

Структурная механика древесностружечных плит

М. И. КУЛАК, канд. физ.-мат. наук — Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова

Неоднородность структуры древесностружечных плит, выражающаяся в наличии у них характерного профиля распределения плотности, привлекает внимание исследователей. В ряде работ [1—4] тщательно изучено распределение плотности как в плитах лабораторного прессования, так и в промышленных. Естественным развитием данного направления являются исследования, позволяющие установить взаимосвязь профиля плотности с физико-механическими свойствами плит, а также с технологическими параметрами процесса прессования [3—5].

Признавая актуальность таких исследований (в частности, для решения задач управления технологическим процессом и контроля качества плит), необходимо отметить и чрезвычайную сложность проблемы. Следствием этого является то, что пока нет ее приемлемого решения в рамках какого-либо одного надежного теоретического метода. Приходится строить регрессионные модели. На отдельных этапах решения проблемы используются эмпирические подходы и упрощенные модельные представления, что сужает область применимости результатов.

Альтернативный подход, свободный от некоторых из указанных недостатков, может быть обеспечен на основе теории фракталов. В работе [6] показано, что древесностружечные плиты относятся к классу фрактальных материалов. Распределение плотности в них характеризуется одним универсальным параметром — фрактальной размерностью D . Данное обстоятельство позволяет использовать для описания механических свойств древесностружечных плит методы структурной механики композитов.

Центральное место в системе параметров, характеризующих механические свойства материалов, занимают их модули упругости. Разработан метод расчета модулей упругости для дисперсно-армированных композитов с произвольной степенью заполнения [7]. Используем его для расчета распределения модулей упругости в древесностружечной плите. С этой целью предположим, что древесный скелет плиты выполняет роль матрицы композита, а поры являются включениями (наполнителем). Упругие характеристики таких включений равны нулю, и в рамках самосогласованного подхода объемный K и сдвиговый G модули материала определяются соотношениями:

$$K = 4kg(1-n)/(3kn+4g); \quad (1)$$

$$G = g[9k+8g-2n(7k+9g)]/[9k+8g+n(k+2g)], \quad (2)$$

где k и g — соответственно объемный и сдвиговый модули древесины;

n — объемная доля пор.

Особенность самосогласованного подхода состоит в следующем. Выражения (1) и (2) определяют эффективные свойства материала при условии, что объемная доля включений мала ($n < 0,1$). Поскольку распределение плотности в плите известно, то существует возможность следить за выполнением условия малости n , однако для этих целей приходится использовать специальную пошаговую процедуру. Она строится следующим образом. Мысленно выделим в плите в зоне максимума плотности элементарный объем, содержащий малую объемную долю пор n . По формулам (1) и (2) определим его эффективные характеристики. Далее увеличим размер элементарного объема. Если считать, что материал в этом объеме обладает такими же эффективными характеристиками, как и в меньшем объеме, то по отношению к реальным свойствам материала они будут завышенными, поскольку при увеличении объема пористость растет. Значит, материал нужно «ослабить», введя в него количество пор, равное разности долей пор для второго n_2 и первого n_1 шагов:

$$\Delta n_2 = n_2 - n_1. \quad (3)$$

Далее для модулей, вычисленных по формулам (1) и (2) на первом шаге, введем обозначения:

$$K_1/k = \tau_1; \quad (4)$$

$$G_1/g = \nu_1. \quad (5)$$

Используя (1)–(5), получим следующие выражения для вычисления модулей упругости на втором шаге:

$$K_2 = 4k\tau_1g(1-\Delta n_2)/(3k\tau_1\Delta n_2+4g); \quad (6)$$

$$G_2 = g\nu_1[9k+8g\nu_1-2\Delta n_2(7k+9g\nu_1)]/[9k+8g\nu_1+\Delta n_2(k+2g\nu_1)]. \quad (7)$$

Для некоторого произвольного i -го шага выражения (6) и (7) будут выглядеть следующим образом:

$$K_{i+1} = 4k\tau_i g(1-\Delta n_{i+1})/(3k\tau_i\Delta n_{i+1}+4g); \quad (8)$$

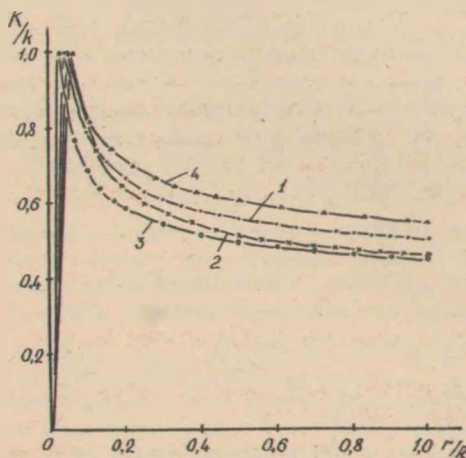


Рис. 1. Распределение объемных модулей упругости в древесностружечных плитах:

1 — $D=2,74$; 2 — $D=2,80$; 3 — $D=2,78$; 4 — $D=2,83$

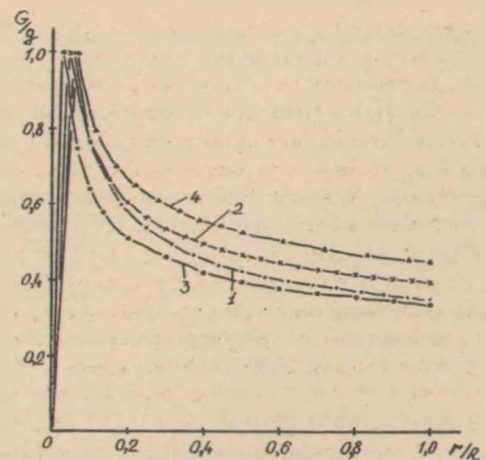


Рис. 2. Распределение сдвиговых модулей упругости в древесностружечных плитах:

1 — $D=2,74$; 2 — $D=2,80$; 3 — $D=2,78$; 4 — $D=2,83$

$$G_{i+1} = gv_i[9k + 8gv_i - 2\Delta n_{i+1}(7k + 9gv_i)] / [9k + 8gv_i + \Delta n_i(k + 2gv_i)] \quad (9)$$

Контроль условия $\Delta n_i < 0,1$ осуществляется по известному закону распределения плотности в плитах [6], на основе которого можно получить закон распределения пор:

$$n = 1 - r^{D-d} \quad (10)$$

где r — безразмерное текущее расстояние от поверхности плиты в перпендикулярном к ней направлении, выраженное в долях толщины стружки;

$d=3$ — размерность физического пространства.

Изменяя r от нуля до R (где R — половина толщины плиты), с помощью формул (1), (2), (6)–(9) получим законы распределения модулей упругости в древесностружечных плитах. Конкретные вычисления по указанному алгоритму проводились на ПЭВМ ЕС-1840 по специально разработанной на языке Паскаль программе. Результаты вычислений объемного и сдвигового модулей упругости плит представлены на рис. 1, 2.

Как видно из графиков на рис. 1, 2, модули упругости значительно (в 2,0–2,5 раза) изменяются по толщине плиты. Плиты, изготовленные в промышленных условиях [2] (кривые 4), являются более жесткими. О чувствительности метода можно судить по кривым 1 и 2, которые соответствуют плитам лабораторного прессования [3], имеющим в среднем одинаковую интегральную плотность. Поскольку законы распределения плотности у них не совпадают, то различается и распределение модулей упругости. Кривая 3 соответствует плитам лабораторного прессования [1] со скоростью прессования 0,4 МПа/мин и позволяет заключить, что приближение

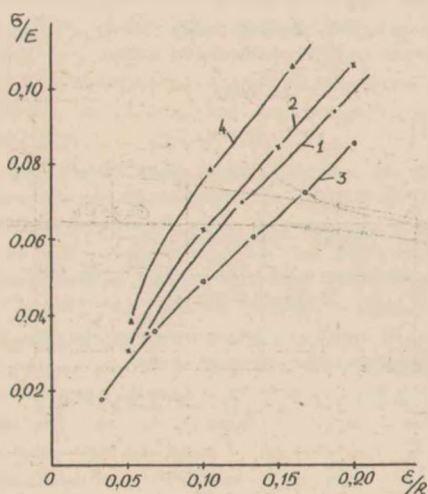


Рис. 3. Диаграммы одноосного растяжения древесностружечных плит:

1 — $D=2,74$, 2 — $D=2,80$; 3 — $D=2,78$; 4 — $D=2,83$

условий прессования к изостатическим не всегда оправданно с точки зрения структуры материала, так как возрастающая неоднородность в распределении плотности приводит к большим перепадам в изменении его механических характеристик.

На рис. 3 представлены расчеты начальных участков диаграмм одноосного растяжения плит. Напряжения σ выражены в единицах модуля Юнга E , а деформации ε — в единицах R . Как видно из рис. 3, неоднородность в распределении модулей упругости приводит к нелинейному поведению материала при деформировании. В наибольшей степени эффект нелинейности выражен в более жестких плитах промышленного изготовления.

Необходимо отметить, что в работах [1–3] для определения профиля плотности применяли способ послойного срезания образцов плиты и ее взвешивания до и после срезания. Такая методика позволяет получить удовлетворительные результаты, но по своей сути она мало пригодна для реали-

зации в промышленности в условиях цехов и заводских лабораторий (главным образом по причине большой трудоемкости и невозможности таким способом организовать оперативный контроль свойств плит).

В настоящее время в деревообрабатывающей промышленности интенсивно развиваются методы неразрушающего контроля свойств и качества материалов. Пример использования таких методов в технологии древесных плит приведен в работе [8]. Очевидными достоинствами методов неразрушающего контроля являются высокая оперативность, возможность измерений непосредственно в технологических потоках без их остановки. Вместе с тем информативность таких методов существенно зависит от уровня развития теории материалов, поскольку на ее основе строится вся интерпретация результатов измерений.

В работе [9] был развит метод определения по данным о рассеянии гамма-излучения древесиной фрактальной размерности D ее структур на различных уровнях (макро-, микро- и ультраструктурном). Рассматривая в рамках этого метода прохождение гамма-излучения через плиту в перпендикулярном к ее пласти направлению, можно получить для коэффициента ослабления излучения μ следующее выражение:

$$\mu = \mu_n + (\mu_d + \mu_n) R^{D-d} \quad (11)$$

где μ_d — коэффициент ослабления гамма-излучения древесиной;

μ_n — коэффициент ослабления гамма-излучения в поровом пространстве плиты.

Выражение (11) позволяет вычислять D непосредственно по данным о рассеянии излучения в плите.

Таким образом, существующие с точки зрения проблемы контроля качества древесностружечных плит ее упругие и деформационные свойства, а также законы их распределения достаточно строгим образом описаны в рамках единого теоретического подхода. Практическая реализация подхода в производственных условиях позволит значительно повысить информативность и эффективность использования устройств непрерывного неразрушающего контроля качества плит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Садо Т. Слоистая структура древесностружечных плит и распределение в них пустот // Кето дайгаку Когакубу энсюрин хококу.— 1975.— № 47.— С. 159–169.
- Kuhne G., Niemz P. Untersuchungen sur Struktur von Spanplatten // Holztechnologie.— 1980.— Bd. 21.— Nr. 3.— S. 139–144.
- Лычагин А. В., Карасев Е. И., Залесов Л. В. Математическая зависимость распределения послойной плотности древесностружечных плит // Повышение качества древесных плит и пластиков: Сб. науч. тр. / МЛТИ.— М.— 1989.— Вып. 215.— С. 65–70.
- Тулузаков Д. В. Прочностные показатели древесностружечной плиты при изгибе в зависимости от ее профиля плотности // Повышение качества древесных плит и пластиков: Сб. науч. тр. / МЛТИ.— М.— 1989.— Вып. 215.— С. 36–42.
- Dobrowska E. Formbestandigkeit von Spanplatten in Abhangigkeit von Rohdichteprofil und anderen gewahlten strukturellen Parametern // Fundamental Research of Wood: VIII International Symposium.— Warszawa.— 1990.— P. 247–252.
- Кулак М. И. Статистические аспекты взаимосвязи структуры и свойств композиционных материалов на основе диспергированной древесины // Fundamental Research of Wood: VIII International Symposium.— Warszawa.— 1990.— P. 289–293.
- Кулак М. И. Закономерности структурообразования в полимерных композитах с дисперсными наполнителями // Доклады АН БССР.— 1990.— Т. 34.— № 9.— С. 817–820.
- Козлов В. А., Филиппов М. М. Непрерывный контроль качества древесных плит // Фундаментальные науки — народному хозяйству.— М.— 1990.— С. 686–687.
- Кулак М. И. Фрактальный подход к описанию структуры клеточной стенки древесины // Стрoение древесины и его роль в процессах делигнификации: Сб. докл. IV Всес. научн. семинара / Зинатне.— Рига.— 1990.— С. 132–135.