

Плотность распределения протяженности бездефектных участков при различных значениях L : 1 — 3; 2 — 4; 3 — 6 м

В таблице приведена вероятность появления участков короче l_0 , когда распределение расстояний между дефектами описывается законом Эрланга (4) ($l_0 = 0,5$ м).

L , м	Q , вычисленная по формулам	
	(5)	(6)
3	0,251	0,250
4	0,204	0,200
5	0,174	0,167
6	0,153	0,143

По результатам расчетов получены аналитические зависимости, позволяющие с учетом распределения расстояний между соседними дефектами, которые обусловлены «природным» качеством древесины, определять распределение протяженности бездефектных участков и долю кусковых отходов при различной длине доски. Это дает возможность рассчитывать спецификационный выход цельных заготовок и находить оптимальную, с точки зрения выхода продукции, длину раскраиваемых пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания.— М.: Наука, 1987.— 336 с. [2]. Основы кибернетики. Математические основы кибернетики. / Под. ред. К. А. Пулкова.— М.: Высш. шк., 1974.— 413 с.

Поступила 11 сентября 1990 г.

УДК 674.815

МЕТОД ОПИСАНИЯ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ФРАКТАЛОВ

Г. М. ШУТОВ, М. И. КУЛАК

Белорусский технологический институт

Существующие методы теоретического описания прочности древесностружечных плит (ДСП) [7, 8] можно условно разделить на два класса. Первый основан на феноменологических методах механики сплошной среды применительно к средам с микроструктурой, а второй — на методах структурной теории прочности.

Особенность структуры ДСП в направлении, перпендикулярном пласти, такова, что каждый из подходов может дать удовлетворительное описание. Результаты во многом зависят от вида напряженного состояния. Поскольку в приповерхностных слоях плотность плиты максимальна и может в 1,5—2 раза превосходить плотность исходной древесины, то для расчета напряженных состояний, при которых больше нагружены наружные слои, оправдано использование феноменологических подходов. Внутренние слои имеют наименьшую плотность и в большей степени соответствуют представлениям о дисперсных материалах, для описания прочностных свойств которых применяются статистические методы.

Если рассматривать наружные и внутренние слои плиты как своеобразные предельные состояния структуры, то, естественно, возникает проблема переходной области. В этой связи основное требование, которому должна удовлетворять теория прочности — возможность учета полного набора структурных состояний или плотностей, присутствующих в ДСП. Из всех существующих статистических теорий в настоящее время только теория фракталов имеет возможность описывать переходные структурные состояния [10]. Указанная особенность обуславливает необходимость развития подхода, основанного на синтезе теории фракталов с одной из теорий прочности для определения прочностных свойств структур.

Необходимо также учитывать, что при оптимальных значениях параметров процесса смешивания стружки со связующим диаметр капель последнего составляет 8...10 мкм [11]. После нарезания на станках поверхность стружки представлена либо частично, либо полностью разрушенными стенками древесных клеток [15]. При этом «вскрытые» элементы клеток имеют размеры 10...30 мкм. Поскольку диаметр капель связующего сопоставим с размерами микронеровностей поверхности стружки, то можно считать клеевое соединение или клеевой шов по структуре близким к волокнистому композиту с нерегулярной матрицей в виде кластеров.

Прочность композиционного материала при условии, что основной вклад дают волокна, определяется из следующего выражения [12];

$$\sigma = \sigma_f (n_f + n_m E_m / E_f), \quad (1)$$

где σ_f — прочность волокна;

n_f, n_m — соответственно объемные доли волокна и матрицы;

E_f, E_m — соответственно модули упругости волокна и матрицы.

Выражение (1) получено для непрерывных матрицы и волокон. При использовании его для определения прочности древесностружечных плит необходимо учитывать дискретный характер матрицы и волокон или контактов в плите. Учет данных факторов будем осуществлять с помощью известных в структурной механике плит коэффициентов: k — степень покрытия связующим поверхности контакта частиц [3, 9]; ω — степень контактности, равная отношению площади контактов к общей площади поверхности стружки [13]. Их произведение представляет собой общую относительную площадь контактирования частиц по клеевому слою.

Таким образом, прочность древесностружечной плиты в слоях, соответствующих максимуму плотности, можно определить как

$$\sigma = \sigma_n k \omega (n_d + n_c E_c / E_d). \quad (2)$$

В формуле (2), по сравнению с (1), параметры, относящиеся к волокнам, обозначены как параметры древесины (индекс d), параметры матрицы — как параметры связующего (индекс c).

Необходимо иметь в виду, что в клеевом соединении сумма объемных долей связующего и волокон древесины из (2) не равна единице, поскольку, как уже обсуждалось выше, связующее не образует сплошную матрицу. Поэтому при суммировании необходимо учитывать объемную долю третьего компонента — пор, образованных при вскрытии и разрушении стенок древесных клеток [14, 15].

Для расчета указанных концентраций определим объемную долю клевого слоя в ДСП без учета размещенного в нем связующего. Площадь поверхности древесной частицы длиной l , шириной b и высотой h

$$s = 2(lb + lh + bh). \quad (3)$$

Как свидетельствуют результаты микроскопии [14, 15], толщина слоя, вскрываемого при нарезании стружки и доступного для проникновения связующего порядка диаметра древесной клетки a_i . Поэтому объем клевого слоя одной частицы

$$v = 2a_i(lb + lh + bh). \quad (4)$$

Общий объем клевого слоя V в объеме стружки $V_{ст}$

$$V = 2a_i V_{ст} (lb + lh + bh) / lbh. \quad (5)$$

Объемная доля клевого слоя $n_{к.с}$ при объемной доле стружки в плите $n_{ст}$

$$n_{к.с} = 2a_i n_{ст} (lb + lh + bh) / lbh. \quad (6)$$

Для того чтобы определить, какая часть $n_{к.с}$ приходится на древесину, а какая на поры, необходимо рассмотреть задачу пересечения древесной клетки случайной плоскостью, параллельной ее оси. Такая процедура по сути является геометрической моделью операции деления клетки в процессе стружкообразования. В этом случае доля сечения, приходящаяся на древесину

$$s_d = 4b_i(1 - b_i/a_i)/a_i. \quad (7)$$

Объемные доли находящихся в клеевом слое древесины пор и связующего найдем по следующим формулам:

$$n_{д.к} = n_{к.с} s_d; \quad (8)$$

$$n_{п.к} = n_{к.с} (1 - s_d); \quad (9)$$

$$n_{с.к} = \omega n_{с.п}; \quad (10)$$

где $n_{с.п}$ — объемная доля связующего в древесностружечной плите.

Для конкретных вычислений по (6) — (10) использованы усредненные данные о микроструктуре сосны [2]: $a_i = 25$ мкм, $b_i = 3,5$ мкм. Объемная доля связующего в ДСП принята равной 0,04. Средневзвешенные размеры стружки вычислены по известным методикам [8] с учетом распределения ее фракций и размеров в реальном стружечном потоке: $l = 8,44$ мм, $b = 1,28$ мм, $h = 0,32$ мм. Объемные доли компонентов клевого слоя в этом случае для $n_{д.к}$ составляют 0,397, для $n_{с.к} = 0,172$, для $n_{п.к} = 0,431$. Таким образом, суммарная объемная доля древесины и связующего в клеевом слое равна 0,57.

Экспериментальные данные [13] показывают, что физически значимые величины степени контактности частиц в ДСП составляют порядка 0,7.

Степень покрытия связующим поверхности контакта частиц изучалась достаточно тщательно [1, 3, 9]. Из простых вероятностных сообра-

жений следует, что она выражается через степень покрытия связующим всей поверхности частиц k_n :

$$k = 2k_n - k_n^2. \quad (11)$$

В работе [3] экспериментально установлена зависимость степени покрытия поверхности частиц от расхода связующего. При расходе 10 % она равна 0,37. По уравнению (12) получаем $k = 0,6$.

Как отмечалось выше, выражение (2) позволяет вычислять прочность ДСП в слоях, расположенных вблизи максимума плотности. При переходе вглубь плотность плиты уменьшается, соответственно возрастает доля порового пространства, что сказывается также на прочностных свойствах соответствующих слоев. Если рассматривать межстружечные поры в качестве третьего компонента макроструктуры плиты и использовать выражение (1) для определения прочности внутренних слоев плиты, то получается тривиальный результат — прочность слоя пропорциональна его плотности. Однако необходимо иметь в виду, что линейные соотношения (1) и (2) справедливы для малых значений объемной доли второго компонента. Для того чтобы обойти указанные трудности и иметь возможность вычислять распределение прочности в плите при любых законах изменения ее плотности, разработана специальная алгоритмизированная пошаговая процедура. Рассмотрим ее более подробно применительно к ДСП.

Выделим мысленно в плите два лежащих рядом слоя. Характеристики слоя, имеющего более высокую плотность, обозначены индексом 1, а слоя с более низкой плотностью — 2. Структура 2 получается добавлением к структуре 1 некоторого количества пор, однако, как уже указывалось, построить на этой основе алгоритм вычисления распределения прочности не удастся. Если состояния обратить и рассматривать 2 в качестве исходного, то 1 получается из 2 добавлением древесных частиц в количестве $\Delta n_2 = n_1 - n_2$. В этом случае из (1) следует, что прочность слоя 1

$$\sigma_1 = \sigma_2 [1 - \Delta n_2 + \Delta n_2 E_d / E_2]. \quad (12)$$

Поскольку расчет ведется от состояний с максимумом плотности, то в (12) σ_2 известно. Таким образом, прочность слоя 2

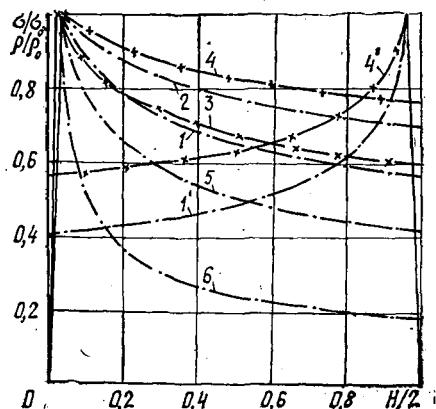
$$\sigma_2 = \sigma_1 / [1 - \Delta n_2 + \Delta n_2 E_d / E_2]. \quad (13)$$

Для некоторого произвольного слоя i

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} / [1 - \Delta n_i + \Delta n_i E_d / E_i]. \quad (14)$$

При последовательном прохождении от поверхности до центра плиты, получаем распределение прочности слоев. Шаг контролируем по закону распределения плотности и выбираем таким, чтобы выполнялось условие $\Delta n_i < 0,1$.

Законы распределения прочности и плотности в древесностружечных плитах представлены на рисунке. Показатели приведены в относительных безразмерных единицах: плотность — в единицах максимума плотности, прочность — в единицах прочности древесины. Расстояние до пласти плиты H выражено в безразмерных единицах половины ее толщины. В таком представлении графики имеют универсальный характер и справедливы для любого вида нагружения (растяжение, изгиб и т. д.). Возможность вычислять прочность для различных видов напряженного состояния с помощью одной процедуры является одним из достоинств предлагаемого подхода, поскольку в существующих теориях [7, 8] для всех видов напряженного состояния используются свои формулы, причем связи между ними не всегда просматриваются.



Сопоставив распределение плотности и прочности, можно заключить, что имеет место пропорциональность: при увеличении плотности растет и прочность плит. Вместе с тем по наклонам кривых видно, что функционально эти зависимости различаются. Прочность с переходом к внутренним слоям плиты уменьшается медленнее, чем плотность, поскольку существенное значение имеет не только сам факт наличия материала, но и структура, в которую он организован.

Плиты, полученные в лабораторных условиях (кривые 1—3), имеют меньшую прочность, чем плиты промышленного изготовления (кривая 4). Кривые 1 и 2 показывают диапазон изменения прочности плит, имеющих одинаковые значения интегральной плотности.

В плане технологического приложения разработанный подход расчета прочности может быть использован для оперативной диагностики прочностных свойств плит в рамках метода неразрушающего контроля [5]. В качестве иллюстрации его возможностей на рисунке приведено распределение прочности в плитах, изготовленных на Красноярском КИСК (кривые 5 и 6). Экспериментальные данные о распределении плотности (кривые 1', 4' взяты из работы [4], в которой анализируется конкретная производственная ситуация, связанная с тем, что плиты имеют дефект структуры, уменьшающий прочность на растяжение перпендикулярно пласти в три раза по сравнению с требованиями ГОСТ. Кривые 1, 4 и 1', 4' отображают прочность и плотность одних и тех же образцов плит.

Используя фрактальный подход для анализа их структуры и прочности, можно заключить, что, хотя плиты имеют допустимые значения интегральной плотности (690...705 кг³/м), аномально низкие значения фрактальной размерности макроструктуры [6] ($D = 2,67$ и $D = 2,42$) указывают на ее нарушение. Распределение прочности свидетельствует о том, что прочность внутренних слоев в 2,5—3 раза ниже допустимой.

Таким образом, на основе теории фракталов разработан метод, который дает возможность непосредственно в технологическом потоке оперативно получать информацию о структуре, упругих, деформационных и прочностных свойствах ДСП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Анисова Н. П. Исследование влияния структурно-механических и технологических факторов на физико-механические свойства древесностружечных плит: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Красноярск, 1973.— 20 с. [2]. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине.— М.: Лесн. пром-сть, 1989.— 296 с. [3]. Векслер А. К. Исследование процесса проклеивания древесных стружек распыленным связующим: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— М., 1969.— 25 с. [4]. Кон-

дрючий А. И., Ковальчук Т. А., Балтер Н. П. Исследование послойной плотности древесностружечных плит при бесподдонном способе прессования // Научно-технический и социальный прогресс лесопромышленного комплекса Восточно-Сибирского региона: Сб. ст.— Красноярск, 1990.— Т. 2.— С. 92—94. [5]. Кулак М. И. Структурная механика древесностружечных плит // Деревообаб. пром-сть.— 1991.— № 3.— С. 21—22. [6]. Кулак М. И. Структурные аспекты фрактальной механики древесно-полимерных композитов // Известия АН БССР. Сер. физико-технических наук.— 1991.— № 2.— С. 18—22. [7]. Поздняков А. А. Прочность и упругость композиционных древесных материалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1988.— 136 с. [8]. Поташев О. Е., Лапшин Ю. Г. Механика древесных плит.— М.: Лесн. пром-сть, 1982.— 112 с. [9]. Соснин М. И., Климова М. И. Физические основы прессования древесно-стружечных плит.— Новосибирск: Наука, 1981.— 193 с. [10]. Федер Е. Фракталы.— М.: Мир, 1991.— 254 с. [11]. Цывин М. М. Исследование процессов смещения стружки со связующим в производстве древесностружечных плит: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Л., 1965.— 20 с. [12]. Чамис К. Микромеханические теории прочности // Композиционные материалы.— М.: Мир, 1978.— Т. 5.— С. 106—165. [13]. Шестакова З. Я. Исследование процесса контактирования древесных частиц при склеивании древесностружечных плит: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.— Л., 1973.— 19 с. [14]. Купне G., Niemz P. Untersuchungen zur Struktur von Spanplatten // Holztechnologie.— 1980.— Bd. 21, N 3.— P. 139—144. [15]. Wilson J., Kramer R. Particleboard: microscopic observations of resin distribution and board fracture // Forest Products Journal.— 1976.— V. 26, N 11.— P. 42—45.

Поступила 11 декабря 1991 г.