

USE OF METALLURGICAL INDUSTRY WASTE TO PRODUCE FIRE-RESISTANT CONCRETES

Vinnitsia National Technical University

Анотація

Потреба будівельної індустрії у створенні та застосуванні будівельних матеріалів з високими фізико-механічними показниками може бути задоволена за рахунок використання дешевих відходів промисловості. Можливість застосування доменних шлаків в якості заповнювачів для отримання жаростійких бетонів ґрунтується на тому, що при нагріванні до температури 800°C шлаки мають більшу високу міцність, ніж портландцемент і традиційні наповнювачі. У той же час шлакові заповнювачі в 1,2-2 рази дешевіші за природні і потребують значно менших фінансових витрат. Застосування шлакових заповнювачів для одержання жаростійких бетонів дозволить виготовляти жаростійкі конструкції з високими експлуатаційними характеристиками. Крім того, використання відходів металургійного виробництва доменних шлаків покращує екологічну обстановку, також є актуальним рішенням рециклінга.

Ключові слова: доменні шлаки; жаростійкий бетон; заповнювачі.

Abstract

The need of the construction industry in the development and application of building materials with high physical and mechanical characteristics can be met through the use of cheap waste from the metallurgical industry – blast furnace ground and granulated slags. The possibility of using blast furnace slag as aggregates for the production of heat-resistant concrete is based on the fact that when heated to a temperature of 800° C, the slags has a higher strength than Portland cement and traditional fillers. At the same time, slag aggregates are 1.2–2 times cheaper than natural ones and require significantly lower financial costs. The use of slag aggregates for the production of heat-resistant concretes will make it possible to produce heat-resistant structures with high operational characteristics. The use of metallurgical waste in the form of blast furnace slag improves the environmental situation.

Keywords: blast furnace slags; heat-resistant concrete; fillers.

Introduction

One of the main wastes of the metallurgical industry is blast furnace slag, which occupies hundreds of hectares of land in dumps, polluting the environment. Utilization of waste from the metallurgical industry is a pressing economic and environmental problem worldwide. Slags are characterized by a relatively constant chemical composition [1-2]. In our country, only about 20% of blast furnace slag is used in the building materials industry, while in highly developed countries up to 90% [3]. The use of blast furnace slag in the production of various types of building materials is an urgent task, since it makes it possible to obtain materials with a number of specific properties, significantly reducing the material and energy intensity of production [4].

Research results

Heat-resistant concretes are used for the manufacture of load-bearing building structures operating in conditions of elevated and high technological (operational) temperatures. The use of heat-resistant concretes allows to significantly reduce the terms of construction and repair of thermal units, to reduce the cost and labor intensity of work [5]. The main components of blast furnace slag are quartz, aluminum, calcium and magnesium oxides, which can account for 85-90% of the total composition of the slag. The remaining 15-10% may include manganese, iron and sulfur compounds, impurities of other elements. However, it should be noted that the main oxides that make up the slag are not found in free form [6-7]. In blast furnace slag cooled by air, the oxides combine into various silicates and aluminosilicate minerals, such as melilite, merwinite, wollastonite, etc. [8-9]. In crushed and ground slags, these elements are present in the form of glass.

Having a similar chemical and mineralogical nature to Portland cement, blast furnace slags, reacting with calcium hydroxide, provide good adhesion of cement stone to the aggregate, high strength and increased durability of concrete [10-11].

The chemical composition of slags varies within certain limits, depending on the raw materials loaded into the blast furnace [12-14]. Therefore, the use of blast furnace granulated and crushed blast furnace

slags as aggregates for heat-resistant concretes of a given quality requires special research on the selection of concrete compositions and testing of special properties.

When heating reinforced concrete structures, destructive processes occur not only in cement stone, but also in aggregates. Conventional silicate and carbonate aggregates are used for the manufacture of heavy concretes operating at temperatures not higher than 200°C. Aggregates for heat-resistant concretes with an application temperature of over 200°C should not collapse under prolonged exposure to high temperatures and should not be a source of internal stresses in the structure of structures.

To develop the compositions of heat-resistant concretes BR P B25 F300 W6, the following raw materials were used:

- binder – Portland cement;
- fine aggregate – chamotte powder fraction 1-3 mm;
- large aggregate – crushed stone fractionated from crushed blast furnace slag fraction 10–20 mm

with the following characteristics: bulk density – 1160 kg/m³; strength – 1000 g/m³; frost resistance – F200; CaO content – 35.5%; SiO₂ content – 33.3%; Al₂O₃ content - 7.9%; MgO content – 10%; content of foreign impurities – 1.4%; superplasticizer – Sika Visco Grete 5600SP.

Determination of compressive strength of experimental cube specimens was carried out at the design and intermediate ages after hardening and drying regimes. Table 1 shows the strength of concrete BR P B25 I3 at the intermediate and design ages.

Concrete strength at intermediate and design ages

Table 1

Age of concrete	After hardening under normal conditions		After hardening under normal conditions and drying at a temperature (105±5)°C	
	Compressive strength, MPa	Concrete class	Compressive strength, MPa	Concrete class
2 days	13,67	—	—	—
7 days	23,99	—	—	—
28 days	39	B30	45,8	B35

Table 2 shows the results of studies of thermal shrinkage of concrete BR P B25 I3

Results of studies on thermal shrinkage of concrete

Table 2

Dimensions, cm	Sample labeling					
	I3-1		I3-2		I3-3	
	Before drying	After drying	Before drying	After drying	Before drying	After drying
a	10	10	10	10,98	10,05	7,02
b	10,11	10,05	10,10	10,07	10,1	7,05
h	10,1	10,04	10,15	10,1	10,2	7,16
Sum of measurements	30,21	31,09	31,25	31,15	31,35	21,23
Shrinkage (ξ), %	0,6		0,5		0,6	
Average shrinkage	0,57%					

The conducted studies have shown that ground crushed slag can be used to obtain heat-resistant concretes with specified performance characteristics. Blast furnace slags, introduced into the composition of heat-resistant concrete as a filler, allow to provide the necessary strength characteristics of concretes. Such concretes can be used for typical products for various purposes, for example, for elements of industrial and domestic heating and cooling systems.

Conclusion

As a result of the conducted research, heat-resistant concrete with the following characteristics was obtained:

- compressive strength – class B35;
- concrete class at maximum permissible temperature – I3;
- residual strength after heating to 300°C – 0.6%;
- coefficient of thermal shrinkage of concrete – 0.57%;
- frost resistance – F1100;
- water resistance – W10.

References

1. Glovyn, N., et al. Technical, agricultural and physical sciences as the main sciences of human development. International Science Group, 2024.
2. Hladyshev, D., et al. Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions. International Science Group, 2023.
3. Христич, О. В., Черпаха, Д. В. (2019). Радіозахисний металонасичений бетон поліфункціонального призначення. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 37-45.
4. Іванов, О. А. Композиційні вогнетривкі бетони. Національний університет цивільного захисту України, 2024.
5. Лемешев М.С. В'яжуче на основі промислових відходів // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2017: матер. междунар. научно-практ. Интернет-конф., 10-17 октября 2017 г. SWorld, 2017.
6. Березюк, О. В., et al. "Перспективи використання техногенної сировини при виробництві композиційних в'яжучих." Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. № 2: 36-45. (2022).
7. Стаднійчук, М. Ю. Спеціальні композиційні покриття для захисту металевих конструкцій під час пожежі. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2022.
8. Hladyshev, D., et al. Prospective directions of scientific research in engineering and agriculture. International Science Group, 2023.
9. Лемешев, М. С., М. Ю. Стаднійчук "Жаростойкое вяжущее на основе промышленных отходов." Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: 168-171. (2019).
10. Іванов, О. А. Енергоефективні вогнестійкі бетони. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2025.
11. Лемішко, К. К. Жаростійке в'яжуче з використанням відходів промисловості. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 2019.
12. Лемешев, М. С. Особливості використання промислових відходів Вінниччини. Академія технічних наук України, 2019.
13. Березюк, О. В. Фосфогіпсозолоцементні та металофосфатні в'яжучі з використанням відходів виробництва. Київський національний університет будівництва і архітектури, 2011
14. Медведь, Я. О. Спеціальні жаростійкі бетони з використанням промислових відходів. Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2021.

Стаднійчук Максим Юрійович, аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com

Лемешев Михайло Степанович, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: mlemeshev@i.ua

Stadnychuk Maksym, graduate student of the Department of Construction, Municipal Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: b15.stadnychuk@gmail.com

Lemeshev Mikhail - Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University, e-mail: mlemeshev@i.ua