

**ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ПЛАСТИКА (ЦЕЛЬНОГО)
НА СТАТИЧЕСКИЙ ИЗГИБ**

Предел прочности при растяжении поздних слоев древесины выше более чем в 3 раза прочности ранних, а в свою очередь модуль упругости их выше в 6—10 раз. Различие в прочности приводит к возникновению на границе слоев в напряженном состоянии концентрации напряжений; в результате их действия образуются продольные трещины [1]. В древесном пластике также имеются различия в свойствах поздней и ранней древесины годовичного слоя. При определении предела прочности при статическом изгибе древесного пластика пихты [2, 3] часть образцов разрушилась от скалывания вдоль волокон, а не от разрыва волокон нижнего пояса.

Результаты испытаний на длительную прочность при изгибе показали, что и в этом случае значительное число образцов разрушается от сдвига вдоль волокон. Так, в серии из 7 образцов четыре образца разрушились от сдвига, а три от разрыва волокон по нижнему поясу. В одном случае скол произошел по всей длине образца, в остальных — на половине.

В целях более детального исследования свойств древесного пластика при статическом изгибе были изменены условия испытаний. В опыте при изгибе образцов ($h : b = 1$) силой в середине пролета менялось расстояние между опорами. Замеры прогиба образцов производились по оси приложения нагрузки в момент излома. На основе результатов испытаний определялся предел прочности ($\sigma_{из}^{пр}$) и мгновенный модуль упругости ($E_{мг}^{раз}$). Для проверки правильности предположения о влиянии расстояния между опорами на величину $\sigma_{из}^{пр}$ и $E_{мг}^{раз}$ проводили оценку значимости среднего значения [4]. Расчеты показали (табл. 1, 2), что разница показателей $\sigma_{из}^{пр}$ и $E_{мг}^{раз}$ при длине между опорами $l_{оп}$, равной 40 и 80 мм, и при $l_{оп}$, равной 80 и 120 мм, при 5% уровне значимости является существенной. Таким образом, на основании данных проведенного эксперимента можно утверждать, что с увеличением расстояния между опорами до 120 мм модуль упругости при разрушающих нагрузках существенно растет. Дальнейшее увеличение расстояния (более 120 мм) дает относительный рост показателей в пределах ошибки опыта. При $l_{оп}$, равной 40 и 80 мм, во всех случаях разрушению предшествовал сдвиг вдоль волокон. Несколько отличный вид разрушения наблюдается при $l_{оп} = 120$ мм. В этом случае 33% образцов разрушилось от излома,

Электронный архив УГЛТУ

остальные — от сдвига. Причем отмечались случаи разрушения от сдвига в 2—4 местах по высоте, и образец распадался на отдельные пластинки. При $l_{оп}$, равной 180 и 240 мм, образцы выходили из строя в 90% случаев от разрушения нижних волокон балки.

Таблица 1

Зависимость предела прочности ($\sigma_{из}^{пр}$) древесного пластика пихты при изгибе от расстояния между опорами

Расстояние между опорами, мм	M, МПа	$\pm \sigma$, МПа	m, МПа	V, %	P, %	Достоверность разницы показателей
40	193,0	27,9	5,1	14,4	2,6	достоверна
80	292,3	55,9	10,2	19,1	3,5	не достоверна
120	308,8	40,3	7,4	13,1	2,4	не достоверна
180	321,4	59,7	10,9	18,6	3,4	не достоверна
240	303,0	34,5	6,3	11,4	2,1	

Следующая серия образцов с соотношением $h:b > 2$ и $l_{оп} = 120$ мм испытывалась по схеме с 2 силами в пролете. Во всех случаях разрушение произошло от сдвигов. У отдельных образцов наблюдался сдвиг в средней части образца между точками при-

Таблица 2

Зависимость модуля упругости ($E_{мг}^{раз}$) при изгибе древесного пластика пихты от расстояния между опорами

Расстояние между опорами, мм	M, МПа	$\pm \sigma$, МПа	m, МПа	V, %	P, %	Достоверность разницы показателей
40	$0,72 \cdot 10^4$	$0,31 \cdot 10^4$	$0,06 \cdot 10^4$	42,5	7,7	достоверна
80	$1,35 \cdot 10^4$	$0,61 \cdot 10^4$	$0,11 \cdot 10^4$	45,2	8,3	достоверна
120	$2,10 \cdot 10^4$	$0,72 \cdot 10^4$	$0,13 \cdot 10^4$	34,5	6,3	не достоверна
180	$2,28 \cdot 10^4$	$0,51 \cdot 10^4$	$0,09 \cdot 10^4$	22,4	4,1	не достоверна
240	$2,35 \cdot 10^4$	$0,47 \cdot 10^4$	$0,09 \cdot 10^4$	20,2	3,7	

Примечание. Количество образцов во всех опытах равнялось 30.

ложения сил, а крайние зоны оставались относительно целыми. Классическая теория изгиба сплошных стержней, построенная на гипотезе плоских сечений, не дает объяснения этому факту.

Как известно, древесина, кроме анизотропии по трем основным направлениям, имеет еще достаточно ярко выраженную цикличе-

Электронный архив УГЛТУ

скую структурную неоднородность пластинчатого характера (годовые слои). Эта структура сохраняется и после прессования. С. А. Амбарцумян [5] разделил материалы в зависимости от соотношения технических постоянных на материалы со слабо выраженной анизотропией и существенно выраженной анизотропией. К последним относят материалы, у которых отношения

$$\frac{E_1}{\sigma_{13}}, \frac{E_2}{\sigma_{13}}, \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{13}}, \frac{E_1}{E},$$

и т. д. больше или равны 5. Сравним эти соотношения у древесного пластика пихты и армированных однонаправленных слоистых пластиков (1 : 0).

Как видно, механические показатели древесного пластика близки к подобным величинам для армированных пластиков, которые относятся к материалам с существенной анизотропией. Разрушение образцов при изгибе от сдвига показывает, что в древесном пластике так же, как и в стеклопластиках, касательными напряжениями пренебрегать нельзя, и расчеты на прочность следует вести, учитывая их величину.

При изгибе балки с силой по середине пролета максимальные нормальные напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{max} = \frac{3}{2} \frac{Pl_{оп}}{bh^2}, \quad (1)$$

а касательные по формуле:

$$\tau_{max} = \frac{QS_{обр}}{I \cdot b}, \quad (2)$$

где Q — поперечная сила в сечении;

$S_{обр}$ — статический момент относительно нейтральной оси части сечения, расположенной выше (или ниже) уровня рассматриваемых волокон;

J — момент инерции сечения относительно нейтральной оси;

b — ширина сечения.

Учитывая прямоугольное сечение балки и подставляя значения

$$Q = \frac{P}{2}, I = \frac{bh^3}{12}, S_{обр} = \frac{bh^2}{8} \quad (h — \text{высота сечения}), \text{ получим}$$

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{Q}{bh} = 0,75 \frac{P}{bh}. \quad (3)$$

Тогда отношение

$$\frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} = 0,5 \frac{h}{l_{оп}}, \quad (4)$$

Несмотря на небольшую величину, касательные напряжения приводят к разрушению балки. В случае двух сил в пролете отношение несколько больше

$$\frac{\tau_{max}}{\sigma_{max}} = 0,75 \frac{h}{l_{оп}}, \quad (5)$$

но и здесь разрушение происходит от сдвигов слева или справа от центра балки с нарушением связей между слоями. В момент разрушения от сдвигов по длине балки должны действовать скалывающие усилия, в том числе и в зоне чистого изгиба. Об этом свидетельствует распространение трещин до середины балки. Сдвиг, как правило, происходит в средней трети высоты балки. Расчеты показали близость среднего касательного напряжения при изгибе (τ_{max}^{cp}) и предела прочности при скалывании вдоль волокон в тангентальном направлении ($\sigma_{ск}^T$), соответственно 12,5 — 12,7 и 12,2 МПа. При изгибе с двумя силами в пролете среднее касательное напряжение вычислялось с учетом того, что продольная равнодействующая касательных напряжений вызывает сдвиг на площадке, длина которой равна $l/2$. Поэтому

$$\tau_{max}^{cp} = \frac{\tau_{max}}{1,5}$$

Из табл. 3 видно, что величины разрушающих напряжений практически одинаковы, следовательно, на их величину не повлияло существенно изменение схемы приложения силы и размеров

Таблица 3

Прочность при скалывании по радиальному R и тангентальному T направлениям и касательные напряжения при статическом изгибе древесного пластика пихты

Показатели прочности	Количество образцов	M, МПа	$\pm \sigma$, МПа	$\pm m$, МПа	V, %	P, %
Предел прочности при скалывании по R	15	22,6	1,67	0,43	7,4	1,9
Предел прочности при скалывании по T	15	12,2	1,27	0,33	10,4	2,7
Разрушающее касательное напряжение при статическом изгибе (одна сила в пролете, $h:b=1$, $l_{оп}=120$ мм)	30	12,5	1,65	0,30	13,1	2,4
Разрушающее касательное напряжение при статическом изгибе (две силы в пролете, $h:b=2$, $l_{оп}=120$ мм)	15	12,7	1,28	0,33	10,1	2,6

поперечного сечения, а по испытаниям на изгиб можно с достаточной точностью определить предел прочности при скалывании вдоль волокон. Результат, очевидно, будет более точным, если число образцов, разрушившихся от скалывания, будет составлять $\approx 50\%$ от общего количества.

На основании изложенного можно сделать вывод, что, зная прочность древесного пластика на скалывание вдоль волокон (по T) и предел прочности на изгиб, определенный при испытании образцов с большим пролетом между опорами ($l_{\text{оп}} \geq 240$ мм) и силой, приложенной в радиальном направлении по отношению к годовым слоям, можно вычислить оптимальное расстояние между опорами, при котором на результат испытания в достаточной мере окажут влияние прочность материала на сдвиг, растяжение и сжатие.

Порядок расчета принимали следующий.

Из формулы (3) максимального касательного напряжения при изгибе балки прямоугольного поперечного сечения определяем величину поперечной силы:

$$Q = \frac{\tau_{\text{max}} b h}{1,5}. \quad (6)$$

Принимая, что $\tau_{\text{max}} \approx \sigma_{\text{ск}}^T$, получим

$$Q = \frac{\sigma_{\text{ск}}^T b h}{1,5}. \quad (7)$$

Из формулы (1) максимального нормального напряжения при изгибе найдем $l_{\text{оп}}$:

$$l_{\text{оп}} = \frac{\sigma_{\text{из}}^{\text{max}} b h^2}{1,5 P}. \quad (8)$$

Сила P равна $2Q$, тогда, подставляя значения (7) в формулу (8), получим

$$l_{\text{оп}}^{\text{опт}} = \frac{\sigma_{\text{из}}^{\text{max}} h}{2 \sigma_{\text{ск}}^T}. \quad (9)$$

Как видно, выражение (9) не зависит от ширины образца, но она была учтена ранее при вычислении $\sigma_{\text{из}}^{\text{max}}$. Поэтому оптимальное расстояние между опорами ($l_{\text{оп}}^{\text{опт}}$) определяется для заранее заданных размеров поперечного сечения образца.

Предложенная методика вычисления $l_{\text{оп}}^{\text{опт}}$, на наш взгляд, упрощает нахождение этой величины по сравнению с существующими способами и может быть применена для контроля правильности определения предела прочности при изгибе материалов, подобных рассмотренному древесному пластику.

Электронный архив УГЛТУ

С изменением расстояния между опорами меняется величина касательного напряжения $\tau_{из}$, возникающего в балке (пластика из пихты) при изгибе:

расстояние между опорами, мм	предел прочности, МПа
40	23,1
80	17,1
120	12,5
180	8,1
240	5,8

Рост касательного напряжения с уменьшением $l_{оп}$ в случае разрушения всех образцов от сдвига можно объяснить влиянием внешней нагрузки на величину силы трения, действующей между слоями.

Вычислим коэффициент β , характеризующий степень анизотропии материала

$$\beta = \sqrt{\frac{E_x}{\sigma_{xz}}} \quad (10)$$

Подставив числовые значения E_x и σ_{xz} в формулу (10), получим для нашего материала $\beta = 4,2$. Результат подсчета еще раз указывает, что расчеты балок на прочность в ответственных конструкциях следует вести, как и для стеклопластиков, с учетом сдвигов.

Выводы

1. У древесного пластика толщиной 10 мм, полученного по разработанному способу [2], определение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе необходимо проводить при расстоянии между опорами 120 мм.

2. При испытании на статический изгиб материалов, подобных исследуемому древесному пластику, оптимальное расстояние между опорами можно определить по формуле (9).

Соотношения, характеризующие сопротивление армированных пластиков и древесного пластика межслойному сдвигу и сжатию

Анизотропия свойств	Армированные однонаправленные пластики 1:0	Пластик из древесины пихты	Слоистые пластики 1:1
E_x/σ_{xz}	25—50	18	15—20
σ_x/σ_{xz}	35—40	18	10—15
E_x/E_z	5—8	8	5
σ_x^+/σ_z^-	10—18	5,3	5

σ_x^+/σ_z^-	— прочность при растяжении по отношению к прочности при сжатии;
σ_x/σ_{xz}	— прочность по нормальным напряжениям по отношению к прочности по касательным напряжениям;
E_x/E_z	— модуль упругости при сжатии вдоль волокон по отношению к модулю упругости при сжатии поперек волокон;
E_x/σ_{xz}	— модуль упругости при сжатии вдоль волокон по отношению к модулю упругости межслойного сдвига.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянкин Ф. П., Яценко В. Ф. Деформативность и сопротивляемость древесины как упруго-вязкого пластического тела.— Киев, 1957.
2. Перехожих И. В., Аккерман А. С. Способ получения цельнопресованной древесины повышенной стабильности.— В сб.: Древесные плиты и пластики.— Свердловск, 1973, вып. 30.
3. Методы физико-механических испытаний модифицированной древесины.— М., 1973.
4. Митропольский А. К. Элементы математической статистики. Л., 1969.
5. Гарнопольский Ю. М., Розе А. В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков.— Рига, 1969.

УДК 674.8-41.047

И. А. ВАХРУШЕВА, Ю. М. ЗЕЛЬДИН
(Уральский лесотехнический институт)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПЛАСТИКОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ ХВОЙНЫХ ПОРОД БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ СВЯЗУЮЩИХ

В проблемной лаборатории УЛТИ в течение ряда лет исследовалась сорбционная способность пластиков без добавления связующих.

В настоящей работе, используя результаты ранее проведенных опытов и вновь полученные данные по сорбции паров воды пластиками после эксплуатации их в течение 6—10 лет в качестве чистого пола, и этих же пластиков, хранившихся в отапливаемом помещении, делается попытка их интерпретации. Для этой цели рассматривается сорбционная способность различных видов пластиков, изготовленных только из древесных частиц хвойных пород (сосна, лиственница, ель). Для сравнения приведены изотермы сорбции исходной свежесрубленной древесины, после высокотемпературной сушки, а также эксплуатируемой в течение 7 лет в качестве чистого пола.