

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ВОЗДУХОВОВЛЕКАЮЩИХ ДОБАВОК НА УСАДКУ И СВОЙСТВА ДОРОЖНЫХ БЕТОНОВ**

**Сопов В.П., д.т.н., проф., Толмачев Д.С., м.н.с.**

*Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры*

В последнее время для обеспечения заданных свойств бетонов широко применяют комплексные органо-минеральные добавки [1-3], позволяющие в широком диапазоне регулировать технологические и эксплуатационные свойства. Однако, влияние такого комплекса на усадку и трещинообразование в бетонах, особенно на ранних стадиях твердения, не находит единого толкования. Кроме этого, в бетонах транспортного назначения широко применяют воздухововлекающие добавки, что еще более усложняет задачу единой трактовки получаемых результатов исследований. Поэтому актуальным является установление характера влияния такого комплекса добавок на усадку и трещинообразование в бетонах с возможностью управления их развитием.

Оценивая влияние минеральных добавок на долговечность бетона, В.С. Дорофеев и В.Н. Выровой установили, что при расходах цемента от 300 до 400 кг/м<sup>3</sup> степень влияния снижается с уменьшением расхода цемента [4]. Был установлен критический расход вяжущего – 325 кг/м<sup>3</sup>, при котором действие знакопеременных морозных нагрузок в максимальной степени разрушает бетон и ведет к появлению в нем трещин.

Ю.М.Баженов [5] отмечает, что минеральные добавки типа метакалина или микрокремнезема не влияют на величину контракции, но могут влиять на величину воздушной усадки, поскольку объем, занимаемый ими, при гидратации цемента не изменяется, как не меняется объем адсорбированной ими воды.

По мнению Р. Лермита дополнительный воздух вовлекается частицами песка крупностью 0,2÷1 мм в растворной части бетона [6]. При уменьшении крупности частиц песка менее 0,3 мм или увеличении расхода цемента количество вовлеченного воздуха снижается. Поэтому необходимо ограничивать содержание мелких частиц песка и расход цемента. Авторы [7], основываясь на результатах исследования песков Украины крупностью менее 0,315 мм, считают, что мелкие частицы песка также вовлекают воздух, с образованием сферических микропор меньшего диаметра. Воздухововлечение, в этом случае, не только бла-

гоприятно сказывается на морозостойкости бетона, но и способствует росту прочности и снижению риска трещинообразования по сравнению с бетонами на крупных песках.

По А.М. Шейнину и С.В. Эккелю [8] главным требованием к дорожным и аэродромным бетонам является повышение прочности бетона на растяжение при изгибе (класс не ниже  $B_{тб}$  4,8, марка не ниже  $R_{тб}$  60). Этот же принцип лежит в основе повышения трещиностойкости и выносливости бетона. По их мнению, введение дополнительного количества воздуха кроме морозостойкости позволит повысить также деформативность и трещиностойкость таких бетонов. Применение же микрокремнезема в таких бетонах приводит к снижению морозостойкости.

И.Н. Дударь считает, что повышение прочности бетонов на сжатие неминуемо приведет к снижению их трещиностойкости [9]. Для противодействия этому в высокопрочные бетоны необходимо вводить фибру и микронаполнители.

Согласно модели формирования и развития усадочной трещины, предложенной В.Н. Выровым [10], возникшая на участке растягивающих напряжений трещина развивается в сторону наибольших усадочных деформаций (рис. 1).

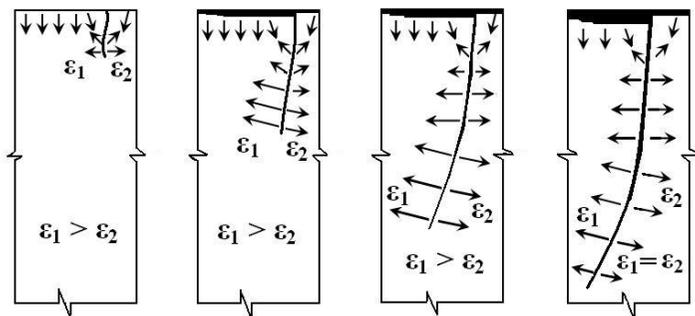


Рис. 1 Кинетика развития трещин в композиционных материалах, претерпевающих усадку (по В.Н. Выровому) [10]

При этом развивающаяся трещина делит образец на участки с равными по величине деформациями и напряжениями. В твердеющем бетоне при росте трещины происходит ее видоизменение из-за продолжающегося твердения. И в случае, если скорость роста количества продуктов гидратации будет выше скорости развития трещины, то возникает вероятность формирования новообразований внутри трещины, что создает предпосылки для ее «самозалечивания».

С учетом роста объема трещины (рис. 2) в нее могут попадать не только новообразования цемента, но и микрочастицы минеральных добавок.

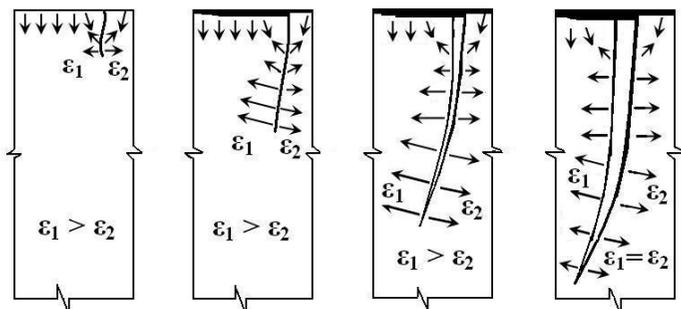


Рис. 2 Кинетика развития трещин с учетом занимаемого ими объема

В случае, если в бетонную смесь кроме минеральных добавок вводят и воздухововлекающие, то микропузырьки вовлеченного воздуха будут играть двойную роль (рис. 3). Во-первых, также как и при трещинообразовании, вызванном коррозионным или морозно-солевым воздействием, рост трещины будет остановлен вследствие релаксации напряжений при достижении ею воздушного пузырька (рис. 3 а).

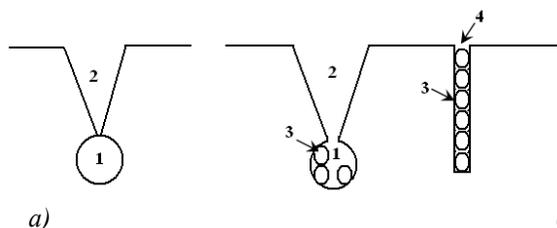


Рис. 3 Модели релаксирующей роли пузырька дополнительно вовлеченного воздуха (а) и заполнения трещин продуктами гидратации и частицами минеральных добавок (б): 1 – пузырек вовлеченного воздуха (пора); 2 – трещина; 3 – новообразования и частицы минеральных добавок; 4- капилляры.

Во-вторых, после раскрытия пузырька свободное пространство будет заполняться не только новообразованиями, но и микрочастицами минеральных добавок (рис. 3 б). Механизм заполнения пустот таков же, как и при заполнении капилляров. Изображенная нами модель достаточно достоверно объясняет механизм «самозалечивания» трещин, а также уплотнения пор и капилляров в цементном камне.

В итоге такого уплотнения, которое наиболее эффективно на начальном этапе твердения, будет уменьшена опасность усадочного трещинообразования, что отразится на физико-механических свойствах бетона. Модель также позволяет объяснить снижение величины усадки за счет диссипации энергии роста микротрещин.

Влияние комплекса добавок на свойства бетона, как показано выше, трактуется неоднозначно. Для уточнения характера влияния минеральных и воздухововлекающих добавок на воздушную усадку были проведены исследования по оценке усадочных деформаций. Для исключения влияния контракции на усадку растворы состава Ц:П=1:3 изготавливали на песке с  $M_{кр}=1,1$  (Безлюдовского карьера Харьковской области). Водопотребность такого песка составила  $ВП=12\%$ , что позволило определить ориентировочный расход вяжущего на уровне не выше  $380...400 \text{ кг/м}^3$ . В этом случае основное влияние на развитие усадки оказывает ее воздушная составляющая. Цемент использовали Балаклейского цементного завода М400.

Проведенные исследования показали, что введение воздухововлекающих добавок оказывает положительное влияние на величину усадочных деформаций в растворе (рис. 4). При различном количестве таких добавок величина усадки снижается от 1,5 до 2,5 раз. Очевидно, что при практически полной идентичности характера кривых усадочных деформаций в растворах с добавками и без них, существенно различаются только значения усадки. Введение в растворную смесь воздухововлекающих добавок уменьшает величину воздушной усадки. Четко определена тенденция такого влияния. Введение 0,05 % воздухововлекающей добавки PV2 (фирма MC Bauchemie, Германия) приводит к уменьшению усадки на 22...31 % по сравнению с составом без добавок. Увеличение количества добавки PV2 до 0,1 % снижает величину усадки в 2,0...2,8 раза по сравнению с контрольным составом. Дальнейшее увеличение содержания PV2 ведет к незначительному росту усадки, величина которой не превышает усадку состава без добавки. Показано, что максимальный эффект обеспечен при расходе PV2 в количестве 0,1 % от массы цемента. Это можно объяснить тем, что на начальной стадии твердения, когда формирующаяся структура раствора имеет низкую прочность, при малых расходах PV2 (0,05 %) количества воздушных микропузырьков недостаточно чтобы эффективно противостоять развитию всех усадочных микротрещин.

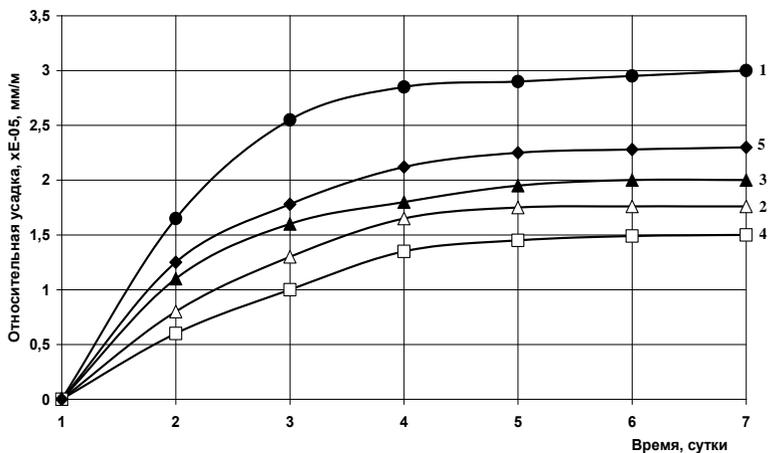


Рис. 4 Усадка растворов с добавками: 1) контроль; 2) 0,2 % PV2+4 % M13; 3) 0,2 % PV2; 4) 0,1 % PV2; 5) 0,05 % PV2

При перерасходе PV2 (0,2 %) наблюдается избыток дополнительно вовлеченного воздуха, что ведет к ослаблению структуры раствора, снижению прочности при растяжении и увеличению усадочного микротрещинообразования.

Введение в состав раствора комплекса минеральная + воздухововлекающая добавка привело к снижению величины усадки в 1,7...2,3 раза. В качестве минеральной добавки использовали тонкодисперсную добавку M13 (фирма «СТС» г. Харьков) с  $S_{уд}=700...820 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В наших исследованиях, проведенных ранее, было показано, что применение микронаполнителей в оптимальных количествах (например, метакаолина) позволяет уменьшить величину усадки мелкозернистых бетонов в 2,8 раза по сравнению с составом без них. В данном случае характер влияния комплекса на величину усадки аналогичен.

### Заклучение

Проведенные испытания физико-механических свойств показали, что прочность бетонов всех составов с добавками на 5...10 % выше, чем у контрольного состава, несмотря на то, что в них содержался дополнительный воздух. Более высокие значения морозостойкости в составах с добавками по сравнению с контрольным составом, обусловле-

ны не только наличием резервной пористости, но и отсутствием усадочных микротрещин.

### **Summary**

**The article discusses the impact of air-entraining and mineral additives on the shrinkage and physical-mechanical properties of cement concrete.**

### *Литература*

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Батраков. – М.: «Технопроект», 1998. – 768 с.
2. Каприелов С.С. Новые модифицированные бетоны / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян. – М.: «Навруз», 2010. – 258 с.
3. UsheroV-Marshak A. Influence of Organic-Mineral Admixtures on Early Hydration of Cements / A. UsheroV-Marshak, V. Sopov, S. KaprielloV, H. Kardumian // 16 Internationale Baustofftagung «Ibausil», Weimar. – 2006. – Band 1. – P. 0653 – 0659.
4. Дорофеев В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса: Місто майстрів, 1998. – 165 с.
5. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: изд-во Асс. строит. вузов. - 2003. – 500 с.
6. Лермит Р. Проблемы технологии бетона /Р. Лермит. – М.: изд-во ЛКИ. - 2007. – 296 с.
7. Грушко И.М. Влияние пылевидных фракций песка на поровую структуру бетона / И.М. Грушко, И.Г. Кондратьева, Ю.М. Мельник, С.Н. Толмачев, Н.М. Калиновская // Строительные материалы и конструкции. – 1989. – № 3. – С. 37 – 38.
8. Шейнин А.М. Высокопрочные бетоны для дорожного строительства / А.М. Шейнин, С.В. Эккель // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 3. – С. 31 – 34.
9. Дударь І.Н. Розробка складу високоміцних тонкозернистих реакційно-порошкових бетонів / І.Н. Дудар, С.О. Краєвський // Бетон и железобетон в Украине. – 2011. – № 3. – С. 7 – 9.
10. Выровой В.Н. Оптимизация безотходных и энергосберегающих технологий композиционных материалов / В.Н. Выровой, С.Я. Азарова, В.В. Абакумов. – Киев.: Изд-во общ-во «Знание». – 1982. – 24 с.