

Рыскалиев М.Ж.

НЕКОТОРЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТРУКТУРУ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА БЕТОНА

M.Zh. Ryskaliev

SOME TECHNOLOGICAL FACTORS, INFLUENCING TO STRUCTURE OF STEAM CONCRETE EXPANSION

УДК: 666.972.12

Приведены сведения о распределении макро- и микропор в цементном камне в зависимости от минералогического состава цемента, а также дисперсности и содержания песка в растворе и бетоне. Показано, что с увеличением В/Ц возрастает общая пористость цементного камня, но сохраняется положение кривых дифференциальной пористости. Рассматривая различные способы уплотнения бетонной смеси, установлено, что наиболее эффективный вид силового воздействия на бетонную смесь – сочетание вибрирования с прессованием.

Ключевые слова: прочность цементного камня, гидратации цемента, вибрирования, тонкость помола.

The information about allocation of macro-and micro interstice in cement stone was reduced, subject to mineral composition of cement, also dispersion and sand composition in mortar and concrete. It was shown that, common porosity of cement stone grows with rising V/C, but position of curve differential porosity saves. Considering different methods of consolidation of concrete mixture, it was fixed, that more effective kind of force impact to concrete mixture – combination of vibration with compressing.

Вопросам, связанным с изучением влияния различных технологических факторов на формирование поровой структуры цементных материалов, посвящены многочисленные работы. Однако, выводы, вытекающие из этих работ, подчас противоречивы.

Так, многими исследователями [1–4] показано, что химико-минералогический и гранулометрический составы цемента оказывают влияние на структуру порового пространства цементного камня. Установлено [3], что истинная пористость цементно-песчаных образцов находится в непосредственной зависимости от дисперсности и минералогического состава исходного цемента. С увеличением тонкости помола различных по минеральной природе цементов повышается абсолютная плотность цементного камня и снижается истинная пористость. При этом для цементов с повышенным содержанием алита (C_3S или $3CaO \cdot SiO_2$) это сопровождается ростом относительного объема макропор (более 0,1 мкм) и уменьшением относительного объема микропор (менее 0,005 мкм). Для цементов с высоким содержанием белита (C_2S или $2CaO \cdot SiO_2$) увеличения количества макропор не наблюдалось.

По другим литературным данным [3], изменение дисперсности цемента с 1950 до 3000 см²/г приводит к сокращению диаметра пор цементного камня с 25-50 до 1,1-1,6 мкм. Авторы объясняют это различными седиментационными процессами, свя-

занными с гранулометрическим составом цемента. Однако, по И.Н.Ахвердову [2], пористость цементного камня с увеличением дисперсности неравномерно, но непрерывно возрастает.

Установлена связь [5] между величиной пор цементно-песчаного раствора и крупностью песка: при использовании мелких песков размеры пор значительно снижаются. Однако другие данные свидетельствуют о том, что чем мельче песок, тем выше воздухоовлечение и тем больше пор в цементно-песчаном растворе [6]. С увеличением содержания песка объем воздуха в смеси возрастает и уменьшается только при использовании песков с размером зерен менее 0,15 мм.

Установлено также, что общий объем и размеры замкнутых пор в бетоне и растворе зависят в основном от содержания песка в смеси. При увеличении содержания песка в бетоне возрастают истинная пористость и относительное количество макропор. Наличие в бетоне смеси крупного заполнителя способствует росту количества крупных пор в бетоне.

По данным многочисленных исследований, особенно большое влияние на характер структуры пор цементного камня и бетона оказывает водоцементное отношение. Однако некоторые авторы [6] утверждают, что влияние водоцементного отношения менее существенно, чем влияние содержания песка. Измерение истинной интегральной и дифференциальной пористости образцов с различными водоцементными отношениями (в пределах от 0,25 до 0,8) показало, что с увеличением В/Ц возрастает общая пористость цементного камня, но сохраняется положение кривых дифференциальной пористости [7]. Эти данные находятся в противоречии с данными других исследователей [8, 9], отмечающих, что В/Ц влияет не только на величину, но и на положение максимума дифференциальной кривой.

Вопрос влияния способов формирования и их параметров и режимов на степень уплотнения и проницаемости бетона и цементного камня является одним из наиболее полно разработанных [8]. Однако, влияние этих факторов на структуру порового пространства бетона изучено не достаточно. Рассматривая различные способы уплотнения бетонной смеси, ряд авторов отмечают, что наиболее эффективный вид силового воздействия на бетонную смесь – сочетание вибрирования с прессованием. Повторное вибрирование может оказывать положи-

тельное влияние на процессы структурообразования бетона [1, 10].

Исследованиями установлено [6, 7], что изменение режима приготовления и укладки бетонной смеси может в несколько раз изменить как объем пор, так и распределение пор по размерам в цементно-песчаном растворе. Однако, некоторые авторы [8] отмечают, что условия укладки значительно влияют на истинную пористость цементного камня, в то время как положение максимума на дифференциальной пористости практически не изменяется. На это указывается и в других работах. Так, Ю.В.Чеховским и А.Г.Грайфером [1, 8] показано, что для образцов, уплотненных вибрацией, вибровакуумированием, вибропрессованием и послойным центрифугированием, характерен одинаковый максимум пор, приходящийся на поры радиусом до 0,1 мкм, которые составляют около 65% суммарного объема пор.

О влиянии пористой структуры на прочность бетона. Изучение факторов, влияющих на прочностные свойства бетона и цементного камня, является предметом многочисленных исследований. На основании своих экспериментальных данных еще в конце 1898 г., Фере [1] предложил выражать зависимость прочности цементного камня и цементно-песчаного раствора на сжатие от их относительных плотностей формулой:

$$R_{сж} = A \cdot d^n, \quad (1.8)$$

где $R_{сж}$ – предел прочности образцов на сжатие;

d - отношение количества цемента к объему пор бетона (цементного камня);

n и A – эмпирические константы.

Пауэрс [9] предложил формулу, аналогичную по своей концепции уравнению Фере:

$$R_{сж} = A \cdot X^n, \quad (1.9)$$

где A и n – эмпирические константы;

X – отношение объема геля к сумме объемов геля, капиллярного и воздушного пространства.

Аналогичные предложения высказывались и другими зарубежными исследователями. Они изучали прочность цементного камня при пористости близкой к нулю. С этой целью из цементов семи видов с $V/C=0,21$ методом горячего прессования при давлении от 175 до 700 МПа и температуре до 250°C формовались образцы. Опыты показали, что прочность образцов горячего прессования в возрасте 1 ч была в пределах от 200 до 580 МПа. Прочность этих образцов через 28 сут. твердения в воде достигала 668 МПа при общей их пористости от 2 до 5%. Предел прочности на сжатие образцов, уплотнявшихся при комнатной температуре, после 28 сут. твердения составил 281 – 352 МПа при общей пористости 10 – 15%.

Отмечается, что степень гидратации цемента при горячем прессовании не превышала 29 – 37%. На

основе своих экспериментальных данных и результатов других исследователей автор этой статьи предложил экспотенциальную зависимость прочности цементного камня от его общей пористости:

$$P_{общ} = P_0 e^{-K R_{ц.к}}, \quad (1.10)$$

где $P_{общ}$ – общая пористость цементного камня;

P_0 – пористость, соответствующая нулевой прочности, равна примерно 60%;

K – константа, равная $2,59 \cdot 10^{-5}$ МПа.

Зависимость прочности цементного камня от его относительной плотности при максимально возможной степени гидратации цемента по А.Е.Шейкину выражается в виде:

$$R_{сж} = 3100 d n^{2,7} = 3100 \left[\frac{1+0,23\alpha R_{ц.к}}{1+\rho_u V/C} \right]^{2,7}, \quad (1.11)$$

где α и ρ_u – соответственно степень гидратации и плотность цемента;

0,23 – масса воды, химически связываемой 1 г цемента, равная 1.

Работы некоторых исследователей направлены на установление связи прочности с различными условными критериями и показателями, являющимися общей количественной характеристикой строения бетона. Так, в работе [10] прочность бетона рекомендуется определять в зависимости от показателя I , выражаемого формулой:

$$I = \frac{\text{объем несвязанной воды} + \text{объем вовлеченного воздуха}}{\text{абсолютный объем цементного камня}} \quad (1.12)$$

Для расчета I предлагается следующая формула:

$$I = V/C(2,04 + 20,4\rho/vv - 0,469) \quad (1.13)$$

Где ρ – объем вовлеченного воздуха; v – расход воды на 1 м³ бетона.

Путем математической обработки данных испытания 150 различных составов бетона на тяжелом и легком заполнителях Ю.М.Баженов [10] установил корреляционную зависимость между прочностью бетона и его, так называемым, обобщенным условным критерием:

$$\odot = \frac{C}{P_{общ}} = \frac{C / \rho_u + (V / C) u C}{V - 0,21\alpha C + P_v + P_z}, \quad (1.14)$$

где C – объемная концентрация цементного камня;

$P_{общ}$, P_z и P_v – пористость соответственно общая, заполнителя и вовлеченного воздуха;

V – расход воды;

C – расход цемента;

ρ_u – плотность цемента;

α – степень гидратации цемента.

Использование критерия \odot , по мнению автора, позволяет учитывать структуру и свойства бетона при изменении различных технологических факторов: времени твердения (через степень гидратации α), заполнителя (через его водопотребность), воздухововлекающих добавок (через P_v).

Некоторые авторы считают, что прочность бетона в значительной степени зависит от формы, строения и характера пор, связанных с их происхождением. Так, например, Ю.М.Баженов отмечает, что поры, возникающие в бетоне при его недостаточном уплотнении, имеют неправильную форму, в то время, как при воздухововлечении образуются мелкие пузырьки воздуха. Поэтому автор приходит к выводу, что снижение прочности бетона при наличии пор воздухововлечения и заземленного воздуха неодинаково. Относительная прочность бетона при сжатии в этом случае выражается формулой:

$$R_{сж} = 10^{-a_1V_1 - a_2V_2}, \quad (1.15)$$

где V_1 и V_2 – объем заземленного и вовлеченного воздуха, %;

a_1 и a_2 – эмпирические константы, равные примерно 0,035 и 0,026.

Указывается, что поры правильной формы, например, цилиндрические, параллельные направлению приложения нагрузки, в меньшей мере снижают прочность бетона, чем случайно распределенные поры неправильной формы, имеющие тот же общий объем.

Р.Н.Лореттовой [4] при исследовании прочностных свойств реальных бетонов установлено, что существует зависимость между пределом прочности при сжатии и его пористостью, причем корреляционные связи оказываются теснее, если берется не общая пористость, а объем пор диаметром более 10^{-5} м.

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что для получения прочного и долго-

вечного бетона необходимо рационально подобрать состав бетонной смеси и тщательно его уплотнить.

Список использованной литературы

1. Чеховский Ю.В. Понижение проницаемости бетона. – М.: Энергия, 1978. – 198 с.
2. Ахвердов И.Н. Железобетонные напорные центрифужированные трубы. – М.: Стройиздат, 1967. – 163 с.
3. Ступаченко П.П. Структурная пористость и ее связь со свойствами цементных, силикатных и гипсовых материалов // Труды Дальневосточного политехнического института. – Владивосток, 1964. – С.127-129.
4. Смолянова З.А., Лореттова Р.Н., Румянцев С.Г., Микольская В.А. Влияние некоторых технологических факторов на пористость бетонных плит, изготовленных в кассетных формах // Труды ВНИИжелезобетона – М.: Стройиздат, 1971, вып.17. – С.64-66.
5. Ступаченко П.П. Особенности структуры пор и свойства автоклавных цементных и безцементных бетонов // Докл.межд.конф. РИЛЕМ. – М.: Стройиздат, 1964. – С.115-118.
6. Шестоперов С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1966. – 500 с.
7. Кириллов А.И., Саталкин А.В., Солнечко В.А. Ускорение твердения мелкозернистых высокопрочных бетонов на всех стадиях технологических процессов изготовления сборных железобетонных конструкций / Докл. РИЛЕМ. – М.: Стройиздат, 1964. – С.125-127.
8. Чеховский Ю.В., Грайфер А.Г. Железобетонные сооружения для хранения и транспортирования газов. – М.: Стройиздат, 1979. – 96 с.
9. Пауэрс Т.К. Физические свойства цементного теста и камня // 1У Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1964. – С.402-415.
10. Баженов Ю.М. Технология бетона.– М.: Высшая школа, 1987.– 415 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Бекбоева Р.С.