

снижения напряжений, возникающих при колебаниях. Из полученных результатов следует (рис. 1, 2), что наименьшие напряжения возникают при низших формах (первая, вторая). Известно, что форма колебаний зависит от уровня начального напряженного состояния. Поэтому в целях снижения напряжений необходимо создать в пилах такие начальные напряжения, при которых в пиле возникали бы формы с  $n > 3$ . С другой стороны, при низших формах колебаний возрастают амплитуды при прочих равных условиях, а вместе с тем и величина напряжений. Однако, как следует из рис. 3, а и 3, б, влияние амплитуды на величину напряжений при низших формах менее значительно, чем при высших  $n > 3$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Жодзишский Г. А. Влияние начальных напряжений (возникающих вследствие проковки) на частоты свободных колебаний круглых пил// Лесн. журн.— 1958.— № 5.— С. 107—118. (Изв. высш. учеб. заведений). [2]. Жодзишский Г. А. Влияние начальных напряжений от проковки и напряжений от неравномерного нагрева на частоты свободных колебаний вращающихся круглых пил// Тр. ЛТА.— Л., 1959.— Вып. 83. [3]. Стахнев Ю. М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил.— М.: Лесн. пром-сть, 1977.— 296 с. [4]. Тимошенко С. Л., Гудьер Дж. Теория упругости.— М.: Наука, 1979.— 560 с. [5]. Якунин Н. К., Хаздан С. М. Об устойчивости и вибрации дисков круглых пил при пилении// Деревообраб. пром-сть.— 1957.— № 8, 9.

Поступила 10 декабря 1984 г.

УДК 630\*812.7 : 674.048

### ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛОЙ ФР-100

А. Ф. РАЗУМОВА, В. Н. ТВЕРДОХЛЕБОВА, Б. Д. РУДЕНКО,  
Т. В. ЕРМОЛИНА

Сибирский технологический институт

Для повышения долговечности древесины, работающей в условиях повышенной влажности, применяют фенолоформальдегидную смолу ФР-100. Она хорошо проникает в стенки клеток и в значительном количестве находится в их полостях [2]. Смола ФР-100 отверждается в присутствии п-формальдегида, который выполняет роль отвердителя, и от его количества зависят свойства как пропиточного состава, так и модифицированной древесины. Определенный интерес представляет изучение долговечности получаемого материала.

Цель данной работы — установить оптимальное количество отвердителя для разработки пропиточного состава на основе смолы ФР-100 с заданными свойствами и изучить долговечность модифицированной древесины.

Исследования проводили на образцах размером  $20 \times 20 \times 30$  мм (последний размер — вдоль волокон), которые высушивали до абсолютно сухого состояния при  $t = (103 \pm 2)$  °С. Пропитке подвергали здоровую заболонь сосны. Для приготовления пропиточного раствора использовали смолу ФР-100 и отвердитель п-формальдегид в порошкообразном состоянии (ТУ 6—05—1638—78). У полученной партии смолы вязкость и содержание сухого остатка определяли опытным путем. Вязкость по ВЗ-4 составила 8 с, а содержание сухого остатка — 60 %. Концентрацию отвердителя рассчитывали по сухому остатку.

Подготовленные образцы укладывали в стакан, заливали раствором и помещали в пропиточную установку. Общее время пропитки составляло 2 ч, из них 1,5 ч под давлением 0,5 МПа. По окончании пропитки образцы вынимали, осушали и взвешивали. Пропитанные образцы подсушивали на воздухе при комнатных условиях до постоянной массы, а затем доводили до абсолютно сухого состояния в шкафу при  $t = (103 \pm 2)$  °С.

Эффект модификации объективно оценивали при выполнении минимума испытаний модифицированной древесины по методике ЦНИИСКА [1]. Согласно методике, для модифицированной древесины определяли содержание полимера, увеличение плотности, остаточное набухание, водо- и влагопоглощение, прочность при сжатии вдоль волокон. После испытания образцы раскалывали для нахождения глубины пропитки.

Смола ФР-100 представляет собой водорастворимую однородную жидкость темно-коричневого цвета с содержанием сухого остатка не менее 55 %. В практике склеивания древесины смолой ФР-100 оптимальным, с технологической точки зрения, принято количество отвердителя, равное 10 % [3]. При такой концентрации происходит отверждение клея в течение 1 ч и образуется прочный клеевой слой. Смола при склеивании проникает в древесину на глубину не более 2 мм. Применяя для модификации древесины смолу ФР-100, следует увеличить ее проникающую способность, чего можно достичь путем снижения количества отвердителя в пропиточном составе. При уменьшении количества отвердителя увеличивается жизнеспособность состава, а следовательно, и время пропитки. Однако количество отвердителя оказывает влияние на прочностные, влаго- и водозащитные свойства модифицированной древесины. Поэтому мы исследовали область изменения концентрации отвердителя от 1 до 10 % с интервалом в 1 %. Введение отвердителя в состав ниже 1 % и выше 10 % не имеет смысла, поскольку в первом случае смола утрачивает способность к отверждению, а во втором — проникновению в древесину.

Полученные результаты (средние значения не менее 10 наблюдений) приведены в табл. 1. Они подтверждают высокую проникающую способность смолы ФР-100.

Таблица 1

Показатели качества пропитки древесины смолой ФР-100 с различным содержанием отвердителя в пропиточном растворе

Концентрация отвердителя, %	Содержание полимера, %	Увеличение плотности, %	Глубина пропитки вдоль волокон, мм	Остаточное набухание, %		Прочность, МПа	Примечание
				тангенциальное	радиальное		
1	66,09	52,77	Сквозная	5,0	3,3	52	
2	65,57	50,77	»	3,7	3,5	49,5	
3	54,11	44,47	» 5—15	3,4	1,8	52	
4	51,81	38,30	» 7—8	2,5	3,0	47	
5	48,95	41,34	» 5—8	3,2	2,4	56,5	
6	23,45	19,50	» 3—7	3,2	2,0	47,5	
7	49,71	—	Сквозная по поздней зоне	—	—	54,0	
8	25,36	21,92	2—5	1,6	1,5	43,5	Трещины
9	48,16	45,31	2—3	3,1	1,9	51,5	»
10	55,38	53,04	2—3	4,4	1,8	52,5	»
Натуральная древесина	—	—	—	—	—	48,0	

Содержание полимера в модифицированной древесине высокое при различной концентрации отвердителя в пропиточном растворе, особенно велико оно при концентрации отвердителя 1...2 %. С увеличением количества отвердителя содержание полимера несколько снижается, а затем снова увеличивается. Последнее вызвано не столько улучшением проникающей способности смолы, сколько отложением ее на поверхности образцов. Данный вывод подтверждается глубиной пропитки, определяемой визуально по окраске древесины в коричневый цвет различной интенсивности. При высокой концентрации отвердителя 7...10 %

Таблица 2

## Показатели влаго- и водопоглощения модифицированной древесины

Концентрация отвердителя, %	Содержание полимера, %	Влагопоглощение (числитель) и водопоглощение (знаменатель) при продолжительности выдержки									
		сут									
		ч	1	2	3	6	9	13	20	30	
1	66,67	—	5,6	11,5	11,6	14,0	15,6	16,6	16,1	16,7	
	57,52	13	49,0	53,0	67,0	62,0	69,0	70,0	74,0	80,0	
5	58,62	—	6,5	11,2	11,3	14,7	16,8	18,2	18,2	17,8	
	71,12	9	45,0	50,0	53,0	57,0	63,0	—	67,0	71,0	
10	56,27	—	6,3	10,9	11,0	13,9	15,7	17,1	17,0	17,0	
	79,58	8	42,0	48,0	52,0	55,0	62,0	62,0	64,0	69,0	
Натуральная древесина	5,61	5,61	6,6	16,8	16,6	18,8	18,5	20,0	20,3	20,5	
	55,00	55,00	80,0	100,0	113,0	143,0	164,0	171,0	183,0	192,0	

всех концентрациях отвердителя. Наибольшее значение остаточного набухания имеет древесина с концентрацией отвердителя 1%. Увеличение количества отвердителя ускоряет процесс отверждения смолы и снижает ее проникающую способность. Об этом свидетельствует уменьшение остаточного набухания при изменении концентрации отвердителя от 2 до 8%. При 9...10% концентрации тангенциальное остаточное набухание снова увеличилось вследствие образования радиальных трещин, заполненных смолой; при этом радиальное остаточное набухание составляет низкие величины.

Известно, что модификация древесины синтетическими смолами улучшает ее водозащитные свойства. Нами исследовано изменение влаго- и водопоглощения модифицированной древесины в зависимости от количества отвердителя в пропиточном растворе. Для определения этих показателей изготавливали образцы из заболони сосны размером 20 × 20 × 10 мм (последний размер вдоль волокон) и пропитывали

основная масса смолы проникает на глубину 2 мм. Эта зона отличается от центральной более темным цветом. В этом же интервале концентраций отвердителя происходит образование радиальных трещин на торцах образцов и отверждение смолы на их поверхности. Возрастание количества трещин и увеличение их размеров происходит в сторону верхнего предела концентраций. Это объясняется появлением напряжений в древесине, вызванных большой скоростью отверждения. При низких концентрациях, особенно 1...2%, наблюдается равномерное окрашивание древесины всего образца с одинаковой интенсивностью. Следовательно, содержание полимера находится в прямой зависимости от глубины пропитки. Подобная закономерность отмечается и при увеличении плотности модифицированной древесины.

При модификации древесины синтетическими смолами особое значение имеет остаточное набухание. Оно характеризует проникающую способность смолы, и чем выше его величина, тем больше полимера проникает в клеточную оболочку. Подтверждение хорошей проникающей способности смолы ФР-100 — полученные результаты остаточного набухания (см. табл. 1); они достаточно высокие при

смолой ФР-100 с содержанием отвердителя 1; 5; 10 %. Для сравнения эти же свойства определяли у натуральной древесины. Результаты приведены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что при испытанных концентрациях отвердителя влагопоглощение модифицированной древесины меньше натуральной. По отношению к натуральной древесине оно снизилось на 22, 15, 20 % соответственно для концентрации 1, 5 и 10 %. Водопоглощение древесины, модифицированной смолой с различной концентрацией отвердителя, также уменьшилось более чем в 2 раза, по сравнению с натуральной древесиной.

Анализируя результаты исследований влаго- и водопоглощения модифицированной древесины, можно отметить, что смола ФР-100 придает древесине высокие водозащитные свойства.

Далее приготовили пропиточные растворы на основе смолы ФР-100 с содержанием отвердителя 0,5 и 1,0 % и пропитали несколько партий образцов. Долговечность модифицированной древесины определяли по прочности при сжатии вдоль волокон после климатических испытаний по ускоренному методу, разработанному и предложенному В. М. Хрулевым [3]. Его режимы испытаний наиболее полно отвечают требованиям, предъявляемым к древесине, модифицированной фенолоформальдегидными смолами. Этот метод ускоренного старения сочетает условия жесткого режима обработки с возможностью использования небольших стандартных образцов, удобных для механических испытаний. Метод включает режим переменного кипячения-замораживания.

Подготовленные образцы выдерживали в кипящей воде 4 ч, затем быстро охлаждали проточной водой до температуры 16...20 °С и далее, вынув из воды, помещали на 15 ч в холодильную камеру с температурой — 20 °С. Затем образцы повторно погружали в кипящую воду на 4 ч, охлаждали проточной водой и испытывали на прочность во влажном состоянии. Полный цикл температурно-влажностной обработки длится сутки. В качестве контроля использовали образцы из натуральной древесины, которые участвовали в испытаниях по экспресс-методу.

Визуальные наблюдения за образцами до и после ускоренных испытаний не выявили их резких внешних различий. Даже после жестких условий испытаний на поверхности образцов не появлялись трещины. Показатели прочности, определенные после ускоренных климатических испытаний, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Концентрация отвердителя, %	Количество наблюдений	Содержание полимера, %	Предел прочности после испытаний в мокром состоянии, МПа
0,5	13	51,60	17,5
0,5	15	71,60	19,0
1,0	25	74,50	20,0
1,0	23	75,50	21,0
Натуральная древесина	10	—	12,0

В целом режим ускоренного старения не повторяет условий эксплуатации, а представляет собой сочетание более жестких воздействий, по результатам которых можно косвенно оценивать стойкость модифицированной древесины.

В результате наших исследований установлено, что древесина сосны, модифицированная смолой ФР-100, более устойчива к воздействию резкой смены температур и влаги, чем натуральная. Определена область, в которой можно варьировать количество отвердителя и исполь-

зовать состав для модификации и укрепления древесины, работающей в условиях переменной влажности.

#### ЛИТЕРАТУРА

[1]. Методы физико-механических испытаний модифицированной древесины/ ЦНИИСК.— М.: Стройиздат, 1973. [2]. Разумова А. Ф., Твердохлебова В. Н. Исследование пропиточных свойств фенолоформальдегидных смол// Лесн. журн.— 1984.— № 3.— С. 85—88. (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Хрулев В. М. Прогнозирование долговечности клеевых соединений деревянных конструкций.— М.: Стройиздат, 1981.— 88 с.

---

Поступила 14 апреля 1986 г.