

Опытные данные, обобщенные в критериальной форме, позволили получить уравнение (2), которое может быть использовано при расчете аппаратов с двухфазным закрученным потоком.

Л и т е р а т у р а

1. Большаков А.Г., Рябых В.Г. Исследование гидродинамики теплообменника с закрученными потоками газа и жидкости. - "Изв. вузов СССР. Энергетика", 1970, №9.
2. Гухман Л.М., Ершов А.И., Плехов И.М. Исследование гидродинамики и массопередачи в цилиндрическом контактном устройстве при двухфазном закрученном потоке. - В сб.: Общая и прикладная химия. Минск, 1970, вып.3.
3. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процесса теплообмена. М., 1962.
4. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. М., 1970.
5. Батунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. М., 1971.

УДК 666.973

А.П. Лебедев (канд. техн. наук)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

Для термодинамических систем с переменной массой, к которым относится твердеющее бетонное изделие, уравнение Гиббса имеет вид

$$dH = dq + V dp + \sum \mu_i dV_i + C_p dM - r dM', \quad (1)$$

где H - энтальпия термодинамической системы; q - количество тепла, подведенное к системе; V - объем порового пространства в системе; V_i - количество воды, участвующее в гидратации цемента; μ_i - химический потенциал i -й реакции гидратации; r - теплота парообразования; C_p - теплоемкость воды, вносимая в систему; M - масса воды, вносимая в систему; M' - масса воды, удаляемая из системы; p - давление жидкой и газообразной фаз в системе.

При твердении бетона в нормальных температурно-влажностных условиях ($t = 18 - 20^\circ\text{C}$ и $\varphi = 95 - 100\%$), т.е. при отсутствии тепло- и массообмена с окружающей средой $dq = 0$ и $dM = 0$. Для этого случая твердения бетонной смеси уравнение (1) принимает вид

$$dH = V dp + \sum \mu_i dV_i. \quad (2)$$

При тщательном перемешивании компонентов в бетонной смеси энергия, выделяющаяся при гидратации цемента $\sum \mu_i d V_i$, будет равномерно распределена по объему твердеющего бетона. Поэтому перепады температуры по сечению изделия будут незначительны и быстро уменьшаются, так как скорость гидратации при естественных условиях твердения сравнительно мала и при относительно небольших модулях поверхности ($M < 5$) система в процессе твердения будет находиться в условиях, близких к равновесным, а объем жидкой фазы будет уменьшаться за счет расхода воды на гидратацию. При постоянном объеме порового пространства давление в нем будет понижаться, в изделии создается вакуум. Под действием давления окружающей среды объем порового пространства может уменьшаться.

В процессе тепловой обработки в кассетах массообмен с окружающей средой ограничен и им можно пренебречь. В этом случае уравнение (1) запишется в виде

$$dH = dq + V dp + \sum \mu_i dV_i. \quad (3)$$

При таком способе ускоренного твердения все тепло, подводимое к бетону, и теплота реакций гидратации цемента расходуются на повышение температуры всех составляющих бетонной смеси. При этом жидкая и газовая фазы увеличиваются в объеме, но из-за ограниченного объема порового пространства в нем создается значительное давление, достигающее нескольких мегапаскалей. Однако больших нарушений поровой структуры бетона не происходит, так как возникающие напряжения компенсируются жесткой формой, которая препятствует действию внутреннего давления.

Наибольшие нарушения поровой структуры бетона наблюдаются при тепловой обработке в среде влажного насыщенного пара. Для этого способа тепловой обработки уравнение (1) принимает вид

$$dH = dq + V dp + \sum \mu_i dV_i + C_p dM. \quad (4)$$

Согласно уравнению (4), при пропаривании бетона на него совместно действуют два потока тепла: внешний dq и внутренний $C_p dM$. Конденсат, внедряющийся в тело твердеющего бетона, вносит дополнительное количество тепла и компенсирует расход воды на гидратацию цемента, а в легких бетонах даже превышает его [1]. Поэтому в поровом пространстве возникают давления, значительно превышающие прочность бетона, и он

деформируется. Величина деформации колеблется в широких пределах вплоть до разрушения [2,3] в зависимости от продолжительности предварительной выдержки и интенсивности теплового воздействия. Особенно сильно нарушается поровая структура поверхностного слоя изделий, в котором образуются направленная пористость, а иногда и каверны.

Если в процессе тепловой обработки из твердеющего бетона будет удаляться некоторое количество воды, то для такого процесса уравнение (1) примет вид

$$dH = dq + V dp + \sum \mu_i dV_i - rdM' \quad (5)$$

В данном процессе тепловое воздействие ослабляется действием процесса массообмена. Как следует из уравнения (5), перепады температур и давление в поровом пространстве будут определяться разностью $dq - rdM'$. Следовательно, чем интенсивнее испарение воды из твердеющего бетона, тем меньше тепловое воздействие на деформации бетона при тепловой обработке.

Сток влаги за счет испарения и гидратации может привести к усадке бетона, т.е. к уменьшению количества пор в бетоне.

Однако следует иметь в виду, что изложенные выше соображения справедливы в том случае, если количество подводимого тепла будет соразмерно с количеством затрат тепла на испарение. При $dq \gg rdM'$ деформации бетона будут возрастать с увеличением q . Кроме того, при больших количествах подводимого тепла возможно обезвоживание изделий, так как интенсивность испарения при температурах выше 50°C всегда больше скорости реакций гидратации.

Резюме. В результате термодинамического анализа различных способов тепловой обработки бетона показано, что наиболее благоприятные условия создаются при твердении в сухой среде. Однако при этом следует создавать условия, препятствующие обезвоживанию бетона при изотермической выдержке.

Л и т е р а т у р а

1. Маслаков А.Д. Влияние технологических факторов на величину остаточной влажности керамзитобетонных изделий. Канд.дис. Минск, 1970. 2. Дмитриевич А.Д. Тепло- и массообмен при твердении бетона в паровой среде. М., 1968. 3. Выскребцов Г.Е., Матвиевский В.Д. Деформативность тяжелых бетонов при тепловой обработке изделий на заводах сборного железобетона в районах Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1971.