

жании в бетонной смеси, составляющем 0,6...1,5 % от массы цемента, предел прочности бетона при сжатии увеличивается в среднем на 18...22 % при одновременном снижении расхода цемента на 10...12 % и увеличении подвижности бетонной смеси в два-три раза.

Продолжительность тепловой обработки бетона уменьшается на 10...30 %. При дозах добавки, составляющих 1...1,5 % от массы цемента, морозостойкость бетона повышается более чем в 3 раза, а его марка по водонепроницаемости — на две-три ступени. Суперпластификатор позволяет получать высокопрочные бетоны (марки 600 и выше) из обычных материалов при традиционной технологии формирования конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. К а л м ы к о в Л.Ф., Ш в е д о в А.П., Л у к а ш е в и ч В.И. Добавка для бетонных смесей — суперпластификатор С-НПИ // Технология бетона и композиционных материалов. — Мн., 1983. — С. 102–107.
2. И в а н о в Ф.М., Б а т р а к о в В.Г., Л а г о й д а А.В. Основные направления применения химических добавок к бетону // Бетон и железобетон. — 1981. — № 9. — С. 3–4.

УДК 666.972:69.025

И.Н. АХВЕРДОВ, Э.И. БАТЯНОВСКИЙ

ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА СУХОГО ФОРМОВАНИЯ С ДОБАВКАМИ

Применение химических веществ, ускоряющих твердение бетона, позволяет уменьшить длительность индукционного периода формирования структуры цементного геля, интенсифицировать процесс превращения его в цементный камень и тем самым снизить энергоемкость производства бетонных и железобетонных изделий. При этом эффективность добавки — ускорителя твердения бетона — возрастает по мере снижения начального водосодержания в смеси и увеличения дозировки добавки [1]. Следует ожидать, что в бетоне сухого формирования с В/Ц = 0,26...0,28 и структурной прочностью свежеприготовленных образцов порядка 1,5...1,8 МПа процесс упрочнения под воздействием добавки будет развиваться особенно интенсивно.

При практической проверке указанного положения использовали портландцемент Волковьского завода с $R_{ц} = 36,5$ МПа, $K_{н.г} = 0,27$ и плотностью $\rho_{ц} = 3100$ кг/м³; щебень гранитный крупностью 5...20 мм с пределом прочности 80 МПа; песок природный (заславский) стандартного фракционного состава. Сухую бетонную смесь (цемента — 360 кг, щебня — 1250 кг, песка — 810 кг на 1 м³ смеси) уплотняли в формах размером 10×10×10 см в течение 60 с вибрированием (частота колебаний — 50 Гц, амплитуда — 0,5 мм) при нагрузке в 0,015...0,025 МПа, затем насыщали водой или раствором добавки под давлением 0,3 МПа и снова уплотняли в течение 60 с при тех же параметрах процесса вибрирования. Сначала (24 ч) образцы твердели на воздухе при температуре 20 °С в формах под влагоизолирующей пленкой, а затем в нормально-влажных условиях в ванне. В качестве ускорителей твердения бетона

использовали хлористый кальций (CaCl_2), сульфат натрия (Na_2SO_4) и нитрит-нитрат-хлорид кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{CaCl}_2$), или ННХК. Выбор этих добавок обусловлен их стабильной эффективностью, а также низкой стоимостью и недефицитностью.

Прочность бетона неоднозначно зависит от содержания в нем добавки (рис. 1, а) и продолжительности твердения (рис. 1, б). Наиболее значительно она возрастает в первые сутки, при содержании добавки 5 % предел прочности бетона более чем на 50 % превышает предел прочности бетона без добавки.

Однако уже в возрасте трех суток прочность бетона с 5 % CaCl_2 и ННХК ниже, чем при расходе добавок 3 %, а с точки зрения прочности бетона 28-суточного твердения оптимальный расход CaCl_2 и ННХК составляет 1 %. При использовании в качестве ускорителя твердения сульфата натрия эта тенденция сохраняется, но максимальный прирост прочности бетона в возрасте 28 сут соответствует расходу добавки 1,5...2 %. Снижение прочности бетона с повышенным содержанием добавки можно объяснить следующим.

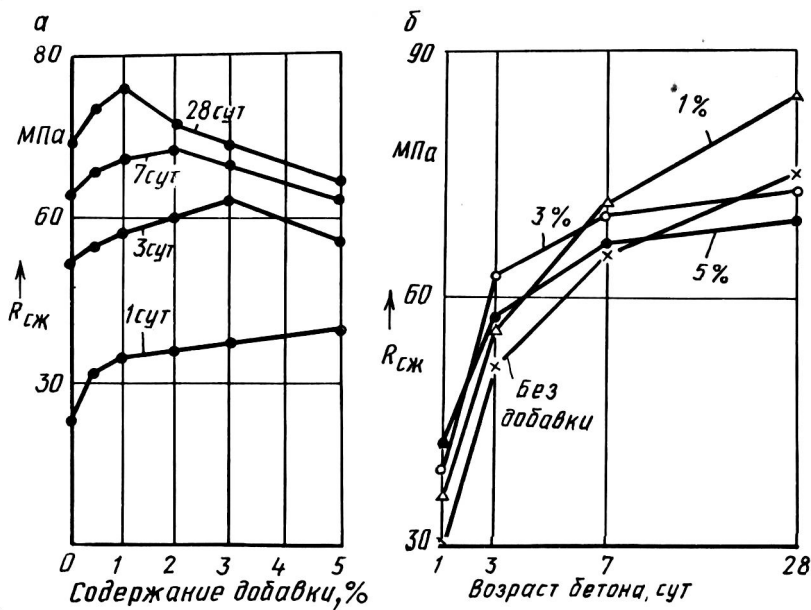


Рис. 1. Изменение прочности бетона в зависимости от содержания в нем CaCl_2

Введение в бетонную смесь добавок-электролитов обуславливает сжатие диффузионного слоя жидкости, чем способствует проявлению сил притяжения между сольватированными частицами цемента. Повышается ионная сила раствора, ускоряется связывание алюминатной составляющей клинкера, вовлекаются в реакцию с жидкостью новые частицы цемента за счет дезагрегации цементных флюкул. Система уплотняется и упрочняется в результате образования новых фаз — продуктов взаимодействия добавки с частицами гидратиро-

ванных клинкерных минералов [2, 3]. В бетоне сухого формирования весь этот комплекс физико-химических процессов, лежащих в основе превращения цементного геля в цементный камень, имеет место при весьма ограниченном содержании жидкой фазы в бетоне. Например, бетонная смесь, в которую вместе с водой затворения ввели добавку (5 % от массы цемента при расходе цемента на 1 м^3 смеси 360 кг), после повторного виброуплотнения имеет $B/C = 0,22 \dots 0,23$. В начальной стадии ее твердения это способствует ускорению перенасыщения раствора продуктами гидролиза минералов цемента, формированию кристаллогидратов и упрочнению связей между ними, в результате чего и возрастает прочность бетона (рис. 2).

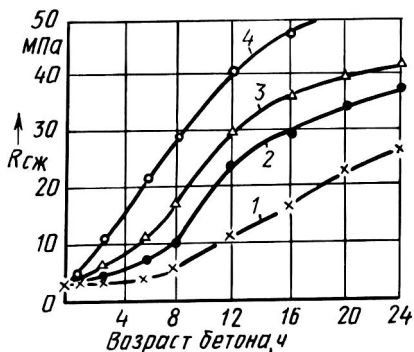


Рис. 2. Предел прочности на сжатие бетона с содержанием CaCl_2 , равным 1, %, в зависимости от условий твердения

С развитием процесса гидратации происходит перераспределение жидкости в системе в пользу частиц новообразований, обладающих более высоким потенциалом в силу их дисперсности. С миграцией части воды из системы кристаллогидратной структуры относительное расположение частиц твердой фазы изменяется незначительно, поскольку они вступают в контакт между собой. Поэтому дальнейшее перераспределение жидкости в системе сопровождается образованием множества мельчайших "вакансий" — полостей в межплоскостных пространствах кристаллов, не заполненных модифицированной жидкостью, связывающей систему кристаллов в единое целое [2, 4]. Возникают дефекты микроструктуры цементного камня, которые являются концентраторами напряжений в бетоне от внешней нагрузки, и чем их больше, тем ниже прочность бетона.

При ограниченном содержании жидкости в бетоне сухого формирования концентрация ионов добавки (ускорителя твердения) в ней значительно выше, чем в обычных смесях, при одном и том же расходе ускорителя твердения в долях от массы цемента. Поэтому при содержании добавки в смеси, превышающем 1 %, не происходит полное связывание добавки в индукционный период. Последующее взаимодействие ее с продуктами гидратации клинкерных минералов имеет место в системе кристаллогидратной структуры пониженных вязкости и пластичности и не только не содействует уплотнению системы, как на ранней стадии твердения бетона, но и вызывает снижение его прочности. Так, прочность бетона, содержащего хлористый кальций (1 %), в 28-суточном возрасте возросла по сравнению с прочностью бетона без добавки на 10,6 %, при 2 % CaCl_2 — только на 3,8 %, а с увеличением дозы добавки до 3

и 5 % снизилась соответственно на 2 и 7,7 %. Таким образом, разница в прочности бетона с увеличением дозы добавки от 1 до 5 % составляет почти 20 %.

Наличие электролита в бетоне начинает сказываться на его прочности через 3 ч твердения в естественных условиях и на еще более ранней стадии твердения бетона из сухой разогретой смеси в термосных условиях (см. рис. 2). Характерный для "холодного" бетона без добавок индукционный период формирования структуры цементного геля (кривая 1) уменьшается в смесях с ускорителями твердения (кривая 2) и при воздействии теплоты (кривая 3), а при создании термосных условий твердения сводится к минимуму (кривая 4). В результате значительно ускоряется темп роста прочности бетона. Например, $R_{сж} = 15...20$ МПа "холодный" бетон без добавки набирает через 16...18 ч твердения, а с ускорителем — через 10...12 ч; бетон из разогретой до 60 °С смеси (1 % CaCl₂) при твердении в помещении (20 °С) в формах, укрытых влагоизолирующей пленкой, эту же прочность приобрел за 8...9 ч, а твердевший в термосных условиях — за 4...6 ч.

Таким образом, применение ускорителей твердения и предварительного разогрева сухой бетонной смеси (разогрева заполнителей при сушке) позволяет отказаться от тепловой обработки изделий и заменить ее выдержкой их в естественных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. А х в е р д о в И.Н., Ш а л и м о М.А., Д о в н а р Н.И. О влиянии хлористого кальция на формирование структуры цементного камня и бетона // Докл. АН БССР. — 1975. — Т. 19, № 7. — С. 626—629.
2. А х в е р д о в И.Н. Основы физики бетона. — М., 1981. — 464 с.
3. Р а т и н о в Б.В., Р о з е н б е р г Т.И. Добавки в бетон. — М., 1973. — 196 с.
4. А х в е р д о в И.Н. О роли жидкой фазы в формировании структуры и физико-механических свойств цементного камня // Теплоперенос в процессах структурообразования и гидратации вяжущих веществ. — Мн., 1981. — С. 13—27.

УДК 666.972.16

Г.Ф. НОВИК

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ И ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ ЦЕНТРИФУГИРОВАННОГО БЕТОНА

Значительное место в производстве сборного железобетона занимают изделия (трубы), изготавливаемые методом центрифугирования. В процессе изготовления изделия на бетонную смесь во вращающейся форме действует давление, под влиянием которого частицы твердой фазы сближаются и из цементного теста отжимается свободная вода с тонкодисперсными частицами. Всплывание частиц (сравнительно малой массы) тонкомолотых минеральных добавок к цементу, образование пленок на внутренней поверхности трубы не являются опасными.

В процессе центрифугирования происходит перераспределение составляющих бетонной смеси: крупные зерна заполнителя отбрасываются к наружной