

Прочность контакта бетонов при устройстве швов и стыков

М.Н. Каган¹, С.Б. Коваль², М.В. Молодцов³

^{1,2}*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

³*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет*

Аннотация: В связи с широким применением монолитных и сборно-монолитных конструкции из железобетона повышается актуальность вопроса обеспечения надежного контакта бетонов в швах и стыках в зоне соприкосновения вновь укладываемого (так называемого «нового») бетона с бетоном, который уже имеет определенную прочность (так называемый «старый» бетон). В работе было рассмотрено влияние рН среды на прочность сцепления «нового» и «старого» бетона, возникающая при выполнении стыков в сборно-монолитных конструкциях и организации технологических швов бетонирования в монолитном строительстве. В ходе проведения экспериментальных исследований было использовано стандартные методики. Получены экспериментальные данные, указывающие на влияние рН «новой» среды на прочность сцепления «нового» укладываемого бетона с основанием из «старого» ранее уложенного бетона. Проведен анализ и сопоставление полученных результатов с данными исследований, проведенных ранее. Сформулированы рекомендации, способствующие повышению прочности контакта бетонов в швах и стыках при возведении монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкциях.

Ключевые слова: соединение «нового» и «старого» бетона, технологический шов бетонирования, монолитные железобетонные конструкции, сборные железобетонные конструкции.

Введение

В настоящее время большой распространенностью пользуются здания из монолитного железобетона, кроме этого широко используются и сборно-монолитные конструкции [1]. При устройстве как монолитных, так и сборно-монолитных конструкций, непременно появляется необходимость обеспечить надежное соединение вновь укладываемого бетона с бетоном, набравшим определенную прочность ранее.

В ранее проведенных исследованиях уже описывалось негативное влияние именно шва или стыка бетонирования на общую устойчивость, жесткость и несущую способность конструкций здания даже если данный шов выполнен качественно и без дефектов [2-4]. Прочностные и жесткостные характеристики конструкции ухудшаются по причине того, что величина

сцепления вновь укладываемого бетона с ранее уложенным значительно ниже, чем у монолитной конструкции. В результате данные места конструкций отличаются от монолитного бетона не только по прочности, но и по другим различным характеристикам: сниженная жёсткость, несущая способность, трещиностойкость, водонепроницаемость и морозостойкость и т.п.

В этой связи исследования, направленные на повышение сцепления бетонов при устройстве рабочих швов и замоноличивания стыков являются на данный момент актуальными.

Ранее в работе Хе [5] была предложена модель, объясняющая механизм связи «нового» бетона со «старым», и там же подчеркивается то, что переходная зона между «старым» и «новым» бетоном является ключевой зоной всего контакта двух бетонов. В данной работе также отмечено, что межфазная шероховатость влияет на проницаемый слой, а свойства вновь укладываемого состава могут повлиять на реакционный слой, что способствует лучшему сцеплению «нового» бетона со «старым».

Все факторы, от которых зависит прочность и долговечность связи двух бетонов в шве можно разделить на три основные группы: во-первых это характеристики бетона - основания (т.е. «старого» бетона); во-вторых – характеристики вновь укладываемого (т.е. «нового») бетона и технология его укладки на основание; и в-третьих – условия окружающей среды, при которой производятся работы [6,7].

В ЮУрГУ на кафедре Строительное производство и теория сооружений с 2005 года проведено много исследований в этой области. Ученые исследовали прочность бетона в швах, оценивали влияние на прочность различных условий окружающей среды [8], а также влияние свойств самих бетонов и способов их укладки на основание [9, 10, 11]. В данном же эксперименте предполагалось проверить гипотезу, что с

увеличением уровня рН среды вновь укладываемой бетонной смеси будет наблюдаться повышение проникающей способности и адгезии к бетонному клинкерному основанию.

Материалы и методы

Эксперименты проводились на клинкерных и шлакощелочных бетонах трех составов. Расход материалов для различных экспериментальных составов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расход материалов экспериментальных составов

№ Состава	Расход на 1м ³ бетона					R28, МПа
	Вяжущее/кг	Песок, кг	Щебень фракции 5-20 мм, кг	Добавка/ кг	Раствор затворения, л	
1	ПЦ М500/420	770	1050	СП- 1ВП/7	185	49,5
2	Шлак/425	750	1095	СП- 1ВП/7	170	34,6
3	Шлак/425	750	1095	СП- 1ВП/7	170	39,3

Для подбора концентрации растворов затворения использованы справочные данные [12]. Уровень рН водных растворов не превышал 12,5, и этот показатель находится в пределах нормативных значений (ГОСТ 31356-2007) [13]. Показатель рН контролировался электронным рН-метром «РН-009 II». Основные характеристики затворяющих жидкостей для различных экспериментальных составов представлены в табл. 2.

Для определения марочной прочности состава экспериментальные серии образцов выдерживались в течение 28 суток. Промежуточный контроль прочности осуществлялся в возрасте 3-х и 14-ти суток твердения. Общие графики набора прочности бетона образцов для всех составов представлены на рис. 1, а среднее значение марочной прочности для каждого состава представлены в табл. 1.

Табл. 2

Характеристики затворяющей жидкости и экспериментальных составов

№ состава	Характеристики затворяющей жидкости			
	Название	Хим. формула	ρ , г/см ³	pH
1	Вода	H ₂ O	0,998	7,1
2	Водный раствор карбоната натрия	Na ₂ CO ₃	1,14	10,9
3	Водный раствор гидроксида натрия	NaOH	1,16	12,4

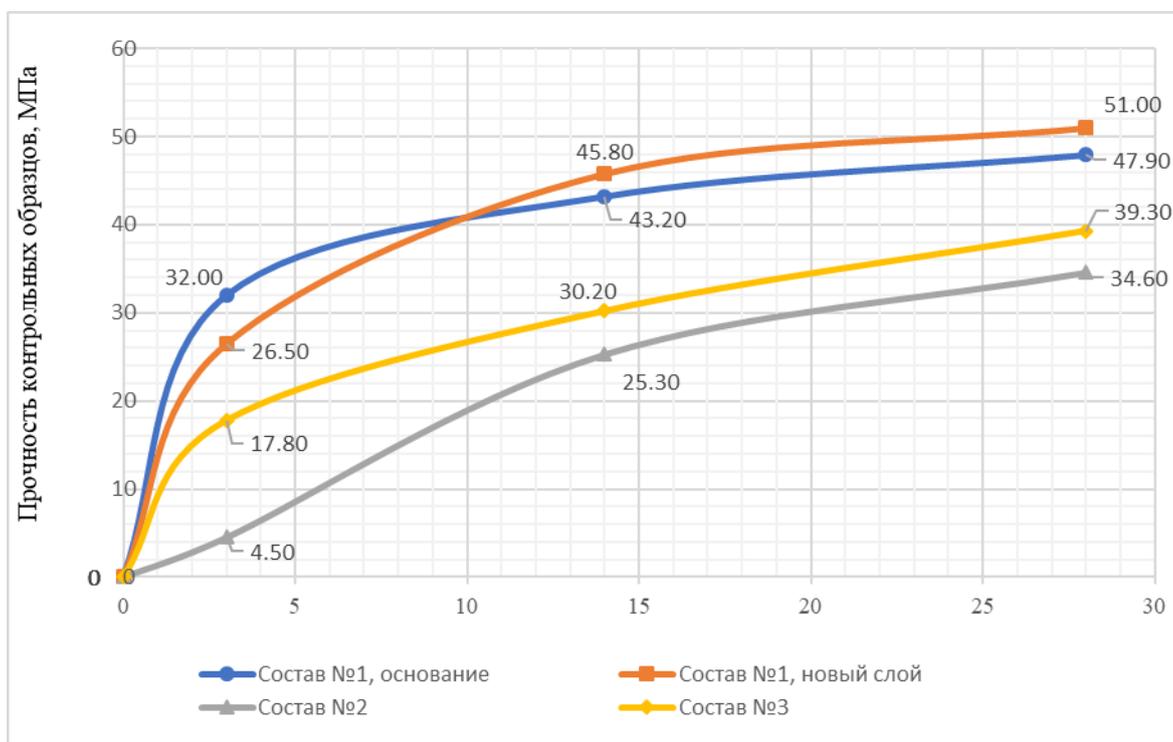


Рис. 1. – Графики набора прочности бетона

Прочность сцепления определялась по силе отрыва двух образцов друг от друга, что соответствует стандартной методике по ГОСТ 31356-2007.

В качестве первого образца-основания была изготовлена плита из бетона класса В30 длиной 300 мм, шириной 150 мм и высотой 40 мм. Данная плита выдерживалась 28 суток в камере нормального твердения. После этого при помощи специальных круглых трафаретов диаметром 50 мм на эту плиту укладывалась новая бетонная смесь из экспериментальных составов. Толщина вновь укладываемого слоя составляла 10 мм. По истечении 27 суток

к верхнему образцу эпоксидным клеем приклеивался штамп установки для отрыва. Общая схема проведения испытаний при определении прочности сцепления раствора с основанием представлена на рисунке 2.

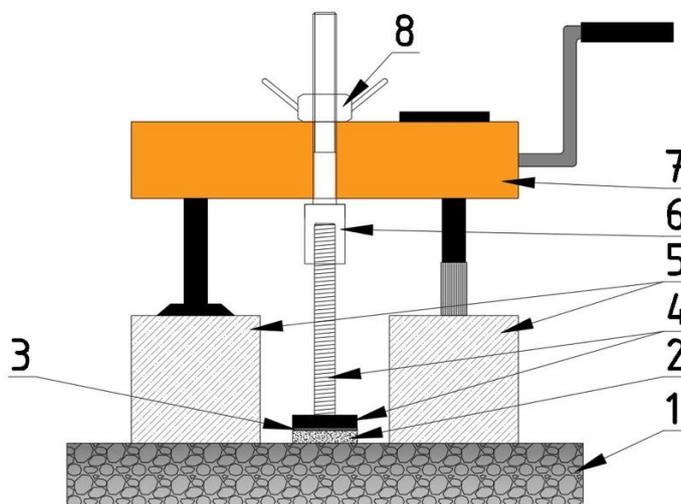


Рис. 2. – Схема проведения испытаний:

1 – бетонная плита; 2 – образец «нового» бетона ($d=50\text{мм}$, $h=10\text{мм}$); 3 – слой эпоксидного клея; 4 – Металлический штамп (размер пятки: $d=50\text{мм}$, $h=10\text{мм}$); 5 – бетонные блоки $100\times 100\times 100\text{мм}$; 6 – переходник М16-М18; 7 – прижимная гайка М18

Испытания на отрыв производились установкой ОНИКС-1.ОС.100, представленной на рис. 3.



Рис. 3. – Установка ОНИКС-1.ОС.100

Прочность сцепления бетона образца с плитой-основанием определяется максимальной силой, при которой происходит отрыв образца от основания. Сила должна быть приложена перпендикулярно к поверхности образца. При испытании по данной методике возможны следующие варианты отрыва образцов от основания (рис. 4).

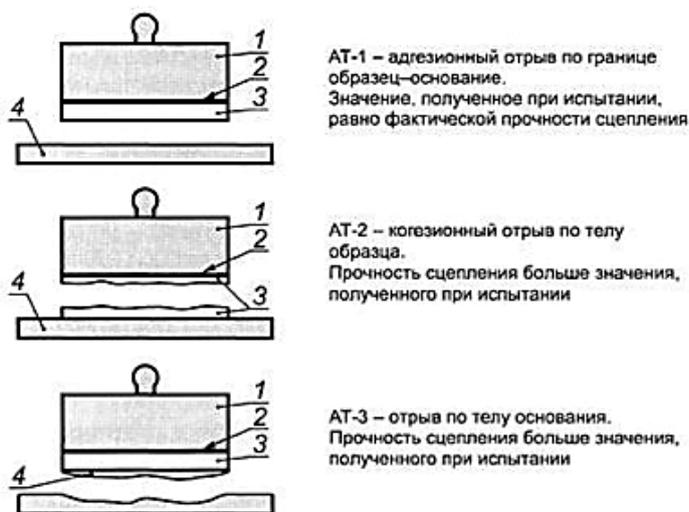


Рис. 4. Варианты отрыва образца:

1 – металлический штамп, 2 – клей, 3 – образец, 4 – бетонная плита (основание)

Вариант отрыва AT-3, в котором отрыв происходил по телу плиты-основания, характерен для образцов состава №1 (клинкерный бетон) и состава №3 (шлакощелочной бетон, рН=12.4). У образцов бетона состава №2 отрыв произошел по границе образец-основание, что соответствует варианту отрыва AT-1, и означает, что то значение, которое получилось в ходе испытания, и есть фактическая прочность сцепления.

В каждом единичном измерении прочность сцепления с основанием определялась как отношение максимальной силы отрыва, к площади контакта поверхности сцепления. Итоговым результатом принимали среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов в одной серии. Все значения округлялись до 0,1 МПа.

Результаты

Результаты эксперимента приведены в табл. 3. Результаты приведены в относительном сравнении с бетонами на клинкерном вяжущем.

Таблица 3

Прочность адгезии бетонных образцов с основанием

№ состава	Тип смеси, уровень pH затворяющей жидкости	Прочность сцепления, МПа	Относительная прочность сцепления, %
1	Клинкерная, pH = 7,1	0,4	100
2	Шлакощелочная, pH = 10,9	0,2	50
3	Шлакощелочная, pH = 12,4	0,5	125

Из данных, представленных в таблице 3 видно, что величина сцепления меняется в зависимости от вида вяжущего и уровня pH затворяющей жидкости. Самое большое изменение отмечается для состава №2 (шлакощелочной бетон на растворе кальцинированной соды). Величина относительной прочности сцепления для данных образцов составляет 50%, или в 2 раза меньше прочности контрольных образцов. Однако это может быть следствием того, что образцы состава №2 имеют значительно низкие значения прочности в целом. Это прослеживается и при кинетике набора прочности и на конечной 28-ми суточная прочность бетона данного состава (см. рис. 1).

А вот прочность сцепления образцов состава №3 (щелочной компонент 12,4, шлакощелочная смесь с затворяющей жидкостью из водного раствора гидроксида натрия) выше прочности сцепления образцов состава №1 (клинкерное вяжущее) на 25%. При этом, характер отрыва у этих образцов одинаковый, и происходит по варианту АТ-3 (см. рис. 3). При этом можно говорить о повышенной адгезии шлакощелочной смеси с pH 12,4.

Выводы

Результаты проведенного эксперимента показывают, что шлакощелочные вяжущие с низкой рН средой обладают невысокой активностью и сцеплением, однако с увеличением рН среды происходит увеличение активности, что приводит к большему сцеплению.

Данные выводы совпадают с выводами профессора В.Д. Глуховского, который описывал увеличение активности шлаковых вяжущих при повышении их уровня рН [14]. Вероятно, это связано с тем, что с повышением уровня рН среды вновь укладываемой бетонной смеси увеличивается ее проникающая способность, а следовательно, и адгезия [11].

Литература

1. Иванов С.И., Тухтаев Б.Х. Дефектоскопия рабочих швов бетонирования // Бетон и железобетон. 2010. № 3. С. 21-24.
2. Коянкин А.А. Белецкая В.И., Гужевская А.И. Влияние шва бетонирования на работу конструкции // Вестник МГСУ. Строительство. Архитектура. 2014. №3. С. 76-80.
3. Мохаммед Джалил Мохаммед Навшад. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных плит перекрытий с дефектами: автореф. дис. ...канд. техн. наук. М., 2004. 15с.
4. Issa C.A., Gerges N.N., Fawaz S. The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture // Case Studies in Construction Materials. 2014. Vol. 1. Pp. 25-32.
5. He Y. Effects of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding / Y. He et al. // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 151. Pp. 582-590.
6. Silfwerbrand J. Improving concrete bond in repaired bridge decks // Concrete International. 1990. Vol. 36. Pp. 61-66.

7. Silfwerbrand J. Shear Bond Strength in Repaired Concrete Structures // Materials & Structures. 2003. Vol. 36. Pp. 419-424.

8. Головнев С.Г., Коваль С.Б., Молодцов М.В. Сцепление бетона в зоне технологического шва // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». Вып. 3. 2005. № 13 (53). С. 71-74.

9. Koval S.B., Kagan M.N. Analysis of Various Media Concrete Penetrating Ability Depending on Different Factors Affecting Water Absorption // Procedia Engineering. 2017 Vol. 206 Pp. 819-825. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.557.

10. Kagan M.N, Baiburin A.K., Sapozhnikov S.B. Research the influence of acoustical treatment of concrete on its water absorption //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 451. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012087.

11. Каган М.Н., Байбурин А.Х., Коваль С.Б. Исследование проникающей способности различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов, влияющих на его влагопоглощение // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2020. № 1 (20). 34-45. DOI: 10.14529/build200104.

12. Ефимов А.И. Свойства неорганических соединений. Справочник. Л.: Химия, 1983. 392 с.

13. Зиневич А.М., Глазков В.И., Котик В.Г. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. М.: Недра, 1975. 288 с.

14. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Изд. Будивельник, 1978. 184 с.

References

1. Ivanov S.I. Concrete and reinforced concrete. 2010. №3. pp. 21-24.
2. Koyankin A.A., Beletskaya V.I., Guzhevskaya A.I. Herald of MSUCE. Building. Architecture. 2014. №3. pp. 76-80.

3. Mohammed Jalil Mohammed Navshad. Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija monolitnyh zhelezobetonnyh plit perekrytij s defektami [Study of a strain-deforming state of monolithic concrete floor slabs with defects]. Dis.... Cand. tehn. nauk: 05.23.01. Moskva. 2004. 15 p.
 4. Issa C. A., Gerges N. N., Fawaz S. Case Studies in Construction Materials. 2014. Vol.1. pp. 25-32.
 5. He Y. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 151. pp. 582-590.
 6. Silfwerbrand J. Concrete International. 1990. Vol. 36. pp. 61-66.
 7. Silfwerbrand J. Materials & Structures. 2003. Vol. 36. pp. 419-424.
 8. Golovnev S.G., Koval S.B., Molodtsov M.V. Vestnik Juzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija Stroitel'stvo i Arhitektura [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture]. - 2005. Issue 3. №13 (53). pp. 71-74.
 9. Koval S.B., Kagan M.N. Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. pp. 819-825. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.557.
 10. Kagan M.N., Baiburin A.Kh., Sapozhnikov S.B. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol.451. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012087.
 11. Kagan M.N., Baiburin A.Kh, Koval S.B. Vestnik Juzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Serija Stroitel'stvo i Arhitektura [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture]. 2020. Vol. 20. no. 1. pp. 34-45. DOI: 10.14529/build200104.
 12. Efimov A.I. Svojstva neorganicheskikh soedinenij. Spravochnik [Properties of inorganic compounds. Directory]. Leningrad: Himiya, 1983. 392 p.
 13. Zinevich A.M., Glazkov V.I., Kotik V.G. Zashhita truboprovodov i rezervuarov ot korrozii [Protection of pipelines and reservoirs from corrosion]. Moskva: Nedra. 1975. 288 p.
-



14. Glukhovsky V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshhelochnye cementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]. Kiev: Pub. Budivelnik. 1978. 184 p.