

ного слоя на крепость древесины сосны. — "Лесная индустрия", 1938, № 10.

7. И.И. Бейнарт и др. Клеточная стенка древесины и ее изменения при химических воздействиях, Рига, 1972.

8. V. W. Tripp, A. T. Moore, M. Z. Rollins. — *Text. Res. J.* 21, 1951 12, 886.

С.С. Макаревич, Д.И. Любецкий

ПРОЧНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ДВУХОСНОМ СЖАТИИ

Все более широкое применение модифицированной древесины для изготовления элементов конструкций, деталей и узлов, работающих в условиях сжатого напряженного состояния, требует экспериментально обоснования критериальных уравнений, применяемых для прочностных расчетов.

Настоящая статья посвящена исследованию прочности модифицированной древесины при двухосном сжатии при различных соотношениях главных напряжений, действующих в направлениях осей анизотропии материала.

Для испытаний образцов на двухосное сжатие был использован способ нагружения, предложенный в работе [1].

Этот способ нагружения практически легко осуществляется, дает возможность получить большой диапазон соотношений величин главных напряжений, позволяет использовать стандартное оборудование и существующие испытательные машины.

Двухосное сжатие осуществляется с помощью реверсора, показанного на рис. 1. Нагружение реверсора производится на любой испытательной машине. Величина сил P отсчитывается по шкале машины. Силы N и N' , действующие на грани образца 3, определяются из силового треугольника.

Так как углы α_1 и α_2 в сумме составляют $\frac{\pi}{2}$, то

$$N = P \sin \alpha_1, \quad ; \quad (1)$$

$$N' = P \sin \alpha_2. \quad (2)$$

Главные напряжения, действующие по граням образца, определяются путем деления сил на соответствующие площади граней.

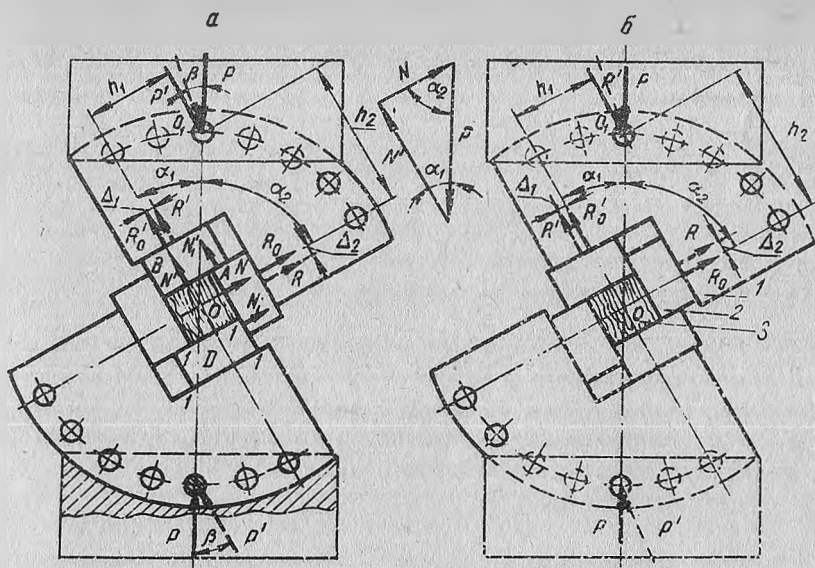


Рис. 1.

Таким образом, меняя углы α_1 и α_2 легко получить любое соотношение главных сжимающих напряжений. При отсутствии трения равнодействующие давления вкладышей 2 на реверсоры 1 будут равны силам, действующим на грани образца, т.е.

$$R_0 = N = P \sin \alpha_1, \quad ; \quad (1a)$$

$$R'_0 = N' = P \sin \alpha_2 \quad . \quad (2a)$$

Но силы трения, возникающие между вкладышами (рис. 1), искажают картину напряженного состояния образца и меняют соотношение между главными напряжениями.

Если при испытании изотропных материалов выявить количественное влияние сил трения между вкладышами трудно, то при испытании анизотропных материалов это влияние легко обнаруживается путем замены расположения вкладышей в реверсоре, как показано на рис. 1, а и 1, б.

При отсутствии трения по 1-1 и равномерном распределении нагрузки по грани образца равнодействующая давления со стороны образца на вкладыш А будет действовать по центру

границы образца и проходить через центр образца O (рис. 1,а). Равнодействующая давления со стороны вкладыша на реверсор R_0 в этом случае будет равна силе N и направлена по ее линии действия.

Если же по граням 1—1 имеется в наличии трение, то вкладыш A будет испытывать давление N не только со стороны образца, но и со стороны вкладыша $D(N')$. В этом случае равнодействующая R давления со стороны вкладыша A на реверсор будет несколько смещаться от линии действия силы N в сторону действия силы N' .

Аналогичную картину получим для вкладыша B (рис. 1,а).

Рассмотрим теперь равновесие реверсора. Пусть сила, действующая на реверсор, приложена в точке O_1 и углы равны α_1 и α_2 . Запишем сумму моментов всех сил, действующих на реверсор, относительно точки O_1 .

При отсутствии трения:

$$\Sigma M_{O_1} = R_0' h_1 - R_0 h_2 \quad (3)$$

Учитывая, что $h_1 = OO_1 \sin \alpha_1$; $h_2 = OO_1 \sin \alpha_2$, уравнение /3/ переписывается так:

$$R_0' OO_1 \sin \alpha_1 - R_0 OO_1 \sin \alpha_2 = 0$$

Откуда

$$R_0' \sin \alpha_1 = R_0 \sin \alpha_2 \quad (4)$$

Нетрудно видеть, что в этом случае уравнение (4) соответствует выражениям (1) и (2).

В случае наличия трения

$$\Sigma M_{O_1} = R'(h_1 - \Delta_1) - R(h_2 + \Delta_2) = 0$$

или

$$R'(OO_1 \sin \alpha_1 - \Delta_1) = R(OO_1 \sin \alpha_2 + \Delta_2) \quad (5)$$

Причем выражение (5) уже не соответствует соотношениям (1) и (2).

Анализ уравнения (4) и (5) показывает, что

$$R < R_0 \quad ; \quad R' > R'_0 \quad . \quad (6)$$

Если же вкладыш переставить, как показано на рис 1б, то при наличии трения

$$\sum M_{O_1} = R'(h_1 - \Delta_1) - R(h_2 - \Delta_2) = 0$$

и окажется, что

$$R > R_0 \quad ; \quad R' < R'_0 \quad . \quad (7)$$

При отсутствии трения для схемы б (рис1) получим соотношение между R'_0 и R_0 такое же, как и для схемы а, т.е. оно будет определяться выражением (4).

Таким образом, при наличии трения отношение R'/R при расположении вкладышей по схеме а будет больше, чем при расположении вкладышей по схеме б, в то время как при отсутствии трения это отношение должно быть одинаковым.

Допустим, образец из древесины установлен так, что сила R' направлена вдоль волокон, а сила R — поперек волокон. Так как прочность древесины вдоль волокон больше, чем поперек, то при расположении вкладышей по схеме а сила R , при которой происходит разрушение образца, окажется больше, чем при расположении вкладышей по схеме б. Но если нет трения или оно сведено почти к нулю, то разрушающая величина силы R должна быть одинаковой как при нагружении по одной, так и по другой схеме.

Это дает возможность установить насколько велико трение и его влияние на напряженное состояние образца при различных вариантах уменьшения трения между вкладышами, реверсорами и образцом.

Нами были проведены испытания натуральной древесины при $\alpha_1 = \alpha_2 = 45^\circ$ по схемам нагружения а и б (рис. 1) при наличии трения и уменьшений его.

Так, если не применяли средства уменьшения трения, для натуральной древесины березы при нагружении по схеме а сила R_a , соответствующая пределу прочности, оказалась большей, чем по схеме б, т.е.

$$R_a = (1,47 \div 1,65) R_b \quad .$$

Когда между вкладышами и реверсорами были поставлены подшипники, как это показано в работе [2], оказалось $P_a = (1,02 \div 1,14) F_g$, т.е. разница между силами уменьшилась, следовательно, уменьшилось и трение.

Наилучшие результаты дало покрытие трущихся поверхностей парафином. В этом случае $P_a = (1,02 \div 1,1) F_g$, т.е. разрушающие силы при схемах нагружения а и б практически совпадают. Следовательно, при испытаниях можно пользоваться вкладышами с подшипниками или парафиновой смазкой. При наличии больших сил трения в процессе испытаний наблюдалось стремление нажимного устройства сдвинуться по отношению к нижнему. С уменьшением трения перекося уменьшался. Появление перекося можно объяснить, если спроектировать все силы, действующие на верхнее нажимное устройство на горизонтальную ось x .

Если положить, что сила P направлена вертикально, то при наличии трения

$$\sum x = -R' \sin \alpha_1 + R \sin \alpha_2 \quad (8)$$

не равна нулю, так как $R' \neq R_0$ и $R \neq R_0$.

Следовательно, для равновесия верхнего нажимного устройства сила P должна быть направлена под углом к вертикальной оси (на рис. 1а эта сила обозначена P' и показана прерывистой линией).

Тогда

$$\sum x = -R' \sin \alpha_1 + R \sin \alpha_2 + P' \sin \beta = 0$$

Горизонтальные составляющие сил P' и создают перекося всего приспособления при сжатии.

С уменьшением трения $R' \rightarrow R_0$; $R \rightarrow R_0$, а при $R' = R_0$ и $R = R_0$ сумма (8), согласно формулам (1а) и (2а), превращается в нуль и реверсор будет находиться в равновесии при вертикальной сжимающей силе P .

Таким образом, использование реверсора, описанного в [1], без применения дополнительных средств уменьшения трения между вкладышами может привести к грубым ошибкам (до 50%). На основании проведенных нами исследований различных способов уменьшения трения можно рекомендовать смазку трущихся поверхностей парафином.

С применением парафиновой смазки проведены на указанном реверсоре экспериментальные исследования прочности при

двухосном сжатии натуральной древесины березы и модифицированной стиролом и смолой ПН-1. Пропитка древесины смолой ПН-1 и режимы термообработки осуществлялись по технологии, разработанной В.П. Лагтевым и Проблемной научно-исследовательской лабораторией модификации древесины ВТИ им. С.М. Кирова. Образцы для испытаний были приняты в виде кубиков с размерами 20x20x20 мм. Изменения углов α_1 и α_2 (рис. 1) при различной установке реверсора позволяли получать различные отношения сжимающих напряжений

$$K = \frac{\sigma_{n(t)}}{\sigma_a}$$

где σ_a — напряжение, действующее вдоль волокон;

$\sigma_{n(t)}$ — напряжение в радиальном или тангенциальном направлении.

Конструкция реверсора позволяет осуществлять простое нагружение, т.е. $K = \text{const}$ на протяжении опыта — от начала нагружения до разрушения. Испытания были проведены при $K = 0; 0,0875; 0,176; 0,268; 0,577; 1,0; 1,73; 3,73; \infty$. Для каждого значения отношения сжимающих напряжений K средние значения предельных нагрузок определялись по результатам испытаний 8—10 образцов.

В табл. 1 приведены средние значения компонент пределов прочности натуральной и модифицированной древесины березы при различных значениях K .

Пропитка древесины была достаточно равномерной. Для модифицированной древесины в таблице показаны значения коэффициентов пропитки k [3], в пределах которых сравнивались результаты испытаний. Статистическая обработка полученных значений компонент напряжений для указанных отношений показала, что результаты вполне сравнимы.

Для оценки прочности натуральной и модифицированной древесины воспользуемся критерием прочности Е.К. Ашкенази [4], который для случая двухосного сжатия по осям симметрии материала можно записать в виде

$$\frac{\sigma_a^2}{\sigma_0^2} + \frac{\sigma_{n(t)}^2}{\sigma_{90}^2} + \sigma_a \sigma_{n(t)} \left(\frac{\sqrt{3}}{\sigma_9} - \frac{1}{\sigma_0} - \frac{1}{\sigma_{90}} \right) = \quad (9)$$

Таблица 1

$K = \frac{\sigma_r(\phi)}{\sigma_a}$	Натуральной		Модиф. стиролом ($k = 0,66 \pm 0,76$)		Модиф. смолой ПН-1 ($k = 0,85 \pm 0,90$)	
	$\frac{\sigma_r}{\sigma_a}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_a}$	$\frac{\sigma_r}{\sigma_a}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_a}$	$\frac{\sigma_r}{\sigma_a}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_a}$
0	$\frac{0}{830}$	$\frac{0}{830}$	$\frac{0}{1403}$	$\frac{0}{1403}$	$\frac{0}{1593}$	$\frac{0}{1593}$
0,0875	$\frac{69}{788}$	$\frac{65}{742}$	$\frac{131}{1497}$	$\frac{130}{1486}$	$\frac{138}{1580}$	$\frac{140}{1600}$
0,176	$\frac{132}{748}$	$\frac{95}{539}$	$\frac{260}{1474}$	$\frac{264}{1497}$	$\frac{280}{1587}$	$\frac{274}{1554}$
0,268	$\frac{147}{548}$	$\frac{90}{336}$	$\frac{365}{1360}$	$\frac{370}{1380}$	$\frac{413}{1540}$	$\frac{413}{1540}$
0,577	$\frac{137}{237}$	$\frac{74}{128}$	$\frac{512}{887}$	$\frac{562}{974}$	$\frac{761}{1316}$	$\frac{799}{1383}$
1,00	$\frac{142}{}$	$\frac{84}{}$	$\frac{507}{}$	$\frac{526}{}$	$\frac{836}{}$	$\frac{947}{}$
1,73	$\frac{118}{68}$	$\frac{78}{45}$	$\frac{587}{340}$	$\frac{445}{258}$	$\frac{846}{489}$	$\frac{961}{556}$
3,73	$\frac{112}{30}$	$\frac{78}{21}$	$\frac{496}{340}$	$\frac{450}{121}$	$\frac{899}{241}$	$\frac{970}{270}$
∞	$\frac{115}{0}$	$\frac{71}{0}$	$\frac{542}{0}$	$\frac{556}{0}$	$\frac{944}{0}$	$\frac{1194}{0}$

Примечание. Значения компонентов напряжений - в кгс/см².

$$= \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_{n(t)}^2 + \sigma_a \sigma_{n(t)}}$$

Откуда

$$\sigma_a = \frac{\sqrt{1+K+K^2}}{\left[\frac{1}{\sigma_0} + \frac{K^2}{\sigma_{g0}} + K \left(\frac{\sqrt{3}}{\sigma_g} - \frac{1}{\sigma_0} - \frac{1}{\sigma_{g0}} \right) \right]}, \quad (10)$$

где $\sigma_{n(t)}$ — составляющая предела прочности в радиальном или тангенциальном направлениях;

σ_a — составляющая предела прочности вдоль волокон;

σ_0 — предел прочности при сжатии вдоль волокон;

σ_{g0} — предел прочности при сжатии поперек волокон;

σ_a — предел прочности при двухосном ($K=1$) сжатии,

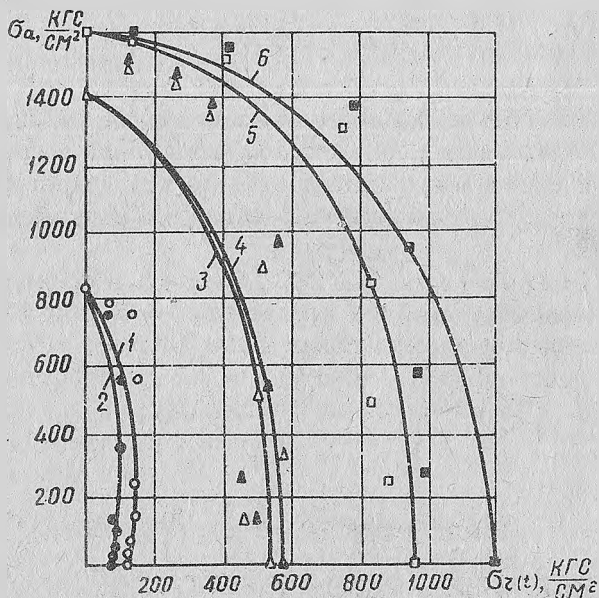


Рис. 2.

На рис. 2 построены кривые по критерию (10) для случая двухосного сжатия в продольно-радиальном (кривые 1, 3, 5) и продольно-тангенциальном (кривые 2, 4, 6) направлениях. Кривые 1 и 2 относятся к натуральной древесине, 3 и 4 — к древесине, модифицированной стиролом, 5 и 6 — к древесине, модифицированной смолой ПН-1. Здесь же показаны экспериментальные точки, соответствующие компонентам напряжений, для соотношений $K=0; 0,0875; 0,178; 0,268; 0,577; 1,0; 1,73; 3,73; \infty$. Максимальное расхождение опытных данных с теоретическими значениями (при одинаковых K) для натуральной древесины составляет 22%, модифицированной стиролом — 23 и полиэфирной смолой ПН-1 — 21%. Следует отметить, что при $K < 1$ опытные точки оказались несколько выше теоретических кривых, а при $K > 1$ — ниже. Очевидно, сказывается влияние момента дополнительно возникающего в процессе деформирования образцов.

В целом же можно считать, что критерий (10) удовлетворительно согласуется с опытными данными как для натуральной, так и модифицированной древесины стиролом и смолой ПН-1.

Л и т е р а т у р а

1. С.Е. Чирков. Способ испытания горных пород. Авт. свидетельство № 279534. Бюллетень изобретений, № 27, 1970.

2. Д.И. Любецкий. К методике испытаний материалов на двухосное и трехосное сжатие. — В сб.: Механизация лесоразработок и транспорт леса, вып.2. Изд. "Высшая школа". Минск, 1972.

3. С.С. Макаревич, Д.И. Любецкий. Определение модуля упругости модифицированной древесины. — В сб.: "Модификация древесины синтетическими полимерами." Минск, 1973.

4. Е.К. Ашкенази. Анизотропия машиностроительных материалов. Изд. "Машиностроение". Л., 1969.

С.С. Макаревич, В.П. Лаптев, Д.И. Любецкий

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СЖАТИИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ СМОЛОЙ ПН-1

За последнее время появился ряд новых композитных материалов из древесины. Одним из видов такого материала яв-