УДК 691.32

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕТВЕРДЕЮЩИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДИСПЕРСИЙ ДЛЯ САНАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Васильев А.А., Шангина Н.Н.

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: vasilev@agiogk.ru, nina.shangina@gmail.com

В работе представлены результаты исследований физико-механических свойств нетвердеющего состава в зависимости от выбора оптимального количества минеральных компонентов. Рассмотрено их влияние на технологические и строительно-технические свойства растворных смесей. В качестве подобных тонкодисперсных минеральных составляющих используются следующие доступные к применению материалы: метакаолин, барит, воздушная известь, бентонитовая глина и другие составляющие, определяющие реологию раствора и его защитные свойства. В работе нами проведены экспериментальные исследования свойств наполнителей с точки зрения оценки их влияния на плотность и растекаемость композиции. Показано, что введение глинопорошка в состав обеспечивает оптимальное удельное водоудержание и повышает ряд физико-механических показателей. В целом полученные данные позволяют оценить влияние компонентов на реологию раствора и его устойчивость.

Ключевые слова: глинопорошок, бентонитовая глина, нетвердеющие минеральные дисперсии, санация

PHYSICAL AND MECHANICAL BASES UNHARDENING MINERAL DISPERSIONS FOR THE REHABILITATION OF METAL ELEMENTS OF UNDERGROUND STRUCTURES

Vasilev A.A., Shangina N.N.

Petersburg State University of Railway of Emperor Alexander I, Saint-Petersburg, e-mail: vasilev@agiogk.ru, nina.shangina@gmail.com

The paper presents the results of studies of physical and mechanical properties unhardening composition depending on the choice of the optimal amount of mineral components. We consider their impact on technological, construction and technical properties of mortars. As such fine mineral constituents are available to the following application materials: meta-kaolin, barite, aerial lime, bentonite clay and other components, which determine the rheology of the solution and its protective properties. In this work we carried out experimental studies of the properties of the fillers in terms of assessing their impact on the density and flow properties of the composition. It is shown that the introduction of the clay powder provides optimum water retention and increases specific range of physical and mechanical properties. In general, the data obtained allow to evaluate the effect on the rheology of the components of the solution and its stability.

Keywords: gel powder, bentonite clay, unhardening mineral dispersion, sanitation

В настоящее время одной из наиболее актуальных задач является обеспечение сохранности подземных сооружений, предназначенных для прокладки и защиты от разрушающих воздействий окружающей среды инженерных сетей: канализационных, водоснабжения и электроснабжения. Главной причиной разрушения таких сооружений является физико-химическая и биологическая коррозия. Для предотвращения отказа требуется изолировать проложенные сети от дальнейшего воздействия агрессивной среды.

Известны различные способы решения данной проблемы. Например, санация с применением полимерного чулка. Сущность данного способа заключается в протягивании в восстанавливаемый трубопровод гибкого полимерного рукава, выполненного из мягкого материала, пропитанного тем или иным видом смолы, с последующей полимеризацией и отвердением пропиточной композиции [4]. Однако этот способ подходит только для скважин определенного строения, что ограничивает его использование.

Защиту подземной металлической конструкции можно обеспечить, используя покрытие на основе цементно-песчаных растворов. Суть метода состоит в том, что в предварительно очищенный механическим способом участок вводится разбрызгивающее устройство, которое протягивается через трубопровод при помощи лебедки. В устройство равномерно подается цементно-песчаная смесь, которая посредством вращения головки набрызгивается на стенки старого трубопровода. Это сложно и не всегда выполнимо, так как требуется предварительная механическая очистка основания.

Еще один способ заключается в том, что по внутреннему диаметру коллектора методом спиральной обмотки навивается лента

из пластика. Затем между лентой и стеной тоннеля нагнетают специальный раствор [1].

Альтернативным решением задачи является консервация с применением нетвердеющего тампонажного защитного раствора, путем заполнения им всего внутреннего пространства сооружений. Главным преимуществом применения нетвердеющих минеральных дисперсий является ремонтопригодность, возможность последовательного повторного использования дисперсий иного состава. В этом случае каждый из составов будет решать разные задачи. И, самое главное, такие составы удобно использовать для заполнения полостей ограниченного объема и сложной формы.

При разработке подобных составов следует принимать следующие аспекты:

– так как речь идет о подземных сооружениях, находящихся в условиях постоянного соприкосновения с грунтовыми водами, то следует использовать материалы с минимальным ущербом окружающей среде;

– состав должен восстанавливать изоляционные свойства сооружения, то есть кольматировать мелкие дефекты и останавливать коррозию;

– немаловажным фактором является простота приготовления раствора и возможность использования его в условиях строительной площадки.

Ключевым фактором в достижении данных технических требований является выбор и определение оптимального количества минеральных компонентов. Влияние минеральных компонентов на технологические и строительно-технические свойства растворных смесей и растворов значительны: они определяют водоудерживающую способность, водоотделение, агрегативную устойчивость и плотность [3]. Сырьевая база минерального составляющего достаточно обширна: доломитовая и мраморная мука, метакаолин, глина, барит и т.д. Однако применение тех или иных компонентов обусловлено в первую очередь способностью удерживать воду в объеме растворной смеси, а также обеспечение её связности.

Способность минерального составляющего удерживать воду зависит от влагоемкости, гигроскопичности и смачиваемости породы. Адсорбционная способность пород возрастает при наличии в них растворимых солей, глинистых минералов, а также с увеличением удельной поверхности твердой фазы. Наблюдается увеличение адсорбционной способности с уменьшением размеров частиц рыхлой породы и увеличением их угловатости [2].

Первым из рассматриваемых нами компонентов является доломитовая мука. Доломит – минерал из класса карбонатов химического состава $CaCO_3 \times MgCO_3$. Структура доломита твердая и плотная, внешний вид кристаллов минерала отражен на рис. 1.

Рис. 1. Структура доломита

Вторым рассматриваемым материалом является микрокальцит – мрамор молотый или микромрамор. Благодаря химическому строению и своим физическим свойствам, молотый мрамор обладает следующими качествами, которые существенно отличают его от молотых мела, известняка и других тонкодисперсных карбонатных наполнителей. К этим свойствам можно отнести:

– способность к быстрому измельчению;

– низкое содержание водорастворимых солей;

– устойчивость к влиянию кислых сред и атмосферных воздействий;

– радиационная безопасность.

Еще одним из исследуемых веществ является метакаолин – продукт низкотемпературного обжига каолина. Метакаолин имеет аморфную структуру каолина, с сохранением пластинчатой формы частиц. В процессе термообработки кристаллическая

структура каолина преобразуется в аморфный метакаолин. Процесс дегидратации приводит к уменьшению удельного веса каолина до 2,6 г/см^3. Метакаолин отличается от других минеральных веществ своей высокой удельной поверхностью (более 15 000 см^2/г). Данная особенность является существенным преимуществом с точки зрения получения высокоподвижных составов на основе применения поверхностно-активных веществ (ПАВ). Повышенное количество микронных и субмикронных фракций в матричной фазе смеси, являющихся подложкой для сорбции макромолекул ПАВ, ощутимо повышает эффективность пластифицирующих добавок. Внешний вид структуры метакаолина отражен на рис. 2.

Принципиально иным минералом является баритовый концентрат, относящийся к классу инертных материалов, он безвреден для человеческого организма и окружающей среды. Отличительной чертой барита является его высокая плотность, которая составляет 4,1–4,3 г/см^3. По химическому составу барит представляет собой природный сульфат бария ($BaSO_4$). Барит химически инертен, практически нерастворим в воде, плохо растворяется (даже при нагревании) в соляной кислоте, незначительно (10–12 %) в концентрированной серной кислоте. Предполагается, что присутствие в составе барита позволит регулировать плотность раствора.

Однако все перечисленные выше минералы не обеспечивают такого водоудержания, как бентонитовый глинопорошок. Уникальность этого вещества заключается в его слоистом строении, обеспечивающем удержание воды, а также многообразие составов и свойств. Слоистая структура отражена на рис. 3, сделанному при помощи электронного микроскопа Vega 3.

В работе использовался бентонитовый глинопорошок, полученный на основе высококоллоидальных глин. Глинопорошок на 70 % состоит из смектитовых минералов: монтмориллонит, нонтронит, бейделлит, гидрослюда, каолинит, карбонат, кварц. Данный материал имеет слоистую структуру, и влага, попадая в нее, позволяет материалу разбухать в несколько раз и имеет способность обволакивать другие минералы. На рис. 4 при помощи электронного микроскопа Vega 3 показано, как кристалл призматической формы барита обволакиваются чешуйчатыми частицами бентонита.

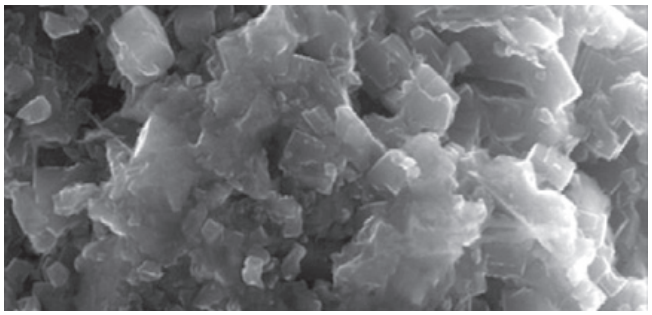

Рис. 2. Структура метакаолина

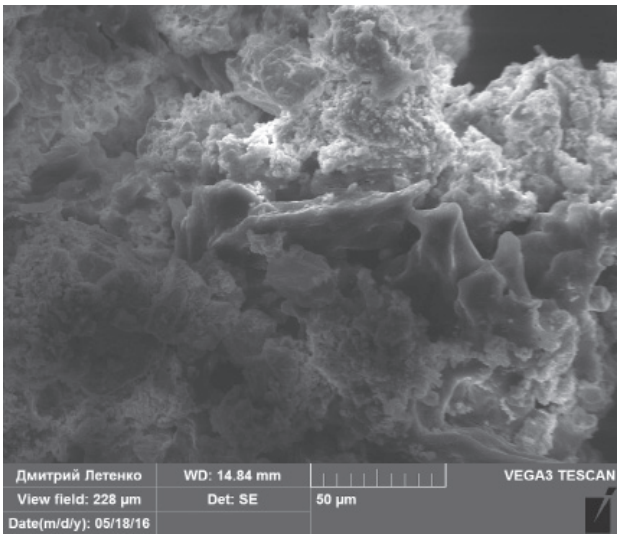

Рис. 3. Слоистая структура бентонитового глинопорошка

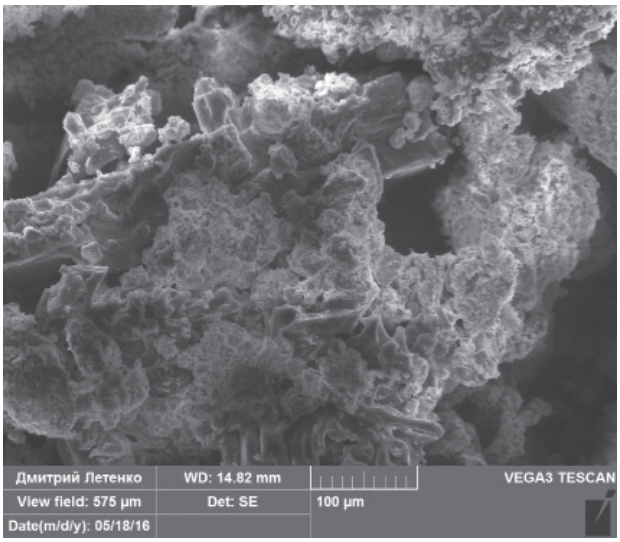

Рис. 4. Призматический кристалл барита

Помимо указанных компонентов, бентонит имеет и другие компоненты в составе: натрий, магний, кальций, окись железа и другие.

Свойства бентонитовой суспензии можно характеризовать следующими физико-химическими характеристиками: набухаемость, дисперсность, адсорбция, способность образовывать коллоидную структуру. Также можно выделить другие плюсы бентонитовой глины: способность выдерживать множество циклов замораживания и размораживания, способность не изменять своих свойств в процессе эксплуатации, гидроизолирующие свойства, сравнительно простой процесс изготовления раствора и монтажа изделий из бентонита и долговечность.

Глины бентонитовые применяются как гидроизоляционный материал (набухающие бентониты) в гидротехническом строительстве для укрепления земляных и бетонных дамб, ирригационных каналов, водохранилищ, в подземных сооружениях (метро, шахтах, туннелях) для закупорки зазоров между тюбингами, в холодноводных строительных красках (кальциевые бентониты). Глины бентонитовые используются как адсорбирующие красящие пигменты, образующие устойчивые суспензии, а также применяются в виде добавок или самостоятельно в качестве клеевых средств [5].

В работе нами проведены экспериментальные исследования свойств наполнителей с точки зрения оценки их влияния на плотность и растекаемость композиции. Установлено, что наиболее существенный водоудерживающий эффект дает глина. Это подтверждается экспериментальными данными, представленными в таблице.

Сравнительные свойства исследуемых минеральных веществ указаны в таблице.

Характеристики	Доломит	Микрокальцит	Метакаолин	Баритовый концентрат	Бентонитовый глинопорошок
Прочность минерала, МПа	46	82,3	–	–	–
Плотность минерала, г/см^3	2,8	2,71	–	4,2	2,7
Насыпная плотность кг/м^3	740	1300	304/447	2700	1170
Водопоглощение, %	0,12–0,15	0,13	–	–	400–600
pH	8–9	8–9	6	6–8	9–10
Удельная поверхность, м^2/г	1,5	2,1	15	–	450–900
Водоудержание удельное, R, %	35	30	35	27	более 226

Из полученных нами экспериментальных данных следует, что водоудержание удельное (%) у бентонитового глинопорошка на порядок выше, чем у других исследуемых минеральных компонентов. Однако устойчивость сложной органо-минеральной системы должна быть обеспечена на протяжении всего времени эксплуатации подземных сооружений. Поэтому задачей следующего этапа является разработка методов регулирования свойств поверхности глинопорошка, для чего планируется сравнение различных как физических, так и химических методов. Также будет необходимо определить, как меняется с течением времени удельное водоудержание.

Список литературы

1. Подземный эксперт: информационный портал [Электронный ресурс]. – http://www.undergroundexpert.info/tehnologii/item/1541-remont-kanalizatsionnyj-kollektor-s-pomoshyu-tekhnologii-kankosei. – (дата обращения: 15.12.2015).

2. Петрология осадочных пород / Дж. Гринсмит. – М.: Мир, 1981.

3. Рецептурный справочник по сухим строительным смесям / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля, И.Н. Медведева, Г.А. Богоявленская, Н.И. Нуждина. – СПб.: РИА «РИА «Квинтет», 2010. – 318 с.

4. Трубопровод.рф – информационный портал [Электронный ресурс]. – http:// трубопровод.рф/статьи/все/2014/1/17/ . – (дата обращения: 17.12.2015).

5. Энциклопедия современной техники. Строительство / ред. В.А. Кучеренко. – М.: Советская Энциклопедия, 1964.

References

1. Podzemnyj jekspert: informacionnyj portal [Jelektronnyj resurs]. http://www.undergroundexpert.info/tehnologii/item/1541-remont-kanalizatsionnyj-kollektor-s-pomoshyu-tekhnologii-kankosei. (data obrashhenija: 15.12.2015).

2. Petrologija osadochnyh porod / Dzh. Grinsmit. M.: Mir, 1981.

3. Recepturnyj spravochnik po suhim stroitelnym smesjam / V.I. Korneev, P.V. Zozulja, I.N. Medvedeva, G.A. Bogojavlenskaja, N.I. Nuzhdina. SPb.: RIA «RIA «Kvintet», 2010. 318 p.

4. Truboprovod.rf informacionnyj portal [Jelektronnyj resurs]. http:// truboprovod.rf/stati/vse/2014/1/17/ . (data obrashhenija: 17.12.2015).

5. Jenciklopedija sovremennoj tehniki. Stroitelstvo / red. V.A. Kucherenko. M.: Sovetskaja Jenciklopedija, 1964.