

При пересечении кривой температуры среднего слоя с кривой температуры одного из наружных слоев начинается стадия V — устойчивого распространения тепла. На этой стадии температура во всех слоях плиты изменяется по одному и тому же закону независимо от добавки.

Анализ данных показывает, что наибольшее количество тепла поступает от верхнего слоя к среднему в течение всего процесса прессования. Температура верхнего слоя ковра в течение всего процесса прессования выше, чем нижнего. Это закономерно, так как в нижний слой плиты при прессовании поступает повышенное количество влаги вследствие массопереноса и, следовательно, требуется большее количество тепла для ее испарения. Этот слой плиты менее плотен, он характеризуется пониженными значениями коэффициента теплопроводности (табл. 2). Из этого следует вывод о целесообразности повышенного обогрева нижних плит пресса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекетов В.Д., Ананьин П.П., Еременко Н.И. Прогрев древесноволокнистых плит сухого формования при прессовании. — В кн.: Труды ВНИИдрева, 1971, вып. 5, с. 3—9. 2. Mataki J. A fundamental study on the hot-pressing mechanism of pulp mat prepared for the fiberboard. — Bull Kynshi Univ. forests, 1971, N 41, p. 1—97.

УДК 674.048:539.37

С.С.МАКАРЕВИЧ, канд. техн. наук,
А.В.ДОРОЖКО (БТИ)

ИЗМЕНЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ДЕФОРМАТИВНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ТЕРМОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Древесина является ярко выраженным анизотропным материалом, т.е. материалом, у которого упругие характеристики в разных направлениях сильно отличаются. Если выделить из древесины небольшой образец плоскостями, параллельными тангенциальному направлению, радиальному и вдоль волокон, то он будет обладать свойствами ортотропного тела. Для таких образцов нами определены упругие характеристики в главных направлениях для древесины березы и ольхи натуральной и модифицированной [1, 2]. О степени анизотропии этих материалов можно судить по данным, приведенным в табл. 1. Из таблицы видно, насколько существенно снижается степень анизотропии древесины при ее модифицировании. Так, отношение модулей E_a/E_t уменьшается в 2,5...3,0 раза, отношение E_a/E_r уменьшается в 1,5...2,0 раза, то же можно сказать и об отношениях коэффициентов Пуассона $\mu_{ar}/\mu_{ra}, \mu_{tr}/\mu_{ta}, \mu_{rt}/\mu_{ra}$. Отношение модулей E_r/E_t и коэффициентов Пуассона $\mu_{at}/\mu_{ar}, \mu_{rt}/\mu_{tr}$ изменяется при модифицировании незначительно.

Упругие характеристики древесины, определенные вдоль волокон, в радиальном и тангенциальном направлениях, не дают полного представления о ее анизотропии. Часто бывает необходимым знать значения упругих констант в

Таблица 1.

Упругие характеристики древесины

Материал	$\frac{E_a}{E_t}$		$\frac{E_a}{E_r}$		$\frac{E_r}{E_t}$		$\frac{\mu_{ar}}{\mu_{ra}}$		$\frac{\mu_{at}}{\mu_{ta}}$		$\frac{\mu_{tr}}{\mu_{ta}}$		$\frac{\mu_{tr}}{\mu_{ta}}$		$\frac{G_{ar}}{G_{at}}$		$\frac{G_{ar}}{G_{tr}}$	
	E_a	E_t	E_a	E_r	E_r	E_t	μ_{ar}	μ_{ra}	μ_{at}	μ_{ta}	μ_{tr}	μ_{ta}	μ_{tr}	μ_{ta}	G_{ar}	G_{at}	G_{ar}	G_{tr}
Береза натуральная	31,63	17,12	1,85	1,30	1,168	35,32	1,76	25,48	19,38	1,11	5,93	5,33						
Береза + 10 % раств. ФС*	21,75	11,69	1,86	1,37	8,74	28,44	1,76	20,54	15,28									
Береза + 20 % раст. ФС	20,03	10,94	1,85	1,72	8,31	35,29	1,80	19,59	14,26									
Береза + 35 % раств. ФС	18,74	10,19	1,81	1,59	6,85	28,07	1,75	16,70	11,34	1,19	3,78	3,18						
Береза + 50 % раств. ФС	13,73	8,08	1,70	1,66	5,41	22,33	1,72	12,57	8,70									
Береза + (ПН-1)	13,01	9,65	1,35	1,59	7,54	23,12	1,48	15,50	11,87	1,71	2,37	1,39						
Ольха натуральная	25,38	9,77	2,60	1,00	7,67	6,79	1,86	5,77	12,12	1,16	7,01	6,04						
Ольха + 10 % раств. ФС	11,02	8,27	1,33	1,05	5,43	6,25	1,84	5,41	9,06									
Ольха + 20 % раств. ФС	9,34	7,15	1,31	1,17	6,60	7,45	1,23	6,97	8,91									
Ольха + 35 % раств. ФС	8,34	6,78	1,23	1,31	5,54	5,61	1,35	5,07	8,83	1,22	7,87	6,45						
Ольха + 50 % раств. ФС	7,60	4,91	1,55	1,49	3,55	6,02	1,61	3,82	5,41									
Ольха + (ПН-1)	7,38	6,17	1,19	1,16	3,45	5,03	1,32	5,85	6,14	1,42	2,25	1,58						

*Береза + 10 % раств. ФС означает, что береза модифицирована 10 %-ным раствором фенолоспиртов: береза + (ПН-1) означает, что береза модифицирована смолой ПН-1.

любых направлениях (при изготовлении с использованием древесины слоистых композитов с заданными свойствами). Наиболее наглядное представление об изменении свойств древесины в зависимости от изменения направления по отношению к главным осям симметрии дает графическое изображение их, т.е. построение пространственных диаграмм анизотропии. Известно, что для анизотропного тела обобщенный закон Гука записывается с помощью 81 постоянной податливости S_{ijkl} , которые образуют тензор четвертого ранга. Используя закон преобразования тензора четвертого ранга [3], получим

$$S'_{mnop} = l_{mi} l_{nj} l_{ok} l_{pl} S_{ijkl} \quad (1)$$

Буквой l обозначены косинусы углов между новыми осями и старыми. Первый индекс у l означает номер новой оси, второй индекс — номер старой оси. Оси нами обозначены в соответствии с рис. 1, причем оси упругой симметрии a, r, t соответственно обозначены 1, 2, 3.

Раскрывая тензор (1) и оставляя только члены, соответствующие ортотропному телу, получим:

$$\frac{1}{E_x} = \frac{l_{11}^4}{E_{11}} + \frac{l_{12}^4}{E_{22}} + \frac{l_{13}^4}{E_{33}} + \left(\frac{1}{E_{12}} - \frac{\mu_{12}}{E_{11}} - \frac{\mu_{21}}{E_{22}} \right) l_{11}^2 l_{12}^2 +$$

(2)

$$+ \left(\frac{1}{E_{23}} - \frac{\mu_{23}}{E_{22}} - \frac{\mu_{32}}{E_{33}} \right) l_{12}^2 l_{13}^2 + \left(\frac{1}{E_{31}} - \frac{\mu_{31}}{E_{33}} - \frac{\mu_{13}}{E_{11}} \right) l_{13}^2 l_{11}^2;$$

$$\frac{1}{G_{xy}} = 4 \left(\frac{l_{11}^2 l_{21}^2}{E_{11}} + \frac{l_{12}^2 l_{22}^2}{E_{22}} + \frac{l_{13}^2 l_{23}^2}{E_{33}} \right) - 4 \left[\left(\frac{\mu_{12}}{E_{11}} + \frac{\mu_{21}}{E_{22}} \right) l_{11} l_{12} l_{21} l_{22} + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{\mu_{23}}{E_{22}} + \frac{\mu_{32}}{E_{33}} \right) l_{12} l_{22} l_{13} l_{23} + \left(\frac{\mu_{31}}{E_{33}} + \frac{\mu_{13}}{E_{11}} \right) l_{11} l_{21} l_{13} l_{23} \right] +$$

$$+ \frac{(l_{12} l_{21} + l_{11} l_{22})^2}{E_{12}} + \frac{(l_{13} l_{22} + l_{12} l_{23})^2}{E_{23}} + \frac{(l_{13} l_{21} + l_{11} l_{23})^2}{E_{13}}; \quad (3)$$

$$\frac{\mu_{xy}}{E_x} = - \frac{l_{11}^2 l_{21}^2}{E_{11}} - \frac{l_{12}^2 l_{22}^2}{E_{22}} - \frac{l_{13}^2 l_{23}^2}{E_{33}} + \frac{\mu_{12}}{E_{11}} l_{11}^2 l_{22}^2 + \frac{\mu_{21}}{E_{22}} l_{12}^2 l_{21}^2 +$$

$$+ \frac{\mu_{23}}{E_{22}} l_{12}^2 l_{23}^2 + \frac{\mu_{32}}{E_{33}} l_{13}^2 l_{22}^2 + \frac{\mu_{13}}{E_{11}} l_{11}^2 l_{23}^2 + \frac{\mu_{31}}{E_{33}} l_{13}^2 l_{21}^2 -$$

$$- \frac{l_{11} l_{12} l_{21} l_{22}}{E_{12}} - \frac{l_{12} l_{22} l_{13} l_{23}}{E_{23}} - \frac{l_{11} l_{13} l_{21} l_{23}}{E_{13}}. \quad (4)$$

В целях упрощения составления программы и счета на ЭВМ здесь введены обозначения: $E_{11} = E_1 = E_a, E_{22} = E_2 = E_r, E_{33} = E_3 = E_t, E_{12} = G_{12} = G_{ar}, E_{23} = G_{23} = G_{rt}, E_{31} = G_{31} = G_{ta}$.

При такой записи остальные упругие постоянные можно определить с помощью круговой перестановки индексов (1, 2, 3), что позволяет запрограммировать счет по циклу.

Как показано в работе [4], расчеты получаются проще, если положить, что ось y не выходит из плоскости ag (рис. 1). Обозначим θ — угол между осью x и плоскостью ag , а φ — между осью и проекцией оси x на плоскость ag . Тогда направляющие косинусы определяются через эти углы, как показано в табл. 2.

По уравнениям (2)–(4) составлена программа и с помощью ЭВМ построены пространственные диаграммы анизотропии всех упругих констант при растяжении натуральной древесины березы и ольхи и модифицированной фенолоспиртами и смолой ПН-1.

В данной статье нет возможности привести все диаграммы анизотропии. Следует остановиться на некоторых кривых анизотропии коэффициента Пуассона. На рис. 2 приведены кривые изменения коэффициента Пуассона в продольно-тангенциальной плоскости. Из рисунка видно, что коэффициент Пуассона μ_{zx} для древесины березы и ольхи при изменении угла θ меняет знак. Мы сталкиваемся с интересным явлением, когда в довольно большом диапазоне $15^\circ < \theta < 80^\circ$ при растяжении стержня в одном направлении в другом направлении, перпендикулярном первому, размеры

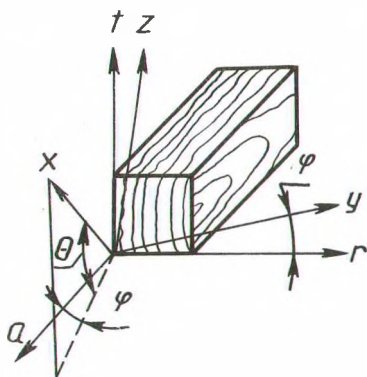


Рис. 1. Схема поворота осей.

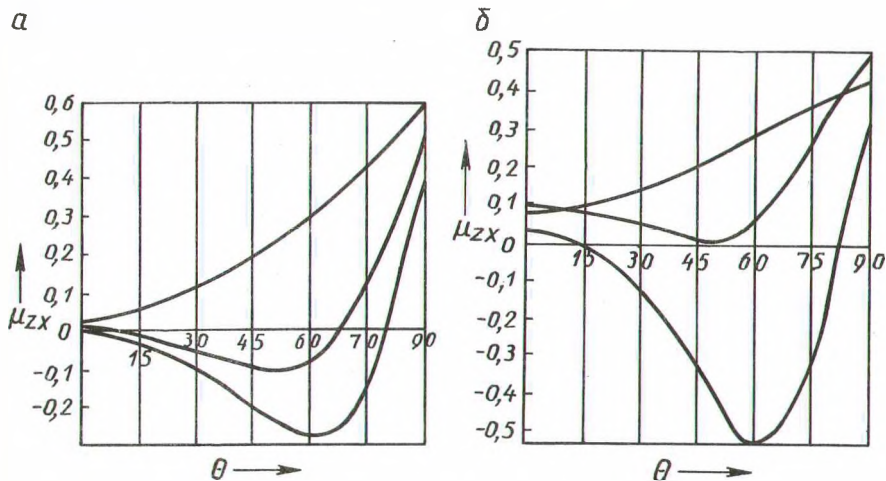


Рис. 2. Изменение коэффициента Пуассона в продольно-тангенциальной плоскости: а, б — соответственно для древесины березы и ольхи; 1—3 — соответственно натуральная древесина, модифицированная фенолоспиртами и смолой ПН-1.

Таблица 2.

Направляющие косинусы

Произвольные оси	Главные оси симметрии		
	a	r	t
x	$l_{11} = \cos \theta \cos \varphi$	$l_{12} = \cos \theta \sin \varphi$	$l_{13} = \sin \theta$
y	$l_{21} = -\sin \varphi$	$l_{22} = \cos \varphi$	$l_{23} = 0$
z	$l_{31} = -\sin \theta \cos \varphi$	$l_{32} = -\sin \theta \sin \varphi$	$l_{33} = \cos \theta$

стержня не уменьшаются, а увеличиваются. Модифицирование древесины фенолоспиртами приводит к увеличению областей с положительными значениями коэффициента Пуассона и уменьшению областей с отрицательными значениями у березы, а у ольхи отрицательная область исчезает, хотя при $\theta = 50^\circ$ μ_{zx} близко к нулю.

Очевидно, фактором, приводящим к появлению отрицательных значений коэффициента Пуассона μ_{zx} , является структурное строение древесины, представляющей собой не сплошное твердое тело, а некоторую пространственную конструкцию. По мере заполнения пустот полимером древесина становится ближе к сплошному телу и область с отрицательными значениями коэффициента Пуассона исчезает. Так, при модифицировании древесины березы фенолоспиртами 14,4 % пустот заполнились сухим остатком полимера и отрицательная область μ_{zx} уменьшилась по сравнению с натуральной древесиной, а при модифицировании древесины ольхи фенолоспиртами 23,5 % пустот заполнились полимером и наименьшее значение μ_{zx} возрастает до нуля. При модифицировании смолой ПН-1 в древесине березы 73,2 % пустот заполнились полимером, а в древесине ольхи 85,5 %, и для любых направлений коэффициенты Пуассона стали положительными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожки А.В., Макаревич С.С. Упругие свойства модифицированной древесины при растяжении. — В кн.: Механическая технология древесины. Минск: Выш. шк., 1983, вып. 13, с. 64–66.
2. Дорожки А.В. Определение модулей сдвига модифицированной древесины при растяжении. — В кн.: Механическая технология древесины. Минск: Выш. шк., 1985, вып. 15, с. 67–70.
3. Рогенс К.А. Технологическое регулирование свойств древесины. — Рига: Зинатне, 1979. — 224 с.
4. Ашкенази Е.К., Ганов Э.В. Анизотропия конструкционных материалов. — Л.: Машиностроение, 1972. — 216 с.