

УДК 620.191.33 : 630\*824.7

## РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН В КЛЕЕНОЙ ДРЕВЕСИНЕ

А. С. ФРЕЙДИН, Ч. Т. ОТАРБАЕВ, Т. Я. ЛЕМЕШОВА

ЦНИИСК

При разрушении цельной и клееной древесины, так же как и других твердых тел, происходит зарождение и развитие трещин. На начальном этапе возникают зародышевые микротрещины, которые в наиболее напряженном или наиболее дефектном месте сливаются в магистральную трещину, приводящую к разрушению.

Дополнительные возможности исследования этого процесса появляются при применении сравнительно новых методов: акустической эмиссии и определения энергии разрушения [2, 5]. По первому методу регистрируют звуковые импульсы при образовании и развитии трещин, а по второму определяют энергию инициирования роста и остановки развития трещин в образцах с начальным дефектом.

Ранее было показано [4—6], что энергия разрушения зависит от направления волокон и размера трахенд в вершине растущей трещины, давления при склеивании и чистоты поверхности склеиваемой древесины. Влияние упругих свойств клеев на энергию разрушения нами не установлено. Что касается акустической эмиссии, то известно только об ее использовании для контроля режимов сушки древесины.

Ниже приведены результаты определения акустической эмиссии и энергии разрушения в древесине, склеенной фенольно-резорциновым клеем ФРФ-50, широко применяемым в производстве деревянных клееных конструкций. Исследовали также влияние на энергию разрушения модификации указанного клея жидким каучуком НВБ-2. Для сравнения энергию разрушения определяли при склеивании древесины низкомолекулярными эластомерными клеями — полисульфидным герметиком УТ-32 и полихлоропреновым клеем 88-Н.

Акустическую эмиссию исследовали на образцах из древесины сосны (рис. 1, а, б) в зависимости от напряженного состояния (сдвиг при сжатии и сдвиг при изгибе) и масштабного фактора. Дефекты в клееных балках создавали с помощью прямоугольных кусков полиэтиленовой пленки, которые закладывали в клеевой шов. Расстояние между двумя непроклеенными участками составляло  $1/3$  от длины зоны скалывания, а их суммарная площадь — 10 % от площади скалывания.

По мере нагружения фиксировали напряжение, при котором начинается акустическая эмиссия (треск), и регистрировали число импульсов с помощью микрофонов средней чувствительности, расположенных на расстоянии 1,0—1,5 м от испытываемой конструкции. Это ограничивало информацию о процессе разрушения наиболее явными его проявлениями, что на данном этапе исследований оказалось достаточным. Импульсы записывали на магнитную ленту, затем оценивали общее число импульсов от начала их появления до разрушения образца.

Энергию инициирования и остановки развития трещин определяли на образцах с переменной толщиной рабочей части (рис. 1, в). Размеры наклонной части образцов вычисляли, принимая фактор формы  $m = 1,18 \text{ см}^{-1}$  и исходя из выражения:

$$m = \frac{3a^2}{h^3} + \frac{1}{h},$$

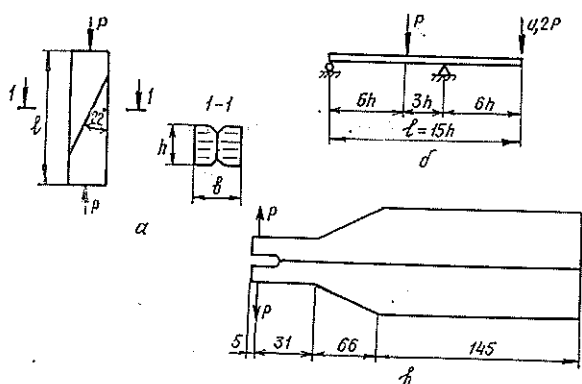


Рис. 1. Схема испытания образцов из клееной древесины на сдвиг при сжатии под углом к волокнам (а) с размерами образца: ( $b$  — ширина,  $h$  — высота,  $l$  — длина):  $12 \times 20 \times 60$  мм;  $24 \times 40 \times 120$ ;  $36 \times 60 \times 180$ ;  $90 \times 140 \times 360$  мм; балок на сдвиг при изгибе (б) с размерами:  $20 \times 50 \times 800$  мм,  $40 \times 100 \times 1600$ ,  $80 \times 200 \times 320$ ,  $120 \times 300 \times 480$  мм и консольных образцов на неравномерный отрыв (в).

где  $a$  — длина трещины;

$h$  — высота образца в наклонной части.

При склеивании угол наклона волокон к клеевому шву составлял  $30^\circ$ , а для создания дефекта в начальный участок шва закладывали лавсановую пленку.

Энергию иницирования роста и остановки развития трещины для наклонной части образца определяли по формуле

$$G = \frac{4p_c^2}{Eb^3} m,$$

где  $G$  — энергия, Дж/м<sup>2</sup>;

$p_c$  — нагрузка, Н;

$b$  — ширина образца, мм;

$E$  — модуль упругости, МПа.

Данные по акустической эмиссии приведены в табл. 1, из которой видно, что эмиссия существенно зависит от масштабного фактора. С увеличением размеров образцов уменьшается напряжение, при котором начинается эмиссия  $\tau_{ак}$ . Это подтверждает предпосылку о снижении локальной прочности материала с увеличением его объема в соответствии с основными положениями дефектно-статистической трактовки масштабного фактора. С увеличением размеров клееной древесины растет число акустических импульсов, среди которых возрастает число отдельных резких и сильных сигналов.

Непроклеенные участки заметно снижают напряжение  $\tau_{ак}$ . В балках размерами  $40 \times 100 \times 1600$  мм такое снижение составило 34 %, а в балках  $80 \times 200 \times 3200$  мм — 16 % по сравнению с образцами без начальных дефектов. Отношение  $\tau_{ак}/\tau_{вр}$  несколько уменьшилось, в более значительной степени снизилось число акустических импульсов до разрушения (на 33—40 %). Это свидетельствует, что хотя дефекты в зоне клевого шва влияют на развитие трещины, разрушение происходит преимущественно по древесине, что не позволяет идентифицировать развитие магистральной трещины с зоной клевого шва.

Для анализа влияния напряженного состояния рассмотрим образцы размерами  $36 \times 60 \times 180$  мм (сдвиг при сжатии) и  $20 \times 50 \times 800$  мм (сдвиг при изгибе), у которых площади скалывания приблизительно одинаковы. У образцов, испытываемых на сдвиг при сжатии, число сигналов больше, а уровень напряжений, при которых они появляются, меньше по сравнению с образцами, испытываемыми на сдвиг при изгибе. Очевидно, это связано с тем, что во втором случае значительная доля

Таблица 1

Схема загрузки	Размеры образца, мм	Число образцов, шт.	Начало эмиссии $\tau_{ак}$ , МПа	Уровень $\tau_{ак}/\tau_{вр}$	Число импульсов до разрушения
Сдвиг при изгибе	20 × 50 × 800	8	$\frac{8,7}{7,7-9,7}$	0,94	$\frac{2}{0-5}$
	40 × 100 × 1600	10	$\frac{3,3}{2,0-4,8}$	0,46	$\frac{33}{20-48}$
	80 × 400 × 3200	10	$\frac{1,49}{1,13-1,88}$	0,27	$\frac{90}{60-130}$
	120 × 300 × 4800	8	$\frac{0,8}{0,63-0,97}$	0,18	$\frac{300}{220-450}$
То же с непроклеенным участком	40 × 100 × 1600	8	$\frac{2,17}{1,25-3,63}$	0,39	$\frac{20}{8-40}$
	80 × 200 × 3200	4	$\frac{1,25}{1,00-1,69}$	0,28	$\frac{2}{30-100}$
Сдвиг при сжатии под углом	24 × 40 × 120	10	$\frac{9,8}{9,00-10,50}$	0,98	$\frac{2}{1-3}$
	36 × 60 × 180	20	$\frac{7,62}{5,00-9,27}$	0,72	$\frac{6}{1-15}$
	90 × 140 × 360	20	$\frac{1,55}{1,44-1,70}$	0,25	$\frac{180}{150-200}$

Примечание. В числителе приведены средние значения; в знаменателе — наименьшее и наибольшее значения;  $\tau_{вр}$  — средняя кратковременная прочность.

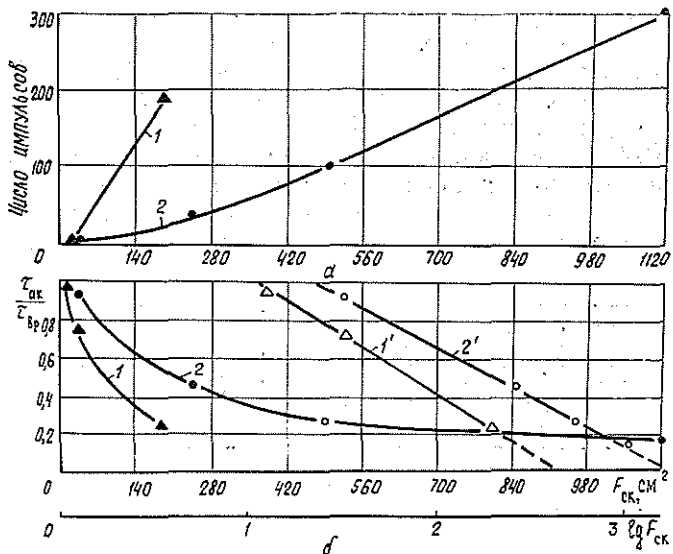


Рис. 2. Зависимость числа импульсов акустической эмиссии (а) и уровня начала эмиссии (б) от площади скалывания в полулогарифмических (1', 2') и обычных координатах (1, 2).

1, 1' — сдвиг при сжатии под углом; 2, 2' — сдвиг при изгибе.

нагрузки приходится на нормальные напряжения, роль которых в процессе разрушения в данном случае меньше, чем сдвигающих напряже-

ний. С другой стороны, известно [1], что в случае испытаний клееной древесины на сдвиг при изгибе возможность перераспределения напряжений больше по сравнению со сдвигом при сжатии (скальванием).

Из рис. 2 видно, как связаны уровень напряжения  $\tau_{ак}$  и площадь скальвания  $F_{ск}$ . Для образцов обоих типов наблюдается некоторая линейная зависимость между  $\tau_{ак}/\tau_{вр}$  и  $\lg F_{ск}$ . Линейная зависимость акустической эмиссии от  $\lg F_{ск}$  косвенно подтверждает тесную взаимосвязь начала разрушения материала с кратковременной прочностью  $\tau_{вр}$ , которая также выражается в координатах  $\tau_{вр} - \lg F_{ск}$  прямолинейной зависимостью [1].

Особо следует отметить, что предыстория получения образцов оказывает влияние на проявление акустической эмиссии.

Например, если образцы  $36 \times 60 \times 180$  мм и  $90 \times 140 \times 360$  мм разрушать после предварительной выдержки в течение одного года под постоянной нагрузкой, равной 0,4 от  $\tau_{вр}$ , то уровень напряжения с  $\tau_{ак}$  в первых образцах повышается от 0,73 до 0,90, а во вторых — с 0,25 до 0,50. При этом число сигналов до разрушения сокращается соответственно в 2 и 6 раз.

Повышение уровня  $\tau_{ак}/\tau_{вр}$  свидетельствует о том, что под действием постоянной нагрузки происходит разрыв наиболее напряженных связей с образованием микротрещин, что приводит к уменьшению рабочего сечения и, соответственно, снижению  $\tau_{вр}$ . С другой стороны,  $\tau_{ак}$  возрастает в результате того, что при повторном нагружении образца в процессе его разрушения кратковременной нагрузкой до прежнего уровня  $\tau_{ак}/\tau_{вр}$  перенапряженные участки, которые создавали акустическую эмиссию при первом нагружении постоянной нагрузкой, уже исчерпаны. Очевидно, по этой же причине снижается число импульсов до разрушения при повторном нагружении.

В виде звуковой эмиссии выделяется только часть энергии разрушения. Ее полное значение определяют при исследовании развития единичной трещины в процессе испытаний двухконсольных образцов (рис. 1, в) при гарантированном разрушении по клеевому шву. Оказалось, что средняя энергия инициирования роста трещины образцов на немодифицированном клее ФРФ-50 составляет 42—60 Дж/м<sup>2</sup>, а энергия остановки развития трещины — 27—36 Дж/м<sup>2</sup>. Введение 15 мас. ч тиокола НВБ-2 не повлияло заметно на энергию разрушения, но при 25 мас. ч энергия инициирования роста трещины повысилась до 73, а энергия остановки развития трещины — до 58 Дж/м<sup>2</sup>. Это связано с изменением деформационных свойств клея (табл. 2).

Таблица 2

Содержание тиокола НВБ-2, мас. ч. на 100 мас. ч. смолы ФРФ-50	Прочность при растяжении, МПа	Разрывная деформация, %	Модуль упругости, МПа	Модуль сдвига, МПа
0	36,1	12,5	1160	421
15	15,5	3,1	665	233
35	12,5	4,5	370	125

При испытаниях соединений на герметике УТ-32 и клее 88-Н энергия разрушения значительно увеличилась и составила соответственно 80 и 131 Дж/м<sup>2</sup>. Увеличение энергии инициирования роста трещин с снижением модуля упругости клея объясняется повышением способности к диссипации энергии клеевым швом. Известно [3], что при равномерном отрыве (определяющем напряженное состояние испытуемых образцов) рост податливости шва снижает концентрацию напря-

жений, а действующие нагрузки распределяются на большую его площадь.

Увеличение влажности древесины до соответствующей относительной влажности воздуха 95—100 % пластифицировало ее, что несколько повысило энергию инициирования роста трещин соединений на клее ФРФ-50 по сравнению с сухой древесиной (до 70 Дж/м<sup>2</sup>), но снизило энергию остановки развития трещин (до 23—37 Дж/м<sup>2</sup>). Следовательно, механизм и эффективность пластификации склеиваемого материала неравноценны пластификации клея.

Можно было предположить, что на энергетический показатель повлияет также модуль упругости склеиваемого материала. Оказалось, что энергия разрушения соединений на клее ФРФ-50 снижается с увеличением модуля упругости древесины, однако явная линейная корреляция отмечается для энергии остановки роста трещины. Меньшая корреляционная зависимость для энергии инициирования трещины может быть связана с различным влиянием зародышевого дефекта, формируемого при склеивании. Небольшие отклонения в расположении лавсановой пленки, давлении склеивания и т. п. могут привести к разному радиусу закругления неразрушенного клея в устье трещины и, соответственно, к колебаниям начального энергетического показателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Масштабный фактор и его влияние на прочность клееной древесины/ А. С. Фрейдин, Ч. Т. Отарбаев, Е. М. Знаменский, К. Т. Вуба.— Изв. высш. учеб. заведений. Стр-во и архит., 1983, № 9, с. 18—22. [2]. Петерлин А. Акустическая эмиссия при растяжении полимеров.— В кн.: Новейшие инструментальные методы исследования структуры полимеров/ Пер. с англ. М.: Мир, 1982, с. 21—30. [3]. Фрейдин А. С. Прочность и долговечность клеевых соединений.— 2-е изд.— М.: Химия, 1981.— 270 с. [4]. Ebewell R. Wood and Fiber. 1980, v. 12, N 1, p. 40—65. [5]. Shniwind A. Wood and Fiber. 1977, v. 9, N 3, p. 216—226. [6]. White M. Wood and Science. 1977, v. 10, N 1, p. 6—14.

Поступила 14 января 1985 г.

УДК 631.571 + 630\*812

### ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ЧИСЛЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООВОГО ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ КОРЫ И ДРЕВЕСИНЫ

Б. Е. ВЬЮКОВ, Е. И. МИШУРА

ВНПОбумпром

В настоящее время не существует единой теории процесса окорки древесного сырья. На наш взгляд, это связано с недостаточной изученностью физико-механических и тепловых свойств коры, подлежащей удалению с поверхности древесных балансов. Достаточно сказать, что ни для одной из пород коры не были определены такие характеристики, как модуль упругости, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, коэффициент теплового линейного расширения и др.

Нами экспериментально определены коэффициенты теплового линейного расширения вдоль волокон у коры ели, сосны, березы, бука и осины. Для получения более полного представления о процессе окорки параллельно находили коэффициенты теплового линейного расширения вдоль волокон у близлежащих слоев древесины тех же образцов.

Исследования проводили методом кварцевого дилатометра по стандартной методике. Использовали образцы (размеры 4 × 4 × 50 мм) коры и древесины в виде па-