

Кузьменков Михаил Иванович, д-р техн. наук, профессор, учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск (Беларусь)

Булай Татьяна Вячеславовна, старший преподаватель, учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы», г. Гродно (Беларусь)

Mihail Kuzmenkov, DSc in Engineering Science, professor, Belarusian state technological university, Minsk (Belarus)

Tatsiana Bulai, senior lecturer, Grodno state university in the name of Yanka Kupala, Grodno (Belarus)

ПОЛУЧЕНИЕ СЕРНОГО БЕТОНА И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО СВОЙСТВ

OBTAINING SULFUR CONCRETE AND THE STUDY OF ITS PROPERTIES

АННОТАЦИЯ

В статье кратко охарактеризована история применения серы в качестве вяжущего материала, описывается значимость серы как химического элемента, широко применяющегося в различных отраслях народного хозяйства. В работе описывается технологический процесс получения исследуемого материала, изложены результаты исследования, посвященного использованию серы в качестве вяжущего материала при изготовлении серного бетона. В данной статье авторами отмечены наиболее рациональные области применения серного бетона. Авторами представлены основные направления по использованию серы природной и восстановленной. К ним относятся: получение монолитного серного бетона, введение ультрадисперсной серы в состав цементных бетонов, получение на основании серного вяжущего композиционных материалов для защиты строительных

конструкций от коррозии. Приведены экспериментальные данные по исследованию различных составов бетона на природной сере и на серном шламе, образующемся на предприятии ОАО «Гродно Азот», и обоснование наилучшей гранулометрии песка. Авторами приведены зависимости прочности серного бетона с применением природной серы от количества песка с варьируемой максимальной крупностью зерен и с добавлением в состав наполнителя гранитных отсеков, а также зависимости прочности серного бетона на серном шламе от количества песка и влияние гранулометрического состава песка на прочность серного бетона на серном шламе. Особое внимание авторами в данной работе уделено рассмотрению областям применения серы, а также зависимости свойств серного бетона от его структуры. В статье приведен перечень материалов, которые могут быть использованы для приготовления серного бетона.

ABSTRACT

The article summarizes the history of the use of sulfur as a binder material, describes the importance of sulfur as a chemical element widely used in various sectors of the economy. The paper describes the process of obtaining test material, the results of a study on the use of sulfur as a binder material in the manufacture of sulfur concrete. In this article, the authors noted the most rational application of sulfur concrete. The authors present guidelines for use of sulfur in natural and restored. These include: obtaining a monolithic sulfur concrete, the introduction of ultra-fine sulfur in the composition of cement concrete, obtaining on the basis of sulfur binder composite materials to protect building structures from corrosion. Experimental data on the study of various compositions of concrete, natural sulphur and sulphur sludge generated at the plant JSC "Grodno Azot" and justification of the best granulometry of the sand. The authors describe the dependence of the strength of sulphur concrete with the use of natural sulfur from the quantity of sand with varying maximum particle size grains and with the addition of the filler of granite screenings, as well as the dependence of the strength of sulphur concrete sulphur sludge from the amount of sand and the influence of the granulometric composition of the sand on the durability of sulphur concrete sulphur sludge. Special

attention in this work is given to the applications of sulfur, and the dependence of properties of sulphur concrete from its structure. The article presents a list of materials that can be used for making sulphur concrete.

Ключевые слова: серный бетон, отходы, композиционный материал, кристаллизация, плавление.

Keywords: sulfuric concrete, waste materials, composite materials, crystallization, fusing.

ВВЕДЕНИЕ

Сера – один из самых распространенных элементов на Земле и составляет 0,05% массы земной коры. Сера и ее соединения встречаются во всех агрегатных состояниях вещества (твердом, жидком и газообразном). Она способна соединяться практически со всеми химическими элементами. Сера присутствует во всех живых организмах, являясь важным биогенным элементом. Помимо ее биогенного значения, сера необходима человечеству и как химический элемент, широко применяющийся в различных отраслях народного хозяйства.

Использование серы в качестве вяжущего известно давно. Первоначально она применялась для крепления анкерных болтов в бетонных полах, а также уплотнения трубных соединений. В странах с большими запасами (США, Канада, Мексика и др.) серу широко использовали и продолжают использовать в химической промышленности для получения серной кислоты, а начиная с 20-х годов прошлого столетия стали применять природную, а позднее восстановленную из природного газа и нефти серу в строительной индустрии и производстве стройматериалов [1, 2].

Интерес к этому минеральному вяжущему не только не пропал, но продолжает расти в настоящее время, причем для него ищутся все новые области применения. На основании литературных и патентных данных по вопросу использования серы природной или восстановленной наметились три основных направления:

- получение монолитного серного бетона;

- введение ультрадисперсной серы в состав цементных бетонов;
- получение на основании серного вяжущего композиционных материалов для защиты строительных конструкций от коррозии.

Наиболее перспективным из числа перечисленных является серный бетон, который представляет собой композиционный материал, состоящий из серного вяжущего, заполнителей и наполнителей. Для приготовления серного бетона могут быть использованы техническая сера, некондиционная сера, серосодержащие отходы, в качестве инертных заполнителей и наполнителей – плотные горные породы, искусственные и природные пористые материалы, отходы производства (шлаки, золы), что в бетонах на обычном цементе невозможно.

Вопрос использования серы в строительстве особенно актуальным стал в связи с бурным развитием нефтехимической отрасли, где сера является отходом производства, и ее нужно как-то утилизировать. В настоящее время серный шлам выбрасывается отвалы. Только на ОАО «Гродно Азот» за 2016 год годовое количество его составило около 268 тысяч тонн. В состав шлама входит 71–73% серы, 0,1–0,2% битума, 15–17% опоки, 1–3% полевого шпата и 11–15% каолина.

Свойства серного бетона определяются прежде всего его внутренней структурой. Гомогенная структура серы обеспечивает плотное расположение ее молекул относительно друг друга. Присутствие наполнителя приводит к тому, что молекулы серы «скрепляют» молекулы наполнителя и заполняют внутренние пространства получаемого вещества таким образом, что пористость становится почти нулевой. Низкая пористость серного бетона во многом расширила сферы его применения. Это касается использования серного бетона как основного материала для хранилищ отходов, коллекторов сточных вод, свай, труб, канализационных лотков, различных сборных конструкций, словом, всех подземных инженерных коммуникаций, а также морских сооружений и плотин [3], [4].

Изготовление экспериментальных образцов серного бетона включало исходную шихту, состоящую из гранулированного

серного шлама ОАО «Гродно Азот», наполнитель и последующее нагревание ее при непрерывном помешивании до температуры 140–150 С с целью получения однородной легкоподвижной массы за счет плавления серы, входящей в состав шлама. Полученной таким образом бетонной смесью заполняют формы, находящиеся на вибростоле, и в результате вибрации происходило ее уплотнение. После окончания формовки она в течение пяти минут схватывается за счет кристаллизации расплавленной серы, что обеспечивало набор практически полностью марочной прочности [5].

Первый этап исследований заключался в подборе состава и изучении свойств серного бетона с применением природной серы. В качестве наполнителя серного бетона использовался строительный песок с максимальной крупностью зерен наполнителя 2,5 мм, 1,25 мм, 0,63 мм и гранитные отсеvy РУПП «Гранит». Соотношение между серой и наполнителем (песком) варьировалось в широких пределах в зависимости от требуемой прочности бетона.

Таблица 1

Зависимость прочности серного бетона от количества песка с максимальной крупностью зерен 2,5 мм

№ образца	Содержание песка в бетоне, %	Прочность, МПа		Плотность бетона, г/см ³
		на сжатие	на изгиб	
1	50	47,7	6,1	2,28
2	60	46,1	5,5	2,23
3	70	42,1	4,1	2,19

Таблица 2

Зависимость прочности серного бетона от количества песка с максимальной крупностью зерен 1,25 мм

№ образца	Содержание песка в бетоне, %	Прочность, МПа		Плотность бетона, г/см ³
		на сжатие	на изгиб	
1	50	41,0	5,6	2,29
2	60	46,9	7,2	2,34
3	70	53,0	8,7	2,17

Таблица 3

**Зависимость прочности серного бетона от количества песка
с максимальной крупностью зерен 0,63 мм**

№ образца	Содержание песка и гранитных отсеков в бетоне, %	Прочность, МПа		Плотность бетона, г/см ³
		на сжатие	на изгиб	
1	50:50	45,3	0,90	2,21
2	60:40	43,7	0,86	2,19
3	70:30	46,1	0,82	2,17

Серный бетон обладает уникальным свойством – быстрый набор прочности. Как видно из приведенных результатов, предел прочности достигает 53 МПа уже через сутки после формования.

В таблице 4 приведены результаты испытания образцов, в составе которых часть песка заменялась гранитными отсеками максимальной крупностью 2,5 мм. Содержание наполнителей (по массе) по отношению к количеству серы в процентном соотношении было следующим:

1. 50% наполнителя (50% песка : 50% гранитных отсеков) : 50% серы.
2. 60% наполнителя (60% песка : 40% гранитных отсеков) : 40% серы.
3. 70% наполнителя (70% песка : 30% гранитных отсеков) : 30% серы.

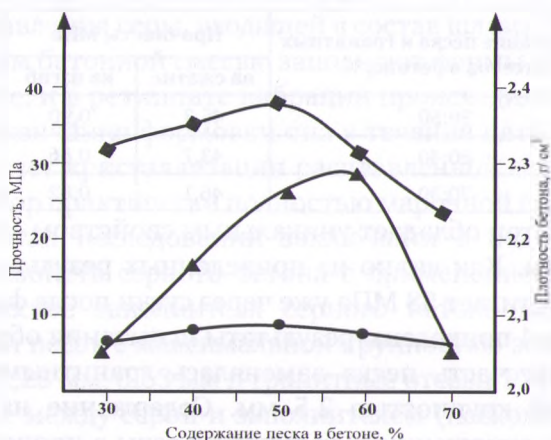
Таблица 4

**Зависимость прочности серного бетона от количества песка
и гранитных отсеков с максимальной крупностью зерен 2,5 мм**

№ образца	Содержание песка и гранитных отсеков в бетоне, %	Прочность, МПа		Плотность бетона, г/см ³
		на сжатие	на изгиб	
1	50:50	40,9	1,41	2,17
2	60:40	50,4	1,44	2,23
3	70:30	42,0	0,87	2,12

Следующим этапом исследований являлась замена природной серы серным шламом – отходом, который образуется на предприятии ОАО «Гродноазот» при производстве серной кислоты на

стадии фильтрации расплавленной серы. Результаты исследований представлены на рисунке 1 и в таблице 5.



◆ – прочность на сжатие; ● – прочность на изгиб; ▲ – плотность

Рисунок 1. Влияние количества песка на прочность и плотность бетона

Как видно из рисунка, оптимальным по прочности является состав, содержащий 50% песка. При введении 70% песка образцы обладают меньшей прочностью, кроме того, бетонная масса имеет худшую пластичность и удобоукладываемость, поэтому дальнейшие исследования велись на оптимальном составе.

Таблица 5

Влияние гранулометрического состава песка на прочность серного бетона

№ образца	Размер частиц песка, мм	Прочность, МПа		Плотность бетона, г/см³
		на сжатие	на изгиб	
1	1,25	22,0	6,0	2,18
2	0,63	30,0	8,0	2,23
3	0,315	37,0	9,5	2,28
4	0,14	41,0	10,8	2,30
5	<0,14	45,0	11,4	2,34

Результаты, приведенные в таблице 5, свидетельствуют о том, что по сравнению с образцом с оптимальным содержанием не классифицированного песка (рисунок 1) за счет уменьшения размера частиц песка прочность бетона может быть повышена с 38 до 45 МПа.

В дальнейшем будут исследованы другие строительно-технические и химические свойства серного бетона, содержащего 50% шлама и 50% неклассифицированного песка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование серы и возможность замены природных заполнителей техногенными отходами промышленности позволит получить недорогие высокоэффективные бетоны и изделия, которые во многих случаях не будут уступать бетонам на основе портландцементного вяжущего и найдут достаточно широкое применение не только в строительной практике, но и во многих других отраслях промышленности. Высокие прочностные и химические свойства полученного серного бетона позволяют рекомендовать его для изготовления некоторых видов технологического оборудования (сгустители, шламбассейны), плит и блоков для устройства емкостей, предназначенных для хранения агрессивных жидкостей, бетонирования полов и площадок, подверженных воздействию кислот и солей, в том числе минеральных и органических удобрений, тротуарных плит, упорных лент тротуаров и др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Burgess R. A., Deme L. Sulfurin Asphalt Paving Mixes. *New Uses of Sulfur, Advances in Chemistry. Series.* 1975. No. 140. American Chemical Society, Washington, D.C., X, 236. p. 111.
2. Кузьменков, М. И. Серный бетон из отходов / М. И. Кузьменков // Строительство и архитектура. – 1991. – № 4. – С. 16–18.
3. Хоржевский, В. И. Свойства и технология серного бетона на основе серосодержащих отходов промышленного производства. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к. т. н.

Одес. гос. академия строительства и архитектуры. Одесса, 1995. – С. 23.

4. Орловский, Ю. И. Технология изготовления и свойства серного бетона / Ю. И. Орловский // Изд-во вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 12. – С. 51–53.
5. Гматейко, В. В. Использование серы и серосодержащих отходов в дорожном строительстве / В. В. Гматейко, В. А. Золотарев // Обзорная информация. – М., 1990. – С. 62.

REFERENCES

1. Burgess R. A., Deme L. Sulfurin Asphalt Paving Mixes. *New Uses of Sulfur, Advances in Chemistry. Series.* 1975. No. 140. American Chemical Society, Washington, D.C., X, 236. p. 111.
2. Kuzmenkov M. I. *Building and Architecture.* 1991. No. 4. pp. 16–18.
3. Horzevski V.E. *Svoystva I tekhnologiya sernogo betona na osnove serosoderzhaschikh otkhodov promyshlennogo proizvodstva* [Properties and technology of sulfuric concrete on a basis sulfur-containing an industrial production waste]. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of Cand.Tech.Sci. The Odessa state academy of construction and architecture. Odessa. 1995. p. 23.
4. Orlovski Yu. *Publishing house of high schools. Building and architecture.* 1986. No. 12. pp. 51–53.
5. Gmateiko V. V., Zolotarev V. A. *The survey information.* Moscow, 1990. p.62.

Статья поступила в редколлегию 08.12.2017.