УДК 691.537.674.014 У.Ш.АЗЫГАЛИЕВ
E-mail: ksucta@élcat.kg

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОКОМПОЗИТОВ

Дисперсиялык-толтурулган композиттердин түзүмдүк-механикалык курулушундагы кабыл алынган моделдин негизинде курулуш органокомпозиттердин теориялык жактан бекемдигинин негиздери каралат.

Рассматриваются основы теоретической прочности строительных органокомпозитов на основе принятой модели структурно-механического строения дисперсно-наполненных композитов.

It is hereby shown theoretical strengths of construction organocomposites on the basis of the approved pattern of structural-mechanical structure of annular-filled composites.

Строительные органокомпозиты из растительного сырья (солома, стебли хлопчатника и табака, камыш и др.) относятся к группе материалов с конгломератным типом структуры. Дисперсная составляющая этих материалов связывается клеящими веществами на основе полимерных или минеральных связующих в достаточно прочный материал.

Свойства твердых тел непосредственно связаны с их строением – структурой тела. Именно из-за жесткой связи со структурой тел механические свойства называют структурно-механическими /1, 2/.

Следовательно, среда, представляющая собой смесь измельченных частиц из древесины и растительного сырья со связующим, может быть рассмотрена как зернистая среда, объем которой складывается из объема частиц органического заполнителя (зерен) и пустот между ними, заполненных воздухом.

При этом имеется в виду, что каждая отдельная частица, размеры которой значительно превышают размеры основных структурных элементов древесной ткани (клетки), может быть рассмотрена как элемент, обладающий свойствами цельной древесины, так как растительное сырье по своему химическому составу близко к древесине /2/.

Можно считать, что стружечная масса в насыпном состоянии будет дискретно изотропной.

Частицы, имеющие длину большую, чем их ширина и толщина, при насыпке ковра будут стремиться занять преимущественно горизонтальное положение.

Механическая прочность пористых материалов связана со структурой порового пространства.

Учет геометрии порового пространства сводится к использованию простейших моделей с каналами либо с правильной упаковкой шаров /3/.

Для определения теоретической прочности органополимеркомпозита предлагается модель, состоящая из плотно уложенных эллипсоидообразных частиц разных размеров, спаянных (склеенных) между собой в местах контактов (рис. 1).

Выбранная модель учитывает анизотропию материала, форму и размеры частиц и, на наш взгляд, в первом приближении характеризует пористую структуру органополимеркомпозитов.

Прочность R подобной модели может быть определена следующими общими зависимостями.

При растяжении и сжатии параллельно структурным элементам:

$$R'' = (N_0 + N_{тр} + N_{р.др.ч})F \cdot a \le R''_{др}. \qquad (1)$$

При растяжении перпендикулярно структурным элементам:

$$R^{\perp} = n_0 \cdot F \cdot a \le R_{др}, \qquad (2)$$

где N_0 – прочность связи между структурными элементами; $N_{р.др.ч}$ – прочность несущих элементов растительных древесных частиц; $N_{тр}$ – силы трения между элементами; n_0 – прочность одиночного контакта; F – общая площадь соприкосновения между элементами; a – коэффициент, учитывающий форму и качество проклеивания элементов; $R''_{др}$, $R^{\perp}_{др}$ – прочность древесины на растяжение и сжатие вдоль и поперек волокон.

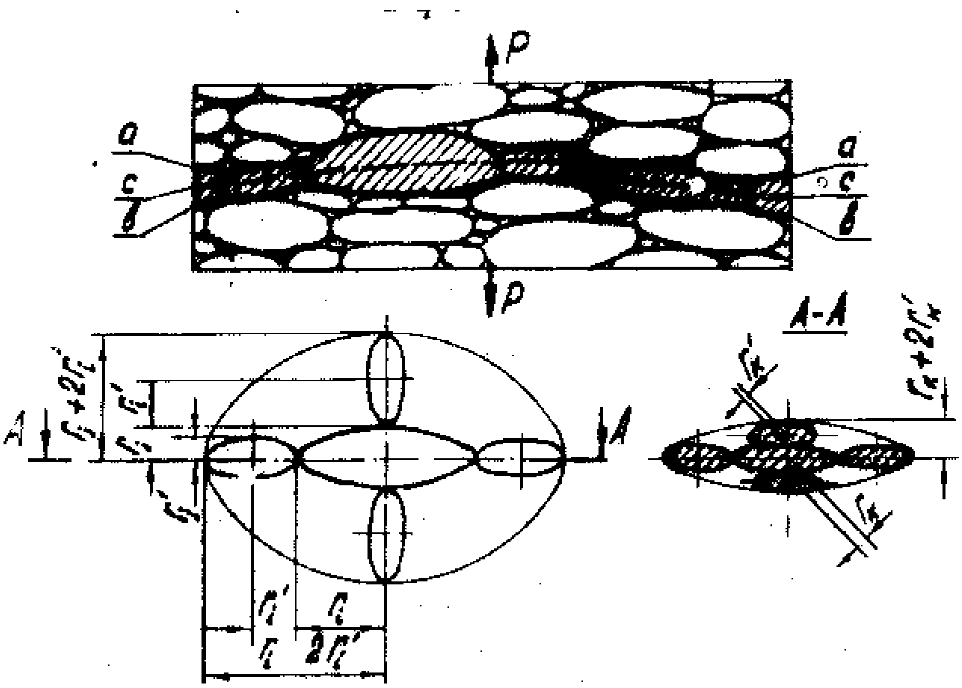

Рис. 1. Структурная модель органополимеркомпозита и схема взаимного расположения элементов, образующих контакты:
а-а, в-в – плоскость разрушения по контактам; с-с – то же по частицам

Поскольку при растяжении системы в направлении ⊥ структурным элементам нет скольжения между элементами системы, нет, следовательно, и сил трения. Разрушение системы может быть либо в результате разрыва частиц поперек волокон, либо разрыва клеевых площадок в зависимости от того, где в момент разрушения напряжения были большими.

Таким образом, расчет теоретической прочности органокомпозитов может быть сведен к решению двух задач:

1) определению истинной площади соприкосновения между структурными элементами, т.е. установлению вероятного числа контактов, связывающих структурные элементы с поверхностью разрушения;

2) определению прочности отдельных контактов и прочности структурных элементов.

В работе приводится решение первой задачи.

Общая площадь F в плоскости разрушения органокомпозита зависит от площади одной контактной точки $f_к$ и числа контактных точек, участвующих в склеивании S_c:

$$F = f_к S_c. \qquad (3)$$

При исследовании принято решение задачи по определению вероятного числа контактов S_c, связывающих структурные элементы. При их определении приняты следующие допущения:

а) поверхность разрушения проходит через слабое место системы, т.е. через контакты;

б) материал статистически однороден и элементы геометрически подобны;

в) элементы могут быть ориентированы только по одной из трех своих главных осей, в направлении оси i (наибольшей оси эллипсоида, равной длине растительной древесной частицы).

Если к модели приложить усилия, направленные перпендикулярно наибольшим размерам отдельных частиц (перпендикулярно пласти плиты), то поверхность разрушения будет проходить через слабое место системы, через контакты (рис. 1). В общем случае поверхность разрушения будет иметь сложную конфигурацию, но чем ближе она по своей форме приближается к идеальной плоскости, тем меньше ее площадь и тем меньше контактов будет находиться в поверхностях а-а и в-в. Принимая, что поверхность с-с строго перпендикулярна к направлению растягивающей силы P, получим минимальное количество контактов, т.е. минимальную сопротивляемость материала. Согласно принятой модели контактов S, которыми одна частица размерами r_i, r_j, $r_к$ соприкасается с частицами размерами r'_i, r'_j, $r'_к$, не может быть больше вероятного числа частиц dm последних размеров в объеме υ, ограниченном эллипсоидом с радиусами $r_i+2r'_I$, $r_j+2r'_i$ и $r_к+2r'_к$, которое определяется из выражения

$$dm = \vartheta\alpha_i z\varphi(\eta')d\eta, \qquad (4)$$

где z – сумма частиц всех размеров в единице объема материала; α_i – коэффициент, учитывающий ориентацию частиц; η' – относительные размеры частиц, равные отношению радиусов частицы к максимальным радиусам частицы модели; r_{oi}, r_{oj}, $r_{ок}$ – соответствующие максимальные радиусы частиц, изменяющиеся в пределах $0<r<r_{max}$.

Подставляя в (4) значение объема

$$\vartheta = \frac{4}{3}\pi\left[(r_i + 2r_i')(r_j + 2r_i')(r_к + 2r_к') - r_i r_j r_к\right], \qquad (5)$$

число dm определится из выражения

$$dm = V \cdot dz_i = Vd_i z\psi(\eta')d\eta' =$$

$$= \alpha_i \cdot \frac{4}{3}\pi z\left[\left(r_i \cdot r_j + 2r_i \cdot r_i' + 2r_j \cdot r_i' + 4r_i'^2\right)(r_к + 2r_к') - r_i \cdot r_j \cdot r_к\right],$$

$$\varphi(\eta')d\eta' = \frac{4}{3}\pi d_i \cdot z(2r_i \cdot r_к + 2r_j \cdot r_к \cdot r_j + 4r_i'^2 \cdot r_к + 2r_i \cdot r_j \cdot r_к' + 4r_i \cdot r_j' \cdot r_к' +$$

$$+ 8r_i'^2 \cdot r_к')\psi(\eta')d\eta'.$$

Выразим радиусы r_i, r_j, $r_к$ через относительные радиусы $r_i' = r_{oi} \cdot \eta_i'$; $r_j' = r_{0j} \cdot \eta_j'$; $r_к = r_{0к} \cdot \eta_к$.

Получим:

$$dm = \frac{4}{3}\pi \cdot d_1 \cdot z(2r_i \cdot r_к \cdot r_{0i} \cdot \eta_i'' + 2r_j \cdot r_к \cdot r_{0i}\eta_i' +$$

$$+ 4r_n \cdot r_{0i}^2 + 2r_i \cdot r_j \cdot r_{0к}\eta_к' + 4r_i \cdot r_{0i} \cdot r_{0к}\eta_i'\eta_к' +$$

$$+ 4r_j \cdot r_{0j} \cdot r_{0к} \cdot \eta_i'\eta_к' + 8r_{0i}^2 \cdot r_{0к} \cdot \eta_i'^{-2}\eta_к')\psi(\eta')d\eta'.$$

Интегрируя в пределах $0<\eta'<1$ и принимая во внимание, что $\psi_i = \int_0^1 \eta_i \cdot \varphi(\eta')d\eta'$, найдем число контактов между частицами всех размеров, имеющих ориентацию в направлении α_i с одной частицей с размерами r_i, r_j, $r_к$;

$$m=\frac{4}{3}\pi\alpha_i z(2r_i\cdot r_к\cdot\psi_1\cdot r_{0i}+2r_j\cdot r_к\cdot r_{0j}\psi_1+$$
$$+4r_к\cdot {r_{0i}}^2\psi_2+2r_i\cdot r_j\cdot r_{0к}\psi_1+4r_i\cdot r_{0i}\cdot r_{0к}\psi_2+$$
$$+4r_j\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\psi_2+8r_{0i}^2\cdot r_{0к}\psi_3)=$$
$$=\frac{8}{3}\pi\alpha_i z(r_{oi}^2\cdot r_{0к}\psi_1\eta_ш\eta_к+r_{0i}\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\eta_j\eta_к\psi_1+$$
$$+2r_{0i}^2\cdot r_{0к}\eta_к\psi_2+r_{0i}\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\psi_1\eta_i\eta_j+$$
$$+2r_{0i}^2\cdot r_{0к}\eta_i\psi_2+2r_{0i}\cdot r_{0к}\cdot r_{0j}\psi_2+4r_{0i}^2\cdot r_{0к}\psi_3). \tag{6}$$

Но число частиц ds с размерами r_i, r_j, $r_к$ в плоскости с-с равно dn, поэтому число всех контактов между всеми частицами с размерами r_i, r_j, $r_к$ и всеми остальными частицами будет:

$$ds=mdn=2m\alpha_i\cdot z\cdot r_i\psi d\eta=2m\alpha_i zr_{0i}\eta\cdot\psi(\eta)d\eta. \tag{7}$$

Интегрируем в пределах $0<\eta<1$:

$$s=\frac{16}{3}\pi\alpha_i^2 z^2(r_{0i}^3\cdot r_{0к}\psi_1\psi_3+r_{0i}^2\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\psi_1\psi_3+$$
$$+2r_{0i}^3\cdot r_{0к}\psi_2^2+r_{0i}^2\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\psi_1\psi_3+2r_{0i}^3\cdot r_{0к}\psi_2^2+$$
$$+2r_{0i}^2\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}{}_2^2+4r_{0i}^3\cdot r_{0к}\psi_1\psi_3)=$$
$$=\frac{16}{3}\pi\alpha_i^2 z^2(5r_{0i}\cdot r_{0к}\psi_1\psi_3+2r_{0i}^2\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}\psi_1\psi+$$
$$+4r_{0i}^3\cdot r_{0к}\psi_2^2+2r_{0i}^2\cdot r_{0j}\psi_2^2=$$
$$=\frac{16}{3}\pi\alpha_i^2 z^2\left[r_{0i}^3\cdot r_{0к}(5\psi_1\psi_3+4\psi_2^2)+2r_{0i}^2\cdot r_{0j}\cdot r_{0к}(\psi_1\psi_3+\psi_2^2)\right]=$$
$$=\frac{16}{3}\pi\alpha_i^2 z^2\left[r_{0i}^3\cdot r_{0к}4\psi_2^2\left(1+\frac{5\psi_1\psi_3}{4\psi_2^2}\right)+2r_{0i}^2\cdot r_{0j}\psi_2^2\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)\right].$$

Член $\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)$ отличается от члена $\left(1+\frac{5\psi_1\psi_3}{4\psi_2^2}\right)$ на величину порядка.

Интегрируя (7) в пределах $0<\eta<1$, получим общее число контактов s между частицами всех размеров в единице объема материала:

$$S=\frac{16}{3}\pi\alpha_i^2 z^2\cdot r_{0i}^2\cdot r_{0к}(2r_{0i}+r_{0j})\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)\psi_2^2. \tag{8}$$

Выражение (8) по своей структуре сходно с выражением количества контактов, полученных для модели пористого тела, состоящего из плотных шаров разного размера /4, 5, 6/.

Если выразить z через удельную весовую поверхность частиц U и ввести коэффициент $К_с$, учитывающий относительную площадь поверхности частиц, покрываемой связующим, то общее число контактов S_c, участвующих в склеивании, для композита из частиц различенной формы будет определяться следующими зависимостями.

В плоскости разрушения, проходящей параллельно пласти плиты:

Для пластинчатых частиц ($r_i>r_j>r_к$):

$$S_c''=0{,}5\alpha_i^2 U\frac{r_{0i}\cdot r_{0к}(2r_{0i}+r_{0j})}{r_{0j}(r_{oi}\cdot r_{0j}+r_{0i}+r_{0j})}\frac{\psi_2}{\psi_3}\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right); \tag{9}$$

для игольчатых частиц ($r_i>>r_j\approx r_к$):

$$S_c''=0{,}81\alpha_i^2 U\frac{r_{0i}}{r_{0к}}\frac{\varphi_2}{\varphi_3}\left(1+\frac{\varphi_1\varphi_3}{\varphi_2^2}\right)К_c; \tag{10}$$

для частиц кубической формы ($r_i \approx r_j \approx r_к$):

$$S''_c = 0{,}5U\frac{\psi_1}{\psi_3}\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)K_c. \tag{11}$$

В плоскости разрушения, проходящей перпендикулярно пласти плиты с учетом послойной плотности $\gamma_{пл}$:

для пластинчатых частиц ($r_i > r_j > r_к$):

$$S_c^{\perp} = 0{,}5\alpha_i^2 U\gamma_{пл}\frac{r_{0i}^2(2r_{0i}+r_{0j})}{r_{0j}(r_{0i}\cdot r_{0j}+r_{0i}\cdot r_{0к}+r_{0к}\cdot r_{0i})}\frac{\varphi_2}{\varphi_3}\left(1+\frac{\varphi_1\varphi_3}{\varphi_2^2}\right)K_c; \tag{12}$$

для игольчатых частиц ($r_i >> r_j \approx r_к$):

$$S_c^{\perp} = 0{,}81\alpha_i^2 U\gamma_{пл}\frac{r_{0i}^2}{r_{0к}}\frac{\psi_2}{\psi_3}\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)K_c; \tag{13}$$

для частиц кубической формы ($r_i \approx r_j \approx r_к$):

$$S_c^{\perp} = 0{,}5U\gamma_{пл}\frac{\psi_2}{\psi_3}\left(1+\frac{\psi_1\psi_3}{\psi_2^2}\right)K_c. \tag{14}$$

Вывод: Выведенные зависимости позволяют определить влияние структурно-механических факторов на выбор технологии изготовления и технические показатели строительного композита из местного сырья с заданными свойствами.

Список литературы

1. Черкасов Г.С. Механическая ориентация древесных частиц в производстве органокомпозитов. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 144 с.
2. Курдюмова В.М. Материалы и конструкции из отходов растительного сырья. – Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 132 с.
3. Полак А.Ф. К теории прочности пористых тел //Физико-химическая механика дисперсных систем. – М.: Наука, 1994. – С. 49-59.
4. Бабков В.В. Зависимости между параметрами пористых тел. – БашНИИ: Стройиздат, 1984. – 218 с.
5. Романов Н.Т. Теоретические основы структурно-механического упрочнения древесных композитов //Сб. МЛТИ. - Вып. 27. - М., 1990. – С. 81-96.
6. Курдюмова В.М., Матыева А.К. Характер изменения прочностных свойств поризованных органокомпозитов во времени с дисперсной фазой из растительного сырья //Прогрессивные материалы и технологии в современном строительстве. – Новосибирск: РАЕН, 2008. – С. 61-66.