

Новосадов Николай Иванович

студент

Полуэктова Валентина Анатольевна

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный
технологический университет им. В.Г. Шухова»

г. Белгород, Белгородская область

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНОГО КОМПОЗИТА ДЛЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

***Аннотация:** авторами изучены прочностные и адгезионные свойства модифицированного полимерцементного мелкозернистого бетона на основе поливинилацетатной дисперсии, разработанного для промышленного 3D-принтера. Выявлены оптимальные условия твердения композита. Доказано, что полученный полимерцементный композит превосходит контрольный песчано-цементный образец по прочности на изгиб, на сжатие и по прочности адгезионного шва между слоями, что обуславливает возможность использования разработанного состава для аддитивных технологий.*

***Ключевые слова:** аддитивные технологии, полимерцементный раствор, адгезия, прочность на изгиб, поливинилацетатная дисперсия.*

Введение

Появление 3D принтеров ознаменовало новый виток в развитии научной жизни. Подобное устройство применяется во многих сферах деятельности, в том числе и в строительстве. Ввиду появления нового инструмента для строительства возникло много вопросов по поводу «чернил» для принтера, т. к. обычные бетонные смеси имеют ряд недостатков. Замедленные сроки схватывания и набора прочности, невысокая прочность адгезионного шва между слоями являются самыми значимыми недостатками материала, используемого для объемной строи-

тельной печати с помощью аддитивных технологий. Термин «аддитивные технологии» обозначает процесс создания изделия путем послойного нанесения материала [2].

Еще в конце XX века многие ученые постепенно отходили от обычного бетона и пытались понять, какая добавка в бетон улучшит его механические свойства [3, с. 11]. На данный момент существует множество различных добавок, в том числе и полимерные, которые значительно улучшают свойства привычного бетона.

Целью данной работы стало изучение прочностных и адгезионных свойств модифицированного полимерцементного мелкозернистого бетона на основе поливинилацетатной дисперсии, разработанного для промышленного 3D-принтера.

Методы исследования. Определение прочности на сжатие полимерцементного композита проводили на образцах в виде куба с длиной ребер 7 x 7 x 7 см. Для проведения испытаний на изгиб были изготовлены бруски размером 4 x 4 x 16 см. Полимерцементный композит был изготовлен на основе оскольского цемента ПЦ 400-Д0-Н, песка для строительных работ с модулем крупности $M_k = 2,0 \div 2,5$ (средний) по ГОСТ 8736-2014, грубодисперсной гомополимерной поливинилацетатной дисперсии по ГОСТ 18992-80 производства ООО «Кубань Полимер» [5]. Для ускорения сроков схватывания и набора прочности использовали неорганические ускорители [1, с. 10]. Для повышения пластичности и снижения водотвердого отношения смеси – флороглюцинфурфурольный модификатор [4].

В качестве контрольных образцов использовали песчано-цементный состав в соотношении 2:1. Условия твердения образцов, как контрольного состава, так и полимерцементного композита были воздушно-сухими, что наиболее приемлемо для твердения крупногабаритных изделий, полученных с помощью трехмерной печати. Образцы испытывали на гидравлическом прессе «ПСУ 10» и находили прочность на сжатие и изгиб в возрасте 1, 7, 28 суток.

Адгезию между слоями измеряли по следующей методике: из полимерцементного композита было изготовлено основание размером 10x10 см, толщиной

не более 1 см и оставляли в сухих условиях на 1 час. По истечении часа, на основании был нанесён образец из материала с тем же составом размером 5 x 5 см, толщиной 1 x 1 см.

Твердение образцов проводилось в сухих условиях в течение 7 суток. На шестые сутки к затвердевшим образцам эпоксидным клеем приклеивался штамп и продолжалось хранение ещё 24 часа. Для испытания адгезионных свойств, были получены образцы прямоугольной формы. Силу отрыва образцов от основания определяют через 24 часа на адгезиометре, прикладывая к штампу силу со скоростью её нарастания (250 ± 50) м/с.

Результаты и обсуждение результатов. Результаты эксперимента прочности на сжатие представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты прочности на сжатие полимерцементного композита

Вид	Рсж, МПа	Рсж, МПа
	7 сутки	28 сутки
Контрольный образец	16,58	27,07
Полимерцементный композит	18,12	33,24

Анализируя результаты видно, что полимерцементный композит на седьмые сутки имеет прочность на сжатие на 15,3% выше, чем контрольный образец, а на двадцать восьмые сутки – на 19,8% прочность выше, чем у контрольного образца.

Результаты исследования прочности полимерцементного композиционного материала на изгиб представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты прочности образцов на изгиб в возрасте 7 суток

Контроль (кН)	Контроль (МПа)	Среднее значение	Композит (кН)	Композит (МПа)	Среднее значение

		(МПа)			(МПа)
–	–	0,7000	0,99	0,61875	0,7031
1,22	0,7625		–	–	
1,02	0,6375		1,26	0,7875	

Таблица 3

Результаты прочности образцов на изгиб в возрасте 28 суток

Контроль (кН)	Контроль (МПа)	Контроль R _{изг} (МПа)	Композит (кН)	Композит (МПа)	Композит R _{изг} (МПа)
1,35	0,84375	0,8292	2,57	1,60625	1,2531
1,37	0,85625		–	–	
1,26	0,7875		1,44	0,9	

Все полученные результаты были переведены в МПа и были рассчитаны средние значения без учета результатов наиболее и наименее прочных образцов (случайные погрешности измерений).

Для наглядности полученные результаты представим в виде диаграммы (рис. 1).

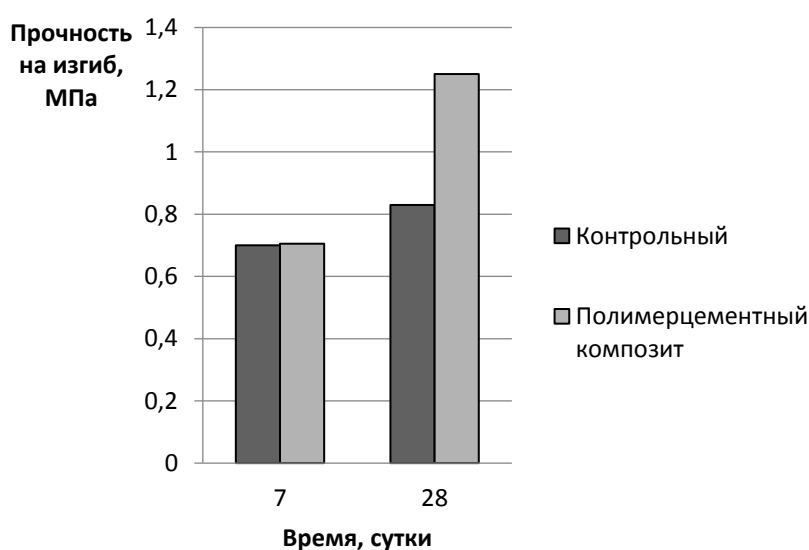


Рис. 1. Результаты прочности на изгиб полимерцементного композита

Анализ результатов показал, что прочность на изгиб на 28 суток твердения полимерцементного композитного материала на 34% выше, чем у цементно-песчаного контрольного образца. Согласно полученным результатам у контрольных образцов в воздушно-сухих условиях к 28 суткам твердения прочность на изгиб увеличилась не значительно на 18%. Для полимерцементного состава наблюдалась увеличение прочности на изгиб на 78%. Ввиду этого можно сделать вывод о том, что вводимые полимерные добавки в бетон значительно улучшают его прочность на изгиб с течением времени.

Результаты адгезионных свойств полимерцементного композита (рис. 2а) и контрольного образца (рис. 2б) представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты адгезионной прочности образцов в возрасте 7 суток

Вид	Адгезионная прочность, кН	Адгезионная прочность, МПа
Контрольный образец	0,17	0,068
Полимерцементный композит	0,66	0,264



Рис. 2. Испытания адгезионной прочности полимерцементного композита (а) и контрольного песчано-цементного образца (б)

Величина адгезии полимерцементного композиционного материала в 7-суточном возрасте возрастает почти 4 раза. Истинную величину адгезии измерить не удалось из-за когезионного разрушения по телу материала. Достижимый по-

ложительный эффект объясняется собственной адгезией полимера поливинилацетата, которая значительно превышает адгезию цементного геля, тем более в начальные сроки твердения, когда продуктов гидратации цемента немного. Но и впоследствии вклад минерального вяжущего в прочность клеевого шва на стыке слоев не достигает адгезионной прочности органического связующего.

Выводы. Проведенные исследования показали, что введение в рецептуру мелкозернистого бетона поливинилацетатной дисперсии позволяет увеличить прочностные характеристики полимерцементного камня. Процесс твердения полимерцементных образцов лучше проводить в комбинированных (влажные условия до распалубливания, а сухие – после) условиях, но так как трёхмерная печать предполагает изготовление крупногабаритных изделий без опалубки, то и лабораторные испытания лучше проводить в нормальных сухих условиях.

Полученный полимерцементный композит превосходит песчано-цементно-контрольный образец по прочности на изгиб, по прочности на сжатие и по прочности адгезионного шва между слоями, что обуславливает возможность использования разработанного композита для аддитивных технологий.

Статья подготовлена в рамках программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы

1. Афанасьев Н.Ф. Добавки в бетон и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко.
2. Бороздов О.В. Влияние развития 3D-технологий на экономику строительства / О.В. Бороздов, В.П. Грахов, С.А. Мохначев // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – №11.
3. Попов К.Н. Полимерные, полимерцементные бетоны, растворы и мастики. – М.: Высш. шк., 1987. – 72 с.
4. Шаповалов Н.А. Наномодификатор для цементных смесей и бетона / Н.А. Шаповалов, В.А. Полуэктова // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. – 2015. – №5. – С. 72–76.

5. Шаповалов Н.А. Быстрохватывающейся модифицированный полимерцементный раствор для аддитивных технологий / Н.А. Шаповалов, В.А. Полуэктова, Ф.Ю. Пономарев, Р.О. Черников: Свидетельство ноу-хау №20160014. Зарегистрировано 10.06.2016. Правообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова.