

## СТРУКТУРА – ОСНОВА ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА

*Мишутин А.В., Мишутин Н.В.*

*Украина Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

**Представлены виды коррозии бетонов и характеристики структуры порового пространства, исследование параметров условно-замкнутой пористости модифицированного бетона тонкостенных конструкций эксплуатирующего в морской воде.**

При контакте внешней среды с поверхностью бетона ЖБ конструкций протекают процессы взаимодействия между бетоном и средой.

Взаимодействие может приводить к увеличению плотности и прочности бетона, улучшению его физико-механических характеристик, если это нормально-влажностная температурная среда и бетон подвергается расчетным нагрузкам.

Однако, основные инженерные сооружения и конструкции гидротехнического и транспортного строительства (мосты, дорожные покрытия, водопропускные трубы, плотины, каналы, причалы, доки), работая во взаимодействии с внешней средой, подвергаются: увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию, знакопеременным нагрузкам, которые могут приводить к нарушению первичной структуры бетона и ее разрушению. Такие разрушительные процессы независимо от их причины и природы принято называть коррозионными.

Коррозионные процессы подразделяют на три степени по В.Москвину:

Коррозия первого вида. Ведущим признаком коррозии первого вида является растворение и вымывание составных частей цементного камня соприкасающейся с ним водной средой.

Коррозия второго вида. Ведущим признаком коррозии второго вида является развитие химических обменных реакций между солями, растворенными в водной среде, и составными частями новообразований цементного камня. Продукты реакции

выносятся водной средой. Остающиеся на месте плохо растворимые продукты реакции не вызывают возникновения растягивающих напряжений в стенках пор и капилляров.

Коррозия третьего вида. Ведущим признаком коррозии третьего вида является накопление в порах-капиллярах и других пустотах цементного камня, раствора или бетона, кристаллов солей, образовавшихся за счет химических реакций взаимодействия агрессивной среды и составных частей новообразований цементного камня. Кристаллы солей, расширяясь, разрушают стенки пор цементного камня.

Скорость коррозионных процессов может быть различна и зависит от многих факторов:

- коррозия бетона может протекать медленно и не вызывать существенных изменений в практически обозримые сроки;
- коррозионные процессы – фильтрация, кольматация, нарушение структуры могут проходить интенсивно, в зависимости от агрессивности среды и стойкости бетона, которая в основном зависит от структуры бетона.

Кинетика – коррозионный процесс между бетоном, его структурой, плотностью и внешней средой зависит от вида вяжущего (портландцемент, его точности помола, минералогического состава), состава бетона, его поровой структуры и модифицирующих добавок (ускоритель и замедлитель твердения, сроков схватывания и регуляторы структуры, кольматирующих веществ).

Знание кинетики коррозионного процесса, физико-химических процессов, взаимодействия среды и бетона ложится в основу прогнозирования сроков службы бетона и способов повышения стойкости бетона к агрессивным средам.

Бетоны тонкостенных ж/б конструкций ( $t=10\pm 2$  см), эксплуатирующихся в зоне переменного уровня воды (одного из самых разрушительных) оцениваются по водонепроницаемости и морозостойкости.

Определение требований по водонепроницаемости бетона и опасности выщелачивания, проведенные НИИЖБ говорят, что при коэффициенте фильтрации бетона  $k_f=1\times 10^{-6}\dots 1\times 10^{-9}$  (при  $C=400\text{кг/м}^3$ ) допустимое количество удаления СаО составит  $0,4\text{ г/см}^3$ , (при средней концентрации  $C=0,0005\text{ г/см}^2$ ). То есть, для железобетонных конструкций при расчетном сроке службы  $\Gamma=100$

лет при напоре воды  $H=0,1...20,0$  м толщина конструкции должна составлять  $B=0,10...4,00$  м.

При толщине конструкций  $B \leq 0,1$  м необходимо применять специальные мероприятия по повышению плотности водонепроницаемости бетона, следовательно, уплотнять структуру.

Для решения этой задачи необходимо использование основных положений физико-химической механики (Б.В.Осин, П.А. Ребиндер), физико-химические зависимости коррозионных процессов (В.И. Бабушкин) модифицирование бетонов (В.И. Батраков).

Цементный камень в бетоне представляет собой капиллярно-пористое тело с химически активной внутренней поверхностью. Интенсивность взаимодействия цементного камня с агрессивными компонентами среды определяется величиной его внешней и внутренней поверхности и доступностью для коррозии (Иванов Ф.Л.).

Характеристики структуры цементного камня и бетона приобретают первостепенное значение для оценки его непроницаемости, способности и надежности.

Прочность цементного камня и бетона, составляющая систему сообщающихся и замкнутых пор, определяет возможность проникновения и миграции воды и различных компонентов в структуре бетона, изменяемости во времени, объединяется и разделяется на микро- и макрообъемы, кластеры и т.д. и приобретает первостепенное значение для оценки долговечности бетона.

Первичным является атомно-молекулярный уровень структуры компонентов, составляющих бетон. То есть исследования химических свойств соединений, входящих в состав минералов цементного камня и заполнителя, позволит оценить стойкость бетона на их основе.

При увеличении сложности структуры – образования микросталлов или аморфных частиц, то есть появление границы раздела фаз, появляются новые параметры структуры.

На следующем уровне сложности структуры появляются структурные комплексы – агрегаты, материалы. Величина поверхностной активности структурных единиц определяет их способность к соединению в более крупные агрегаты, к взаимной

адгезии, к флокуляции, от чего зависят прочность структуры материала.

Третьим уровнем комплексности структур является образец, у которого мы наблюдаем признаки структуры – пористость, то есть твердая фаза заполнения газообразной или жидкой фазой. Исследования качества материала и его стойкость определяется именно на этом уровне.

На четвертом уровне комплексной структуры – железобетонные конструкции, определяется совместная работа бетона и арматуры, влияние силовых и масштабных воздействий, условий нагрева и охлаждения, условий контакта с агрессивной средой.

Мы проводили экспериментальные исследования на третьем уровне комплексности, то есть дисперсию обычного мелкозернистого поликристаллического твердого тела с распределением различного рода дефектов.

По данным Бруссера М.И. бетоны подразделяются на различные виды в зависимости от характеристики структуры порового пространства. Так, в зависимости от величины показателя среднего размера пор  $\lambda$  бетоны делятся на следующие группы:

- микропористые –  $0,5 \geq \lambda$
- мелкопористые –  $0,5 \leq \lambda \leq 1,0$
- среднепористые –  $1,0 \leq \lambda \leq 3,0$
- крупнопористые –  $3,0 \leq \lambda \leq 7,0$
- макропористые –  $\lambda > 7,0$

В зависимости от величины показателя однородности пор по размерам бетоны делятся на три группы:

- 1 - высокой однородности  $0,7 < \alpha \leq 1,0$
- 2 - средней однородности  $0,25 < \alpha \leq 0,7$
- 3 - низкой однородности  $\alpha \leq 0,25$

#### ***Исследование параметров условно – замкнутой пористости бетона методом секущей хорды.***

Известно, что многие свойства бетона, в том числе и его долговечность, определяются особенностями его поровой структуры.

Многочисленными исследованиями показано, что высокая морозостойкость бетонов зависит, прежде всего, от количества вовлеченного в бетонную смесь воздуха. Причем, определяющее

значение имеет размер и распределение его пузырьков в теле бетона.

Параметры условно – замкнутой пористости бетона оценивали с помощью микроскопических исследований аншлифов по линейному методу, разработанному в ЛИИЖТ. Выбранная методика определения содержания и удельной поверхности пузырьков по аншлифам бетона широко используется за рубежом и называется иногда „методом линейной секущей”. Помимо указанной величины  $L$ , называемой иногда „фактором расстояния”, важными показателями являются также общее содержание воздуха в бетоне (величина  $A$ ) и удельная поверхность пузырьков воздуха (величина  $\alpha$ ).

Линейный метод основан на измерении хорд, образующихся при пересечении сфер произвольной прямой линией, вдоль которой производятся измерения.

По этой методике исследовались бетоны класса В-45 естественного твердения, изготовленные как на мелком, так и на крупном щебне (фр. 5 - 10 и 10 - 20 мм). Размеры аншлифа составляли 100×100 мм, база измерения составляла 200 см, увеличение микроскопа 80 т. раз, шлифовка и полировка среза производилась в водной среде. Параметры вовлеченного воздуха  $A$  и  $\alpha$  рассчитывались по формулам, приведенным ниже.

Величина  $A$  – процентное содержание условно – замкнутых пор, рассчитывалось по формуле:

$$A = \sum l \times 100\%$$

где  $\sum l$  – сумма хорд на единицу базы измерения.

Величина  $\sum l$  рассчитывалась по формуле:

$$\sum l = \frac{\sum a}{B}$$

где  $B$  – база измерений аншлифа бетона, мм;

$\sum a$  – сумма хорд воздушных пузырьков.

Удельная поверхность условно- замкнутых пор рассчитывалась по формуле:

$$\alpha = \frac{4n}{\sum l}, \text{ мм}^{-1}$$

где  $n$  – измеренное количество хорд на единицу базы измерения.

Величина  $n$  рассчитывалась по формуле:

$$n = \frac{\sum N}{B}$$

где  $\sum n$  – сумма количества хорд условно – замкнутых пор.

По гипотезе гидравлического давления морозостойкость бетона повышается при уменьшении расстояния между порами – капиллярами.

По мнению Пауэрса и других исследователей в морозостойких бетонах фактор расстояния не превосходит 0,25 мм.

В исследованиях использовались добавки ЛСТ, С-3 и комплексная. В соответствии с этой квалификацией видно, что если бетон с ЛСТ является среднепористым, то применение С - 3 делает его мелкопористым, а комплексный модификатор КЭ 12- 35+С-3+НН – микропористым.

По однородности все бетоны являются бетонами средней однородности (кроме бетона с КЭ 12- 35 + С- 3 +НН – высокой однородности). Все бетоны естественного твердения являются бетонами высокой однородности.

Результаты микроскопических исследований после обработки приведены в таблице.

Из данных таблицы видно, что во всех составах бетона преобладают мелкие поры размером до 300 мкм. Их объем составляет 89 - 93%. При сравнении составов, изготовленных с добавками ЛСТ и комплексной добавкой КЭ 12- 35 + С - 3 +НН из равноподвижных бетонных смесей видно, что в случае введения комплексной добавки количество мелких пор указанного размера несколько выше, чем при введении ЛСТ, т.е. бетон с комплексной добавкой обладает более мелкой пористостью, чем бетон с ЛСТ. Эти данные совпадают с вышеприведенными данными по показателям пористости судостроительного бетона.

Получение более мелкопористой структуры бетона при введении комплексной добавкой КЭ 12-35+С-3+НН по сравнению с ЛСТ сопровождается тем обстоятельством, что бетон с комплексной добавкой имеет при большем количестве пор на единицу длины базы и почти равном объеме воздуха меньшую удельную поверхность воздушных пузырьков.

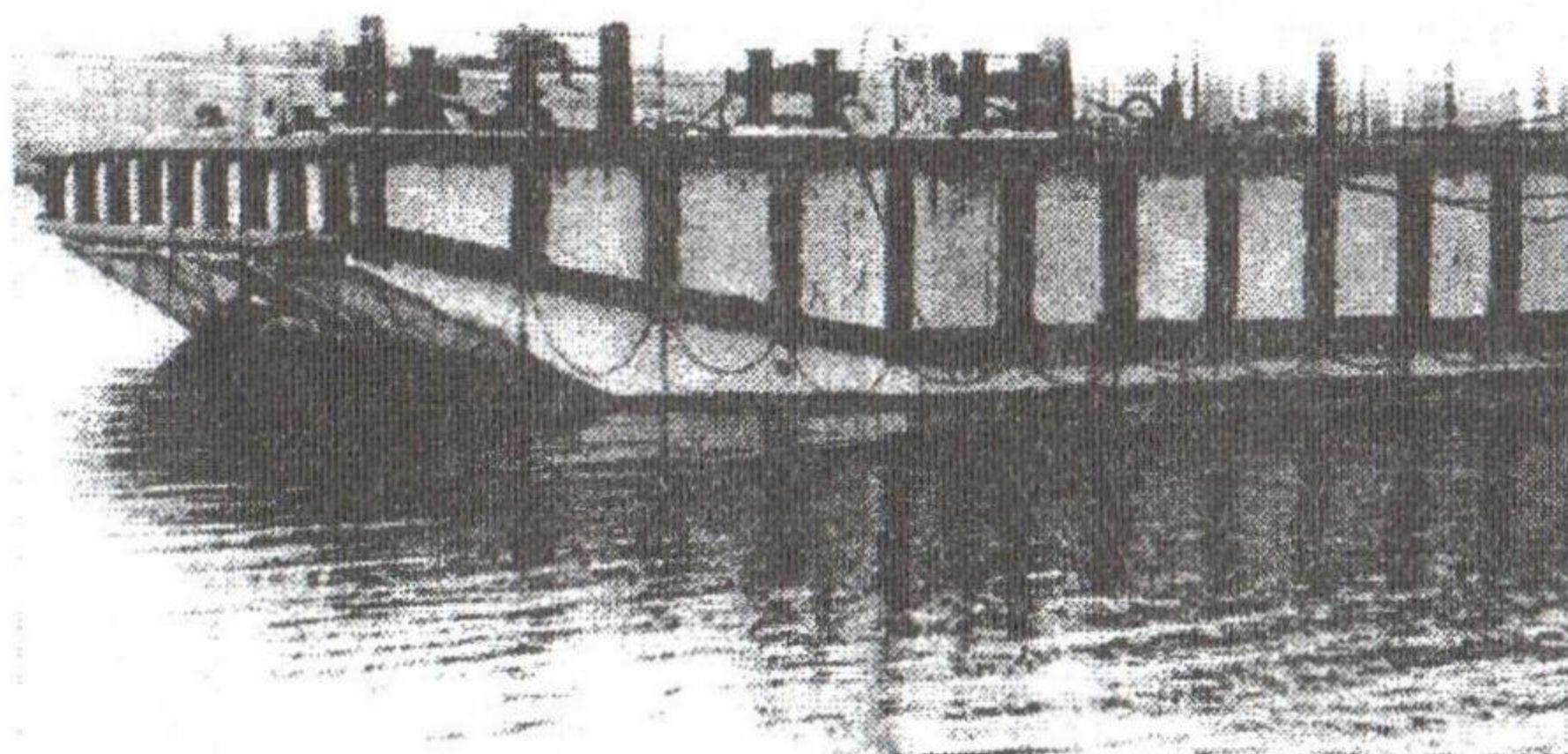
Характеристики условно замкнутой пористости бетона

| Состав бетона и условия твердения   | Объем пор раз мером (мкм) от общего количества пор, % |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
|-------------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|                                     | 0-100   | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 | 600-700 | 700-800 | 800-900 | 900-1000 |
| Состав №2<br>Естественное твердение | 55,6  | 25,8    | 7,7     | 2,8     | 1,4     | 4,6     | 1,2     | 0       | 2,4     | 0        |
| ЛСТ (0,1%)                          | 54,7  | 27,3    | 8,0     | 4,0     | 1,2     | 2,2     | 0,3     | 0       | 0,4     | 0        |
| С-3 (0,25%)                         | 53,5  | 31,4    | 8,5     |         |         | 0,9     |         |         | 0,2     |          |
| КЭ12-35 (0,3%)                      |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| С-3 (0,25)                          |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |
| НН (0,5%)                           |   |         |         |         |         |         |         |         |         |          |

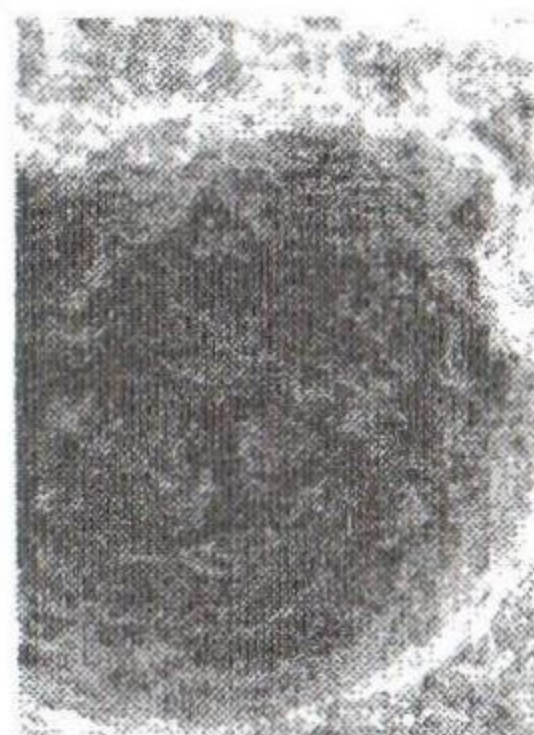
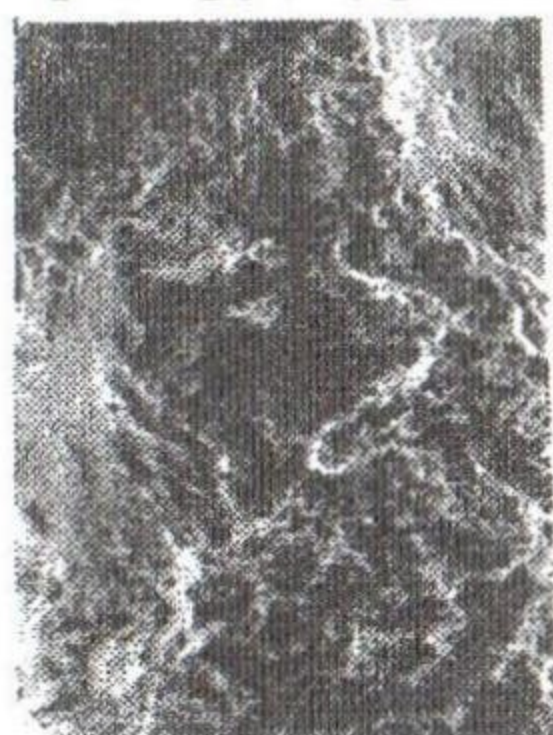
При анализе данных, касающихся фактора расстояния, видно что для состава бетона с комплексной добавкой эта величина находится в пределах 0,229 мм, т.е. он должен обладать высокой или повышенной морозостойкостью (на основании данных Т.Пауэрса, приведенных выше). Данные, полученные при испытании бетона на морозостойкость в морской воде, подтверждают этот факт.

Составы бетонов с комплексной добавкой вошли в технологический процесс приготовления и применения бетона тяжелого судостроительного классов В 40...50 МЛТИ – 120 – 2762 – 2900 и успешно внедряются в производстве на заводе «Паллада».

## Плавучий железобетонный причал



### Макроструктура модифицированного бетона



### Литература.

1. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных конструкций плавучих и портовых гидротехнических сооружений. ОЦНТЭИ – Одесса, 2003. – 291 с.