

УДК 666.972.16

Е. С. ЛОБОДА, С. В. ЛАХТАРИНА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА СТЕСНЕННУЮ УСАДКУ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕТОНОВ

Для предотвращения стесненной усадки высококачественных бетонов используется комплекс модификаторов, в частности: суперпластификатор с высоким водоредуцирующим эффектом; расширяющийся компонент на основе оксидов кальция; расширяющая добавка, снижающая поверхностное напряжение воды. Данный комплекс усиливает синергетический эффект каждого продукта, что исключает частично или полностью усадку. Снижается риск быстрого испарения влаги, обусловленный климатическими условиями твердения. Для количественной оценки стесненной усадки бетона использована методика «ring test», согласно ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage.

высококачественный бетон, стесненная усадка, расширяющие добавки, модификаторы

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

По определению, высококачественный бетон (High Performance Concrete) – это материал, который характеризуется надлежащей удобоукладываемостью, высокой прочностью и долговечностью, низким водопоглощением и истираемостью, высокой морозостойкостью и газонепроницаемостью [1].

Согласно [2] основными факторами получения высококачественных бетонов являются: применение высокоактивных цементов с нормированным минералогическим составом (содержание $C_3A \leq 8\%$), фракционированного щебня из прочных горных пород, классифицированного песка со стабильным гранулометрическим составом: $M_k = 2,5...3,2$; предельно низкое водоцементное отношение, обеспечивающее высокую начальную плотность структуры (применение супер-, гиперпластификаторов); применение тонкодисперсных активных минеральных добавок, модифицирующих состав цементного камня и контактной зоны на границе с заполнителем (кремнеземистая пыль и др.); точное дозирование составляющих бетонных смесей; тщательное перемешивание бетонных смесей в смесителях принудительного действия, вибросмесителях или смесителях-активаторах; выбор наиболее эффективных методов уплотнения бетонных смесей, при которых обеспечивается коэффициент уплотнения не ниже 0,99; создание наиболее благоприятных условий и режимов твердения бетона в конструкциях (уход за бетоном).

Следует отметить, что бетоны с низким водоцементным отношением, содержащие тонкодисперсные активные минеральные добавки (зола-унос, микрокремнезем и др.), имеют тенденцию к развитию трещинообразования вследствие усадки, особенно при отсутствии адекватного влажностного ухода при твердении. Причиной развития усадочных деформаций является напряжение в капиллярах, обусловленное обезвоживанием порового пространства бетона в процессе гидратации цемента. Стесненная усадка является явлением, вызванным отрицательным давлением в результате самовысыхания в процессе гидратации цемента, происходящая в замкнутых ограниченных условиях. Данная усадка отражается на поведении бетона таким образом, что по мере испарения воды, потери ее из межкристаллических пространств, происходит уменьшение объема цементного камня во всех слоях бетона. Когда данные напряжения, развивающиеся в бетоне, превышают прочностные показатели, происходит трещинообразование в бетонных конструкциях.

© Е. С. Лобода, С. В. Лахтарина, 2016

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Известно, что в бетонах с низким значением водоцементного отношения в процессе интенсивной гидратации цемента и пуццоланических реакций быстро формируется сеть микрокапилляров. В более крупных капиллярах в результате обезвоживания появляются мениски, имеющие большой радиус кривизны, что обуславливает высокие сжимающие напряжения на стенки пор. Таким образом, дефицит влаги в поровом пространстве твердеющей цементной пасты приводит к развитию усадочных деформаций. При этом в этот период твердеющая система имеет, как правило, минимальное значение величины предела прочности при растяжении, что может привести к образованию микротрещин.

Согласно [3] существует несколько способов предотвращения усадки, в том числе использование расширяющихся и безусадочных цемента, расширяющихся компонентов и добавок, которые снижают усадку. Технология бетона с компенсированной усадкой основана на использовании специальных компонентов, таких как сульфаталюминат кальция или оксид кальция, которые реагирует с водой с эффектом ограниченного расширения в армированных бетонных конструкциях.

Научной школой Mario Collepardi [7, 4, 9] был выявлен синергетический эффект при комбинированном использовании добавки на основе полипропиленгликоля и расширяющегося компонента на основе оксида кальция, на снижение величины усадки даже при отсутствии влажностного ухода.

Целью данной работы является установление закономерностей влияния комплекса модификаторов на показатели стесненной усадки высококачественных бетонов.

Характеристика методов исследования и исходных материалов

Для количественной оценки стесненной усадки бетона использована методика «ring test», согласно ASTM C1581-04 *Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage*. Оборудование для проведения испытаний бетона в стесненных условиях, представляет собой: кольцо внешнее – наружный диаметр 300 мм, толщина 20 мм, внутренний диаметр 280 мм и кольцо внутреннее – наружный диаметр 180 мм, толщина 20 мм, внутренний диаметр 160 мм. В полость между кольцами заливается бетонная смесь толщиной в 100 мм, и во внутреннем кольце устанавливаются тензометрические датчики, которые во время испытания будут регистрировать действие бетонной смеси на внутреннее кольцо, сжатие (рис. 1).

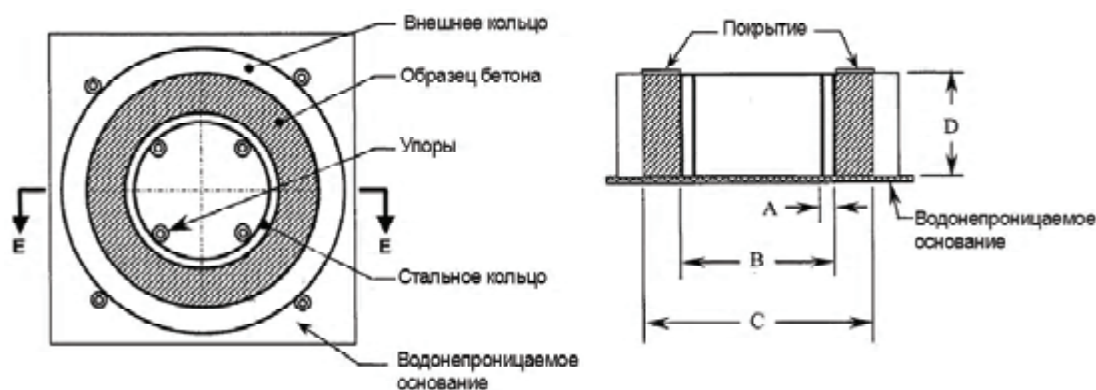


Рисунок 1 – Метод исследования стесненной усадки бетон «ring test».

Бетон подвергается влажностному уходу с использованием влажных опилок, покрытых полиэтиленовой плёнкой. Внешнее кольцо удаляется через 24 ч, верхняя поверхность бетонного кольца парафинируется, чтобы обеспечить высушивание только в радиальном направлении. Регистрация деформаций осуществлялась модулем ввода-вывода «ОВЕН МВ-110-224.4ТД».

Данный метод позволяет определить вероятность трещинообразования в высококачественном бетоне в зависимости от времени появления трещины и уровня напряжения трещинообразования, который снимается с датчиков [4].

При проведении экспериментальных исследований использовались следующие материалы:

- вяжущее вещество: портландцемент Амвросиевского цементного комбината (АЦК) марки ПЦ I-500-Н;
- ультрадисперсная активная минеральная добавка: микрокремнезем Стахановского завода ферросплавов (МК);

- заполнители: щебень (Щ) гранитный фракции 5...10 мм Караньского карьера; песок кварцевый Краснополянского месторождения ($M_k = 2,6$);
- суперпластификатор на основе модифицированного карбоксилатного эфира Melflux 6681F;
- расширяющийся компонент: порошковая неорганическая добавка Expancrete (Mapei);
- добавка, снижающая усадку, на основе полипропиленгликоля Маресуре SRA 25 (Mapei).

Свойства модифицированных высококачественных бетонов исследовали на образцах различного состава (табл. 1).

Таблица 1 – Состав и свойства бетонных смесей

№	Название материала/свойство	Расход, кг(л)/м ³		
		Состав 1	Состав 2	Состав 3
1	Портландцемент ПЦ I–500–Н	500	500	500
2	Микрокремнезем	150	150	150
3	Песок кварцевый, $M_k=2,6$	610	610	610
4	Щебень гранитный фракции 5–10 мм	675	675	675
5	Вода, л	155	155	155
6	Суперпластификатор Melflux 6681F, кг	3,75	3,75	3,75
7	Неорганическая добавка Expancrete, кг	–	60	60
8	Добавка, снижающая усадку (Shrinkage Reducing Admixture) Маресуре SRA 25, л	–	–	37,9
Фактическая средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³		2 207	2 210	2 223
Подвижность бетонной смеси – осадка конуса, см		24	24	21
Водоцементное отношение		0,31	0,31	0,31

Влияние добавок на усадочные деформации бетона может быть проиллюстрировано данными, приведенными в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2 – Усадочные деформации бетона

Сутки	Значение усадки, $\epsilon \cdot 10^{-3}$		
	Состав 1	Состав 2	Состав 3
1	–0,0742	–0,0421	–0,0377
2	–0,0473	–0,0402	–0,0378
	–0,0458	–0,0407	–0,0380
3	–0,0436	–0,0409	–0,0387
	–0,0422	–0,0411	–0,0385
4	–0,0385	–0,0413	–0,0388
	–0,0407	–0,0416	–0,0387
5	–0,0451	–0,0419	–0,0398
6	–0,0465	–0,0421	–0,0401
7	–0,056	–0,0426	0,0403

Начальное расширение у всех бетонов наблюдается на первые и вторые сутки твердения. В исследуемый образец состава 1 вводится суперпластификатор на основе модифицированного поликарбонатного эфира Melflux 6681F- данная добавка основана на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффектов. Диспергирование частиц цемента происходит в начале гидратации, при этом имеет место хемосорбция молекул пластификатора на поверхности частиц цемента, особенно при повышенном содержании в составе цемента, минерала С3А.

Расширяющая добавка Expancrete позволяет эффективно снизить усадочные деформации, наблюдаемые в бетонном образце. Expancrete в смесь вводят вместе с другими составляющими (цемент, заполнители, вода). Время перемешивания для бетона, содержащего данную добавку, такое же, как для обычного бетона и раствора [8].

Введение данной добавки в бетонную смесь (в количестве 8 % по массе цемента) вызывает расширение цементного камня, увеличение объема твердой фазы, образующейся при гидратации цемента. Влияние комбинированного действия расширяющего компонента на основе оксида кальция – Expancrete (Mapei), уменьшает стесненную усадку и показывает, что компоненты сдерживают остаточные напряжения в раннем возрасте твердения и уменьшают усадку. Но данный синергетический

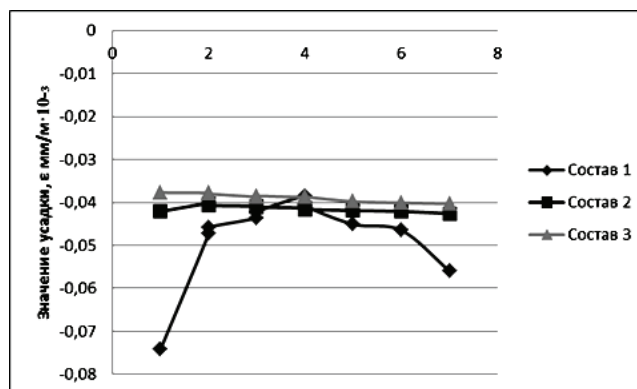


Рисунок 2 – Результаты усадочных деформаций в образцах.

эффект показывает присутствие усадочных напряжений при гидратации цемента в раннем возрасте, которые происходят при недостатке влаги.

Маресиге SRA 25 – расширяющая добавка, снижающая поверхностное напряжения воды, которая содержится в капиллярных порах, и, как следствие, снижается воздействие на стенки пор, обеспечивает прочность поверхности и повышает трещиностойкость материала.

Маресиге SRA используется вместе с Экспанcrete для компенсации усадки, что позволяет бетону расширяться даже при твердении в первые дни без внутреннего и внешнего влажностных уходов [6]. Совместное использование Маресиге SRA и Экспанcrete усиливает эффективность каждого продукта (так называемый синергетический эффект), что исключает частично или полностью усадку. Снижается риск быстрого испарения влаги, обусловленный климатическими условиями твердения.

ВЫВОДЫ

Для предотвращения стесненной усадки высококачественных бетонов используется комплекс модификаторов, в частности: суперпластификатор с высоким водоредуцирующим эффектом; расширяющийся компонент на основе оксидов кальция; расширяющая добавка, снижающая поверхностное напряжения воды. Данный комплекс усиливает синергетический эффект каждого продукта, что исключает частично или полностью усадку. Снижается риск быстрого испарения влаги, обусловленный климатическими условиями твердения. Для количественной оценки стесненной усадки бетона использована методика «ring test», согласно ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Influence of the Superplasticizer Type on the Compressive Strength of Reactive Powder Concrete for Precast Structures [Текст] / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, P. Zaffaroni // Atti del 16° Congresso Internazionale BIBM'99. – Venice (Italy) : Maggio, 1999. – P. 25–30.
2. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст] : [науч. изд.] / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
3. Collepardi, M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC [Текст] / M. Collepardi // Workshop on New Technologies and Materials in Civil Engineering, 2003 : Proc. – Milan (Italy) : [S. n.]. – P. 1–8.
4. Collepardi, M. Recent Developments in Superplasticizers [Текст] / M. Collepardi, M. Valente // the 8th International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2006 : Proc. / editor V. M. Malhotra. – Sorrento (Italy) : [S. n.], 2006. – P. 1–14.
5. Mechanism of Actions of Different Superplasticizers for High-Performance Concrete [Текст] / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi // High-Performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures: Atti del Second CANMET/ACI International Conf., 1999 : Proc. – Gramado (Brazil) : [S. n.], 1999. – P. 503–523.
6. Holland, T. C. High-Performance Concrete: As High as It Gets [Текст] / T. C. Holland // The Concrete Producer. – 1998. – Vol. 16, No. 7, July. – P. 501–505.
7. Bentz, D. P. Internal Curing and Microstructure of High-Performance Mortars [Текст] / D. P. Bentz, P. E. Stutzman // Internal Curing of High-Performance Concretes: Laboratory and Field Experiences, SP-256 / D. Bentz and B. Mohr, eds. – Farmington Hills : American Concrete Institute, MI, 2008. – P. 81–90.

8. Bentz, D. P. Reducing Early-Age Cracking in Concrete Today [Текст] / D. P. Bentz, P. Lura, W. J. Weiss // Concrete Plant International. – 2008. – V. 3. – P. 56–62.
9. Weiss, J. Shrinkage Cracking in Restrained Concrete Slabs: Test Methods, Material Compositions, Shrinkage Reducing Admixtures, and Theoretical Modeling [Текст] : MS thesis / J. Weiss ; Northwestern University. – Evanston, IL, 1997. – 138 p.
10. Kovler, K. Restrained Shrinkage Tests of Fibre-Reinforced Concrete Ring Specimens: Effect of Core Thermal Expansion [Текст] / K. Kovler, J. Sikuler, A. Bentur // Materials and Structures. – 1993. – V. 26, No. 4. – P. 231–237.

Получено 18.03.2016

К. С. ЛОБОДА, С. В. ЛАХТАРИНА
ВПЛИВ ДОБАВОК НА СТИСНЕНУ УСАДКУ ВИСОКОЯКІСНИХ БЕТОНІВ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Для запобігання обмеженої усадки високоякісних бетонів використовується комплекс модифікаторів, зокрема: суперпластифікатор з високим водоредукуючим ефектом; розширювальний компонент на основі оксидів кальцію; розширювальна добавка, яка знижує поверхнєве напруження води. Даний комплекс підсилює ефективність кожного продукту (так званий синергетичний ефект), що виключає частково або повністю усадку. Знижується ризик швидкого випаровування вологи, обумовлений кліматичними умовами твердіння. Для кількісної оцінки обмеженої усадки бетону використана методика «ring test», згідно ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage.

високоякісний бетон, обмежена усадка, розширююча добавка, модифікатор.

KATERYNA LOBODA, SERHII LAKHTARYNA
EFFECT OF ADMIXTURES ON THE RESTRAINED SHRINKAGE OF HIGH-QUALITY CONCRETE
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

To prevent restrained shrinkage of high-quality concrete we use complex modifiers, such as: high water-reducing superplasticizer; expanding component of calcium oxide; expanding agent that reduces the surface tension of water. This complex increases the effectiveness of each product (the so-called synergistic effect), which partially or completely eliminates shrinkage. It reduces the risk of rapid evaporation of moisture due to climatic conditions hardening. To quantify restrained shrinkage technique we used «ring test», according to ASTM C1581-04 Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage.

high-quality concrete, restrained shrinkage, modifier, restrained admixtures

Лобода Катерина Сергіївна – асистент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоякісні бетони з компенсованою усадкою.

Лахтарина Сергій Вікторович – асистент кафедри технологій будівельних конструкцій, виробів і матеріалів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: високоміцні легкі бетони.

Лобода Екатерина Сергеевна – ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высококачественные бетоны с компенсированной усадкой.

Лахтарина Сергей Викторович – ассистент кафедры технологий строительных конструкций, изделий и материалов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: высокопрочные легкие бетоны.

Loboda Kateryna – assistant, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-quality concrete with restrained shrinkage.

Lakhtaryna Serhii – assistant, Technology of Building Constructions, Products and Materials Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: high-strength light weight aggregate concretes.