

**АНИЗОТРОПНОСТЬ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО КЛЕЕНОГО
СЛОИСТОГО КОМПОЗИТА
ANISOTROPY OF IT THREE-COMPONENTIAL GLUED LAMINATED
COMPOSITE**

Строительная фанера может быть значительно улучшена в результате модификации шпона. Анизотропия механических свойств является важным предметом исследований при изучении и использовании возможностей фанеры. Предложен метод расчета напряжений и деформаций в отдельных слоях шпона с дополнительной обработкой.

Constructing plywood can be considerably improved as a result of the modification of the veneer. Anisotropy of mechanical properties is an important subject of research in the study of and use of capacities of plywood. The method of calculation of stresses and strains in separate layers of veneer with additional processing.

Учет анизотропии при разработке строительной фанеры (СФ) способствует повышению ее надежности и долговечности, а также позволяет наиболее полно использовать все возможности конструкционного материала. Деформационные превращения, происходящие при изменении нагрузки, температуры, и влажности СФ, лежат в основе многих технологических процессов ее обработки: прессования, сушки, а также при эксплуатации конструкций. Распространённый дефект при сушке и лущении шпона характеризуется чередующимися выпуклостями и впадинами, высота и протяженность которых неодинакова по ширине и длине листа. Условно шероховатость показана на рис.1а. Одна из возможностей устранения дефекта шероховатости – это обработка листов шпона жидким эластомером (рис. 1б). В связи с этой модификацией листов шпона перед склеиванием фанеры изменяется физико-механическое состояние субстрата.

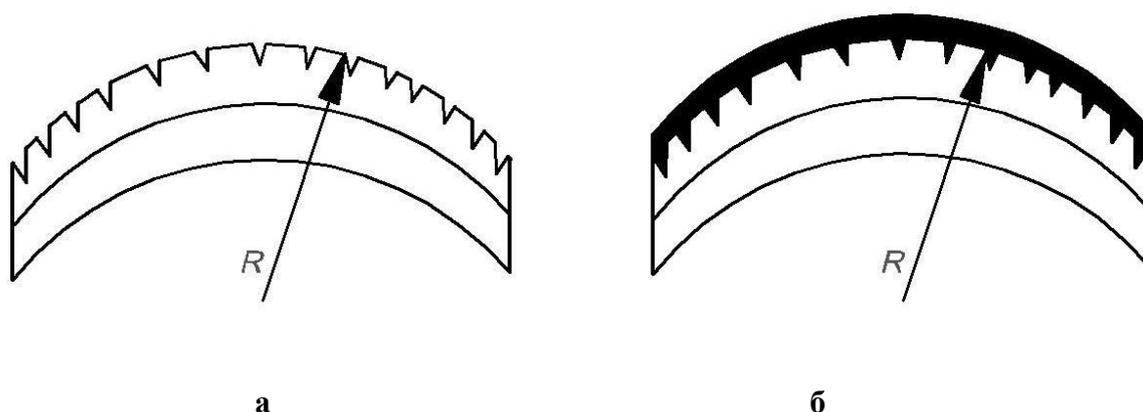


Рис.1. Условная схема шероховатости шпона в растянутой зоне: а-сосновый шпон, б-сосновый шпон, обработанный эластомером

Наиболее важной задачей такой модификации является уменьшение физико-механической и структурной анизотропии фанеры. Эти изменения в состоянии клееного слоистого композита, каковым является строительная фанера, достигается за счет увеличения ее прочности в направлениях, не совпадающих с направлением волокон. Фанеру принято считать ортотропным материалом, поэтому параметры ее

напряженного состояния рассчитывают с использованием элементов теории упругости ортотропного тела. Существует два вида определения показателей:

- 1) расчет слоистой клееной конструкции (тела) с взаимно перпендикулярным расположением волокон древесины;
- 2) расчет напряжений и деформаций в отдельных слоях шпона.

В сущности, именно Ашкенази Е.Н. и Леонтьев Н.Л. показали в своих работах формулы упругих постоянных, оси которых взаимно перпендикулярны, с помощью преобразования компонентов деформаций от одних осей к другим [1,2]. Этот метод более перспективен, поскольку при его применении представляется возможным учесть такие факторы, как пороки и дефекты древесины, влияющие на прочностные и упругие характеристики материала. Но этот расчет не определяет истинного напряжения в отдельных слоях шпона.

Характеристики и расчетные показатели обосновал и подробно изложил Кириллов А.Н.[3]. Он оценивал свойства отдельных слоев шпона, составляющих пакет, с учетом их числа и взаимно перпендикулярного расположения.

В своих работах Кириллов А.Н. [3] показал приближенные выражения для определения упругих постоянных при изгибе слоистых фанерных пластинок, которые позволяют вычислить упругие постоянные многослойной фанеры по значениям упругих постоянных отдельного слоя (листа шпона). В случае растяжения жесткость слоистой пластинки определяется выражениями:

$$D_{11} = \frac{\delta E_{D11}}{1 - \mu_{D12} \mu_{D21}}, \quad (1) \quad D_{12} = \frac{\delta E_{D22}}{1 - \mu_{D12} \mu_{D21}} \quad (2)$$

где δ -толщина фанеры;

E_{D11}, E_{D22} - приведенные модули упругости фанеры;

μ_{D12}, μ_{D21} - приведенные коэффициенты Пуассона;

На основе этих данных мы предложили трехкомпонентную модель фанеры. Одним из компонентов является эластомер, которым пропитывается шпон (рис.2). В данной модели идеализирована структура пакета как четко выраженного трехэлементного слоистого композита, в то время, как классическая фанера показывается двухэлементной. Так как на формирование клееного соединения и получение монолитного слоистого композита в значительной мере влияют микротрещины (рис.3), выходящие на контактные поверхности листов шпона, то необходимо оценить это влияние количественно.



Рис.2. Модель пакета фанеры из модифицированного шпона

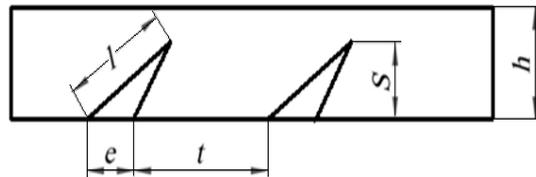


Рис.3. Модель контактного слоя шпона с микротрещинами на поверхности: S-глубина трещин, e-ширина, t- шаг, h –толщина шпона (высота пластины), l-длина.

Величину выступа трещин характеризующих шероховатость, условно можно определить по формуле:

$$k = \frac{eS}{2t} \quad (3)$$

Так как шпон у нас обрабатывается с двух сторон, то формулу можно записать в следующем виде:

$$k = \frac{eS}{t} \quad (4)$$

Для расчетов принимаем трехкомпонентный композит, в котором все слои шпона имеют одинаковую толщину и расположены взаимно перпендикулярно. Общее число слоев композита обозначим условно элементом «С». При нанесении эластомера на поверхность шпона часть вязкого вещества проникает в трещины, на основании чего формулу можно представить как «с+к». Соответственно толщина шпона будет выражена как «h-k». Итоговая формула определения модуля упругости с учетом направления слоев шпона в композите принимает вид:

$$E_{D_{11}} = \frac{E_0}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{n_0(h-k)(2c+k) + \lambda(n-n_0)(h-k)(2c+k)}{n(h-k)(2c+k)} - \frac{n(h-k)(2c+k)\mu^2_{90}\mu_s}{\lambda n_0(h-k)(2c+k) + (n-n_0)(h-k)(2c+k)} \right], \quad (5)$$

$$E_{D_{22}} = \frac{E_{90}}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{\lambda n_0(h-k)(2c+k) + (n-n_0)(2c+k)(h-k)}{n(h-k)(2c+k)} - \frac{n(h-k)(2c+k)\mu^2_{90}\mu_s}{n_0(h-k)(2c+k) + \lambda(n-n_0)(h-k)(2c+k)} \right], \quad (6)$$

где E_0 , E_{90} - модули упругости с продольным и поперечным расположением волокон лицевого слоя фанеры;

μ_0 , μ_{90} , μ_s - коэффициенты Пуассона элементарного слоя;

n- общее число элементарных слоев;

n_0 - общее число продольных слоев, совпадающих с осью: $\lambda = E_{90} / E_0$

h- толщина шпона;

c-общее число композитных слоев;

Преобразовав формулу получим:

$$E_{D_{11}} = \frac{E_0}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{n_0 + \lambda(n - n_0)}{n} - \frac{n\mu^2_{90}\mu_s}{\lambda n_0 + (n - n_0)} \right], \quad (7)$$

$$E_{D_{22}} = \frac{E_{90}}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{\lambda n_0 + (n - n_0)}{n} - \frac{n\mu^2_{90}\mu_s}{n_0 + \lambda(n - n_0)} \right], \quad (8)$$

Формулы (5-8) включают величины упругих констант шпона и клея (E, μ). Расчет приведенного модуля упругости с учетом влияния клеевых слоев имеет ограниченный характер, так как этот метод применим лишь для фанеры с одинаковой толщиной всех слоев шпона.

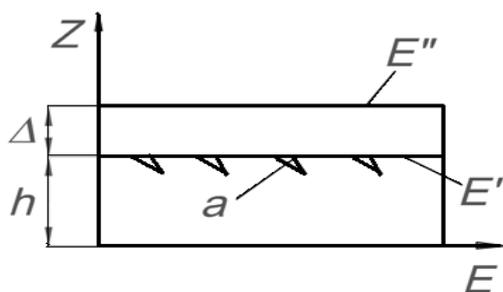


Рис.4 Расчетная схема шпона, пропитанного эластомером

Рассмотрим растяжение и изгиб слоя шпона, пропитанного эластомером, толщиной Δ , модуль упругости которого изменяется по линейному закону (рис.4):

$$E = E' + K(z - h - a), \quad (9)$$

$$K = \frac{E'' - E'}{\Delta + a} \quad (10)$$

При совместном действии изгиба и растяжения деформация принимается равной:

$$\varepsilon = \varepsilon' + \alpha(z - h - a), \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon'' - \varepsilon'}{\Delta + a} \quad (12)$$

где E'' , E' , ε'' , ε' - модули упругости и деформации нижних и верхних волокон шпона, пропитанного эластомером

a - объем трещины

Δ - высота эластомера

$$\sigma = E\varepsilon = [E' + K(z - h - a)] * [\varepsilon' + \alpha(z - h - a)] = \sigma' + \mu'(z - h - a) + \nu(z - h - a)^2, \quad (13)$$

$$\text{где } \sigma' = E' \varepsilon' \quad (14), \quad \mu' = E' \alpha + K\varepsilon' \quad (15), \quad K\alpha = \nu \quad (16)$$

Определим силу и момент слоя:

$$P = \int_{h-a}^{h+\Delta+a} \sigma dz = \sigma'_{\Delta+a} + \mu' \frac{\Delta + a}{2} + \nu \frac{(\Delta + a)^3}{3} = \left[\sigma' + \frac{1}{2} \mu' (\Delta + a) + \frac{1}{3} \nu (\Delta + a)^2 \right] (\Delta + a), \quad (17)$$

$$m = \int_{h-a}^{h+\Delta+a} \sigma z dz = \int_{h-a}^{h+\Delta+a} \sigma(z - h - a) dz + h \int_{h-a}^{h+\Delta+a} \sigma dz = \sigma' \frac{(\Delta + a)^2}{2} + \mu' \frac{(\Delta + a)^3}{3} + \nu \frac{(\Delta + a)^4}{4} + Ph =$$

$$= \left[\frac{1}{2} \sigma' + \frac{1}{3} \mu' (\Delta + a) + \frac{1}{4} \nu (\Delta + a)^2 \right] (\Delta + a)^2 + Ph \quad (18)$$

На основании исследований, ранее проведенных Кирилловым А.Н. для равнослойной березовой фанеры можно утверждать, что расчет прочностных характеристик фанеры по элементарному слою позволяет с точностью до 18% определить расчетно-аналитическим методом предел прочности нашего клееного слоистого материала. Благодаря формулам для расчета силы и момента стало возможным выполнить расчет прочности шпона с эластомером. При этом вводимые в расчетные формулы базовые параметры скорректированы по величинам согласно физико-механическим свойствам эластомера - модификатора, внедренного в поверхностный, контактный слой шпона, по показателям древесины самого шпона. Метод, основанный на оценке свойств отдельных слоев шпона более точный, а следовательно, дает более объективную характеристику прочностных и упругих свойств фанеры в целом.

Список литературы

1. Ашкенази, Е.К. Прочность анизотропных древесных и синтетических материалов [Текст] / Е.К. Ашкенази, - М.: Лесная промышленность, 1966.-167с.
2. Леонтьев, Н.Л. Упругие деформации древесины [Текст] / Н.Л. Леонтьев, - М.: Гослесбумиздат, 1952.-120 с.
3. Кириллов А.Н. Конструкционная фанера [Текст] / А.Н. Кириллов, - М.: Лесная промышленность, 1981.

