

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ПОЯСОВ И ОТГИБОВ В СЕЧЕНИЯХ С- И Z-ОБРАЗНЫХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ИЗГИБА

ВЫВОДЫ

Эффективность работы С- и Z- образных профилей на изгиб зависит от ширины поясов, ширины отгибов, высоты сечения, а также толщины и прочности стали.

Характер влияния ширины поясов на эффективность во многом зависит от толщины стали. При относительно тонких сталях ($t \leq 1$ мм) наиболее эффективны профили с узкими поясами. Наоборот, при больших толщинах эффективны широкие пояса, в которых неэффективная часть либо мала, либо вообще отсутствует (пояс не теряет устойчивость). При толщинах $t = 1,5 \dots 2,0$ мм наиболее эффективны пояса с $b_f = 60 \dots 90$ мм (в зависимости от высоты сечения и прочности стали).

Увеличение высоты сечения также влечёт за собой повышение ширины эффективных поясов.

Повышение прочности стали приводит к пропорциональному росту эффективности только при относительно больших толщинах. При малых толщинах эффективность растёт медленнее из-за потери местной устойчивости. Также, упрочнение стали приводит к снижению ширины эффективных поясов.

Влияние ширины отгибов на эффективность зависит от ширины поясов, высоты профиля и толщины стали. При поясах не-

большой ширины ($b_f = 40, 50$ мм) при всех высотах и толщинах наиболее эффективны широкие отгибы $c/b_f = 0,5$ и более. С увеличением ширины поясов и со снижением высоты профиля оптимумы сдвигаются в сторону меньших ширин отгибов ($c/b_f = 0,3 \dots 0,4$). Отгибы шириной $c/b_f < 0,25$ в большинстве случаев нецелесообразны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adany, S. Buckling mode classification of members with open thin-walled cross-section by using Finite Strip Method. Research Report / S. Adany // Johns Hopkins University, 2004.- 99 p
2. Кикоть, А.А. Программа расчёта прогибов изгибаемых элементов из стальных тонкостенных холодногнуемых профилей / А.А. Кикоть, М.Н. Корницкая, Е.В. Мурзин // Проектирование и строительство в Сибири, 2010.- №4. – С.37-39
3. EN 1993-1-3:2004 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-3: General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting / European Committee for Standardisation CEN, Brussels, 2004.- 125 p
4. Karman Th, Sechler E.E., Donnel L.H. Transactions American Society Mech. Eng., vol. 54, 1932.- P. 53
5. EN 1993-1-5:2003 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements / European Committee for Standardisation CEN, Brussels, 2003.- 53 p.
6. Верификация программы CFSteel v.1.1, 2010.- 20 с.

УДК 666.9.022.6(075.8)

СОСТАВ ПРОДУКТОВ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ДОБАВКОЙ ЗОЛ БУРЫХ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА

В.К. Козлова, А.А. Лихошерстов, А.В. Вольф, Е.Е. Андрюшина, Е.В. Шкрабко

Рассмотрен состав продуктов гидратации портландцемента с добавкой золы бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Показано, что свободный оксид кальция в золах не полностью гидратируется при всех режимах твердения, кроме автоклавной обработки. Необходимо введение химических добавок.

Ключевые слова: оксид кальция, эттрингит.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с дефицитом активных минеральных добавок (доменного гранулированного шлака и других), их высокой стоимостью производители цемента проявляют всё больший интерес к рассмотрению возможно-

сти использования зол тепловых электростанций в производстве портландцемента, золопортландцемента, многокомпонентных композиционных цементов. В настоящее время в Западной и Восточной Сибири работает ряд крупных тепловых электростанций, сжигающих бурые угли Канско-Ачинского бассейна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Изучение продуктов гидратации зол бурых углей проводилась с использованием золы ТЭЦ-3 г. Новосибирска с содержанием $\text{CaO}_{\text{своб.}}$, равным 6 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Химический состав бурых углей различных разрезов Канско-Ачинского бассейна характеризуется содержанием SiO_2 , равным $30 \div 47$ %; Al_2O_3 – $8 \div 10$ %; Fe_2O_3 – $9 \div 15$ %; CaO – $26 \div 38$ %. По фазовому составу эти золы представляют сложную многокомпонентную систему, в состав которой помимо железосиликатной стеклофазы ($50 \div 60$ %) входят соединения, встречающиеся в различных вяжущих системах: двухкальциевый силикат – $12 \div 20$ %, минералы алюминаты в пересчете на трехкальциевый алюминат – $4 \div 10$ %, четырехкальциевый алюмоферрит – $6 \div 10$ %, $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ – $3 \div 9$ %, CaSO_4 от 1,0 до 7,0 %, MgO – $1 \div 3$ %, п.п.п. $1,5 \div 3,0$ %. Часть сульфата кальция находится в форме ангидрита, возможно так же присутствие некоторого количества фаз, характеризующихся более высокой растворимостью в воде, таких как полуводный гипс и растворимый ангидрит. Химический и фазовый составы зол подвержены значительным колебаниям. Эти золы обладают самостоятельными вяжущими свойствами, способны при гидратации и твердении давать зольный камень высокой прочности. Однако, для них характерно неравномерное изменение объема при твердении и возникновение деформаций.

Общее содержание компонентов воздушных вяжущих веществ составляет в золе, в среднем 15 – 20 %, компонентов гидравлических вяжущих – $25 \div 30$ %, остальное – стеклофаза. Из приведенных данных о фазовом составе видно, что присутствующие в золе минералы при взаимодействии с водой не могут самостоятельно обеспечить зольному тесту быстрое схватывание, характерное для этих зол. Среднее время начала схватывания составляет 15 – 25 мин, конца схватывания – 45 – 55 мин. Быстрое схватывание зольного теста свидетельствует о том, что при затворении зол водой происходит образование сложных гидратных комплексов на основе алюминатов кальция, гидроксида кальция и сульфатов кальция. При гидратации указанного количества минералов-алюминатов, при достаточном содержании других компонентов, участвующих в реакции, возможно образование 20 – 35 % этtringита, что обеспечивает быстрое схватывание тес-

та. В начальный период гидратации этtringит является единственной структурообразующей фазой.

При гидратации зол происходит медленное образование небольшого количества гидросиликатной фазы, имеющей коллоидную структуру, в то время как хорошо закристаллизованная фаза в виде большого количества этtringита образуется быстро. Такая ситуация способна привести к значительному линейному расширению зольного камня, которое может составлять от 0 до 7,0 % и более.

При факельном сжигании топлива значительная часть свободного оксида кальция в составе зол находится в пережженной трудногасящейся форме. При наличии в затвердевшем зольном камне части оксида кальция в незагашенном состоянии сохраняется опасность позднего образования этtringита и возникновения деструктивных процессов в отдаленные сроки.

Можно считать, что дефекты структуры зольного камня полностью зависят от протекания процессов этtringитообразования и закладываются в два этапа – ранний и поздний. В начальный период гидратации и твердения зольных вяжущих они связаны с бурным образованием большого количества этtringита.

Л. Г. Плотниковой [2], при изучении процессов гидратации зол бурых углей высокотемпературного сжигания установлено, что расширение зольного камня в процессе пропаривания начинается в первые часы и тесно коррелируется с количеством загашенного к тому времени оксида кальция. Деструктивные явления начинаются задолго до возможного гашения пережженной части оксида кальция.

Р. А. Назировым [1] замечено, что увеличение скорости гидратации свободного оксида кальция и уменьшение интенсивности его дифракционных максимумов совпадает по времени с уменьшением пиков ангидрита и увеличением интенсивности пиков этtringита. При изучении действия химических добавок, способствующих интенсивному гашению пережога в ранние сроки твердения, отмечалось, что, чем интенсивнее добавка гасит пережог, тем в большей степени разрушаются образцы, причем среди первых новообразований при гидратации зол с добавками и без добавок надежно фиксируется этtringит.

Деструктивные процессы при гидратации и твердении зольного камня могут иметь место при повышенном содержании оксида кальция даже в том случае, когда он полностью находится в мягкообожженной форме.

СОСТАВ ПРОДУКТОВ ГИДРАТАЦИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ДОБАВКОЙ ЗОЛ БУРЫХ УГЛЕЙ КАНСКО-АЧИНСКОГО БАССЕЙНА

Следовательно, основной причиной деструктивных явлений при гидратации зол бурых углей Канско-Ачинского бассейна является не столько само запоздалое гашение оксида кальция, сколько время образования и количество возникающих продуктов гидратации, содержащих в своей структуре большое количество молекул воды и обладающих ярко выраженным направленным ростом кристаллов и большим объемом. Свободный оксид кальция в золах, превращающийся при гашении в гидроксид, является лишь поставщиком важнейшего компонента, необходимого для образования этих соединений.

Отмеченные обстоятельства приводят к убеждению, что предупреждение деструктивных явлений на ранних стадиях гидратации и твердения может быть достигнуто через управление формированием этtringитовой фазы, уменьшением её количества и скорости образования.

Снижение вероятности деструктивных процессов в поздние периоды твердения может быть достигнуто практически полным исключением возможности позднего образования этtringита. Основным условием для этого должно быть отсутствие в составе зольного камня остатков свободного оксида кальция, способного со временем гаситься и поставлять в жидкую фазу дополнительную порцию $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Низкая концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе затвердевшего зольного камня может быть обеспечена ускоренным гашением CaO с переводом образующегося $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в другие соединения.

Однако, выполненные исследования показывают, что для зол, содержащих более 4,0 % свободного оксида кальция, полная гидратация CaO достигается только в условиях автоклавного твердения.

На кривой ДТА (рисунок 1) гидратированного зольного камня через 28 суток твердения в нормальных условиях имеется глубокий эндотермический эффект при температуре 140 °С, характерный для этtringита, кроме того имеются эндотермические эффекты при 430 и 560 °С, соответствующие дегидратации портландита различной степени закристаллизованности, а также эндоэффект карбоната кальция при 800 °С. Характер эффектов сохраняется таким же и через 2 года твердения золы в нормальных условиях.

Необходимо отметить, что в отличие от портландцементов, при длительном твердении которых образовавшийся на ранней стадии этtringит постепенно переходит в AF_m фазу, при длительной гидратации зол бурых углей Канско-Ачинского бассейна такого перехода не наблюдается. Очевидно, превращение этtringита в AF_m -фазу, представляю-

щее собой процесс перераспределения и выравнивания концентрации сульфатных ионов в сульфогидроалюминатных фазах, невозможно в системах, содержащих значительное количество сульфатов.

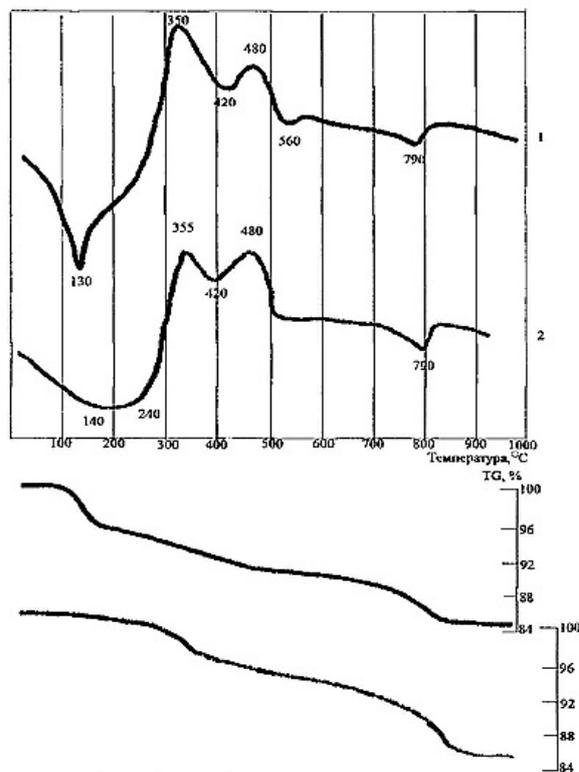


Рисунок 1 – Дериватогаммы продуктов гидратации высококальциевой золы [2]: 1 – два года твердения в нормальных условиях; 2 – два года твердения в нормальных условиях и запаривание

Рассматриваемые золы и их смеси с цементами отличаются содержанием сульфатов, достаточным для обеспечения отношения $\text{CaSO}_4:\text{Al}_2\text{O}_3$, в составе продуктов гидратации, близкого к 3. Поэтому, возникший на ранних стадиях гидратации этtringит, сохраняется в качестве одного из основных продуктов твердения.

На кривой ДТА зольного камня после автоклавирования в области низких температур наблюдается глубокий размытый эндо-эффект в интервале температур от 100 °С до 300 °С, со сдвигом максимума до 200 °С.

При указанных температурах возможна потеря воды образовавшимися при гидротермальной обработке гидросиликатными фазами, а также дегидратация сульфогидроалюминатных фаз.

Изменение характера эндотермического эффекта, соответствующего сульфогидроалюминатным фазам после автоклавирования

свидетельствует о происходящих изменениях состава этих фаз.

На рентгенограмме зольного камня, твердевшего 28 суток и двух лет, сохраняются интенсивные дифракционные максимумы негидратированного оксида кальция $(2,76; 2,39; 1,69) \cdot 10^{-10}$ м. В зольном камне после пропаривания снижается интенсивность линий негидратированного $\text{CaO}_{\text{своб.}}$, но совсем исчезают линии только после автоклавной обработки. При всех режимах твердения на рентгенограммах присутствуют интенсивные линии гидроксида кальция $(4,90; 2,63) \cdot 10^{-10}$ м, следовательно, образующийся при гидратации $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ гидроксид кальция почти не связывается гидросиликатными фазами зольного камня. В то же время на рентгенограмме 28-суточного зольного камня присутствуют выраженные максимумы этtringита $(9,73; 5,61; 2,56) \cdot 10^{-10}$ м, их интенсивность значительно меньше для зольного камня сразу после пропаривания. Гидратация в нормальных условиях и при пропаривании сопровождается деформацией расширения. На рентгенограмме зольного камня после автоклавирования четко выражены максимумы кварца $(3,34 \cdot 10^{-10}$ м) и тоберморитовой фазы $(3,07; 2,80; 1,83) \cdot 10^{-10}$ м. Линии других фаз отсутствуют. Видимо, при большем количестве тоберморита в процессе гидротермального синтеза все алюминатные фазы входят в состав алюминийзамещенного тоберморита, имеющийся сульфат кальция также поглощается этой фазой. У образцов отсутствуют деформации расширения.

ВЫВОДЫ

Особенности состава продуктов гидратации зольных и цементозольных вяжущих на основе высококальциевых зол бурых углей Канско-Ачинского бассейна заключаются в следующем:

1. Значительная часть привносимого золой $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ сохраняется негидратированной при твердении золоцементных композиций в нормальных условиях (до двух лет) и при пропаривании. Кроме того, в продуктах взаимодействия присутствует большое количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в несвязанном состоянии. $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ полностью гидратируется только при запаривании, в этих же условиях происходит уменьшение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$, однако значительная его часть сохраняется.

2. В нормальных условиях твердения в числе первых продуктов гидратации образуется значительное количество этtringита. Этtringитоподобная фаза сохраняется также

при пропаривании. При твердении в таких условиях для образцов золоцементного камня характерно наличие деформаций расширения. Основные признаки этtringита видоизменяются в золоцементном камне только после автоклавной обработки.

3. Гидросиликатная составляющая продуктов гидратации в автоклавных условиях представлена алюминийзамещенным тоберморитом, в неавтоклавных – небольшим количеством слабозакристаллизованных гидросиликатов состава CSH (I).

4. Для получения цементозольного камня гарантированной долговечности необходимы такие способы подготовки зол, введение добавок и такие режимы твердения, при которых в составе цементирующей связки достигается почти полное превращение $\text{CaO}_{\text{своб.}}$ в $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и последующее связывание основного количества гидроксида кальция в соединения, исключая образование этtringита.

5. Сохранение какого-то количества негидратированного оксида кальция в составе затвердевших зольных или зольно-цементных вяжущих, а соответственно, и в материалах, полученных с их использованием, может привести к снижению прочности и долговечности в отдаленные сроки службы.

Время начала активной гидратации оставшегося негидратированного оксида кальция в затвердевшем золосодержащем вяжущем будет зависеть от состава и структуры бетона, а также условий его службы. Снижение опасности появления деструктивных процессов может быть достигнуто применением различных способов подготовки золы и введением добавок в состав композиционных вяжущих веществ и материалов на их основе. Особое значение могут иметь добавки, способствующие сохранению образующегося «позднего» этtringита в микрокристаллическом состоянии и предотвращающие его перекристаллизацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назиров Р.А. Гидратация свободных оксидов в зольных композициях и свойства материалов на основе высококальциевых зол [текст] / Р.А. Назиров: автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н. – Новосибирск, 1990. – 17 с.
2. Овчаренко Г.И. Оценка свойств углей КАТАЭКа и их использование в тяжелых бетонах [текст] / Овчаренко Г.И., Плотникова Л.Г., Францен В.Б. – Барнаул, 1997. – 149 с.