

УДК 691.3

**УСКОРЕННАЯ КАРБОНИЗАЦИЯ ФОРМОВОК ИЗ
СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ
ИЗДЕЛИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Романенко И.И.,

к. т.н., доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, г. Пенза

Фадин А.И.,

аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, г. Пенза

Петровнина И.Н.,

к. т.н., доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Россия, г. Пенза

Аннотация

Разработана технология получения изделий строительного назначения на основе шлаков сталеплавильного производства. В качестве активатора твердения применяли углекислый газ при определенном давлении и температуре. Технология направлена на получение мелкогабаритных изделий для получения стеновых камней и брусчатки для дорожного строительства на основе гиперпрессования с прочностью 25,0-35,0 МПа. В формовочных смесях не применяется портландцемент и другие вяжущие. Карбонизированные образцы обладают техническими свойствами, эквивалентными изделиям из бетонов на основе портландцемента. Предлагаемая технология позволяет

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

утилизировать выбрасываемый в атмосферу углекислый газ и сталеплавильные шлаки – побочные продукты металлургической промышленности.

Ключевые слова: сталеплавильные шлаки, формовочные образцы, активация, углекислый газ, прочность, водостойкость, долговечность.

***ACCELERATED CARBONIZATION OF MOLDINGS FROM
STEELMAKING SLAG FOR THE PURPOSE OF OBTAINING
CONSTRUCTION PRODUCTS***

Romanenko I.I.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Fadin A.I.,

graduate student

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Petrovnina I.N.,

Ph.D., Associate Professor

Penza State University of Architecture and Construction

Russia, Penza

Annotation

A technology has been developed for producing construction products based on steelmaking slags. Carbon dioxide was used as a hardening activator at a certain pressure and temperature. The technology is aimed at producing small-sized products for producing wall stones and paving stones for road construction based on hyperpressing with a strength of 25.0-35.0 MPa. Portland cement and other binders are not used in molding sands. Carbonized samples have technical properties equivalent to

products made from Portland cement-based concrete. The proposed technology makes it possible to utilize carbon dioxide emitted into the atmosphere and steel slag - by-products of the metallurgical industry.

Key words: steelmaking slag, molding samples, activation, carbon dioxide, strength, water resistance, durability.

Стальные шлаки широко используются в качестве дополнительных компонентов вяжущего на основе портландцемента или в виде заполнителей бетонной смеси. Однако, уровни замены портландцемента шлаками сталелитейного производства в комплексном вяжущем или переход с природных заполнителей на граншлаки и фракционные шлаки были ограничены или невозможны из-за низкой гидравлической активности шлаков, а также проявления тенденций к самораспаду [4].

Производство портландцемента является энергозатратным процессом с выделением в атмосферу углекислого газа, на долю которого приходится около 5-8% от общих мировых антропогенных выбросов CO₂ [4]. Получение бетонов на бесцементных вяжущих имеет большое значение для устойчивого развития строительства и строительной индустрии в целом. С другой стороны, применение вторичных ресурсов в производстве строительных материалов привлекает все большее внимание у исследователей из-за своего высокого потенциала к снижению выбросов углерода в атмосферу и загрязнением почв отходами металлургического производства на площадках складирования [1, 3].

В тоже время, основной компонент бетонов – сталеплавильный шлак, который представляет собой побочный продукт, образующийся при производстве стали. На площадках хранения шлаков в России накоплено около 450 миллионов тонн, в то время как его переработка составляет не более 5-10%. Большая часть стального шлака занимает площади сельскохозяйственных

угодий и способствует экологическому загрязнению воздуха, почв и подземных вод.

Шлаки сталеплавильного производства характеризуются высоким содержанием CaO и MgO. В тоже время, тонко измельченный шлак проявляет слабые гидравлические свойства из-за отсутствия в нем трехкальциевых силикатов и аморфного SiO₂ [2, 5]. Таким образом, простая замена части портландцемента на молотый сталеплавильный шлак в композиционном вяжущем вызывает снижение прочностных и других эксплуатационных показателей [3, 5]. Кроме того, вяжущее на основе шлаков с высоким содержанием свободного MgO/CaO вызывает чрезмерное расширение и, следовательно, способствует объемному расширению, приводящему к неконтролируемому трещинообразованию.

Шлаки данного типа не рационально применять в качестве заполнителей для бетонных смесей. Из-за риска чрезмерного расширения и образования концентраторов внутренних напряжений при твердении в условиях попеременного увлажнения и высушивания [5].

Целью проведенных исследований является получение бесцементных бетонов при производстве гиперпрессовых мелкоштучных изделий за счет твердения изделий в среде углекислого газа.

В исследованиях применяли шлак конвертерного производства Новолипецкого металлургического комбината (НМЛК). В таблице 1 представлен химический состав сталеплавильного шлака. Шлак фракции 0-10 мм, получаемый рассевом на ситах грохота.

Таблица 1 – Химический состав сталеплавильного производства НМЛК

Химические компоненты сталеплавильного шлака								
MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃	MnO	P ₂ O ₅	примеси
7,19	42,5	11,04	27,37	1,16	0,11	2,28	2,09	6,29

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

Шлак в основном состоит из оксида кальция, магния, железа и оксида кремния. В качестве примесей рассматриваются: оксиды хрома, ванадия, титана, натрия и калия.

В качестве активатора твердения использовали углекислый газ. Исследования проводили на образцах кубической формы 100×100×100 мм, отформованных на прессмашине при удельном давлении 450 кг/см², влажность смеси шлака составляла 8-10%. Выдержка в камере с углекислым газом 14 и 24 часа. Бетон подвергался карбонизационному отверждению с концентрацией CO₂ 99,4% и давлением 0,10 МПа в течение различной продолжительности (14 часов и 24 часа).

Степень прохождения реакции карбонизации определяли по поперечным сколам образцов и обработкой поверхности 1% спиртовым раствором фенолфталеина, который окрашивает активный СаО в малиновый цвет.

В таблице 2 приведены прочностные показатели на сжатие образцов бетона активированные во влажном состоянии в среде CO₂.

Таблица 2 – Предел прочности на сжатие образцов бетона из шлака сталеплавильного производства НЛМК

Индекс	Предел прочности (МПа) на сжатие в возрасте, час							
	24	168	672	примечание	24	168	672	примечание
	время выдержке в среде CO ₂ 14 часов				время выдержке в среде CO ₂ 24 часа			
С-1	11,4	15,9	21,7	трещин нет	34,7	44,6	50,8	трещин нет
С-2	10,5	14,9	20,1	трещин нет	33,1	44,0	50,6	трещин нет
С-3	10,7	15,2	20,6	трещин нет	32,9	43,7	49,7	трещин нет
С-4	11,0	14,9	21,3	трещин нет	33,8	44,6	48,9	трещин нет

Средняя компрессионная прочность образцов бетона после выдержки в камере с CO₂ 14 часов в возрасте 24 часа составляет 11,4 МПа, а аналогичные образцы бетона, выдержанные в камере с углекислым газом 24 часа, характеризуются прочностью 33,63 МПа, что в 2,95 раза выше.

ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

С увеличением возраста отверждения до 28 дней при хранении образцов бетона в камере нормального твердения ($T = 25 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 90 \pm 3 \%$) средняя прочность на сжатие и выдержке в среде углекислого газа 14 часов увеличилась относительно показателей при выдержке 24 часа до 20,93 МПа, что составляет 183,6%. Бетоны, выдержанные в среде углекислого газа 24 часа и твердеющие 28 суток показали среднюю прочность 50,00 МПа, что составляет 148,6%.

Прочность на сжатие бетона, подвергнутого отверждению в газовой среде CO_2 в течение 14 часов, была в 2,4 раз ниже, чем у соответствующего бетона при отверждении в газовой среде 24 часа в возрасте 28 суток набора прочности. Это связано с образованием карбонатов кальция, что и приводит к уплотнению микроструктуры бетона.

На основе индикаторного тестирования спиртовым 1,0% раствором фенолфталеина установлено, что поверхность сколов окрашивалась в возрасте 28 суток твердения на 78-83%, что подтверждает эффективность технологии по карбонизации бетонных образцов в среде углекислого газа под давлением. Это связано с уплотнением структуры бетона за счет образования карбонатов.

Выводы

1. Проведенные исследования показали возможность получения гиперпрессовых мелкогабаритных изделий на основе шлаков сталеплавильного производства.

2. Эффективный активатор набора прочности шлака – углекислый газ. В результате карбонизации сталеплавильного шлака в камере при повышенном давлении и определенной температуре выдержки образуется прочный искусственный камень.

3. Оптимальное время выдержки образцов в камере повышенного давления составляет 24 часа.

4. Максимальная средняя прочность бетона через 24 часа после карбонизации образцов бетона составляет 33,63 МПа.

5. Предварительная подготовка шлака сталеплавильного производства состоит в грохочении исходного материала с целью получения фракции 0 – 10 мм и последующей сушке до влажности 8 – 10 %.

6. Гиперпрессование позволяет создать условия для улучшения контакта между грубыми частицами шлака и мелкозернистыми и пылеватыми при оптимальной влажности в условиях ускоренной карбонизации шлака CO_2 .

7. На основе сталеплавильного шлака способом ускоренной карбонизации можно изготавливать не только тротуарную плитку, но бесцементные стеновые полнотелые камни марок 25, 35 и 50.

8. Использование сталеплавильного шлака в качестве заполнителя по традиционной литейной или прессовой технологии при производстве строительных изделий не рекомендуется вследствие разрушения структуры бетона от напряжений, создаваемых при гидратации свободного CaO и переклаза.

Библиографический список

1. Monkman S., Shao Y., Integration of carbon sequestration into curing process of precast concrete, *Can. J. Civ. Eng.* 37 (2010) pp.302-310.
2. Muhmood L., Vitta S., Venkateswaran D. Cementitious and pozzolanic behavior of electric arc furnace steel slags, *Cem. Concr. Res.* 39 (2009), pp. 102-109.
3. Romanenko I.I., Alexey Fadin A.I., Romanenko M.I. Carbonized Steel-Smelting Slag Is a Promising Raw Material for the Production of Artificial Concrete // *Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment Materials Research Proceedings* 21 (2022) pp. 28-31 <https://doi.org/10.21741/9781644901755-5>
4. Scrivener K.L., Kirkpatrick R.J. Innovation in use and research on cementitious material, *Cem. Concr. Res.* 28 (2008) pp. 128-136.
5. Unluer C., Al-Tabbaa A. Enhancing the carbonation of MgO cement porous blocks through improved curing conditions, *Cem. Concr. Res.* 59 (2014) pp. 55-65.

Оригинальность 84%