

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 693.547.32

В.В. МОЛОДИН, Д.А. ИВАНОВ

СЦЕПЛЕНИЕ ЗРЕЛОГО И ТВЕРДЕЮЩЕГО БЕТОНА, УЛОЖЕННОГО С ТЕРМООБРАБОТКОЙ, В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрен механизм сцепления зрелого бетона строительной конструкции с бетоном, формирующимся в непосредственном контакте с ним в условиях отрицательных температур под действием термообработки. Приведены результаты экспериментальных исследований миграции жидкости затворения в глубь зрелого бетона под влиянием температурного градиента. Показано проникновение в поры и капилляры бетона вместе с жидкостью затворения продуктов гидратации цемента – материала для формирования кристаллических сростков, являющихся неотъемлемой частью твердеющего бетона. Экспериментально доказано качественное сцепление замороженного зрелого бетона со свежеложенным при форсированной термообработке последнего.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, сцепление бетонов, температурные градиенты, миграция влаги, кристаллические сростки.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-724-4-82-93

Введение. Надежность и прочность железобетонного каркаса здания или сооружения обеспечиваются прочностью его элементов и надежностью их соединения в узлах. Требование равнопрочности является основным для любого расчетного стыка, растягивающие усилия в котором могут достигать десятков тонн. Это актуально как для сборных, так и для монолитных каркасов. Если качество и нормативная прочность элементов сборного железобетонного каркаса обеспечивается на заводе, а конструкций, изготовленных на стройплощадке, – многократно проверенными и надежными технологиями бетонирования, то на надежность их соединения, особенно в условиях отрицательных температур, наряду с прочностью бетона замоноличивания, решающее влияние оказывает прочность сцепления «старого» бетона с «новым».

Исследованиями [1–3] аргументированно показано, что после замоноличивания стыка происходит миграция влаги из уложенной смеси в поры и капилляры зрелого бетона. Ее интенсивность определяется свойствами и состоянием «старого» и «нового» бетонов, а также температурным фактором.

© Молодин В.В., Иванов Д.А., 2019

Бетон является капиллярно-пористым коллоидным телом [4]. Перенос влаги в нем определяется главным образом градиентами влагосодержания и температуры. И.Ф. Беловой, В.Я. Гендиным и В.Э. Лейрихом [5] установлено, что термообработка свежесушеного бетона позволяет повысить прочность сцепления.

Задача настоящего исследования – определение влияния термообработки бетонной смеси, уложенной в контакте с холодным зрелым бетоном на глубину проникновения жидкости затворения в зрелый бетон и, как следствие, на величину сцепления «старого» бетона с «новым».

Механизм сцепления «старого» и «нового» бетона. Основными факторами обеспечения качественного сцепления зрелого и твердеющего бетона служат классическая адгезия и диффузия.

Адгезия – это способность материала прилипать к поверхности, слипаться посредством межмолекулярного взаимодействия. В случае стыкования бетонов на эффективность адгезии существенное влияние оказывает карбонизация поверхности «старого» бетона. Под воздействием CO_2 окружающего воздуха активная известь на стыкуемой поверхности переходит в карбонат кальция, представляющий собой инертное вещество, вступающее в реакцию только с кислотными соединениями. Свободная известь, как основной источник функционального взаимодействия стыкуемых материалов, на поверхности «старого» бетона практически отсутствует. Результатом этого является низкая прочность сцепления [3].

Диффузия или массоперенос – это необратимый перенос вещества, вызванный градиентом концентрации (диффузионный эффект), градиентом температур (термодиффузия) или неоднородностью поля парциального давления (бародиффузия) [4]. В случае с бетоном влияние эффекта бародиффузии несущественно, поэтому на практике им, как правило, пренебрегают [6].

При контакте «нового» бетона со «старым» жидкость затворения (цементное молоко) мигрирует из свежесушеной бетонной смеси в зрелый бетон по порам и капиллярам за счет выравнивания концентраций вещества и разницы температур. Попадая в приконтактную область, влага несет в себе растворенные продукты гидратации клинкерных зерен – растворимые щелочи и соли, а также гидроксид кальция [7]. В дальнейшем проникшие в зрелый бетон продукты гидратации в виде гидросиликатов и гидроксидов превращаются в гель. Возникшие новообразования прочно связывают зрелый и твердеющий бетон и обеспечивают их качественное сцепление. Стоит заметить, что чем интенсивнее диффузионный перенос и термодиффузия, тем надежнее сцепление.

Влагоперенос в системе «холодный зрелый бетон – горячий твердеющий бетон». Исследования ряда ученых [2, 3] показали наличие миграции влаги из «нового» бетона в «старый». Обнаружено влияние на интенсивность миграции температурного фактора, а в работе В.Ф. Утенкова и М.А. Власовой [1] сделано предположение, что проникающие в зрелый бетон продукты гидратации из твердеющего бетона положительно влияют на прочность их сцепления.

Влажность бетона должна рассчитываться согласно ГОСТ 12730.2–78 по стандартной методике, которая неприменима для решения поставленных

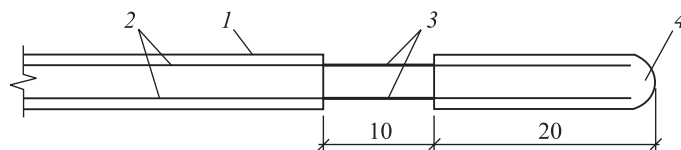


Рис. 1. Конструкция датчика сопротивления

1 – провод ПРППМ; 2 – изолированные медные жилы; 3 – медные жилы без изоляции; 4 – изоляция

задач. Поэтому для определения влажностного поля и характера его изменения в бетоне использовался кондуктометрический метод, позволяющий оценить влажность материала посредством определения его электрического сопротивления [8]. Измерение электрического сопротивления бетона проводилось датчиками (рис. 1), изготовленными из двухжильного медного провода ПРППМ (ВМ) 2×0,9.

Для определения абсолютной влажности бетона использовалась ее зависимость от электрического сопротивления, предложенная В.Я. Гендиным и А.Д. Мягковым [8]:

$$W_{\text{абс}} = W_{\text{нач}} W_{\text{отн}}; \quad (1)$$

$$W_{\text{отн}} = \frac{R_{\text{нач}}}{R_{\text{эксп}} (1 + \beta(t_{\text{эксп}} - t_{\text{нач}}))}, \quad (2)$$

где $W_{\text{абс}}$ – абсолютная влажность, %;

$W_{\text{нач}}$ и $W_{\text{отн}}$ – начальная и относительная влажность, %;

$R_{\text{нач}}$ и $R_{\text{эксп}}$ – начальное и экспериментальное локальное сопротивление, Ом;

$t_{\text{нач}}$ и $t_{\text{эксп}}$ – начальная и экспериментальная температура, °С;

$\beta = 0,02$ – температурный коэффициент электрического сопротивления бетона, 1/°С.

Для исследования влагопереноса под влиянием температурного фактора были изготовлены утепленные формы с внутренним размером 100×100×200 мм (рис. 2). Внутри форм укладывались предварительно изготовленные, выдержанные в течение 28 сут, бетонные кубы. Внутри бетонных кубов и в свободном пространстве формы устраивались створы измерения температур из хромель-копелевых термопар и влажности из кондуктометри-

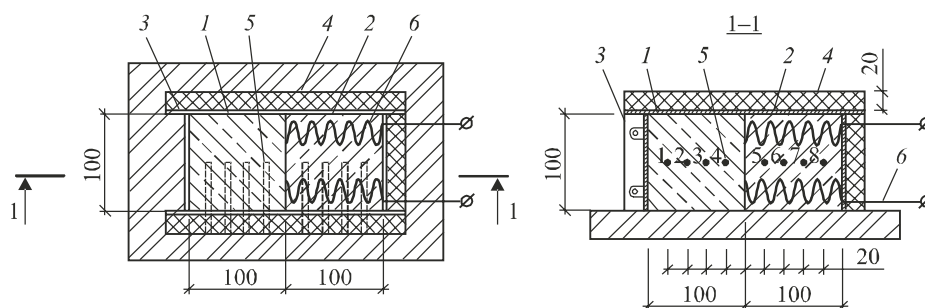


Рис. 2. Схема экспериментальной конструкции

1 – зрелый бетон; 2 – свежий бетон; 3 – фанера; 4 – утеплитель; 5 – створ датчиков; 6 – греющий провод

ческих датчиков (рис. 3, *а*). Створы датчиков располагались нормально к поверхности контакта с шагом 20 мм в обе стороны от нее – 4 створа в зрелом бетоне, другие 4 створа в свежееуложенном бетоне. Для снятия окисной пленки с медных жил датчиков влажности использовался раствор соляной кислоты 0,1 нормальности. Значения сопротивления фиксировались с помощью универсального цифрового вольтметра В7-38 каждые 10 мин в течение первого часа и каждый час в последующие 10 часов эксперимента, пока температура зрелых образцов не опустилась ниже 0 °С. В свободном пространстве также размещались греющие элементы (рис. 3, *б*) с возможностью регулирования температуры автотрансформатором ЛАТР. В качестве греющего элемента использовался греющий провод ПНСВ-2 диаметром 2 мм, на который подавался переменный электрический ток 13,7 А, напряжением 13,3 В, что позволило в объеме одного образца выделять мощность 91,1 Вт.

До начала эксперимента формы с бетонными кубами охлаждались в климатической камере до температуры –20 °С. Промороженные бетонные кубы были со всех сторон тщательно утеплены за исключением одной свободной контактной поверхности, к которой в последующем примыкала бетонная смесь. Свежееуложенная бетонная смесь прогревалась первый час до температуры 70 °С и в последующем остывала с темпом охлаждения 0,12 ч⁻¹.

Системное измерение температуры и влажности позволило выявить характер и глубину изменения полей влажности, которые начинают формирование в твердеющей бетонной смеси и протекают в направлении зрелого бетона. Максимальное увеличение влажности свежееуложенного бетона за все время эксперимента наблюдалось через 2 ч после укладки и начала термообработки на расстоянии до 60 мм от границы стыка (рис. 4). Очевидно, это объясняется увеличением электропроводности жидкой фазы, уменьшением электрического сопротивления и как следствие повышением влажности за счет растворения щелочей из состава цемента [9]. При этом прослеживается закономерность: степень интенсивности растворения щелочей меняется от большей в зоне контакта к меньшей в глубине образца.

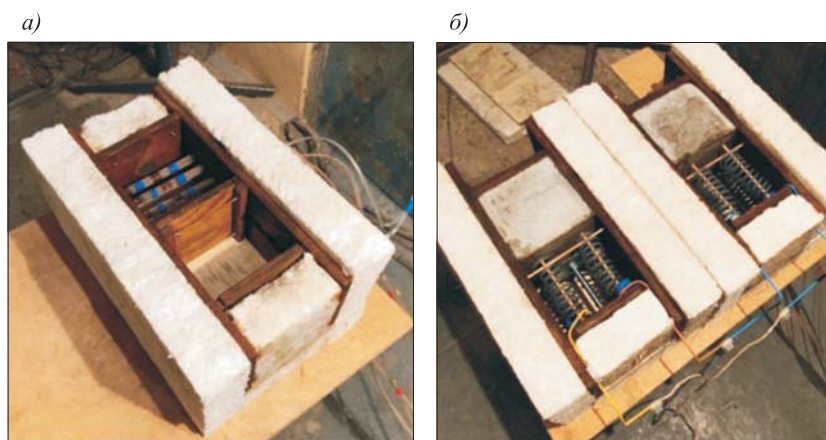


Рис. 3. Экспериментальная конструкция на этапах установки датчиков влажности и температуры (*а*), греющего провода ПНСВ-2 (*б*)

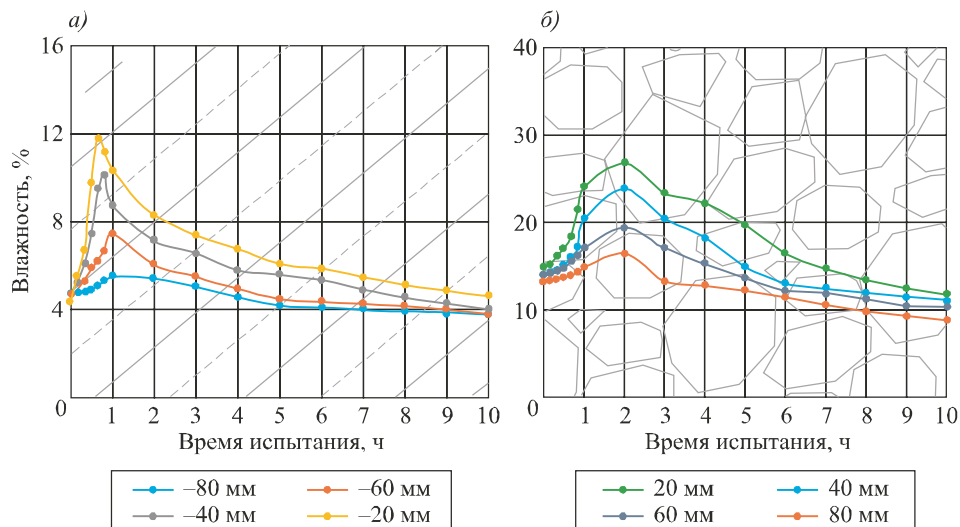


Рис. 4. Графики распределение влажности в бетонных образцах зрелого (а) и твердеющего (б) бетона

Таким образом, в течение первых 2 ч эксперимента в твердеющем под действием термообработки бетонном образце уже сформировался поток влаги, и большая ее часть мигрировала к холодной поверхности контакта и непосредственно в зрелый бетон.

В свою очередь, в зрелом бетоне максимальное увеличение влаги на 50–70 % относительно начальных значений влажности зафиксировано после 40 мин проведения эксперимента на расстоянии до 60–70 мм от границы контакта (рис. 5). При этом интенсивность насыщения приконтактной области выше в среднем на 20–30 % (см. рис. 4). Полученный результат объясняется интенсивным переносом влаги из свежешеложеного бетона в эту зону.

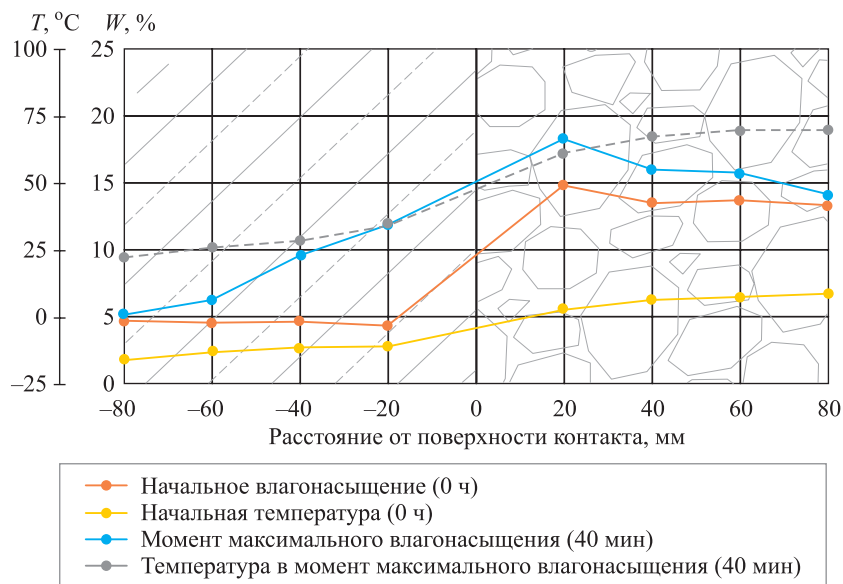


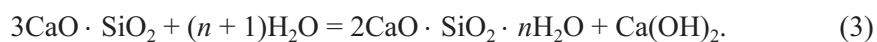
Рис. 5. Распределение влажности и температуры в момент максимального влагонасыщения зрелого (а) и твердеющего (б) бетона

Наблюдение за кинетикой изменения влажностных полей показывает, что волна увеличения влажности постепенно докатывается до все более глубоких зон. Через 2 ч интенсивные процессы влагопереноса прекращаются. Начинается стабильное увеличение электрического сопротивления или уменьшение значений влагосодержания.

Перенос вещества в системе «холодный зрелый бетон – горячий твердеющий бетон». Исследования влагопереноса в контактной зоне конструкций и изучение сцепления «старого» бетона с «новым» дают основание полагать, что диффузионный поток влаги увлекает с собой частицы цемента или продукты его гидратации, что ведет к увеличению силы сцепления. К такому заключению пришли исследователи [1, 10], изучавшие технологию каменной кладки и замоноличивание стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях.

Работами А.В. Лыкова [4] показано, что водные растворы при диффузионном проникновении в капиллярно-пористое тело ведут себя аналогично обычной воде, хотя характер массопереноса может измениться. Следовательно, необходимо установить проникновение в глубь стыкуемых элементов частиц цемента из свежего бетона. Выявить новообразования цемента в массе зрелого бетона визуально с помощью микрофотографии сложно. Здесь наиболее целесообразен рентгеноструктурный анализ [11] – более универсальный и совершенный метод исследования материалов. Пользуясь им, можно провести количественный и качественный анализ состава бетона в приконтактной зоне.

Действительно, при затворении портландцементов водой безводные соединения переходят в гидраты, одним из которых является гидроокись кальция. Например, при гидратации трехкальциевого силиката (алита) образуются два новых соединения – гидросиликат кальция и гидроокись кальция по реакции



На первом этапе количество продуктов гидратации, в том числе и гексогональных кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, невелико. Затем, как показывают исследования О.П. Мчедлова-Петросяна [7], наблюдается резкий рост пластической прочности с усиленным образованием кристаллов гидратов. В свою очередь, время существования первичной структуры зависит от влагонасыщенности среды. С уменьшением В/Ц интенсивнее кристаллообразование, т.е. для портландцемента с разным В/Ц в один и тот же момент времени с начала затворения количество кристаллической фазы гидратов различно. В условиях большего влагонасыщения их меньше, а меньшего – больше. В ходе последующего твердения происходит уплотнение структуры геля, сопровождающееся образованием гидросиликата кальция за счет химических реакций.

К 28 суткам твердения, отмечают Ю.М. Бутт и В.В. Тимашев [12], количество свободной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ не превышает 1,13 %, т.е. достаточно малое количество. Поэтому из приведенных данных становится очевидна целесообразность исследования проникновения элементов свежего цемента в глубь зрелого бетона посредством определения качественного и количественного содержания в нем гидроксида кальция. Результаты анализа проб, взятых

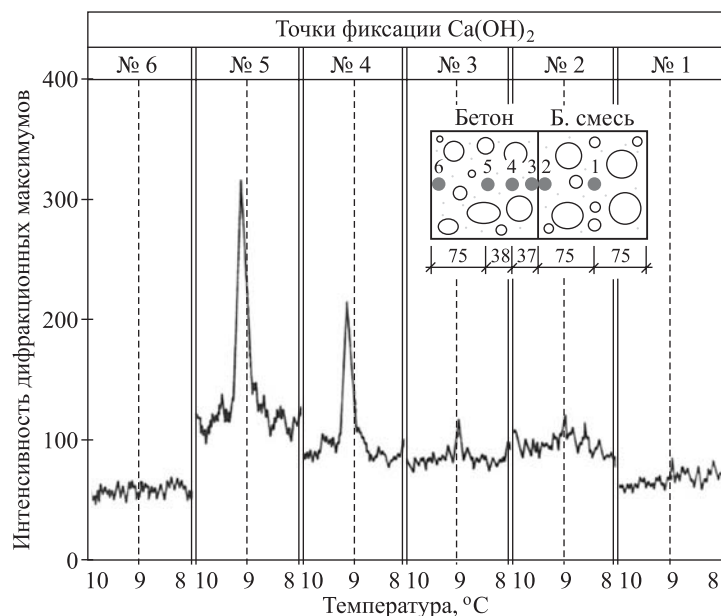


Рис. 6. Рентгенограмма цементного камня и свежесуспензированной смеси по сечению зоны контакта зрелого и твердеющего бетона

в центральном сечении образцов на различной глубине от контактной поверхности в момент максимальных значений температурных градиентов, показали следующее (рис. 6).

В свежесуспензированной смеси (точки 1 и 2), а также в зрелом бетоне 60-суточного возраста в зонах, куда не проникла влага (точка 6), наличие гидроксида кальция не обнаружено. В увлажненных зонах зарегистрировано появление кристаллов Ca(OH)₂. При этом содержание кристаллической фазы, судя по величине пиков, меняется от меньшего в зоне контакта к большему в глубине образца.

Полученные данные хорошо объясняют и дополняют картину массообмена на контакте зрелого и твердеющего бетонов. В момент максимальных значений температурных градиентов в свежесуспензированном бетоне образование кристаллов гидроксида кальция еще не началось. В зрелом бетоне, не подвергавшемся увлажнению, ее содержание мало и отклика на рентгенограмме практически не дает. Просочившееся в бетон цементное молоко увлажняет его в разной степени. В зависимости от влажности начинается кристаллизация просочившейся с молоком Ca(OH)₂. В зонах, где увлажнение слабо (точка 5), кристаллизация идет давно, и кристаллов образовалось больше, чем в зонах, где влажность выше. По высоте пиков рентгенограммы и графика распределения влажности в бетонных образцах (см. рис. 4) можно установить, что элементы цемента, растворенные в воде, за время термообработки проникают аналогично влаге на глубину до 60–70 мм. Однако, главным образом, она фиксируется в приконтактной зоне в 20–30 мм от поверхности.

Сцепление холодного зрелого бетона с подвергающимся термообработке твердеющим бетоном. Надежность и прочность здания или сооружения во многом зависят от качества соединения конструктивных элементов

и сцепления бетонов, особенно при строительстве в зимних условиях. Работы ряда авторов [1, 4, 10, 13], а также наши исследования показывают, что в случае повышения температурных градиентов увеличивается интенсивность проникновения влаги с растворенными в ней элементами цемента

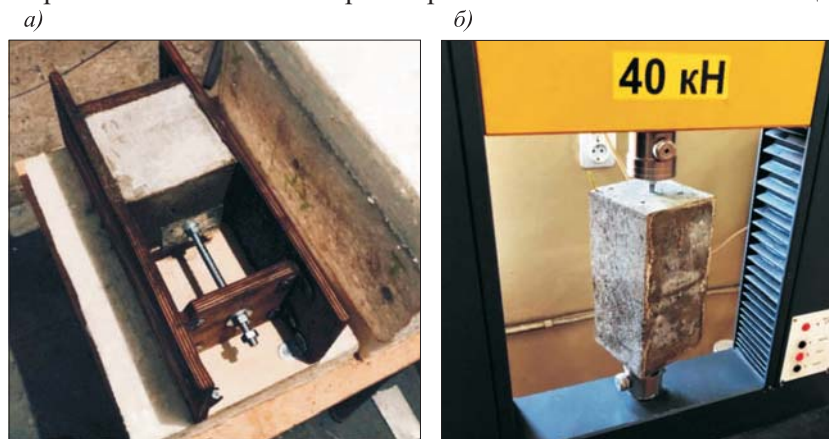


Рис. 7. Установка болта в опалубочной форме (а) и образцов в разрывной машине (б)

в глубь зрелого бетона. Последующий благоприятный температурный режим создает условия для образования новых цементных сростков в зрелом бетоне и приводит к увеличению сцепления «старого» бетона с «новым».

Для определения прочности сцепления промерзшего и прогреваемого бетона использовались бетонные образцы, изготовленные с теми же характеристиками, что и образцы в процессе исследования внутренней миграции влаги. Отличием являлось отсутствие датчиков в теле кубов и наличие строго отцентрированных болтов М8, расположенных с выступом от внешней грани образцов на 30 мм. На концах болтов устанавливались металлические пластины для улучшения совместной работы с бетоном на разрыв (рис. 7, а). С помощью болтов образцы устанавливались в специальные крепления, фиксировались в них гайками и разрывались на разрывной машине МИ40КУ (рис. 7, б). При испытаниях сравнивалась прочность сцепления образцов, забетонированных способами, приведенными в таблице.

Результаты испытаний бетонных образцов на разрыв показали, что в случае интенсивной термообработки твердеющего свежесуложенного бетона обеспечивается их качественное сцепление (рис. 8).

Влияние способа бетонирования на сцепление образцов

Способ бетонирования	Максимальная температура твердеющего бетона, °С	Прочность на центральное растяжение, МПа
Форсированная термообработка	18	0,61
Нормальные условия твердения (эталон)	-10	0,42
Раннее замораживание свежесуложенного бетона	70	0,29

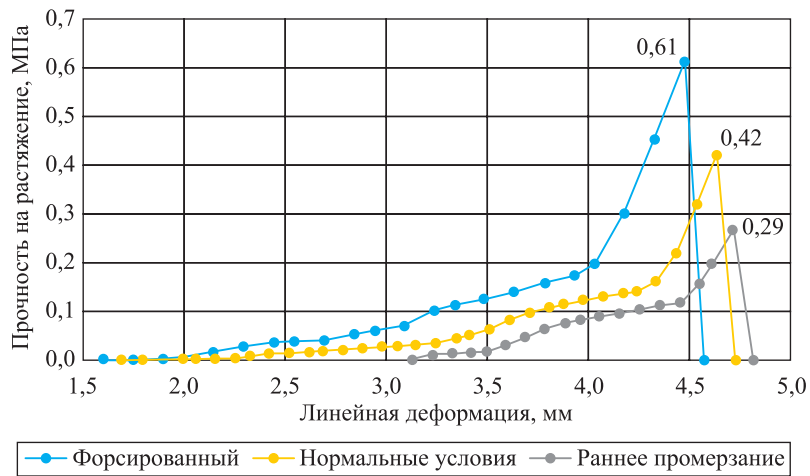


Рис. 8. График влияния температуры термообработки на прочность сцепления образцов

Стоит отметить, что величина прочности сцепления образцов при форсированной термообработке превышает на 30 % значения прочности сцепления образцов, твердеющих в нормальных условиях.

Визуальный осмотр разломов образцов (рис. 9) дает возможность оценить качество сцепления. В образцах, твердеющих при нормальных условиях

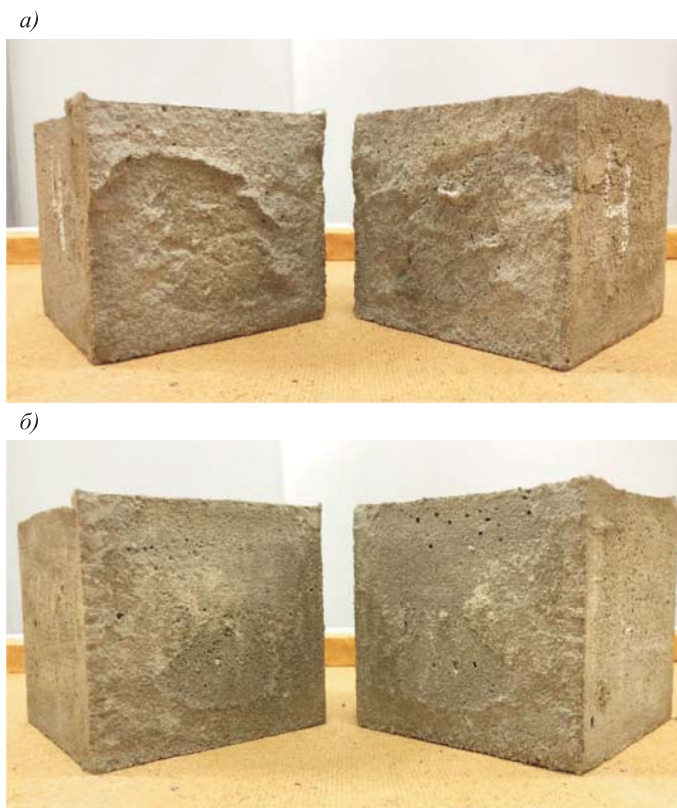


Рис. 9. Разлом образцов после испытания на растяжение в форсированном режиме (а) и нормальных условиях твердения (б)

ях, разрыв происходил во всех случаях в области контакта, занимая 25–30 % ее общей площади. В случае испытания образцов, подвергшихся форсированному прогреву, разрыв происходил главным образом в области поверхности контакта, занимая до 45–50 % от ее общей площади. В некоторых случаях разрыв проходил по телу зрелого бетона на расстоянии до 10 мм от поверхности контакта, где было установлено максимальное проникновение влаги с элементами цемента.

Таким образом, исследование качества сцепления твердеющего под действием термообработки и зрелого промерзшего бетонов показало, что увеличение температурных градиентов, вызванных высокой температурой прогрева свежеложенного бетона, ведет к повышению прочности сцепления до 30 % в сравнении с твердением образцов при нормальных условиях.

Выводы. 1. При наличии температурных градиентов в зоне контакта выявлена миграция влаги из подвергающейся термообработке бетонной смеси в глубь зрелого бетона. Определено, что в зрелом бетоне максимальное увеличение влаги на 50–70 % относительно начальных значений зафиксировано на глубине до 60–70 мм. При этом наиболее интенсивное проникновение влаги происходит, когда температурные градиенты имеют максимальные значения.

2. Установлено, что проникая в зрелый бетон, вода увлекает за собой растворенные в ней частицы цемента из свежесозданного бетона. Продукты гидратации свежего цемента обнаружены на глубине до 70 мм от плоскости контакта. Однако их максимальная концентрация наблюдается в приконтактной зоне – 20–30 мм от поверхности.

3. Экспериментально доказано, что сцепление зрелого и твердеющего бетонов с форсированной термообработкой последнего после приобретения затвердевшим бетоном стандартной прочности превышает сцепление бетона, твердевшего в нормальных условиях, на 30 %.

4. Таким образом, можно считать установленным, что температурные градиенты, возникающие при форсированной термообработке бетонной смеси, уложенной на контакте с промерзшим бетоном, вызывают мощный термодиффузионный поток влаги с растворенным в ней вяжущим. В свою очередь, данный процесс обеспечивает качественное сцепление свежеложенного и зрелого бетонов, которое получается прочнее аналогичного сцепления бетонных образцов при нормальных условиях твердения. Можно уверенно рекомендовать строительным компаниям, выполняющим в зимних условиях бетонные и монтажные работы, использовать форсированную термообработку для обеспечения качественного сцепления бетонных и железобетонных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Утенков В.Ф., Власова М.А. Заделка стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях. М.: Стройиздат, 1958. 62 с.
2. Feret R. Resistances des betons a cohérence et décollement comparées a la compression, a la flexion, a la traction. Paris, 1930.
3. Романовский В.Н. К вопросу о сцеплении бетона в месте стыка промышленного оборудования и фундамента // Вестн. граждан. инженеров. 2013. № 5. С. 127–130.

4. Лыков А.В. Теплообмен. М.: Энергия, 1978. 480 с.
5. Белова И.Ф., Гендин В.Я., Лейрих В.Э. Кондуктометрические исследования кинетики влагопереноса в бетоне стыка // Бетон и железобетон. 1969. № 8. С. 11–13.
6. Ибрагимов А.М. Нестационарный тепло- и массоперенос в многослойных ограждающих конструкциях: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2006. 348 с.
7. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 224 с.
8. Гендин В.Я., Мягков А.Д., Гончаров Л.С. Кондуктометрический метод исследования массопереноса в стыках для выбора вида и количества противоморозной добавки при замоноличивании в зимних условиях // Сборник статей. Томск: ТГУ, 1985. С. 129.
9. Щербав В.В. Технология бетонирования конструкций монолитных зданий с предохранением бетона от обезвоживания путем применения пленкообразующих материалов: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 119 с.
10. Сизов В.Н. Строительные работы в зимних условиях. М.: Стройиздат, 1958. 539 с.
11. Китайгородский А.И. Рентгеноструктурный анализ. М.: Стройиздат, 1950. 651 с.
12. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Портландцемент. М.: Стройиздат, 1974. 328 с.
13. Головнев С.Г., Коваль С.Б., Молодцов М.В. Сцепление бетона в зоне технологического шва // Вестн. ЮУрГУ. 2005. № 13. С. 71–74.

Молодин Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: molodin@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
Иванов Данил Андреевич, студ.; E-mail: d.ivanov@edu.sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 22.03.19

Molodin Vladimir Viktorovich, DSc, Professor; E-mail: molodin@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia
Ivanov Danil Andreevich, Student; E-mail: d.ivanov@edu.sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

GRIP OF MATURE AND FRESH CONCRETE WITH HEAT TREATMENT IN WINTER CONDITIONS

The article describes the mechanism of grip of mature and fresh concrete in a building structure with heat treatment at negative temperatures. We present the results of experimental studies of the migration of moisture into mature concrete and the influence of the temperature gradient. The results show that the hydration products of cement, together with moisture, penetrate into the pores and capillaries of mature concrete. As is well known, cement hydration products are a very important material for the formation of crystalline intergrowths in fresh concrete. We have experimentally proved the high-quality adhesion of frozen mature concrete and fresh concrete with forced heat treatment.

Keywords: winter concreting, grip of concrete, temperature gradients, moisture migration, crystalline intergrowths.

REFERENCES

1. Utenkov V.F., Vlasova M.A. Zadelka stykov sbornykh zhelezobetonnykh konstruktsey v zimnikh usloviyakh [Sealing of joints of prefabricated ferroconcrete structures in winter conditions]. Moscow, Stroyizdat, 1958. 62 p. (in Russian)

2. Feret R. Resistances des betons a cohérence et décollement comparées a la compression, a la flexion, a la traction. Paris, 1930.
3. Romanovskiy V.N. K voprosu o stseplenii betona v meste styka promyshlennogo oborudovaniya i fundamenta [On the issue of adhesion of concrete at the junction of industrial equipment and the foundation]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Civil Engineering Bulletin]. 2013. No. 5. Pp. 127–130. (in Russian)
4. Lykov A.V. Teplomassoobmen [Heat and mass transfer]. Moscow, Energiya, 1978. 480 p. (in Russian)
5. Belova I.F., Gendin V.Ya., Leyrikh V.E. Konduktometricheskie issledovaniya kinetiki vlagoperenosa v betone styka [Conductometric studies of moisture transfer kinetics in joint concrete]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1969. No. 8. Pp. 11–13. (in Russian)
6. Ibragimov A.M. Nestatsionarnyy teplo- i massoperenos v mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiyakh: dis. ... kand. tekhn. nauk [Unsteady heat and mass transfer in multilayer enclosing structures: dis. ... PhD]. Moscow, 2006. 348 p. (in Russian)
7. Mchedlov-Petrosyan O.P. Khimiya neorganicheskikh stroitel'nykh materialov [Chemistry of inorganic building materials]. Moscow, Stroyizdat, 1971. 224 p. (in Russian)
8. Gendin V.Ya., Myagkov A.D., Goncharov L.S. Konduktometricheskii metod issledovaniya massoperenosa v stykakh dlya vybora vida i kolichestva protivomornoynoy dobavki pri zamonolichivanii v zimnikh usloviyakh [Conductometric method for studying mass transfer in the joints to select the type and amount of antifreeze additive when monolithing in winter conditions]. Sbornik statey [Digest of articles]. Tomsk, 1985. P. 129. (in Russian)
9. Shcherba V.V. Tekhnologiya betonirovaniya konstruktsiy monolitnykh zdaniy s predokhraneniem betona ot obezvozhivaniya putem primeneniya plenkoobrazuyushchikh materialov: dis. ... kand. tekhn. nauk [Concreting technology of monolithic buildings with the protection of concrete from dehydration through the use of film-forming materials: dis. ... PhD]. Moscow, 2005. 119 p. (in Russian)
10. Sizov V.N. Stroitel'nye raboty v zimnikh usloviyakh [Construction work in winter conditions]. Moscow, Stroyizdat, 1958. 539 p. (in Russian)
11. Kitaygorodskiy A.I. Rentgenostrukturnyy analiz [X-ray analysis]. Moscow, Stroyizdat, 1950. 651 p. (in Russian)
12. Butt Yu.M., Timashev V.V. Portlandsement [Portland cement]. Moscow, Stroyizdat, 1974. 328 p. (in Russian)
13. Golovnev S.G., Koval' S.B., Molodtsov M.V. Steplenie betona v zone tekhnologicheskogo shva [Adhesion of concrete in the area of the process joint]. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the South Ural State University]. 2005. No. 13. Pp. 71–74. (in Russian)