

Авдяков Д.В., канд. техн. наук
Курский государственный университет

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КЛЕЕННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТРЕЩИНАМИ НОРМАЛЬНОГО ОТРЫВА

avd-77@mail.ru

В статье предложена методика, основанная на методах механики разрушения, и представлены результаты экспериментальных исследований, по оценке параметров силового сопротивления клееных деревянных конструкций с трещинами нормального отрыва.

Ключевые слова: силовое сопротивление, трещиностойкость, клееная древесина, трещина, механика разрушения.

Оценка параметров силового сопротивления клееных деревянных конструкций с трещинами нормального отрыва является важным этапом в процессе оценки ресурса безопасной работы конструкций из этого материала во время эксплуатации, поскольку учитывает влияние несовершенств структуры материала, дефектов и повреждений в виде трещин, имеющих как силовое, так и технологическое происхождение.

Использование в данном случае классической теории прочности весьма ограничено, так как в ней рассматриваются вопросы прочности и деформативности главным образом сплошных твердых тел. Для этой цели наиболее целесообразно применять аппарат механики разрушения, опирающийся на несколько критериев разрушения, среди которых наиболее часто используют силовой и энергетический

$$K_I \leq K_{IC}, G_I \leq G_{IC}, \quad (1)$$

где K_I и G_I – коэффициент интенсивности напряжений и интенсивность освобождения энергии, возникающие в вершине трещины от действия внешней нагрузки, а K_{IC} и G_{IC} – их критические значения, являющиеся постоянными характеристиками материала, определяемыми экспериментально.

На сегодняшний день существует несколько методик определения критической интенсивности освобождения энергии цельной древесины, но нет ни одной стандартизованной в нашей стране, аналогично и для клееной.

Так П. Густасон и Х. Ларсон предложили для европейских норм проектирования строительных конструкций (Eurocode 5) для цельной древесины использовать метод, основанный на испытании SENB-образцов [5]. В этом случае G_{IC} определяется как отношение площади диаграммы A «нагрузка P – деформация f » (см. рис. 1) к площади разрушающегося материала в плоскости развития трещины.

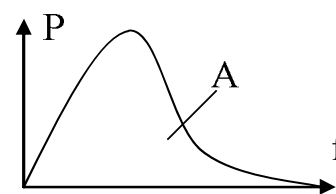


Рис. 1. Диаграмма «нагрузка-деформация» SENB-образцов

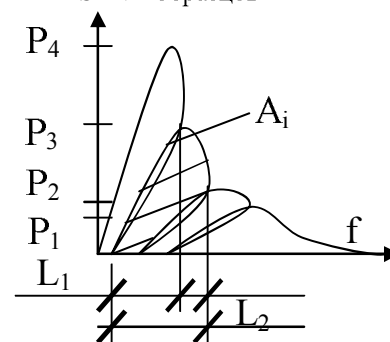


Рис. 2. Вычисление методом поэтапной разгрузки критической интенсивности освобождения энергии

Отрицательной стороной методики является то, что не каждая испытательная машина способна уловить ниспадающую ветвь диаграммы, особенно если геометрические размеры образца малы. Кроме того, для определения G_{IC} необходимо большое количество образцов из однородного материала, что весьма затруднительно для древесины, обладающей высокой вариативностью прочностных и деформативных характеристик.

Другой наиболее известный метод – метод поэтапной разгрузки образца состоит в том, что один и тот же образец несколько раз нагружается и разгружается [1]. В результате критическая интенсивность освобождения энергии определяется как отношение работы внешних сил (заштрихованная часть A_i) к приросту трещины $\Delta = L_2 - L_1$ (рис. 2).

Большой трудностью при реализации данного метода представляется определение длины и формы фронта трещины, а соответственно и

прироста, поскольку впрыскивание подкрашенной жидкости в вершину трещины, как это делается в металлических образцах, ведет к искажению результатов, из-за большой гигроскопичности древесины, а визуальная регистрация с помощью оптических приборов и метод акустической эмиссии не дают желаемой точности.

Метод податливости [1] основан на определении отношения перемещения берегов трещины к прикладываемой нагрузке, полученных экспериментально т.е.

$$C = \frac{\Delta f}{P_{fr}}, \quad (2)$$

где C – податливость образца; Δf – перемещение берегов трещины, равное перемещению захватов испытательной машины (при использовании СТ-образцов); P_{fr} – нагрузка, при которой трещина начинает расти.

Далее критическую интенсивность освобождения энергии определяют

$$G_{ic} = \frac{P_{fr}^2}{t} \cdot \frac{dC}{da}, \quad (3)$$

где t – толщина образца; dC/da – значение производной функции податливости C от длины искусственной трещины a .

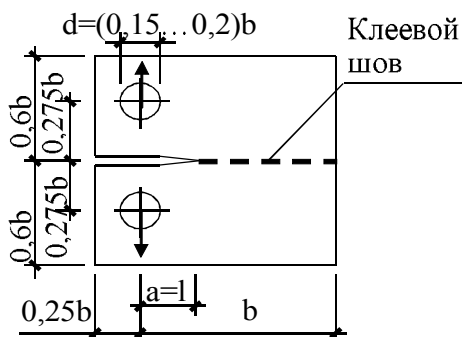


Рис. 3. Компактный образец на внецентренное растяжение

Недостатком метода податливости, как и в случае использования метода, предложенного для Eurocode 5, является применение относительно большого количества образцов. Однако относительная простота использования и нетребовательность к ресурсам испытательного оборудования дает на наш взгляд большое преимущество по сравнению с другими. Поэтому целью нашего исследования является определить возможность применения данного метода для определения критической интенсивности освобождения энергии нормального отрыва на основании испытаний компактных образцов на внецентренное нагружение (СТ-образцов) для дальнейшего

его использования при контроле трещиностойкости изделий и конструкций из клееной древесины в течение всего срока службы.

Поскольку при обследовании зданий и сооружений нередко возникает необходимость определять прочностные и деформативные характеристики материалов путем испытаний в лабораторных условиях малогабаритных образцов, вырезанных из менее всего нагруженных участков реальных конструкций, то СТ-образцы также были вырезаны из деревянных клееных балок (материал – сосна 2-го сорта, клей ФР-12), изготовленных в заводских условиях на ЭЗСК (г. Волоколамск). Толщина доски в клееном пакете составила 32 мм. Искусственную трещину (пропил) выполняли ножовкой по клеевому шву, не доводя ее на 2 мм до проектного значения, а затем на оставшееся расстояние заостряли ее с помощью специально изготовленного полотна толщиной 0,1 мм. Такая технология изготовления была использована для обеспечения наибольшей концентрации напряжений в вершине трещины.

Размеры образца назначили с учетом норм определения трещиностойкости изотропных материалов [6] (рис. 3), величина $b = 45$ мм. Ширину образцов, приняли исходя из условия создания плоского деформированного состояния в вершине трещины [1, 2, 3, 4] $t = 140$ мм.

Испытания провели для шести серий образцов с длиной начальной трещины $a = (0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8)b$ или соответственно 9, 18, 23, 27, 32, 36 мм.

При проведении испытаний усилия на СТ-образцы передавались через вставленные в отверстия плотно прилегающие к древесине металлические цилиндры, закрепленные в захватах. В результате разрывная нагрузка P прикладывалась строго в заданных точках образца. При проведении эксперимента испытательная машина автоматически записывала диаграмму разрушения и определяла величину нагрузки в момент начала роста трещины и перемещение берегов трещины, равное перемещению захватов. Скорость нагружения принимали таким образом, чтобы время от начала приложения нагрузки до начала развития трещины было в пределах 2,5...3,5 мин [1]. Влажность образцов составила 10 %.

Практически во всех образцах трещина зарождалась в клеевом шве, а затем переходила в массив древесины. Разрушение по клеевому шву происходило только в том случае, когда наблюдалось ослабление клеевого соединения вследствие дефекта. Такие образцы исключали из общей выборки, как выпадающие.

Результаты испытаний, а также среднеквадратическое отклонение σ и коэффициент вариации γ разрушающих нагрузок P_{fr} и податливостей S показаны в таблице 1.

По данным таблицы 1 можно сделать вывод, что среднее значение критической интенсивности освобождения энергии равно

$G_{IC} = 730,68 \text{ Н/м}$. Полученные результаты хорошо согласуются с работой [5]. При сравнении видно, что G_{IC} для клееной древесины несколько выше, чем для цельной [5], что видимо объясняется более высокой трещиностойкостью клеевых соединений.

Таблица 1

Результаты испытаний СТ-образцов

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Длина трещина, а					
		9	18	23	27	32	36
$P_{fr \text{ средн}}$	Н	971,25	582,50	578,50	498,50	306,17	164
σ_P	Н	90,58	20,12	30,38	44,85	57,22	40,92
γ_P	%	9,3	3,5	5,3	9	18,7	24,9
$S_{\text{средн.}} \cdot 10^{-2}$	мм/Н	0,302	0,5607	0,5677	0,5315	0,68	1,1286
σ_C	мм/Н	0,0004	0,0005	0,0011	0,0006	0,0012	0,0014
γ_C	%	14	9,72	19,24	11,72	18,02	12,61
G_{IC}	Н/м	3281,56	140,76	141,77	325,15	329,48	165,66
K_{IC}	кПа·м ^{1/2}	245,74	145,40	194,86	225,54	200,30	141,28

По данным испытаний СТ-образцов также определили и коэффициент интенсивности напряжений для каждой длины трещины по формуле, полученной для изотропных материалов (металлов) [6], поскольку, как было показано в работе [1], отличие между величинами K -тарировки Y для древесины и изотропных материалов незначительно:

$$K_{IC} = \frac{P_{fr}}{t\sqrt{b}} Y, \quad (4)$$

где

$$Y = 13,74 \left[1 - 3,380 \left(\frac{a}{b} \right) + 5,572 \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]. \quad (5)$$

В результате при рекомендованной длине трещины $a/b = 0,45 \dots 0,55$ [6], $K_{IC} = 194,86 \text{ кПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Следует отметить, что для определения влияния таких факторов как длительность нагружения, геометрические размеры, строение, порода, температура и влажность древесины склеенных частей требуются дополнительные исследования.

Информация об авторах

Авдяков Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.

E-mail: avd-77@mail.ru

Курский государственный университет.

Россия, 305000, Курск, ул. Радищева, д.33.

Поступила в октябре 2017 г.

© Авдяков Д.В., 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гаппоев М.М. Оценка несущей способности деревянных конструкций методами механики разрушения: Автореф. дис. докт. техн. наук. М., 1996. 34 с.
2. Wrioght K., Fonselius M. Fracture mechanics testing of wood – methods for mode 1 and mode 2 // Combining materials, design, production and properties, RILEM, 1987. 243 p.
3. Bostrom L. Method for determination of the softening behavior of wood and the applicability of a nonlinear fracture mechanics models: Doctoral Thesis Report TVMB – 1012. Lund. Sweden, 1992.
4. Ewing P.D. Williams J.G. Thickness and moisture content effect in the fracture toughness of Scots pine // Mater. Sci. 1979. №14. P. 2959–2966
5. Larsen H.J., Gustafsson P.J. The fracture energy of wood in tension perpendicular to the grain. Results from a joint testing project // Lisbon, 1990. 62 с.
6. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. М.: Изд-во стандартов, 1982. 62 с.

Avdyakov D.V.

**ETHODOLOGY OF ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF THE POWER RESISTANCE
OF GLUED WOODEN CONSTRUCTIONS WITH CRACKS OF NORMAL COUPLING**

The article proposes a technique based on the methods of fracture mechanics and presents the results of experimental studies on the evaluation of the parameters of the strength resistance of glued wooden structures with cracks in the normal separation.

Keywords: *force resistance, crack resistance, glued wood, crack, fracture mechanics*

Information about the authors

Avdyakov Dmitry Vladimirovich, PhD, Assistant professor.

E-mail: avd-77@mail.ru

Kursk State University.

Russia, 305000, Kursk, ul. Radishcheva, 33.

Received in October 2017

© Avdyakov D.V., 2017