

Влияние тонкомолотого наполнителя на свойства шлакощелочного вяжущего на основе доменного шлака

И. И. Романенко, И.Н. Петровнина, М.И. Шереметьева, Д.М. Лобашина

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза

Аннотация: Целью этого исследования было определить влияние тонкомолотого наполнителя на свойства шлакощелочного вяжущего на основе доменного шлака. В качестве активатора твердения применяли водный раствор силиката натрия и каустической соды (водный раствор NaOH) при щелочном модуле (массовом соотношении $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$), равном 1,0 и 0,5. Результаты показали, что введение в вяжущее золы уноса Рефтинской ГРЭС, взамен молотого доменного граншлака вызывает увеличение время начального схватывания, но не влияет на время конца схватывания. Образование трещин при твердении в смесях, содержащих золу уноса, не обнаружено при условии, что в качестве активатора твердения использовали комплексный на основе силиката натрия и водного раствора NaOH. Введение в раствор силиката натрия щелочи способствует снижению силикатного модуля (массовом соотношении $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) и снижению образованию микротрещин усадочного характера за счет формирования однородной структуры и образования за счет золы уноса и образования гидроалюмосиликата натрия (Н-А-S-N).

Ключевые слова: цементная паста, молотый граншлак, зола уноса, активатор твердения, сроки схватывания, усадка, микротрещины.

Шлакощелочное вяжущее на основе доменных шлаков изучалось с начала 50-х годов 20 столетия. В СССР выделяются исследователи под руководством д.т.н., профессора Глуховского В.Д. [1] Свойства бетонов, изготовленных с использованием шлакощелочного вяжущего, определяются типом щелочного активатора, количеством и концентрации водного раствора, температурой отверждения [2, 3].

Вяжущее приготовленное на основе побочных продуктов промышленного производства модернизировалось с целью улучшения эксплуатационных свойств портландцементом, гипсом, известью, глиной, метаксаолином и различными побочными продуктами химической промышленности [4-6].

Химическим активатором твердения молотого доменного шлака выступают водные растворы: каустической соды, содосульфатного плава,

поташа, гидросиликатов натрия и калия, а также различные комбинации щелочных растворимых гидроксидов, силикатов или карбонатов щелочных металлов [7-9].

Полученные структуры при твердении шлакощелочного вяжущего C-(N)-A-S-H аналогичны структурам C-S-H образующейся в системе на основе портландцемента, но с более низким содержанием кальция [10,11].

В случае применения композиционного шлакощелочного вяжущего (КШЩВ) с введением золы уноса (дозировка до 5 % от массы шлака) наблюдается сокращения времени начального схватывания и при дозировке силиката натрия в количестве 15-25 % от композиционного вяжущего, но это приводит к ухудшению удобоукладываемости, из-за потери подвижности. Повышенное количество золы уноса в КШЩВ в количестве 40-60% от массы шлака замедляло начальные сроки схватывание и снижало прочность при сжатии на всем отрезке наблюдения процесса твердения (до 90 суток), а также образование микротрещин [12].

Регулирование технологических свойств КШЩВ за счет введения суперпластификатора на основе нафталинсульфоокислоты не повлияло на сроки схватывания, в то время как суперпластификатор на основе поликарбоксилата ускорил схватывание [13-15].

Исследование посвящено изучению влияния содержания золы уноса и дозировки щелочного активатора в КШЩВ на свойства шлакощелочных паст.

Материалы и методики исследований

Использовали в исследованиях молотый доменный граншлак (удельная поверхность 2800 см²/г) металлургического комбината ПАО «Северсталь» и летучую золу Рефтинской ГРЭС (удельная поверхность 4500 см²/г) в соотношении (шлак:зола) 100 : 00, 80 : 20, 60 : 40. Химический состав исходных материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав золы-унос и молотого доменного граншлака

Наименование	оксиды								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MgO
Зола-унос (Рефтинская ГРЭС)	69,12	21,16	3,91	2,1	1,03	0,63	0,58	0,5	0,48
Молотый граншлак (ПАО «Северсталь»)	37,28	10,29	0,13	37,41	0,21	0,53	0,672	0,02	12,3

В качестве химических активаторов применяли: силикат натрия плотностью 1,49 г/см³, щелочь NaOH. Дозировка щелочного компонента составляла 10 - 15% от массы сухого вяжущего. В качестве воды затворения применяли питьевую водопроводную воду.

Для фиксации сроков схватывания использовали прибор Вика и секундомер электронный. Все испытания соответствовали ГОСТ 310.3-76 Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

Результаты испытаний, обсуждение

Составы испытываемых паст КШЩВ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Составы паст КШЩВ

Индекс смеси КШЩВ	Соотношение (шлак: зола уноса)	Водо /вяжущее отношение	Дозировка активатора твердения, % от массы КШЩВ	Вид активатора: силикат натрия/щелочь
1	2	3	4	5
10	100:00	0,35	10	Силикат натрия
11	80:20		10	Силикат натрия
12	60:40		10	Силикат натрия
20	100:00	0,35	10	50/50

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
21	80:20		10	50/50
22	60:40		10	50/50
30	100:00		10	75/25
31	80:20	0,35	10	75/25
32	60:40		10	75/25
40	100:00		15	Силикат натрия
41	80:20	0,35	15	Силикат натрия
42	60:40		15	Силикат натрия
50	100:00		15	50/50
51	80:20	0,35	15	50/50
52	60:40		15	50/50
60	100:00		15	75/25
61	80:20	0,35	15	75/25
62	60:40		15	75/25

Щелочные активаторы твердения КШЩВ приготавливались за 1 час до приготовления паст для исследования сроков схватывания КШЩВ. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сроки схватывания композиционного шлакощелочного вяжущего

Индекс смеси КШЩВ	Соотношение (шлак: зола уноса)	Дозировка активатора твердения, % от массы КШЩВ	Вид активатора: силикат натрия/щелочь	Время начала схватывания, мин-сек	Время конца схватывания, мин-сек
1	2	3	4	5	6
10	100:00	10	Силикат натрия	8-00	25-19
11	80:20	10	Силикат натрия	8-30	27-45
12	60:40	10	Силикат натрия	25-12	30-11
20	100:00	10	50/50	18-06	181-45
21	80:20	10	50/50	20-25	188-12
22	60:40	10	50/50	28-43	190-00
30	100:00	10	75/25	13-41	147-15

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6
31	80:20	10	75/25	19-36	160-36
32	60:40	10	75/25	26-02	197-23
40	100:00	15	Силикат натрия	8-16	23-25
41	80:20	15	Силикат натрия	8-10	26-18
42	60:40	15	Силикат натрия	9-24	35-55
50	100:00	15	50/50	15-14	145-37
51	80:20	15	50/50	18-36	150-25
52	60:40	15	50/50	24-08	181-07
60	100:00	15	75/25	11-37	134-29
61	80:20	15	75/25	17-41	149-33
62	60:40	15	75/25	21-00	168-41

Дозировка щелочного активатора твердения в составах № 10,11,12,20,21,22,30,31 составляло 10 % (в пересчёте на твёрдое вещество) от общего количества, вяжущего. Замена шлака золой уноса до 40 % существенно не повлияла на начальное и конечное время схватывания. Начальное время схватывания ранее 45 мин. Существенно затрудняет технологические процессы при формировании железобетонных и бетонных изделий. Введение в составы золы уноса в количестве 40% от массы вяжущего позволило увеличить начальные сроки схватывания до 60 - 100% относительно без добавочного шлакощелочного вяжущего. Зависимости между соотношением силиката натрия и щелочью, и временем схватывания не было установлено, но снижение дозировки щелочи до 0,5 привело к уменьшению времени начального схватывания. Время начального и конечного схватывания не сильно коррелировалось во всех исследуемых составах.

Выводы

1. Введение золы уноса в композиционное вяжущее на основе молотого доменного граншлака не существенно повлияло на сроки схватывания шлакощелочных паст.

2. Увеличение дозировки золы уноса немного замедлило начальное время схватывания, но практически не повлияло на конечное время схватывания, в тоже время задержка между начальным и конечным временем схватывания, меньше чем нормируется для портландцемента.

3. Необходимо разработать химическую добавку, возможности регулирования технологическими свойствами твердеющих бетонов на основе КШЩВ без существенного изменения физико-механических свойств.

Литература

1. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будівельник, 1978. 184 с.
 2. Глуховский В. Д. Шлакощелочные бетоны. Киев: Будівельник, 1989. 97 с.
 3. Романенко И.И., Петровнина И.Н. Кинетика набора прочности бетонов на композиционном вяжущем, наполненном молотым доменным граншлаком // Инженерный вестник Дона, 2023. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8828.
 4. Ашрабова М.А. Шлакощелочные бетоны высокой прочности для водохозяйственного строительства // Техника. Технологии. Инженерия, 2018. №3(9). С. 23-25.
 5. Chang J. Study on the setting characteristics of sodium silicate activated slag pastes // Cement Concrete, 2003. №3. pp. 1005-1011.
 6. Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. Drying shrinkage of slag and fly ash based geopolymer concrete cured at room temperature // Procedia Engineering, 2015. pp. 594–600.
-

7. Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. The effects of ground granulated blast-furnace slag blending with fly ash and activator content on the workability and strength properties of geopolymer concrete cured at ambient temperature // *Materials and Design*, 2014. pp. 32-39.

8. Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Composition and microstructure of alkali-activated fly ash binder: effect of activator // *Cement Concrete*, 2005. pp. 1984–1992.

9. Humad A.M., Provis J.L., Zwierzen A. Alkali activation of high-strength magnesium oxide concrete-properties of fresh and hardened concrete // *Magazine of Concrete Research*, 2018. №70. pp. 1–24.

10. Chan J., Li N., Li H. Properties of fresh and hardened alkali-activated fly ash/slag pastes with superplasticizers // *Construction and Building Materials*, 2014. №50, pp. 169-176.

11. Li N., Jiang J., Li H. Early-age shrinkage characteristics of alkali-activated fly ash/slag binder and mortar // *Cement and Concrete Composites*, 2014. №53, pp. 239-248.

12. Marjanovic N., Komljenovic M., Basarevic Z., Nikolic V., Petrovic R. Physicomechanical and microstructural properties of alkali-activated fly ash/blast furnace slag mixtures. *Ceramics International*, 2015. №48(9), 2015. pp. 1421-1435.

13. Shi K., Roy D., Krivenko P. *Alkali-activated cements and concretes*. NY: CRC Press, Taylor & Francis, 2006. 392 p.

14. Романенко И.И., Романенко М.И., Петровнина И.Н., Фадин А.И., Горохова А.А Пробуждение гидравлической активности граншлаков химическими веществами // *Инженерный вестник Дона*, 2020. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7988.

15. Романенко И.И., Фадин А.И., Петровнина И.Н., Романенко М.И. Влияние модификаторов структуры шлакощелочного вяжущего на

трещинообразование // Инженерный вестник Дона, 2021. № 7. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7076

References

1. Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnyye tsementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]. Kiyev: Budivel'nik, 1978. 184 p.
2. Glukhovskiy V. D. Shlakoshchelochnyye betony [Slag-alkali concretes]. Kiyev: Budivel'nik, 1989. 97 p.
3. Romanenko I.I., Petrovnina I.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2023/8828.
4. Ashrabova M.A. Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya, 2018. №3(9). pp. 23-25.
5. Chang J. Cement Concrete, 2003. №3. pp. 1005-1011.
6. Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. Procedia Engineering, 2015. pp. 594–600.
7. Deb P.S., Nath P., Sarker P.K. Materials and Design, 2014. pp. 32-39.
8. Fernandez-Jimenez A., Palomo A. Cement Concrete, 2005. pp. 1984–1992.
9. Humad A.M., Provis J.L., Zwierzen A. Magazine of Concrete Research, 2018. №70. pp. 1–24.
10. Chan J., Li N., Li H. Construction and Building Materials, 2014. №50, pp. 169-176.
11. Li N., Jiang J., Li H. Cement and Concrete Composites, 2014. №53, pp. 239-248.
12. Marjanovic N., Komljenovic M., Basarevic Z., Nikolic V., Petrovic R. Ceramics International, 2015. №48(9), 2015. pp. 1421-1435.
13. Shi K., Roy D., Krivenko P. Alkali-activated cements and concretes. NY: CRC Press, Taylor & Francis, 2006. 392 p.



14. Romanenko I.I., Romanenko M.I., Petrovnina I.N., Fadin A.I., Gorokhova A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7988.

15. Romanenko I.I., Fadin A.I., Petrovnina I.N., Romanenko M.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7076.

Дата поступления: 20.12.2024

Дата публикации: 27.01.2025