

УДК 666.9-1

**РОЛЬ ДОБАВКИ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА
В КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТАХ*****В.Б. Петропавловская¹, Т.Б. Новиченкова¹, К.С. Петропавловский¹,
М.С. Зверев², Р.З. Цыбина¹***¹*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*²*Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ) (г. Москва)*© Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б.,
Петропавловский К.С., Зверев М.С., Цыбина Р.З., 2024

Аннотация. Исследование посвящено теме создания высокодисперсного минерального комплекса для формирования коррозионно-стойкого цементного камня с уплотненной структурой и высокими эксплуатационными свойствами. Введение высокоактивной добавки с высоким содержанием аморфной фазы положительным образом отражается на структуре цементного камня, получаемой на основе обычного портландцемента. В составе образующегося в результате гидратации цемента пространства между продуктами гидратации и частицами непрореагировавшего цемента заполнены воздушными порами и дисперсионной средой, включающей ионы кальция, натрия, калия, ОН-групп, а также участвующей в процессах структурообразования цементного камня. Введение фазы микрокремнезема в соответствующей пропорции отражается на формировании порового пространства и свойствах получаемого искусственного камня. Изучены свойства цементных составов с оптимальной рецептурой для использования в дорожном строительстве.

Ключевые слова: портландцемент, микрокремнезем, структура, поровое пространство.

DOI: 10.46573/2658-7459-2024-4-24-30***ВВЕДЕНИЕ***

Область применения дорожных бетонов расширяется с каждым годом, и это связано с увеличением объемов дорожного строительства. Развивается направление строительства высококачественных бетонных дорог, поэтому рост качества дорожных бетонов является важной задачей [1]. Известные подходы к проектированию дорожных бетонов и технологиям их изготовления бывают недостаточно эффективны. Для решения данной проблемы проводятся научные исследования, направленные на получение инновационных материалов при использовании зарекомендовавших себя премиксов, добавок, органоминеральных и минеральных модифицирующих комплексов [1–5]. Одним из таких перспективных материалов является микрокремнезем [6].

Еще в конце XX века данная высокоактивная добавка начала успешно завоевывать строительный рынок, поскольку на ее основе разрабатывались бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. Отличительными чертами таких модифицированных бетонов являлись высокая (до 80 МПа) и сверхвысокая (свыше 80 МПа) прочность,

повышенная коррозионная стойкость и другие эксплуатационные характеристики. Они были обусловлены технологией производства высокоподвижных бетонных смесей. Помимо прочности, зачастую их отличали еще и высокие эстетические показатели [6].

Главной особенностью технологии производства названных смесей являлось применение высокоактивных добавок с высокой степенью дисперсности. Одной из них стал хорошо себя зарекомендовавший микрокремнезем, который тогда являлся малоиспользуемым в строительном производстве отходом ферросплавного производства [6]. Он представлял собой высокодисперсный порошок, состоящий из диоксида кремния, в виде частиц размером в несколько микрометров [6]. В ходе исследования цементных бетонов на основе микрокремнезема было определено основное требование к нему как к минеральному наполнителю высокопрочных бетонов – дисперсность [5, 6]. Однако с ростом популярности наполнителя снижалась экономическая эффективность его применения, что было вызвано повышением цены. Таким образом, в настоящее время ведутся работы по созданию эффективных комплексов на основе микрокремнезема с использованием местных недорогих наполнителей, в том числе из отходов промышленности [7]. Целью настоящей работы является исследование возможности применения микрокремнезема в составе комплексной добавки с использованием отходов топливной промышленности – высококальциевых зол-уноса. На первом этапе были изучены контрольные составы на основе микрокремнезема и получены основные физико-механические характеристики затвердевшего модифицированного цементного камня.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данных исследованиях применялись обычный портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, микрокремнезем марки МК-90, а также мелкий заполнитель – песок речной.

Приготовление готовых смесей осуществлялось в лабораторной мешалке. Все ингредиенты, входящие в составы сырьевых смесей, предварительно высушивались до постоянной массы. Далее исходные компоненты смесей в заданных пропорциях перемешивались в сухом виде до однородного состояния. Затем смеси затворяли водой комнатной температуры. Время перемешивания в лабораторной мешалке было предварительно установлено опытным путем. В соответствии с программой исследований время перемешивания было принято постоянным. Перемешивание осуществлялось до получения однородной смеси.

Формование производилось в лабораторных условиях в соответствии с требованиями ГОСТ 30744-2001.

Твердение осуществлялось во влажных условиях в течение 14 сут на первом этапе. На втором время твердения было увеличено до 28 сут.

Средняя плотность определялась путем взвешивания образцов-кубов в сухом состоянии на лабораторных весах.

Предел прочности определяли по данным разрушающей нагрузки, полученной на лабораторном прессе.

Исследование проводилось в два этапа. На каждом изучались характеристики сырьевых смесей по критерию нормальной густоты и сроков схватывания. Данные характеристики определялись стандартным методом на приборе Вика с пестиком и иглой соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Значения сроков схватывания для составов модифицированного цементного камня

Номера составов	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значения сроков схватывания, мин	3	2	3	2,5	2	2	2	3	2

На первом этапе была использована методика выполнения планированного эксперимента. Содержание микрокремнезема варьировалось от 0 до 40 % с шагом 20, водотвердое отношение (В/Т) составляло от 0,4 до 0,6 с шагом 0,1.

Результаты исследований средней плотности для всех составов приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Таблица 2

Средняя плотность модифицированного камня

Номера составов	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Средняя плотность, кг/м ³	2 350,32	2 343,13	2 069,06	2 032,81	2 230,94	2 206,71	2 375,16	2 083,44	2 212,5

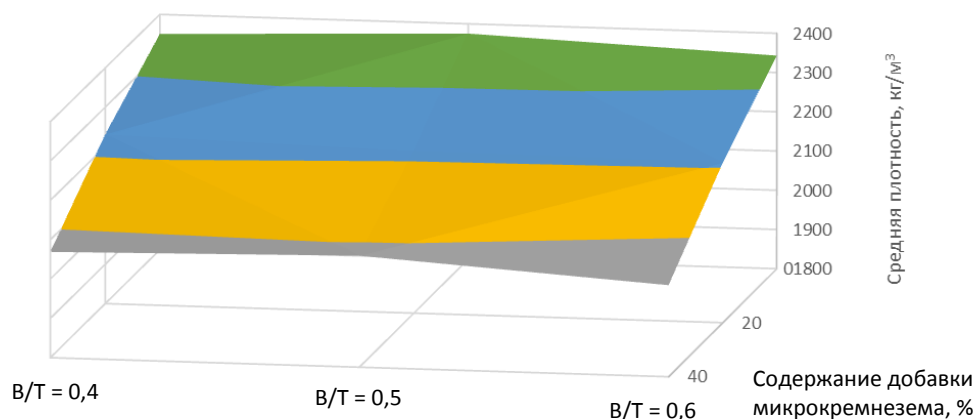


Рис. 1. Влияние добавки микрокремнезема на среднюю плотность модифицированного цементного камня после 14 сут нормального твердения

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании полученных результатов исследования прочности цементного камня с добавкой микрокремнезема была установлена зависимость $R_{сж}$ от содержания добавки и В/Т (табл. 3, рис. 2).

Таблица 3

Предел прочности при сжатии модифицированного камня, полученный после твердения в течение 14 сут

Номера составов	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предел прочности, МПа	87,17	34,64	21,52	15,49	49,79	22,89	54,32	32,36	26,79

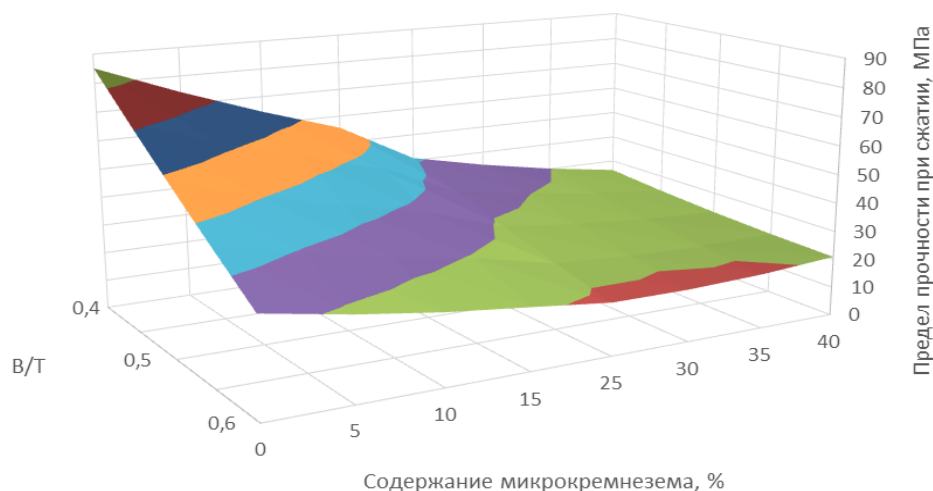


Рис. 2. Влияние добавки микрокремнезема на предел прочности модифицированного цементного камня после 14 сут нормального твердения

В ходе проведения исследований было установлено, что при увеличении содержания добавки прочность цементного камня уменьшается.

Оптимальное значение МК-90 в цементной смеси составило по результатам исследований 0,4–0,5 %.

Содержание микрокремнезема в цементной смеси на втором этапе составляло 0, 5, 10, 15 и 20 % для составов 1–5 соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Исследованные составы цементных смесей

№	В/Т	Содержание микрокремнезема, %
1	0,14	0
2	0,14	5
3	0,15	10
4	0,16	15
5	0,16	20

Результаты исследований сырьевой смеси и физико-механических свойств цементного камня приведены в табл. 5, 6 и на рис. 3, 4.

Таблица 5

Значения диаметров расплыва цементного теста с добавкой микрокремнезема на приборе Вика

Номера составов	1	2	3	4	5
Диаметр расплыва, мм	15	21	20	17	24

Таблица 6

Значения предела прочности при сжатии
для составов модифицированного цементного камня

Номера составов	1	2	3	4	5
Предел прочности при сжатии, МПа	30,88	25,96	24,58	23,10	22,44

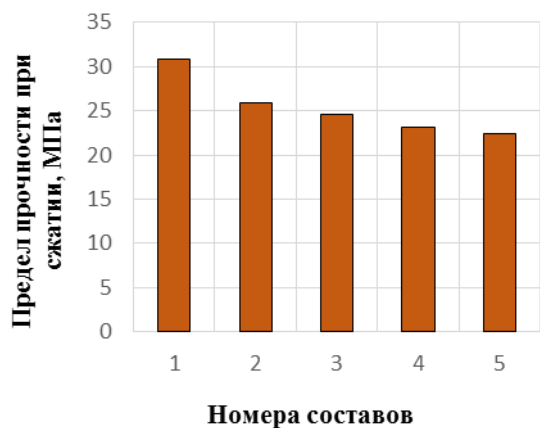


Рис. 3. Влияние добавки микрокремнезема на предел прочности при сжатии модифицированного цементного камня в возрасте 28 сут

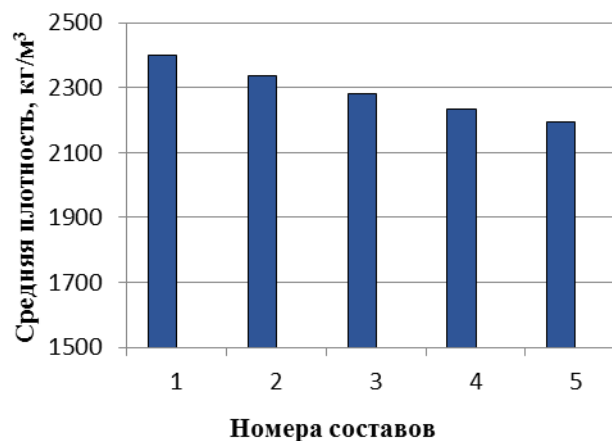


Рис. 4. Влияние добавки микрокремнезема на среднюю плотность модифицированного цементного камня в возрасте 28 сут

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований цементного камня, модифицированного добавкой высокоактивного микрокремнезема МК-90, были определены физико-механические характеристики у составов сырьевых смесей, которые можно использовать, например, для производства бордюрного камня. Полученные значения прочности и плотности цементного камня, а также другие эксплуатационные характеристики соответствуют требованиям ГОСТ Р 58894-2020. Исследования будут продолжены.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-49-03004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tkach E., Rakhimova G., Slavcheva G., Aisanova M., Rakhimov M. The Influence of a Complex Additive on the Strength Characteristics of Concrete for Road Construction // *International Journal of GEOMATE*. 2023. Vol. 25, Iss. 110, pp. 243–250.
2. Sustainable Development of Basalt Fiber-reinforced High-strength Eco-friendly Concrete with a Modified Composite Binder. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01550> (дата обращения: 23.09.2024).

3. Petropavlovskaya V., Novichenkova T., Petropavlovskii K., Aleksandrova O., Fischer H.-B. Application of Fuel Ash as a Microfiller in Cement Dispersion Systems // *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1037, pp. 729–736.
4. Performance Investigation of the Incorporation of Ground Granulated Blast Furnace Slag with Fly Ash in Autoclaved Aerated Concrete / V.A.R. Bernard [et al.] // *Crystals*. 2022. No. 12 (8), pp. 1024.
5. Новиченкова Т.Б., Петропавловская В.Б., Завадько М.Ю., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П., Петропавловский К.С. Применение пылевидных отходов базальтового производства в качестве наполнителя гипсовых композиций // *Строительные материалы*. 2018. № 8. С. 9–13.
6. Смирнов А.О., Лешканов А.Ю. Влияние добавки микрокремнезема на свойства цементных композиций. *Двадцать вторые Вавиловские чтения: Материалы международной междисциплинарной научной конференции / под общ. ред. В.П. Шалаева*. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. Т. 2. С. 241–244.
7. Aleksandrova O., Quang N., Bulgakov B., Fedosov S., Lukyanova N., Petropavlovskaya V. The Effect of Mineral Admixtures and Fine Aggregates on the Characteristics of High-strength Fiber-reinforced Concrete // *Materials*. 2022. Vol. 15. No. 24. С. 8851.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: victoriapetrov@gmail.com

НОВИЧЕНКОВА Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: tanovi.69@mail.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник Института нано- и биотехнологий, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: kspetrovavlovsky@gmail.com

ЗВЕРЕВ Максим Сергеевич – магистрант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 125993, Россия, г. Москва, ул. Тверская, д. 11.

ЦЫБИНА Раиса Захаровна – старший преподаватель кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: kaf.kis-303@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Петропавловский К.С., Зверев М.С., Цыбина Р.З. Роль добавки микрокремнезема в коррозионно-стойких цементных композитах // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2024. № 4 (24). С. 24–30.

**THE ROLE OF MICROSILICA ADDITIVE
IN CORROSION RESISTANT CEMENTITIOUS COMPOSITES**

***V.B. Petropavlovskaya¹, T.B. Novichenkova¹, K.S. Petropavlovskii¹,
M.S. Zverev², R.Z. Tsybina¹***

¹*Tver State Technical University (Tver)*

²*Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (Moscow)*

Abstract. The research is devoted to the topic of creating a highly dispersed mineral complex for the formation of corrosion-resistant cement stone with a compacted structure and high performance properties. The introduction of a highly active additive with a high content of amorphous phase has a positive effect on the structure of cement stone obtained on the basis of ordinary Portland cement. The spaces between hydration products and unreacted cement particles formed as a result of cement hydration are filled with air pores and dispersion medium including ions of calcium, sodium, potassium, OH-groups, as well as participating in the processes of cement stone structure formation. The introduction of microsilica phase in the appropriate proportion is reflected in the formation of pore space and properties of the obtained artificial stone. The properties of cement compositions with optimal formulation for use in road construction have been studied.

Keywords: portland cement, microsilica, structure, pore space.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

PETROPAVLOVSKAYA Viktoriya Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

NOVICHENKOVA Tatiana Borisovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Products and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tanovi.69@mail.ru

PETROPAVLOVSKII Kirill Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Researcher of the Department of Biotechnology, Chemistry and Standardization, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kspetropavlovsky@gmail.com

ZVEREV Maxim Sergeevich – Master's Student, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 11, Tverskaya Street, Moscow, 125993, Russia.

TSYBINA Raisa Zakharovna – Senior Lecturer at the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: kaf.kis-303@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Petropavlovskaya V.B., Novichenkova T.B., Petropavlovskii K.S., Zverev M.S., Tsybina R.Z. The role of microsilica additive in corrosion resistant cementitious composites // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2024. No. 4 (24), pp. 24–30.