

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТЕПЕНЬ ПОВРЕЖДЁННОСТИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА КРЕМНЕБЕТОНА

Сланевский С. И. (*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*)

Исследован ряд рецептурно-технологических приёмов, направленных на снижение степени технологической повреждённости структуры и улучшение строительно-технических свойств кремнебетона.

1. Анализ основных рецептурно-технологических факторов, определяющих кинетику структурообразования бетона и степень его технологической повреждённости

Твердение бетона – важнейшая стадия технологической переработки, в значительной степени определяющая структуру бетона и, следовательно, его строительно-технические свойства. В условиях одновременного действия ряда структурообразующих и деструктивных факторов процесс структурообразования может развиваться с различной скоростью и полнотой протекания реакции. Для управления технологическим процессом, позволяющим обеспечить условия направленного структурообразования, крайне необходимо выявить и изучить степень и характер влияния как структурообразующих, так и деструктивных факторов.

К основным рецептурно-технологическим факторам, определяющим кинетику процесса структурообразования и степень технологической повреждённости бетона, относятся: факторы, характеризующие вид и минералогический состав вяжущего; факторы, определяющие температурный режим твердения, и факторы, характеризующие вид и концентрацию химических добавок.

В настоящее время известны вяжущие с широким спектром свойств и кинетикой структурообразования – от вяжущих, которые твердеют в естественных условиях в течение нескольких минут, до вяжущих, проявляющих способность к твердению только при условии длительного гидротермального воздействия.

При заданном виде вяжущего наиболее действенным технологическим приёмом в управлении процессом структурообразования бетона является тепловая обработка. Она позволяет значительно интенсифицировать процесс твердения, в результате чего сокращается технологический цикл и повышается оборачиваемость основного технологического оборудования. Однако характер влияния тепловой обработки на физико-механические свойства неоднозначен – наряду с интенсификацией процесса структурообразования при повышении температуры наблюдаются и деструктивные явления. Причины этих явлений на различных стадиях тепловой обработки различны.

Тепловая обработка бетона делится на 4 стадии, сумма продолжительностей которых характеризует собой режим. К этим стадиям относятся:

- продолжительность и условия выдержки бетона перед термообработкой;
- скорость подъёма температуры до температуры изотермической выдержки;
- продолжительность изотермической выдержки;
- скорость остывания.

Предварительная выдержка бетона позволяет значительно уменьшить и даже полностью устранить деструктивные процессы, наблюдаемые в период подъёма температуры, причиной которых является различная степень увеличения объёмов твёрдой, жидкой и газообразной фаз.

Оптимальная продолжительность предварительной выдержки – величина непостоянная и зависит от вида и активности вяжущего, водовяжущего отношения, температуры окружающей среды, наличия добавок и пр. Все факторы, которые способствуют ускорению твердения бетона, обеспечивают и сокращение длительности предварительной выдержки.

Время разогрева бетонной смеси или скорость подъёма температуры также является объектом исследования и оптимизации, так как именно на этой стадии тепловой обработки в основном и происходят деструктивные процессы. Скорость подъёма температуры зависит от прочности, которую приобрёл бетон в процессе предварительной выдержки. С повышением этой прочности скорость подъёма температуры повышается. Для минимизации деструктивного эффекта, имеющего место в период подъёма температуры, в последнее время применяют предварительный разогрев бетонной смеси.

На стадии изотермической выдержки температура по сечению изделия выравнивается. В этот период наблюдается интенсивный рост

прочности. Физические процессы, связанные с температурными градиентами, вызывающие деформацию структуры, в основном прекращаются, объём бетона достигает наибольшего значения и на этом уровне стабилизируется. Этот период для обычных бетонов составляет 4-8 часов. При дальнейшем же изотермическом прогреве наблюдается медленный рост прочности с периодическим её сбросом в результате возникновения собственных напряжений. Сбросы прочности представляют интерес, так как они наблюдаются не только при тепловой обработке, но и при нормальном твердении.

Стадия остывания бетона также является регламентируемым периодом, поскольку превышение предельно допустимого температурного градиента вызывает обильное образование микротрещин, в результате чего значительно снижаются прочностные показатели и показатели стойкости бетона.

Управление процессом структурообразования бетона эффективно осуществляется с помощью химических добавок – регуляторов процессов схватывания и твердения бетона. Эти добавки широко известны и исследования в этой области продолжаются.

2. Особенности кремнебетона, определяющие его структуру и свойства

Основными особенностями кремнебетона, определяющими его структуру и свойства, являются:

1. В качестве вяжущего используется двухкомпонентная смесь, состоящая с одной стороны из активных щелочесодержащих форм кремнезёма и с другой – тонкоизмельчённого кварцевого песка, исполняющего роль затравки (подложки).

2. В качестве активного щелочесодержащего кремнезёма чаще всего используется техногенное высококремнезёмистое стекло (ВКС вяжущее) либо его тридимито-кристобалитовая модификация (ТК вяжущее)

3. Для получения кремнебетона, характеризующегося высокими строительно-техническими свойствами, непременным условием является использование активного кремнезёма в виде песчаных фракций с предельной крупностью зёрен 0,63 или 1,25 мм, а тонкоизмельчённого кварцевого песка с удельной поверхностью более 300 м²/кг. При использовании одного и другого компонента в тонкоизмельчённом состоянии в процессе термообработки кремнебетон на 3-5 % вспучивается, структура кремнебетона характеризуется наличием множественных трещин. Строительно-технические свойства кремнебетона на порядок ухудшаются.

4. Растворения активных форм кремнезёма и омоноличивание полученным гидросиликатом тонкоизмельчённого кварцевого песка является основой механизма структурообразования и осуществляется только в условиях автоклавной гидротермальной обработки. В естественных условиях кремнебетон практически не твердеет.

Установлено, что основными факторами, определяющими длительность термообработки при заданной температуре и давлении являются размер частиц активного кремнезёма, его щёлочность и тонкость помола затравки.

Изучена также растворимость как аморфного, так и кристаллического кремнезёма в щелочной среде с концентрацией оксида натрия от 0 до 6 % в диапазоне температур от 0 до 300°C. Установлено, что растворимость кремнезёма с повышением щёлочности и температуры среды повышается. При этом время изотермической выдержки, достаточное для полного протекания процесса структурообразования, определено косвенным образом по визуальной оценке степени растворения зёрен техногенного кремнезёма, которое составляет:

- для кремнебетона на основе ВКС вяжущего – до 21 ч;
- для кремнебетона на основе ТК вяжущего – до 72 ч.

Кинетика изменения свойств кремнебетона как на ВКС, так и на ТК вяжущем не исследована, что не позволяет эффективно управлять процессом структурообразования.

Изложенное послужило предпосылкой для проведения исследований, направленных на изучение технологических приёмов, минимизирующих технологическую повреждённость кремнебетона в процессе его тепловой обработки.

3. Особенности методики проведения экспериментальных работ.

Исследование проводили на образцах-кубах с размером ребра 10 см. В процессе исследований использовались стандартные методы испытания образцов. Предполагая по аналогии с обычным цементным бетоном, что изменение свойств кремнебетона происходит по сложной зависимости, ставилась задача изучить характер изменения основных свойств в широком диапазоне изменяемых факторов с достаточно малым интервалом варьирования.

Для выявления факторов, оказывающих существенное влияние, как на процесс структурообразования, так и на технологическую повреждённость кремнебетона проведен ряд опытов. При этом основное внимание было сосредоточено на малоизученном ТК вяжущем.

Было замечено, что образцы из кремнебетона, на ТК вяжущем в процессе тепловой обработки на 1-2 мм вспучиваются, в результате

чего на боковых гранях возникают горизонтальные трещины. Как концентрация трещин, так и ширина, их раскрытия по высоте образца неравномерны и возрастают от нижней части к верхней. По нашему мнению это является следствием того, что пластическая прочность, которую приобретает кремнебетон на ТК вяжущем до автоклавной обработки, является недостаточной для того, чтобы воспринять внутренние напряжения, возникающие вследствие различной степени расширения твёрдой, жидкой и газообразной фаз.

4. Выбор факторов и интервалов их варьирования.

Для того чтобы свести к минимуму деструктивный процесс вспучивания, были испытаны такие технологические приёмы, как удлинение времени предварительной выдержки и времени подъёма температуры, формование образцов из предварительно разогретой кремнебетонной смеси, погружение образцов в процессе тепловой обработки и использование части ТК вяжущего в тонкоизмельчённом состоянии. Кроме того, исследовалось влияния химических добавок-активизаторов твердения кремнезёмистых вяжущих, в составе которых карбонаты натрия и калия, их гидроксиды и хлорид натрия. Апробирована также возможность обеспечения необходимой пластической прочности жидким стеклом, вводимым в состав вместе с отвердителем (кремнефтористым натрием) взамен воды.

Базовыми рецептурно-технологическими параметрами изготовления образцов приняты:

а) состав кремнебетона, кг/м³:

ТК вяжущее фракции менее 0,63 мм.....	398
Затравка с $S_{уд}=5000 \text{ см}^2/\text{г}$	293
Песок рядовой.....	181
Щебень фракции 5-20 мм.....	1380
Вода (или жидкое стекло плотностью 1,3 г/см ³)...	130 (174).
б) режим и параметры автоклавной обработки:	
Температура изотермической выдержки, °C	187
Давление изотермической выдержки, МПа	1,2
Время предварительной выдержки, ч	3
Время подъёма температуры и давления, ч	3
Время изотермической выдержки, ч	26
Время снижения температуры и давления, ч	3

5. Результаты испытаний образцов и их анализ

Результаты испытания образцов сведены в табл. 1. Анализ результатов испытаний свидетельствует о том, что из рассматриваемых рецептурно-технологических приёмов, направленных на снижение повреждённости структуры, наиболее

действенными являются: пригружение твердеющих образцов, предварительный разогрев кремнебетонной смеси и использование в качестве затворителя жидкого стекла.

Таблица 1. Влияние некоторых рецептурно-технологических факторов на характер структуры и свойства кремнебетона

Вид технологического приёма или добавки и размерность	Параметр технологического приёма или содержание добавки	Свойства кремнебетона				
		пористость, %	Общая пористость, %	Пористость, МПа	Водопоглощение, %	Водостойкость, %
1	2	3	4	5	6	7
Время предварительной выдержки, ч	0	15,1	2,1	67,5	4,87	67
	3	14,9	1,9	69,7	4,61	70
	6	14,8	1,8	68,8	4,57	69
	12	14,6	1,6	69,3	4,53	68
Время подъёма температуры, ч	1,5	14,5	1,5	67,8	4,71	67
	3	14,7	1,7	69,5	4,62	69
	6	14,8	1,8	68,3	4,83	66
	12	14,9	1,9	68,7	4,85	65
Пригруз, г/см ²	20	13,8	0,8	98,1	2,89	74
	50	13,7	0,7	102,1	2,55	79
	100	13,2	0,2	113,5	2,38	85
Водный раствор Na ₂ CO ₃ , %	2	16,4	3,4	58,5	4,73	67
	5	16,1	3,1	60,2	5,03	65
	10	15,9	2,9	61,4	4,6	61
Водный раствор K ₂ CO ₃ , %	1	14,9	1,9	65,3	4,09	71
	2	14,5	1,5	69,5	4,80	69
	4	15,2	2,2	73,7	3,91	66
Водный раствор NaOH, %	1	14,5	1,5	68,9	5,08	70
	2	14,7	1,7	67,5	4,24	67
	4	13,6	0,6	75,2	4,42	63
Водный раствор KOH, %	1	14,4	1,4	68,3	4,88	69
	2	14,3	1,3	67,1	4,20	66
	4	13,8	0,8	73,2	4,74	62
Водный раствор NaCl, %	1	16,0	3,0	63,2	5,63	67
	2	15,3	2,3	59,8	4,67	65
	4	15,5	2,5	57,5	4,92	63

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Жидкое стекло плотностью 1,3 г/см ³ с содержанием Na ₂ SiF ₆ , %	0	13,7	3,7	125,5	2,44	76
	0,25	13,5	3,5	103	2,97	77
	0,5	13,2	3,2	82,9	3,16	75
	1	13,3	3,3	86,2	3,52	72
	1,6	13,3	3,3	88,8	3,94	69
	3,15	13,1	3,1	85	4,25	68
	6,3	13,0	3,0	79	4,63	66
Содержание молотого ТК вяжущего в его общем расходе, %	20	15,9	2,9	59,1	5,71	65
Температура кремнебетонной смеси при формовании, °С	70	16,3	0,2	95,6	3,3	71

Ни удлинённое время предварительной выдержки, ни снижение температурного градиента в период подъёма температуры, ни введение активизаторов твердения и ни использование части тридимита в тонкодисперсном состоянии не обеспечивают в период предавтоклавной обработки должного повышения пластической прочности. Пористость, образовавшаяся в результате вспучивания образцов, достигает 3-4 %, что приводит к существенному снижению прочности и водостойкости и к повышению водопоглощения.

Из приёмов, которые сводят к минимуму деструктивные явления, наиболее приемлемым является пригружение твердеющего кремнебетона, положительный эффект которого достигается также и при использовании закрытых форм кассетного типа. Два других технологических приёма уступают первому, так как предварительный разогрев кремнебетонной смеси, кроме дополнительных энергозатрат, сопровождается повышением её водопотребности на 20-25 %, что вызывает некоторое ухудшение основных строительно-технических показателей кремнебетона. Этот способ целесообразно использовать в тех случаях, когда из-за сложной конфигурации изделий, или по другой причине, их изготовление невозможно в закрытых формах.

Третий же технологический приём предусматривает использование жидкого стекла – сравнительно дорогостоящего и дефицитного материала, применение которого допустимо только при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом необходимо отметить, что жидкое стекло не столько предотвращает вспучивание, сколько активизирует процесс структурообразования. Его целесообразно использовать без отвердителя, так как кремнефтористый натрий ухудшает растворение и кристаллизацию ТК вяжущего, что соответствующим образом сказывается на строительно-технических показателях кремнебетона.