

ВЛИЯНИЕ ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ В БЕТОННЫХ ШВАХ ПРИ ЗИМНЕМ БЕТОНИРОВАНИИ

Е.В. Румянцев¹, В.Г. Соловьев², А.Х. Байбури³

¹ ООО «ПИК-Строительные Технологии», г. Москва, Россия

² Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

³ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Объект исследования – бетонные швы и стыки крупнопанельных зданий. Целью исследования являлась оценка влияния раннего замораживания на прочность сцепления в бетонных швах и выявление эффективности различных технологических методов при зимнем бетонировании стыков сборных конструкций. Прочность сцепления определялась на образцах-призмах, изготовленных из тяжелого бетона и самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей. Получены зависимости влияния на прочность сцепления в бетонных швах и прочности бетона при сжатии в раннем возрасте после замораживания, оттаивания и последующего твердения в нормальных условиях. Установлено благоприятное влияние на прочность сцепления в швах предварительного прогрева стыков, а также динамика набора прочности сцепления в швах при «холодном» бетонировании. Результаты исследования позволяют существенно расширить область применения и повысить энергоэффективность беспробных методов зимнего бетонирования.

Ключевые слова: зимнее бетонирование, прочность сцепления бетонных швов «старого» и «нового» бетона, холодный бетон, самоуплотняющиеся бетонные смеси.

Введение

Современные индустриальные технологии скоростного монтажа полносборных зданий высокой степени заводской готовности обеспечивают сокращение сроков строительства при заданном качестве [1–5]. Использование монолитных стыков сборных конструкций в таких зданиях позволяет обеспечить требования качества и надежности по важным конструктивно-технологическим параметрам, в том числе восприятию высокого уровня нагрузок при увеличении этажности и обеспечению высоких темпов монтажа сборных элементов [6–9].

Конструктивные особенности монолитных стыков определяют необходимость применения для их замоноличивания высокофункциональных бетонов [10, 11]. Для сохранения необходимых темпов монтажа сборных конструкций применяют всепогодные технологии бетонирования стыков с использованием высокофункциональных бетонов заданного качества за счет самоуплотняющихся свойств бетонных смесей, высокой ранней прочности и последующего интенсивного набора прочности бетона заделки стыков. В зимних условиях применяют «холодные» бетоны на основе сухих строительных смесей (ССС) на цементных вяжущих модифицированных добавками, обеспечивающими заданные параметры набора прочности бетона при низких положительных и отрицательных температурах [12, 13].

Отличительной особенностью узлов в сборно-монолитных конструкциях является необходимость обеспечения однородности и сплошности

на границе «старого» и «нового» бетона, обусловленная работой стыков на контактный срез или растяжение при изгибе.

При анализе литературных источников отмечается влияние на прочность сцепления в бетонных швах различных факторов, которые можно разделить на три категории.

1. По виду и составу материалов: крупность заполнителя; водоцементное отношение; консистенция смеси; тип и уровень рН смеси; введение различных добавок, повышающих сцепление; тип и количество вяжущего [14–18].

2. Технологические: климатические условия укладки бетонной смеси – температура и влажность; величина градиента тепломассопереноса; а также качество, форма и технология подготовки поверхности швов; технология вибрирования бетонной смеси; продолжительность перерывов в бетонировании [9, 10, 17–23].

3. Конструктивные: величина обжатия бетона в стыке, вид и направление силового воздействия в стыке (шве), усадка бетона, его модуль упругости и возраст, величина модуля поверхности стыков (особенно при отрицательных температурах) [14, 15, 19, 22, 24, 25], а также другие факторы.

В ряде исследований установлено, что наличие температурного градиента между «новым» и «старым» бетоном, повышающего тепломассоперенос на границе укладки, а также при перерывах в бетонировании (холодных швах) является основным фактором, влияющим на прочность швов. Указывается на несовершенство технологии устройства швов и, как следствие, «неравнопроч-

ность» таких швов и стыков основному материалу, что может привести к образованию преждевременных трещин, снижению водопроницаемости и морозостойкости бетона, долговечности конструкций [14, 15, 26]. Поэтому исследования характера изменения сцепления швов, зависимости его от отрицательных температур, направленные на обеспечение монолитности швов «старого» и «нового» бетона, являются актуальной задачей.

Материалы и методы

Для оценки прочности сцепления бетонных швов применяются различные методики: испытание при сдвиге, раскалывании, растяжении и изгибе контрольных образцов цилиндров, кубов, призм, восьмерок и других форм различных размеров [14, 17, 18, 20, 22, 24, 26]. В данном исследовании в качестве критерия оценки прочности бетона в контактной зоне принималась прочность сцепления швов образцов-призм размерами 70×70×280 мм на растяжение при изгибе по методике ГОСТ 10180-2012 «Методы определения прочности по контрольным образцам». Дополнительно образцы-половинки призм испытывались по прочности на сжатие.

В качестве материалов для исследования использовались ССС на цементных вяжущих различных производителей для «холодных» самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей (СУМБС). Проектное количество воды затворения принималось по паспорту ССС в соответствии с рекомендованным значением водотвердого (В/Т) отношения согласно виду смеси и условиям ее укладки. Обозначение смесей выполнялось условно «Смесь №1.1 (–15)», где 1.1 – уникальный номер образца смеси (первая цифра указывает на производителя, вторая на вид смеси), (–15) – рекомендованная производителем минимальная отрицательная температура укладки смеси в градусах по Цельсию. Необходимо отметить, что все составы содержали противоморозные добавки, а состав № 2 дополнительно содержал армирующие полимерные микроволокна.

Из условий подobia проектной технологии приготовления бетонных смесей ССС и вода затворения предварительно выдерживались до на-

чальных условий, заданных программой испытаний (см. таблицу).

Образцы изготавливались в два этапа. В первую половину формы укладывалась бетонная смесь для имитации «старого» бетона конструкции (рис. 1а). В качестве бетонной смеси принимался аналогичный состав для изготовления конструкций многопустотных преднапряженных плит безопалубочного формования из бетона В40 (М550) в соответствии с дозировкой завода-изготовителя на кубометр смеси: цемент ПЦ500Д0 – 480 кг; щебень фр. 5–10 – 960 кг; песок Мкр. 1,8 – 926 кг (Ц:Щ:П – 1:2:1,929), В/Ц – 0,39. В качестве разделителя формы использовался ламинированный щит из водостойкой фанеры. После укладки бетонной смеси в первой половине образца его уплотняли на виброплощадке и выдерживали в камере ТВО в течение 28 суток. Затем в форму попарно укладывалась СУМБС для имитации «нового» бетона в следующих условиях.

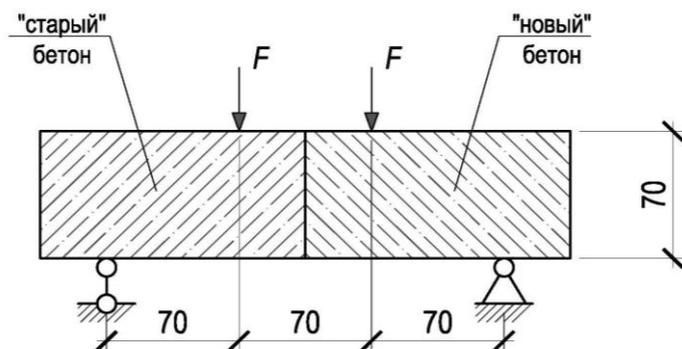
Серия № 1 – эталонные образцы. Образцы-половинки выдерживались в нормальных условиях (н.у.). СУМБС готовилась в соответствии с таблицей и укладывалась в форму непосредственно после перемешивания без уплотнения. Затем серия № 1 образцов-призм выдерживалась в камере нормального твердения и испытывалась через 1, 7 и 28 суток на прессе (рис. 1б).

Серия № 2 – образцы для имитации отогрева железобетонных конструкций перед укладкой бетонной смеси в стык. Образцы-половинки отогревались до температуры 40 °С перед укладкой смеси во вторую половину формы, затем в форму укладывалась СУМБС. После укладки смеси во вторую половину формы серия № 2 выдерживалась в морозильной камере по следующему режиму: одни сутки при минимальной отрицательной температуре укладки, затем 6 суток при средней отрицательной температуре и далее 28 суток в камере нормального твердения (см. таблицу). Образцы испытывались в следующих условиях: первый образец серии испытывался сразу после завершения времени выдержки при минимальной отрицательной температуре укладки (прочность замороженных образцов). Следующие два образца испытывались при достижении их поверхности темпера-

Начальные условия, режимы приготовления и выдерживания бетонных смесей для контрольных образцов из ССС

Наименование образца	В/Т	Температура, °С					Время перемешивания, мин
		T _{сс}	T _в	T _{н.у}	T _{в.мин}	T _{в.ср}	
Смесь № 1.1 (–15)	0,10	+5	+5	+20	–15	–5	17
Смесь № 1.2 (–20)	0,10	+5	+5	+20	–25	–15	17
Смесь № 2.1 (–15)	0,11	+5	+5	+20	–15	–5	14

Примечание. В/Т – водотвердое отношение; T_{сс} – температура выдерживания ССС; T_в – температура воды; T_{н.у} – температура нормальных условий выдерживания образцов; T_{в.мин} – минимальная отрицательная температура выдерживания образцов; T_{в.ср} – средняя отрицательная температура выдерживания образцов.



а)

б)

Рис. 1. Схема испытаний контрольных образцов-призм на растяжение при изгибе (а) и проведение испытаний в прессе (б)

туры 5 °С (прочность размороженных образцов). Оставшиеся три образца из серии испытывались через двадцать восемь суток твердения в нормальных условиях.

Серия № 3 – образцы для имитации укладки «холодной» бетонной смеси в замороженный стык. Образцы-половинки выдерживались перед укладкой при минимальной отрицательной температуре укладки смеси в морозильной камере. Затем выполнялась укладка бетонной смеси во вторую половину формы и испытание образцов выполнялись по методике, аналогичной образцам серии № 2.

Результаты и обсуждение

Результаты испытаний серии № 1 эталонных образцов-призм на растяжение при изгибе, эталонных образцов-половинок при сжатии, твердевших в нормальных условиях, представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

Результаты испытаний серии № 2 и № 3 образцов-призм на растяжение при изгибе, твердевших при отрицательных температурах, представлены на рис. 4 и 5 соответственно.

Результаты испытаний серии № 2 и № 3 образцов-половинок при сжатии, твердевших при отрицательных температурах, представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Обобщая полученные экспериментальные результаты, можно сделать следующие выводы и выявить определенные закономерности.

1. Прочность сцепления швов эталонных образцов, твердевших в нормальных условиях, при изгибе качественно и количественно зависит от возраста образцов и соответствующей прочности при сжатии. С увеличением возраста (и прочности при сжатии) эталонных образцов характер разру-

шения изменяется с адгезионного, адгезионно-когезионного до выраженного когезионного с разрушением по «старому» бетону. Это свидетельствует о достаточной надежности стыкового соединения, так как его прочность в проектном возрасте превосходит прочность сборного элемента, обеспечивая неразрезность (монолитность) всего соединения. Средняя прочность сцепления стыка в проектном возрасте при изгибе составила 3,04...3,97 МПа, при этом не менее 63 % прочности достигается уже в первые сутки твердения. Средняя прочность бетона в проектном возрасте при сжатии составила 57,6...63,9 МПа, при этом не менее 51 % прочности достигается в первые сутки твердения.

2. Как и в предыдущих исследованиях при замораживании [13], не смотря на наличие противоморозных добавок, в результате фазового перехода несвязанной воды в лед, происходит увеличение прочности образцов в раннем возрасте при сжатии (до 53 % – при предварительном прогреве стыка; до 31 % – без предварительного прогрева стыка) и прочности сцепления швов до 179 % – при предварительном прогреве стыка; до 146 % – без предварительного прогрева стыка с последующим их снижением, вплоть до полной потери прочности при размораживании.

3. Предварительный прогрев «старого» бетона в стыке (образцы серии № 2) благоприятно влияет на динамику последующего набора прочности стыка. Замороженные образцы после оттаивания в раннем возрасте показали незначительное снижение прочности при сжатии 19...39 % и сцепления швов при изгибе 29...89 % с когезионным разрушением образцов по «новому» бетону. В результате последующего твердения образцов в нормальных условиях происходит добор прочно-

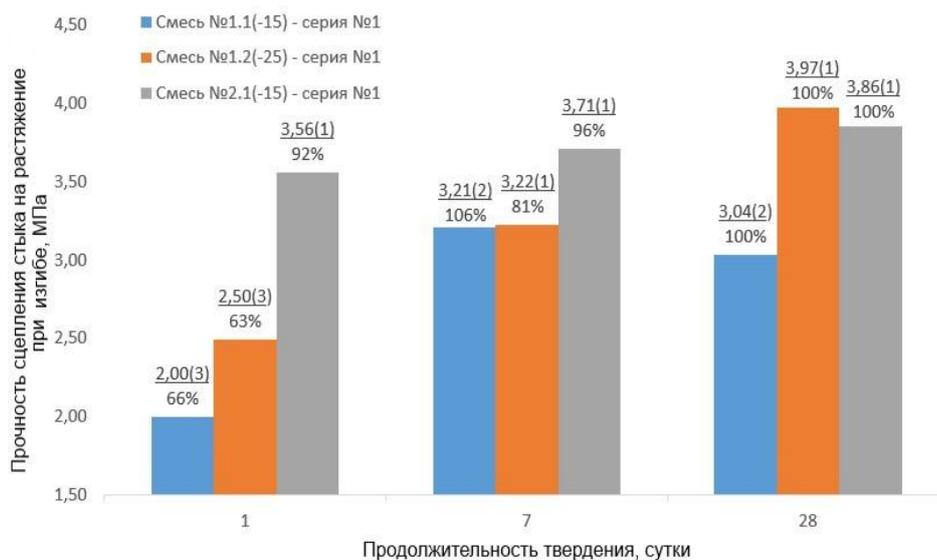


Рис. 2. Прочность сцепления бетонного стыка на растяжение при изгибе эталонных образцов-призм, твердевших в н.у. (серия № 1): над чертой указана прочность в МПа; под чертой – прочность в процентах от прочности в возрасте 28 суток; значения в скобках указывают на характер разрушения образцов: 1 – когезионный по «старому» бетону; 2 – адгезионно-когезионный; 3 – преимущественно адгезионный

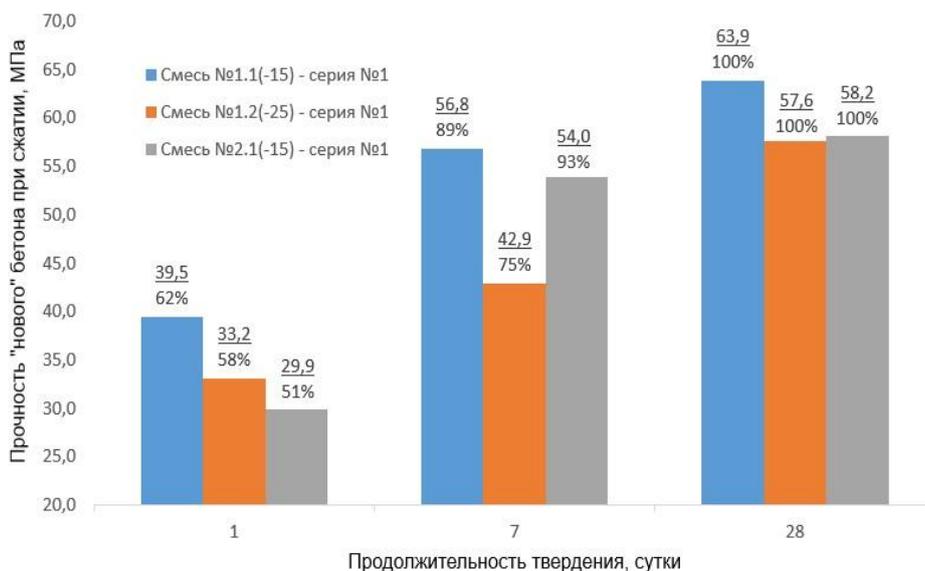


Рис. 3. Прочность «нового» бетона при сжатии эталонных образцов-половинок, твердевших при н.у. (серия № 1)

сти бетона до проектных значений при сжатии 85...103 % и незначительный недобор проектной прочности сцепления швов при изгибе 93...95 % с когезионным характером разрушения образцов по «старому» бетону. Основной причиной благоприятного влияния предварительного прогрева «старого» бетона на прочность сцепления швов следует признать интенсивный массоперенос свободной влаги, насыщенной минералами цементного вяжущего и продуктами его гидратации, в стыке без образования ледяной корки на границе слоев бетона. Дополнительной причиной является достижение прочности бетона при сжатии не менее критической. Так, величина прочности бетона при сжа-

тии после оттаивания составила 10,7...22,3 МПа, что превосходит значение критической прочности равной 8 МПа (20 % от R_{28}), по данным [27], подтвержденным в [13].

«Холодное» бетонирование без предварительного прогрева «старого» бетона отрицательно влияет на прочность стыка. Замороженные образцы после оттаивания в раннем возрасте показали незначительное снижение прочности при сжатии 13...27 %, что в среднем меньше величины критической прочности и полную потерю сцепления швов при изгибе 0...1 % с адгезионным и смешанным (адгезионно-когезионным) характером разрушения образцов. В результате

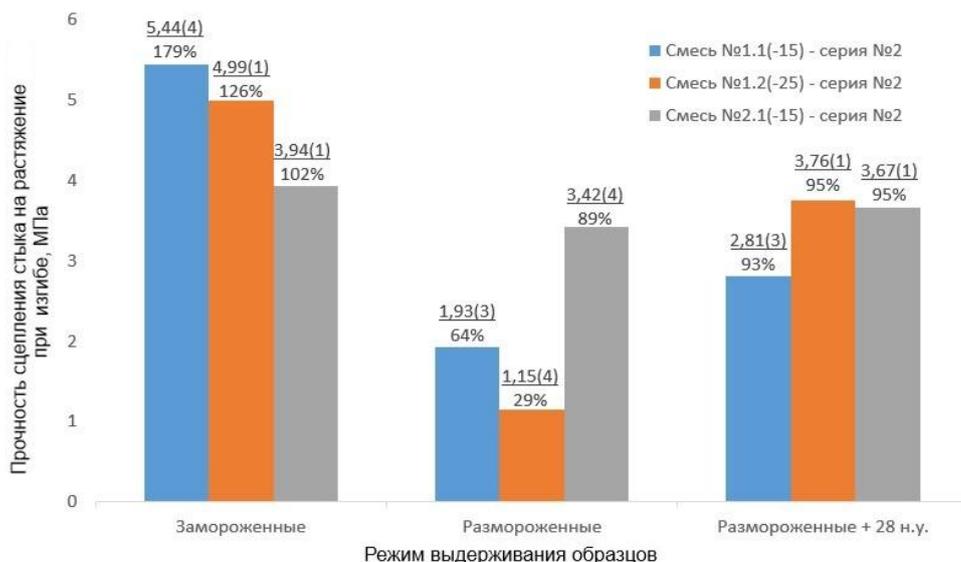


Рис. 4. Влияние замораживания на прочность сцепления бетонного стыка на растяжение при изгибе образцов в различных условиях (серия № 2):

над чертой указана прочность в МПа; под чертой – прочность в процентах от соответствующей прочности эталонных образцов, твердевших при н.у. 28 суток; значения в скобках указывают на характер разрушения образцов: 1 – когезионный по «старому» бетону; 2 – адгезионно-когезионный; 3 – преимущественно адгезионный; 4 – когезионный по «новому» бетону

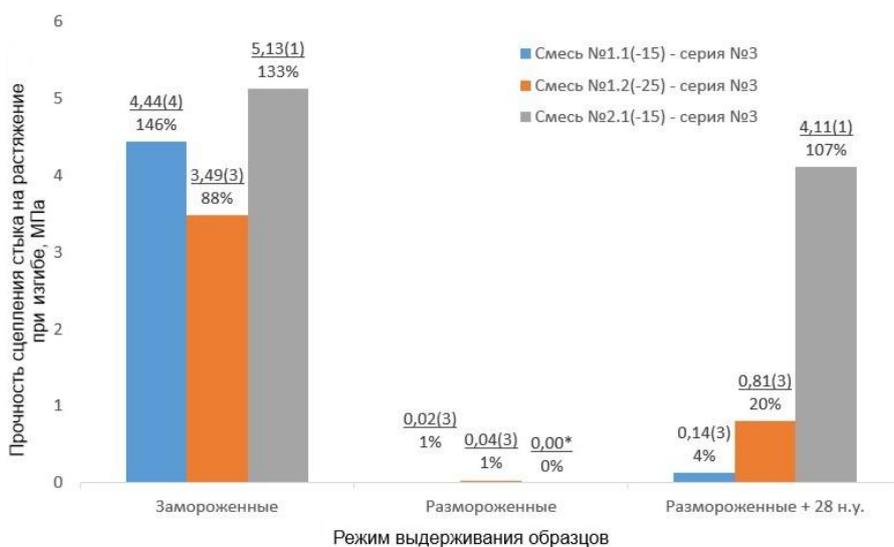


Рис. 5. Влияние замораживания на прочность сцепления бетонного стыка на растяжение при изгибе образцов в различных условиях (серия № 3): образцы со знаком «*» разрушились при минимальном приложении нагрузки; значения в скобках указывают на характер разрушения образцов: 1 – когезионный по «старому» бетону; 2 – адгезионно-когезионный; 3 – преимущественно адгезионный; 4 – когезионный по «новому» бетону

последующего твердения образцов в нормальных условиях происходит недобор прочности бетона при сжатии до 77...83 % проектной величины. Для состава № 1 характерен существенный недобор проектной прочности сцепления швов при изгибе до 4...20 % проектных значений с преимущественно адгезионным характером разрушения образцов. Для состава № 2 характерен набор прочности сцепления в стыке, превышающий проектное значение на 7 %, со смешанным адге

зионно-когезионным характером разрушения образцов. Существенное различие в результатах прочности сцепления швов для составов № 1 и состава № 2 можно объяснить наличием в составе № 2 армирующего микроволокна полимерного состава, который существенно повышает прочность бетона на растяжение при изгибе, несмотря на дефицит прочности бетонной (растворной) матрицы при сжатии после оттаивания и последующего твердения в нормальных условиях.

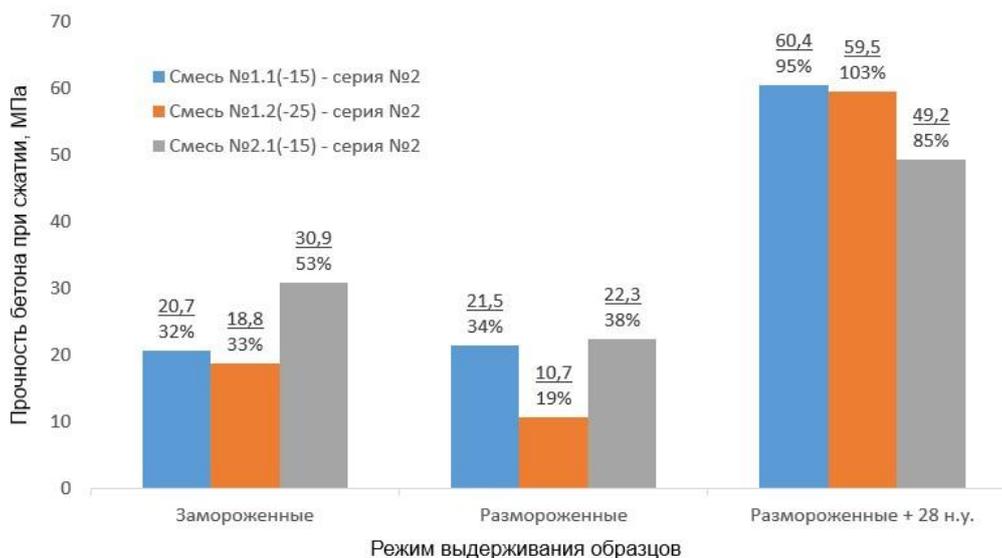


Рис. 6. Влияние замораживания на прочность бетона заделки стыка («новый» бетон) образцов-половинок при сжатии (серия № 2)

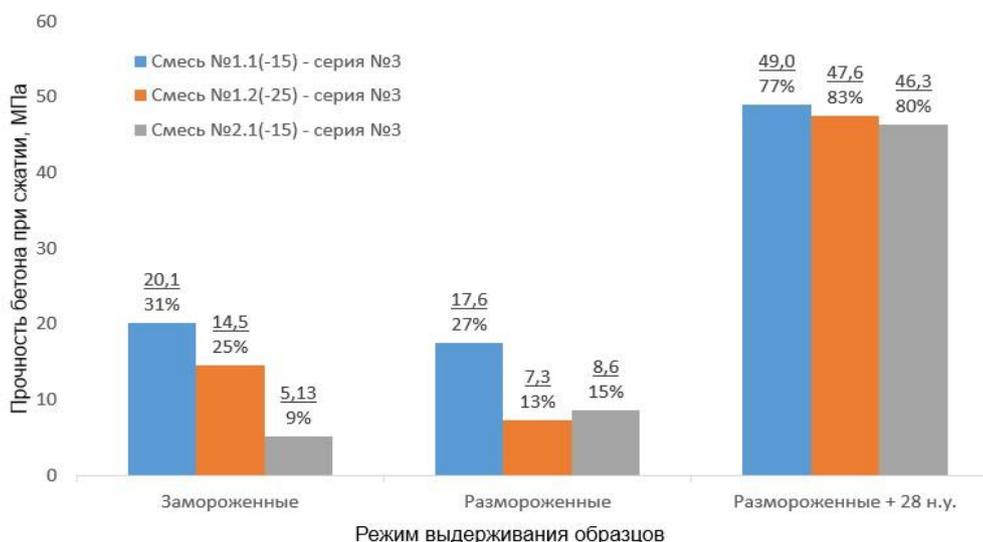


Рис. 7. Влияние замораживания на прочность бетона заделки стыка («новый» бетон) образцов-половинок при сжатии (серия № 3)

Заключение

В результате экспериментального исследования были выявлены качественные и количественные зависимости влияния замораживания на прочность сцепления в швах при изгибе. Подтверждается существенное влияние градиента тепло- и массопереноса на границе «старого» и «нового» бетона в стыке на прочность сцепления стыка. Показана эффективность предварительного прогрева «старого» бетона для обеспечения однородности стыка при зимнем бетонировании. Раннее замораживание «холодного» бетона (при прочности ниже критической) ограничивает применение «холодных» бетонов в технологии зимнего беспрогревного бетонирования ответственных стыков, работающих на растяжение при изгибе и срез, а также в сборно-монолитных конструкциях. Для устранения

этого ограничения предлагается применение дисперсно-армированных «холодных» бетонов, повышение начальной температуры укладки бетонной смеси при соответствующем обосновании и внедрение автоматизированных систем температурно-прочностного мониторинга бетона в стыках [28].

Литература

1. Precast reinforced concrete shear walls: State of the art review / S. Singhal, A. Chourasia, S. Chellappa, J. Parashar // *Structural Concrete*. – 2019. – Vol. 20(3). – P. 886–898. DOI: 10.1002/suco.201800129.
2. Yee, A.A. Structural and Economic Benefits of Precast. Prestressed Concrete Construction / A.A. Yee // *PCI Journal*. – 2001. – Vol. 46(4). – P. 34–42. DOI: 10.15554/pcij.07012001.34.42.

3. Николаев, С.В. Панельно-каркасное домостроение – новый этап развития КЖД / С.В. Николаев, А.К. Шрейбер, В.П. Этенко // *Жилищное строительство*. – 2015. – № 2. – С. 3–7.
4. Дубынин, Н.В. От крупнопанельного домостроения XX века к системе панельно-каркасного домостроения XXI века / Н.В. Дубынин // *Жилищное строительство*. – 2015. – № 10. – С. 12–19.
5. Сапачева, Л.В. Модернизация крупнопанельного домостроения – локомотив строительства жилья экономического класса / Л.В. Сапачева // *Жилищное строительство*. – 2011. – № 6. – С. 2–6.
6. Sorensen, J.H. Tensile capacity of loop connections grouted with concrete or mortar / J.H. Sorensen, L.C. Hoang, J.O. Olesen, G. Fischer // *Magazine of Concrete Research*. – 2017. – Vol. 69(17). – P. 892–904. DOI: 10.1680/jmacr.16.00466.
7. Elsayed, M. Experimental and analytical study on grouted duct connections in precast concrete construction / M. Elsayed, M.L. Nehdi // *Material and Structure*. – 2017. – Vol. 50:198. – Pp. 1–15. DOI: 10.1680/jmacr.16.00466.
8. FIB: bulletin No. 74. Planning and design handbook on precast building structures. Manual / Textbook. The International Federation for Structural Concrete (fib). – Switzerland, 2014. – 313 p.
9. FIB: bulletin No. 101. Precast Concrete in Tall Buildings. State-of-the-art report / The International Federation for Structural Concrete (fib) and Precast / Prestressed Institute (PCI). – Germany, 2021. – 234 p.
10. Фаликман, В.Р. Бетоны заданной функциональности – «Умные бетоны» / В.Р. Фаликман // *Материалы конференции ICCX, Россия*. 3–6 декабря 2019. – СПб., 2019. – С. 52–63.
11. Румянцев, Е.В. Особенности технологии применения мелкозернистых бетонов на основе сухих строительных смесей в монолитных стыках крупнопанельных зданий / Е.В. Румянцев // *Материалы конференции ICCX, Россия*. 1–4 декабря 2020. – СПб., 2020. – С. 55–57.
12. Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков / Е.В. Румянцев, А.Х. Байбурун, В.Г. Соловьев и др. // *Строительные материалы*. – 2021. – № 5. – С. 4–14. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14.
13. Динамика набора прочности самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов при зимнем бетонировании стыков / Е.В. Румянцев, А.Х. Байбурун, В.Г. Соловьев и др. // *Строительные материалы*. – 2021. – № 10. – С. 12–20. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-796-10-12-20.
14. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М.: ОНТИ, 1936. – 57 с.
15. Микульский, В.Г. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях / В.Г. Микульский, Л.А. Изгонин. – М.: Стройиздат, 1965. – 127 с.
16. Прочность контакта бетонов при устройстве технологических швов и стыков в железобетонных конструкциях / М.Н. Казан, С.Б. Коваль, Л.Б. Мельник, А.Х. Байбурун // *Строительное производство*. – 2021. – № 3. – С. 9–18.
17. Мустафин, Р.Р. Совершенствование технологии устройства стыков сборно-монолитных конструкций / Р.Р. Мустафин // *Вестник гражданских инженеров*. – 2012. – № 5(34). – С. 134–137.
18. Колчеданцев, Л.М. Применение разогретых бетонных смесей для повышения прочности стыка сборно-монолитных зданий / Л.М. Колчеданцев, О.Г. Ступакова, Р.Р. Мустафин // *Строительные материалы*. – 2012. – № 4. – С. 17–19.
19. Заделка стыков сборных железобетонных конструкций в зимнее время. – М.: Стройиздат, 1966. – 65 с.
20. Muslim, F. Improving bond strength and mass transport properties of spacer-concrete interface with textured spacers / F. Muslim, H.S. Wong, T.K.Q. Chiu, N.R. Buenfeld // *Materials and Structures*. – 2021. – Vol. 54:191. – P. 1–16 (191). DOI: 10.1617/s11527-021-01782-y.
21. Li, Ch., Experimental Research on Interfacial Bonding Strength between Vertical Cast-In-Situ Joint and Precast Concrete Walls // Ch. Li, Ya. Yang, J. Su, H. Meng, L. Pan, Sh. Zhao // *Crystals*. – 2021. – Vol. 11(494). – Pp. 1–15. DOI: 10.3390/cryst11050494
22. Головнев, С.Г. Сцепление бетона в зоне технологического шва / С.Г. Головнев, С.Б. Коваль, М.В. Молодцов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. – 2005. – Вып. 3. – № 13(53). – С. 71–74.
23. Иванов, Д.А. Влияние миграции влаги на прочность бетона при его укладке на мерзлое бетонное основание / Д.А. Иванов // *Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VII очной Международной научно-практической конференции*. – Саратов: СарГАУ, 2018. – С. 129–140.
24. Effects of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding / Y. He, X. Zhang, R.D. Hooton, X. Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2017. – Vol. 151. – P. 582–590. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.049.
25. Santos, P.M.D. Factors Affecting Bond between New and Old Concrete / P.M.D. Santos, E.N.B. Santos // *ACI Material Journal*. – 2011. – Vol. 108(4). – Pp. 449–456.
26. Kara, I.B. Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete / I.B. Kara // *Arabian Journal for Science and Engineering*. – 2021. – Vol. 46. – P. 10397–10408. DOI: 10.1007/s13369-021-05400-5.

27. Мозгалева, К.М. Особенности раннего замораживания самоуплотняющихся бетонов / К.М. Мозгалева, С.Г. Головнев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15. – № 38(297). – С. 43–45.

28. Румянцев, Е.В. Температурный мониторинг монолитных стыков крупнопанельных зданий при зимнем бетонировании / Е.В. Румянцев, А.А. Видякин, А.Х. Байбури // Бетон и железобетон. – 2020. – № 1(601). – С. 42–48.

Румянцев Евгений Владимирович, руководитель Управления R&D Департамента продукта, ООО «ПИК-Строительные Технологии» (Москва), jekarum@yandex.ru

Соловьев Вадим Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии вяжущих веществ и бетонов», Московский государственный строительный университет (Москва), s_vadim_g@mail.ru

Байбури Альберт Халитович, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительное производство и теория сооружений», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), abayburin@mail.ru

Поступила в редакцию 24 июня 2022 г.

DOI: 10.14529/build220307

INFLUENCE OF FREEZING ON THE BOND STRENGTH OF CONCRETE JOINTS IN WINTER CONCRETING

E.V. Rumyantsev¹, jekarum@yandex.ru

V.G. Solovyev², s_vadim_g@mail.ru

A.Kh. Baiburin³, abayburin@mail.ru

¹The Head of R&D of the Product Department, LLC “PIK-Constructional Technologies”, Moscow, Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

³South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

The object of this study is concrete seams and joints in large-panel buildings. The research was carried out in order to assess the effect of early freezing on the adhesion strength of concrete joints and to identify the characteristics of active and passive methods of winter concreting of joints in prefabricated structures. Laboratory research methods were applied on prism samples made of self-sealing fine-grained concrete mixtures. The dependences of the effect of freezing on the adhesion strength of concrete joints and the compressive strength of concrete at an early age as a result of freezing, thawing and subsequent hardening under normal conditions were obtained. A favorable effect on the strength of preheating joints was determined. An assessment of the shortage of the design strength of joints during "cold" concreting was performed. The results of the study make it possible to significantly expand the scope of application and increase the energy efficiency of non-heating methods of winter concreting.

Keywords: winter concreting, the adhesion strength of concrete joints “old” and “new” concrete, cold concrete, self-compacting fresh concrete.

References

1. Singhal S., Chourasia A., Chellappa S., Parashar J. [Precast Reinforced Concrete Shear Walls: State of the Art Review]. *Structural Concrete*, 2019, vol. 20(3), pp. 886–898. DOI: 10.1002/suco.201800129.
2. Yee A.A. [Structural and Economic Benefits of Precast. Prestressed Concrete Construction]. *PCI Journal*, 2001, vol. 46(4), pp. 34–42. DOI: 10.15554/pci.07012001.34.42.
3. Nikolayev S.V., Shreyber A.K., Etenko V.P. [Panel-Frame Housing Construction – a New Stage in the Development of Frame-Panel Housing Construction]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2015, no. 2, pp. 3–7. (in Russ.)
4. Dubynin N.V. [From Large-Panel Housing Construction of the Twentieth Century to the System of Panel-Frame Housing Construction of the XXI Century]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2015, no. 10, pp. 12–19. (in Russ.)
5. Sapacheva L.V. [Modernization of Large-Panel Housing Construction – the Locomotive of Economy-Class Housing Construction]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo* [Housing Construction], 2011, no. 6, pp. 2–6. (in Russ.)

6. Sorensen J.H., Hoang L.C., Olesen J.O., Fischer G. [Tensile Capacity of Loop Connections Grouted with Concrete or Mortar], *Magazine of Concrete Research*, 2017, vol. 69(17), pp. 892–904. DOI: 10.1680/jmacr.16.00466.
7. Elsayed M., Nehdi M.L. [Experimental and Analytical Study on Grouted Duct Connections in Precast Concrete Construction]. *Material and Structure*, 2017, vol. 50:198, pp. 1–15. DOI: 10.1680/jmacr.16.00466.
8. [Planning and Design Handbook on Precast Building Structures. Manual/Textbook]. [The International Federation for Structural Concrete (fib). FIB: Bulletin no. 74]. Switzerland, 2014. 313 p.
9. [Precast Concrete in Tall Buildings]. [State-of-the-Art Report / The International Federation for Structural Concrete (fib) and Precast/Prestressed Institute (PCI). FIB: Bulletin no. 101]. Germany, 2021. 234 p.
10. Falikman V.R. [Concretes of Established Functionality – “Smart concretes”]. *Materialy konferentsii ICCX, Rossiya* [Conference Proceedings ICCX, Russia]. St. Petersburg, 2019, pp. 52–63. (in Russ.)
11. Rumyantsev E.V. [Features of the Technology of Using Fine-Grained Concretes Based on Dry Building Mixtures in Monolithic Joints of Large-Panel Buildings]. *Materialy konferentsii ICCX, Rossiya* [Conference Proceedings ICCX, Russia]. St. Petersburg, 2020, pp. 55–57. (in Russ.)
12. Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'yev V.G., Akhmed'yarov R.M., Bessonov S.V. [Technological Parameters of the Quality of Self-Compacting Fine-Grained Fresh Concrete for Winter Concreting]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2021, no. 5, pp. 4–14. (in Russ.) DOI: 10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14.
13. Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'yev V.G., Akhmed'yarov R.M., Bessonov S.V. [Dynamics of Strength Gain of “Cold” Self-Compacting Fine-Grained Concrete during Winter Concreting of Joint]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2021, no. 10, pp. 12–20. (in Russ.) DOI: 10.31659/0585-430X-2021-796-10-12-20.
14. Gvozdev A.A., Vasil'yev A.P., Dmitriyev S.A. [Study of the Adhesion of New Concrete with Old in the Joints of Precast Concrete Structures and Working Seams]. Moscow, ONTI Publ., 1936. 57 p.
15. Mikul'skiy V.G., Igonin L.A. *Stsepleniye i skleivaniye betona v sooruzheniyakh* [Adhesion and Bonding of Concrete in Structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1965. 127 p.
16. Kagan M.N., Koval' S.B., Mel'nik L.B., Bayburin A.Kh. [The Strength of Concrete-to-Concrete Contact During the Construction of Technological Seams and Joints in Reinforced Concrete Structures]. *Stroitel'noye proizvodstvo* [Construction Production], 2021, no. 3, pp. 9–18. (in Russ.)
17. Mustafin R.R. [Improving the Technology of the Device of Joints of Prefabricated Monolithic Structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2012, no. 5(34), pp. 134–137. (in Russ.)
18. Kolchedantsev L.M., Stupakova O.G., Mustafin R.R. [The Use of Heated Concrete Mixtures to Increase the Joint Strength of Prefabricated Monolithic Buildings]. *Stroitel'nyye materialy* [Construction Materials], 2012, no. 4, pp. 17–19. (in Russ.)
19. *Zadelka stykov sbornykh zhelezobetonnykh konstruksiy v zimneye vremya* [Sealing of Joints of Precast Reinforced Concrete Structures in Winter]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1966. 65 p.
20. Muslim F., Wong H.S., Chiu T.K.Q., Buenfeld N.R. [Improving Bond Strength and Mass Transport Properties of Spacer-Concrete Interface with Textured Spacers]. *Materials and Structures*, 2021, vol. 54:191, pp. 1–16 (191). DOI: 10.1617/s11527-021-01782-y.
21. Li Ch., Ya. Yang, J. Su, H. Meng, L. Pan, Sh. Zhao [Experimental Research on Interfacial Bonding Strength between Vertical Cast-In-Situ Joint and Precast Concrete Walls]. *Crystals*, 2021, vol. 11(494), pp. 1–15. DOI: 10.3390/cryst11050494
22. Golovnev S.G., Koval' S.B., Molodtsov M.V. [Concrete Adhesion in the Zone of Technological Seam]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2005, iss. 3, no. 13(53), pp. 71–74. (in Russ.)
23. Ivanov D.A. [The Effect of Moisture Migration on the Strength Of Concrete when it is Laid on a Frozen Concrete Base]. *Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya: Materialy VII ochnoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual Problems and Prospects of Development of Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply. Materials of the VII Intramural International Scientific and Practical Conference]. Saratov, SarGAU Publ., 2018, pp. 129–140 (in Russ.)
24. He Y., Zhang X., Hooton R.D., Zhang X. [Effects of Interface Roughness and Interface Adhesion on New-To-Old Concrete Bonding]. *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 151, pp. 582–590. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.049.
25. Santos P.M.D., Santos E.N.B. [Factors Affecting Bond between New and Old Concrete]. *ACI Material Journal*, 2011, vol. 108(4), pp. 449–456.
26. Kara I.B. [Experimental Investigation of the Effect of Cold Joint on Strength and Durability of Concrete]. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2021, vol. 46, pp. 10397–10408. DOI: 10.1007/s13369-021-05400-5.

27. Mozgalev K.M., Golovnev S.G. [Features of Early Freezing of Self-Compacting Concrete]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2012, iss. 15, no. 38(297), pp. 43–45. (in Russ.)

28. Rumyantsev E.V., Vidyakin A.A., Bayburin A.Kh. [Temperature Monitoring of Monolithic Joints of Large-Panel Buildings during Winter Concreting]. *Beton i zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete]*, 2020, no. 1(601), pp. 42–48. (in Russ.)

Received 24 June 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Румянцев, Е.В. Влияние замораживания на прочность сцепления в бетонных швах при зимнем бетонировании / Е.В. Румянцев, В.Г. Соловьев, А.Х. Байбури // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 61–70. DOI: 10.14529/build220307

FOR CITATION

Rumyantsev E.V., Solovyev V.G., Baiburin A.Kh. Influence of freezing on the bond strength of concrete joints in winter concreting. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2022, vol. 22, no. 3, pp. 61–70. (in Russ.). DOI: 10.14529/build220307
