

Анализ проникающей способности инъекционных материалов на минеральной основе

ВИКУЛИН А.М., канд. техн. наук, зам. начальника отдела строительных материалов,

ЗАО «Триада-Холдинг», Москва;

ЩУКИНА А.Б., асп., МГИ НИТУ «МИСиС», ст. инженер отдела проектирования,

ЗАО «Триада-Холдинг»; Москва

Аннотация

Проведена оценка представленных на рынке инъекционных материалов на минеральной основе по параметру проникающей способности. Даны рекомендации о возможной области применения исследованных материалов.

Ключевые слова

Микроцемент, инъектирование в конструкции, проникающая способность

Abstract

Penetrability of mineral injection products available in the market are evaluated according to GOST 33762. Based on the results recommendations on their application are given.

Keywords

Microcement; penetrability; structural injections

Оценка проникающей способности инъекционных материалов на минеральной основе производилась по методике ГОСТ 33762 [1] с использованием инъекционной колонки. В ходе эксперимента определялась проникаю-

щая способность растворов в виде суспензий, которая оценивалась по наименьшему типу-размеру ячеек сетчатого фильтра в инъекционной колонке. За критерий проникающей способности принимался объем в 20 мл и менее при прокачивании суспензии через колонку в прямом и обратном направлениях [2].

Были проведены сравнительные испытания распространенных на рынке инъекционных материалов: высокомарочных цементов, микроцементов и готовых сухих смесей на известковой основе. На примере высокомарочных цементов определялось влияние водоцементного отношения (В/Ц) на проникающую способность. При приготовлении суспензий из микроцементов и материалов на известковой основе В/Ц соблюдалось в соответствии с рекомендациями производителя. Для суспензий из микроцементов определялась максимальная проникающая способность путем изменения размера ячеек фильтра от максимальной (125 мкм) до минимальной (32 мкм) (табл. 1).

Таблица 1. Результаты определения проникающей способности инъекционно-уплотняющих составов на минеральной основе

Название материала	В/Ц	Размер ячейки фильтра, мкм	Объем прошедшего через фильтр раствора, мл	Коэффициент проницаемости*	Возможная область применения для инъектирования
ЦЕМ I 42,5Н	1,0	125	15	0,05	в трещины раскрытием более 1 мм (в сочетании с добавками)
	2,0	125	15	0,05	
ЦЕМ I 52,5Н	1,0	125	30	0,1	
	1,0	100	10	–	
Материалы на известковой основе	0,5	125	0	0	в трещины раскрытием более 4 мм
Микроцемент для инъекций в конструкции	1,0	125	175	0,58	в трещины раскрытием более 0,5 мм
	1,0	75	20	–	
Микроцемент для инъекций в грунты	3,0	125	260	0,86	Грунты и конструкции с трещинами раскрытием более 0,1 мм
	3,0	32	260	–	

* Коэффициент проницаемости: отношение объема проникшего через фильтр с ячейкой 125 мкм раствора к полному объему инъекционной колонки (300 мл)

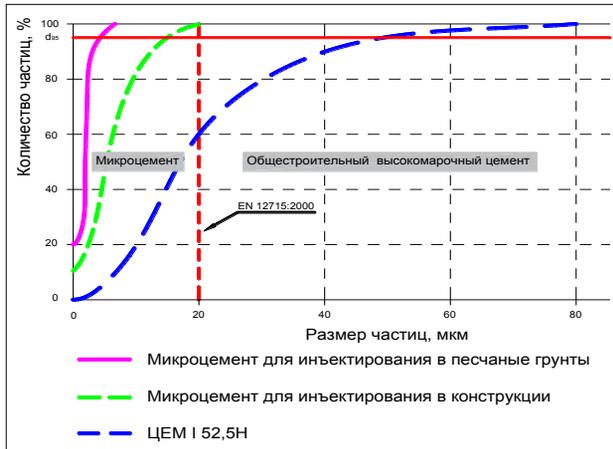


Рис. 1. Интегральный гранулометрический состав различных видов цемента (по данным производителей)

Проникающая способность обычных цементных растворов незначительно меняется в большую сторону с повышением марки цемента и ограничена в пределах 125–100 мкм. При этом на примере цемента ЦЕМ I 42,5 Н показано, что данный параметр не зависит от В/Ц; высокое содержание крупных частиц в его составе препятствует продвижению раствора в субстрате. Кроме того, следует отметить высокую седиментационную неустойчивость данных растворов: водоотделение при В/Ц = 1 составляет 40%, а при В/Ц = 2 достигает 70%. Таким образом, подобные растворы в виде суспензий с обязательным добавлением пластифицирующих и стабилизирующих добавок можно рекомендовать для инъектирования в строительные конструкции с трещинами раскрытием более 1 мм. По различным оценкам, успешное нагнетание таких растворов возможно в трещины раскрытием от 0,35–0,5 мм [3,4].

Для инъектирования в трещины меньшим раскрытием целесообразно применять составы на основе микроцементов, у которых согласно EN 12715:2000 [5] размер 95-ти% частиц (d_{95}) не превышает 20 мкм (рис. 1). Седиментационная устойчивость суспензий на основе микроцементов в несколько раз выше, чем у растворов на основе обычных высокомарочных цементов (при В/Ц = 1 водоотделение обычно не превышает 1–2%, а их проникающая способность в зависимости от вида микроцемента может подходить для трещин раскрытием

от 0,06–0,1 мм. Эти свойства микроцементные суспензии приобретают только при условии затворения их в коллоидных смесителях, где происходит полное разрушение агрегатов частиц цемента, диспергация их в воде затворения, увеличивается площадь их суммарной поверхности, повышается равномерность по времени начала гидратации во всем объеме раствора, т. е. получаются устойчивые суспензии с низким водоотделением. В обычных лопастных низкооборотных смесителях не происходит полного диспергирования частиц цемента и в результате на выходе получают суспензии, имеющие высокое водоотделение, склонные к седиментации. Поэтому применение микроцемента без использования специального смесительного оборудования является экономически нецелесообразным, а по конечному результату сопоставимо с инъекцией обычного цементного раствора.

Следует отметить, что представленные сегодня на рынке микроцементы значительно различаются по гранулометрическому составу (рис. 1) и цене.

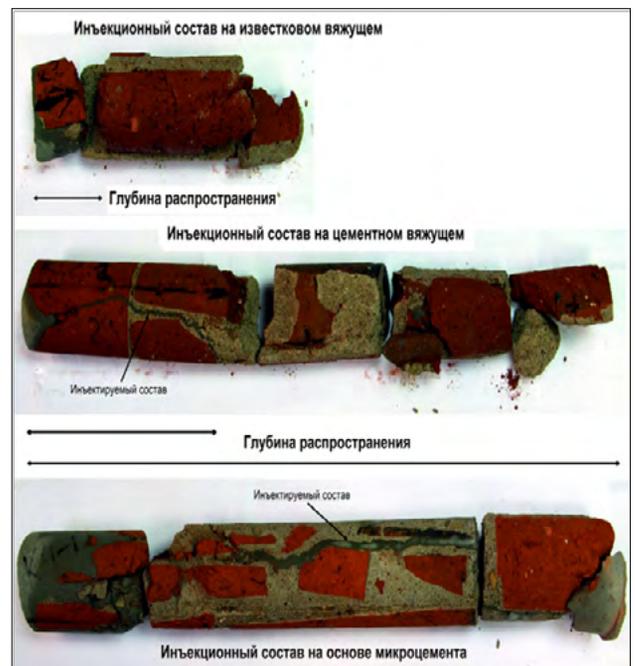


Рис. 2. Сравнение проникающей способности инъекционных материалов при нагнетании в кирпичную конструкцию

Например, для инъектирования песчаных мелкозернистых грунтов с низким коэффициентом фильтрации применяются более дорогостоящие микроцементы, размер основной массы частиц которых (d_{95}) не превышает 4–5 мкм, а высокая седиментационная устойчивость позволяет готовить растворы с В/Ц = 3 и более. Однако при их нагнетании в режиме фильтрации необходимо контролировать давление и объемы раствора. В обводненных и заиленных грунтах этот процесс не изучен и требует серьезных исследований. Такие микроцементы теоретически можно инъектировать в трещины раскрытием более 15–25 мкм. Стоимость подобных микроцементов в 25–30 раз выше стоимости обычных высокомарочных цемента.

Помимо традиционно применяемых для инъектирования бетонных конструкций материалов на цементной основе следует отметить материалы на известковой основе, используемые при реставрации и укреплении кирпичных и каменных конструкций. Эти растворы давно применяются для этих целей, но ранее они чаще всего изготавливались с индивидуальными характеристиками для конкретного объекта. Сегодня их в нашей стране выпускают промышленно.

Исследование в лабораторных условиях представленных на рынке современных инъекционно-уплотняющих составов на известковой основе показало, что часто, помимо вяжущего и микронаполнителя они содержат песок, что снижает седиментационную устойчивость раствора, не позволяет получить устойчивые суспензии, приводит к повышенной расслаиваемости даже при соблюдении рекомендуемого производителем водотвердого отношения. Размер зерен песка в смесях достигает 0,3–0,35 мм, что даже теоретически ограничивает проникающую способность раствора трещинами раскрытием 1,75–2 мм.

Испытания по ГОСТ 33762 показали, что применение подобных материалов для инъектирования трещин невозможно, т. к. они не проникают через сетчатый фильтр даже с максимальным размером ячеек (125 мкм) (табл. 1).

Исходя из практического опыта применения подобных смесей при реставрации кирпичных и каменных конструкций, можно рекомендовать их для заполнения трещин раскрытием более 4–5 мм (рис. 2) при обязательном совместном использовании пластифицирующих и стабилизирующих добавок.

Следует отметить, что представленные теоретические данные по проникающей способности различных инъекционных материалов на практике, как правило, отличаются в меньшую сторону (в 2–3 раза и более). Это различие зависит от ряда факторов, таких как насыщенность конструкций водой, температурно-влажностные условия при проведении работ, наличие инородных включений в субстрате, например, пылеватых частиц, и др.

Для уточнения и подтверждения данных о проникающей способности различных материалов, полученных в ходе лабораторных исследований, были проведены натурные испытания.

На опытном участке кирпичного здания в Москве было произведено инъектирование состава на известковом вяжущем, цементного раствора (ЦЕМ I 52,5 Н) и «обычного» микроцемента в разрушенную кладку с последующим отбором кернов и оценкой глубины их распространения (рис. 2). Инъектирование производилось после предварительного увлажнения конструкции до полного водонасыщения. Если кирпичную кладку не увлажнить, то любые растворы на минеральном вяжущем отдадут в нее воду и не заполняют трещины.

На фотографиях (рис. 2) видно, что раствор на основе микроцемента при прочих равных условиях обладает в 2–3 раза большей проникающей способностью, чем растворы на основе высокомарочного цемента и известкового

Таблица 2. Значения коэффициента заполнения трещин инъекционными растворами

Исследуемый материал	Коэффициент эффективности
Растворы на известковом вяжущем	0,05–0,15
ЦЕМ I 52,5 Н	0,25–0,37
Микроцемент	0,81–1,05

вяжущего, что подтверждает результаты лабораторных испытаний.

Для оценки эффективности испытываемых материалов перед началом выполнения работ было проведено детальное обследование кладки, включавшее ультразвуковую томографию, ультразвуковой импульсный метод, виброакустические и георадарные исследования, что позволило получить полную картину в зоне производства работ и вычислить ориентировочные объемы трещин. На основании данных обследования, а также фактического расхода растворов при производстве работ для каждого материала был выведен коэффициент эффективности, определяемый как отношение фактически израсходованного раствора к теоретическому объему пустот в кладке. Полученные значения представлены в табл. 2.

Анализ полученных данных показал, что готовые сухие смеси на известковом и известково-цементном вяжущем, предназначенные для инъекций в кирпичные и каменные конструкции, не соответствуют требованиям ГОСТ 33762 и нуждаются в доработке. Применение растворов на основе высокомарочных цемента возможно при введении специальных добавок, улучшающих их реологию и понижающих вязкость. При этом радиус распространения растворов существенно зависит от характера трещиноватости. Однако использование цементных растворов для реставрационных работ зачастую нежелательно. Инъектирование растворов на цементной и известковой основах, как правило, требует предварительного увлажнения до полного водонасыщения конструкции, что увеличивает дальнейшие эксплуатационные затраты на проветривание и обогрев здания. Данные, полученные при инъектировании микроцемента, подтвердили его высокую проникающую способность; кроме того, кладка в данном случае увлажняется только в местах инъектирования, что позволяет сократить расходы на последующую сушку конструкции.

Выводы

1. Предоставляемые производителями материалов данные о проникающей спо-

собности изготавливаемых на их основе инъекционных растворов часто являются теоретическими, а на практике они могут проникать в трещины меньшим раскрытием (в 2–3 раза), чем заявлено. Решение о применении материала следует принимать, основываясь на данных о максимальной крупности частиц, входящих в состав, результатах испытаний по ГОСТ 33762 и результатах работ на опытном участке.

2. Инъектирование трещин раскрытием 1–2 мм можно производить растворами на основе микроцементов. Для инъектирования трещин меньшим раскрытием необходимо применение пластифицирующих добавок и локальное увлажнение конструкции.

3. Инъектирование трещин раскрытием 2–4 мм возможно при совместном применении высокомарочных цементов, пластифицирующих и стабилизирующих добавок, а также увлажнении конструкции до полного водонасыщения.

4. Крупные трещины раскрытием более 4–5 мм возможно инъектировать представленными сегодня на рынке готовыми сухими смесями на известковом вяжущем при совместном использовании добавок и увлажнении конструкции.

Литература

1. ГОСТ 33762–2016. *Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин.*
2. Викулин А. М., Щукина А. Б. *Метод оценки пригодности инъекционных составов на минеральной основе для ремонта бетонных конструкций*//Транспортное строительство. – 2016. – № 12. – С. 9–12.
3. Kennedy T. B. *Pressure grouting fine fissures*//Soil mechanics and foundations division. – 1958. – Vol. 84.
4. Демьянова Э. А. *К вопросу определения минимального размера трещин, поддающихся цементации*//Тр. ВОДГЕО. – 1971. – Вып. 31.
5. EN 12715:2000 *Execution of special geotechnical work. Grouting.*

Для связи с авторами:

Андрей Михайлович Викулин, 8-906-715-49-96,
vikulin@triadaholding.ru