

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ПРИ СЖАТИИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН ДРЕВЕСИНЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАПОЛНИТЕЛЕМ, ПРОНИКАЮЩИМ В СТЕНКИ КЛЕТОК

В качестве модели древесины при сжатии ее вдоль волокон принимается пространственная система, состоящая из параллельных трубок разного диаметра. Под стенками этих трубок понимаются стенки клеток древесины. При модификации древесины наполнителем, проникающим в стенки клеток, в первую очередь в процессе пропитки происходит заполнение субмикроскопических пустот стенок клеток, а после их насыщения наполнитель располагается в полостях клеток и сосудах. В соответствии с этим и получим два выражения для модуля упругости модифицированной древесины при сжатии ее вдоль волокон: а) наполнитель расположен только в стенках клеток древесины, б) наполнитель заполнил стенки клеток и часть полостей клеток и сосудов.

Рассмотрим в абсолютно сухом состоянии образец древесины длиной l и площадью поперечного сечения F .

До пропитки

$$F = F_{\text{д}} + F_{\text{п}},$$

где $F_{\text{д}}$ — площадь сечения, занятая древесинным веществом стенок клеток; $F_{\text{п}}$ — площадь пустот в сечении образца.

Площадь пустот в сечении образца древесины пропорциональна коэффициенту пористости древесины

$$m_{\text{п}} = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} = 1 - \frac{\rho}{\rho_0} \quad \text{или} \quad 1 - m_{\text{п}} = \frac{\rho}{\rho_0}, \quad (1)$$

где $\rho_0 = 1,53 \text{ г/см}^3$ — плотность древесинного вещества; ρ — плотность натуральной древесины.

Тогда

$$F_{\text{п}} = m_{\text{п}} F, \quad F_{\text{д}} = (1 - m_{\text{п}}) F = \frac{m}{\rho_0 l}, \quad (2)$$

где m — масса образца исходной древесины в абсолютно сухом состоянии.

При сжатии образца натуральной древесины вся нагрузка воспринимается древесинным веществом стенок клеток. Поэтому

$$E_{\text{а}} F = E_{\text{д}} F_{\text{д}},$$

где $E_{\text{а}}$ — модуль упругости при сжатии вдоль волокон натуральной древесины; $E_{\text{д}}$ — модуль упругости древесинного вещества стенок клеток. Тогда выражение для $E_{\text{д}}$ имеет вид

$$E_{\text{д}} = E_{\text{а}} \frac{F}{F_{\text{д}}} = E_{\text{а}} \frac{F}{(1 - m_{\text{п}}) F} = \frac{E_{\text{а}}}{1 - m_{\text{п}}}. \quad (3)$$

После модификации древесины площадь сечения образца

$$F^* = F_{\Pi}^* + F_{\text{H}} + F_{\text{ДН}} + F_{\text{Д}}',$$

где F_{Π}^* — площадь оставшихся пустот в сечении образца модифицированной древесины; F_{H} — площадь пустот сечения, заполненных полимером (наполнителем); $F_{\text{ДН}}$ — площадь сечения древесинного вещества стенок клеток, в которых находится наполнитель; $F_{\text{Д}}'$ — площадь, занятая древесинным веществом стенок клеток, свободных от наполнителя.

При сжатии вдоль волокон образца модифицированной древесины сечением F^* каждый элемент сечения будет воспринимать нагрузку N_1 , пропорциональную своей жесткости $E_1 F_1$:

$$N^* = N_{\text{H}} + N_{\text{ДН}} + N_{\text{Д}}';$$

$$E_a F^* = E_{\text{H}} F_{\text{H}} + E_{\text{ДН}} F_{\text{ДН}} + E_{\text{Д}}' F_{\text{Д}}', \quad (4)$$

где E_a — модуль упругости модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон; E_{H} — модуль упругости наполнителя (полимера); $E_{\text{ДН}}$ — модуль упругости древесинного вещества стенок клеток, в пустотах которых находится наполнитель; $E_{\text{Д}}'$ — модуль упругости древесинного вещества стенок клеток, свободных от наполнителя, т.е. $E_{\text{Д}}' = E_{\text{Д}}$. Получим выражения для площадей отдельных элементов сечения модифицированной древесины, входящих в уравнение (4).

После пропитки и отверждения объем наполнителя в древесине

$$V_{\text{H}} = F l m_{\Pi} k,$$

где k — коэффициент объемного заполнения пустот в древесине.

Площадь, занятая наполнителем в поперечном сечении образца модифицированной древесины,

$$F_{\text{H}} = \frac{V_{\text{H}}}{l} = F m_{\Pi} k. \quad (5)$$

Площадь, занятая в сечении образца натуральной древесины стенками клеток, находим по формуле

$$F_{\text{с}} = \frac{m}{\rho_{\text{с}} l}, \quad (6)$$

где m — масса образца исходной (натуральной) древесины при $W = 0\%$; $\rho_{\text{с}}$ — плотность стенок клеток древесины при влажности $W = 0\%$; l — длина образца.

Площадь субмикроскопических пустот стенок клеток в сечении древесины найдем как разность между площадью стенок клеток (6) и площадью, занятой древесинным веществом этих стенок (2):

$$F_{\text{пс}} = F_{\text{с}} - F_{\text{Д}} = \frac{m}{\rho_{\text{с}} l} - \frac{m}{\rho_0 l} = \frac{m(\rho_0 - \rho_{\text{с}})}{l \rho_{\text{с}} \rho_0}. \quad (7)$$

Выражение (7), используя равенство (1), можно переписать и в другом виде:

$$F_{\text{пс}} = \frac{m F (\rho_0 - \rho_c)}{l F \rho_c \rho_0} = \rho F \frac{(\rho_0 - \rho_c)}{\rho_c \rho_0} = \rho_0 (1 - m_{\text{п}}) F \frac{(\rho_0 - \rho_c)}{\rho_c \rho_0} \quad (8)$$

В случае, когда наполнителем в модифицированной древесине заняты только все пустоты стенок клеток, коэффициент объемного заполнения пустот в древесине равен

$$k_1 = \frac{F_{\text{пс}}}{F_{\text{п}}} = \frac{m(\rho_0 - \rho_c)}{l m_{\text{п}} F \rho_c \rho_0} = \frac{\rho(\rho_0 - \rho_c)}{m_{\text{п}} \rho_c \rho_0}$$

Следовательно, при изменении коэффициента объемного заполнения пустот от 0 до k_1 наполнитель, проникающий в стенки клеток древесины, будет располагаться в субмикростростках клеточных стенок. Площадь стенок клеток в сечении образца, пустоты в которых заполнены полимером, пропорциональна площади наполнителя в этих пустотах. Если $k < k_1$, то площадь (5) занятых наполнителем субмикростросток в стенках клеток будет составлять часть всей площади субмикростросток (8):

$$a = \frac{F_{\text{н}}}{F_{\text{пс}}} = \frac{F m_{\text{п}} k \rho_c \rho_0}{\rho_0 (1 - m_{\text{п}}) F (\rho_0 - \rho_c)} = \frac{m_{\text{п}} k \rho_c}{(1 - m_{\text{п}}) (\rho_0 - \rho_c)} \quad (9)$$

При равномерном распределении субмикростросток в стенках клеток такая же часть древесинного вещества стенок клеток будет непосредственно связана с наполнителем. Поэтому площадь этого древесинного вещества в сечении образца с учетом (2) и (9) равна

$$F_{\text{дн}} = a F_{\text{д}} = \frac{m_{\text{п}} k \rho_c (1 - m_{\text{п}}) F}{(1 - m_{\text{п}}) (\rho_0 - \rho_c)} = \frac{k m_{\text{п}} \rho_c F}{(\rho_0 - \rho_c)} \quad (10)$$

Площадь древесинного вещества стенок клеток, свободных от наполнителя, равна

$$F'_{\text{д}} = F_{\text{д}} - F_{\text{дн}} = (1 - m_{\text{п}}) F - \frac{k m_{\text{п}} \rho_c F}{(\rho_0 - \rho_c)} \quad (11)$$

Тогда в случае $0 < k \leq k_1$ формула (4) с учетом выражений (3), (5), (10) и (11) примет вид

$$E_a^* F^* = E_{\text{н}} k m_{\text{п}} F + E_{\text{дн}} \frac{k m_{\text{п}} \rho_c F}{(\rho_0 - \rho_c)} + \frac{E_a}{1 - m_{\text{п}}} \left[(1 - m_{\text{п}}) F - \frac{k m_{\text{п}} \rho_c F}{(\rho_0 - \rho_c)} \right]$$

Без учета остаточного разбухания древесины после модификации можно принять, что $F^* = F$. Выражение для модуля упругости модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон получим в следующем виде:

$$\begin{aligned} E_a^* &= k m_{\text{п}} E_{\text{н}} + \frac{k m_{\text{п}} \rho_c}{\rho_0 - \rho_c} E_{\text{дн}} + E_a - \frac{k m_{\text{п}} \rho_c}{(1 - m_{\text{п}}) (\rho_0 - \rho_c)} E_a = \\ &= E_a + k m_{\text{п}} E_{\text{н}} + \left(E_{\text{дн}} - \frac{E_a}{1 - m_{\text{п}}} \right) \frac{k m_{\text{п}} \rho_c}{\rho_0 - \rho_c} \end{aligned}$$

С учетом выражения (3) окончательно имеем

$$E_a^* = E_a + km_{\Pi} E_H + (E_{дн} - E_d) \frac{km_{\Pi} \rho_c}{\rho_0 - \rho_c} \quad (12)$$

Когда $k > k_1$, уравнение (4) запишется в виде

$$E_a^* F^* = E_H F_H + E_{дн} F_{дн} = E_H F_H + E_{дн} F_d \quad (13)$$

Подставив в (13) выражения (5) и (2) для F_H и F_d , получим модуль упругости модифицированной древесины для данного случая

$$E_a^* = km_{\Pi} E_H + (1 - m_{\Pi}) E_{дн}, \quad (14)$$

Полученные выражения (12) и (14) для модуля упругости модифицированной древесины при сжатии вдоль волокон позволяют вычислять их значения во всем диапазоне изменения коэффициента объемного заполнения пустот в древесине для случая, когда наполнитель проникает в стенки клеток древесины. Входящие в формулы параметры являются характеристиками исходных компонентов модификации (натуральной древесины и наполнителя) и определяются опытным путем.

УДК 674.048

Г.М.ШУТОВ, д-р техн.наук,
А.С.ГАЛЬПЕРИН, М.Э.ЭРДМАН (БТИ)

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ОТВЕРЖДЕНИЯ ФЕНОЛОСПИРТОВ И СУШКИ ПРОПИТАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Исследование кинетических параметров технических фенолоспиртов при многотоннажном производстве модифицированной древесины является необходимым при разработке технологических параметров процесса сушки древесины, пропитанной фенолоспиртами, и отверждения их в древесине. Определение таких кинетических параметров, как энергия активации и предэкспоненциальный множитель константы скорости реакции технических фенолоспиртов, позволит теоретически рассчитать реакцию при любой температуре процесса отверждения.

При термохимическом модифицировании древесины процесс отверждения смолы протекает в капиллярно-пористой структуре древесины. Японские исследователи [1] определяли энергию активации фенольных смол в присутствии древесины. Методом ДТА они исследовали реакцию поликонденсации как самой смолы, так и смеси смолы с тонкоизмельченными опилками древесины 17 различных пород. При этом они установили, что если энергия активации исходной смолы составляет 75,6 кДж/моль, то она в присутствии древесины находится в пределах от 58 до 109 кДж/моль. Причем все породы древесины можно было условно разбить на три группы по их влиянию на энергию активации: в первой группе энергия активации была меньше, чем у исходной смолы, во второй — не менялась, а в третьей — больше, чем у исходной смолы.