

цирконата бария. При температурах выше 1500 К оксид циркония сам является полупроводником и даже при сублимации индия с поверхности образца электропроводность цемента остается в пределах допустимой.

Процесс гидратации разработанного цемента протекает сравнительно медленно. Скорость и степень растворения цемента зависят от содержания в нем алюмината бария. Оксиды индия и циркония входят в состав гелеобразного нерастворимого в воде продукта. Уменьшение скорости гидратации цемента за счет присутствия цирконата и индата бария положительно влияет на прочность цемента, так как при этом смягчаются внутренние напряжения в структуре. Гелеобразная фаза обеспечивает подвижное соединение кристаллов в более эластичную структуру. Кроме того, гелеобразная фаза заполняет поры и капилляры в цементном камне, что повышает его плотность.

Степень растворимости цемента в воде оценивали по величине pH среди цементно-водной суспензии. Измерения проводили при 293 К. Скорость гидратации цемента оценивали с помощью метода определения связанной воды по потере при прокаливании образцов.

Методом рентгенофазового анализа изучали кинетику гидратации цемента.

Установлено положительное влияние твердого раствора на основе оксида индия на электропроводность и гидравлическую активность разработанного вяжущего.

1. Мельник М.Т. Исследование процессов синтеза и гидратации алюминатов и цирконатов кальция, стронция и бария с целью получения высокоогнеупорных цементов / Автореф. дис. ... д.т.н. – Харьков, 1973.

2. Кржижановский Р.Е., Штерн З.Ю. Теплофизические свойства неметаллических материалов. – Л.: Энергия, 1973. – 130 с.

Получено 16.04.2001

УДК 691.58.688.3

М.С.ЗОЛОТОВ, канд. техн. наук, Т.Г.ФЕСЕНКО

Харьковская государственная академия городского хозяйства

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ И ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ О НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬ-БЕТОН

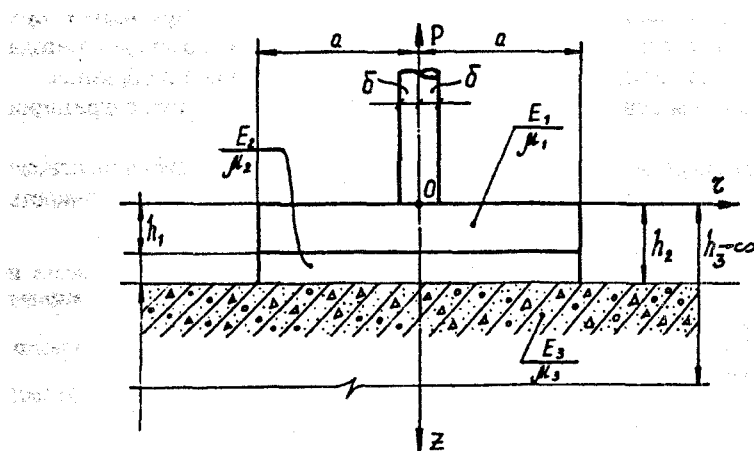
По результатам теоретических исследований предлагаются функции напряжений и граничные условия для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии клеевого соединения сталь-бетон.

В практике строительства получил распространение безанкерный

способ крепления оборудования, инженерных коммуникаций и конструкций [1-4]. Крепление по этому способу осуществляется путем приклейки к поверхности бетона крепежных узлов и опорных частей оборудования или конструкций, а также инженерных коммуникаций. С этой целью широко используются акриловые клеи [1].

Для определения области применения безанкерного крепления в практике строительства проведены теоретические исследования напряженно-деформированного состояния соединения стальной-бетон на акриловых клеях [5]. Чтобы решить поставленную задачу, необходимо подобрать функции напряжений и определить граничные условия названного соединения.

Здесь рассматривается решение осесимметричной задачи теории упругости для многослойной системы, связанной между собой условиями непрерывности напряжений и перемещений, при осесимметричной произвольной нагрузке (рисунок).



Расчетная схема клеевого соединения

Каждый слой характеризуется тремя параметрами: толщиной h_i , модулем упругости E_i и коэффициентом Пуассона μ_i . Последний подстилающий слой не ограничен в вертикальном направлении.

На поверхности многослойной системы заданы нормальные напряжения, распределенные симметрично относительно оси Z по любому закону. Касательные напряжения на поверхности системы равны нулю. Принятое условие для касательных напряжений не имеет принципиального характера и задано в соответствии с граничными усло-

виями, представляющими практический интерес (случай вертикальной нагрузки).

Компоненты тензора напряжений и перемещения в цилиндрической системе координат обозначим следующим образом: σ_z – нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной к оси z ; σ_r – нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной к оси r ; σ_θ – нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной к оси θ ; τ_{rz} – касательные напряжения; w – смещения вдоль оси z ; u – смещения вдоль оси r .

В условиях осесимметричной задачи компоненты тензора напряжений и смещения выражаются через функцию напряжений:

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left[(2 - \mu) \nabla^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right]; \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right]; \quad (2)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \nabla^2 \Phi - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right]; \quad (3)$$

$$\tau_{rz} = \frac{\partial}{\partial r} \left[(1 - \mu) \nabla^2 \Phi - \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right]; \quad (4)$$

$$w = \frac{1 + \mu}{E} \left[(1 - 2\mu) \nabla^2 \Phi + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} \right]; \quad (5)$$

$$u = - \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r \cdot \partial z}. \quad (6)$$

В выражениях (1)-(6) ∇^2 – гармонический оператор в системе цилиндрических координат. Он равен

$$\nabla^2 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right).$$

Функция напряжений $\Phi(z, r)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$\nabla^4 \Phi = 0, \quad (7)$$

где $\nabla^4 = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)^2$ – бигармонический оператор в системе цилиндрических координат.

Для построения решения рассматриваемой задачи воспользуемся уравнением (7) в пределах i -го слоя:

$$\Phi_i^0 = \left(A_i e^{-kz} + B_i e^{kz} + D_i z e^{-kz} + C_i z e^{kz} \right) \cdot J_0(kz). \quad (8)$$

Здесь k – произвольное вещественное число; A_i, B_i, C_i и D_i – неизвестные функции; $J_0(kz)$ – функции Бесселя нулевого порядка первого рода.

Пользуясь выражением (8), получаем новое решение уравнения (7). В пределах i -го слоя оно будет иметь вид

$$\Phi_i = \int_0^r \left(A_i e^{-kz} + B_i e^{kz} + D_i z e^{-kz} + C_i z e^{kz} \right) \cdot J_0(kz) dk. \quad (9)$$

Относительно функций A_i, B_i, D_i и C_i предполагаем, что они удовлетворяют условиям, обеспечивающим равномерную сходимость несобственных интегралов (9) во всей области изменения параметров.

Тогда функции напряжений для каждого слоя принятой нами системы будут иметь вид:

для 1-го слоя

$$\Phi_1 = \int_0^r \left(A_1 e^{-kz} + B_1 e^{kz} + C_1 z e^{kz} + D_1 z e^{-kz} \right) \cdot J_0(kr) dr; \quad (10)$$

для 2-го слоя ($i=2$)

$$\Phi_2 = \int_0^r \left(A_2 e^{-kz} + B_2 e^{kz} + C_2 z e^{kz} + D_2 z e^{-kz} \right) \cdot J_0(kr) dr; \quad (11)$$

для 3-го слоя ($i=3$)

$$B_3 = C_3 = 0 \quad (12)$$

$$\Phi_3 = \int_0^r \left(A_3 e^{-kz} + B_3 e^{kz} + C_3 z e^{kz} + D_3 z e^{-kz} \right) \cdot J_0(kr) dr. \quad (13)$$

Для определения A_i, B_i, C_i и D_i соблюдаем граничные условия

на поверхности и условия сопряжения между слоями. Для этой цели представим функцию распределения нормальной нагрузки по поверхности 1-го слоя

$$\left| \sigma_{z_1} \right|_{z=0} = f(r) \quad (14)$$

с помощью интеграла Фурье-Бесселя.

При известных условиях, налагаемых на функции $f(r)$, которые безусловно выполняются для всех практически возможных видов нагрузки, справедливо выражение

$$f(r) = \int_0^a J_0(kr) k dR \cdot \int_0^{\delta} f(t) J_0(kt) t dt. \quad (15)$$

Выражению (13) можно придать иной вид, если обозначить

$$k \int_0^{\delta} f(t) J_0(kt) t dt = \varphi(k), \quad (16)$$

$$f(r) = \int_0^a J_0(kr) \cdot \varphi(k) dk. \quad (17)$$

Компоненты напряжений σ_{z_1} и τ_{rz_1} для 1-го слоя определим согласно выражениям (1), (4) и (9):

$$\sigma_{z_1} = \int_0^r k^2 J_0(kr) \left\{ e^{-kz} [(1 - 2\mu_1) D_1 + k(A_1 + D_1 z)] + e^{kz} [(1 - 2\mu_1) C_1 - k(B_1 + C_1 z)] \right\} dk; \quad (18)$$

$$\tau_{rz_1} = - \int_0^r k^2 J_1(kr) \left\{ e^{-kz} [2\mu_1 D_1 - k(A_1 + D_1 z)] - e^{kz} [2\mu_1 C_1 + k(B_1 + C_1 z)] \right\} dk. \quad (19)$$

Компоненты напряжений на поверхности 1-го слоя должны удовлетворять граничным условиям задачи:

$$\left| \sigma_{z_1} \right|_{z=0} = f(r); \quad \left| \tau_{rz_1} \right|_{z=0} = 0$$

или в развернутом виде на основании выражений (14)-(16)

$$f(r) = \int_0^{\infty} k^2 J_0(kr) [(1 - 2\mu_1) D_1 + kA_1 + (1 - 2\mu_1) C_1 - kB_1] dk =$$

$$= \int_0^{\infty} J_0(kr) \cdot \varphi(k) dk; \quad (20)$$

$$\int_0^{\infty} k^2 J_1(kr) (2\mu_1 D_1 - kA_1 - 2\mu_1 C_1 - kB_1) dk = 0. \quad (21)$$

Соотношения выражений (20) и (21) должны выполняться при любом значении r , поэтому

$$(1 - 2\mu_1)D_1 + kA_1 + (1 - 2\mu_1)C_1 - kB_1 = \frac{\varphi(k)}{k^2}; \quad (22)$$

$$2\mu_1 D_1 - kA_1 - 2\mu_1 C_1 - kB_1 = 0. \quad (23)$$

Согласно принятой задачи на контактах слоев системы граничные условия, с учетом требования непрерывности компонентов напряжений σ_{z_1} , τ_{rz_1} и перемещений u_1 , w_1 на контактах слоев, будут иметь вид:

на контакте 1-го и 2-го слоев

$$\left| \sigma_{z_1} \right|_z = h_1 = \left| \sigma_{z_2} \right|_z = h_1; \quad (24)$$

$$\left| \tau_{rz_1} \right|_z = h_1 = \left| \tau_{rz_2} \right|_z = h_1; \quad (25)$$

$$\left| w_1 \right|_z = h_1 = \left| w_2 \right|_z = h_1; \quad (26)$$

$$\left| u_1 \right|_z = h_1 = \left| u_2 \right|_z = h_1, \quad (27)$$

на контакте 2-го и 3-го слоев

$$\left| \sigma_{z_2} \right|_z = h_2 = \left| \sigma_{z_3} \right|_z = h_2; \quad (28)$$

$$\left| \tau_{rz_2} \right|_z = h_2 = \left| \tau_{rz_3} \right|_z = h_2; \quad (29)$$

$$\left| w_2 \right|_z = h_2 = \left| w_3 \right|_z = h_2; \quad (30)$$

$$\left| u_2 \right|_z = h_2 = \left| u_3 \right|_z = h_2. \quad (31)$$

На основании выражений (1), (4), (5), (10), (11) и (12) с учетом граничных условий (24)-(31) и определения функций A_i , B_i , C_i и D_i находим компоненты напряжений и перемещений, выражения которых приведены в работе [5].

1. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Смолянинов Ю.М. и др. Крепление оборудования к готовым фундаментам. - Харьков, 1982. - 58 с.

2. Золотов М.С., Барч Н.З., Крытов В.Г. Крепление оборудования и коммуникаций при помощи приклейки эпоксидным клеем к поверхности железобетонных конструкций // Передовой опыт строительства. Экспресс-информация ЦБНТИ Минтяжстроя СССР. Серия 1. Вып. 8. – 1978. – С. 6-8.

3. Золотов М.С., Шутенко Л.Н., Гревцев М.Л. Сталеклеевые крепления технологических конструкций при реконструкции зданий и сооружений // Развитие, совершенствование и реконструкция специальных сварных стальных конструкций зданий и сооружений: Тез. докл. IV Украинск. респ. науч.-техн. конф. Сб. №4. – Симферополь, 1988. – С. 16-18.

4. Шутенко Л.Н., Золотов М.С., Черкасский И.Г. и др. Клеевые соединения древесины и бетона в строительстве. – К.: Будівельник, 1990. – 136 с.

5. Золотов М.С., Фесенко Т.Г. Задача о напряженно-деформированном состоянии соединения сталь-бетон на акриловых клеях // Науковий вісник будівництва. Вип. 12. – Харків: ХДГУБА, 2001. – С. 73-77.

Получено 16.04.2001

УДК 624.954.012.45

Г.А.МОЛОДЧЕНКО, д-р техн. наук

Харьковская государственная академия городского хозяйства

ВЗАИМОСВЯЗЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА СТЕНЫ СИЛОСОВ С КИНЕТИКОЙ ЕГО ИСТЕЧЕНИЯ ПРИ ВЫГРУЗКЕ

Приведены результаты экспериментальных исследований горизонтального давления сыпучего материала при загрузке и выгрузке, показана их взаимосвязь с кинетикой истечения при выгрузке для различных условий эксплуатации.

Экспериментальные исследования по изучению закономерностей формирования горизонтального давления сыпучих материалов на стены цилиндрических силосов проводили на натуральных объектах и на моделях емкостей. Использовали два способа определения давления – прямой, позволяющий непосредственно регистрировать величину давления с помощью датчиков (месдоз), и косвенный, основанный на анализе напряженно-деформированного состояния стен с последующим отысканием соответствующего ему закона изменения давления по высоте и периметру стен.

Первыми такими исследованиями были опыты С.Г.Гахтамышева [1] с участием М.И.Хаймовича на элеваторе в г.Баку в 1938-1939гг. на двух силосах нового монолитного железобетонного силосного корпуса ($H=28$ м, $D=7$ м, $\delta=16$ см, $H/D=4,0$) и на одном силосе старого корпуса ($H=19,8$ м, $D=4,8$ м, $\delta=15$ см, $H/D=4,0$). Было установлено, что при простой выгрузке и проточном режиме горизонтальные давления сыпучего материала (зерна) в 2,3-4 раза превысили теоретические по Янсену в состоянии покоя. В этой связи следует отметить: