

Д. И. Любецкий, доцент; А. И. Стоцкий, ассистент

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ФАНЕРЫ МАРКИ ФК ПРИ ДВУХОСНОМ СЖАТИИ

Research of durability plywood of mark FK at two axial directions at compression.

Древесина, как природный материал, обладает различными прочностными свойствами в разных направлениях древесного волокна. В фанере различие свойств значительно меньше, т. к. листы шпона склеивают слоями с взаимно перпендикулярным расположением волокон древесины. Значительная прочность в продольном и поперечном направлениях при малом объемном весе, возможность изготовления листов определенной толщины и сравнительно большого размера (2440×1220 мм) с приданием ему необходимой формы – эти и другие качества определяют широкую область применения фанеры как конструкционного материала.

При анализе имеющихся в литературных источниках [1, 2] прочностных показателей фанеры установлено, что оценка прочности такого композита в основном производится по результатам испытаний при одноосном напряженном состоянии, а это не всегда удовлетворяет требованиям современной инженерной практики. Практически нет экспериментальных исследований при сложном напряженном состоянии фанеры с целью обоснования выбора соответствующего критерия прочности.

В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований прочности при двухосном сжатии фанеры марки ФК.

Для двухосного сжатия использовался специальный реверсор [3]. Конструкция реверсора позволяет производить простое (пропорциональное) нагружение прямоугольного образца. Усилия в двух взаимно перпендикулярных направлениях передаются на плоскости образца по осям  $X$  и  $Y$  (рисунок).

Эксперименты проводились на образцах размером 22×22×22 мм (последний размер соответствует толщине фанерного листа). В этом случае площади, на которые действовали силы, были равны. Следовательно, и соотношения между условными напряжениями (усилия, отнесенные к первоначальным площадям рабочих плоскостей образца) по осям  $X$  ( $\sigma_x$ ) и  $Y$  ( $\sigma_y$ ) при двухосном равном сжатии были равны  $K = \sigma_x/\sigma_y = 1$ . Для уменьшения трения между трущимися поверхностями реверсора и образца использовалась парафиновая смазка. В первой серии опытов усилия на плоскости об-

разца [3] действовали вдоль наружных слоев и параллельно склеенным слоям шпона (рис. а).

Во второй серии опытов усилия передавались на плоскости образца вдоль и поперек наружных слоев шпона (рис. б). Средняя плотность образцов фанеры ФК при их влажности 6–8% составила 670 кг/м<sup>3</sup>.

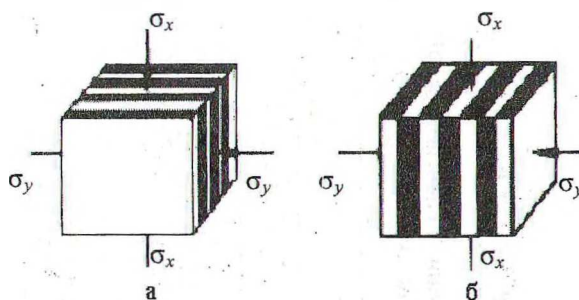


Рис. Схема нагружения образцов

Опыты в двух сериях образцов проведены для соотношения усилий 0; 0,268; 0,577; 1,0; 1,73; 3,73; ∞. Первое и последнее соотношения соответствуют одноосному сжатию образцов, вырезанных из листа клееной фанеры марки ФК. Средняя прочность при сжатии образцов вдоль наружных слоев шпона оказалась равной 38 МПа и поперек – 8,8 МПа.

В табл. 1 приведены расчетные формулы критериев прочности Мизеса – Хилла, Хи и Марина, Веррена и Ашкенази для двухосного напряженного состояния применительно к композиционному материалу – фанере ФК.

В табл. 2 приведены отклонения экспериментальных данных от теоретических значений компонентов пределов прочности  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  (числитель), вычисленные по вышеуказанным критериям прочности, и их отклонения, в процентах (знаменатель) от экспериментальных данных.

В качестве  $\sigma_{c1}$  и  $\sigma_{c2}$  принимаются пределы прочности при одноосном сжатии вдоль (38 МПа) и поперек (8,8 МПа) наружных слоев фанеры. Напряжения  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  без дополнительных индексов являются составляющим компонентами при двухосном сжатии и обозначаются  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$ . В качестве  $\sigma_g$  принимается предел прочности при двухосном равном сжатии ( $K = \sigma_x/\sigma_y = 1$ ). В данных исследованиях он равен 42,4 и 10,85 МПа.

Таблица 1

## Критерии прочности применительно к фанере ФК

| Автор        | Теории прочности                                                                                                                                                                                                                                                                 | Критерии прочности применительно к фанере ФК при нагружении по схеме а и б                                                                                                                                                      | Выражения для нахождения $\sigma_y$ в зависимости от $K$  |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Мизес - Хилл | $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_{d1}^2} + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{d2}^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_{d1} \sigma_{d2}} \left( \frac{1}{\sigma_d^2} + \frac{1}{\sigma_{c2}^2} - \frac{1}{\sigma_g^2} \right) - 1$                                                               | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} + \frac{\sigma_y^2}{38^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{38^2} \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{38^2} - \frac{1}{42,4^2} \right) = 1$                                                                      | $\frac{10^2}{\sqrt{6,93 - 8,3K + 6,93K^2}}$               |
| Мизес - Хилл |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} + \frac{\sigma_y^2}{8,8^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{38^2} \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{8,8^2} - \frac{1}{108,5^2} \right) = 1$                                                                   | $\frac{10^2}{\sqrt{12,9 - 51,1K + 6,93K^2}}$              |
| Ху и Маддин  | $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_{d1}^2} - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_{d1} \sigma_{c2}} + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{c2}^2} = 1$                                                                                                                                                    | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{38 \cdot 38} + \frac{\sigma_y^2}{38^2} = 1$                                                                                                                                 | $\frac{10^2}{\sqrt{6,93 - 6,93K + 6,93K^2}}$              |
| Ху и Маддин  |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} - \frac{\sigma_x \sigma_y}{38 \cdot 8,8} + \frac{\sigma_y^2}{8,8^2} = 1$                                                                                                                               | $\frac{10^2}{\sqrt{12,9 - 29,9K + 6,93K^2}}$              |
| Е.К. Ашкеназ | $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_{d1}^2} + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{d2}^2} + \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_g \sigma_{d1} \sigma_{d2}} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sigma_g} - \frac{1}{\sigma_{d1}} - \frac{1}{\sigma_{d2}} \right) = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1 \sigma_2}$ | $\frac{\sigma_x^2}{38} + \frac{\sigma_y^2}{38} + \frac{\sigma_x \sigma_y}{42,4 \cdot 38 \cdot 38} \left( \frac{\sqrt{3}}{42,4} - \frac{1}{38} - \frac{1}{38} \right) = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y}$      | $\frac{10^4 \sqrt{K^2 + K + 1}}{2632K^2 + 117,9K + 2632}$ |
| Е.К. Ашкеназ |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{\sigma_x^2}{38} + \frac{\sigma_y^2}{8,8} + \frac{\sigma_x \sigma_y}{108,5 \cdot 38 \cdot 8,8} \left( \frac{\sqrt{3}}{108,5} - \frac{1}{38} - \frac{1}{8,8} \right) = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x \sigma_y}$ | $\frac{10^4 \sqrt{K^2 + K + 1}}{2632K^2 + 197K + 11364}$  |
| Ф. Берен     | $\frac{\sigma_1^2}{\sigma_{c1}^2} + \frac{\sigma_2^2}{\sigma_{c2}^2} = 1$                                                                                                                                                                                                        | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} + \frac{\sigma_y^2}{38^2} = 1$                                                                                                                                                                         | $\frac{10^2}{\sqrt{6,93 + 6,93K^2}}$                      |
| Ф. Берен     |                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\frac{\sigma_x^2}{38^2} + \frac{\sigma_y^2}{8,8^2} = 1$                                                                                                                                                                        | $\frac{10^2}{\sqrt{129,1 + 6,93K^2}}$                     |

Таблица 2

**Значения компонентов пределов прочности (числитель)  
при двухосном сжатии фанеры ФК, вычисленные по различным критериям,  
и их отклонения, в процентах, (знаменатель) от экспериментальных данных**

| $K = \frac{\sigma_x}{\sigma_y}$                          | Опытные значения, МПа | Критерии              |                      |                       |                       |
|----------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                          |                       | Мизеса – Хилла        | Л. Ху и Д. Марина    | Ф. Веррена            | Е. К. Ашкенази        |
| А) Двухосное сжатие вдоль наружных слоев шпона           |                       |                       |                      |                       |                       |
| 0,268                                                    | 43,3                  | $\frac{43,84}{+1,2}$  | $\frac{42,4}{-2,1}$  | $\frac{36,7}{-15,24}$ | $\frac{46,2}{+6,7}$   |
| 0,577                                                    | 48,5                  | $\frac{47,4}{-2,2}$   | $\frac{43,7}{-9,9}$  | $\frac{32,7}{-32,57}$ | $\frac{48,8}{+0,4}$   |
| 1,00                                                     | 42,43                 | $\frac{42,41}{-0,05}$ | $\frac{38,0}{-10,4}$ | $\frac{26,9}{-36,6}$  | $\frac{42,43}{0}$     |
| 1,73                                                     | 28,0                  | $\frac{27,41}{-2,0}$  | $\frac{25,3}{-2,7}$  | $\frac{19,0}{-32,14}$ | $\frac{28,4}{+3,4}$   |
| 3,73                                                     | 11,6                  | $\frac{11,75}{+1,3}$  | $\frac{11,4}{-9,6}$  | $\frac{9,84}{-15,17}$ | $\frac{12,4}{+6,9}$   |
| Б) Двухосное сжатие вдоль и поперек наружных слоев шпона |                       |                       |                      |                       |                       |
| 0,268                                                    | 8,9                   | $\frac{9,29}{+4,2}$   | $\frac{9,07}{+1,9}$  | $\frac{8,78}{-1,3}$   | $\frac{9,58}{+7,6}$   |
| 0,577                                                    | 9,82                  | $\frac{9,9}{+0,8}$    | $\frac{9,36}{-5,5}$  | $\frac{8,72}{-11,2}$  | $\frac{10,33}{+5,2}$  |
| 1,00                                                     | 10,85                 | $\frac{10,85}{0}$     | $\frac{9,71}{-10,5}$ | $\frac{8,57}{-21,0}$  | $\frac{10,85}{0}$     |
| 1,73                                                     | 10,67                 | $\frac{11,76}{+10,2}$ | $\frac{10,1}{-5,3}$  | $\frac{8,17}{-23,4}$  | $\frac{10,56}{-1,03}$ |
| 3,73                                                     | 8,2                   | $\frac{9,1}{+11,0}$   | $\frac{9,37}{+14,3}$ | $\frac{6,67}{-18,7}$  | $\frac{7,8}{-4,8}$    |

Анализ полученных результатов показывает, что из рассмотренных критериев прочности, предложенных различными авторами, для анизотропных материалов наиболее приемлемыми, на наш взгляд, применительно к фанере ФК являются: Мизеса – Хилла (максимальное расхождение составляет 4,2%), Ху и Марина (максимальное расхождение 10,5%) и критерий Е. К. Ашкенази (максимальное расхождение 8%). Критерий Ф. Веррена дает максимальное отклонение (37%) опытных результатов от теоретических значений.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что теории прочности Мизеса – Хилла, Ху и Марина и Ашкенази хорошо подтверждаются опытами и могут использоваться при оценке прочности сложного напряженного состояния – двухосного сжатия фанеры марки ФК. При этом следует отметить, что для указанных

критериев необходимо определить только три параметра, наиболее легко определяемые экспериментально. Такими параметрами являются два предела прочности при одноосном сжатии по осям симметрии материала  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  и третий – предел прочности при двухосном равном сжатии в плоскости  $XU$ , обозначаемый  $\sigma_g$ .

#### Литература

1. Кириллов А. Н., Карасев Е. И. Технология фанерного производства. – Л.: Лесная промышленность, 1974.
2. Куликов В. А., Чубов А. Б. Технология клееных материалов и плит. – М.: Лесная промышленность, 1984.
3. Любецкий Д. И. Исследование упругих и прочностных свойств при сжатии модифицированной древесины как композиционного материала: Автореферат дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1974.