

УДК 691.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСФЕР ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*С.В. Перевозчикова, В.В. Белов**Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*© Перевозчикова С.В.,
Белов В.В., 2021

Аннотация. В работе подчеркнута актуальность проблемы реставрации и восстановления архитектурных элементов на фасадах зданий. Отражены результаты экспериментальной работы по подбору оптимального состава смеси для облегченных архитектурных элементов, в состав которой входят полые стеклянные микросферы, белый цемент, модифицирующие добавки и доломитовая мука в качестве микронаполнителя. Представлены результаты микроскопического анализа структуры материала.

Ключевые слова: сухая строительная смесь, реставрация, полые стеклянные микросферы, облегченные конструкции.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-19-30

ВВЕДЕНИЕ

Для развития страны и нации необходимо реставрировать как здания, имеющие культурную ценность, так и жилые здания, а также здания общего пользования. Привлекательный внешний вид городов способствует увеличению туристического потока, который вносит значительный вклад в благосостояние государства.

Ремонт и реставрация являются вторыми по значимости (после строительства новых зданий) инструментами для поддержания и улучшения внешнего облика городов России [1]. Они в значительной степени зависят не только от технологии [2, 3], но и от материалов, которые при этом используются. На современном этапе развития индустрии строительных материалов существует большое количество различных смесей и составов, применяемых для ремонтных работ. С каждым годом требования к этим материалам ужесточаются, что способствует более тщательному анализу разрабатываемых материалов и влияет на положительный конечный результат. При этом так и не решена задача получения для реставрационных работ строительных материалов с улучшенными строительными свойствами (в частности, строительных растворов с высоким уровнем физико-технических свойств и экономических показателей), которые дают возможность обеспечивать совместимость «старого» материала с «новым» [4]. Известно, что для реставрации художественной лепнины чаще всего применяют высокопрочный гипс α -модификации с высокой плотностью (до 1900 кг/м³) [5]. Полученный на его основе гипсовый камень может привести к разрушению старинных дворцов и усадеб при реставрации лепнины на потолках с деревянными перекрытиями. Авторами было предположено, что введение в гипсовую систему полых стеклянных микросфер позволит более чем в 2 раза снизить среднюю плотность гипсового камня и получить материал с

требуемой для реставрационных работ прочностью [6]. На данный момент известно, что гипсовые композиты не столь долговечны в среде, где они подвергаются действию атмосферных осадков, как композиты на основе цемента, а в нашем случае это имеет большое значение, поскольку предполагаемый композит будет использован для внешней отделки зданий и реставрации памятников архитектуры.

Продолжительность срока службы отделочных архитектурных покрытий наружных стен зданий зависит от характера воздействия различных климатических факторов, которые способны вызывать температурно-влажностные деформации внутри слоя отделки. В процессе эксплуатации ограждающих конструкций часто наблюдается частичное разрушение отделочного покрытия из-за конденсации влаги на границе «архитектурный элемент – ограждающая конструкция» [7]. Эксплуатационные свойства пористых материалов в значительной степени определяются интенсивностью происходящих в них процессов тепломассопереноса [8, 9]. От этих процессов зависят эксплуатационные свойства составов и в конечном счете изделий из данных составов.

Выше было указано, что основным недостатком облегченных цементных растворов являются низкие прочностные показатели (результат уменьшения плотности). Однако при использовании наполнителей, имеющих низкую среднюю плотность и относительно высокую прочность, а именно полых стеклянных микросфер, можно добиться значимого снижения плотности цементных растворов и обеспечить при этом их достаточную прочность. При использовании в качестве наполнителя полых стеклянных микросфер и вяжущего различной дисперсности можно получать оптимальную структуру, при которой частицы микросфер будут характеризоваться плотной упаковкой, их доля в объеме будет максимальной, а цементный камень, играющий роль связующей прослойки, будет скреплять их в прочный материал конгломератного типа строения [10].

В составах архитектурных строительных смесей используются, помимо наполнителей в виде сфер, тонкодисперсные наполнители на основе силикатов кальция. Их применяют для ускорения структурообразования в известковых композитах [11, 12]. Отделочные покрытия на основе известковых составов имеют высокие показатели паропроницаемости и биостойкости, что позволяет использовать их при реставрации и ремонте зданий и сооружений исторической застройки. Из-за того, что известковые составы характеризуются медленными сроками отверждения и обладают недостаточной водостойкостью, в их рецептуру предложено вводить нанодисперсные добавки [13]. Следовательно, разработка облегченных цементных растворов с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ, проводящихся в отношении архитектурных памятников, – крайне актуальная проблема.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С помощью матрицы планирования эксперимента в работе были подобраны составы растворов для оценки влияния карбонатного микронаполнителя, а также соотношения полых стеклянных микросфер и ПВА на прочность, плотность, морозостойкость и водопоглощение раствора. Количество воды принималось в соответствии с оптимальной пластичностью смеси.

Для получения комплексных характеристик материала были заформованы из данного состава образцы-кубы размерами:

100x100x100 мм (образцы данного размера необходимы для измерения теплопроводности);

70,7x70,7x70,7 мм (для измерения морозостойкости, водопоглощения, коэффициента размягчения);

20x20x20 мм (для измерения пористости, плотности, прочности на сжатие).

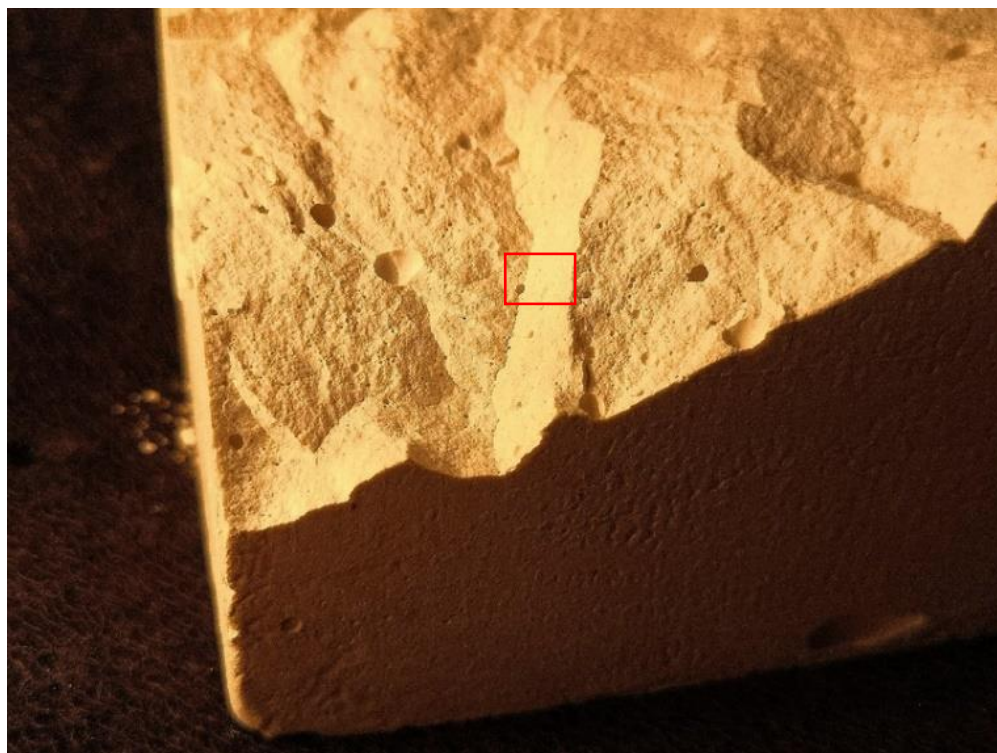
В стандартных методиках для нахождения всех характеристик требуются образцы большего размера, но для экономии дорогостоящих материалов было принято решение определять характеристики материала на образцах меньшего размера. Поскольку структура разрабатываемого материала не имеет крупного наполнителя и является мелкозернистой, замена крупных образцов более мелкими не исказила показаний, полученных при испытаниях образцов. Характеристики смеси определялись по стандартным методикам.

Данные по комплексному анализу образцов приведены в таблице.

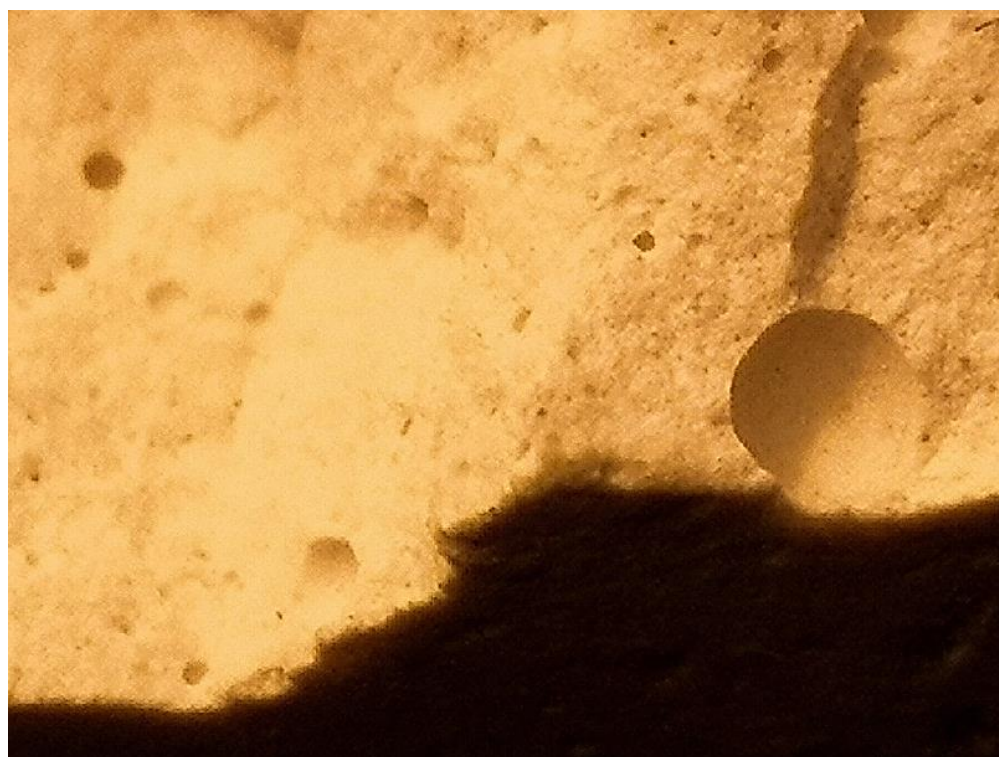
Комплексные характеристики оптимального состава сухой строительной смеси
для облегченных архитектурных элементов

Характеристика	Среднее значение серии образцов
Прочность на сжатие, МПа	16,0
Средняя плотность, г/см ³	1,4
Истинная плотность, г/см ³	1,8
Влажность, %	24,4
Водопоглощение по массе, %	20,4
Полный объем пор, %	26,3
Теплопроводность, Вт/(м·°К)	0,502
Коэффициент размягчения	0,40

Из рис. 1 видно, что материал имеет мелкозернистую структуру и включает в себя поры значительного размера. Данные поры могли возникнуть в результате недостаточного уплотнения смеси.



а



б

Рис. 1. Структура образца на изломе: а – общий вид;
б – в увеличенном изображении фрагмента

Поскольку материал предполагается использовать в среде, где он будет подвергаться действию атмосферных осадков и попеременному замораживанию и оттаиванию, данные поры могут способствовать образованию микротрещин в материале по причине расширения в них воды при отрицательных температурах, что негативно скажется на долговечности материала. Следовательно, смесь необходимо уплотнять тщательнее во избежание образования пор крупного размера.

Из рис. 1 также видно, что на поверхности материала не образуется трещин. Это свидетельствует о том, что полые микросферы предотвращают нежелательную усадку материала и тем самым не дают жидкости при действии атмосферных осадков проникать вглубь и разрушать материал.

Отсутствие трещин означает, что нет контракционной усадки. Следовательно, объем новообразований цементного камня не превышает объема исходных компонентов. Это, возможно, означает, что наполнители, используемые в составе материала, являются инертными по отношению к вяжущему веществу и не вступают с ним в химическую реакцию. Данную гипотезу можно подтвердить только с помощью микроскопического анализа. Микрофотографии структуры на изломе образца выполнены в лаборатории акционерного общества «Научно-исследовательский институт синтетического волокна с экспериментальным заводом» (АО «ВНИИСВ»), г. Тверь.

Образец материала представлял собой фрагмент, отделенный от цементного монолита путем хрупкого разрушения. Поверхность фрагмента для наблюдения в электронном сканирующем микроскопе была покрыта пленкой алюминия с помощью метода осаждения паров в вакууме. Микрофотографии получены при помощи электронного сканирующего микроскопа Hitachi S-450 на вторичных электронах. Ускоряющее напряжение составляло 10 кВ.

Ниже представлены фотографии, на которых запечатлены поверхности скола материала при постепенном увеличении (рис. 2). Хорошо видно, что стеклянные микросферы (а также следы от выпавших микросфер) хаотично распределены по материалу. Размер микросфер также сильно варьируется.

Выступающая часть поверхности микросфер практически ровная (рис. 3) и не имеет следов взаимодействия с цементом. При прохождении в материале трещины (рис. 4) микросферы отделяются от одного из ее краев, как правило, без воздействия разрушения.

Серия фотографий с постепенным увеличением края впадины, оставшейся от выпавшей микросферы, представлена на рис. 5. Хорошо видно, что во впадине отсутствуют осколки стенки микросферы, а поверхность контакта практически такая же ровная, как и поверхность микросферы, т. е. контакт микросферы с массой цемента происходит практически по всей поверхности, но без образования стойких связей.

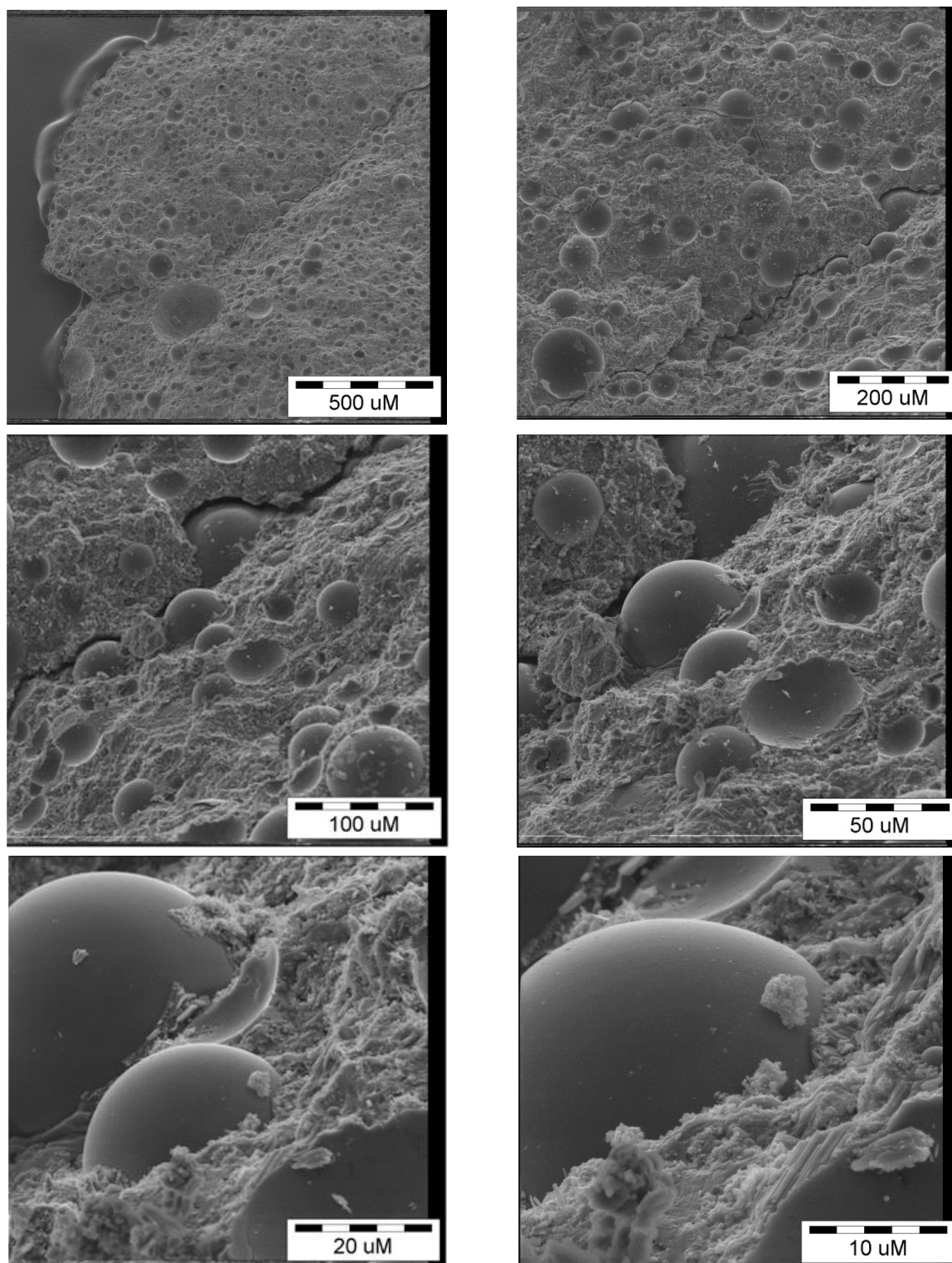


Рис. 2. Серия снимков скола поверхности исследуемого материала с постепенным увеличением

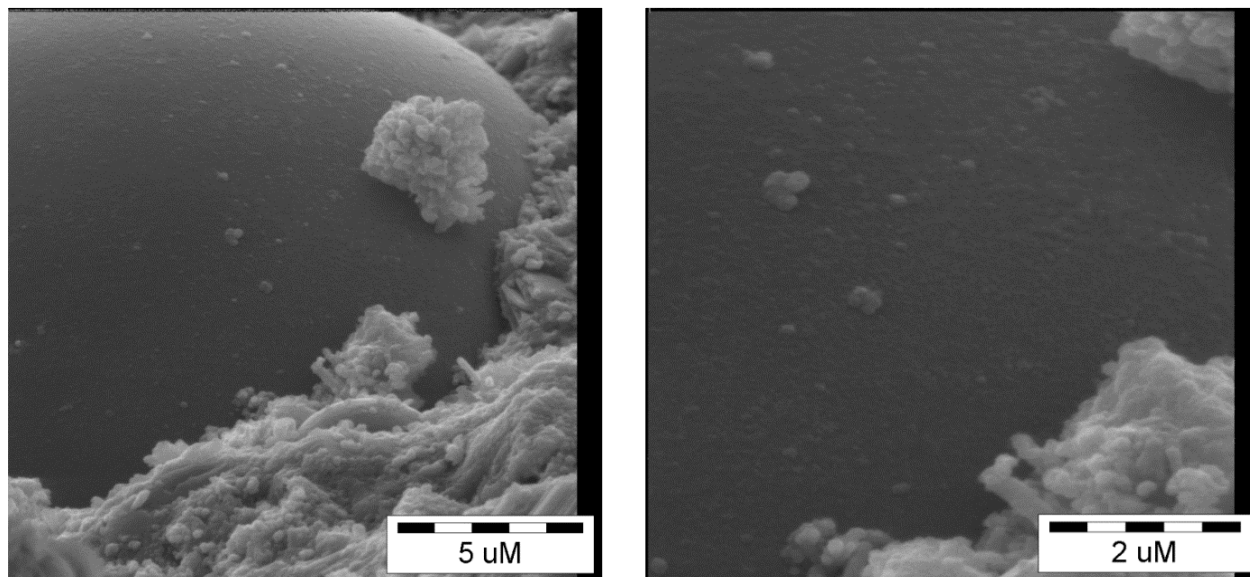


Рис. 3. Поверхность стеклянной микросферы при большом увеличении

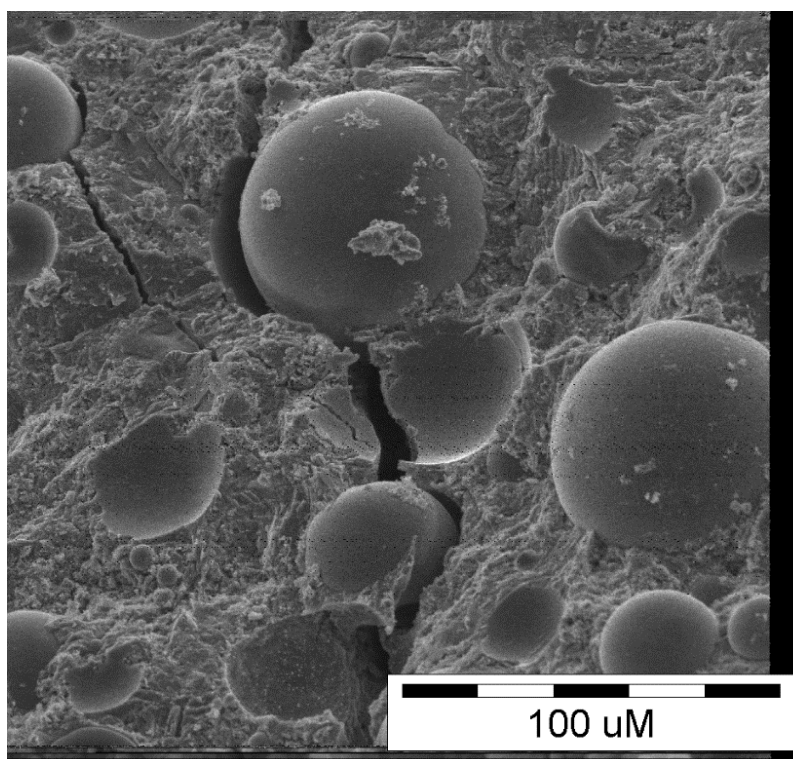


Рис. 4. Морфология материала в зоне прохождения трещины

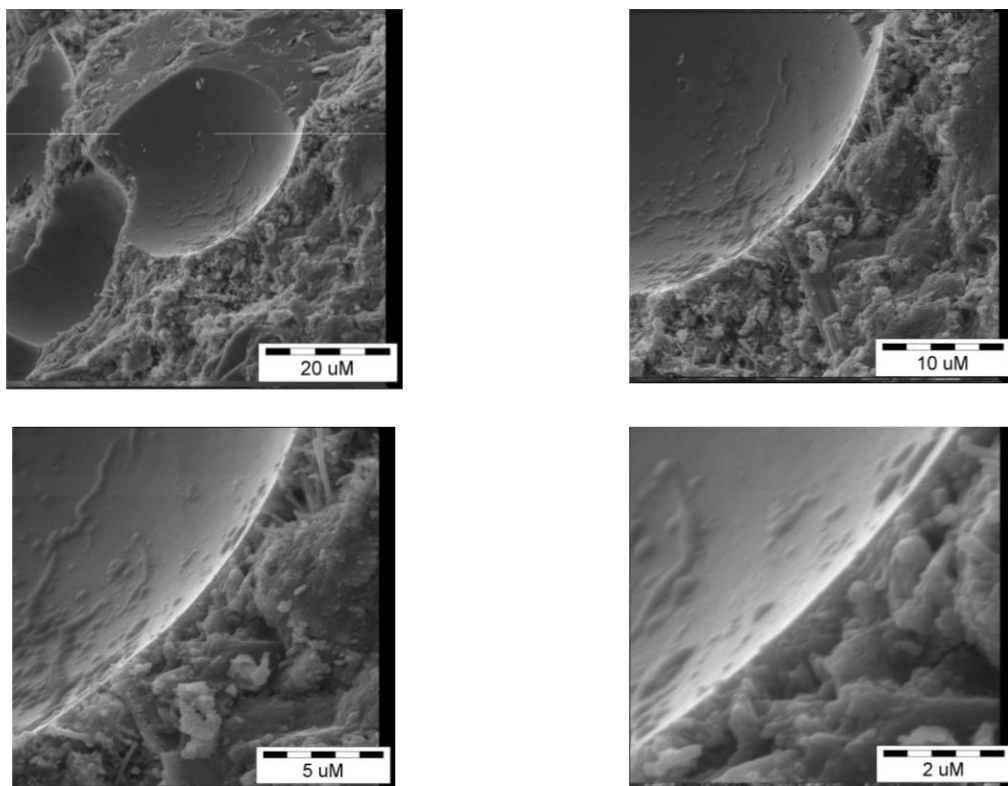


Рис. 5. Серия фотографий впадины, образовавшейся на месте выпавшей микросферы

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании полученных данных (см. таблицу) можно сделать ряд выводов о характеристиках разрабатываемого материала.

Одним из важных свойств является стойкость цементного камня в материале при переменном увлажнении и высушивании. Во время частого намокания и иссушения в структуре накапливаются остаточные деформации, из-за чего материал изнашивается. Однако в отличие от лабораторных испытаний, в которых диапазон температур и влажности достаточно высок, в реальных условиях материал не высушивается до нулевой влажности. Значения последней могут приниматься от 10 до 100 %, а значит, влага не будет удалена из материала полностью.

Средняя плотность образца достаточно низкая (1400 кг/м^3) для реставрационного состава, так как в работе [5] было описано, что для реставрации используются составы из высокопрочного гипса α -модификации, плотность которых составляет 1900 кг/м^3 . Дальнейшее снижение плотности возможно путем введения дополнительного количества полых стеклянных микросфер, однако это может отрицательно сказаться на других физико-механических свойствах композита, таких как средняя прочность и коэффициент размягчения.

Коэффициентом размягчения характеризуют водостойкость материала, связанную с водопоглощением и природой вещества заполнителя. Водопоглощение, в свою очередь, обуславливается пористостью и структурой материала, которые определяют морозостойкость заполнителя. Поскольку материал не предполагается использовать в

водной среде (коэффициент размягчения материалов, находящихся ниже уровня воды, должен быть не ниже 0,8), то показатель, равный 0,4, можно считать удовлетворительным.

Микросферы применяют для уменьшения веса готовых изделий, что приводит к сокращению трудозатрат на выполнение реконструкции, созданию стабильной поровой структуры, а также позволяет минимизировать нагрузку на деревянные конструкции исторических зданий или устаревшие части каменных изделий. Микросферы за счет своей правильной формы дают возможность использовать меньшее количество связующего для смачивания, что снижает вязкость и уменьшает усадку, так как микросферы выступают в роли «демпфирующей» добавки.

Применение в качестве добавки карбонатсодержащих пород положительно влияет на регулирование водотвердого соотношения смеси, поскольку данная добавка имеет некоторый пластифицирующий эффект, который при одновременном использовании суперпластификаторов может значительно снизить водовязущее соотношение. Последнее приведет к повышению прочности конечного продукта и положительно скажется на формировании структуры материала. Сокращение количества воды затворения будет способствовать уменьшению количества капиллярных пор, за счет чего повысится морозостойкость материала.

ВЫВОДЫ

Использование полых стеклянных микросфер в составе облегченной коррозионно-стойкой сухой строительной смеси, применяемой для создания, ремонта и восстановления архитектурных элементов, позволит повысить трещиностойкость изделий за счет «демпфирующего» эффекта. При этом сами микросферы служат каркасом для цементной матрицы, что препятствует ее нежелательной усадке. Кроме того, наличие полых стеклянных микросфер в составе материала приводит к понижению щелочности материала, что делает его более стойким к воздействию агрессивной среды.

Разработка состава и технологии изготовления облегченной коррозионно-стойкой сухой строительной смеси плотностью 900 кг/м³ и прочностью раствора на сжатие 5,0–10,0 МПа (марки 50, 75, 100) позволит повысить качество ремонтно-восстановительных работ и долговечность архитектурных элементов и фасадов зданий, улучшить их внешний вид.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК-2019».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егорова О.А. Реставрация памятников архитектуры и проблема фасадализма // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 1 (60). С. 16–22.
2. Альфхар М.А., Осама Э. Проблемы реконструкции памятников архитектуры // *Интерактивная наука*. 2017. № 12. С. 153–155.
3. Крохина А.А. Проблемы реставрации памятников архитектуры в условиях современного градостроительства (правовой аспект) // *Шаг в науку*. 2019. № 3. С. 30–32.
4. Коровяков В.Ф. Гипсовые вяжущие и их применение в строительстве // *Российский химический журнал*. 2003. Т. XLVII. № 4. С. 18–25.
5. Хаев Т.Э. Реставрационные работы с применением облегченных гипсовых систем с полыми стеклянными микросферами // *Современные тенденции развития науки и технологий*. 2017. № 2-2. С. 116–118.
6. Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 34–37.

7. Лесовик В.С. Роль закона сродства структур в строительном материаловедении при выполнении реставрационных работ // *Научно-исследовательский журнал прикладных наук*. 2014. Т. 9. Вып. 12. С. 1100–1105.
8. Ватин В.И. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 1. С. 28–33.
9. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 6. С. 19–33.
10. Исаева Ю.В. Оптимизация структуры сверхлегкого цементного раствора с учетом геометрических и физико-механических характеристик компонентов // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 84.
11. Фролов М.В. Структурообразование известковых композитов в присутствии модифицирующей добавки // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56191> (дата обращения: 10.11.2018).
12. Пышкина И.С., Жегера К.В. Эффективность применения аморфных алюмосиликатов и гидросиликатов кальция в известковых сухих строительных смесях // *Региональная архитектура и строительство*. 2017. № 4. С. 24–28.
13. Логанина В.И., Петухова Н.А., Акжигитова Э.Р. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 3. С. 8–12.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕРЕВОЗЧИКОВА София Валерьевна – аспирант кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: ya.sonya1995@yandex.ru
БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Перевозчикова С.В., Белов В.В. Использование микросфер для улучшения свойств сухих строительных смесей // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 2 (10). С. 19–30.

DRY MIX FOR RESTORATION AND RESTORATION OF BUILDINGS BASED ON WHITE CEMENT AND HOLLOW GLASS MICROSPHERES

S.V. Perevozchikova, V.V. Belov
Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The work reflects the urgency of the problem of restoration and restoration of architectural elements on the facades of buildings. Also reflected are the results of experimental work on the selection of the optimal composition of the mixture for lightweight architectural

elements, which includes white cement, hollow glass microspheres, modifying additives and dolomite flour as a microfiller. The results of microscopic analysis of the material structure are presented.

Keywords: dry mortar, restoration, hollow glass microspheres, lightweight structures.

REFERENCES

1. Egorova O.A. Restoration of architectural monuments and the problem of the facade. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2017. No. 1 (60), pp. 16–22. (In Russian).
2. Alfa M.A., Osama E. Problems of reconstruction of architectural monuments. *Interaktivnaya Nauka*. 2017. No. 12, pp. 153–155. (In Russian).
3. Krokhnina A.A. Problems of restoration of architectural monuments in the conditions of modern urban planning (legal aspect). *Shag v Nauku*. 2019. No. 3, pp. 30–32.
4. Korovyakov V.F. Gypsum binders and their application in construction. *Rossiiskij Himicheskij Zhurnal*. 2003. Vol. XLVII. No. 4, pp. 18–25. (In Russian).
5. Khaev T.E. Restoration works with the use of lightweight gypsum systems with hollow glass microspheres. *Sovremennye Tendencii Razvitiya Nauki i Tekhnologii*. 2017. No. 2-2, pp. 116–118. (In Russian).
6. Oreshkin D.V. Lightweight and ultralight cement mortars for construction. *Stroitel'nye materialy*. 2010. No. 6, pp. 34–37. (In Russian).
7. Lesovik V.S. The role of the law of affinity of structures in construction materials science when performing restoration works. *Nauchno-issledovatel'skij Zhurnal Prikladnyh Nauk*. 2014. Vol. 9. Iss. 12, pp. 1100–1105. (In Russian).
8. Vatin V.I. Influence of physical-technical and geometric characteristics of plaster coatings on the humidity regime of homogeneous walls made of aerated concrete blocks. *Inzhenerno-stroitel'nyj Zhurnal*. 2011. No. 1, pp. 28–33. (In Russian).
9. Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Assessment of the humidity regime of a multilayer wall structure in an annual cycle. *Stroitel'stvo unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij*. 2015. No. 6, pp. 19–33. (In Russian).
10. Isayeva Yu.V. Optimization of the structure of ultralight cement mortar, taking into account the geometric and physical-mechanical characteristics of the components. *Stroitel'nye Materialy*. 2015. No. 8, p. 84. (In Russian).
11. Frolov M.V. Structure formation of lime composites in the presence of a modifying additive. *Sovremennye Nauchnye Issledovaniya i Innovacii*. 2015. No. 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56191> (date of access: 10.11.2018). (In Russian).
12. Pushkina I.S., Zhigera K.V. Efficiency of application of amorphous aluminosilicates and calcium hydrosilicates in lime dry building mixes. *Regional'naya Arhitektura i Stroitel'stvo*. 2017. No. 4, pp. 24–28. (In Russian).
13. Loganina V.I., Petukhova N.A., Akzhigitova E.R. Development of organomineral additives for dry building mixes. *Vestnik Belgorodskogo Gosudarstvennogo Tekhnologicheskogo Universiteta im. V.G. Shuhova*. 2011. No. 3, pp. 8–12. (In Russian).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

PEREVOZCHIKOVA Sofia Valerievna – Post-graduate Student of the Department of Building Materials and Structures Production, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: ya.sonya1995@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures Production, Tver State Technical University, 22, embankment of Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Perevozchikova S.V., Belov V.V. Dry mix for restoration and restoration of buildings based on white cement and hollow glass microspheres // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2021. No. 2 (10), pp. 19–30.

УДК 712.253.011

АРХИТЕКТУРНО-ЛАНДШАФТНАЯ СРЕДА ИСТОРИЧЕСКИХ ПОСЕЛЕНИЙ: ОТ СЕМАНТИКИ К ПРАГМАТИКЕ

В.В. Федоров, М.В. Федоров

Тверской государственный технический университет (г. Тверь)

© Федоров В.В., Федоров М.В., 2021

Аннотация. С точки зрения семиотики рассмотрен потенциал развития малых исторических городов в центральной части России (на примере Тверской области). Определены природно-климатические и социокультурные особенности региона. Выделена характерная черта малых исторических поселений – наличие рек и водоемов. Проанализирована роль акваторий и береговых территорий в создании комфортной городской среды. Отмечено, что переоформление контуров береговой линии и пластическая обработка прилегающих участков открывают новые возможности для создания многофункциональной и комфортной среды. Показано, что превращение акваторий и примыкающих участков в структурные элементы будущего рекреационного каркаса обеспечивает беспрепятственное перемещение горожан и туристов вдоль берегов; организацию театрализованных действий и концертов под открытым небом; композиционное разнообразие и системный характер визуального ряда участков береговой линии.

Ключевые слова: малый исторический город, акватория, береговая линия, переустройство, прибрежные территории.

DOI: 10.46573/2658-7459-2021-30-36

Проблема взаимоотношения культуры (воспроизводства социального бытия) и ее пространственных характеристик (предметно-пространственного наполнения городской среды) – область постоянного интереса исследователей как из области гуманитарных наук, так и из области естественных. С каждым новым поколением массовая культура заново