

*А. И. Кондаков, А. А. Аладинский**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОРАЗМЕРНОЙ ДОБАВКИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ

Имеется достаточно много работ в отечественных и зарубежных журналах, посвященные изучению влияния углеродных наноматериалов (УНМ) на физико-механические характеристики строительных композитов.

Равномерное распределение в матрице строительного композита достигается однородной дисперсией УНМ в водном растворе. Однородная дисперсия УНМ в матрице строительного композита – необходимое условие воспроизводимости результатов испытаний. Проблема в достижении равномерно дисперсии кроется в природе УНМ, который является гидрофобным, и наличии сил Ван-дер-Ваальсового притяжения между углеродными нанотрубками (УНТ) или углеродными нановолокнами, приводящих к их коагулированию с последующей седиментацией. Данные проблемы решаются:

- механическими методами;
- методом ковалентной функционализации;
- методом нековалентной функционализации [1].

Каждый метод в имеет свои недостатки:

- ультразвуковая обработка (механический метод) дает временную дисперсию, после прекращения обработки наблюдается тенденция к агрегированию;
- ковалентная функционализация значительно уменьшает вероятность к агломерации, но в процессе функционализации возможно внедрение дефектов в УНТ, что ухудшает прочностные характеристики трубок;
- нековалентная функционализация способствует солюбилизации УНТ и разрушению сростков и агломератов, однако данный процесс идет медленно.

* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2013 г. в рамках Восьмой научной студенческой конференции «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития» ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» и выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ГГТУ» З. А. Михалевой.

Эффективный и часто встречающийся способ приготовления коллоидного раствора УНТ – комбинированный, устраняющий недостатки каждого метода в отдельности. Широко используемый комбинированный метод сочетает нековалентную функционализацию поверхности УНТ с применением ультразвуковой (механической) обработкой раствора.

В работе изучалось влияние различных марок углеродных нанотрубок (УНТ) на прочностные характеристики строительного композита.

Экспериментальные исследования проводились с различными модификациями УНТ «Таунит», (№ 12; № 24; № 36 и № 48), полученными при различных режимных параметрах синтеза УНТ и ковалентно функционализированные карбоксильными группами УНТ «Таунит», с помощью механического окисления УНТ в присутствии гипохлорита натрия. В качестве поверхностно активного вещества выбран поливинилпирролидон (ПВП) из-за его уникальных физико-химических характеристик, в особенности, хорошей солюбилизации в воде, эффективной комплексообразующей способности между гидрофильными и гидрофобными веществами и не токсичности.

Соотношение ПВП: УНТ равно 2:1.

Приготовление коллоидного раствора осуществлялось следующим способом: к дистиллированной воде добавляли в соответствующих пропорциях ПВП и модификации УНТ, затем проводилась обработка коллоидного раствора ультразвуком в течение 10 мин.

Введение функционализированных УНТ (Ф-УНТ) проходит в следующей последовательности: в дистиллированную воду вводится Ф-УНТ в соответствующих концентрациях, механически перемешивается и добавляется к воде затворения.

В качестве строительного материала выбран гипс. Соотношение воды затворения к вяжущему составляло 0,65. При этом для обеспечения возможности корректного сравнения получаемых результатов водоцементное отношение фиксировалось и оставалось неизменным при изготовлении всех сравниваемых серий образцов.

Приготовление образцов гипса осуществлялось в соответствии с ГОСТ 23789–79, с отличием в приготовлении воды затворения: в воду затворения приливался коллоидный раствор (для образцов содержащих УНТ).

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили концентрационный интервал УНТ, в котором наблюдается значительный прирост прочности тестируемых образцов – интервал концентраций УНТ от $5 \cdot 10^{-4}$ до $7 \cdot 10^{-4}$ % от массы связующего (гипса). Необхо-

димо подчеркнуть, что повышение прочности образцов наномодифицированного гипса, совпадает с процентным приростом прочности образцов наномодифицированного мелкозернистого бетона [2] в одном и том же концентрационном интервале. Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1 и 2. Для объяснения наблюдаемого явления необходимо провести дополнительные исследования. Предполагается, что УНТ в матрицах строительного материала преимущественно играют роль центров кристаллизации гидратированных продуктов и структурирующих агентов. Во время затворения коллоидным раствором вяжущего происходит непосредственное кристаллообразование на пучках УНТ, что способствует образованию более плотных структур композита, за счет чего наблюдается прирост прочности, как в мелкозернистом бетоне, так и в строительном гипсе.

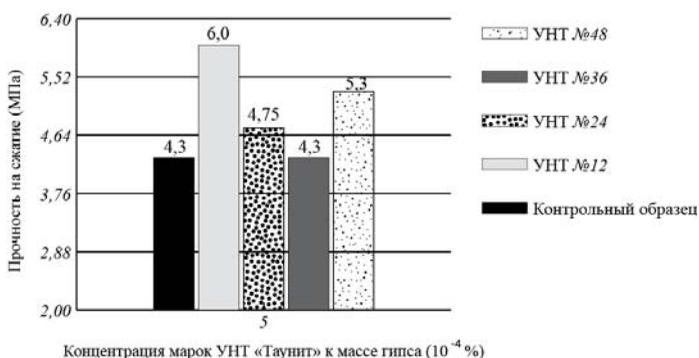


Рис. 1. Прочность на сжатие образцов гипса модифицированного различными марками УНТ «Таунит»

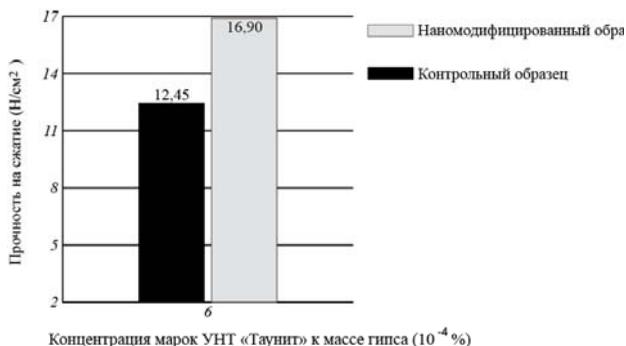


Рис. 2. Прочность на сжатие образцов мелкозернистого бетона модифицированного УНТ «Таунит»

1. Влияние концентрации функционализированного УНТ «Таунит» на прочность при сжатии образцов гипса

Наименование серии	Состав образцов, масс. %		Прочность на сжатие, МПа
	Гипс	УНТ	
Контрольный образец	100	0	5,12
Е-1	100	$1 \cdot 10^{-4}$	5,27
Е-2	100	$2 \cdot 10^{-4}$	5,63
Е-3	100	$3 \cdot 10^{-4}$	5,67
Е-4	100	$4 \cdot 10^{-4}$	5,83
Е-5	100	$5 \cdot 10^{-4}$	6,41
Е-6	100	$6 \cdot 10^{-4}$	6,40
Е-7	100	$7 \cdot 10^{-4}$	6,19
Е-8	100	$8 \cdot 10^{-4}$	5,96
Е-9	100	$9 \cdot 10^{-4}$	5,59
Е-10	100	$10 \cdot 10^{-4}$	5,68

Анализ результатов влияния концентрации Ф-УНТ на прочность при сжатии образцов гипса, представленных в табл. 1, показывает эффективность введения УНТ-СООН в состав гипса. Если предел прочности при сжатии гипсового камня равен 5,12 МПа, то уже при введении в состав гипсового теста $2 \cdot 10^{-4}\%$ УНТ от расхода гипса, прочность гипса возрастает на 10%. Дальнейшее увеличение содержания УНТ до $6 \cdot 10^{-4}\%$ способствует более высокому приросту прочности. Наибольшее увеличение прочности до 25% достигается при концентрации Ф-УНТ, равной $5 \cdot 10^{-4}\%$. Наблюдаемый прирост прочности объясняется образованием прочной химической связи между Ф-УНТ и матрицей строительного композита.

Введение марки УНТ № 12 способствует наибольшему упрочнению матрицы строительного композита и составляет 39%. Данная модификация УНТ «Таунит» является наиболее эффективной и рекомендуется для использования в строительной индустрии в качестве добавки к строительным материалам. Однако, однородная дисперсия коллоидного раствора УНТ № 12 приготовлена при нековалентной функционализации с применением ультразвуковой обработки, вследствие чего УНТ химически инертны и не способны образовывать прочной химической связи с цементной матрицей. Данные недостатки устраняются ковалентной функционализацией, что позволит получить более высокие физико-механические характеристики строительного композита.

Список литературы

1. *Раков, Э. Г.* Нанотрубки и фуллерены : учебное пособие / Э. Г. Раков. – Москва : Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.
2. *Толчков, Ю. Н.* Разработка наномодификаторов на основе УНМ «Таунит», в строительные композиты : дис. ... магистр. / Ю. Н. Толчков. – Тамбов, 2011. – 134 с.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*