

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16

Чайка Т.В.

Севастопольский государственный университет

*E-mail: tvchayika@sevsu.ru

ВЛИЯНИЕ АГЛОМЕРАТОВ НАНОПОРОШКА КАРБИДА ВОЛЬФРАМА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Объектом исследования являются агломераты нанопорошков карбида вольфрама WC , полученные из твердосплавных отходов типа ВК, а также цементные системы, модифицированные данной нанодобавкой. Рассмотрено влияние нанопорошка карбида вольфрама на изменение основных характеристик цемента (плотность, водопотребность, сроки схватывания, прочность на сжатие, прочность на изгиб). Определено оптимальное содержание добавки в цементных материалах, оцениваемое по максимальному приросту прочности на сжатие и изгиб на всех этапах твердения, равное 3 масс. %. Показано влияние добавки порошка WC на структуру цементной матрицы. За счет высокой дисперсности нанопорошка WC его частицы выступают в роли дополнительных центров кристаллизации, заполняют микропоры цементного камня и создают более плотную и прочную структуру. Результаты изучения микроструктуры цементного камня с добавками порошка WC косвенно подтверждают результаты прочностных характеристик, подчеркивая образование у цементно-песчаных образцов с модификатором более плотного закристаллизованного цементно-песчаного камня по сравнению с контрольным образцом (без добавления порошка WC). Проведенные исследования показали перспективность применения агломератов наночастиц WC в качестве модифицирующих добавок для цементных материалов, которые могут быть использованы при производстве бетонов специального назначения (гидротехнических, радиозащитных и др.). Экономический эффект применения нанодобавок WC , полученных из твердосплавных отходов производства, может быть получен не за счет сокращения затрат на стадии производства бетонной смеси, а вследствие снижения расходов на стадиях строительства и эксплуатации конструкций, зданий, сооружений на его основе.

Ключевые слова: цемент, агломерат, нанопорошок, карбид вольфрама, прочность на сжатие, прочность на изгиб, водопотребность, сроки схватывания, структура.

Введение. В настоящее время модификация цементных композитов с минеральными добавками нано и субмикронного размера является современной и достаточно эффективной процедурой для улучшения их различных эксплуатационных характеристик [1–3]. Наиболее распространены и изучены нанодобавки, которые достаточно близки по составу, типу химических связей и физико-химическим характеристикам к исходным вяжущим веществам и продуктам их гидратации, такие как наночастицы SiO_2 в различных формах (пирогенные нанопорошки; нанопорошки, осажденные из раствора Na_2SiO_3 ; коллоидный золь SiO_2 ; нано- SiO_2 в сочетании с другими компонентами и др.) [3–5], нанопорошок оксид алюминия Al_2O_3 [6–9], нанопорошок $CaCO_3$ [10], оксид титана TiO_2 [11–13] и др. В качестве наноразмерных инертных, химически не активных по отношению к цементным системам добавок в цементных композитах нашли применение углеродные наночастицы (фуллерены, нанотрубки, астралены и др.) [14–16].

Многочисленные исследования [3–18] показали, что добавление наноматериалов улучшает структуру пор, механические свойства и долговечность цементных материалов. Из-за сложного

процесса и высокой стоимости производства наноматериалов, применение нанопорошков в качестве добавок в цементные материалы значительно увеличивает стоимость строительства. Поэтому, несмотря на большую способность наноматериалов улучшать эксплуатационные свойства цементных материалов, они не нашли широкого применения в практической строительной инженерии.

В связи с вышеизложенным, предложено использование в качестве добавки в цементную матрицу нанопорошка карбида вольфрама, полученного из твердосплавных отходов по технологии [19]. Данная технология является уникальной, сочетая механические, химические, электрохимические, биологические реакции и являясь экологически безопасной, характеризуется простотой оборудования и возможностью получения нанопорошков в промышленных объемах. Анализ научно-технической литературы и патентный поиск показал отсутствие информации по применению карбида вольфрама в качестве добавки в цементные материалы. Проведенные предварительные исследования [20–21] показали значительное увеличение эксплуатационных свойств

бетона (прочность, водопоглощение, коррозионная стойкость, радиозащитные свойства) путем добавления в исходный состав нанопорошков карбид вольфрама WC, полученных из твердосплавных отходов и изделий производства.

Материалы и методы. Для исследований влияния модифицирующих добавок на физико-механические свойства цементного и цементно-песчаного камня использовали следующие исходные материалы: портландцемент ОАО «Верхнебеканский цементный завод» ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС ГОСТ 22266-2013; мелкий заполнитель – песок морской серый, фракция 1,0–1,7 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8736–2014. В качестве модификатора цементной

и цементно-песчаной матрицы использовали порошок карбида вольфрама полученный по технологии [19] из твердосплавных отходов и изделий производства типа ВК (карбид вольфрама WC - кобальт Co). Установленная площадь поверхности порошка составляет 1,18 м²/г. Насыпная плотность 3,0375 г/см³. Степень чистоты порошка WC 99,0 %.

Микроструктура частиц порошка карбида вольфрама, полученного из твердосплавного лома исследована с помощью сканирующего электронного микроскопа (TESCAN MIRA 3 LMU). (TESCAN, Чехия) и представлена на электронных микроснимках (рис. 1).

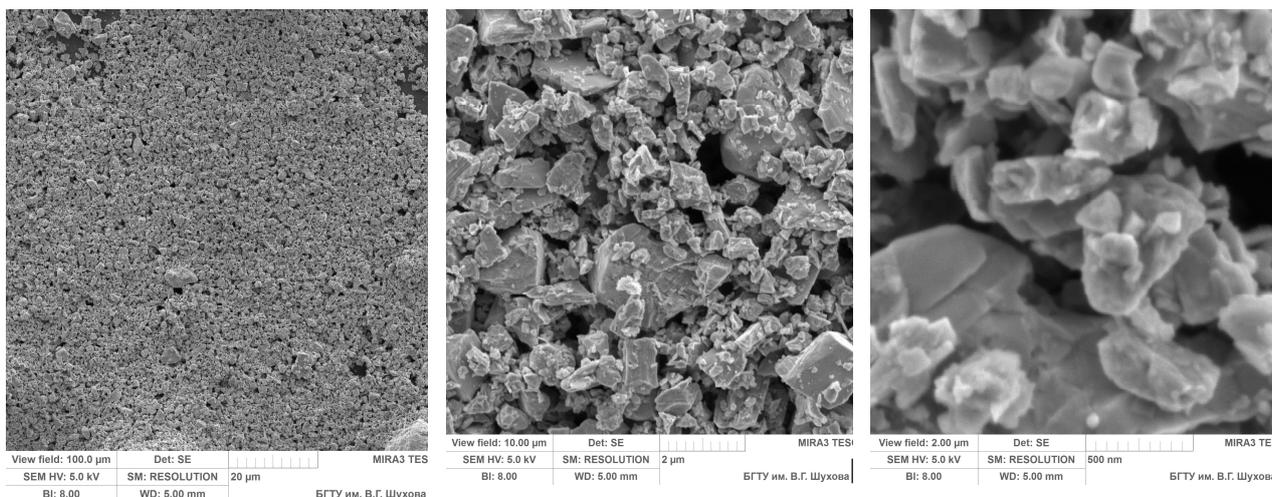


Рис. 1. Микрофотографии модификатора карбида вольфрама WC при разном увеличении

Как видно из представленных снимков, порошок WC представляет собой смесь нанообъектов различной формы (наночастицы, нанопластины) и их агломератов, большая часть частиц имеет размер менее 100 нм. Морфология частиц неоднородная. Форма частиц преимущественно

неправильная оскольковатая, в основном угловатая с наличием криволинейных поверхностей.

Распределение частиц по размерам представлено на рис 2. Измеренный средний размер частиц менее 100 нм, размер агломератов 200–700нм.

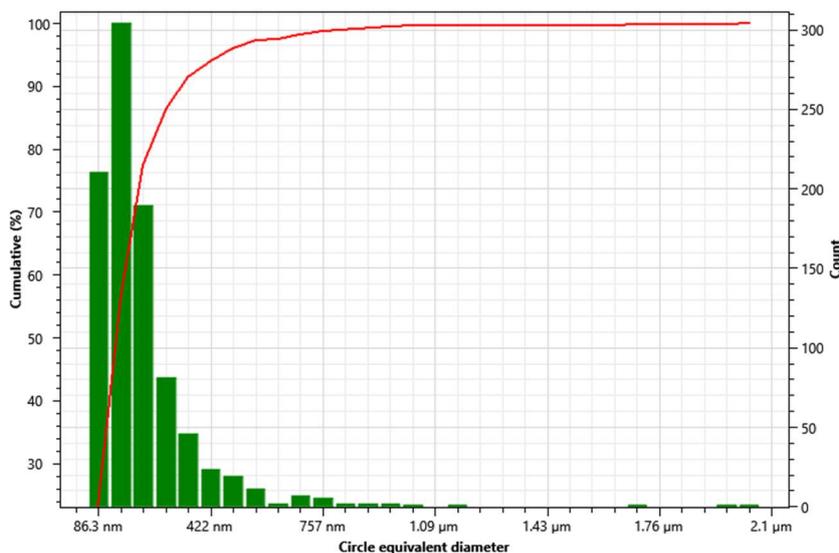


Рис. 2. График распределения размеров порошка карбида вольфрама

Микроструктура цементно-песчаных образцов исследовалась на сканирующем электронном микроскопе PHENOM proX фирмы: Phenom–World B.V. (Нидерланды) с интегрированной системой энергодисперсионного анализа. Максимальное увеличение 150000, разрешение 10 нм, ускоряющее напряжение 5, 10, 15 кВ.

Элементный анализ исследуемых порошков получен с применением программы Element Identification компании Phenom, позволяющий использовать электронный микроскоп Phenom Pro X для анализа образцов методом энергодисперсионной спектроскопии. Для анализа размера, форма и морфологии частиц использовали программное обеспечение Particle Metric, позволяющее анализировать изображения частиц.

Для равномерного распределения порошка WC во всем объеме сухой цементно-песчаной смеси смешивание производилось в сухом состоянии в турбулентном смесителе С 2.0 (г. Санкт-Петербург, ООО «ВИБРОТЕХНИК»), обеспечивающем высокую эффективность смешивания масс частиц материала.

Определение нормальной плотности и сроков схватывания цементного теста проводилось по

стандартной методике на приборе Вика в соответствии с ГОСТ 310.3-81 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема».

Прочность на сжатие и изгиб цементно-песчаного раствора определяли на образцах-баллонах размером 0,04×0,04×0,16 м по ГОСТ 310.4-81.

Исследования физико-механических характеристик проводилось с использованием универсальной испытательной машины ТРМ – 500 «Тоchline» (ООО «Завод испытательных приборов» (ЗИП), г. Иваново, Россия, наибольшая предельная нагрузка 50 кН) и испытательной машины ИП-500-1 (предельные нагрузки: наибольшая 500кН, наименьшая 5 кН (ЗИМ ТОЧМАШПРИБОР, г. Армавир, Россия).

Анализ результатов исследования. С целью определения влияния добавок порошка карбида вольфрама на физико-механические свойства цементной матрицы определены следующие показатели: плотность, прочность на сжатие цемента (табл. 1), прочность цементно-песчаных образцов на сжатие (рис. 3) и на изгиб (рис. 4) в различные сроки твердения (3, 7, 14 и 28 сутки).

Таблица 1

Нормальная плотность, сроки схватывания, средняя плотность, прочность на сжатие цементных образцов с добавлением нанопорошка карбида вольфрама

Добавка, масс. %	Нормальная плотность, %	Средняя плотность на 28 сутки, кг/м ³	Сроки схватывания	
			Начало, мин	Конец, мин
0	26,75	2135,9	216	284
1	26,25	2189,9	213	282
2	25,75	2218,1	208	278
3	25,7	2258,3	207	260
4	25,5	2273,8	196	259
5	25,4	2298,4	189	241

Анализируя результаты исследования (табл. 1) видно, что нормальная плотность уменьшается с увеличением добавки порошка WC, при концентрации добавки 5 масс. % водопотребность снизилась более чем на 5 %. Это связано с химической инертностью карбида вольфрама по отношению к воде, не проявляя гидравлическую активность, частицы порошка не обволакивают поверхность новых фаз и не мешают образованию контактов срастания между кристаллогидратами. Так же роль частиц порошка карбида вольфрама сводится к заполнению межзерновых пустот между частицами цемента, благодаря чему цементная смесь с частицами WC, в отличие от контрольного состава, становится более компактной, увеличивая плотность образца и уменьшая пористость в смеси, и как следствие снижает потребность в воде.

Сроки схватывания у цементных образцов модифицированных порошком WC при концентрации модификатора 1...5 масс. % сокращаются: начало схватывания уменьшается на 12,5 %, конец схватывания – на 15,1 %. Литературные источники [2, 22] свидетельствуют, что химически не активные частицы по отношению к цементным системам, выполняют роль центров кристаллизации гидратов в цементе длительное время, вследствие чего происходит ускорение начальной стадии химического твердения цементных систем с частицами карбида вольфрама, то есть сокращаются сроки схватывания и как следствие увеличивается ранняя прочность цемента.

Результаты исследования изменения прочности на сжатие и на изгиб контрольных це-

ментно-песчаных образцов и модифицированных порошком карбида вольфрама при разных

концентрациях в различные сроки твердения представлены на рисунке 3 и 4.

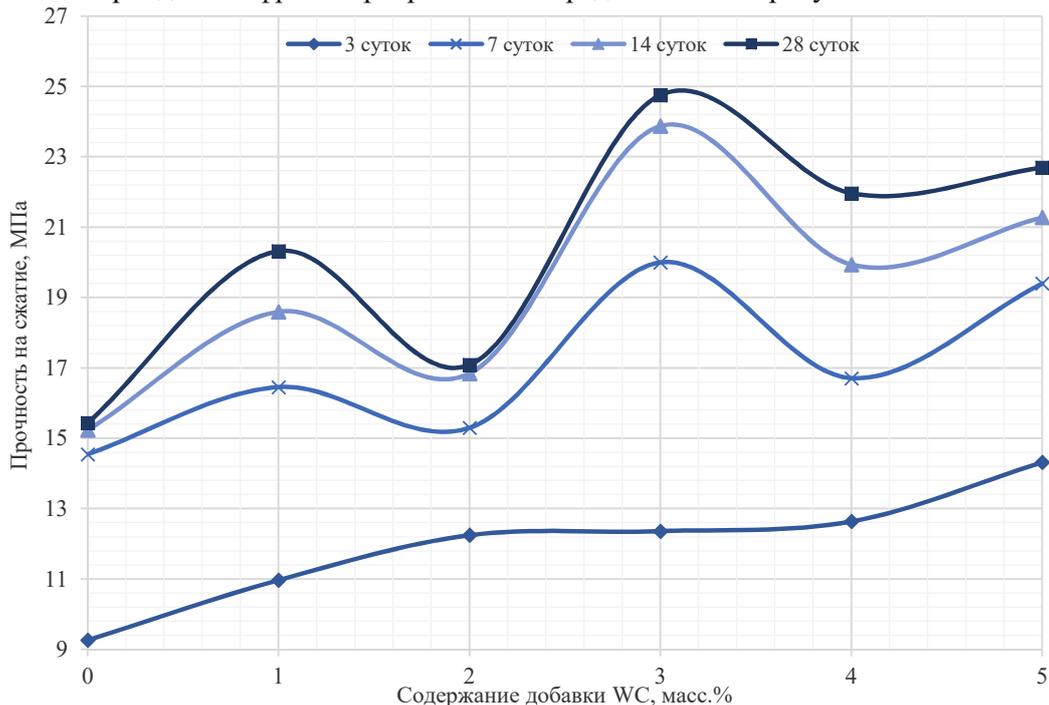


Рис. 3. Изменения прочности на сжатие цементно-песчаных образцов в зависимости от количества добавки порошка WC в различные сроки твердения

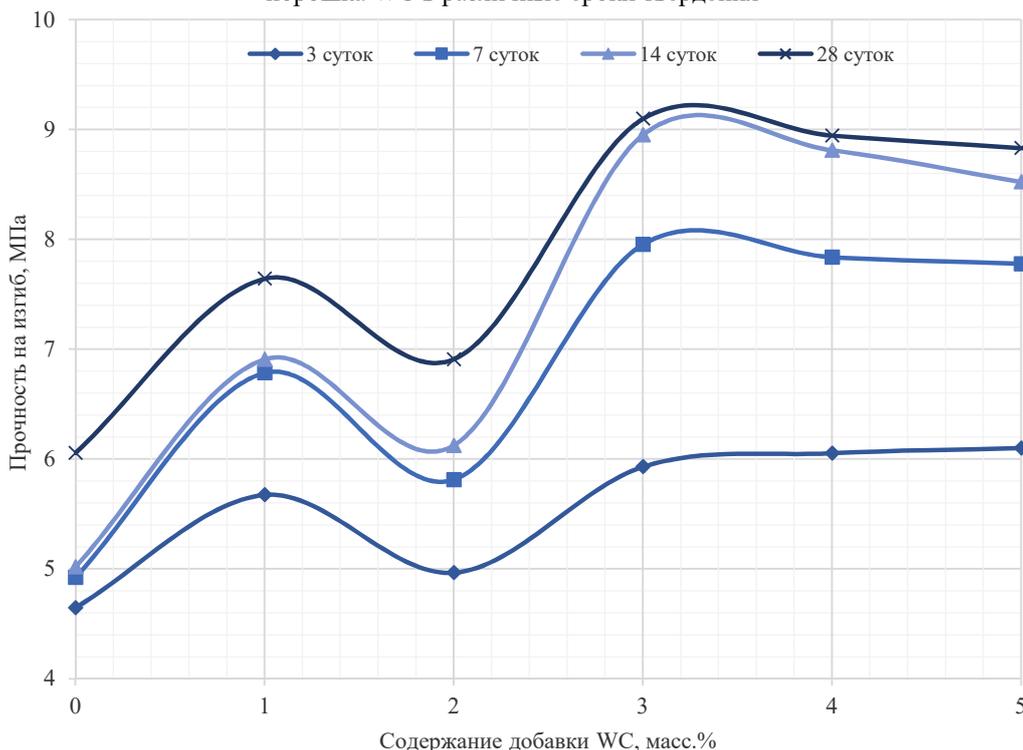


Рис. 4. Изменения прочности на изгиб цементно-песчаных образцов в зависимости от количества добавки порошка WC в различные сроки твердения

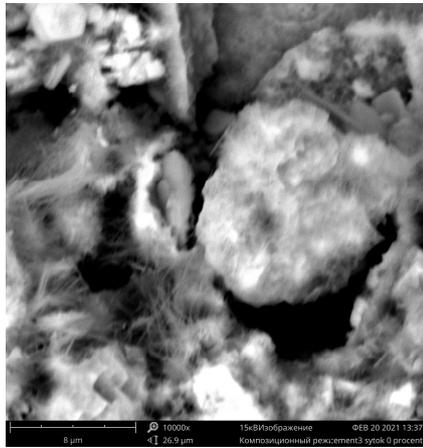
Зависимость прочностных характеристик образцов от содержания наномодификатора имеет не линейный характер при увеличении концентрации добавки на всех сроках твердения. При этом определена однозначная тенденция повышения прочностных характеристик при введении в цементно-песчаную смесь порошка карбида вольфрама.

Максимальный прирост прочности модифицированного образца в возрасте 28 суток составляет: при изгибе более 50 %, а при сжатии более 60 %. Ввод наночастиц порошка приводит не только к увеличению конечной прочности, но и к увеличению скорости набора прочности образцами с нанодобавками. Оптимальной дозировкой принято считать 3,0 % добавки, так как именно

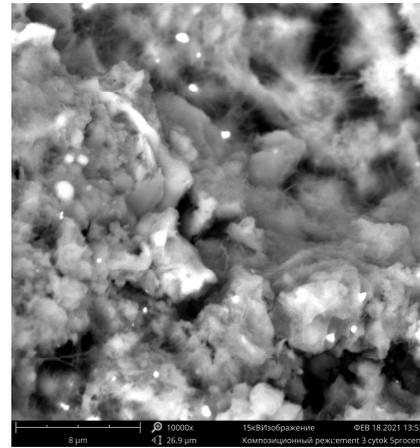
данное количество обеспечивает максимальную прочность на сжатие и изгиб на всех этапах твердения.

Электронно-микроскопическое исследование микроструктуры поверхности скола кон-

трольного образца (без добавления нанопорошка) и модифицированных образцов с добавлением нанопорошков WC при увеличении $\times 10\,000$ раз производилось на 3, 7, 14, 28 сутки твердения (рис. 5–8).

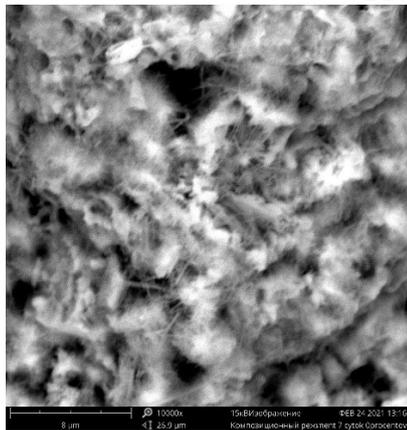


a)

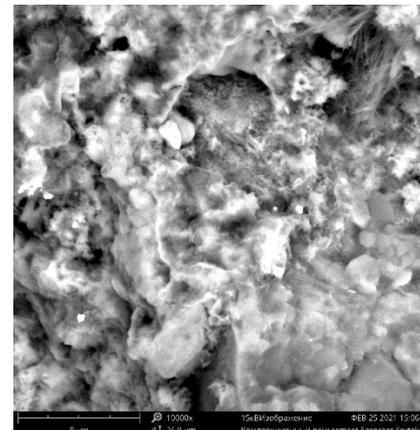


b)

Рис. 5. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 3 суток

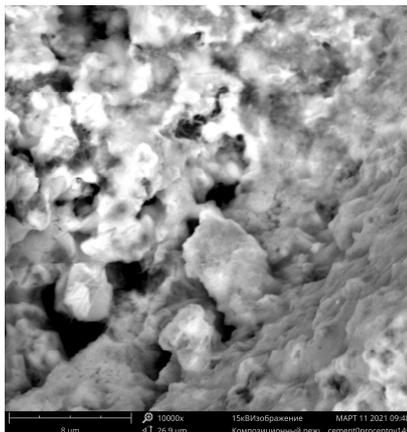


a)

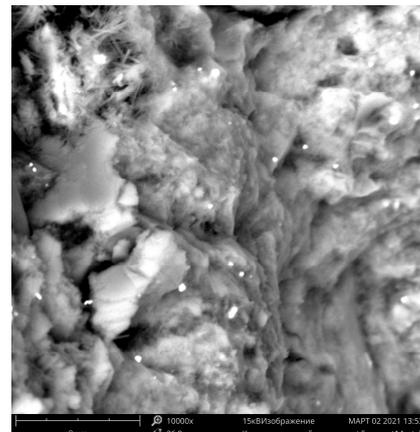


b)

Рис. 6. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 7 суток



a)



b)

Рис. 7. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (a) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 14 суток

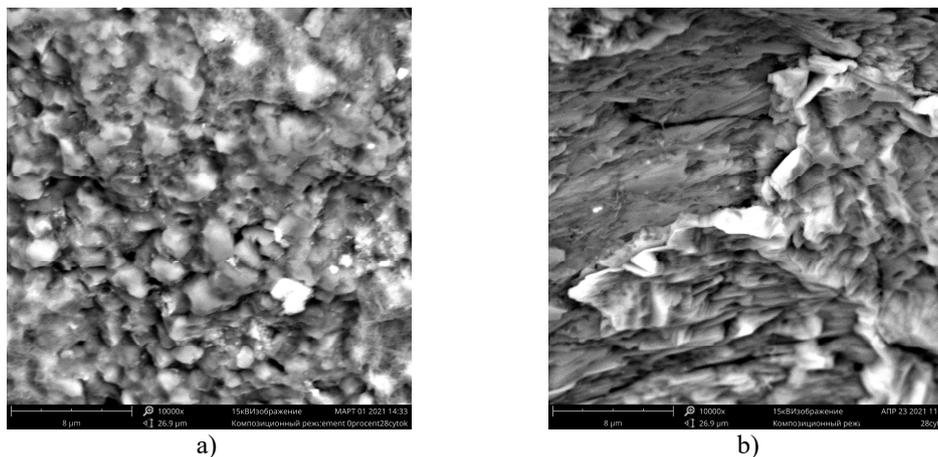


Рис. 8. Микроструктура контрольного цементно-песчаного камня (а) и модифицированного порошком WC (b) в возрасте 28 суток

Как видно из представленных фотографий (рис. 5–8) структура цементного камня претерпевает заметные изменения. Сравнение контрольного образца и модифицированного порошком карбида вольфрама показало, что структура цементного камня более плотная во все рассматриваемые сроки твердения. Морфология частиц карбида вольфрама значительно отличается от морфологии цементной матрицы. За счет высокой удельной поверхности исследуемые нанодобавки позволяют его частицам заполнять микропоры (уменьшая объём крупных пор) цементного камня и создавать за счет этого более плотную, и как следствие более прочную структуру.

Результаты изучения микроструктуры цементного камня с добавками порошка WC косвенно подтверждают результаты прочностных характеристик, подчеркивая образование у цементно-песчаных образцов с модификатором более плотного, закристаллизованного цементно-песчаного камня.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- установлено, что при добавление 1...5 масс. % агломератов нанопорошка WC снижается нормальная густота на 1,8...4,67 %, сокращаются сроки начала схватывания на 1,4...12,5 %, конец схватывания на 0,7...15,4 % соответственно;

- выявлено повышение темпа роста прочности цементных материалов модифицированных агломератом нанопорошком WC, увеличение прочности материала на сжатие и на изгиб на 28 сроки твердения по сравнению с контрольным образцом;

- определена оптимальная концентрация добавки, составляющая 3 масс. % от массы цемента, при котором наблюдается максимальная прочность на сжатие и изгиб цементных образцов на всех этапах твердения;

- выявлено, что структура цементного камня более плотная во все рассматриваемые сроки твердения.

Для решения проблемы агломерации наночастиц в дальнейшем планируется рассмотреть метод диспергации порошка в среде при помощи ультразвука, при этом предполагается увеличение прочностных характеристик цементных материалов в результате равномерного рассеяния частиц в цементной матрице.

Источник финансирования. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 18-43-920001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коровкин М.О., Гринцов Д.М., Ерошкина Н.А. Рациональное применение инертных минеральных добавок в технологии бетона // Инженерный вестник Дона. 2017. №3(46). С. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4361
2. Гуриненко Н.С., Батяновский Э.И. Кинетика твердения и свойства цементного камня с ускоряющими твердение бетона добавками // Автомобильные дороги и мосты. 2014. №2(14). С. 90–98.
3. Mendes T., Hotza Dachamir, Repette Wellington. Nanoparticles in cement based materials: A review // Reviews on advanced materials science. 2015.Vol. 40. Pp. 89–96.
4. Potapov V., Efimenko Yu., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete // Construction and Building Materials. 2021. 269 (10). 121307.
5. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle // Nanotechnologies in construction. 2020. 12 (3). Pp. 130–139
6. Shaban Ali, Amiruddin Ismail, Yusoff Md., Izzi Nur, Norhidayah Hassan, Ibrahim Ahmad Nazrul Hakimi. Characterization of the performance

of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder // *Jurnal Teknologi*. 2016. 78 (4). Pp. 91–96.

7. Szymanowski J., Sadowski L. The Development of Nanoalumina-Based Cement Mortars for Overlay Applications in Concrete Floors // *Materials*. 2019. 12 (21). 3465.

8. Yaoyu Wang, Jiye Li, Lihan Jiang, Lihua Zhao Enhanced. Mechanical and Microstructural Properties of Portland Cement Composites Modified with Submicron Metakaolin // *Advances in Civil Engineering*. 2020. Vol. 2020. Pp. 13.

9. Mohan Kantharia, Pankaj Mishra, Trivedi M.K. Strength of Cement Mortar Using Nano Oxides: An Experimental Study // *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* 2019. Vol.8, Issue 3. Pp. 294–299.

10. Liu Changjiang, He Xin, Deng Xiaowei, Zheng Zhoulian, Liu Jian, Hui David. Application of nanomaterials in ultra-high performance concrete: A review // *Nanotechnology Reviews*. 2020. Vol. 9(1). Pp. 1427–1444.

11. Pietrzak A., Adamus J., Langier B. Application of Titanium Dioxide in Cement and Concrete Technology // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 687. Pp. 243–249.

12. Szymanowski J., Sadowski L. The influence of the addition of tetragonal crystalline titanium oxide nanoparticles on the adhesive and functional properties of layered cementitious composites // *Composite Structures*. 2019. Vol. 233. 111636.

13. Тюкавкина В.В., Цырятьева А.В. Структура цементного камня, модифицированного нанодисперсной титаносодержащей добавкой // *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2019. 16. С. 597–601.

14. Sazonova N., Badenikov A., Skripnikova N., Ivanova E. Influence of nano-dispersive modified additive on cement activity // *AIP Conference Proceedings*. 2016. 1698(1) 070012.

15. Wang Song, Zhang Shupin, Wang Yaping, Sun Xiao ning, Sun Kangning. Reduced Graphene Oxide/Carbon Nanotubes Reinforced Calcium Phosphate Cement // *Ceramics International*. 2017. 43(16). Pp. 13083–13088.

16. Chernishov E., Artamonova O.V., Slavcheva G. Nano-Modification of Building Composite Structures // *Strength of Materials*. 2020 10.5772

17. Cruz-Moreno Dulce, Fajardo San Miguel Gerardo, Flores Vivian Ismael, Orozco-Cruz R., Ramos-Rivera C. Multifunctional surfaces of portland cement-based materials developed with functionalized silicon-based nanoparticles // *Applied Surface Science*. 2020. 531. 147355.

18. Bakhtin A., Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Nikolaenko V. Investigation of the various binders' effect on the lime binder carbonate hardening process for its use in additive technologies // *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011 MSF. Pp.123–129

19. Патент UA91420 U. Спосіб одержання нанорозмірних, мікронних і субмікронних порошків металів та карбідів металів з виробів і відходів твердих сплавів. Опубл. 10.07.2014. 4 с.

20. Gavrish V., Chayka T., Baranov G., Gavrish O. Investigation of the influence of nanomodifying additives on the strength properties of concrete // *Materials Today: Proceedings*. 2021. 38. Pp. 1433–1436.

21. Gavrish V., Cherkashina N., Chayka T. Investigations of the influence of tungsten carbide and tungsten oxide nanopowders on the radiation protection properties of cement matrix-based composite materials // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. 1652(1), 012008.

22. Яглов В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А. Наночастицы в бетоне // *Строительная наука и техника*. 2012. № 1. С. 21–30.

Информация об авторах

Чайка Татьяна Валерьевна, заведующий лабораторией научно-образовательного центра «Перспективные технорлогии и материалы». E-mail: tvchayika@sevsu.ru. Севастопольский государственный университет. Россия, 299053, Севастополь, ул. Университетская, 33.

Поступила 23.04.2021 г.

© Чайка Т.В., 2021

Chayka T.V.

Sevastopol State University

E-mail: tvchayika@sevsu.ru

THE EFFECT OF TUNGSTEN CARBIDE NANOPOWDER AGGLOMERATES ON THE PROPERTIES OF CEMENT MATERIALS

Abstract. The object of the research is cement samples modified by agglomerates of tungsten carbide nanopowders obtained from carbide waste. The paper considers the influence of tungsten carbide nanopowder

on the change in the main cement characteristics (density, water demand, setting time, kinetics of strength gain, compressive strength, bending strength). The optimum additive content in cement materials is 3%. This parameter is estimated by the maximum growth of compressive and flexural strength at all stages of hardening. The effect of WC powder additive on the structure of the cement matrix has been shown. Due to the high dispersibility of WC nanopowder, its particles act as additional crystallization centers, fill in the micropores of the cement stone and create a denser and stronger structure. The results of studying the microstructure of the cement stone with additions of WC powder indirectly confirm the results of strength characteristics. The cement-sand samples with the modifier are found to have a denser crystallized cement-sand stone compared to the control sample (without WC powder addition). The conducted researches have shown perspective of application of WC nanoparticles agglomerates as modifying additives for cement materials, which can be used in production of special purpose concrete (hydraulic, radioprotective, etc.). The economic effect of the use of WC nanoadditives obtained from hard-alloy production wastes can be obtained due to a reduction in costs at the stages of construction and operation of structures, buildings, structures based on it.

Keywords: cement, agglomerates, nanopowder, tungsten carbide, compressive strength, flexural strength, water demand, setting time, structure.

REFERENCES

1. Korovkin M.O., Grincov D.M., Eroshkina N.A. Rational use of inert mineral additives in concrete technology [Racional'noe primeneniye inertnykh mineral'nykh dobavok v tekhnologii betona]. Engineering Journal of Don. 2017. No. 3 (46). ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2017/4361 (rus)
2. Gurinenko H.S., Batyanovskij E.I. Hardening kinetics and properties of cement stone with additives enhancing concrete hardening [Kinetika tverdeniya i svoystva cementnogo kamnya s uskorayayushchimi tverdenie betona dobavkami]. Roads and bridges. 2014. No. 2(14). Pp. 90–98. (rus)
3. Mendes T., Hotza Dachamir, Repette Wellington. Nanoparticles in cement based materials: A review. Reviews on advanced materials science. 2015. Vol. 40. Pp. 89–96.
4. Potapov V., Efimenko Yu., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete. Construction and Building Materials. 2021. Vol.269. Iss.10. 121307.
5. Chernishov E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Nanomodification of cement-based composites in the technological life cycle. Nanotechnologies in construction. 2020. Vol. 12 Iss.3. Pp. 130–139
6. Shaban Ali, Amiruddin Ismail, Yusoff Md., Izzi Nur, Norhidayah Hassan, Ibrahim Ahmad Nazrul Hakimi. Characterization of the performance of aluminum oxide nanoparticles modified asphalt binder. Jurnal Teknologi. 2016. Vol. 78. Iss.4. Pp. 91–96.
7. Szymanowski J., Sadowski L. The Development of Nanoalumina-Based Cement Mortars for Overlay Applications in Concrete Floors. Materials. 2019. Vol.12. Iss. 21. 3465.
8. Yaoyu Wang, Jiye Li, Lihan Jiang, Lihua Zhao Enhanced. Mechanical and Microstructural Properties of Portland Cement Composites Modified with Submicron Metakaolin. Advances in Civil Engineering. 2020. Vol. 2020. Pp. 13.
9. Mohan Kantharia, Pankaj Mishra, Trivedi M.K. Strength of Cement Mortar Using Nano Oxides: An Experimental Study. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 2019. Vol.8. Iss. 3. Pp. 294–299.
10. Liu Changjiang, He Xin, Deng Xiaowei, Zheng Zhoulian, Liu Jian, Hui David. Application of nanomaterials in ultra-high performance concrete: A review. Nanotechnology Reviews. 2020. Vol. 9(1). Pp. 1427–1444.
11. Pietrzak A., Adamus J., Langier B. Application of Titanium Dioxide in Cement and Concrete Technology. Key Engineering Materials. 2016. Vol. 687. Pp. 243–249.
12. Szymanowski J., Sadowski L. The influence of the addition of tetragonal crystalline titanium oxide nanoparticles on the adhesive and functional properties of layered cementitious composites. Composite Structures. 2019. Vol. 233. 111636.
13. Tyukavkina V.V., Tsyryatyeva A.V. The structure of the cement stone modified by nanodispersed titanium-bearing additive [Struktura cementnogo kamnya, modifitsirovannogo nanodispersnoy titanosoderzhashchej dobavkoj]. Proceedings of the Fersman Scientific Session of the KSC RAS. 2019. No.16. Pp. 597–601. (rus)
14. Sazonova N., Badenikov A., Skripnikova N., Ivanova E. Influence of nano-dispersive modified additive on cement activity. AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1698. Iss. 1. 070012.
15. Wang Song, Zhang Shupin, Wang Yaping, Sun Xiao ning, Sun Kangning. Reduced Graphene Oxide/Carbon Nanotubes Reinforced Calcium Phosphate Cement. Ceramics International. 2017. Vol. 43. Iss 16. Pp. 13083–13088.
16. Chernishov E., Artamonova O.V., Slavcheva G. Nano-Modification of Building Composite Structures. Strength of Materials. 2020 10.5772
17. Cruz-Moreno Dulce, Fajardo San Miguel Gerardo, Flores Vivian Ismael, Orozco-Cruz R., Ramos-Rivera C. Multifunctional surfaces of portland

cement-based materials developed with functionalized silicon-based nanoparticles. *Applied Surface Science*. 2020. Vol. 531. 147355.

18. Bakhtin A., Lyubomirskiy N., Bakhtina T., Nikolaenko V. Investigation of the various binders' effect on the lime binder carbonate hardening process for its use in additive technologies. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 1011 MSF. Pp.123–129

19. Patent UA91420 U. Method for the production of nanoscale, micron and submicron powders of metals and metal carbides from products and waste of hard alloys. Published 10.07.2014. 4 p.

20. Gavrish V., Chayka T., Baranov G., Gavrish O. Investigation of the influence of nanomodifying

additives on the strength properties of concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 38. Pp. 1433–1436.

21. Gavrish V., Cherkashina N., Chayka T. Investigations of the influence of tungsten carbide and tungsten oxide nanopowders on the radiation protection properties of cement matrix-based composite materials. *J. of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1652(1), 012008.

22. Yaglov V.N., Burak G.A., Mezhencev A.A. Nanoparticles in concrete [Nanochasticy v betone]. *Building science and technology*. 2012. No.1. Pp. 21–30. (rus)

Information about the authors

Чайка, Татьяна В. Head of the laboratory, Scientific and educational center "Advanced technologies and materials". E-mail: tvchayika@sevsu.ru. Sevastopol State University. Russia, 299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, 33.

Received 23.04.2021

Для цитирования:

Чайка Т.В. Влияние агломератов нанопорошка карбида вольфрама на свойства цементных материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 8-16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16

For citation:

Чайка Т.В. The effect of tungsten carbide nanopowder agglomerates on the properties of cement materials. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 7. Pp. 8-16. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-8-16