

## СЦЕПЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА С НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРОЙ

Зинченко С.В., Столевич А.С.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса*

Одним из основных факторов, который характеризует совместную работу арматуры и бетона в железобетонных конструкциях, является обеспечение надежного сцепления между ними, препятствующего их сдвигу. Это обеспечивается в результате склеивания арматуры с бетоном при твердении, зацеплением выступов на поверхности арматуры и силами трения по поверхности этих материалов.

Анализ литературных источников [1, 2, 3] показывает, что на сцепление арматуры с керамзитобетоном значительное влияние оказывают: прочность бетона, диаметр и профиль арматуры, условия твердения.

Замена до 40% цемента на золу-унос может привести к уменьшению прочности сцепления арматуры с бетоном. Исходя из этого, поставлена задача, проверить сцепление арматуры с цементно-зольным керамзитобетоном.

**Методика исследования.** При исследовании величины сцепления арматуры с керамзитобетоном была выбрана методика, основанная на выдергивание стержневой арматуры из бетонных призм размерами 100x100x300мм. По осям призм забетонированы арматурные стержни диаметрами 6, 12, 18мм класса А400С по ДСТУ 3760:2006. Длина заделки принята равной 7, 14 и 21см. Исследования проводили по методике планирования эксперимента, используя близкий к D-оптимальному двухфакторный план [4]. Уровни и факторы варьирования приведены в табл. 1.

Призмы были изготовлены из цементно-зольного керамзитобетона на карбонатном песке проектной прочностью 15, 20, 25МПа. Половину образцов пропаривали по режиму 3+7+2 часа при температуре 85°C, остальные твердели в нормальных условиях, испытывали их на 28 сутки в разрывной установке УИМ-50.

Момент начала смещения нагруженного и свободного конца арматуры измеряли двумя индикаторами. Усилия к стержню прикладывали ступенями, составляющие 10% от критической разрывной нагрузки. Отсчеты по индикаторам снимали на каждом этапе дважды: сразу после подъема нагрузки и примерно через 5 мин. после выдержки перед новым этапом.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов

Факторы		Уровни варьирования			Интервал
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	$\Delta X$
Проектная прочность бетона, МПа	$X_1$	15	20	25	$\pm 50$
Длина заделки $l_{\text{зад.}}$ , см ( $\varnothing$ арматуры, мм)	$X_2$	7(6)	14(12)	21(18)	$\pm 7(6)$

Во время испытаний фиксировали показания силомера прессы, соответствующие полной потере образцов несущей способности на выдергивание арматуры. Затем, имея величины  $N_{\text{сц}}$ ,  $d_{\text{ср}}$  и  $l_{\text{зад.}}$ , вычисляли среднее условное касательное напряжение сцепления и величину нормальных напряжений в арматуре [3, 5, 6]:

$$\tau_{\text{сц}} = \frac{N_{\text{сц}}}{\pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot l_{\text{зад.}}}, \quad (1)$$

$$\sigma_0 = \frac{N_{\text{сц}}}{A_s}. \quad (2)$$

Напряжения сцепления при разрушении определяли по формуле:

$$R_{\text{сц}} = \frac{10 \cdot N}{S \cdot l_{\text{зад.}}}, \quad (3)$$

где  $N$  – нагрузка, соответствующая разрушению заделки, кН;  $S$  – периметр арматуры, см;  $l_{\text{зад.}}$  – длина заделки, см.

**Результаты испытаний.** Потеря сцепления началось, соответственно, у нагруженного конца элемента. При

увеличении нагрузки нарушению сцепления препятствуют силы трения и заклинивание частиц бетона за периодический профиль стержня, что и являются основными факторами, обеспечивающими совместную работу арматуры и бетона. Силы сцепления стержня с бетоном задерживают деформации, происходящие от нагрузки, вследствие чего, нормальные напряжения в стержне, а также и в бетоне, уменьшаются вглубь бетона, тогда как напряжения сцепления увеличиваются в том же направлении. Напряжение сцепления неравномерно распределяется по длине заделки стержня, следует, что среднее сопротивление сдвигу арматуры должно уменьшаться с ростом глубины заделки.

Величины напряжений сцепления  $\tau_{сц}^n$ ,  $\tau_{сц}^{ест}$  и напряжений в зависимости от прочности на сжатие исследуемого материала и длины заделки приведены в табл. 2.

По результатам испытаний получены с 95% надежностью уравнения регрессии разрушающих напряжений сцепления  $\tau_{сц}^n$  и  $\tau_{сц}^{ест}$  и напряжений в арматуре в момент сдвига незагруженного конца арматуры  $\sigma_0^n$ ,  $\sigma_0^{ест}$ .

Таблица 2

Результаты испытания образцов на сцепление

Проектная прочность бетона, МПа	15		20		25	
	$\tau_{сц}$ , МПа	$\sigma_0$ , МПа	$\tau_{сц}$ , МПа	$\sigma_0$ , МПа	$\tau_{сц}$ , МПа	$\sigma_0$ , МПа
$l_{зад}$ , см; ( $\emptyset$ )	1	2	3	4	5	6
7 (6)	8,35	58	9,47	86,4	10,8	118,6
	10,25	65	10,53	102,7	14,22	132,2
14 (12)	6,69	78,5	7,53	137,5	8,41	191,7
	8,11	112	8,84	166	10,58	225
21 (18)	5,83	178,3	6,74	267,2	7,61	354
	7,28	229,1	7,87	311	8,75	432

\* В числителе приведены данные пропаренного бетон, в знаменателе естественного твердения.

$$\tau_{сц}^n = 7,520 + 0,9917x_1 + 0,035x_1^2 - 1,407x_2 + 0,590x_2^2 - 0,168x_1x_2, \quad (4)$$

$$\tau_{сц}^{ест} = 8,876 + 1,318x_1 - 2,017x_2 + 0,452x_1^2 + 0,807x_2^2 - 0,625x_1x_2, \quad (5)$$

$$\sigma_0^n = 120,2 + 46,25x_1 - 12,52x_1^2 + 89,42x_2 + 65,18x_2^2 + 28,78x_1x_2, \quad (6)$$

$$\sigma_0^{ест} = 163,7 + 63,85x_1 + 5,983x_1^2 + 112,0x_2 + 44,33x_2^2 + 33,93x_1x_2, \quad (7)$$

Уравнения регрессии по F-критерию Фишера адекватны ( $F_{ад} < F_{табл.}$ ) и имеют информационную ценность ( $F_{инф.} > F_{табл.}$ ).

Графическая интерпретация полученных уравнений регрессии представлена на рис. 1 и 2.

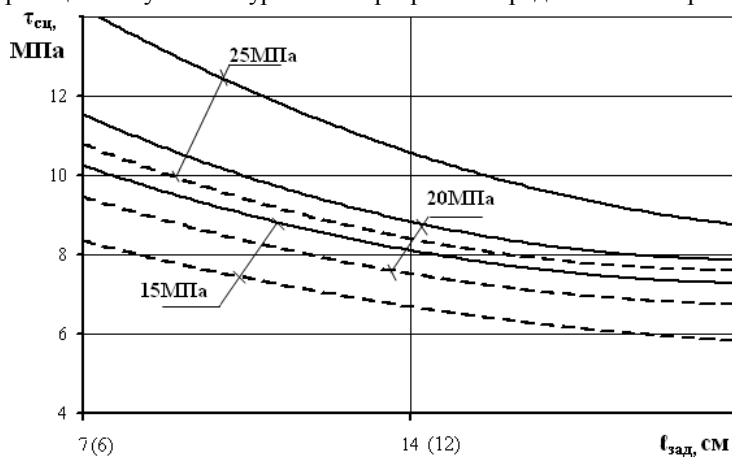


Рис. 1. Зависимость  $\tau_{сц} = f(R; l_{зад})$ ; — естественного, - - - - пропаренного твердения

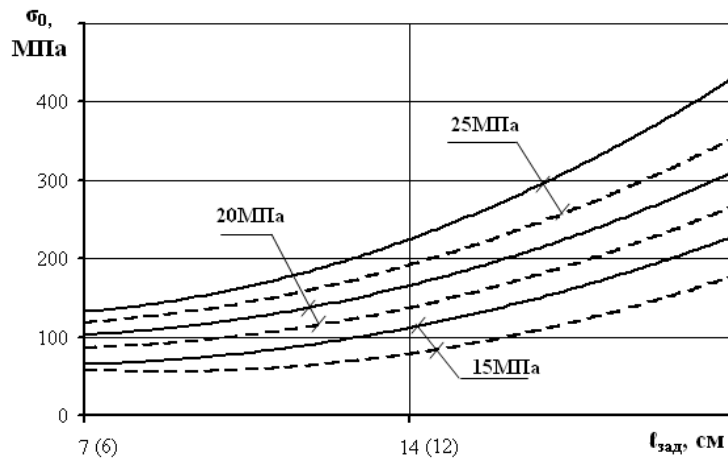


Рис. 2. Зависимость  $\sigma_0 = f(R, \ell_{зад})$ ;

— естественного, - - - - пропаренного твердения

Проведенный анализ зависимостей  $\tau_{сц\ разр.}^n = f(R; \ell_{зад})$  и  $\tau_{сц\ разр.}^{ect} = f(R; \ell_{зад})$ , изображенных на рис. 1, показывает, что:

- прочность образцов естественного твердения выше, чем кубиковая прочность пропаренных образцов, что в свою очередь отразилось на значениях касательных напряжений  $\tau_{сц\ разр.}$ , которые в 1,14 – 1,25 раза больше для образцов естественного твердения по отношению к пропаренным образцам;

- с ростом проектной прочности бетона  $\tau_{сц\ разр.}$  увеличивается пропорционально. С увеличением длины заделки приращение  $\tau_{сц\ разр.}$  уменьшается. Для пропаренных образцов при длине заделки арматуры 7 см, 14 см, 21 см приращение  $\tau_{сц\ разр.}$  для исследуемых прочностей соответственно равно 1,22 МПа, 0,9 МПа, 0,76 МПа, а для образцов естественного твердения - 2,0 МПа, 1,4 МПа, 0,8 МПа [6].

Анализ зависимостей  $\sigma_0^n = f(R, \ell_{зад})$  и  $\sigma_0^{ect} = f(R, \ell_{зад})$  графически приведенных на рис. 2. показывает, что:

- напряжения  $\sigma_0(x)$  в арматуре по всей длине распределяются по кривой, близко к экспоненциальной;
- в исследуемых бетонах распределение напряжений имеет приблизительно одинаковую кривизну и незначительно отличаются друг от друга;
- напряжения  $\sigma_0(x)$  в арматуре по всей длине распределяются в 1,11 – 1,4 раз больше в каждом сечении образцов естественного твердения по сравнению с пропаренными образцами [6].

Первые показания индикатора на незагруженном конце, для арматуры периодического профиля, еще не говорят о начале сдвига. Это только смещение незагруженного конца стержня относительно торца призмы, что объясняется упругим обжатием прилегающего к стержню бетона. При дальнейшем увеличении нагрузки, происходят деформации смятия под выступами профиля арматуры, что приводит к сдвигу арматурного стержня в заделке.

На начальных этапах сдвига незагруженного конца деформации увеличиваются медленно и почти пропорционально нагрузкам. Это связано с наличием упругих и упругопластических деформаций по длине заделки. С повышением нагрузки деформации резко возрастают, в результате преобладают деформации сдвига, и с этого момента, несущая способность заделки зависит от сопротивления срезу бетона образца и сил трения, возникающих по периметру стержня при его сдвиге.

Полученные величины  $\tau_{сц}$  обеспечивают достаточную анкеровку стержневой арматуры периодического профиля с цементно-зольным керамзитобетоном на карбонатном песке пропаренного и естественного твердения.

Относительная величина касательных напряжений сцепления  $\tau_{сц}^n/R$  полученная из опыта, изменялись от 0,42- для керамзитобетона прочностью 16,4 МПа, до 0,38- для бетона прочностью 20,7 МПа и 0,33- для бетона прочностью 26,6 МПа. При увеличении длины заделки - 7 см, 14 см, 21 см, касательные напряжения уменьшаются соответственно на 28...30% у пропаренного керамзитобетона, и на 25...35% у бетона естественного твердения. Это свидетельствует о том, что при большей прочности и максимальной длине заделки прочность сцепления арматуры с цементно-зольным керамзитобетоном более надежная.

### Выводы

Касательные напряжения для образцов естественного твердения в 1,14...1,25 раза выше, чем у пропаренных образцов. Нормальные напряжения по все длине арматуры распределяются в 1,11...1,4 раза больше в каждом сечении образца естественного твердения, чем у пропаренных образцов.

При увеличении нагрузки выдергивания наибольшее значение напряжений перераспределяются по длине анкеровки от загруженного к свободному концу призмы.

Прочность сцепления арматуры с цементно-зольным керамзитобетоном обеспечена, за счет зацепления крупного заполнителя за выступы арматуры и надежного склеивания обоих материалов, что положительно влияет совместную работу в конструкциях.

## SUMMARY

**The given results of researches are on coupling of armature with ceramist-ash ceramsite concrete. Influence of durability and length of anchoring is set on the size of tangent and normal tensions of tripping.**

1. Бабич Є.М., Вавринюк Б.А., Чапюк О.С. Напружено-деформаційний стан контакту з бетоном арматури серповидного профілю / Бабич Є.М., Вавринюк Б.А., Чапюк О.С. // Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. статей. Рівне, 2009. – Вип. 19. - С.74-82.
2. Маилян Р.Л. Железобетон на пористых каменных отходах / Р.Л. Маилян, М.А. Ахматов. - М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
3. Хомлянский М.М. Контакт арматуры с бетоном [текст]: монография / М.М. Хомлянский. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.
4. Рекомендации по применению методов математического планирования эксперимента в технологии бетона / НИИЖБ.– М.: Госстроя СССР., 1982.–44 с.
5. Рекомендации по производству и применению керамзитобетона на известняковом песке для конструктивных элементов жилых домов / НИЛЭП ОИСИ. – М.: Стройиздат, 1986. – 64 с.
6. Зинченко С.В. Прочность и деформативность конструкций из цементно-золяного керамзитобетона: Дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. - Одесса, 2010. – 187 с.