

ТЕХНОЛОГИЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ БЕТОНОВ С РЕГУЛИРУЕМЫМ ПУСТОТООБРАЗОВАНИЕМ

Г.Фишман¹, А.Гольдман²

¹Технического Университета Молдовы, ²Академический Колледж города Ариель, Израиль

1. ВВЕДЕНИЕ

Процесс разработки бетонов нового поколения известных на сегодняшний день высокими эксплуатационными характеристиками (т.н. "High Performance Concrete") относится в основном к 80-м прошедшего двадцатого столетия [1,2]. Эти бетоны отличаются прежде всего высокой и сверхвысокой прочностью (80 – 160 МПа при сжатии) и значительно улучшенной устойчивостью в агрессивных средах, включая повышенную морозостойкость. Принимая во внимание эти свойства, а также и существенное повышение прочностных характеристик в раннем возрасте, не трудно показать, что такие бетоны имеют значительные технологические преимущества. Вместе с тем, относительным недостатком таких бетонов может считаться их повышенная хрупкость [3,4]. Следует отметить, что механика разрушения высокопрочных систем недостаточно изучена до настоящего времени.

Еще в конце 80-х годов, А. Гольдман (Технион, Хайфа, Израиль) высказал предположение, что за счет некоторого, возможно незначительного, уменьшения прочности на сжатие, можно достичь снижения хрупкости этих бетонов и замедления процесса их разрушения [5]. Было предложено, что вместе с таким улучшением механического поведения можно получить и снижение плотности бетона, что в свою очередь приведет к улучшению его теплоизоляционных характеристик [6].

Внедрение новой технологии, с этой точки зрения, обеспечивает также возможности улучшения свойств, которые позволяют говорить о новых технологических возможностях. В 1999 г., при обсуждении с А.Гольдманом докладов одной из научных конференций по проблемам применения легких бетонов в г. Хайфа (Израиль), Г. Фишман предложил ввести в свежую бетонную смесь инертный пустотообразователь, не вступающий в химическое взаимодействие с компонентами

бетона. Целью является получение облегченного бетона с регулируемой системой пор. После подготовки теоретического обоснования, нами был проведен предварительный эксперимент. Проверка результатов была произведена Институтом Стандартов Израиля [7]. Эта проверка дала положительные результаты и показала перспективность дальнейших исследований в этом направлении.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Реализация концепции бетонов с высокими эксплуатационными свойствами оказалась возможной, прежде всего, благодаря комплексному применению высокоэффективных суперпластификаторов и микрокремнезема. Оптимальное сочетание указанных добавок, а при необходимости – введение небольших доз других органических материалов, позволяет управлять реологическими свойствами бетонных смесей и модифицировать структуру цементного камня на микроуровне так, чтобы придать бетону свойства, обеспечивающие высокую эксплуатационную надежность конструкций. Эти изменения состава бетонной смеси позволяют регулировать ее поведение и приводят к равномерному распределению пустот в подвижной массе. Как известно из механики разрушения, один из эффективных способов повышения трещиностойкости материалов и размещение на пути трещины круглого или эллиптического отверстия. [8],[9],[10]. Таким образом представляется возможным, уменьшить величину концентраторов напряжений и увеличить трещиностойкость бетонного элемента. Создание такой макроструктуры бетона, дает возможность значительно снизить плотность (до 1600-1800 кг/м.куб), получить улучшенную теплоизоляцию и в то же время сохранить основные характеристики конструктивных

бетонов. Для проверки вышеуказанных предположений, были проведены два предварительных эксперимента. Первый из них был проведен, как указано выше, Институтом Стандартов Израиля в 2001 году [2]. Второй эксперимент был проведен в лаборатории стройматериалов Академического Колледжа в г. Ариэль, Израиль. Результаты этого расширенного эксперимента описаны в продолжении.

3. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении эксперимента в 2001 году, был приготовлен высокопрочный бетон с плотностью 2426 кг./м.куб, взяты пробы, а затем в свежую бетонную смесь добавлен пустотообразователь до получения плотности 2000 кг./м.куб. Результаты испытаний в Институте Стандартов Израиля приведены в таблице 1.

Таблица.1 Результаты испытаний первого эксперимента (смесь № 1-контрольная, смесь №2 с поробразователем).

Прочность на сжатие(МПа) в возрасте	Смесь № 1	Смесь № 2
7дней	59.8	34.0
28дней	78.0	47.2
Плотность свежего бетона Кг/м3	2426	2018
Модуль деформации (МПа)	46000	35000

Как видно из таблицы, результаты эксперимента показали возможность создания облегченного бетона с регулируемой системой пор. Полученный бетон сочетает прочность конструктивного с уменьшенной плотностью легкого бетона.

Дальнейшие экспериментальные исследования были проведены в лаборатории Академического Колледжа города Ариэль в Израиле в начале 2004 года. Их целью была, прежде всего, проверка возможности регулирования плотности бетонной смеси при сохранении равномерного распределения легкого заполнителя сферической формы в массе бетона.

Для обеспечения соответствия условий выдерживания образцов в стандартных условиях, был разработан и изготовлен прибор емкостью 120 л. с полностью автоматизированной системой регулировки температуры и циркуляции воды (рис.1).



Рисунок 1. Установка для выдержки образцов в воде при температуре 20-21 градус цельсия.

Для исследования были приготовлены четыре вида бетонных смесей. -Смесь № 1.Контрольная смесь высокопрочного бетона с предположительной прочностью 100МПа и плотностью свежего бетона 2445Кг/м.куб.

Смесь № 2. В контрольную бетонную смесь введен 41% (по объему) пустотообразователя. Плотность свежего бетона 1614Кг/м.куб.

-Смесь № 3. В контрольную бетонную смесь введено 13% (по объему) пустотообразователя. Плотность свежего бетона 2223 Кг/м.куб

-Смесь № 4. В контрольную бетонную смесь введено 23% (по объему) пустотообразователя. Плотность свежего бетона 2074 Кг/м.куб

Испытанию подверглись отобранные образцы с размерами 100/100/100 мм. в возрасте 1; 7 и 28 дней. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица .2 Результаты второго эксперимента

Прочность на сжатие в возрасте	Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3	Смесь №4
1день	34.7		29.0	20.4
7 дней	71.3	17.0	45.8	33.1
28 дней	84.7	21.8	54.7	38.8
Плотность свежего	2445	1614	2223	2074

бетона (Кг/м. ³)				
Содержание пустотообразователя (%)	0	41	13	23
Осадка конуса (см)	11	17	9	17

Влияние содержания пустотообразователя на рост прочности бетона на сжатие показано ниже (график 1).

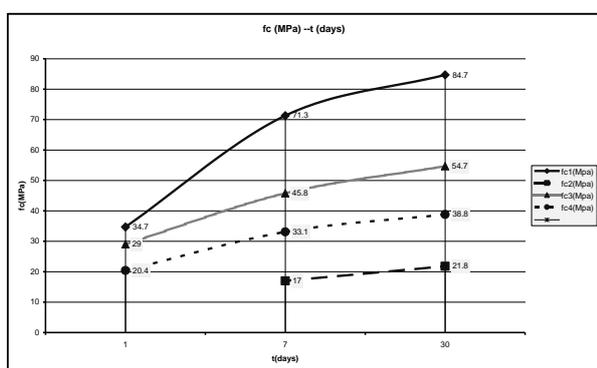


Рисунок 2. Нарастание прочности бетона различных составов во времени.

По результатам исследований построен также пространственный график (рис.3), по которому можно определить зависимость между прочностью исследуемого бетона, его плотностью и содержанием пустотообразователя. При испытании бетона на осевое сжатие, был проведен следующий эксперимент. Призма, изготовленная из контрольного бетона (высокопрочного) нагружалась

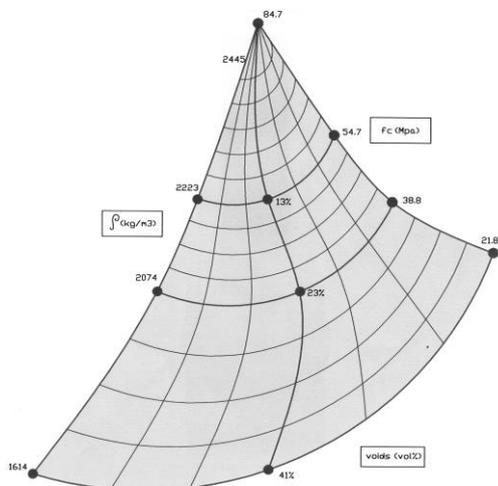


Рисунок 3.

Взаимосвязь f_c (МПа) - ρ (Кг/м.куб) -Voids(%)

постепенно возрастающей нагрузкой до начала ее разрушения. Затем приложенная нагрузка была снята , и на компьютерном томографе (СТ) , выполнены рентгеновские снимки с шагом 0.6 мм. послойно , через все сечение образца без его разрушения . На полученных снимках отчетливо виден характер развития трещин внутри исследуемого бетонного образца (рис.4).

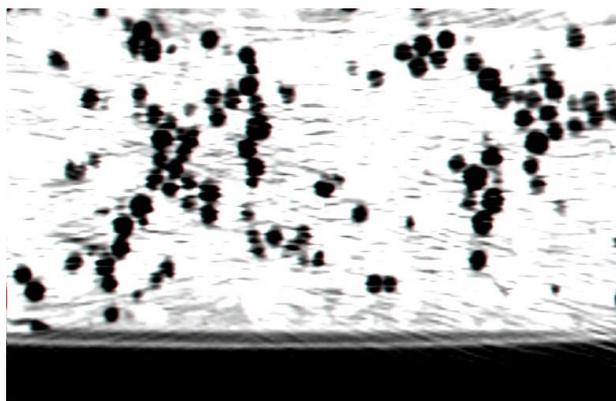


Рисунок 4. Рентгеновский снимок пустот и трещин в массе образца.

Полное разрушение испытуемых образцов происходило равнозначно , как по цементному камню , так и по заполнителю (рис.5).



Рисунок 5. Характер разрушения образца . (призмы 70/70/280мм .)

4. ВЫВОДЫ

1. Результаты предварительных экспериментов подтвердили возможность снижения и регулирования плотности бетона в довольно широких пределах: от 2400 Кг/м.куб до 1600 Кг/м.куб.

2. Проверена и показана возможность обеспечить высокую степень равномерности распределения пустот в массе свежего и отвердевшего бетона .

3. На основании полученных результатов можно утверждать, что наряду со снижением плотности бетона , сохраняется возможность сохранения относительно высоких прочностных характеристик .

4. Есть основания предполагать, что разрабатываемая методика позволит значительно улучшить и динамические характеристики бетона в процессе его разрушения . Этому вопросу будет посвящена последующая серия экспериментов .

5. **Гольдман А.** Семинар на тему " Механизмы упрочнения цементных систем с микрокремнеземом ", Технион , Хайфа , 1988.

6. **Goldman A.** , *High Performance Concrete : From late Seventies Till Now* , 2005 (in progress)

7. **Институт Стандартов Израиля (Лаборатория Стройматериалов)** , результаты испытаний прочности бетона GFC на сжатие , Тель-Авив , 2001 .

8. **Броек Д.**, *Основы механики разрушения . Электронная версия 2004.*

9. **Bowie, O.L.**, *Analysis of an infinite plate containing radial cracks originating at the boundary of an internal circular hole*, *J. Math, and Phasic.*, 25 (1956) pp. 60-71.

10. **Broek, D., et al.**. *Applicability A fracture toughness data to surface flaws and to corner cracks at holes*, *Nat. Aerospace Inst. Amsterdam, Rept. TR 71033* (1971).

5. Литература

1. **Goldman A.** *Properties of Concretes and Pastes with Microsilica* , *M.Sc. Thesis , Tecynion IIT , Haifa* , 1987 .

2. **Goldman A , Bentur A.** *Bond Effects in High Strength Silica Fume Concretes* , *ACI Materials Journal* , 1989 , vol . 86 , pp.440-447 .

3. **Shah S.P.** *Materials Aspects of High Performance Concrete (UEF)* , *Kona , Hawaii* , 1997 , pp. 504-511.

4. **Ali M.A. , Wlute R.N.** , *On expending ACT 318 to High Strendth Concrete* , *First Int. Conf. on High Strength Cconcrete (UEF)* , *Kona , Hawaii* , 1997 , pp.554-567 .

Recomandat spre publicare: 6.09.2005.