

УДК 691.335

Тип статьи: научная статья

ГРНТИ 67.09.31

Научная специальность ВАК: 2.1.05 Строительные материалы и изделия (технические науки)

EDN rpongb

DOI 10.62980/2076-0655-2024-345-353

РАСШИРЕНИЕ ЗАТВЕРДЕВШЕЙ ЦЕМЕНТНОЙ ПАСТЫ В КОМПОЗИЦИОННОЙ ВЯЖУЩЕЙ СИСТЕМЕ НА ОСНОВЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО КОВШЕВОГО ШЛАКА

Мошковский Д.С.¹, Турушева Е.В.², Мошковская С.В.³, Лотарев В.В.⁴, Самченко С.В.¹

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

² Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

³ Подкомитет по техническому регулированию НО Союзцемент

⁴ ООО «Две Столицы»

АННОТАЦИЯ

В современных условиях строительная отрасль Российской Федерации нацелена на внедрение прогрессивных интегральных подходов, учитывающих возможность значительного уменьшения накопления отходов промышленности, а также их предотвращения. Это можно осуществить за счёт увеличения ассортимента и объёма утилизации вторичных материалов и техногенных отходов на предприятиях строительной промышленности. Предложенный к исследованию отход сталеплавильного производства может обеспечить замену импортных алюминатных и сульфоалюминатных цементов, привести к уменьшению себестоимости композиционных вяжущих и в конечном счёте улучшить экологическую обстановку в нашей стране. В работе исследованы линейные деформации цементных растворов на основе композиционных вяжущих, полученных с использованием отхода сталеплавильного производства – ковшевого шлака, изучено влияние вида сульфатного компонента на деформацию усадки-расширения цементного камня.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сталеплавильный ковшевой шлак, деформация усадки-расширения, этtringит, прочность при изгибе

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мошковский Д.С., Турушева Е.В., Мошковская С.В., Лотарев В.В., Самченко С.В. Расширение затвердевшей цементной пасты в композиционной вяжущей системе на основе сталеплавильного ковшевого шлака // Техника и технология силикатов. – 2024. – Т. 31, №4. – С. 345-353, DOI 10.62980/2076-0655-2024-345-353, EDN rpongb

Type of article - scientific article

OECD 2.01 Civil engineering

FA CONSTRUCTION & BUILDING TECHNOLOGY

EDN rpongb

DOI 10.62980/2076-0655-2024-345-353

EXPANSION OF HARDENED CEMENT PASTE IN COMPOSITE BINDING SYSTEM BASED ON STEELMAKING LADLE SLAG

Moshkovsky D.S.¹, Turusheva E.V.², Moshkovskaya S.V.³, Lotarev V.V.⁴, Samchenko S.V.¹

¹ Moscow State University of Civil Engineering

² D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

³ Subcommittee on technical regulation of the NO Soyuzcement

⁴ Two Capitals LLC

ABSTRACT

In modern conditions, the construction industry of the Russian Federation is aimed at the introduction of progressive integral approaches that consider the possibility of significant reduction of industrial waste accumulation, as well as its prevention. This can be done by increasing the range and volume of recycling of secondary materials and technogenic waste at construction industry enterprises. The proposed steelmaking waste can replace imported aluminate and sulphoaluminate cements, reduce the cost of composite binders and ultimately improve the environmental situation in our country. The paper studies linear deformations of cement mortars based on composite binders obtained using steelmaking waste - ladle slag, the influence of the type of sulphate component on the shrinkage-expansion deformation of hardened cement paste is studied.

KEY WORDS steelmaking ladle slag, shrinkage-expansion deformation, ettringite, strength bending

FOR CITATION: Moshkovsky D.S., Turusheva E.V., Moshkovskaya S.V., Lotarev V.V., Samchenko S.V. Expansion of hardened cement paste in composite binding system based on steelmaking ladle slag // Technique and technology of silicates. – 2024. – Vol. 31, No 4. – Pp. 345-353, DOI 10.62980/2076-0655-2024-345-353, EDN rpongb

ВВЕДЕНИЕ

Введение в эксплуатацию новых металлургических заводов в РФ по выпуску специализированной стали приводит к увеличению отвальных отходов, в том числе, и шлака внепечной обработки, что отрицательно воздействует на окружающую среду. Расширяются площади, выделяемые под хранение отходов производства [1-2]. Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р «Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» [3] предусматривает увеличение ассортимента и объёма утилизации вторичных материалов и техногенных отходов при производстве строительных материалов.

Проведённые ранее исследования [4-7] установили, что отвальные шлаки мартеновских и дуговых печей не обладают гидравлической активностью. Статистика накопленных данных, полученных по результатам тестирования отвальных шлаков, указанных выше агрегатов, выявила, что эти шлаки инертны, и в качестве добавок при производстве цемента не могут быть использованы. С появлением электродуговых печей и дополнительных установок внепечной обработки с электроподогревом жидкой стали во втором печном агрегате «печь-ковш», изменился состав и расширилась номенклатура готового продукта, поменялся химический состав сталеплавильного шлака, полученного после выплавки стали во втором агрегате.

При выплавке низкоуглеродистой стали шлак внепечной обработки содержит в своём составе высокоалюминатные соединения, которые могут вступать в реакции гидратации [8-11]. Имея химическое родство с группой алюминатных цементов, эти шлаки могут замещать их в составе композиционных вяжущих. В связи с интенсивным увеличением выпуска специализированной стали для отрасли станкостроения, объёмы залежей ковшевого шлака или шлака внепечной обработки агрегата «печь-ковш» (далее шлак - СКШ) растут в геометрической прогрессии.

В настоящее время разработаны и широко применяются в промышленности строительных материалов и конструкций расширяющиеся цементы [11,12]. Разработкам их технологии, изучению свойств, оптимизации составов уделялось и уделяется большое внимание исследователей во всем мире.

Известно более 50 различных расширяющихся цементов, различающихся как видами расширяющихся компонентов, так и способами производства [13-18]. Среди видов расширяющихся компонентов необходимо выделить сульфатированные клинкера. Среди них особое место занимает сульфоалюминатный клинкер. Такой клинкер получают обжигом смеси из известнякового, глиноземистого компонента и гипса, рассчитанной на получение сульфоалюмината кальция [14, 16,17]. Альтернативой сульфоалюминатному клинкеру были разработаны сульфоферритный [18] и сульфоалюмоферритный [19] клинкера, получаемые обжигом смеси из гипса и железосодержащего, известнякового компонента.

В качестве расширяющегося компонента используются природные материалы, которые после их тепловой обработки при добавлении к цементу обеспечивают образование гидросульфоалюмината кальция при его гидратации, что обуславливает расширение твердеющей системы [20].

INTRODUCTION

The commissioning of new metallurgical plants in Russia to produce specialized steel leads to an increase in waste heaps, including slag from out-of-furnace treatment, which has a negative impact on the environment. The area allocated for storage of industrial waste is expanding [1-2]. Order of the Government of the Russian Federation № 868-r "On approval of the Strategy for the development of the building materials industry for the period up to 2020 year and further perspective up to 2030 year" dated 10 May 2016 [3] provides for an increase in the range and volume of utilization of secondary materials and technogenic waste in the production of construction materials.

Previous studies [4-7] have established that waste slags from open-hearth and arc furnaces do not have hydraulic activity. Statistics of the accumulated data obtained from the results of testing of waste slags from the above-mentioned units revealed that these slags are inert and cannot be used as additives for cement production. With the advent of electric arc furnaces and additional installations for out-of-furnace treatment with electric heating of liquid steel in the second furnace unit "furnace-ladle", the composition and range of finished products changed, and the chemical composition of steelmaking slag obtained after steelmaking in the second unit changed.

During the smelting of low-carbon steel, the slag from out-of-furnace treatment contains high aluminate compounds that can enter hydration reactions [8,9]. Having chemical affinity with the group of aluminate cements, these slags can replace them in the composition of composite binders. Due to the intensive increase in the production of specialized steel for the machine tool industry, the volumes of ladle slag deposits or slag from the out-of-furnace treatment processing of the "furnace-ladle" unit (hereinafter slag - SLS) are growing exponentially.

At present, expanding cements have been developed and widely used in the industry of building materials and structures [11,12]. The development of their technology, study of properties, optimization of compositions was and is given much attention by researchers all over the world.

More than 50 different expanding cements are known, differing both in the types of expanding components and production methods [13-18]. Among the types of expanding components it is necessary to emphasize sulfated clinkers. Sulfoaluminate clinker occupies a special place among them. Such clinker is obtained by firing a mixture of limestone, alumina component and gypsum designed to produce calcium sulfoaluminate [14, 16,17]. As an alternative to sulfoaluminate clinker, sulfoferritic [18] and sulfoalumoferritic [19] clinkers produced by firing a mixture of gypsum and iron-containing, limestone component were developed.

Natural materials are used as an expanding component, which after their heat treatment when added to cement provide the formation of calcium hydrosulfoaluminate during its hydration, which causes the expansion of the hardening system [20].

Также могут использоваться промышленные продукты, которые могут содержать в своем составе алюминаты кальция (сталерафинировочные, глиноземистые шлаки, шлаки от производства ферробора, феррохрома, ферротитана) [14,21,22].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния отхода сталеплавильного производства - шлака внепечной обработки, содержащего в своём составе значительное количество алюминатов кальция высокой основности, на деформацию усадки-расширения цементного камня в композиционной вяжущей системе, которая может содержать разные формы сульфата кальция.

Материалы и методы исследования

Модельные составы композиционных вяжущих изготавливались с использованием шлака внепечной обработки Выксунского металлургического завода – предприятие чёрной металлургии, входящее в структуру АО «Объединённая металлургическая компания».

СКШ использовался в качестве алюминатного компонента в составе композиционного вяжущего самонивелирующихся и безусадочных растворных смесей. Для исследований использованы образцы СКШ усредненного состава. Модельные составы композиционных вяжущих различались видом сульфатного компонента.

В экспериментальных работах использовались следующие материалы:

- Портландцемент производства цементного завода в Тульской области, соответствующий по ГОСТ 31108 классу прочности 52,5. Характеристики цемента представлены в таблице 1.

- Гипс α -модификации ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», соответствующий по ТУ 21-РСФСР-153-90 марке ГВВС-16.

- Гипс β -модификации ОАО «Гипсобетон», соответствующий по ГОСТ 125 марке Г-5 Б II.

- Известь строительная ООО «Калькон Калуга», соответствующая ГОСТ 9179. Показатели качества извести строительной представлены в таблице 2.

Industrial products that may contain calcium aluminates in their composition (steel refining, alumina slags, slags from the production of ferroboron, ferrochrome, ferrotitanium) can also be used [14,21,22].

The purpose of this scientific work was to study the influence of steelmaking waste - slag from out-of-furnace treatment, containing in its composition a significant amount of calcium aluminates of high basicity, on the deformation of shrinkage-expansion of cement stone in the composite binder system, which may contain different forms of calcium sulphate.

Materials and methods of research

Model compositions of composite binders were produced using slag from out-of-furnace treatment of Vyksa Metallurgical Plant - ferrous metallurgy enterprise, which is a part of the structure of JSC "United Metallurgical Company".

SLS was used as an aluminate component in composite binder of self-leveling and shrinkage-free mortar mixtures. Samples of SLS of averaged composition were used for the studies. The model compositions of composite binders differed in the type of sulphate component.

The following materials were used in the experimental work:

- Portlandcement produced by the cement plant in Tula region, corresponding to GOST 31108 strength class 52.5. Characteristics of cement are presented in Table 1.

- Gypsum α -modification of CJSC "Samara Gypsum Plant", corresponding to TU 21-RSFSR-153-90, mark GVVS-16.

- Gypsum β - modification JSC "Gipsobeton", corresponding to GOST 125, mark G-5 B II.

- Construction lime of LLC "Calcon Kaluga", conforming to GOST 9179. Quality indicators of construction lime are presented in Table 2.

ТАБЛИЦА 1 ХИМИКО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Table 1 Chemical and mineralogical composition of Portland cement

Содержание оксидов, мас.% Oxide content, wt. %					Содержание минералов, мас.% Mineral content, wt. %			
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
21,88	5,05	3,72	66,70	1,14	64	14	7	11

ТАБЛИЦА 2 ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ

Table 2 Quality indicators of construction lime

Активные (CaO+MgO), %	Влага, %	CO ₂ , не более, %	Степень дисперсности, %
71,53	0,52	0,92	0,29

Усреднение СКШ проводилось по ГОСТ 30515.

Исследование влияния СКШ и вида сульфатного компонента на реологические свойства смеси модельных составов композитных вяжущих производилось в соответствии с ГОСТ 31358.

Averaging of SLS was carried out according to GOST 30515.

The study of the influence of SLS and type of sulphate component on the rheological properties of the mixture of model compositions of composite binders was carried out

Химико-минералогический состав СКШ определялся на рентгеноспектральном анализаторе S8 Tiger (Bruker). Минералогический состав СКШ исследовался с помощью рентгеновского дифрактометра D2 Phaser (Bruker), расчёт содержания минералов производился по методу Ритвельда. Помол проб СКШ осуществлялся в лабораторной шаровой мельнице.

Определение линейных деформаций композиционных вяжущих в изолированных условиях твердения проводилось по методике определения свободного расширения цементных растворов на основе композиционных вяжущих, которая описана далее. Схема установки представлена на рис 1.

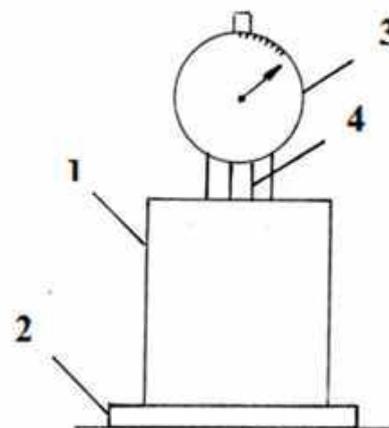
РИСУНОК 1

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОБОДНОГО РАСШИРЕНИЯ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ, ТВЕРДЕЮЩИХ В ЗАМКНУТЫХ УСЛОВИЯХ

1 – металлический стакан; 2 – подставка; 3 – индикатор; 4 – шток индикатора

Figure 1 Installation for determination of free expansion of mortars based on composite binders, curing under closed conditions

1 – metal cup; 2 – holder; 3 – indicator; 4 – indicator stem



Сущность этого метода заключается в том, что специальные металлические стаканы наполовину заполняются приготовленным раствором на основе композиционного вяжущего, и далее этот раствор штыкуется 5–6 раз. После чего в цилиндр постепенно добавляется остальная часть смеси, не доходя до верхнего края 2–3 мм, и проводится повторное штыкование. Для предотвращения испарения воды с поверхности раствора сверху располагается пластиковая пластина и наливается вазелиновое масло.

Установленным на поверхность щупом датчика линейных деформаций фиксируется начальное показание отсчёта. Между снятием начального показания и временем затворения смеси на основе композиционного вяжущего проходит не более 30 минут.

Результаты и их обсуждение

Химический состав усредненной пробы СКШ представлен в таблице 3. Минералогический состав усредненной пробы СКШ представлен в таблице 4.

За основу для исследований реологических свойств по параметру усадка-расширение цементного раствора вяжущей композиции был взят рекомендуемый диапазон соотношений для наливных полов по расходу вяжущих [15]: портландцемент - 35–40%, алюминатный цемент - 3–10%, гипс - 0–5%.

ТАБЛИЦА 3 ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СКШ

Table 3 Chemical composition SLS

Содержание оксидов, мас. % Oxide content, wt. %							Потери при прокаливании, % Loss on ignition, %	Влага, % Moisture, %
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O		
11,43	21,65	9,47	49,82	7,08	0,06	0,03	0,22	0,07

according to GOST 31358.

The chemical and mineralogical composition of SLS was determined on the S8 Tiger X-ray spectral analyzer (Bruker). The mineralogical composition of SLS was investigated using a D2 Phaser X-ray diffractometer (Bruker), mineral content was calculated using the Rietveld method. The grinding of samples SLS was carried out in a laboratory ball mill.

Linear deformations of composite binders under isolated curing conditions were determined using the method for determining the free expansion of cement mortars based on composite binders, which is described below. The schematic of the installation is shown in Fig. 1.

The essence of this method is that special metal cups are half-filled with prepared mortar based on composite binder, and then this mortar is rodded 5-6 times. After that, the rest of the mixture is gradually added to the metal cylinder, not reaching the upper edge of 2-3 mm, and the rodding is repeated. To prevent water evaporation from the surface of the solution, a plastic plate is placed on top and Vaseline oil is poured in.

The initial readout is recorded with a linear strain gauge probe placed on the surface. A maximum of 30 minutes elapses between the initial reading and the mixing time of the composite binder mixture.

Results and discussion

The chemical composition of the averaged sample SLS is presented in Table 3. The mineralogical composition of the averaged sample SLS is presented in Table 4.

The recommended range of ratios for poured floors in terms of binder consumption [15] was taken as a basis for investigating the rheological properties of the shrinkage-expansion parameter of cement mortar binder composition: portlandcement - 35-40%, aluminate cement - 3-10%, gypsum - 0-5%.

ТАБЛИЦА 4 МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ СКШ

Table 4 Mineralogical composition SLS

Минерал The mineral	Формула The formula	Содержание, мас.% Content, wt. %
Трехкальциевый алюминат Tricalcium aluminate	$(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)$	30,24
Майенит Maeyenite	$(12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3)$	17,56
Геленит Gelenite	$(2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2)$	3,41
Белит, α' -модификация Belite, α' -modification	$(\alpha'-2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$	2,39
Белит, β -модификация Belite, β -modification	$(\beta-2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$	25,17
Белит, γ -модификация Belite, γ -modification	$(\gamma-2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)$	4,83
Периклаз Periclase	(MgO)	13,95
Гематит Haematite	(Fe_2O_3)	1,32

В качестве алюминатного компонента в таких составах, как правило, используется глиноземистый или сульфоалюминатный цемент, в качестве сульфатного компонента - полуводный гипс [23-27].

В работе исследованы влияния видов сульфата кальция на расширение цементного камня в композиционной вяжущей системе на основе сталеплавильного шлака, который выступает в качестве алюминатного компонента. Изменение линейных размеров образцов на основе композиционного вяжущего является косвенным показателем скорости образования кристаллогидратов при его твердении. Поэтому результаты исследования деформации усадки-расширения образцов показывают степень гидратации и являются количественным показателем скорости роста кристаллогидратов.

На первом этапе эксперимент проводился на трёх модельных составах со следующей дозировкой минеральной части композиционного вяжущего: портландцемент (далее ПЦ) – 70%, СКШ - 25%, полуводный гипс α -, β -модификаций ($\text{Ca}_2\text{SO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) – 5% и известь строительная ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) – 1%. (см. таблицу 5).

As a rule, alumina or sulphoaluminate cement is used as an aluminate component in such compositions, and hemi-hydrate gypsum is used as a sulphate component [23-27].

The paper investigates the effects of calcium sulphate species on cement stone expansion in a composite binder system based on steelmaking slag, which acts as an aluminate component. The change in linear dimensions of samples based on composite binder is an indirect indicator of the rate of crystalline hydrate formation during its hardening. Therefore, the shrinkage-expansion strain results of the samples show the degree of hydration and are a quantitative indicator of the growth rate of crystalline hydrates.

At the first stage the experiment was carried out on three model compositions with the following dosage of the mineral part of the composite binder: portlandcement (hereinafter referred to as PC) - 70%, SLS - 25%, hemi-hydrate gypsum of α -, β -modifications ($\text{Ca}_2\text{SO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) - 5% and construction lime ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) - 1%. (see Table 5).

ТАБЛИЦА 5 СОСТАВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ СКШ

Table 5 Composition of SLS-based composite binders

Номер состава Composition number	Портландцемент, % Portlandcement, %	СКШ, % SLS, %	Полуводный гипс, % Hemi-hydrate gypsum, %		Известь строительная, % Construction lime, %
			Марка ГВВС-16 (α -модификация) Mark GVVS-16 (α -modification)	Марка Г-5 Б II (β -модификация) Mark G-5 B II (β -modification)	
1	71,4	25,7	-	2,9	-
2	69,1	27,6	3,3	-	-
3	69,4	25,0	-	2,8	0,8

Результаты определения показателя свободного расширения в первые сроки твердения представлены на рисунке 2.

Как видно из полученных результатов, модификация гипса в составе композиционного вяжущего ПЦ / СКШ играет важную роль при расширении затвердевшей

The results of free expansion index determination at the first age hardening times are shown in Fig. 2.

As can be seen from the results obtained, the modification of gypsum in the composition of composite binder PC / SLS plays an important role in the expansion of hardened

цементной пасты. Композиции с полуводным гипсом α-модификации обуславливают расширение на 20 % больше во все сроки твердения, чем при использовании полуводного гипса β-модификации.

Поскольку для образования расширяющегося агента, в данном случае эттрингита необходимо определенное количество извести [28], то нами были приготовлено и испытано композиционное вяжущее с полуводным гипсом β-модификации и строительной известью. Полученные результаты свидетельствуют, что расширение увеличивается на 50%

Полученные данные по расширению композиционных вяжущих сопоставимы с данными по прочности (таблица 6) затвердевших растворов на основе модельных составов, изготовленных с наполнителем.

cement paste. Compositions with semi-aqueous gypsum of α-modification cause 20 % more expansion in all curing times than with semi-aqueous gypsum of β-modification.

Since a certain amount of lime is necessary for the formation of an expanding agent, in this case ettringite [28], we prepared and tested a composite binder with semi-aqueous gypsum β-modification and building lime. The results obtained show that the expansion increases by 50%

The obtained data on the expansion of composite binders are comparable with the data on the strength of hardened mortars based on model mortars made with filler (see Table 6).

РИСУНОК 2

ЛИНЕЙНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

- Состав №1
ПЦ / СКШ / Полуводный гипс β-модификации;
- Состав №2
ПЦ / СКШ / Полуводный гипс α-модификации;
- Состав №3
ПЦ / СКШ / Полуводный гипс β-модификации / Известь строительная

Figure 2

Linear deformations of cement samples

- Composition No 1
PC / SLS / Hemi-hydrate gypsum β-modification;
- Composition No 2
PC / SLS / Hemi-hydrate gypsum α-modification;
- Composition No 3
PC / SLS / Hemi-hydrate gypsum β-modification / Construction lime

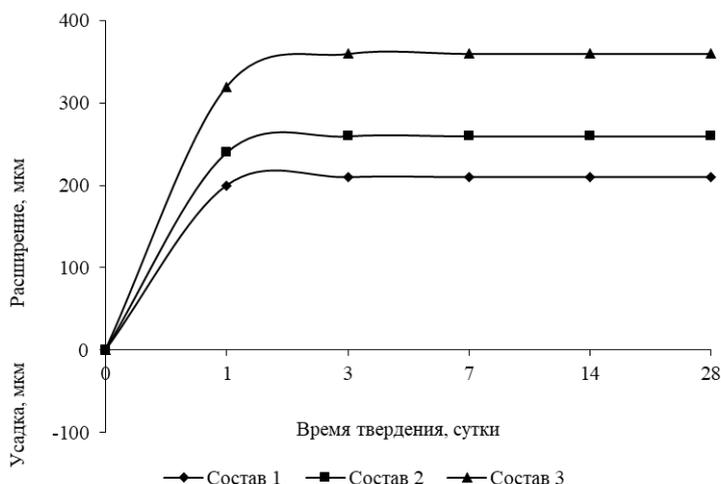


ТАБЛИЦА 6 ПРОЧНОСТЬ ЗАТВЕРДЕВШИХ РАСТВОРОВ С НАПОЛНИТЕЛЕМ, ПРИГОТОВЛЕННЫХ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ НА ОСНОВЕ СКШ

Table 6 Strength of hardened mortars with filler prepared from composite binders based on the SLS

Номер состава Composition number	Прочность при изгибе, МПа, в возрасте Strenght bending, MPa, at the age of			
	1 суток 1 day	7 суток 7 days	14 суток 14 days	28 суток 28 days
1	3,0	4,3	6,4	7,3
2	3,3	5,4	6,7	7,5
3	4,1	7,1	7,6	8,7

Выводы

В работе исследованы линейные деформации цементных растворов на основе композиционных вяжущих, полученных с использованием отхода сталеплавильного производства. Разработанные модельные составы композиционных вяжущих соответствуют

Conclusions

The paper investigates linear deformations of cement mortars based on composite binders obtained using steelmaking waste. The developed model compositions of composite binders meet the requirements for self-leveling systems by the expansion parameter of hardened cement

требованиям для самонивелирующихся систем по параметру расширения затвердевшей цементной пасты в первые сутки твердения, которое составило 170–320 мкм. Максимальное расширение достигается за счёт введения извести в состав вяжущей композиции для ускорения образования этtringита из майенита $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Полученные результаты позволяют судить о перспективности использования сталеплавильного ковшевого шлака в качестве алюминатной составляющей вяжущей композиции сухой строительной смеси для наливных полов. Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть направлены на:

- оптимизацию вяжущей композиции по функциональным добавкам;
- исследование этих добавок на морфологию и структуру образующихся кристаллов этtringита при гидратации вяжущей композиции на основе СКШ;
- изучение свойств затвердевших растворов;
- исследование долговечности, морозостойкости и коррозионной стойкости растворов на основе сухих строительных смесей, содержащих в своём составе СКШ в качестве алюминатного компонента.

Переработка сталеплавильных шлаков заводов чёрной металлургии является эффективным способом их утилизации, что благоприятно скажется на экологической обстановке, а также на экономике предприятий, давая возможность получить ценные товарные продукты.

Литература:

1. Рахлис Т. П., Скворцова Н. В., Немцев В. Н. Анализ трендов и перспектив на рынке черных металлов: влияние мирового кризиса // Чёрные металлы. 2022. № 2. С. 72–77. DOI: 10.17580/chm.2022.02.13.
2. Казакова Н. А., Когденко В. Г., Кузьмина-Мерлино И., Сивкова А. Е. Оценка и прогнозирование экономической устойчивости российских металлургических компаний // Чёрные металлы. 2020. № 4. С. 60–67.
3. Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р Об утверждении Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года (с изменениями на 23 ноября 2016 года). Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 12.05.2016, N 0001201605120005. Собрание законодательства Российской Федерации, N 20, 16.05.2016, ст.2863
4. Шешуков О. Ю., Михеенков М. А., Некрасов И. В., Егизарьян Д. К., Метелкин А. А., Шевченко О. И. Вопросы утилизации рафинировочных шлаков сталеплавильного производства: монография / УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2017. 208 с.
5. Свенчанский А.Д., Смелянский М. Я. Ч. 2. Дуговые печи. Учебное пособие для вузов / Энергия, Москва: 1970. 264 с.
6. Гамов П.А., Зырянов С.В., Салихов С.П. Производство стали в дуговых сталеплавильных печах: Решение практических задач. Учебное пособие / ЮУрГУ, Челябинск. 2018. 48 с.
7. Гусев Б.В., Кривобородов Ю.Р., Самченко С.В. Технология портландцемента и его разновидностей: Учебное пособие / Москва, 2016. 113 с.
8. Сивков С.П., Турушева Е.В., Мошкова С.В., Крылов А.П. Использование металлургических ковшовых шлаков в качестве минеральной добавки при производстве цемента // Цемент и его применение. 2022. № 2. С. 64–66.
9. Шешуков О.Ю., Егизарьян Д.К., Лобанов Д.А. Безотходная переработка ковшевого и электропечного

paste in the first day of hardening, which was 170-320 μm . Maximum expansion is achieved by introducing lime into the binder composition to accelerate the formation of ettringite from mayenite $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. The obtained results allow us to judge about the promising use of steelmaking ladle slag as an aluminate component of the binder composition of dry building mixes for poured floors. Further research in this direction should focus on:

- optimization of binder composition by functional additives;
- study of these additives on morphology and structures of formed ettringite crystals during hydration of SLS-based binder compositions;
- study of the properties of mortar stone;
- study of long-time performance of concrete, freeze-thaw durability and corrosion behavior of mortars based on dry construction mixtures containing SLS as an aluminate component in their composition.

Recycling of steelmaking slags from ferrous metallurgy plants is an effective way of their disposal, which will have a positive effect on the environmental situation, as well as on the economy of enterprises, making it possible to obtain valuable commercial products.

References:

1. Rahlis T. P., Skvorcova N. V., Nemcev V. N. Analiz trendov i perspektiv na rynke chernyh metallov: vliyaniye mirovogo krizisa // Chernye metally. 2022. № 2. S. 72–77. DOI: 10.17580/chm.2022.02.13.
2. Kazakova N. A., Kogdenko V. G., Kuz'mina-Merlino I., Sivkova A. E. Ocenka i prognozirovaniye ekonomicheskoy ustoychivosti rossiyskikh metallurgicheskikh kompaniy // Chernye metally. 2020. № 4. S. 60–67.
3. Rasporyazheniye Pravitel'stva RF ot 10 maya 2016 g. № 868-r Ob utverzhenii Strategii razvitiya promyshlennosti stroitel'nyh materialov na period do 2020 goda i dal'neyshuyu perspektivu do 2030 goda (s izmeneniyami na 23 noyabrya 2016 goda). Official'nyy internet-portal pravovoy informatsii www.pravo.gov.ru, 12.05.2016, N 0001201605120005. Sobranie zakonodatel'stva Rossiyskoy Federatsii, N 20, 16.05.2016, st.2863
4. Sheshukov O. Yu., Miheenkov M. A., Nekrasov I. V., Egiazar'yan D. K., Metelkin A. A., Shevchenko O. I. Voprosy utilizatsii rafinirovochnykh shlakov staleplavil'nogo proizvodstva: monografiya / UrFU im. pervogo Prezidenta Rossii B. N. El'cina, Nizhnetagil. tehnol. in-t (fil.). Nizhniy Tagil: NTI (filial) UrFU, 2017. 208 s.
5. Svenchanskiy A.D., Smelyanskiy M. Ya. Ch. 2. Dugovye pechi. Uchebnoye posobie dlya vuzov / Energiya, Moskva: 1970. 264 s.
6. Gamov P.A., Zyryanov S.V., Salihov S.P. Proizvodstvo stali v dugovykh staleplavil'nykh pechah: Resheniye prakticheskikh zadach. Uchebnoye posobie / YuUrGU, Chelyabinsk. 2018. 48 s.
7. Gusev B.V., Krivoborodov Yu.R., Samchenko S.V. Tehnologiya portlandtsmenta i ego raznovidnostey: Uchebnoye posobie / Moskva, 2016. 113 s.
8. Sivkov S.P., Turusheva E.V., Moshkovskaya S.V., Krylov A.P. Ispol'zovaniye metallurgicheskikh kovshovykh shlakov v kachestve mineral'noy dobavki pri proizvodstve cementov // Cement i ego primeneniye. 2022. № 2. S. 64–66.
9. Sheshukov O.Yu., Egiazar'yan D.K., Lobanov D.A. Bezotходnaya pererabotka kovshevogo i elektroprechnogo shlaka. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya Metallurgiya.

- шлака. Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. 2021;64(3):192-199. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199>
10. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – М.: Высш. шк., 1988. – 72 с.
 11. Елсуфьева, М. С. Применение расширяющихся добавок в сталефибробетоне / М. С. Елсуфьева, В. Г. Соловьев, А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2014. – № 8. – С. 60-63. – EDN SJVXPD.
 12. Титов, М. Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок / М. Ю. Титов // Строительные материалы. – 2012. – № 2. – С. 84-87. – EDN OWJKJF.
 13. Коваленко, Д. С. Перспективы создания экономических бетонов с пониженной усадкой на основе отходов промышленности / Д. С. Коваленко // Интеграция наук. – 2017. – № 3(7). – С. 65-70. – EDN YNLJST.
 14. Кузнецова, Т. В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы / Т. В. Кузнецова. – Москва: Стройиздат, 1986. – 208 с. – EDN YRNAYL.
 15. Кузнецова, Т. В. Основные направления в химии и технологии специальных цементов / Т. В. Кузнецова, Ю. Р. Кривобородов, И. Ю. Бурлов // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 61-63. – EDN JXKGLP.
 16. Кривобородов, Ю. Р. Специальные цементы: разновидности, свойства и применение / Ю. Р. Кривобородов // Техника и технология силикатов. – 2023. – Т. 30, № 1. – С. 84-91. – EDN BANTUI.
 17. Кривобородов, Ю. Р. Физико-химические свойства сульфатированных клинкеров: Аналитический обзор / Ю. Р. Кривобородов, С. В. Самченко. – Москва: ВНИИЭСМ, 1991. – 55 с. – (Цементная промышленность; Выпуск 2). – EDN TSRXOD.
 - 18.2. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М: Стройиздат, 1993. 328 с.
 19. Самченко, С. В. Сульфатированные алюмоферриты кальция и цементы на их основе / С. В. Самченко; Федер. агентство по образованию, РХТУ им. Д.И. Менделеева, Изд. центр. – Москва: Рос. хим.-технол. ун-т им. Д.И. Менделеева, 2004. – 120 с. – EDN QNDUNJ.
 20. Нефедьев, А. П. Смешанное вяжущее на основе глиноземистого цемента и метаксаолина / А. П. Нефедьев, Д. Ю. Коссов, Т. В. Кузнецова // Сухие строительные смеси. – 2014. – № 2. – С. 28-30. – EDN TAQHEN.
 21. Kouznetsova, T. V. The use of vanadium production waste to produce alumina cement / T. V. Kouznetsova, Y. R. Krivoborodov, I. Y. Burlov // American Concrete Institute, ACI Special Publication, Moscow, 06–07 июня 2018 года. Vol. 326. – Moscow: American Concrete Institute, 2018. – EDN EWRJVH.
 22. Исследование возможности использования алюминатных отходов алюминиевых сплавов для получения глиноземистого цемента / А. А. Крутилин, Т. В. Крапчетова, Н. А. Инькова, О. К. Пахомова // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2023. – Т. 25, № 6. – С. 125-138. – DOI 10.31675/1607-1859-2023-25-6-125-138. – EDN ZUZWRN.
 23. Мошкова С.В., Сивков С.П., Лотарев В.В. Сухие строительные смеси для гидроизоляции бетонных конструкций //Техника и технология силикатов. 2008. Т. 15. №1. С. 26–31.
 24. Корнеев В.И., Зозуля П.В. Сухие строительные смеси / РИФ Стройматериалы, Москва. 2010. 320 с.
 25. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси [Текст] Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. – С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007. – 804 с.
 26. Бурьянов, А. Ф. К вопросу использования гипсовых и ангидритовых вяжущих в сухих смесях для устройства оснований полов / А. Ф. Бурьянов, Ю. В. Гонтарь, А. И. 2021;64(3):192-199. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2021-3-192-199>
 10. Danilovich, I. Yu. Ispol'zovanie toplivnyh shlakov i zol dlya proizvodstva stroitel'nyh materialov / I. Yu. Danilovich, N. A. Skanavi. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 72 s.
 11. Elsufoeva, M. S. Primenenie rasshiryayuschihysya dobavok v stalefibrobetone / M. S. Elsufoeva, V. G. Solov'ev, A. F. Bur'yanov // Stroitel'nye materialy. – 2014. – № 8. – S. 60-63. – EDN SJVXPD.
 12. Titov, M. Yu. Betony s povyshennoy prochnost'yu na osnove rasshiryayuschih dobavok / M. Yu. Titov // Stroitel'nye materialy. – 2012. – № 2. – S. 84-87. – EDN OWJKJF.
 13. Kovalenko, D. S. Perspektivy sozdaniya ekonomichnyh betonov s ponizhennoy usadkoy na osnove othodov promyshlennosti / D. S. Kovalenko // Integraciya nauk. – 2017. – № 3(7). – S. 65-70. – EDN YNLJST.
 14. Kuznecova, T. V. Alyuminatnye i sul'foalyuminatnye cementy / T. V. Kuznecova. – Moskva: Stroyizdat, 1986. – 208 s. – EDN YRNAYL.
 15. Kuznecova, T. V. Osnovnye napravleniya v himii i tehnologii special'nyh cementov / T. V. Kuznecova, Yu. R. Krivoborodov, I. Yu. Burlov // Stroitel'nye materialy. – 2008. – № 10. – S. 61-63. – EDN JXKGLP.
 16. Krivoborodov, Yu. R. Special'nye cementy: raznovidnosti, svoystva i primeneniye / Yu. R. Krivoborodov // Tehnika i tehnologiya silikatov. – 2023. – T. 30, № 1. – S. 84-91. – EDN BANTUI.
 17. Krivoborodov, Yu. R. Fiziko-himicheskie svoystva sul'fatirovannyh klinkerov: Analiticheskiy obzor / Yu. R. Krivoborodov, S. V. Samchenko. – Moskva: VNIIESM, 1991. – 55 s. – (Cementnaya promyshlennost'; Vypusk 2). – EDN TSRXOD.
 18. Osokin A.P., Krivoborodov Yu.R., Potapova E.N. Modificirovanny portlandcement. M: Stroyizdat, 1993. 328 s.
 19. Samchenko, S. V. Sul'fatirovannye alyumoferrity kal'ciya i cementy na ih osnove / S. V. Samchenko; Feder. agentstvo po obrazovaniyu, RHTU im. D.I. Mendeleeva, Izd. centr. – Moskva: Ros. him.-tehnol. un-t im. D.I. Mendeleeva, 2004. – 120 s. – EDN QNDUNJ.
 20. Nefed'ev, A. P. Smeshannoe vyazhushee na osnove glinozemistogo cementa i metakaoлина / A. P. Nefed'ev, D. Yu. Kossov, T. V. Kuznecova // Suhie stroitel'nye smesi. – 2014. – № 2. – S. 28-30. – EDN TAQHEN.
 21. Kouznetsova, T. V. The use of vanadium production waste to produce alumina cement / T. V. Kouznetsova, Y. R. Krivoborodov, I. Y. Burlov // American Concrete Institute, ACI Special Publication, Moscow, 06–07 iyunya 2018 goda. Vol. 326. – Moscow: American Concrete Institute, 2018. – EDN EWRJVH.
 22. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya alyuminatnyh othodov alyuminievyh splavov dlya polucheniya glinozemistogo cementa / A. A. Krutilin, T. V. Krapchetova, N. A. In'kova, O. K. Pahomova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2023. – T. 25, № 6. – S. 125-138. – DOI 10.31675/1607-1859-2023-25-6-125-138. – EDN ZUZWRN.
 23. Moshkovskaya S.V., Sivkov S.P., Lotarev V.V. Suhie stroitel'nye smesi dlya gidroizolyacii betonnyh konstrukciy //Tehnika i tehnologiya silikatov. 2008. T. 15. №1. S. 26–31.
 24. Korneev V.I., Zozulya P.V. Sухие строительные смеси / RIF Stroymaterialy, Moskva. 2010. 320 s.
 25. Cementy, betony, stroitel'nye rastvory i suhie smesi [Tekst] Ch.1: Sprav. Pod red. P.G. Komohova. – S.-Pb.: NPO «Profesional», 2007. – 804 s.
 26. Bur'yanov, A. F. K voprosu ispol'zovaniya gipsovyyh i ангидритовых вяжущих в сухих смесях для устройства оснований полов / А. Ф. Бурьянов, Ю. В. Гонтарь, А. И. 2010. – № 1. – С. 11-13. – EDN TSQACJ.
 27. Samchenko S.V., Makarov E.M. Vliyanie superplastifikatorov na morfologiyu kristallov ettringita // Tehnika i tehnologiya silikatov. 2015. №2. S. 17–21.

Чалова // Сухие строительные смеси. – 2010. – № 1. – С. 11-13. – EDN TSQACJ.
27. Самченко С.В., Макаров Е.М. Влияние суперпластификаторов на морфологию кристаллов этtringита // Техника и технология силикатов. 2015. №2. С. 17–21.
28. Самченко С. В. Роль этtringита в формировании и генезисе структуры камня специальных цементов. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005 – 154 с.

28. Samchenko S. V. Rol' ettringita v formirovani i genezise struktury kamnya special'nyh cementov. – M.: RHTU im. D. I. Mendeleeva, 2005 – 154

Работа представлена на II Международном научно-практическом симпозиуме «Будущее строительной отрасли: Вызовы и перспективы развития».

Мошковский Денис Сергеевич - аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, *E-mail:* denis_moshkovskiy@mail.ru (автор для связи)

Турушева Екатерина Владимировна - аспирант факультета технологии неорганических веществ и высокотемпературных материалов, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Россия, Москва, *E-mail:* katka1988@mail.ru

Мошковская Светлана Владимировна – кандидат технических наук, руководитель подкомитета по техническому регулированию НО Союзцемент.

Лотарев Вадим Викторович - главный технолог, ООО «Две Столицы», *E-mail:* lotarevv@yandex.ru

Самченко Светлана Васильевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», *E-mail:* samchenko@list.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Moshkovsky Denis Sergeevich - Postgraduate student, National Research Moscow State Construction University, *E-mail:* denis_moshkovskiy@mail.ru (author for communication)

Turusheva Ekaterina Vladimirovna - Postgraduate student, studying at the Faculty of Technology of Inorganic Substances and High-temperature Materials, D. I. Mendeleev Russian State Technical University, Russia, Moscow. *E-mail:* katka1988@mail.ru

Moshkovskaya Svetlana Vladimirovna – candidate of technical sciences, head of the subcommittee on technical regulation of the NO Soyuzcement.

Lotarev Vadim Viktorovich - chief technologist, Two Capitals LLC, *E-mail:* lotarevv@yandex.ru

Samchenko Svetlana Vasilievna - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Construction Materials Science, National Research Moscow State Construction University, *E-mail:* samchenko@list.ru

The authors declare that there is no conflict of interest.