

АНАЛИЗ СВОЙСТВ БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИХ БЕТОНОКОМПОЗИТОВ, УДОВЛЕТВОРЯЮЩИХ ТРЕБОВАНИЯМ АДДИТИВНОГО ФОРМОВАНИЯ

Д. В. Семененко¹, А. В. Таболич¹, Д. С. Ратуцкая²,
М. Л. Хейфец², О. А. Петров³

¹ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

²Институт прикладной физики, г. Минск, Беларусь

³Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь

Для приготовления бетонокомпозитных составов, удовлетворяющих требованиям аддитивного формования, использовался цемент (Ц) марки ПЦ500Д0 и песок (П) фракции 1,5–2,5 мм в соотношении Ц/П = 1:2,4. При этом воды (В) добавлялось такое количество, чтобы водоцементное соотношение составляло В/Ц = 0,5; 0,55; 0,6 соответственно [1, 2]. Предпочтение этим значениям В/Ц было отдано потому, что приготавливаемая смесь должна обладать хорошей подвижностью с целью минимизации энергозатрат на ее транспортирование. В то же время высокое значение водоцементного соотношения приводит к снижению прочности изделий, изготовленных из такого раствора. Поэтому при проведении исследований бетонокомпозитных составов (цементно-песчаных смесей) следует определить рациональное значение этого параметра.

При подборе компонентов для получения составов быстро-твердеющих вязкопластичных бетонокомпозитов, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования, установлено, что наиболее рациональными для применения с точки зрения сокращения сроков схватывания смесей и отсутствия коррозионного воздействия на арматуру (в случае формования железобетонных изделий) являются нитриты и нитраты натрия, кальция. Поэтому для получения опытных партий бетонокомпозитных составов в качестве основных химических добавок (ускорителей схватывания) выбраны нитрат натрия (NaNO_3) и нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), а в качестве альтернативных – хло-

рид кальция (CaCl_2), сульфат натрия (Na_2SO_4), добавки «Темп» и «Стахимент 3000» [3].

Химические добавки приготавливались с водой затворения. Их расход принимался в количестве 0,5–3 % от массы сухого цемента [4]. В частности, нитрат натрия, нитрат и хлорид кальция вводились в количестве 3 % от массы цемента, сульфат натрия – 2, «Темп» – 0,5, «Стахимент 3000» – 1,2 %. Принятый расход двух последних добавок выбран исходя из максимально допустимых значений согласно рекомендациям фирм-изготовителей.

Определение сроков схватывания цементно-песчаных смесей проводилось по ГОСТ 310. Исследования подвижности приготовленных смесей осуществлялось по ГОСТ 5802 и СТБ 1307. Исследования физико-механических свойств изделий (кубиков с длиной ребра 70,7 мм), полученных из цементно-песчаных смесей с добавлением химических добавок, заключались в определении прочности на сжатие готовых образцов согласно ГОСТ 5802. Механические испытания отформованных кубиков проводились на Тестпрессе ТП-1-100 (РФ), который позволял регулировать скорость роста прилагаемой нагрузки (давления, мПа/с; силы, кН/с), определять ее текущую величину в кН и прочность испытываемых образцов на сжатие в МПа.

Результаты проведенных исследований подвижности приготовленных смесей показали, что при В/Ц = 0,5 приготовленные смеси соответствуют марке подвижности $\text{П}_{\text{к}2}$ (глубина погружения конуса 7,2 см), а при В/Ц = 0,55 и В/Ц = 0,6 марке подвижности $\text{П}_{\text{к}3}$ (глубина погружения конуса 8,5 и 11,3 см соответственно).

На рис. 1 приведены результаты исследований прочности на сжатие кубиков возрастом 3, 7 и 28 сут (графики: 1, 2 и 3 соответственно), приготовленных из цементно-песчаного раствора с добавлением нитрата натрия в количестве 3 % от массы цемента. Они свидетельствуют о том, что после 28 сут образцы соответствуют марке раствора М200 ГОСТ 5802. При этом снижение прочности по мере увеличения водоцементного содержания В/Ц от 0,5 до 0,6 составляет 6,8 %.

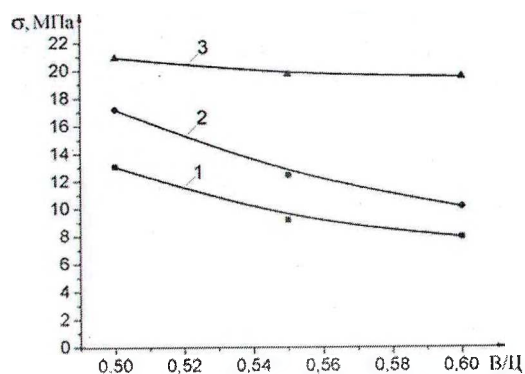


Рис. 1. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием нитрата натрия в качестве ускорителя схватывания

Результаты исследований прочности на сжатие кубиков возрастом 3, 7 и 28 сут, содержащих в своем составе нитрат кальция в количестве 3 % от массы цемента, представлены на рис. 2. Из него видно, что в возрасте 28 сут прочность кубиков, приготовленных при В/Ц = 0,5 и В/Ц = 0,55, сопоставима, но при В/Ц = 0,6 снижение прочности составляет 37,7 % (по сравнению с В/Ц = 0,5). То есть с учетом требований обеспечения достаточной прочности готовых образцов и минимизации энергозатрат

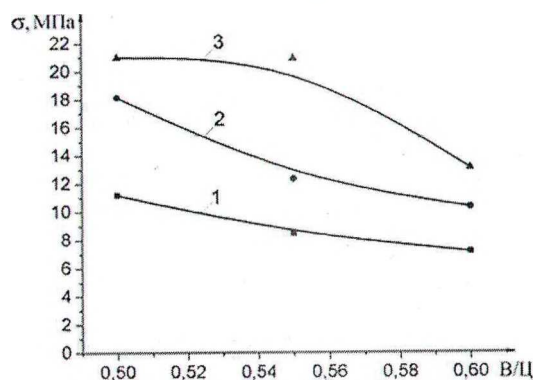


Рис. 2. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием нитрата кальция в качестве ускорителя схватывания

на транспортирование приготовленной смеси от смесителя к месту формовки изделий при использовании нитрата кальция в качестве химической добавки предпочтительным является $V/C = 0,55$.

Аналогичное заключение можно сделать и для случаев использования в качестве ускорителя схватывания 3% хлорида кальция (рис. 3), 2 % сульфата натрия (рис. 4) и 0,5 % добавки «Темп» (рис. 5).

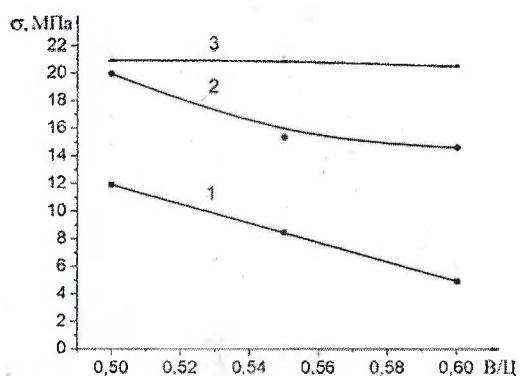


Рис. 3. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием хлорида кальция в качестве ускорителя схватывания

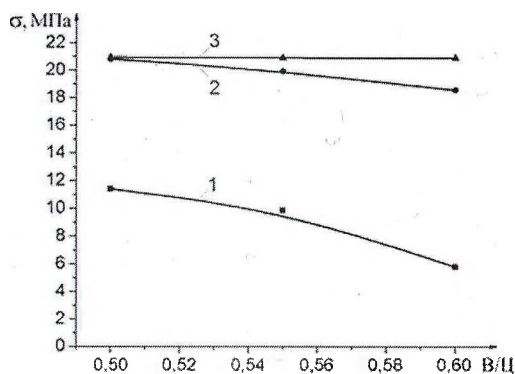


Рис. 4. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием сульфата натрия в качестве ускорителя схватывания

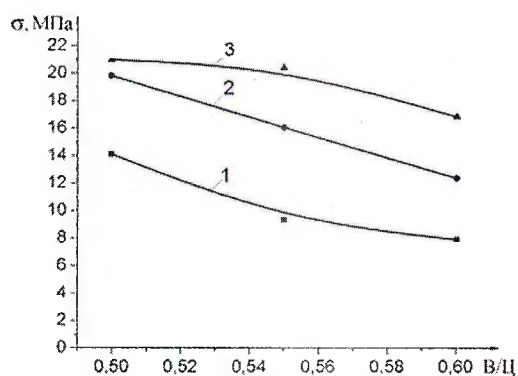


Рис. 5. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием добавки «Темп» в качестве ускорителя схватывания

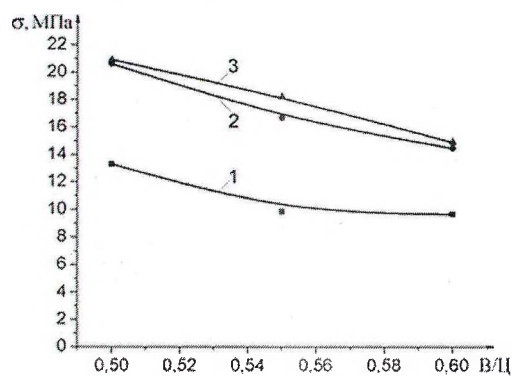


Рис. 6. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных с использованием в добавки «Стахимент 3000» в качестве ускорителя схватывания

Также следует помнить, что в производстве железобетонных изделий хлорид кальция и сульфат натрия нежелательно использовать без ингибиторов коррозии. Более того, как ускорители схватывания бетонных и цементно-песчаных смесей хлорид кальция и сульфат натрия показывают не самые лучшие результаты.

Химическая добавка «Стахимент 3000» характеризуется хорошей скоростью набора прочности на сжатие сформованных изделий (рис. 6), но сроки схватывания приготовленных с ее

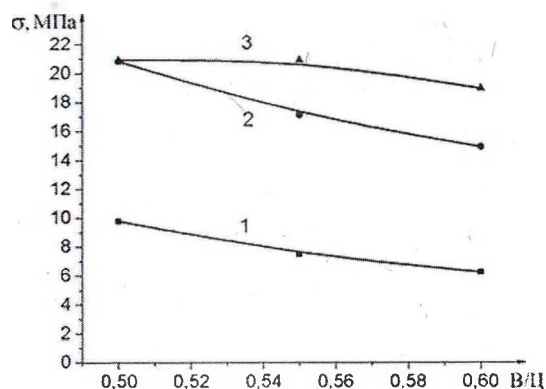


Рис. 7. Зависимость прочности партии образцов, приготовленных без использования химических добавок

использованием смесей не позволяют рекомендовать ее для использования в аддитивном производстве бетонных и железобетонных изделий.

Для анализа результатов испытаний опытных образцов изделий (кубиков), полученных при применении различных химических добавок, с эталонными образцами приготавливались смеси, в которых не использовались ускорители схватывания. Предел прочности на сжатие последних показан на рис. 7.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что прочность образцов на сжатие в диапазоне В/Ц = 0,5–0,55 почти не зависит от количества воды, добавляемой при приготовлении бетонокомпозитной (цементно-песчаной) смеси, чего нельзя сказать о более высоких величинах соотношения В/Ц.

Таким образом, для приготовления смесей, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования, с точки зрения обеспечения высокой прочности готовых изделий и минимизации энергозатрат на перемещение приготовленной смеси от смесителя до места формовки, целесообразнее всего отдавать предпочтение соотношению В/Ц = 0,55. Также можно сделать вывод о том, что при В/Ц = 0,5–0,55 химические добавки почти не влияют на прочность готовых изделий в возрасте 28 сут.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для приготовления бетонокомпозитных составов с целью аддитивного формования изделий выбирать в качестве химических добавок нитрат натрия или нитрат кальция в количестве 3 % от массы сухого цемента с В/Ц = 0,5–0,55. Это позволит получить требуемую подвижность и скорость схватывания приготавливаемой смеси при одновременном обеспечении требуемых прочностных характеристик готовой продукции.

Список использованных источников

1. Влияние гранулометрического состава исходных компонентов цементно-песчаной смеси на прочность готовых изделий, получаемых методом аддитивного производства / М. Л. Хейфец [и др.] // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (г. Минск, 30 сент. 2020 г.). – Минск: Беларус. навука, 2020. – С. 149–153.
2. Прочность изделий, полученных из цементно-песчаных смесей методом аддитивного производства / М. Л. Хейфец [и др.] // Акуловские чтения: сб. тез. докл. Междунар. семинара (г. Минск, 15–16 дек. 2020 г.) / Нац. акад. наук Беларуси [и др.]; редкол.: А. П. Ласковнев [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2020. – С. 33–34.
3. Семененко, Д. В. Влияние ускорителей схватывания цементного теста на физические свойства строительных растворов и изделий из них / Д. В. Семененко, Д. В. Котович, М. Л. Хейфец // Перспективы развития аддитивных технологий: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (г. Минск, 18 сент. 2019 г.). – Минск: Беларус. навука, 2019. – С. 75–77.
4. Семененко, Д. В. Выбор и приготовление химических добавок для быстротвердеющих строительных растворов, удовлетворяющих требованиям аддитивного процесса формования / Д. В. Семененко, М. Л. Хейфец // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп. (Минск, 24 мая 2017 г.). – Минск: Беларус. навука, 2017. – С. 141–146.