

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК-УСКОРИТЕЛЕЙ ТВЕРДЕНИЯ НА КИНЕТИКУ РОСТА ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

Карнилович Д.В. Пашкевич Е.Н.
Научный руководитель – Гуриненко Н.С., м.т.н.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В монолитном строительстве при бетонировании бетонных и железобетонных конструкций в ряде случаев возникает необходимость ускорить рост прочности уложенного бетона с целью сокращения сроков его выдержки перед распалубкой с последующим ускорением строительного процесса. Для этого эффективно использование электролитов – добавок-ускорителей твердения бетона.

Значительный эффект от использования добавок-ускорителей имеет место и в технологии сборного бетона и железобетона. Сокращение сроков схватывания цемента и интенсификация его твердения актуальны как для бетонов нормально-влажностного твердения, так и подвергаемых тепловлажностной обработке, причем не только для бетонов на плотных, но и на пористых заполнителях.

В заводских условиях производства сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций применение добавок-ускорителей твердения позволяет сократить время тепловлажностной обработки, что ускоряет оборачиваемость форм и тепловых агрегатов и существенно снизить энергетические затраты.

Основным критерием эффективности добавок-ускорителей твердения в соответствии с СТБ 1112 является повышение прочности бетона на 20% и более в возрасте 1 суток нормального твердения и на 30% и более в возрасте 2 суток при температуре плюс (5 ± 2) °С.

Наиболее широко в странах СНГ известна классификация, предложенная Ратиновым – Розенбергом, согласно которой добавки разделяются на четыре класса:

- 1-й – добавки, изменяющие растворимость минеральных вяжущих материалов и не вступающие с ними в химические реакции;
- 2-й – добавки, реагирующие с вяжущими с образованием труднорастворимых или малодиссоциированных комплексных соединений;
- 3-й – добавки – готовые центры кристаллизации («затравки»);

4-й – органические поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные к адсорбции на поверхности твердой фазы.

В качестве ускорителей твердения бетона рекомендованы к применению в соответствии с ПИ-99 к СНиП 3.09.01 [7] следующие вещества: хлорид кальция (ХК), нитрат кальция (НК), нитрит-нитрат кальция (ННК), нитрат натрия (НН₁), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК), сульфат натрия (СН), тринатрий фосфат (ТНФ), полиметаллический водный концентрат (ПВК).

Из перечисленных веществ многие (ХК, ННХК, ПВК) содержат ион хлора, агрессивный по отношению к стали. В нормативах стран ЕС, США, Японии и других добавки на основе хлоридов запрещены к применению в железобетоне и в бетоне с «заделанным» металлом.

Эффект «пептизации» цементных флокул химическими добавками. Вследствие различных причин (наличие разноименных зарядов на поверхности частиц тонко измельченного цемента, разной дисперсности частиц, сорбции ими паров воды из воздуха, слеживания) размер условного среднего «зерна» цемента выше, чем это есть на самом деле, из-за объединения мелких частиц в агрегаты (флокулы). Заполняющий межзерновое пространство флокул цемента воздух препятствует (особенно на начальной стадии взаимодействия) включению в реакцию с водой значительной части реакционноспособной поверхности вяжущего, что снижает темп роста прочности цементного камня и бетона. Самопроизвольная дезагрегация цементных флокул под воздействием воды развивается благодаря возникновению отталкивающих (расклинивающий эффект) усилий тонких пленок жидкости при смачивании поверхности контактирующих частиц вяжущего. В результате в устье таких «трещин» формируются пленки жидкости, переходящие в монослои из ориентированных молекул воды, возникает усилие взаимного отталкивания одноименно заряженных поверхностей ее пленок («эффект Ребиндера»).

Присутствие в воде затвердения ионов ряда химических веществ, являющимися ускорителями твердения бетона, значительно повышает усилие отталкивания одноименно заряженных пленок жидкости, адсорбированной поверхностью зерен цемента, составляющих флокулу, что проявляется в интенсивности развития процесса их распада и, как следствие, сопровождается вовлечением в реакцию с водой дополнительной поверхности вяжущего, способствует росту плотности и прочности цементного камня (бетона).

Эффект растворимости и образование новых (дополнительных) фаз. В водной среде добавки-ускорители твердения образуют истинные растворы, распадаясь на составляющие ионы (например, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}^{++} + \text{SO}_4^{-}$). Обладая значительным энергетическим, и, соответственно, адсорбцион-

ным потенциалом ионы вещества добавки способны энергично проникать с молекулами воды в адсорбционные слои жидкости, в зону ее контакта с поверхностью вяжущего. Вследствие значительно большего, чем у молекул воды, собственного энергетического поля их присутствие приводит к росту сил, обеспечивающих растворение (гидратацию) ионов клинкерных минералов и интенсифицирует этот процесс, что может быть наглядно интерпретировано изменениями в схеме взаимодействия цемента с водой, как растворителем.

В свою очередь, повышение темпа растворения клинкерных минералов цемента в присутствии добавок будет способствовать ускоренному протеканию всех дальнейших процессов, приводящих к формированию коагуляционной структуры цементного теста (геля), т.е. к ускорению схватывания, формирования и упрочнения кристаллогидратной структуры, т.е. к ускорению твердения.

Эффект добавок – готовых центров кристаллизации. Все большее интерес проявляется к механизму воздействия на гидратирующийся и твердеющий цемент «добавок-затравок», представляющих собой тонкодисперсную твердую фазу, являющуюся подложкой, инициирующей ускорение образования новых фаз в цементном геле, т.е. снижающих энергетический порог начала образования кристаллогидратов. В результате вокруг готовых (привнесенных в виде добавки) центров кристаллизации с меньшими потерями энергии в системе цемент-вода формируются микрорекристаллы силикатов, что способствует ускоренному росту прочности бетона.

О «механизме» действия ускорителей твердения, как комплексном явлении. Механизм воздействия химических добавок–ускорителей твердения – на процессы гидратации, схватывания и твердения цемента представляет собой комплекс физико-химических явлений [1-5], в результате которых возрастает темп и сокращается время перехода цементного теста из вязкопластичного в камневидное состояние, повышаются плотность и прочность цементного камня и бетона в целом.

Воззрения авторов этих исследований при попытке аргументировать одно из проявлений этой совокупности возможных воздействий, например: эффект «пептизации» («химического» диспергирования флюкул цемента), или – связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с эффектом ускорения растворения C_3S и C_2S , или – реакции с алюминатами и ферритами с образованием сложных солей – соединений при повышении плотности, прочности и стойкости к воздействиям структуры цементного камня и других отдельно взятых вариантов физико-химического воздействия вещества добавки–ускорителя на кинетику взаимодействия твердеющего цемента с водой представляются нам не продуктивными.

Более рациональны представления о влиянии добавок–ускорителей твердения как о комплексном процессе, в котором сочетается множество форм воздействия. При этом преобладающий эффект связан со свойствами химического вещества конкретной добавки, что по существу показано в работах Ратинова – Розенберг [1]. Механизм воздействия химических добавок–ускорителей твердения – на процессы гидратации, схватывания и твердения цемента представляет собой комплекс физико-химических явлений, в результате которых возрастает темп и сокращается время перехода цементного теста из вязко-пластичного в камневидное состояние, повышаются плотность и прочность цементного камня и бетона в целом.

Приведенные экспериментальные данные (рисунок 1) свидетельствуют об эффекте роста прочности цементного камня (бетона) с введением в цементное тесто комплексной добавки-ускорителя (1%Na₂SO₄+0,25% Al₂(SO₄)₃ от массы цемента). Работы по исследованию данной химической добавки сейчас ведутся на кафедре «Технология бетона и строительные материалы» БНТУ.

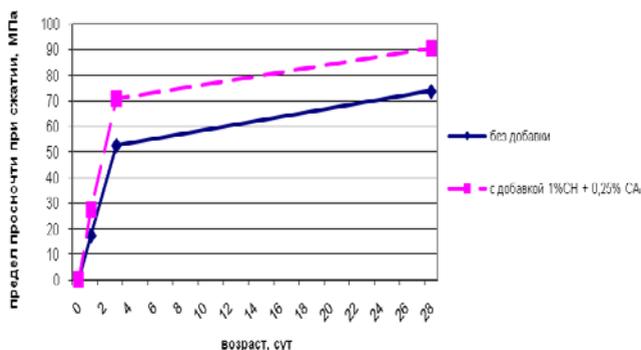


Рисунок 1 – Хранение образцов: 1-е сутки в НВУ, затем в воде

ЛИТЕРАТУРА

1. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – Москва: Стройиздат, 1989. – 188 с.
2. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – Москва: Знание, 1958. – 75 с.
3. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. – Москва: Стройиздат, 1981. – 464 с.
4. Батяновский, Э.И. О механизме действия добавок-ускорителей твердения бетона / Э.И. Батяновский // Приложение к Вестнику Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. – Брест: БГТУ, 2004. – С. 11–15.