

ДЕФОРМИРОВАНИЕ РЕАКЦИОННО-ПОРОШКОВЫХ БЕТОНОВ ПОД НАГРУЗКОЙ

А.А.Шишкина, к.т.н., доц., А.А.Шишкин, д.т.н., проф.

Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина

Песчаные (мелкозернистые) бетоны практически не используются в заводской технологии для изготовления несущих конструкций и в сборном монолитном строительстве. Наибольшая сфера их применения в настоящее время - это изготовление мелкоштучных изделий методами силового прессования или вибропрессования. Это связано с тем, что данные бетоны отличаются повышенным расходом цемента, а это, в свою очередь, является причиной значительной усадки и ползучести бетонов, особенно из высокопластичных бетонных смесей, что и ограничивает использование песчаных бетонов для изготовления несущих конструкций.

Создание эффективных бетонов такого типа возможно за счет их порошковой активации при использовании суперпластификаторов (СП) и гиперпластификаторов (ГП). Песчаный бетон нового поколения, кроме дисперсного цемента, должен дополнительно включать комбинацию дисперсных и тонкозернистых добавок: молотые природные пески или микрокремнезем, реакционно-активные пуццолановые добавки и тонкие пески при строго оптимальных соотношениях, совместно усиливающих реологическое действие СП или ГП. Песчаные бетоны нового поколения должны быть 7-8-компонентными с четырех-пятикомпонентной водной порошково-активированной матрицей не только с целью повышения прочности бетонов, но и для существенной минимизации расхода цемента, что позволяет называть такие бетоны порошково-активированными.

Теоретическими предпосылками синтеза прочности и долговечности высококачественных строительных композитов является более полное использование энергии портландцемента или другого гидравлического вяжущего, создание оптимальной микроструктуры цементного камня, уменьшение макропористости и повышение трещиностойкости, упрочнение контактных зон цементного камня и заполнителя за счет направленного применения комплекса эффективных химических модификаторов, высокодисперсных силикатных материалов с аномальной гидравлической активностью, расширяющих добавок с регу-

лируемой энергией напряжения, а также интенсивной технологии производства.

Наиболее полно современные возможности технологии бетона отразились в создании и производстве высококачественных, высокотехнологичных, высокофункциональных бетонов (High Performance Concrete, НРС). Под этим термином, принятым в 1993 г. совместной рабочей группой ЕКБ/ФИП, объединены многокомпонентные бетоны с высокими эксплуатационными свойствами, прочностью, долговечностью, адсорбционной способностью, низким коэффициентом диффузии и истираемостью, надежными защитными свойствами по отношению к стальной арматуре, высокой химической стойкостью, бактерицидностью и стабильностью объема.

Концепция НРС была достаточно подробно разработана П.-К. Айчином. Он описывает НРС как «инженерный» бетон, в котором одно или несколько из его специфических свойств улучшены путем обоснованного отбора компонентов, проектирования состава, а также тщательных укладки и ухода [1].

Особенно перспективны полученные в конце 80-х годов двадцатого столетия во Франции так называемые реакционные порошковые бетоны — Reactive powder concretes (RPC). Это новое поколение бетонов с прочностью при сжатии от 200 до 800 МПа и прочностью при растяжении 25-150 МПа, энергией разрушения 3000 Дж/м³ и средней плотностью 2500-3000 кг/м³. Компонентами такого бетона являются портландцемент, тонкозернистый порошок типа микрокремнезема (25—30% массы цемента), мелкозернистый песок с максимальной крупностью зерен 0,3-0,4 мм, стальная микрофибра и суперпластификатор (2,0-3,0 % массы цемента) при водотвердом отношении в диапазоне 0,12-0,15. Бетон назван реакционным порошковым вследствие высокой дисперсности компонентов и повышенного количества гидравлически активных материалов. Концепция RPC заключается в получении материала, обладающего минимумом дефектов структуры - микротрещин и пор.

Оптимизация гранулометрического состава частиц портландцемента, песка, молотого минерального порошка (микрокремнезема), которая основывается на предложенной F. De Larrard [2] линейной модели плотной упаковки (LPDM — linear packing density model), обеспечивает очень высокую плотность композита. В связи с этим в высокопрочных бетонах предусматривается использование тонкомолотых наполнителей.

Авторами данной работы получены некоторые виды данного вида бетона [3,4], исследованию деформативности под нагрузкой которых и посвящена настоящая работа.

На рис. 1 приведена область изменения величины относительного начального модуля упругости щелочного реакционного бетона, которая охватывает результаты испытаний исследованных составов данного бетона, отличающихся видом щелочного компонента.

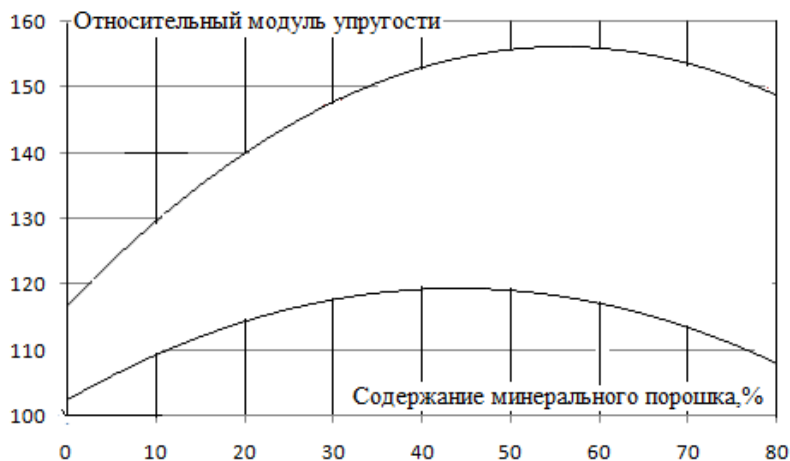


Рис. 1. Изменение начального модуля упругости бетона в зависимости от содержания в нем наполнителя

В качестве активного порошка в данных бетонах были использованы железосодержащие горные породы криворожского месторождения и отходы обогащения железных руд. Данные минеральные порошки имели максимальный размер частиц 0,63 мм и содержали частицы, соизмеримые с размерами частиц цемента в количестве 70%.

В результате проведения исследований установлено, что с увеличением до определенного предела содержания песчаной составляющей в щелочных реакционных порошковых бетонах приводит к увеличению их начального модуля упругости (рис.1). Оптимальное содержание минерального порошка в составе исследуемого бетона составляет от 50% до 60%.

Дальнейшее увеличение содержания минерального порошка сверх указанных пределов приводит к уменьшению величины начального модуля упругости бетона.

В табл. 1 приведено соотношение между прочностью при сжатии и величиной начального модуля упругости исследуемых бетонов. Очевидно, что величины начального модуля упругости исследуемых бетонов несколько ниже величины начального модуля упругости бетона на крупном гранитном заполнителе, однако они удовлетворяют требованиям норм (ДБН В.2.6-98:2009) для бетонов, приготовленных на песчанике и известняке, т.е. могут быть использованы для изготовления строительных конструкций.

Таблица 1 Соотношение между прочностью при сжатии щелочного реакционного порошкового бетона и величиной его начального модуля упругости

f_{cm} , МПа	Класс бетона по прочности при сжатии	Начальный модуль упругости			
		опыт, ГПа	нормы, ГПа		
60	С 35/45	34,5	37,5	33,75	26,25
52	С 32/40	33	36	32,4	25,2
43	С 25/30	32,5	32,5	29,25	22,75
35	С 20/25	28	30	27	21
28	С 16/20	26	27	24,3	18,9
26	С 16/20	26	27	24,3	18,9

Другим видом исследованных бетонов были пористые бетоны.

Очевидно, что основным путем повышения прочности пористых бетонов является повышение прочности бетона в их межпоровых перегородках. Данную задачу можно решить применением высокопрочных бетонов. Наиболее приемлемыми, в данном случае, являются так называемые реакционные порошковые бетоны — Reactive powder concretes (RPC).

Поэтому во второй группе проведенных исследований были изучены деформативные свойства пористых реакционных порошковых бетонов, получаемых в результате твердения смеси портландцемента, минерального порошка и мицелл, полученных на основе смеси мицеллообразующих ПАВ и полиспирта.

В данной группе экспериментов контролируемыми параметрами были не только величина начального модуля упругости бетона, но и величина его усадки, которая оказывает в данном случае значительное влияние на качество изделий из такого вида бетона.

Исследования производили в соответствии со стандартными методиками. Определение прочности при сжатии производили на универ-

сальной машине УММ-100 испытанием стандартных образцов (образцы-кубы 150 x 150 x 150 мм), а деформативности - испытанием образцов-балочек размером 40x40x160 мм. Для изготовления образцов использовали стандартный портландцемент М400 производства ПАО «Хайдельберг цемент» (г. Кривой Рог). В качестве минерального порошка использовали отходы обогащения железных руд и их тонкодисперсную часть.

Как показали результаты эксперимента, величина начального модуля упругости и усадки таких бетонов зависит от их плотности (табл.2). Кроме того, величина начального модуля упругости пористых RPC выше, а величина усадочных деформаций ниже, чем у обычных пористых бетонов.

Таблица 2. – Характеристики бетонов

Вид бетона	Плотность бетона, кг/м ³	Усадка бетона, мм/м	Начальный модуль упругости, ГПа
обычный	620	5,6	1,8
	760	5,0	2,2
	900	4,2	4,0
	1000	3,4	7,8
пористый RPC	650	4,8	2,1
	780	3,7	3,3
	1000	3,0	7,9
	1230	2,4	9,1

Выводы

1. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что плотные реакционные порошковые бетоны могут быть получены с деформативными свойствами не хуже обычных бетонов на крупном заполнителе.

2. Пористые реакционные порошковые бетоны обладают большей величиной начального модуля упругости и меньшими деформациями усадки по сравнению с обычными пористыми бетонами.

Summary

The results of studies deformation properties of the reaction of powdered concrete. It was found that this type of dense concrete have deformation properties close to the deformation properties of heavy dense

concrete with coarse aggregate of porous concrete of this type have a reduced deformability compared to conventional concrete of this type.

Литература

1. Aitcin P.-C. High Performance Concrete [Text] / P.-C. Aitcin. E&FN Spon. 2004. - 140 p.
2. De Larrard F. Ultrafine particles for making of very high strength concrete // Cement Concrete Research. 1988. Vol. 19. No 2. Pp. 161-172.
3. Шишкин А. А. Щелочные реакционные порошковые бетоны [Текст] / А.А. Шишкин // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014.- № 2 (17).- С. 56-65.
4. Шишкина А.А. Пористые реакционные порошковые бетоны [Текст] / А.А. Шишкина // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014.- № 8 (23).- С. 128-135.