

УДК 666.972.162

А.А. ГУВАЛОВ¹, д-р техн. наук (abbas.quvalov@akkord.az), С.И. АББАСОВА¹, канд. хим. наук;
Т.В. КУЗНЕЦОВА², д-р техн. наук

¹ Азербайджанский архитектурно-строительный университет (AZ-1073, Баку, ул. Султанова, 5)

² РХТУ им. Д.И. Менделеева (125047, Москва, Миусская пл., 7)

Улучшение структуры высокопрочного бетона с применением модификаторов

Установлено, что применение комплексной добавки, состоящей из пластификатора и тонкомолотого минерального компонента (ОМД), позволяет получить высокопрочный самоуплотняющийся бетон. Показано, что частичная замена микрокремнезема эквивалентным расходом тонкомолотого наполнителя, в частности цеолита, обеспечивает снижение деформаций аутогенной усадки, при этом не происходит снижения прочностных характеристик бетона.

Ключевые слова: модификатор, высокопрочный бетон, аутогенная усадка, добавки.

A.A. GUVALOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (abbas.quvalov@akkord.az), S.I. ABBASOVA¹, Candidate of Sciences (Chemistry);

T.V. KUZNETSOVA², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ Azerbaijan University of Architecture and Construction (5, Sultanova Street, Baku, AZ-1073)

² D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (7, Miusskaya Square, 125047, Moscow, Russian Federation)

Improvement of High-Strength Concretes Structure Using Modifiers

It is established that the use of a complex additive consisting of a plasticizer and a fine mineral component (OMD) makes it possible to obtain high-strength self-compacting concrete. It is found that the partial substitution of micro-silica for the equivalent rate of a fine filler, zeolite in particular, reduces deformations of autogenous shrinkage without reducing the strength characteristics of concrete.

Keywords: modifier, high-strength concrete, autogenous shrinkage, additives.

В производстве высокопрочных бетонов широкое применение нашли тонкодисперсные комплексные модификаторы. Тонкодисперсные минеральные добавки, такие как микрокремнезем (МК), в комплексе с суперпластификаторами произвели переворот в технологии получения высокопрочных бетонов марок 1000–1200. Но несмотря на все положительные характеристики МК, его стоимость может превышать стоимость самого цемента в несколько раз. Поэтому важен поиск многофункциональных минеральных добавок, которые в комплексе с суперпластификаторами позволяют повысить физико-механические свойства бетонов [1, 2]. В настоящих исследованиях расширена группа дисперсных наполнителей цемента природного происхождения и предложено использовать вулканические пеплы и цеолитсодержащие породы – трасс. Указанные породы в своем составе содержат вулканическое стекло, представляющее собой алюмосиликаты, которые взаимодействуют с продуктами гидролиза при твердении цемента. Породы измельчались до удельной поверхности $S_{уд} = 600 \text{ м}^2/\text{кг}$. Для сравнения использовался МК Челябинского металлургического комбината с удельной поверхностью $3500 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Высокопрочный бетон получали в результате модифицирования его комплексной органоминеральной добавкой (ОМД), состоящей из суперпластификатора (в качестве суперпластификаторов использовались нафтиноформальдегидный типа СП-1 и полиарилсульфонсульфонатный типа САС-2) и тонкомолотого минерального компонента (ТМК). Содержание ТМК принималось 12,5% от расхода цемента. Доля суперпластификатора СП-1 и САС-2 в комплексе ТМК соответственно составляла 1 и 2% от расхода цемента [3]. При применении суперпластификатора с целью повышения ранней суточной прочности бетона дополнительно с водой затворения в бетонную смесь вводился ускоритель твердения Na_2SO_4 в количестве 1%. Расход материалов на 1 м^3 бетонной смеси для контрольного состава был принят следующий: цемент – 600 кг, песок – 560 кг, отсев – 230 кг, щебень – 850 кг, вода – 200 л; для составов с ОМД: цемент – 540 кг, ОМД – 60 кг, песок – 560 кг, отсев – 230 кг, щебень – 850 кг, вода – 130 л.

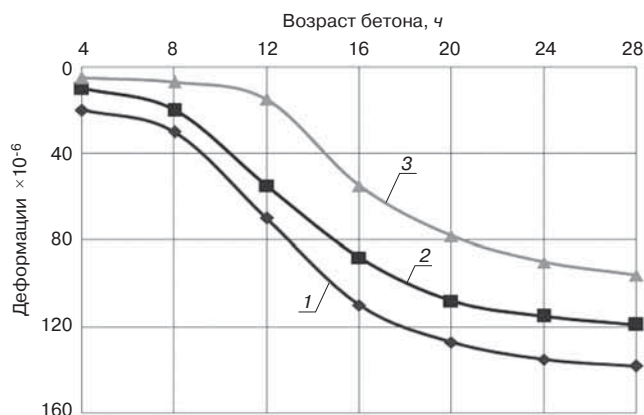
В исследованиях использовались подвижные бетонные смеси с осадкой стандартного конуса около 20 см. Образцы хранились в нормально-влажностных услови-

Таблица 1

Кинетика набора прочности бетона на дисперсных носителях

Состав	Вид и дозировка органоминерального модификатора бетона		В/Т	ОК, см	Прочность, МПа, в возрасте		
	Наполнитель как заменитель 10% цемента	Na_2SO_4			1 сут	3 сут	28 сут
1	Без наполнителя	–	0,37	20	28	42	55
2	Вулканический пепел	–	0,26	21	40	67	86
3	Трасс	–	0,27	20	38	60	79
4	Микрокремнезем	–	0,27	21	51	69	88
5	Вулканический пепел	1	0,29	22	50	66	79
6	Трасс	1	0,31	21	46	64	78
7*	Вулканический пепел	–	0,29	20	51	68	76
8*	Трасс	–	0,31	20	44	65	73

Примечание. * Составы с применением САС-3.



Изменение деформаций аутогенной усадки во времени: 1 – состав 1; 2 – состав 2; 3 – состав 3

ях при температуре 20°C. Выполненные исследования подтверждают высокую эффективность органоминеральных модификаторов для получения высокопрочных бетонов (табл. 1).

Введение суперпластификатора в комплексе с дисперсными наполнителями повышает как раннюю суточную прочность высокопрочного бетона, так и нормативную в возрасте 28 сут. В подвижных смесях это превышение на первые сутки составляет от 36 до 46%. Важно отметить, что бетоны, полученные с применением ОМД, имеют в 1,4–1,6 раза более высокую марочную прочность по сравнению с контрольным бетоном без ОМД. При комплексном введении ОМД с Na₂SO₄ суточная прочность повышается на 82%. Введение суперпластификатора САС-2 в комплексе с дисперсными наполнителями повышает как раннюю суточную прочность высокопрочного бетона, так и нормативную в возрасте 28 сут.

Изучена кинетика водопоглощения и характеристики пористости высокопрочного бетона с ОМД (табл. 2).

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что введение ОМД способствует снижению водопоглощения бетона в среднем на 20–30% по отношению к контрольному составу без добавок. Водопоглощение бетона контрольного состава без добавки составляет 4,82%, с добавками вулканического пепла и трасса – 4,63 и 3,65% соответственно. Минимальные результаты

по водопоглощению ($W=3,24$) зафиксированы для бетона, модифицированного микрокремнеземом.

Высокопрочные самоуплотняющиеся бетоны отличаются очень низким водоцементным отношением смесей (как правило, меньше 0,3), повышенным расходом цемента, наличием пуццолановых добавок и суперпластификаторов [4, 5]. Эти бетоны содержат недостаточное количество воды затворения, для того чтобы обеспечить заполнение крупных капилляров, необходимых для поддержания реакций гидратации и пуццолановой реакции. В процессе гидратации цемента при отсутствии доступа внешней влаги (активный период твердения бетона) в тонких капиллярах возникают мениски, обезвоживание которых создает большие внутренние напряжения – развивается аутогенная усадка. В высокопрочном бетоне аутогенная усадка по абсолютной величине приближается к влажностной усадке обычного бетона и может привести к более существенному трещинообразованию, так как развивается значительно быстрее и происходит в бетоне, когда цементный камень имеет еще низкую прочность и модуль упругости. Трещинообразование, в свою очередь, приводит к снижению прочности и долговечности бетона; потерям предварительного напряжения арматуры; ухудшению внешнего вида конструкций. Для предотвращения развития аутогенной усадки, а также усадки при высушивании высокопрочного бетона с низким значением В/Ц возможна частичная замена крупного заполнителя эквивалентным объемом предварительно водонасыщенного пористого заполнителя или полимерных добавок с высокой водоадсорбирующей способностью (Superabsorbent polymers SAP), что создает водные резервуары в бетоне [6].

Для изучения аутогенной усадки в исследованиях использовались самоуплотняющиеся бетонные смеси с применением ОМД (рисунок, табл. 3) Составы 1 и 2 были получены с применением микрокремнезема, а составы 3 и 4 – заменой части (50%) микрокремнезема в составе 1 эквивалентным количеством тонкомолотого трасса (состав 3) и вулканического пепла (состав 4). Приготовленные бетонные смеси составов были уложены в форму для измерений аутогенной усадки. Измерение деформаций аутогенной усадки осуществляли в течение 28 сут, затем образцы расформовывали, на их торцы наклеивали стальные реперы и в дальнейшем производили измерения деформаций усадки бетона,

Таблица 2

Кинетика водопоглощения и показатели пористости бетона

Вид дисперсного наполнителя	Водопоглощение, %					Показатели пористости	
	15 мин	30 мин	60 мин	24 ч	14 сут	однородности размеров пор, α	среднего размера пор, λ
Без наполнителя	2,47	3,17	3,85	4,63	4,82	0,39	4,49
Вулканический пепел	1,72	2,41	2,77	4,41	4,63	0,49	1
Трасс	1,38	1,87	2,19	3,45	3,65	0,51	1
Микрокремнезем	1,27	1,44	1,71	3,12	3,24	0,3	0,48

Таблица 3

Свойства самоуплотняющегося высокопрочного бетона

Составы	Водоцементное отношение	Расплыв конуса, мм	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³	Суммарная усадка за 90 сут (ε × 10 ⁻⁶)
1	0,29	650	2428	525
2	0,32	680	2420	498
3	0,33	650	2428	435
4	0,31	650	2428	569

вызванные испарением из них влаги (влажностная усадка). При этом образцы хранились в эксикаторе над порошком хлористого кальция.

Установлено, что аутогенная усадка бетонов состава 1, 2, характеризующихся значениями водоцементного отношения соответственно 0,29 и 0,32 начинает проявляться достаточно интенсивно через 10–11 ч с момента формирования (рисунк). Наиболее интенсивно она развивается в бетоне с наименьшим значением В/Ц=0,29 и к 28 ч твердения достигает значения $\epsilon = 138 \times 10^{-6}$. Это связано с высоким расходом портландцемента, наличием высокодисперсного микрокремнезема и низким содержанием воды затворения, которая интенсивно связывается цементом в процессе гидратации, обезвоживая тонкие капилляры.

По мере увеличения значения В/Ц деформации аутогенной усадки снижаются: при В/Ц = 0,32 – на 15%. Как отмечено выше, снизить скорость и абсолютную величину усадки можно путем использования наполнителей, позволяющих удерживать воду в межплоскостных капиллярах. При этом снижение аутогенной усадки составляет 30,4%.

Установлено, что суммарная величина деформаций бетона состава 1 в возрасте 90 сут твердения достигает значения $\epsilon = 525 \times 10^{-6}$, при этом на аутогенную усадку приходится величина $\epsilon = 320 \times 10^{-6}$. При замене части микрокремнезема трассом наблюдается резкое снижение величины аутогенной усадки, которая составляет $\epsilon = 105 \times 10^{-6}$. В то же время в процессе дальнейшего высушивания достаточно интенсивно развиваются деформации, вызванные влажностной усадкой. Суммарные деформации усадки состава 3 достигают величины $\epsilon = 435 \times 10^{-6}$, однако доля деформаций от аутогенной усадки составляет лишь 24,1%. Положительное влияние на снижение деформаций аутогенной усадки оказывает и частичная замена микрокремнезема вулканическим пеплом (состав 4).

Установлено, что частичная замена микрокремнезема эквивалентным расходом тонкомолотого наполнителя, в частности цеолита, обеспечивает снижение деформаций аутогенной усадки, при этом не происходит снижения прочностных характеристик бетона. Такая технология может обеспечивать получение малодефектных, надежных и долговечных строительных конструкций из бетона и железобетона.

Список литературы

1. Гувалов А.А. Влияние органоминеральных модификаторов на прочность бетона // *VI Международная конференция «Прочность и разрушение материалов и конструкций»*. Оренбург, 2010. С. 221–225.
2. Гувалов А.А., Кузнецова Т.В. Влияние модификатора на свойства цементных суспензий // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 86–88.
3. Guvalov A.A. Impact of poliarilsulphonosulphonic Superplasticizer on hidration and hardening of cements SCIENCE WITHOUT BORDTERS // *Transactions of the International Academy of Science H&E. Volume 3 2007\2008*. Innsburk-2009, pp. 605–610.
4. Гувалов А.А. Самоуплотняющиеся высокопрочные бетоны в технологии монолитного домостроения // *Сборник научных трудов МГСУ, по материалам Международной научно-технической конференции «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях»*. М.: МГСУ, 2011. С. 150–152.
5. Mounanga P., Bouasker M., Pertue A., Perronnet A., Khelidj A. Early-age autogenous and micro/macro investigations // *Materials and Structures*, 2011, v. 44, No. 4, pp. 749–772.

6. Nnadi F., Brave C. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands // *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2011, No. 2, pp. 206–211.

References

1. Guvalov A.A. Influence the organomineralnykh of modifiers on concrete durability. *The VI International conference “Durability and Destruction of Materials and Designs”*. Orenburg, 2010, pp. 221–225. (In Russian).
2. Guvalov A.A., Kuznetsova T.V. Influence of the modifier on properties of cement suspensions. *Stroitel'nye materialy [Construction materials]*. 2013. No. 8, pp. 86–88. (In Russian).
3. Guvalov A.A. Impact of poliarilsulphonosulphonic Superplasticizer on hidration and hardening of cements SCIENCE WITHOUT BORDTERS. *Transactions of the International Academy of Science H&E. Volume 3 2007\2008*. Innsburk. 2009, pp. 605–610.
4. Guvalov A.A. The self-condensed high-strength concrete in technology of monolithic housing construction. *Collection of scientific works of MGSU, on materials of the International scientific and technical conference “Industrial and Civil Engineering in Modern Conditions”*. М.: МГСУ, 2011, pp. 150–152. (In Russian).
5. Mounanga P., Bouasker M., Pertue A., Perronnet A., Khelidj A. Early-age autogenous and micro/macro investigations. *Materials and Structures*, 2011, v. 44, No. 4, pp. 749–772.
6. Nnadi F., Brave C. Environmentally friendly superabsorbent polymers for water conservation in agricultural lands. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2011, No. 2, pp. 206–211.

НОВОСТИ

На заводе «Техприбор» разработали новую технологию гранулирования растительных отходов



Технология предназначена для гранулирования древесных опилок, стружки, предварительно измельченной соломы, травы, и других видов органического сырья с влажностью до 30% в автоматическом режиме. В рамках данной технологии сушка влажного сырья происходит без сжигания топлива за счет кинетического удаления влаги на основе эффекта температурного разделения воздушного потока с частичной рециркуляцией его нагретой части (аналогичного эффекту Ранка-Хильша). Вся необходимая подготовка растительного сырья перед гранулированием, включая сушку, измельчение, кондиционирование, происходит в одном компактном агрегате – мельнице-нагревателе «С.А.М.П.О 2012».

Для реализации новой технологии заводом «Техприбор» разработана и запущена в производство автоматическая линия гранулирования под торговой маркой «СКАРАБЕЙ». Заявленная производительность линии составляет 300-400 кг/ч древесных топливных гранул стандарта «ENplus». На линию «СКАРАБЕЙ» уже получена декларация соответствия Технического регламента Таможенного союза – ЕАС. Старт продаж запланирован на начало 2016 г.

По материалам завода «Техприбор»