

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ  
КОНСТРУКЦИОННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА**

Одним из важных направлений НТП является применение легких бетонов в жилищном, промышленном и сельскохозяйственном строительстве.

В Украине изготавливается примерно 5-7% мирового объема изделий и конструкций из легких бетонов.

Расширение применения конструкций из легких бетонов требует более глубокого изучения их физико-механических свойств, разработки вопросов проектирования конструкций широкой номенклатуры и улучшения подготовки кадров в этой области.

Н.А. Попов, который по праву считается основоположником школы строительства из легкого бетона, провел первые исследования свойств легких бетонов.

В послевоенные годы значительные исследования в области легких бетонов провели Г.А. Бужевич, А.И. Ваганов, И.Г. Иванов-Дятлов, Н.А. Корнеев и другие. Благодаря их работам установлены физико-механические свойства легких бетонов различных видов, особенности их приготовления и работы под нагрузкой, области применения и их экономическая эффективность.

Вопросы теории и получения из пористого бетона продукции нашли распространение в работах А.А. Гвоздева, А.П. Коровина, А.А. Кудрявцева, Ю.И. Мешкауска, А.Б. Пирадова, И.Н. Ахвердова.

По сравнению с тяжелыми бетонами мезо- и микроструктуры бетонов на пористых заполнителях имеют несколько существенных особенностей. В легком бетоне поры имеются не только в цементном камне, но и непосредственно в легких заполнителях. Пористая структура цементного камня в большей степени приближается к структуре заполнителей, в зоне их контакта наблюдается меньше дефекта.

Благодаря большой предельной растяжимости легкие бетоны бывают более трещиностойкими, чем тяжелые бетоны.

Вместе с тем надо учитывать, что легкие бетоны обладают большой усадкой и ползучестью, и по этим показателям уступают тяжелому бетону.

Важной особенностью структуры легких бетонов является повышенное сцепление цементного камня с заполнителем.

Прочность важнейший показатель бетона. Основной характеристикой бетона является прочность на сжатие, и большим недостатком бетона является низкая прочность на растяжение, которая определялась на больших бетонных восьмерках с цилиндрической и призматической средней частью, расколом кубиков,  $10 \times 10 \times 10$  см. Прочность бетона, определенная расколом цилиндров, превосходит прочность на растяжение приблизительно в 1,7 раза.

Для определения прочности конструкционного керамзитобетона используют формулу, полученную Ю.И. Мешкаускасом:

$$R = 0,51m_2 - \frac{20,67B}{\Pi} + 0,651R_3 - 19,32.$$

Прочность легкого бетона при растяжении примерно в 10-15 раз меньше, чем при сжатии. Прочность при растяжении можно определить по эмпирической формуле.

$$R_{bt} = 0,5R^{2/3}$$

Для керамзитобетона на кварцевом песке используют формулу:

$$R_{bt} = R / (0,02 R + 7,9).$$

Механическая прочность керамзитобетона значительно ниже показателей достигнутых на современном этапе развития строительной науки. А.Б. Пирадов предлагает следующие факторы, которые увеличивают прочность легких бетонов: вид цемента, способ изготовления, условия твердения, средняя плотность, освоение новых технологий.

В рассмотренной конкретной задаче для повышения прочности изделия необходимо решить проблему повышения прочности легкого бетона при растяжении  $R_{bt}$ . Для этого необходимо применить жесткие смеси и эффективное их уплотнение.

Реологическая характеристика смеси.

Осадка конуса – 0, жесткость по техническому вискозиметру – 60 с, наполнитель керамзит М600.

Прочность при растяжении в основном определяется прочностью контактной зоны «заполнитель – цементный камень». Анализ прочности показал, что в монофракционном составе толщина слоя цементного теста «в» увеличивается при удалении от центра контактирующих заполнителей (рис. 1).

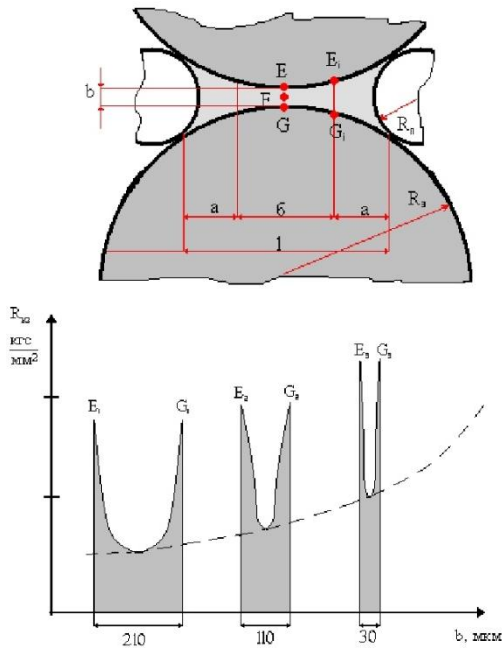


Рис. 1. Зона контакта в пористом бетоне  
а) Схема контактной зоны заполнителя;  
б) Гистограмма микротвердости различных по длине участков контактной зоны  $R_{K3}$ .

Контактная зона формируется на границе заполнителя с цементирующим веществом. Ширина контактной зоны в цементном камне составляет 30...60 мкм. Прочность сцепления между заполнителем и цементирующим веществом зависит от природы заполнителя, его пористости и чистоты поверхности зерен, вида цемента,

В/Ц отношения, условий твердения бетона, в основном от толщины слоя. (рис. 2).

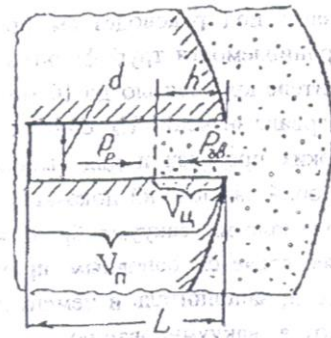


Рис. 2. Модель процесса заполнения поры твердого тела вязкой жидкостью (суспензией)

$d$  – диаметр поры;  $L$  – длина;  $h$  – глубина заполнения;  $P_{дв}$  – сила, движущая суспензию;  $V_n$  – объем пор;  $V_c$  – объем заполненный суспензией;  $P_p$  – реактивная сила (противодавление)

Для повышения механической прочности керамзитобетона под руководством профессора Вандоловского А.Г. были исследованы бетонные смеси, в которых вместо кварцевого песка ( $M_k=1,3$ ) использовался керамзитовый песок ( $M_k=2,1$ ), применение которого позволяет повысить  $R_{bt}$  – 42%.

Для дальнейшего повышения прочности контактной зоны разработана технология, позволяющая полнее заполнить цементным тестом поры заполнителя. Внутри зерна заполнителя создают разрежение  $P$ , зерна покрываются цементным тестом и ему придают избыточное давление  $P$ , под действием которого цементная паста проникает в поры.

Проведенные нами исследования пористого бетона на керамзитовом заполнителе крупностью до 10 мм показали, что для выбора оптимального состава необходимо учесть очень важнейший показатель – прочность бетона  $R_{bt}$ . Также разработана технология вакуумообработки бетона на пористых заполнителях, которая является основным принципом для повышения механической прочности; заполнитель и цементный раствор в замкнутом резервуаре подвергаются вакуумированию в течение 2-3 мин. до разрежения 0,02 Мпа, по-

сле чего смесь перемешивают, а затем резервуар открывают, цементная паста оказывается под воздействием атмосферного (избыточного) давления  $P$  и разрежения внутри зерен заполнителя –  $P$ . Для экспериментальной проверки использован полифракционный состав. После приготовления вакуумированной смеси были отформованы образцы труб.

В.Ф. Ландером установлена зависимость для керамзитобетона  $\frac{R_{bt}}{R_b} = 0,287$ , следовательно, для М25

$$R_{bt} = \frac{7,19ru}{\text{см}^2} = 0,7\text{МПа.}$$

Для дальнейшего увеличения прочности в зоне контакта необходимо введение мелких фракций. Введение в бетонную смесь песка ( $M_k=1,3$ ) и керамзитового песка ( $M_k=2,1$ ) позволяет повысить  $R_{bt}$  до 2 МПа за счет формирования оптимальной структуры контактной зоны. При этом для  $R_b$  повышение составляет 10,5%, а для  $R_{bt}$  – 42%.

Проведенные исследования показали возможность значительного увеличения прочности керамзитбетона при растяжении, что, в свою очередь, позволяет изготавливать изделий повышенной прочности.

Высокопрочный керамзитбетон наиболее эффективен для применения, когда необходимо снизить собственную массу конструкций либо, увеличить их габариты не выходя за пределы грузоподъемного и кранового оборудования. Использование конструкций пониженной массы уменьшает массу зданий и нагрузки на элементы его каркаса и фундамент. Особенно эффективно применение высокопрочного керамзитобетона в тех районах, где для приготовления обычного тяжелого бетона используют дальнепривозной дорогостоящий щебень. По данным Довжика В.Г. [1] стоимость керамзитобетонных конструкций и эксплуатации ниже, чем изделий из тяжелого бетона, причем керамзитовый гравий коррозионно устойчив к действию сильных кислот и соответствует стойкости кислотостойких керамических материалов. Расширение области применения керамзитобетона возможно за счет его использования в изгибаемых элементах, что

возможно при условии обеспечения повышения прочности керамзитобетона при растяжении ( $R_{bt}^k$ ). Сведений о расчетном определении величины  $R_{bt}^k$  в литературе практически нет. Довжик В.Г. приводит экспериментальные данные определения прочности керамзита ( $R_t^k$ ) как функции прочности при сжатии в цилиндре ( $R_{ц}^k$ ):

$$R_t^k = \frac{R_{ц}^k}{2 \cdot 1} \quad (1)$$

Величина  $R_t^k$  колеблется в пределах 0,42...1,98 МПа. Прочность керамзитобетона  $R_b^k$  зависит от объемной концентрации в бетоне керамзита.

$$R_b^k = 9,5 \cdot R_{ц}^k \cdot \frac{1-n}{0,5}. \quad (2)$$

Прочность цементного камня на растяжение  $R_t^u$  значительно больше, чем прочность керамзита, и составляет в среднем 3,75...5,0 МПа. Корниловичем Ю.Е. предложена следующая формула прочности керамзитобетона.

$$R_b^k = R_{ц}^k \cdot (1 - n) + R_k \cdot n. \quad (3)$$

Если принять, что прочность при растяжении керамзитобетона также зависит от  $n$ , то формула 3 преобразуется:

$$R_{bt}^k = R_t^u \cdot (1 - n) + R_t^k \cdot n. \quad (4)$$

Используя зависимость (4) и вышеприведенные значения  $R_t^u$  и  $R_t^k$ , можно ориентировочно определить ожидаемые прогнозные значения  $R_{bt}^k$  при концентрации керамзита  $n$  в пределах 0,3...0,75.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 показывают, что прочность керамзитобетона при растяжении  $R_{bt}^k$  лежит в пределах 1,28...4,09 МПа. Наибольшее значение достигается при малой доле керамзита (менее 30%). Приведенные результаты получены при условии прочного контакта между керамзитом и цементным тестом. На основании экспериментальных исследований с использованием метода оптически активных покрытий Пивень Л.С. наблюдала развитие трещин в контактной зоне, которые распространились от зерна заполнителя в сторону растворной части. Корнилович Ю.Е. классифицирует типы разрушения керамзитобетона:

- 1 – разрушение по раствору (заполнитель цел);
- 2 – разрушение по раствору и поверхности между заполнителем и раствором;
- 3 – разрушение по раствору и по заполнителю.

Довжик В.Г. считает, что для керамзитобетона типа 1 следует исключить, поскольку растворная часть значительно прочнее керамзита Типа 2 свидетельствует о слабости зоны контакта «заполнитель – цементный камень». Тип 3 показывает, что состав бетона и технология обеспечивает достижение максимальной прочности.

Таблица 1 – Расчетная прочность при растяжении керамзитобетона

Доля керамзита в бетоне n	Прочность при растяжении, МПа		
	керамзит $R_t^k$	цементное тесто $R_t^ц$	керамзитобетон $R_{bt}^k$
0,3	0,42	3,75	2,76
0,75	1,98	5,00	2,74
0,75	1,98	3,75	2,43
0,75	0,42	3,75	1,28
0,75	0,42	5,00	1,59
0,3	1,98	5,00	4,09

Таким образом, по характеру поверхности разлома при испытаниях можно судить о правильности состава и соответствии технологии. Ландер В.Ф. исследовал прочность конструкционного керамзитобетона в дренажных трубах, формируемых вибропрессованием со значительной долей керамзита (n=0,75). В его исследованиях  $R_b^k=7,0$  Мпа,  $R_{bt}^k=0,60...0,75$  Мпа. Полученные им значения ниже, чем теоретическое значение, приведенное в табл. 1 ( $R_{bt}^k=1,28$  Мпа), почти в два раза. Изготовленные нами вибрированием образцы –

восьмерки при испытании показали аналогичную прочность, причем характер разлома свидетельствует, что разрушение идет по поверхности раздела «керамзит – цементное тесто». С целью повышения прочности контакта между пористым заполнителем и цементным тестом, разработана технология, повышающая прочность контакта. Для заполнения открытых пор керамзита цементным тестом, заполнитель в бетоносмесителе подвергается вакуумированию и под вакуумом производится перемешивание компонентов. Цементное тесто покрывает каждую гранулу заполнителя и частично проникает в поры под действием капиллярных сил. После этого бетоносмеситель разгерметизируют, и под действием атмосферного давления цементное тесто вдавливаются в поры керамзита, причем вакуум внутри каждой гранулы заполнителя «втягивает» цементную суспензию. Подготовленная таким образом смесь уплотняется одним из стандартных способов. Исследование физико-механических показателей керамзитобетона, уплотненного методом послойного прессования, показало, что вакуумобработка пористого заполнителя в процессе перемешивания позволяет значительно повысить его прочность при растяжении. В табл. 2 представлены результаты определения  $R_{bt}^k$ , полученные в результате испытания на прочность образцов колец. Расход портландцемента – 250 кг/м<sup>3</sup>, заполнитель – керамзит М600 фракция до 10 мм, n=0,25.

Таблица 2 – Прочность при растяжении экспериментальных керамзитобетонных образцов

№	Фракционный состав, кг/м <sup>3</sup>			В/Ц	Добавки %		$R_{bt}^k$ , МПа	Примечание
	10	5	2,5		СДБ	CaCl		
1	417	417	417	0,42			1,44	
2	320	320	320	0,55			1,80	
3	320	320	320	0,40	0,2		2,00	С добавками
4	320	320	320	0,39	0,2	0,2	1,99	-//-
5	320	320	320	0,40	0,2		2,44	Вакуумирование заполнителя

Примечание: 1. Прочность в возрасте 28 суток.

2. В составах 2-3 песок керамзитовый в количестве 285 кг/м<sup>3</sup>.

Данные табл. 2 показывают, что при постоянном расходе цемента соотношение между фракциями, (в том числе введение керамзитового песка) оказывает значительное влияние на прочность. Пластификатор сульфитно-дрожжевая бражка. ЛСТ введена для снижения вязкости цементной суспензии с целью создания условий для более глубокого ее проникновения в поры заполнителя. Наибольшую прочность показали образцы, изготовленные из заполнителя, прошедшие вакуум-обработку при перемешивании. ( $R_{bt}=2,44$  Мпа). Сравнение данных табл. 2 и табл. 1 показывает, что применение вакуум-обработки позволило практически достичь прочности, рассчитанной теоретически.

Исследование структуры бетона было проведено на аншлифах из фрагментов разрушенных при испытаниях образцов. Петрографические исследования показали, что зерна пористого заполнителя после вакуум-обработки окружены плотной оболочкой новообразований толщиной 0,05-0,1 мм. Характер разрушения бетона соответствует типу 3, т.е. прочность керамзита, растворной части и контактной зоны равны. Повышение прочности при

растяжении конструкционного керамзитобетона до 2,4 Мпа позволяет расширить область применения керамзитобетона, используя его для конструкций, испытывающих изгибающие и растягивающие напряжения.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Довжик В.Г. и др. Технология высокопрочного керамзитобетона. М.: Стройиздат, 1976, 136 с.
2. Гасанов А.Б. и др. Повышение прочности при растяжении конструкционного керамзитобетона, применяемого при изготовлении трубофильтров. Науковий вісник будівництва, вип. 10, Харків, ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2000.- с. 149-153.
3. Вандоловский А.Г., Гасанов А.Б. Повышение механической прочности трубофильтров на пористых заполнителях, Научно-технический сборник, вып. 19, ХГАГХ, 1999, с. 99-104.
4. Пирадов А.Б. Конструктивные свойства легкого бетона и железобетона, 1973, с. 28-34.
5. Бабич Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях, 1988, с. 40-41.
6. Штоль М., Кикава О.Ш. Технология керамзитобетонных изделий на горячем заполнителе. М.: Стройиздат. 1986.- 136 с.

UDC 666.97 (075.8)

**Basheer N. Younis**

*Kharkov National University of Construction and Architecture*

## EFFECT OF THE SHEAR AND BENDING ON THE HOLLOW CONCRETE BEAMS MANUFACTURED BY VIBRO-VACUUM

### Introduction

Concrete cylinders with hollow section of different purpose are characterized by the extensive application. These sections are used for the various fields such that in buildings, hall reinforced concrete bridge piers, offshore structure and towers [1]. For example, in modern building where utility ducts and pipe are being accommodated below floor beams in the space above the false ceiling, the use of non-prismatic beam with a recess would allow these ducts to pass through the beam, eliminating a significant amount of dead space [2-4]. This would reduce the height of

story, leading to substantial savings in the materials and construction costs. Hollow section is often adopted in order to increase flexural rigidity and reduce the self-weight of beam. However, there is possibility that RC members with a hollow section may not have enough plastic deformation capacity and energy dissipation since it is generally difficult to ensure effective confinement of the concrete and the thinner web causes the deterioration of shear resistance of the members. So for ensuring reliable operation of this type of structures throughout the entire lifetime is as-