

ПРОЦЕССЫ КИПЕНИЯ В ПОЛИСТИРОЛБЕТОНЕ ПРИ ТЕРМООБРАБОТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

В.А. КИРИЧЕНКО

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2*

Авторы рассматривают физические процессы, происходящие во время термообработки электрическим током полистиролбетона. Раскрывают процесс теплового воздействия на свежезатворенную смесь, в результате которого возникает эффект динамической кавитации. Что в конечном итоге приводит к улучшению физико-технических параметров изделий из пенополистиролбетона.

Ключевые слова: термообработка, электропрогрев, полистиролбетон, кавитация, поризация бетона, теплотехнические свойства, режимы термообработки.

В последние годы, в связи с возросшими требованиями по теплоизоляции, получили большое применение легкие бетоны с применением в качестве крупного заполнителя вспученного полистирола. Однако в связи с малой плотностью заполнителя в пределах 12-15 кг/м³, возникают задачи технологического плана при создании многослойных конструкций:

- уменьшение расслаиваемости бетонной смеси;
- улучшение связности слоев в многослойных конструкциях;
- повышение прочности всех слоёв как на сжатие так и на растяжение;

Одно из направлений улучшающих данные показатели, а также повышение теплотехнических свойств, это применение вязких пен при изготовлении изделий [1]. Применение пены требует дополнительного оборудования – пеногенератора для получения пены, а так же большой точности работы всего технологического цикла, из-за слабой устойчивости пены во времени.

Однако хорошие свойства полистиролбетонной смеси можно получить, применяя легкие пески и суперпластификаторы, отказавшись от работы с пеной. Улучшить теплотехнические свойства полистиролбетона можно применением режимов термообработки с высокой скоростью подъема температуры 1200-1600°С/час [4,5]. В заводских условиях это

достигается применением форсированных режимов с применением электрического тока промышленной сети 220 - 380 вольт.

При этом не требуется предварительной выдержки перед тепловлажностной обработкой, сокращается процесс термообработки, происходит ускорение твердения бетона. Отказ от применения традиционного паропрогрева в заводском изготовлении и переход к электросиловому оборудованию позволяет проводить термообработку на строительной площадке. А так же автоматизировать весь процесс, повысить точность получения заданных свойств бетона, так как управление процессом термообработки током переменной частоты гораздо точнее термообработки паром.

При пропускании тока переменной частоты бетонная смесь ведет себя как проводник с определенным во времени сопротивлением, изменяющимся в процессе гидратации цемента, что приводит к нагреву смеси и к различным физическо-химическим эффектам. Поскольку переменный ток, проходящий через тело бетона, зависит от сопротивления бетона и прилагаемого напряжения, мы оперируем с 3-мя этими показателями во времени. И назначаем режимы электропрогрева в зависимости от прилагаемого напряжения в конкретный момент времени, то есть напряжение - это регулятор первого показателя. Поэтому регулятором второго показателя будет сопротивление бетонной смеси, которое так же меняется во времени. Сопротивление смеси зависит от числа свободных электропроводящих ионов. А количество ионов в свою очередь зависит от нескольких составляющих:

- химического состава смеси;
- температуры состава;
- времени термообработки.

Так при повышенных, температурах ускоряется процесс переноса зарядов, и вместе с этим ускоряется процесс получения твердых частиц цементного камня, которые в свою очередь выходят из состава

электропроводящих составляющих бетонной смеси. Таким образом, возникает сложная система взаимосвязанных частиц и элементов влияющих на ускорение твердения бетона. В результате вышеуказанных процессов, в заданном объёме происходит уменьшение количества реагирующих частиц, накопление объема твердой фазы, увеличение показателя сил сцепления частиц цемента, который является одним из главных показателей конечного результата, то есть прочности бетона. В то же время присутствуют дестабилизирующие моменты:

увеличение расстояния между новыми образованиями в результате образования порообразующих каналов всех известных нам типов; потеря сил связи между новообразованиями.

В результате мы будем иметь 6 главных составляющих влияющих на прочность бетона:

- гидродинамическая кавитация;
- силы сцепления частиц цементного теста между собою;
- количество пустот в теле бетона;
- форма пустотных образований;
- вид мелкого заполнителя;
- вид крупного заполнителя.

В легких бетонах, к которым относится полистиролбетон, вспученный полистирол, являясь крупным заполнителем, является формообразующим элементом бетонной смеси. И если при введении в тяжелый бетон он инертен, то в легких бетонах вспученный полистирол не только задает форму пустотам в теле бетона в виде замкнутых сфер с определенным сопротивлением раздавливанию, но и очень активно влияет на структурообразование матрицы цементного раствора. В составе жидкой фазы цементного теста имеются отдельные пузырьки паровоздушной смеси, сформированные из заземленного бетонной смесью воздуха и воздуха выделяемого гранулами вспученного полистирола при термообработке. На начальном этапе прогрева остатки газообразователя (изопентан), вместе с

выделенным воздухом удаляются из цементного теста. При этом смесь расширяется создавая каналы уноса паровоздушной смеси. Вышеназванные свойства цементного раствора при термообработке дают эффект динамической кавитации. Согласно определения о кавитации [3], отмеченное нарушение сплошности происходит в случае, когда давление в жидком цементном тесте падает до некоторого критического значения p_k , которое принимается равным давлению насыщенного пара p_s , при заданной температуре. Предельное снижение давления в цементном тесте p_s относительно давления на большем удалении от места кавитации, центром которого являются гранулы вспученного полистирола, когда $p \rightarrow \infty$, представляется безразмерным коэффициентом χ .

$$\chi = 2(p_{\infty} - p_s) / (\rho C_{\infty}^2)$$

(1)

Он называется числом кавитации.

Отсюда следует, что кавитация начинается в тех областях цементной матрицы, где коэффициент давления p взятый с обратным знаком, становится равным числу кавитации, т. е.

$$\chi_k = (-p)$$

(2)

Т.е. для создания кавитации необходимо условие $p_s < p_{\min}$

При этих условиях образуются каналы в виде полостей, заполненных паром и газом в относительно жесткой окружающей среде которыми являются цементное тесто, песок и вспученный полистирол. Что в конечном итоге приводит к получению материалов с улучшенными экологическими показателями. Поскольку частицы цемента обладают свойством релаксации, то они в результате изменения температуры прогрева меняют вязкость цементного раствора. Эти пузырьки при определенных условиях разрушаются в сопровождении непрерывных гидравлических микроударов определенной частоты, создавая эффект дополнительного прессования методом взрыва как на поверхности тела твердеющей бетонной смеси так и по всему объёму вязкой

бетонной смеси, образуя каверны различной формы, что подтвердилось фотографиями образцов прошедших испытание (рис.1, рис. 2).

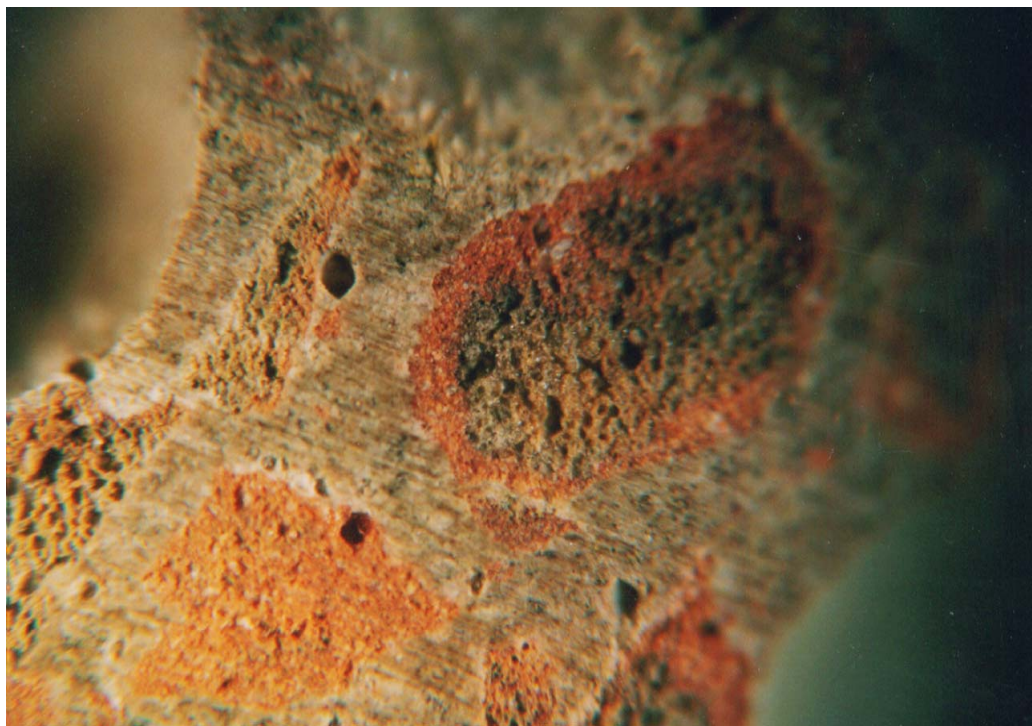


Рисунок 1 Фото образца цементнопесчанного камня естественного твердения шлиф, $k^x = 26$



Рисунок 2 Фото образца цементнопесчанного камня прошедшего термообработку шлиф, $k^x = 26$

Выход газообразователя подтверждается графиками дифференциально-термического анализа образцов естественного твердения, хорошо виден изотермический пик в диапазоне температур $330\text{ }^{\circ}\text{C} - 530\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рисунок. 3), он характерен для газообразователя изопентана. На термограмме термообработанного цемента данный пик отсутствует (рисунок 4).

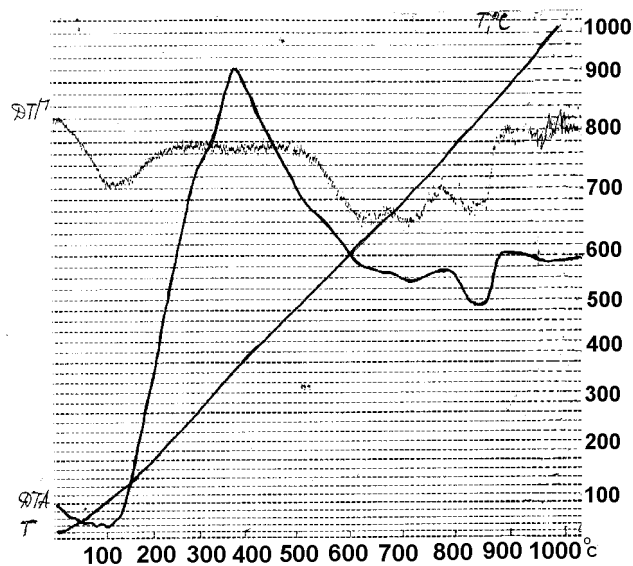


Рисунок 3 Термограмма цементного камня естественного твердения

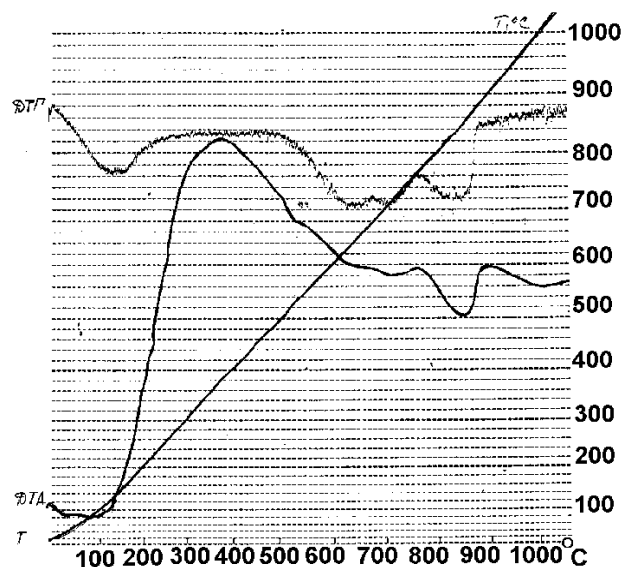


Рисунок 4 Термограмма цементного камня прошедшего термообработку электрическим током

Где: - кривая $T\text{ }^{\circ}\text{C}$ – кривая подъема температуры в печи

- кривая ДТА – дифференциальная кривая
- кривая ДТГ - дифференциальная термогравиметрическая кривая

За счет увеличения возникающего внутрискруктурного давления полистиролбетонной смеси происходит сближение частиц мелкого заполнителя, заполнение пустот полученных в результате недоуплотнения смеси и увеличение адгезионных свойств цементного теста.

В данном примере, большое влияние на физико-механические свойства бетонов оказывает удаление химически не связанной воды и увеличение давления в структуре бетона в малый промежуток времени до начала схватывания. Следовательно, изопентан продифундировал вместе с воздухом из гранул вспученного полистирола в цементное тесто и в составе паровоздушной смеси покинул нагретую бетонную смесь.

Повышенная температура значительно увеличивает скорость химических реакций вяжущего, а внутрискруктурное давление сближает реагирующие частицы цемента и удерживает газообразующую часть внутри цементной составляющей. Таким образом, мы получаем поризацию цементного теста в виде каверн без введения порообразующих добавок.

Для определения степени поризации мы брали образцы цементного камня размерами 5x7мм из затвердевшего полистиролбетона. Фото шлифа, выполненного под микроскопом с увеличением $k'' = 26$, показало хорошую степень поризации цементного камня. Размеры пор от 4.10×10^1 мкм до 3.10^2 мкм, что по классификации С. С. Каприелова и др. [2] относит данный вид пор к крупным. При этом они влияют количественно на общую пористость. Что является положительным фактором теплоизолирующих свойств полистиролбетона. По объему в цементном камне данные поры занимают до 50% и более, в зависимости от В/Ц и режима термообработки.

Давление расширяющегося нагретого воздуха, вышедшего из гранул вспученного полистирола выполняет работу по уплотнению цементного теста. Таким образом, улучшаются показатели водонепроницаемости, морозостойкости и прочности цементного камня и в целом

полистиролбетона. Управление режимом термообработки дает возможность увеличивать прочностные характеристики полистиролбетона как на сжатие, так и на растяжение, что очень актуально для легких бетонов вообще и в случае создания многослойных конструкций в частном варианте. В случае одновременного сложения вышеуказанных факторов совместная работа сил трения мелкого заполнителя и размягченного пенополистирола даст при твердении полистиролбетона увеличенные значения прочности на растяжение. Управляя процессом набора прочности, мы можем регулировать необходимые свойства твердеющего бетона. Таким образом, вспученный полистирол при форсированном электропрогреве является структурообразующим элементом. Данное свойство можно использовать не только в полистиролбетоне, но и в любом другом виде бетонов, как фактор уплотнения смеси. В случае же применения пластификаторов высокой эффективности можно отказаться от виброуплотнения смеси. Прочность образцов термообработанных по указанным параметрам превосходит прочность контрольных образцов естественного твердения на 100%. Таким образом, имеем положение об увеличении скорости кристаллизации продуктов гидратации.

По полученным результатам имеем вывод, что структура цементного камня формируется в результате нескольких факторов, и соответствует теории кристаллизации из растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Довжик В.Г., Россовский В.Н., Савельева Г.С., Хаймов И.С.**, кандидаты техн. наук, **Семенова Т.Д., Сафонов А.А.**, инженеры. Технология и свойства полистиролбетона для стеновых конструкций.// Бетон и железобетон . - №2. -1997. - с.5-9.

2. **Каприелов С.С.**, д-р техн. наук, **Карпенко Н.И.**, д-р техн. наук, проф., **Шейнфельд А.В.**, канд. техн. наук, **Кузнецов Е.Н.**, инж. (НИИЖБ) Влияние органоминерального модификатора МБ-50С на структуру и

деформативность цементного камня и высокопрочного бетона.// Бетон и железобетон. - №3. - 2003. - с.2-7.

3. **Запорожец Е.Е., Зиберт Г.К.** Гидродинамическая кавитация. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2003. – 129 с.

4. **Кириченко В.А.**, инж. Оценка влияния режимов электропрогрева на физико-механические свойства полистиролбетонов.// Бетон и железобетон. — №3. -1995. - с.

5. **Крылов Б. А.** д - р техн. наук, проф. (НИИЖБ), **Кириченко В.А.**, инж. (Краснодарский политехнический ин - т). Трехслойные панели с теплоизоляционным слоем из пенополистиролбетона.// Бетон и железобетон.- №3. - 1994. - с.10-12.

REFERENCES

1. Dovzhik V.G^ossovsky V.N., Savelieva G.S., HimovI.S., cundi dates of technical sciences, SemyonovaT.D.,Safonov A.A., engineers. Technology and properties of polysterolconcrete for the wall sructures.// Concrete and reinforced concrete.-№2-1997-pp.5 9.

2. Kapriyelov S.S., doctor of technical scienses, KarpenkoNX, doctor of technical sciences, professor, Sheinfeld AB., candidate of technical sciences, Kuznetsov Ye.N., engineer (research institute of reinforced concrete) Influence of organomineral modifier МБ-50С on structure and extent of deformation of the cement stone and on liighy strong concrete.// Concrete and reinforced concrete -№3-2003.pp.27.

3. Zaporozhets Ye. Ye., Zibert G.K. Hydrodynamic covitation.-М: "ООО ИРЦ Gasprom", 2003, pl29.

4. Kirichenko V.A., engineer. Estimation of the the modes effect of electric heating on physical and mechanical properties of polysterol concrete// Concrete and Reinforced concrete. -№3.-1995.p.

5. Krylov B .A. doctor of technical sciences, prof (research institute of reinforced concrete), Kirichenko V.A., engineer (Krasnodar Polytechnical institute).

Three-layer panels with thermo-isolated layer made of foam polysterol concrete.//
Concrete and reinforced concrete.-№3,- 1994.-pp. 10-12.

*THE PROCESS OF BOILING IN THE HEAT TREATMENT OF POLYSTYRENE
CONCRETE ELECTRIC*

V.A. KIRICHENKO

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya str., Krasnodar, Russian Federation, 350072*

The authors are analysing physical processes taking place during thermal treatment of polysterolconcrete, using electrical current. They are throwing light on thermal effect on fresh by set mixture as a result of which there arises effect of dynamic cavitation finally leading to improvement of physical and technical parameters of the products made of foam polysterol concrete.

Key words: heat treatment, electrical heating system, polystyrene, cavitation, paritala concrete, thermal properties, modes of heat treatment