль сдвига) определяются на подготовленных образцах (в виде тонких пленок) при испытаниях на растяжение по ГОСТ 14236-81 [5]. Для испытания должно быть подготовлено не менее пяти образцов.

Аппаратура. Разрывные и универсальные испытательные машины с приборами для измерения деформаций в продольном и поперечном направлениях и пределом допускаемого значения погрешности измерения при прямом ходе не более $\pm 1\%$ измеряемой нагрузки.

Клеевые композиции, подлежащие испытанию

Марка клеевой композиции	Основа	Производитель, страна	Количество компонентов	Толщина образца, мкм
1. KLEBIT 303.0	ПВАД	KLEIBERIT, Германия	Один	85
2. Смола МКФ с отвердителем	МКФ смола	Akzo Nobel, Швеция	Два	60
3. Cascol 3339	ПВАД	Akzo Nobel, Швеция	Один	68
4. BINDAN-F	ПВАД	BINDAN, Германия	Один	80

Для измерения толщины образца по ГОСТ 17035-86 [6] может быть использован микрометр типа МК модель 102 с допускаемой погрешностью измерения на требуемом диапазоне $\pm 0,004$ мм, который предусматривает определение толщины пленок механическим сканированием.

Проведение испытаний. Испытания проводили для клеевых композиций наиболее используемых в настоящее время на предприятиях по производству изделий из древесины: клей на основе поливинилацетатной дисперсии (ПВАД) и меламинокарбаминоформальдегидной (МКФ) смолы (табл. 1).

Модуль продольной упругости и коэффициент Пуассона отвержденного клеевого слоя рассчитывали на образцах в виде тонких пленок при испытаниях на растяжение. Диапазон измерения определен на контрольных образцах и соответствует упругой деформации образца 0,5–1%.

Количество образцов для испытания – 7 шт. Условия испытания: температура $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительная влажность $(50 \pm 5)\%$.

Перед испытанием на центральную часть образца в продольном и поперечном направлениях наносят метки, ограничивающие расчетную длину l_0 и b_0 , соответственно 50 мм и 9 мм (рис. 1).

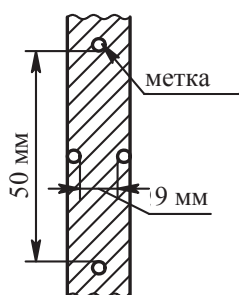


Рис. 1. Схема нанесения меток на образец

Толщину и ширину образцов измеряют в трех местах, в середине образца и на расстоянии 5 мм от краев меток. Из полученных значений вычисляют среднее арифметическое, по которым и вычисляли начальное поперечное сечение A_0 . Расстояние между зажимами испытательной машины должно соответствовать 100 мм.

Результат измерения толщины отвержденного клеевого слоя, для клеев подлежащих испытанию, представлен в табл. 1.

Обработка результатов. Расчет коэффициента Пуассона производят с точностью до 0,01 по следующей формуле:

$$\mu = -\frac{\varepsilon_{\perp}}{\varepsilon_{\parallel}}, \quad (1)$$

где ε_{\perp} – относительная поперечная деформация; ε_{\parallel} – относительная продольная деформация;

Относительная продольная деформация:

$$\varepsilon_{\parallel} = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad (2)$$

где Δl – полное (абсолютное) удлинение; l_0 – расстояние между метками в продольном направлении.

Относительная поперечная деформация

$$\varepsilon_{\perp} = \frac{\Delta b}{b_0}, \quad (3)$$

где Δb – абсолютная поперечная деформация; b_0 – расстояние между метками в поперечном направлении.

Модуль продольной упругости образцов вычисляют с точностью до 0,5 МПа по формуле

$$E = \frac{P \cdot l_0}{A_0 \cdot \Delta l}, \quad (4)$$

где P – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, замеренная на участке упругих деформаций образца; A_0 – поперечное сечение образца.

Модуль сдвига определяют с точностью до 0,5 МПа по формуле

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}. \quad (5)$$

Испытание указанных в табл. 1 клеевых композиций проводили на универсальной испытательной машине TENSOMETR 2020 (Alpha Technologies) с допускаемой погрешностью измерения скорости раздвижения зажимов ± 5 мм/мин. При этом выбрана максимальная, из приведенных в табл. 2 по ГОСТ 14236-81 [5]

Результаты испытания клеевых композиций

Механическая характеристика отвержденного клеевого слоя	Марка клеевой композиции			
	BINDAN-F	KLEBIT 303	Cascol 3339	МКФ
Модуль Юнга, МПа	700	850	550	4500
Коэффициент Пуассона	0,48	0,47	0,49	0,33
Модуль сдвига, МПа	236	289	185	1731

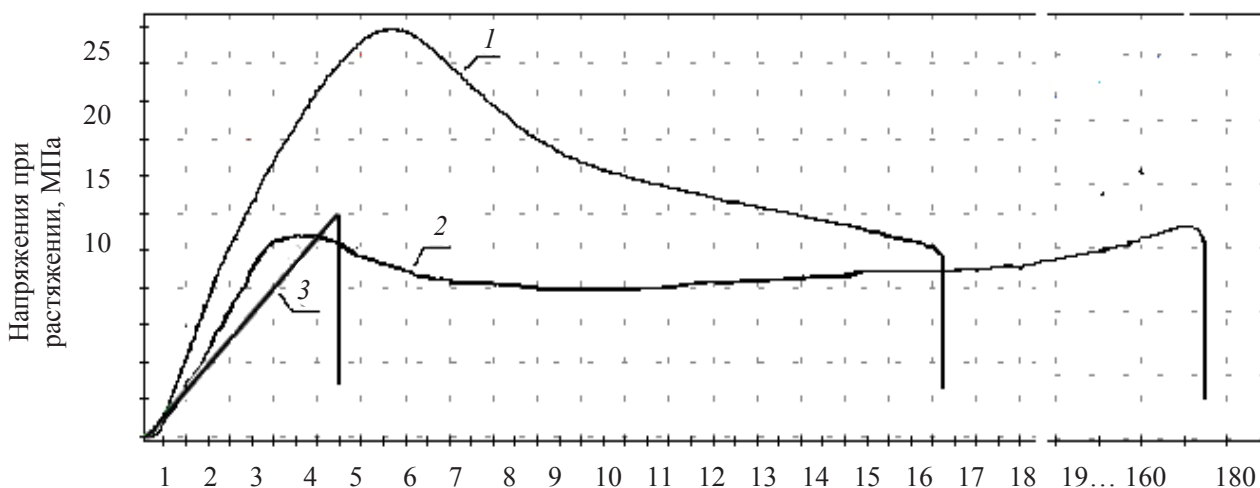


Рис. 2. Типичные зависимости напряжения от деформаций для отвержденного клеевого слоя при растяжении
 1 – клей KLEBIT 303 и Cascol 3339; 2 – клей BINDAN-F;
 3 – клей на основе меламинокарбомидоформальдегидной (МКФ) смолы

скорость так, чтобы время от момента приложения нагрузки к образцу до его разрушения составляло не менее 1 мин при испытании материалов, имеющих предел текучести (ПВАД), и не менее 30 с для материалов, не имеющих предела текучести (клеи на основе МКФ смолы). В итоге для того чтобы получить сопоставимые результаты, принята одинаковая скорость для всех образцов – 50 мм/мин.

Результаты испытания представлены в табл. 2. Типичные зависимости напряжения от деформаций для ряда клеевых композиций при растяжении приведены на рис. 2. Коэффициент вариации полученных значений физико-механических характеристик отвержденного клеевого слоя для всех типов испытываемых клеевых композиций составил не более 8%.

Заключение. Таким образом, разработана методика экспериментальной оценки механических характеристик отвержденного клеевого слоя на образцах в виде тонких пленок при испытаниях на растяжение и определены отсутствующие в доступных источниках информации коэффициент Пуассона и модуль сдвига отвержденного клеевого слоя для наиболее применяемых в деревообработке клеевых композиций. Полученные данные использованы в качестве входных параметров при описании конечно-элементной модели деформаций неоднородных массивов из клееной древесины [7] и

могут быть использованы при выборе и разработке составов клеевых композиций.

Литература

1. Пижурич, Ан. А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для ВУЗов / Ан. А. Пижурич, Ал. А. Пижурич – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
2. Kent, L. L. ANSYS Tutorial Releases 10 / L. L. Kent. – University of Texas at Arlington: SDC Publications. – 2006.
3. Zamani, N. G. CATIA V5 Finite element method Tutorials Release 17 / N. G. Zamani. – University of Windsor: SDC Publications, – 2005.
4. Фрейдин, А. С. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины / А. С. Фрейдин, К. Т. Вуба. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 224 с.
5. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 14236-81. – Введ. 01.07.1981. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. – 8 с.
6. Пластмассы. Методы определения толщины пленок и листов: ГОСТ 17035-86. – Введ. 01.01.1988. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
7. Пардаев, А. С. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния клееного щита из древесины / А. С. Пардаев // Архитектура и строительные науки. – 2008. – № 8. – С. 45–49.