Научная статья
Original article
УДК 164

МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ И ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ БЕТОНА

THE MECHANISM OF THE IMPACT OF HEAT AND HEAT TREATMENT ON THE CONCRETE STRUCTURE

Рамазанова Алена Евгеньевна, Студент 2 курс, строительный институт, кафедра «Строительных материалов, изделий и конструкций», Тюменский индустриальный университет, Россия, г.Тюмень

Ramazanova Alena Evgenievna, 2nd year student, Construction Institute, Department of Building Materials, Products and Structures, Tyumen Industrial University, Russia, Tyumen

Аннотация. В статье анализируется механизм воздействия тепловлажностной и тепловой обработки на структуру бетона. Рассматриваются понятие и виды тепловлажностной обработки бетона, приводятся разновидности установок для обработки. Выявляются условия проведения, особенности и характерные процессы стадий тепловлажностной обработки бетона. Рассматриваются воздействие тепловлажностной обработки на структуру и эксплуатационные свойства бетона и физическая сущность этого процесса.

Annotation. The article analyzes the mechanism of the impact of heat and moisture and heat treatment on the structure of concrete. The concept and types of

heat-moisture treatment of concrete are considered, varieties of installations for processing are given. The conditions for carrying out, features and characteristic processes of the stages of heat-moisture treatment of concrete are revealed. The impact of heat and moisture treatment on the structure and performance properties of concrete and the physical essence of this process are considered.

Ключевые слова: бетон, структура бетона, прочность, тепловая обработка, тепловлажностная обработка.

Key words: concrete, concrete structure, strength, heat treatment, heat and moisture treatment.

Современные условия производства бетона подразумевают ритмичность работы технологического комплекса, для достижения которой необходимо ускорение процессов твердения материала [1]. Наиболее эффективным методом интенсификации твердения бетона является тепловая обработка, дающая возможность сократить сроки достижения требуемой прочности в 8-10 раз. Помимо этого, процесс тепловой и тепловлажностной обработки (далее – ТВО) бетона имеет ключевое значение в технологической цепочке производства изделий требуемого качества [2]. Так, в зависимости от особенностей режима ТВО, определяемого рядом факторов, бетонные изделия приобретают различные показатели прочности, водонепроницаемости, морозо- и коррозиестойкости. Это делает актуальным исследование особенностей воздействия ТВО на структуру и свойства бетона.

Целью работы является изучение механизма воздействия ТВО на структуру бетона. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

ТВО представляет собой тепловую обработку бетона, при которой в нагретом материале сохраняется влага [3]. В зависимости от показателей температуры и влажности выделяют следующие виды ТВО:

- пропаривание в камерах непрерывного и периодического действия при температуре 70-100°С и нормальном давлении;
- автоклавная обработка насыщенным паром температурой 174-193°С и давлением 0,8-1,3 Мпа;
- контактный обогрев при помощи прямого соприкосновения бетонного изделия с источником теплоты, в качестве которого может использоваться горячая вода, острый пар или нагретое масло, либо с обогревающим стенки формы нагревательным прибором;
- электропрогрев, заключающийся в пропускании через толщу бетона электрического тока либо обогрев материала инфракрасными лучами;
- горячее формование, при котором бетонная смесь до укладки в форму на протяжении 8-12 мин разогревается электрическим током до температуры 75-85°С, выдерживаясь в форме 4-6 часов.

Обычно ТВО проводится до достижения бетоном 70 % от полной марочной прочности [4]. ТВО осуществляется в установках, которые могут быть классифицированы по следующим признакам:

1. По режиму работы:

- установки периодического действия, работающие при атмосферном либо избыточном давлении;
- установки непрерывного действия, могущие работать только при атмосферном давлении.

2. По виду используемого теплоносителя:

- водяной пар при атмосферном и избыточном давлениях;
- горячая вода;
- паровоздушная смесь;
- продукты горения топлива;
- электроэнергия;
- высокотемпературные органические теплоносители, такие как даутерм, горячие масла, диголилметан и прочие.

ТВО происходит в три стадии: повышение температуры, изотермическое выдерживание и охлаждение изделий [5]. На первой стадии изделие нагревается до момента достижения равенства температуры с теплоносителем по всей толщине. Бетон нагревается за счёт теплопроводности и теплоты, которая выделяется при конденсации пара и приводит к увеличению влажности изделий.

Вторая стадия наступает в момент выравнивания температуры изделия по сечению [6]. На скорость прогрева бетона влияют исходные значения влажности и температуры бетонной массы и интенсивность подъёма давления пара на первой стадии. На начало второй стадии ТВО приходится пик развития физико-химических и химических процессов, которые обуславливают формирование структуры вещества и интенсивный набор прочности материала. Основным процессом ТВО выступает взаимодействие SiO_2 и $Ca(OH)_2$, приводящее к образованию гидросиликатов кальция. Изначально вследствие избытка насыщенного раствора $Ca(OH)_2$ и недостатка в растворе силикат-ионов из-за медленного растворения кремнезёма происходит формирование богатых известью двухосновных гидросиликатов кальция $C_2SH(A)$. Далее при полном связывании свободного $Ca(OH)_2$ в высокоосновные гидросилакаты кальция в процессе растворения кремнезёма образуются низкоосновные гидросиликаты кальция CSH(B) и тоберморит. Формирование данных новообразований сопровождается интенсивным набором прочности материала.

Длительность второй стадии зависит от активности, дисперсности и соотношения компонентов вяжущего и водотвёрдого отношения ТВО. Конечная микроструктура межпоровых перегородок определяется тонкостью помола кремнезёмистого компонента и количественным соотношением извести и кремнезёмистого компонента с учётом известковой активности.

На третьей стадии ТВО осуществляется снижение давления и температуры пара. Данный процесс сопровождается интенсивным испарением воды из изделий, что вызывает значительные напряжения, которые иногда

превышают прочность бетона и приводят к образованию трещин. Помимо этого, образованию трещин способствует воздействие температуры свыше 70°С на начальных стадиях, приводящее к образованию в бетоне неустойчивого моносульфата, стремящегося перейти в эттрингит при снижении температуры [7]. Образование эттрингита и увеличение его объёма в сформировавшейся структуре бетона также инициирует возникновение значительных внутренних напряжений, которые превышают прочность бетона на раскалывание и растяжение, что приводит к образованию быстро растущих микротрещин. Для предотвращения трещинообразования используется ступенчатый режим повышения и снижения температуры, при этом максимальная температура при ТВО не должна превышать 60°С. Также в бетонную смесь вводится воздухововлекающая добавка.

Ступенчатость повышения температуры позволяет не только сохранить целостность структуры бетона, но смягчить или полностью устранить отрицательное воздействие ТВО на эксплуатационные свойства бетона [8]. Оптимальной является скорость подъёма температуры 10…15°С/ч, при которой бетон приобретает максимальную величину микропористости и минимальную величину макропористости, причём поры имеют близкие по величине размеры и небольшое количество сообщений. Эти особенности благоприятно сказываются на параметрах водопоглощения, морозостойкости, устойчивости к температурным перепадам и теплозащитных свойствах бетонных изделий.

Сущность ТВО основывается на теории Вант-Гоффа, согласно которой в температурном диапазоне от 0°С до 100°С с увеличением температуры химической реакции на каждые 10°С происходит её ускорение в 2-4 раза [9]. При нормальных условиях твердения и температуре 20°С бетон набирает марочную прочность в течение 28 суток, тогда как ТВО продолжается 12 часов, первые 3 часа из которых отводятся на плавный подъём температуры до 60°С, следующие 6 часов – на изотермическую выдержку, а последние 3

часа – на плавное остывание. После ТВО в зависимости от конфигурации бетонное изделие набирает прочность от 90 до 105 % марочной.

Физическая сущность ускорения твердения бетона при ТВО основана на химическом взаимодействии цементных минералов с водой, обусловленном электрокинетическими процессами, протекающими на границе раздела фаз и связанными со стадийным образованием, развитием и разрушением промежуточных энергетических структур [10]. Интенсивность данного взаимодействия находится в зависимости от длительности элементарных индукционных стадий, определяющейся активностью реагирующих компонентов и скоростью формирования, развития и распада указанных комплексов.

Бетонная смесь представляет собой взаимодействующую гетерогенную систему, включающую твёрдую и бесструктурную жидкую фазы. Более чувствительной даже к незначительному изменению температурных условий является жидкость, вследствие чего скорость гидратации цемента и структурообразующих процессов выступает производной меняющегося состояния диполей воды. При невысоких положительных температурах вода отличается высокой степенью ассоциации, пониженной активностью и подвижностью, что приводит к продолжительности процесса поляризации, увеличению стадий гидратообразования и промежутков критического перенапряжения системы, формированию и развитию межфазного энергетического комплекса. Увеличение же температуры увеличивает подвижность и активность диполей, снижает степень ассоциации молекул, интенсифицирует гидратообразование и, как следствие, твердение цементной системы.

Таким образом, ТВО позволяет ускорить твердение бетонной смеси, влияя на её структурную прочность. Выбор оптимальных температурных условий и технологических параметров ТВО с учётом механики процесса позволяет улучшить эксплуатационные показатели бетонных изделий,

повысив не только их прочность, но и морозостойкость, водонепроницаемость и коррозионную стойкость, что расширяет сферы применения бетона.

Список литературы

1. Касторных Л.И. Эффективность тепловой обработки бетона с суперпластификаторами на поликарбоксилатной основе / Л.И. Касторных, И.В. Трищенко, А.В. Каклюгин, Д.Р. Шершень // Инженерный вестник Дона. – 2019. – № 2 (53). – С. 60-71.
2. Даутова Р.З. Тепловая обработка железобетонных изделий продуктами сгорания природного газа // Молодой учёный. – 2020. – № 20 (310). – С. 105-107.
3. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение в 2 ч. Часть 2: учеб. для вузов / И.А. Рыбьев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 429 с.
4. Шмитько Е.И. Процессы и аппараты технологии строительных материалов и изделий: учеб. пособие / Е.И. Шмитько. – СПб.: Проспект Науки, 2020. – 736 с.
5. Дворкин Л.И. Строительное материаловедение. Русско-английский справочник: учеб. пособие / Л.И. Дворкин. – 2-е изд. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 652 с.
6. Автоклавные строительные материалы и изделия. Производство и применение: учеб. пособие / Г.А. Зимакова, В.А. Солонина, М.В. Кудоманов [и др.]. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. – 174 с.
7. Добшиц Л.М., Варвянский Р.И. Разрушение железобетонных шпал и основные причины их вызывающие // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 4. – С. 291-296.
8. Елишев К.С. Формирование структуры тяжёлого бетона для производства стеновых панелей // The Scientific Heritage. – 2021. – № 78-1 (78). – С. 13-15.

9. Заворотынская В.В., Тхазеплова Д.А., Шиховцов А.А. Современные способы ускорения набора прочности бетона // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 641-649.
10. Пшеничный Г.Н. Строительные материалы и изделия: технология активированных бетонов: учеб. пособие для СПО / Г.Н. Пшеничный. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 224 с.

Bibliography

1. Kastornykh L.I. Efficiency of heat treatment of concrete with superplasticizers based on polycarboxylate / L.I. Kastornykh, I.V. Trishchenko, A.V. Kaklyugin, D.R. Hornet // Engineering Bulletin of the Don. - 2019. - No. 2 (53). - S. 60-71.
2. Dautova R.Z. Heat treatment of reinforced concrete products by natural gas combustion products // Young scientist. - 2020. - No. 20 (310). - S. 105-107.
3. Rybiev I.A. Building materials science at 2 o'clock. Part 2: textbook. for universities / I.A. Rybiev. – 4th ed., revised. and additional – M.: Publishing house Yurayt, 2022. – 429 p.
4. Shmitko E.I. Processes and devices of technology of building materials and products: textbook. allowance / E.I. Shmitko. - St. Petersburg: Prospekt Nauki, 2020. - 736 p.
5. Dvorkin L.I. Building materials science. Russian-English reference book: textbook. allowance / L.I. Dvorkin. - 2nd ed. – M.: Infra-Engineering, 2020. – 652 p.
6. Autoclaved building materials and products. Production and application: textbook. allowance / G.A. Zimakova, V.A. Solonin, M.V. Kudomanov [i dr.]. - Tyumen: Tyumen Industrial University, 2016. - 174 p.
7. Dobshits L.M., Varvyansky R.I. Destruction of reinforced concrete sleepers and their main causes // Innovations and investments. - 2019. - No. 4. - P. 291-296.

8. Elishev K.S. Formation of the structure of heavy concrete for the production of wall panels // The Scientific Heritage. - 2021. - No. 78-1 (78). - P. 13-15.
9. Zavorotynskaya V.V., Tkhazeplova D.A., Shikhovtsov A.A. Modern methods of accelerating concrete strength gain // Electronic network polythematic journal "Scientific works of KubGTU". - 2020. - No. 8. - P. 641-649.
10. Wheat G.N. Building materials and products: technology of activated concrete: textbook. allowance for SPO / G.N. Wheat. - 2nd ed., Rev. and additional – M.: Publishing house Yurayt, 2022. – 224 p.

© Рамазанова А.Е., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022

Для цитирования: Рамазанова А.Е. МЕХАНИЗМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ И ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ БЕТОНА// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022