

Кандидат технических наук Л. И. ОШЕРОВИЧ

## СОПРОТИВЛЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ РАСТЯЖЕНИЮ ПОПЕРЕК ВОЛОКОН

Сопротивление древесины растяжению поперек волокон имеет существенное значение. Знание этой механической характеристики необходимо для выяснения внутренних напряжений древесины при сушке и для оценки ее склонности к растрескиванию. Существенное влияние имеет также сопротивление древесины растяжению поперек волокон при продольном растяжении и изгибе косослойных элементов, при наличии краевых ослаблений в элементах, работающих на изгиб. В этом случае в результате действия растягивающих усилий, направленных поперек волокон, происходит отрыв волокон.

В последнее время Ф. П. Белянкин, В. Г. Михайлов и Н. М. Фигурнов (1, 2, 3) показали, что растяжение поперек волокон сопровождается другие деформации древесины.

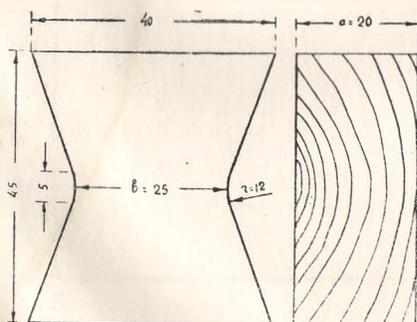


Рис. 1.  
Стандартный образец для испытания  
древесины на растяжение поперек  
волокон.

Образец, предусмотренный действующим стандартом—ГОСТ 6336-52, для испытаний на разрыв древесины поперек волокон, имеет ряд недостатков. В большинстве случаев он разрушается в головках или в переходной части (шейке) ввиду большой концентрации напряжений в местах приложения захватов (рис. 1).

В этой работе автором разрешаются следующие задачи: 1) выбор наиболее рациональной формы стандартного образца для испытания древесины на растяжение поперек волокон; 2) исследование характера зависимости предела проч-

ности и модуля упругости при растяжении поперек волокон от влажности древесины и скорости нагружения; 3) определение предела прочности древесины разных пород на растяжение поперек волокон; 4) определение предела пластического течения, поправочных коэффициентов на влажность к пределу прочности и модулю упругости на рекомендуемом образце; 5) установление стандартной методики испытания на растяжение древесины поперек волокон. Кроме того, автор провел исследование величин модулей упругости ранней и поздней древесины сосны при растяжении поперек волокон и их соотношение.

Так как древесина плохо работает на скалывание, то при неудачном выборе формы образца разрушение опять может произойти не от разрыва волокон, а от действия скалывающих усилий. Чтобы устранить явление скалывания, необходимо подобрать наиболее выгодное соотношение между площадью сечения рабочей части образца, сечением его головок и их длиной при постепенном переходе поперечных сечений рабочей части и головок.

Для выбора формы образца было испытано 9 типов их различной формы с разной длиной рабочей части и радиусами выкружек.

Анализ полученных результатов дал возможность выбрать образец, который, разрушаясь в рабочей части при высоком показателе сопротивления древесины на растяжение поперек волокон, удобен для измерения деформаций и прост в изготовлении (рис. 2).

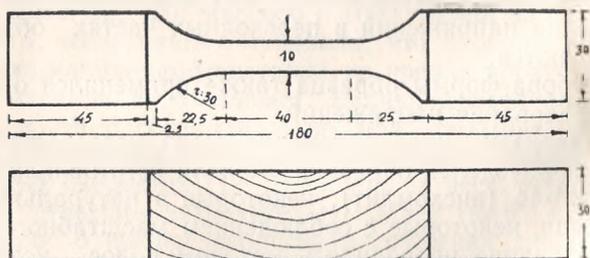


Рис. 2.

Рекомендуемый образец для испытания древесины на растяжение поперек волокон.

Чтобы устранить влияние масштабного фактора, были испытаны образцы, имеющие такую же форму, как и выбранный, но с площадью рабочей части  $2 \times 2,5$  см, т. е. равной площади образцов ГОСТа. Испытания показали, что у этих образцов примерно такой же предел прочности, как и у рекомендуемых автором, т. е. значительно выше, чем у гостовских.

В то время как сосновые образцы, изготовленные по ГОСТу, разрушались при напряжениях в среднем  $20-25$  кг/см<sup>2</sup>,

рекомендуемые имели предел прочности  $35 \text{ кг/см}^2$  для тангенциального и  $50 \text{ кг/см}^2$ —для радиального растяжения.

Была проверена пригодность выбранного образца для испытания древесины разных пород. Для этой цели образцы изготавливались, кроме древесины сосны, еще из древесины дуба и березы (представители пород хвойных, кольцепоровых и рассеяннопоровых). В них разрыв также происходил в рабочей части с высоким сопротивлением разрыву поперек волокон.

Образец рекомендуемого типа вполне пригоден для измерения деформаций. Таким образом, он является как бы универсальным, и тем самым устраняется необходимость изготовления разных образцов для определения предела прочности и модуля упругости при растяжении поперек волокон.

Кроме того, рекомендуемый образец может быть испытан не только на приборе Михаэлиса, а на любой испытательной машине. Захваты к нему стандартные, они легко могут быть изготовлены и использованы для других видов испытаний.

Для выяснения характера возникающих напряжений и их распределения и для сравнения рекомендуемого образца с образцами других типов были использованы метод лаковых покрытий и оптический метод исследования напряжений.

Для исследования методом лаковых покрытий образец, покрытый тонким слоем лака, подвергался постепенному нагружению до появления трещин в слое лака. Направление и распределение трещин показало, что при растяжении возникают только нормальные напряжения, распределенные равномерно. Концентрации напряжений в переходных частях образца не обнаруживаются.

Для выбора формы образца также применялся оптический метод исследования напряжений.

На поляризационной установке было исследовано шесть разных типов моделей образцов. Модели изготавливались из материала ИМ-44 (висхонлит), некоторые в натуральную величину образца, некоторые с соблюдением масштабного подобия 1:2. Исследование проводилось методом полос, который может быть применен для выбора рациональной по условиям прочности формы образца. Все образцы фотографировались при нагрузках 20, 40 и 60 кг.

Результаты исследований показали, что в образце, рекомендуемом ГОСТом, в местах приложения захватов появляются концентрации напряжений даже при незначительной нагрузке; при увеличении же нагрузки образуются места со значительными концентрациями напряжений, а именно, коэффициент концентраций в этих образцах равен:

$$K = \frac{n_{\max}}{n_A} \cdot \frac{F_B}{F_A} = 2,8.$$

В образцах рекомендуемого типа концентрации напряжений не наблюдается, и при увеличении нагрузки увеличивается порядок полос, проходящих через рабочую часть.

Сфотографированные изоклины также подтвердили однородность напряжений в рабочей части образца рекомендуемого типа.

Напряжение, определенное на контуре, исходя из порядковых номеров полос по уравнению

$$\sigma_{об.} = \frac{d_M}{d_{об.}} \cdot \frac{3}{\alpha} \sigma_M = 0,3 P,$$

почти равно напряжению, вычисленному теоретически ( $\sigma = 0,33P$ ).

Таким образом, оптический метод исследования напряжений полностью подтвердил правильность выбора формы образца.

Для выработки стандартной методики с рекомендуемыми образцами был приведен ряд испытаний. Вначале было установлено влияние скорости нагружения при испытании древесины на растяжении поперек волокон. Для этого были изготовлены образцы из выдержанной древесины сосны, которая обеспечивала устойчивую и практически одинаковую влажность всех их. Сравнимые образцы вырезались из одного куска древесины непосредственно один за другим по длине волокон. Чтобы полнее выявить влияние скорости нагружения, приняты были довольно широкие пределы изменения ее, а именно: 1, 10, 30, 120, 300, 600 и 1000 кг/мин на весь образец. Результаты исследования показали, что скорость нагружения в пределах машинных испытаний на предел прочности существенного влияния не оказывает. Величина предела прочности остается почти постоянной даже при больших изменениях скорости нагружения (от 30 до 1000 кг/мин). Только при очень пониженных скоростях (1—10 кг/мин на весь образец) сопротивление древесины незначительно падает (на 6%). Вследствие этого вопрос о выборе скорости нагружения приходится решать преимущественно с точки зрения удобства проведения испытания.

На основании проведенных опытов можно сделать вывод, что наиболее удобной при испытаниях надо считать скорость нагружения 300 кг/мин на весь образец. Испытание при такой скорости занимает примерно 20 сек. для тангенциальных и 30 сек. для радиальных образцов из сосны. В дальнейшем все испытания производились со скоростью нагружения 300 кг/мин на весь образец.

Следующий цикл испытаний состоял в определении предела прочности и предела пластического течения при растяжении поперек волокон на рекомендуемом образце.

Испытания проводились на пятитонной универсальной гидравлической машине с образцами двух типов—тангенциальными и радиальными, в основном изготовленными из воздушно-сухой древесины сосны. Наклейки приклеивались таким образом, чтобы с зажимами испытательной машины соприкасались их торцевые части.

В результате испытаний получены следующие показатели: предел прочности при растяжении поперек волокон в тангенциальном направлении в среднем равен  $34,7 \text{ кг/см}^2$ , в радиальном направлении— $50 \text{ кг/см}^2$  (при 15% влажности древесины). Следовательно, предел прочности при тангенциальном растяжении существенно отличается от предела прочности при радиальном растяжении.

По литературным данным, предел прочности для древесины сосны при тангенциальном растяжении мало отличается от предела прочности при радиальном растяжении, и величина его колеблется в пределах  $20—26 \text{ кг/см}^2$ .

Были также испытаны образцы из дуба и березы, которые тоже показали значительно более высокие показатели предела прочности, чем имеющиеся в литературных данных, а именно: для дуба при радиальном растяжении получен предел прочности  $98 \text{ кг/см}^2$ , для березы при тангенциальном растяжении  $82 \text{ кг/см}^2$  в отличие от  $58 \text{ кг/см}^2$  и  $48 \text{ кг/см}^2$ . Следовательно, при испытании рекомендуемых образцов получают более высокие показатели предела прочности на растяжение древесины поперек волокон, в то время как предел прочности при растяжении вдоль волокон не отличается от такового, указанного в литературе и в ГОСТе 4631-49.

Определен предел пластического течения для древесины сосны и березы. По результатам испытаний, согласно рекомендуемой методике (4), построены диаграммы сила—деформация и диаграммы разности полных деформаций. Установлено, что величина предела пластического течения для сосны составляет 86—88%, а для древесины березы—90—92% от предела прочности при растяжении поперек волокон.

Были проведены исследования влияния влажности на предел прочности древесины и определение поправочного коэффициента на влажность к пределу прочности при растяжении поперек волокон на рекомендуемом образце. Для этого были испытаны сосновые образцы трех градаций влажности: 8, 15 и 22%. Для достижения каждой группой образцов определенной влажности их помещали в эксикаторы над соответствующими водными растворами серной кислоты и выдерживали там 2,5 месяца. Сравнимые образцы брались из каждой рейки в определенном порядке, по одному в каждую группу. При таком отборе все группы не различались по качеству древесины.

Наименьшая сумма квадратов отклонений получается в уравнении, составленном по методу Д. В. Мартинец (5). В данном случае это будет:

для тангенциального растяжения

$$\sigma_{\text{пч.}} = 0,0433 w^2 - 2,60w + 63,89,$$

для радиального растяжения

$$\tau_{\text{пч.}} = 0,0402 w^2 - 2,425w + 84,5.$$

Кривые, соответствующие этим уравнениям, хорошо укладываются на нанесенный «рой» точек.

Поправочный коэффициент на влажность  $x$  в уравнении

$$\sigma_{11} = [1 + (w - 15)]$$

получился равным для тангенциальных образцов 0,036 и для радиальных 0,021.

При пользовании формулой, рекомендуемой Мартинец,

$$\sigma_w = \sigma_{\text{т.п.}} [1 + \rho (w - w_{\text{т.п.}})^2]$$

в нашем случае  $\rho$  получилось равным 0,00176;

$\sigma_{\text{т.п.}} = 24,89 \text{ кг/см}^2$ , и уравнение принимает следующий вид:

$$\tau_{\text{пч.}} = 24,89 [1 + 0,00176 (w - 30)^2].$$

Следующий цикл испытания состоял в разработке вопроса определения модуля упругости при растяжении поперек волокон на рекомендуемом образце и зависимость его величины от влажности древесины. Для определения деформации применялись тензометры рычажного типа «ТР» с базой 20 мм. Чтобы исключить влияние некоторой кривизны, которая может получиться при растяжении, деформации измерялись одновременно с двух противоположных сторон образца, для чего была изготовлена сдвоенная струбцина, при помощи которой на образце укреплялись два тензометра, один против другого, и при вычислении деформации бралось среднее арифметическое из их показаний.

Ввиду того, что пределы прочности на растяжение поперек волокон в образцах рекомендуемого типа выше, чем в гостовских, возможно увеличить верхний предел нагружения до 13,3 кг/см<sup>2</sup>, что дает 40 кг на весь образец. За нижний предел нагружения принято 3,3 кг/см<sup>2</sup>, что дает нагрузку в 10 кг на весь образец. Таким образом, при некотором увеличении напряжения приняты верхний и нижний пределы нагружения, рекомендуемые ГОСТом, т. е. 10 и 40 кг.

Проведенные опыты показали, что данные пределы нагружения для образца рекомендуемой формы вполне приемлемы, так как обеспечивают достаточную точность в определении модуля упругости, и в процессе испытания не происходит разрушения образца. Возможно даже увеличение верхнего предела

до 50 кг, что в некоторых случаях применялось. Испытания проводились согласно ГОСТу 6336-52. Для определения влияния влажности на величину модуля упругости испытывались также образцы трех градаций влажности как тангенциальные, так и радиальные.

В итоге выяснено, что образец рекомендуемого типа вполне пригоден для измерений деформаций.

Построенные диаграммы зависимости модулей упругости древесины сосны от влажности показали линейную зависимость таковых от влажности и при испытании образца рекомендуемого типа, т. е. согласно ГОСТу.

$$E_{15} = E_w + \alpha (w - 15).$$

Коэффициент  $\alpha$  получился различным для тангенциальных и радиальных образцов, а именно:  $0,17 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$  для тангенциальных и  $0,30 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$  для радиальных, в среднем  $\alpha = 0,235 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$ .

Модуль упругости при растяжении поперек волокон в радиальном направлении выше, чем в тангенциальном. Отношение модуля упругости при растяжении в радиальном направлении к таковому в тангенциальном направлении составляет в среднем 1,34, что почти совпадает с данными Н. Л. Леонтьева (6), приводящего это отношение для сосны, равное 1,37.

Последний цикл испытаний состоял в определении модуля упругости ранней и поздней древесины. Исследованиями доказано, что различие в свойствах ранней и поздней древесины очень большое.

Определение величины модулей упругости ранней и поздней древесины производилось методом, предложенным Ю. М. Ивановым (7), по которому при радиальном растяжении модули упругости ранней и поздней древесины будут равны:

$$E_1 = \frac{\sigma(h_1 h'_2 - h_2 h'_1)}{h'_2 H \epsilon - h_2 H' \epsilon},$$

$$E_2 = \frac{\sigma[h_1 h'_2 - h_2 h'_1]}{h_1 H' \epsilon - h'_1 H \epsilon}.$$

Для получения  $E_1$  и  $E_2$  экспериментальным путем менялась не база тензометров, а положение тензометров на образце менялось таким образом, чтобы были различные суммы  $h_1$  и  $h'_1$  и  $h_2$  и  $h'_2$ , подбирая соответствующие образцы. Вычисленный средний модуль упругости по формуле, предложенной Ю. М. Ивановым,

$$E = \frac{S}{m + (1 - m) S} E_1$$

подтвердился экспериментально.

В итоге испытания выяснено, что отношение модуля упругости поздней древесины к модулю упругости ранней древесины в среднем равняется

$$S = \frac{E_2}{E_1} = 4,8,$$

$$(E_2)_{\text{ср.}} = 23000 \text{ кг/см}^2; (E_1)_{\text{ср.}} = 4800 \text{ кг/см}^2.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Белянкин Ф. П., Исследования стандартного образца на скалывание вдоль волокон. Заводская лаборатория, № 10, 1951.
2. Михайлов В. Г., Скалывание в клееных дощатых стыках. Сборник ЦНИПС под ред. проф. Ю. М. Иванова «Вопросы прочности и изготовления деревянных конструкций», Стройиздат, Москва, 1952.
3. Фигурнов Н. М., Работа древесины на скалывание. Труды Военно-транспортной академии, № 21, 1949.
4. Методика определения показателей механических свойств древесины, АН СССР, 1949.
5. Мартинец Д. В., Исследование зависимости предела пластического течения от влажности и объемного веса древесины. Труды Саратовского автодорожного института им. В. М. Молотова, сборник X, 1950.
6. Леонтьев Н. Л., Упругие деформации древесины, 1953.
7. Иванов Ю. М., О деформациях и напряжениях в древесине как неоднородном материале. Труды Института леса АН СССР, т. IV, 1949.