

УДК 691.535

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ 3D-ПЕЧАТИ ПУТЁМ ВВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

В.А. Хватынец, Л.М. Парфенова

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Республика Беларусь
e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

Рассмотрено, что одной из ключевых характеристик смеси для строительного 3D-принтера является окно печати. Теоретически обоснована возможность применения строительного гипса в качестве материала, регулирующего процесс твердения цементного вяжущего. Экспериментальным путём установлено влияние строительного гипса на сроки схватывания и проанализирована зависимость от В/Ц отношения. Определена прочность на сжатие в возрасте 28 суток.

Ключевые слова: цементное вяжущее, строительный гипс, 3D печать, сроки схватывания, окно печати, прочность на сжатие

CONTROL OF THE HARDENING PROCESS OF CEMENT BINDER FOR BUILDING 3D-PRINTING BY INTRODUCING BUILDING GYPSUM

V. Khvatynets, L. Parfenova

Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Republic of Belarus
e-mail: v.hvatynec@psu.by, l.parfenova@psu.by

It is considered that one of the key characteristics of the mixture for a construction 3D printer is the print window. The possibility of using building gypsum as a material regulating the process of cement binder hardening is theoretically substantiated. The influence of building gypsum on the setting time was experimentally established and the dependence on the W/C ratio was analyzed. The compressive strength was determined at the age of 28 days.

Keywords: cement binder, building gypsum, 3D printing, setting time, print window, compressive strength

Введение. Будущее развитие строительной отрасли напрямую связано с применением современных технологий, машин и механизмов [1-3]. Одной из таких технологий является 3D-печать. Строительная 3D-печать – это процесс послойного создания конструкции или целого здания с применением строительных принтеров. При послойном создании конструкции, категорически отличаются не только используемые механизмы и технологии, но и применяемый материал. Основным применяемым материалом для строительной 3D-печати, является мелкозернистый бетон с добавлением различных модификаторов. Таким образом, хоть раствор и создаётся на основе цементного вяжущего, однако он имеет свои отличительные пропорции сырья и должен отвечать ряду предъявляемых технологических характеристик [4].

Наиболее важной характеристикой на начальном этапе проектирования состава, является окно печати. Окно печати напрямую связано со сроками схватывания, и находится как разность окончания схватывания и начала схватывания. Для первоначального регулирования сроков схватывания, в качестве добавки используется строительный гипс, который ускоряет сроки схватывания.

В статье указано, что использование гипсоцементного вяжущего, наиболее распространено в странах Европы и Америки [5]. Связано это с положительными свойствами гипса, к которым относится малые энергозатраты и экологичность. При этом, гипс имеет ряд недостатков, связанных с высокой пористостью, к ним относятся: низкая водостойкость, высокая водопотребность, низкая прочность и малая морозостойкость.

Так же отмечено, что при более правильном подборе гранулометрического состава, применении специальных добавок и пластификаторов, возможно уплотнение структуры и снижение отрицательных характеристик. Следовательно, становится возможным применение гипса в составе комплексного вяжущего, что будет положительно отражаться на сроках схватывания, но не ухудшать эксплуатационные характеристики.

Основная часть. При разработке, основой состава должен являться цемент. Для этого следует отслеживать процентное содержание гипса. Так как, применение мелкозернистых бетонов, на основе модифицированных композиционных гипсовых вяжущих является невозможным, в связи с быстрыми сроками схватывания, несопоставимых с техническими характеристиками строительного 3D-принтера [6]. В статье [7] продемонстрирована возможность использования гипсового вяжущего без дополнительных минеральных добавок. Таким образом, упрощается и удешевляется процесс 3D-печати. Экспериментальным путём доказано, что отсутствие минеральных добавок в композите, не влияет на прочность при сжатии, а сроки схватывания регулируются только за счёт изменения процентного содержания гипса. Введение строительного гипса в цементное вяжущее влияет не только на сроки схватывания, но и на прочностные характеристики [8]. Изучено изменение прочности на сжатие при различном процентном содержании гипса, а также, температурных условий твердения. Установлено, что при добавлении 3-8% гипса, прочность на сжатие увеличивается при различных температурных режимах твердения.

Для проведения эксперимента, в качестве основного вяжущего компонента использовался портландцемент ОАО «Белорусский цементный завод» СЕМ I 42,5Н. Цемент испытывался в соответствии с ГОСТ 310.1 [9]. Для сокращения сроков схватывания применялся гипс строительный «Тайфун Мастер» №35 марки Г – 5III А производства ООО «Тайфун», удовлетворяющий требованиям ГОСТ 125-2018 [10]. Для определения сроков схватывания использовался прибор Вика, согласно ГОСТ 310.3-76 [11]. Испытания прочности на сжатие проводились в возрасте 28 суток при нормально-влажностном режиме твердения, в соответствии с ГОСТ 10180-2012 [12]. Прочность на сжатие определялась на прессе гидравлическом марки ПГМ – 500МГ 4А. Составы исследуемых образцов и результаты экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Составы образцов и результаты эксперимента

Номер образца	Цемент, кг/м ³	В/Ц	Гипс, кг/м ³	Сроки схватывания, мин.		Окно печати, мин.	Прочность на сжатие, МПа
				Начало	Конец		
1	3300	0,325	-	200	330	130	71,53
2	3300	0,325	330	30	220	190	70,58
3	3300	0,325	247,5	60	230	170	57,95
4	3300	0,325	165	140	240	100	53,83
5	3300	0,35	330	50	230	180	66,53
6	3300	0,35	247,5	120	240	120	64,48
7	3300	0,35	165	140	250	110	60,18
8	3300	0,375	330	70	260	190	57,40
9	3300	0,375	247,5	140	280	140	55,85
10	3300	0,375	165	200	300	100	54,18

Диаграмма зависимости сроков начала схватывания от содержания гипса $\text{кг}/\text{м}^3$ для разных В/Ц отношений, представлена на рисунке 1.

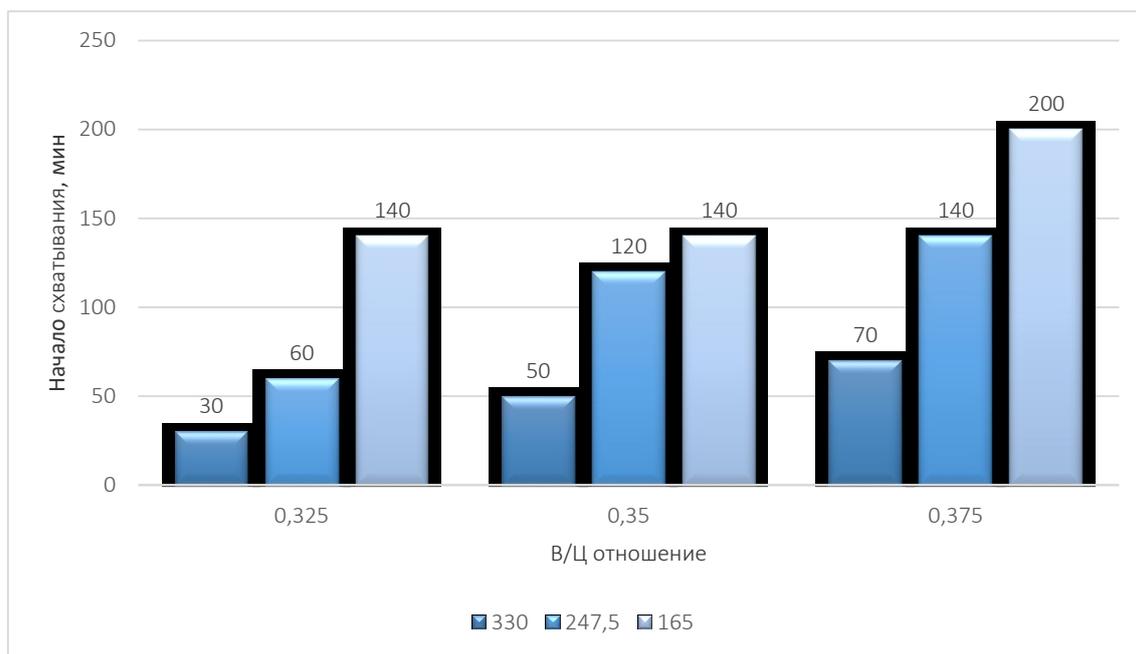


Рисунок 1. – Зависимость начала схватывания от количества гипса $\text{кг}/\text{м}^3$ для разных В/Ц отношений

По данным эксперимента, строительный гипс, в большей степени оказывает влияние на начало схватывания, и в меньшей – на окончание схватывания. Это прослеживается, сравнивая полученные образцы с контрольным, а также, сравнивая между собой составы с одинаковым показателем В/Ц. При малом отношении массы строительного гипса к водоцементному соотношению, эффект ускорения сроков схватывания не выявлен, частично сократился срок окончания схватывания. Так же, отмечается увеличение значения окна печати в составах, с большим отношением массы строительного гипса к В/Ц. В первую очередь это связано с резким сокращением начала схватывания. При этом, с уменьшением отношения массы строительного гипса к В/Ц, значение характеристики окна печати стабилизируются и становятся ниже показателей контрольного образца. Прочность на сжатие уменьшается с увеличением процентного содержания гипса. Так же, сравнивая образцы с одинаковым количеством вяжущего и разным содержанием воды, установлено, что увеличение В/В отношения, отрицательно влияет на показатель прочности на сжатие.

Заключение. Таким образом, экспериментальным путём установлено, что введение гипсового вяжущего можно регулировать процессы твердения, значительно сокращая начальные сроки схватывания. При этом, важно не только количество строительного гипса, но и отношение его массы к количеству воды в составе. Добавление строительного гипса снижает прочность на сжатие в возрасте 28 суток, максимально уменьшая значение у образца 4 на 24,7% относительно контрольного образца.

В дальнейших исследованиях, следует сократить время окончания схватывания, что положительно повлияет на окно печати. Следует придерживаться количества добавленного гипсового вяжущего и В/Ц отношения полученных у образцов 2, 3 и 8.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хватынец, В. А. Современные 3D-принтеры и их возможности / В.А. Хватынец, Н.В. Ращинский // Научная платформа: дискуссия и полемика. – Кемерово, 13 сентября 2021. – Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - С. 25-28.

2. Хватынец, В. А. 3D-принтеры используемые в строительной отрасли / В.А. Хватынец, Н.В. Ращинский // Научная платформа: дискуссия и полемика. – Кемерово, 13 сентября 2021. – Сборник материалов Международной научно-практической конференции. - С. 23-25.
3. Хватынец, В. А. Современный уровень развития строительных 3D-принтеров / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополюцк, 28-29 ноября 2019. – Электронный сборник статей II международной научной конференции. - С. 327-331.
4. Хватынец В.А. Современные подходы в определении технологических свойств бетонной смеси для 3D-печати / В.А. Хватынец, Л.М. Парфёнова // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации. – Новополюцк, 29-30 апреля 2021. – Электронный сборник статей. – С. 216-219.
5. Чернышева Н. В. Свойства и применение быстротвердеющих композитов на основе гипсовых вяжущих / Н.В. Чернышева, Д.А. Дребезгов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова №5, 2015. – С. 125-133.
6. Дребезгова М. Ю. Свойства мелкозернистых бетонов на основе модифицированных композиционных гипсовых вяжущих / М.Ю. Дребезгова, В.С. Лесовик, Н.В. Чернышёва, Е.С. Глаголев, С.В. Шаталова // Фундаментальные основы строительного материаловедения. – 2017. – С. 204-210.
7. Чернышева Н. В. Композитные гипсовые вяжущие для поризованных композитов в технологии строительной печати / Н.В. Чернышева, С.В. Шаталова, С.В. Масалитина // Университетская наука. – 2021. – №. 1. – С. 91-94.
8. Половнёва А. В. Роль гипса в процессах энергоэффективной тепловлажностной обработки мелкозернистого бетона / А.В. Половнёва // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. – 2016. – С. 9-14.
9. Цементы. Методы испытаний. Общие положения: ГОСТ 310.1-76.-Взамен ГОСТ 310-60 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 2 с.
10. Вяжущие гипсовые. Технические условия: ГОСТ 125-2018 – М.: Москва Стандартиформ, 2018. – 10 с.
11. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема: ГОСТ 310.3-76. - Взамен ГОСТ 310-60 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 13 с.
12. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам: ГОСТ 10180-2012. – Взамен ГОСТ 10180-90; введ. 01.07.2013. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2013. – 36 с.