

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ШПОНА ЭЛАСТОМЕРАМИ НА КОНСТРУКЦИОННУЮ НАДЕЖНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Агеева Т. С., Левинский Ю. Б.

ГОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия (620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт 37), e-mail: tsts87@rambler.ru, levinskyi@bk.ru

Одной из важных задач является повышение конструкционной надежности строительной фанеры. От ее решения зависят: долговременность стабильной работы строительных изделий и объектов, безопасность сооружений и экономическая эффективность производства. В строительстве, прежде всего, необходимо обеспечить конструкционную прочность изделий в условиях реальной эксплуатации объектов. Строительная фанера может быть значительно улучшена в результате модификации шпона. Анизотропия механических свойств является важным предметом исследований при изучении и использовании возможности фанеры. Предложен метод расчета напряжений и деформаций в отдельных слоях шпона с дополнительной обработкой эластомером. Для теоретического обоснования напряженно-деформированного состояния данного продукта принята идеализированная структура пакета в виде четко выраженного трехэлементного слоистого материала.

Ключевые слова: шпон, строительная фанера, эластомер, модификация, анизотропия.

EFFECT OF VENEER MODIFICATION WITH ELASTOMERS ON STRUCTURAL RELIABILITY OF ADHESIVE JOINTS

Ageeva T. S., Levinskiy Y. B.

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia (620144, Yekaterinburg, street Siberian tract 37), e-mail: tsts87@rambler.ru, levinskyi@bk.ru

An important task is to improve the structural reliability of construction plywood. Long-term stability of the construction materials and facilities, security facilities and production efficiency depend on this task. In construction, first of all it is necessary to provide structural strength of products in a real exploitation of facilities. Construction plywood can be significantly improved by modifying veneer. Anisotropy of mechanical properties is an important subject of research in the study and use of opportunities of plywood. The method of stresses and strains calculation in the individual layers of veneer with additional processing with elastomer is offered. For the theoretical study of the stress-strain state of the product an idealized structure of package in the form of explicit three-element laminate is accepted.

Keywords: veneer, construction plywood, elastomer, modification, anisotropy.

Повышение упругости 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 [3, 5]. Распространённый дефект при сушке и лущении шпона характеризуется чередующимися выпуклостями и впадинами, высота и протяженность которых неодинакова по ширине и длине листа. Одна из возможностей устранения дефекта шероховатости – это обработка листов шпона жидким эластомером (рис. 1). В связи с этой модификацией листов шпона перед склеиванием фанеры изменяется физико-механическое состояние субстрата.

Эластомерная жидкость (резиновая композиция) состоит из длинных цепных молекул, связанных друг с другом в отдельных точках. В результате образуется трехмерная сетка, обладающая единственной формой в ненапряженном состоянии. При оптимальной степени модификации поверхности таким препаратом часть активных центров межмолекулярного взаимодействия блокируется, что ведет к перераспределению напряжений. Это обусловлено тем, что расстояние между центрами, которые взаимодействуют с полимером, увеличивается.

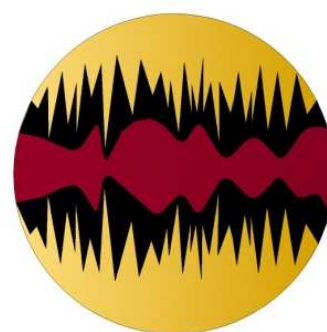


Рисунок 1- Условная схема шероховатости соснового шпона, обработанного эластомером

За счет заполнения трещин каучукодержащим эластомером величина остаточных деформаций уменьшается. Выступы шероховатостей склеиваемой поверхности материала становятся своего рода сжатыми пружинами, которые после снятия давления стремятся восстановить свои первоначальные размеры. Если этому препятствует клеевая прослойка, упругие силы создают остаточные напряжения, действующие перпендикулярно плоскости склеивания.

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. Следовательно, древесина обладает разными механическими свойствами в направлении трех взаимно-перпендикулярных осей: продольной (L) вдоль волокон, радиальной (R) – перпендикулярной к годичным кольцом дерева и тангентальной (T) – касательной к годичным слоям (рис. 2, 3).

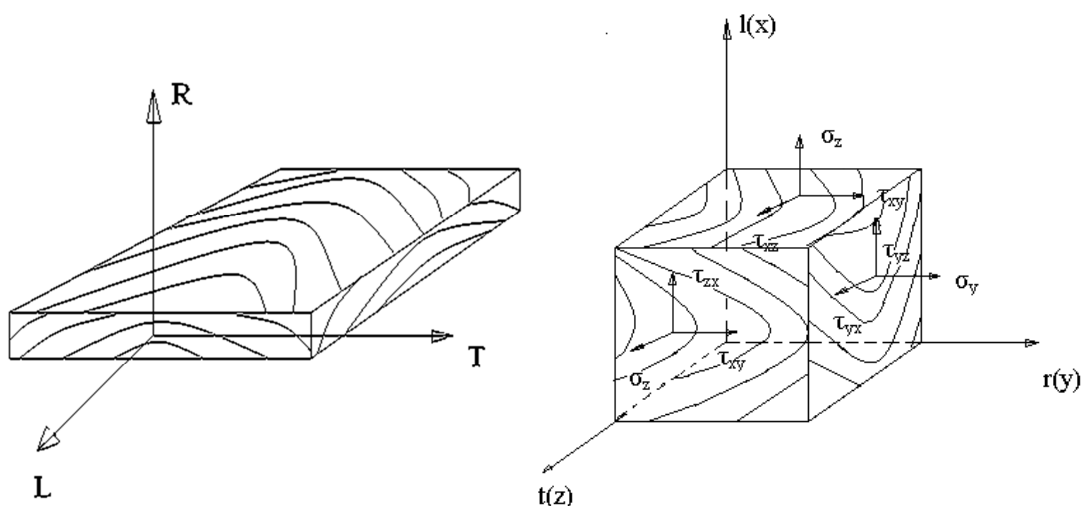


Рисунок 2. Оси направленности векторов по отношению к ориентации волокон и годовичных слоев древесины

Рисунок 3. Обозначение напряжений при трехосном сжатии образца древесины

Как известно [4], зависимость между величиной деформации и действующей на тело силой выражается законом Гука: деформация упругого тела пропорциональна действующему усилию. Математически эта зависимость для ортотропного материала имеет следующий вид:

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_x} - \frac{\mu_{yx}\sigma_y}{E_y} - \frac{\mu_{zx}\sigma_z}{E_z}, \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = -\frac{\mu_{yx}\sigma_x}{E_x} + \frac{\sigma_y}{E_y} - \frac{\mu_{zy}\sigma_z}{E_z}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = -\frac{\mu_{xz}\sigma_x}{E_x} - \frac{\mu_{zy}\sigma_y}{E_y} + \frac{\sigma_z}{E_z}, \quad (3)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}}, \quad (4) \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{yz}}, \quad (5) \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G_{zx}} \quad (6)$$

где σ – нормальное напряжение;

ε – относительная продольная деформация;

E – модуль упругости;

μ – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона);

τ – касательное напряжение, действующее по площадке с нормалью x параллельно оси y ;

G – модуль сдвига.

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 своих работах Ашкенази Е. Н. и Леонтьев Н. Л. представили формулы упругих постоянных. Оси, определяющие направление векторов напряжений, и определены путем преобразования компонентов деформаций от одних осей к другим [1, 4]. Эти преобразования дают объективную характеристику прочностных и упругих свойств фанеры для расчета индивидуальных свойств слоев шпона. С нашей точки зрения, этот метод более перспективен, поскольку при его применении представляется возможным учесть такие факторы, как пороки и дефекты древесины, существенно влияющие на прочностные и упругие характеристики материала.

В трехмерном пространстве симметрия какого-либо свойства анизотропной сплошной среды может быть изучена путем анализа симметрии геометрической поверхности, изображающей изменение величин, определяющих это свойство при изменении направления в этой среде. Если за оси координат выбрать оси симметрии ортотропного тела x, y, z , то каждая точка характеристической поверхности будет находиться от начала координат на величину радиуса – вектора r , а его проекции на оси координат определяться из выражений:

$$\begin{aligned} x &= r * C_{x|x} \\ y &= r * C_{x|y} \\ z &= r * C_{x|z} \end{aligned} \quad (7)$$

Поворот осей координат определяется схемой косинусов:

$$\begin{array}{ccc} & x & y & z \\ \begin{array}{l} x \\ y \\ z \end{array} & \begin{array}{l} C_{x|x} \\ C_{y|x} \\ C_{z|x} \end{array} & \begin{array}{l} C_{x|y} \\ C_{y|y} \\ C_{z|y} \end{array} & \begin{array}{l} C_{x|z} \\ C_{y|z} \\ C_{z|z} \end{array} \end{array} \quad (8)$$

В этих математических уравнениях характеристики прочности изменяются в зависимости от поворота осей координат. Но при этом такой фактор влияния как собственно клей, соединяющий слои фанеры между собой, не рассматривается. Вместе с тем экспериментально подтверждено, что однородность поля напряжений и деформаций, а в итоге прочность фанеры зависит не только от угла поворота листов шпона в пакете, но и от характеристик клея. В этой связи любое изменение физико-механических показателей древесины и клея приведет к изменению свойств анизотропности слоистого композита. Если же вводится еще какой либо компонент, например эластомер или органический наполнитель, то эффект проявится еще в большей степени.

Этот метод вполне приемлем для анализа деформативных состояний фанеры, поскольку представляется возможным учитывать такие факторы, как пороки и дефекты древесины, существенно влияющие на прочностные и упругие характеристики материала. Однако он не определяет истинного напряжения в отдельных слоях шпона.

Характеристики и расчетные показатели обосновал и подробно изложил А. Н. Кириллов [2]. Он оценивал свойства отдельных слоев шпона, составляющих пакет, с учетом их числа и взаимно перпендикулярного расположения.

На основе этих данных мы предложили рассматривать фанеру из модифицированного шпона как трехэлементную модель. Одним из компонентов системы является эластомер,

которым пропитывается шпон (рис. 4). Если классическая фанера показывается в виде двухэлементной структуры, то исследуемый продукт в зоне клеевого соединения уже представляется составленным из трех компонентов: клея, эластомера и древесины. Идеализированная модель позволяет упростить расчеты и анализ деформационных проявлений. Так как на формирование клеевого соединения и получение монолитного слоистого композита в значительной мере влияют микротрещины, выходящие на контактные поверхности листов шпона, то необходимо оценить это влияние количественно.

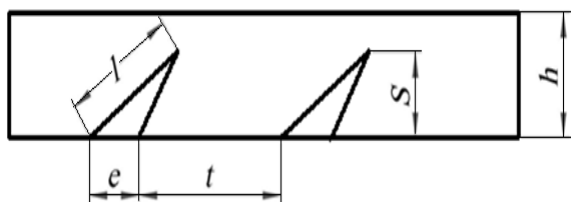


Рисунок 4. Модель пакета СФ из модифицированного соснового шпона



Рисунок 5. Условная шероховатость шпона: S – глубина, e – ширина, t – шаг, h – высота шпона, l – длина.

Величину выступа трещин, характеризующих шероховатость (рис. 4), условно можно определить по формуле (рис. 5): $k=eS/2t$ (9), т.к. шпон у нас обрабатывается с двух сторон, то формулу можно записать в следующем виде: $k=eS/t$ (10).

Представим трехкомпонентный композит в виде конструкции, в которой 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: «c+k». Соответственно толщина шпона будет выражена как «h-k». Итоговая формула определения модуля упругости с учетом направления слоев шпона в композите принимает вид:

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

$$E_{D_{22}} = \frac{E_{90}}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{\lambda n_0(h-k)(2c+k) + (n-n_0)(2c+k)(h-k)}{n(h-k)(2c+k)} - \frac{n(h-k)(2c+k)\mu_{90}^2 \mu_s}{n_0(h-k)(2c+k) + \lambda(n-n_0)(h-k)(2c+k)} \right], \quad (12)$$

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

μ_0, μ_{90}, μ_s – коэффициенты Пуассона шпона вдоль и поперек волокон, эластомера;

n – общее число элементарных слоев;

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

h – толщина шпона;

s – общее число композитных слоев;

Преобразовав формулу получим:

$$E_{D_{11}} = \frac{E_0}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{n_0 + \lambda(n - n_0)}{n} - \frac{n \mu_{90}^2 \mu_s^2}{\lambda n_0 + (n - n_0)} \right], \quad (13)$$

$$E_{D_{22}} = \frac{E_{90}}{1 - \mu_0 \mu_{90} \mu_s} \left[\frac{\lambda n_0 + (n - n_0)}{n} - \frac{n \mu_{90}^2 \mu_s}{n_0 + \lambda(n - n_0)} \right], \quad (14)$$

Формулы (11–14) 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 равной толщиной всех слоев шпона.

На основании исследований, ранее проведенных А. Н. Кирилловым для равнослойной березовой фанеры, можно утверждать, что расчет прочностных характеристик фанеры по элементарному слою позволяет с точностью до 18 % рассчитать аналитическим путем предельные показатели прочности фанеры, в т.ч. и из модифицированного шпона. При этом вводимые в расчетные формулы базовые параметры скорректированы по величинам согласно физико-механическим свойствам эластомера – модификатора, внедренного в поверхностный, контактный слой шпона и 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. – М.: Лесная промышленность, 1966. – 167 с.
2. Кириллов А. Н. Конструкционная фанера. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 112 с.
3. Левинский Ю. Б. Производство клееных слоистых материалов: учеб. пособие. – Екатеринбург: УГЛТУ, 1993. – 144 с.

4. Леонтьев Н. Л. Упругие деформации древесины. – М.: ЦНИИМОД, Гослесбумиздат, 1952. – 120 с.
5. Хрулев В. М. Модифицированная древесина в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 110 с.

Рецензенты:

Сарапулов С. Ф., доктор технических наук, профессор, заместитель Министра промышленности и науки Свердловской области, Министерство промышленности и науки Свердловской области, г. Екатеринбург.

Глухих В. В., доктор технических наук, профессор, Уральский государственный лесотехнический университет, г. Екатеринбург.