

УДК 666.973:691.33

ОСОБЕННОСТИ АРМИРОВАННЫХ ШЛАКОЛИТЫХ ФУНДАМЕНТНЫХ БЛОКОВ

ЩЕРБАК О. С. *

* Каф. экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24 а, Днепропетровск, Украина, 49600; тел. (0562) 46-93-71, e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Аннотация. *Постановка проблемы.* Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных энергозатрат, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения потребительских качеств выпускаемых изделий возникает необходимость в дополнительной термической обработке, что несколько усложняет их производство [1; 2]. *Цель.* Теоретическое и экспериментальное обоснование получения шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца. *Выводы.* Решение проблемы отходов должно рассматриваться с позиций так называемого промышленного метаболизма, согласно которому экономика, структура производства и потребления, а также качество жизни являются единой системой и соответственно единой социально-экономической проблемой.

Ключевые слова: *шлаковое литье, шлак силикомарганца, фундаментный блок, армирование, сталь.*

ОСОБЛИВОСТІ АРМОВАНИХ ШЛАКОЛИТИХ ФУНДАМЕНТНИХ БЛОКІВ

ЩЕРБАК О. С. *

* Каф. екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24 а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600; тел. (0562) 46-93-71, e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Анотація. *Постановка проблеми.* Виготовлення виробів із шлакових розплавів вигідне й економічне, оскільки не вимагає додаткових енерговитрат, відпадає необхідність у спеціальних плавильних печах і значно знижуються питомі капітальні вкладення і собівартість одиниці продукції. Проте для забезпечення споживчих якостей виробів, що випускаються, виникає необхідність в додатковій термічній обробці, це дещо ускладнює їх виробництво [1; 2]. *Мета.* Теоретичне й експериментальне обґрунтування отримання шлаколитих фундаментних блоків із шлаків силикомарганцю. *Висновки.* Вирішення проблеми відходів повинне розглядатися з позицій так званого промислового метаболізму, згідно з яким економіка, структура виробництва і споживання, а також якість життя є єдиною системою і відповідно єдиною соціально-економічною проблемою.

Ключові слова: *шлакове литво, шлак силикомарганцю, фундаментний блок, армування, сталь.*

FEATURES OF REINFORCED OF SLAGS CASTING OF FUNDAMENTAL BLOCKS

SHCHERBAK O. S. *

* Department Ecology and Invironmental Protection, State higher educational establishment the «Pridneprovskaya state academy of building and architecture», street of Chernyshevskogo, 24 and, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; tel. (0562) 46-93-71, e-mail: scherbak28@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4797-7225

Summary. *Purpose.* Theoretical and experimental ground of receipt of slags casting of fundamental blocks from the slags of silicomanganese. *Method.* It was got further development, theoretical pictures of forming of structure of slags casting wares, technology of making of slags casting of fundamental blocks is improved from the slags of silicomanganese, allowing to improve their fysical-mechanical properties due to re-enforcement. *Results.* Phase-mineralogical composition and the main fysical-mechanical properties of slags casting of the reinforced fundamental

blocks from the slags of silicomanganese is investigated, technology of production of slags casting of the reinforced fundamental blocks from the slags of silicomanganese is developed. *Scientific novelty.* Theoretical pictures of forming of structure of slags casting wares got further development, technology of making of slags casting of fundamental blocks from the slags of silicomanganese is improved, allowing to improve their physical-mechanical properties due to re-enforcement. *Practical meaningfulness.* Large wares for the decline of internal tensions reinforce a steel. As a coefficient of thermal expansion of slag less than, than became, at the cooling-down of wares a steel tightens founding densely, hindering formation of cracks. The reinforced slags casting wares can be applied in place of the combined teams of reinforced-concrete, they excel the last on прочностным indexes.

Keywords: slag casting, slag of silicomanganese, fundamental block, re-enforcement, steel.

Введение. Одной из важных составляющих устойчивого развития современного общества является экологическая безопасность и охрана окружающей природной среды (ОПС), большую опасность по отношению к которой представляют крупнотоннажные отходы промышленных предприятий. Выход шлаков ферросплавного производства на территории стран СНГ превышает 3,5 млн т в год, в том числе на предприятиях Украины приближается к 0,9 млн т в год. Низкий объём переработки отходов в Украине (10–15 %) обуславливает рост техногенного загрязнения всех компонентов ОПС. Проблема отходов имеет ряд серьезных экологических и экономических аспектов и требует принятия неотложных мер по её решению. Одним из перспективных и эффективных путей ее решения является использование промышленных отходов для создания новых технических материалов.

Производство изделий из шлаковых расплавов выгодно и экономично, поскольку не требует дополнительных энергозатрат, отпадает необходимость в специальных плавильных печах и значительно снижаются удельные капитальные вложения и себестоимость единицы продукции. Однако для обеспечения потребительских качеств выпускаемых изделий возникает необходимость в дополнительной термической обработке, что несколько усложняет их производство [1; 2].

Из расплавленных металлургических шлаков отливают разнообразные изделия: камни для мощения дорог и полов промышленных зданий, тубинги, бордюрный камень, противокоррозионные плитки, трубы и др. Литые изделия из шлакового расплава экономически более

выгодные, чем каменное литье, приближаясь к нему по механическим свойствам. Средняя плотность литых изделий из шлака достигает 3000 кг/м^3 , а предел прочности при сжатии — 500 МПа.

По износостойкости, жаростойкости и ряду других свойств шлаковое литье превосходит железобетон и сталь. Литые изделия из шлака эффективнее, чем сталь, в различных футеровках, например, бункеров и тачек для транспортирования абразивных материалов (руд, агломерата, щебня, песка и т. д.). Срок службы их в 5–6 раз больше срока службы стальной футеровки. На каждой тонне литых из шлака плит экономят не менее 2–3 т металла.

Не менее эффективна литая брусчатка для дорог и полов промышленных зданий. Срок службы автомобильных дорог из шлаколитой брусчатки между капитальными ремонтами в 2 раза больше, а эксплуатация дешевле, чем асфальтовых. Из шлака отливают тубинги для водонепроницаемых креплений горных выработок, жаростойкие блоки с температурой службы до $1100\text{--}1200 \text{ }^\circ\text{C}$, химически стойкие изделия.

Цель. Теоретическое и экспериментальное обоснование получения армированных шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца.

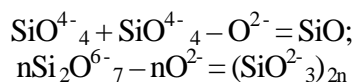
Методика. Получили дальнейшее развитие теоретические представления о формировании структуры шлаколитых изделий, усовершенствована технология изготовления шлаколитых фундаментных блоков из шлаков силикомарганца, позволяющая улучшить их физико-механические свойства за счет армирования.

Результаты. По химическому составу шлаки силикомарганца представляют собой

насыщенный по кремнезему расплав сложного состава, который может быть отнесен к системе $\text{SiO}_2 - \text{MnO} - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}, \text{K})_2\text{O}$. Среднестатистическое содержание компонентов в шлаках силикомарганца ОАО «НЗФ» составило: 50,56 % SiO_2 ; 14,9 % CaO , 4,39 % MgO , 15,12 % MnO пределы содержания остальных компонентов: 1,7–10,5 % $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O}$, 8–10% Al_2O_3 , 2–3% FeO , 0,6–1,2% S^{2-} . Среднеквадратичное отклонение при статистической обработке около 1 300 серийных рентгеноспектральных анализов составляло (мас. %): 0,29 – SiO_2 , 1,34 – CaO , 0,55 – MgO , 1,65 – MnO . Состав шлака расположен в ликвационной области SiO_2 вблизи линии выделения кристобалита с распространением в область кристаллизации волластонита, согласно тройной системы $\text{MnO} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$ [1; 2].

Полученные результаты показали, что наиболее эффективным методом формования расплава шлака Si-Mn без добавок является литье; формование изделий следует осуществлять при максимально возможных температурах расплава.

Многочисленные исследования [6–8] указывают, что с ростом SiO_2 в расплаве электропроводность снижается. Это объясняется уменьшением отношения $n\text{O}/n\text{Si}$, что сопровождается полимеризацией кремнекислородных анионов, например, по схеме:



Полимеризация, дробление кремнекислородных анионов, кристаллизация расплава обычно сопровождаются изломами на кривых температурной зависимости электропроводности, что особенно важно в дальнейшем при разработке технологии получения стеклокристаллических материалов. Величины полученных значений электропроводности шлаков силикомарганца в исследуемом температурном интервале согласуются с известными данными [6; 8] (рис.) для модельных расплавов системы CaO-MnO-SiO_2 .

Температурная зависимость электропроводности расплавов шлаков Si-Mn показала наличие перегибов при температурах 1 200–1 300 °С,

отражающее внутривидовые изменения в расплавах, связанных с их кристаллизацией.

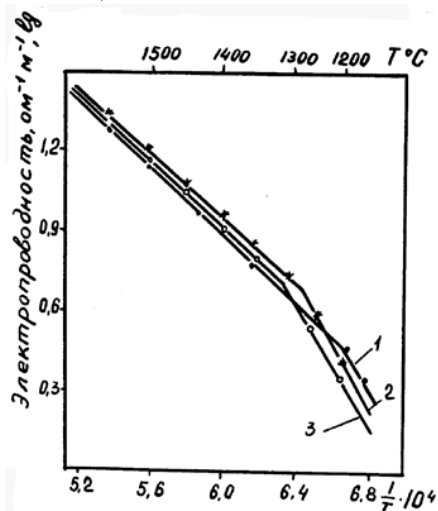


Рис. Температурные зависимости электропроводности шлаков

Примечание: Номера кривых соответствуют составам шлаков таблице 2.

Вязкость шлаковых расплавов не в полной мере характеризует их свойства и ее надо рассматривать в комбинации с поверхностными свойствами шлаков. Поверхностное натяжение и плотность являются важными статическими характеристиками шлаковых расплавов, от которых во многом зависят полнота и скорость протекания процессов углетермического восстановления, а также разделения шлаковой и металлической фаз. Взаимосвязь величин поверхностного натяжения и потерь металла в отвальных шлаках экспериментально подтверждена в [3]. Наиболее оптимальным, с этих позиций, является шлак с возможно наименьшим поверхностным натяжением и плотностью. Поверхностное натяжение играет значительную роль при удалении пузырей и гомогенизации шлакового расплава, способствует получению гладких поверхностей изделий [6; 8].

Исследованиями установлено [6; 8], что в зависимости от газовой среды поверхностное натяжение одного и того же силикатного расплава будет разным. Все газы (кроме азота) понижают поверхностное натяжение оксидных расплавов по сравнению с инертным протеканием процессов углетермического восстановления, а

также разделения шлаковой и металлической фаз. Наиболее оптимальным, с этих позиций, является шлак с возможно наименьшим поверхностным натяжением и плотностью.

Поверхностное натяжение играет значительную роль при удалении пузырей и гомогенизации шлакового расплава, способствует получению гладких поверхностей изделий [6; 8].

Влияние отдельных компонентов на удельную поверхностную энергию шлакового расплава оценивается критериями Ребиндера и Семченко [8]. Согласно первому, любой компонент, понижающий температуру плавления, понижает и его поверхностное натяжение расплава на границе с газом. Большой достоверностью отличается критерий Семченко, по которому влияние компонента на поверхностное натяжение

определяется величиной его «обобщенного момента» (M):

$$M = \frac{eZ}{R} \quad (1)$$

где: e – заряд электрона; Z – валентность иона; R – радиус иона, Å.

Известно, что замена закиси марганца кремнезема в составе оксидных расплавов повышает межфазное натяжение на границе раздела железомарганцевыми сплавами [3; 6]. Замена SiO_2 на оксид кальция при постоянном содержании TiO_2 ведет практически к пропорциональному увеличению поверхностного натяжения [4; 5]. Добавки MgO , FeO , Al_2O_3 увеличивают поверхностное натяжение шлаковых расплавов, а SiO_2 , P_2O_5 , TiO_2 уменьшают его [7].

Таблица 1

Поверхностное натяжение и плотность расплава шлака

Температура, °С	Поверхностное натяжение, кДж/м ²	Плотность, кг/м ³
1500	465	2820
1450	473	2910
1400	479	2920
1350	484	2980
20 ^x		3030

Закристаллизованные шлаки обладают рядом положительных эксплуатационных свойств: износостойкостью, термостойкостью, кислотостойкостью. Шлаковое литье по своим прочностным свойствам соответствует бетону марки 550–700, может работать при температурах до 900 °С. В качестве литых

изделий шлаковое литье может заменять металл, огнеупорные материалы, бетон. Срок службы оборудования, покрытого этим материалом, увеличивается в 1,5–6 раз. Основные характеристики изделий из шлакового литья приведены в таблице 1.

Таблица 2

Физико-механические свойства шлаков силикомарганца

Плотность, т/м ³	Предел прочности		Истираемость, кг/м ²		Водопоглощение, %		Кислотостойкость, %		Щелочностойкость, %
	при сжатии	при изгибе							
29	при сжатии 600	при изгибе 65	0,2	0,0	99,8	96			

При затвердении, кристаллизации и последующем охлаждении отливок усадка

шлака составляет 7 % объема, что вызвано изменением температуры и фазовыми

превращениями. Неравномерное распределение температур, колебания химического состава шлака приводят к возникновению напряжений, которые могут превышать предел прочности литья на растяжение и вызывать образование трещин. Термические напряжения в изделиях снимают в специальных печах для кристаллизации и отжига.

Для уменьшения напряжений и ликвидации усадочных явлений в отливках создают жесткий каркас наполнителя, в качестве которого используют кусковые шлаки. При отливке небольших плоских изделий количество наполнителя составляет 10–25 % объема, и он в основном расплавляется, аккумулируя тепло. В массивных изделиях наполнитель составляет до 40–60 % объема изделия и оплачивается лишь частично, снижая усадку и улучшая условия кристаллизации шлака. При этом возможно в широких пределах изменять среднюю плотность изделий, а также улучшать условия работы форм и значительно сокращать сроки охлаждения отливок.

Крупные изделия для снижения внутренних напряжений армируют стальной арматурой. Поскольку коэффициент термического расширения шлака меньше, чем стали, при остывании изделий стальная арматура плотно стягивает отливку, препятствуя образованию трещин. Армированные шлаколитые изделия можно применять вместо сборных железобетонных, они превосходят последние по прочностным показателям. Однако недостатками этих изделий являются: некоторое снижение прочности стали при высокой температуре шлакового расплава, а также сравнительно высокая трудоемкость изготовления. Для получения пористого шлакового литья выполняют поризацию шлакового расплава. С этой целью, например, на дно формы насыпают увлажненную коксовую мелочь или обрабатывают расплав водой. Из поризованного шлакового расплава формируют изделия разнообразных конфигураций. В зависимости от степени поризации средняя плотность литых изделий колеблется в

диапазоне 350—1500 кг/м³ при прочности на сжатие 1,5—30 МПа.

Научная новизна и практическая значимость. Изучение технологических свойств шлака силикомарганца показало, что температурная зависимость вязкости шлака Si-Mn подчиняется общим закономерностям вязкого течения кислых силикатных расплавов. Вместе с тем шлак силикомарганца является существенно более меньшим по сравнению с промышленным шлакоситаллом и каменным литьем; температурный интервал формования для шлака силикомарганца вдвое меньше, чем для шлакоситалла, и на 60°C короче, чем соответствующий интервал для каменного литья. Жидкотекучесть шлака силикомарганца при температурах формования составляет от 60 до 90 мм, что значительно выше, чем у каменного литья. Температурный коэффициент изменения поверхностного натяжения $\Delta\sigma/\Delta T$ расплава в интервале 1 500–1 250°C составляет $7,6 \cdot 10^{-2}$ кДж/см² и при снижении температуры на 100 °C увеличивается на 4 %, как для большинства составов силикатных расплавов.

Низкая вязкость и высокая жидкотекучесть расплава шлака Si-Mn в интервале 1 500–1 380°C, резкое нарастание вязкости и в интервале 1 380–1 320°C, обусловленное упорядочением структуры расплава, позволило научно обосновать метод формования изделий из огненно-гадкого шлака Si-Mn – высокотемпературное литье. Определены температурные интервалы основных температурно-фазовых превращений кристаллизации огненно-жидкого шлака при охлаждении.

Выводы. Решение проблемы отходов должно рассматриваться с позиций так называемого промышленного метаболизма, согласно которому экономика, структура производства и потребления, а также качество жизни являются единой системой и соответственно единой социально-экономической проблемой.

1. В соответствии с отмеченными заданиями основными мероприятиями использования важнейших видов отходов являются: обеспечение на металлургических

предприятиях в результате внедрения новых технологий и мощностей утилизации отходов, которые содержат железо (шламы, окалина, колосниковая и агломерационная пыль), с использованием остатков в

цементной промышленности вместо пиритных огарков.

2. Улучшение формирования шлаколитых фундаментных блоков за счет армирования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Большаков В. И. Использование отходов промышленности при производстве строительных материалов / В. И. Большаков, Н. В. Калиниченко, С. А. Щербак // Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions (conference), Warsaw, September, 2010 / Ed. by W. Szczesniak. – Warsaw, 2010. – V. 18. – P. 451-454.
2. Большаков В. И. Современное состояние в переработке жидких шлаков ферросплавного производства / Большаков В. И., Елисеева М. А., Спилник Н. В., Куцин В. С., Неведомский В. А., Щербак С. А. // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харківський нац. ун-т буд-ва та архітектури. – Харків, 2010. – Вип. 61. – С. 336-340.
3. Большаков В. И. Технология производства шлаколитых строительных материалов из шлаков силикомарганца / Большаков В. И., Камбаров О. А., Елисеева М. А., Неведомский В. А., Щербак С. А., Щербак О. С. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2010. – № 2–3. – С. 13-17.
4. Большаков В. И. Углеродотермия шлаков силикомарганца и пути их применения / Большаков В. И., Куцин В. С., Неведомский В. А., Щербак С. А., Елисеева М. А. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ, 2011. – № 5. – С. 4-8.
5. Будівельне матеріалознавство на транспорті / О. М. Пшінько, А. В. Краснюк, В. В. Пунагін, О. В. Громова. – Дніпропетровськ : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. транспорту ім. акад. В. Лазаряна, 2010. – 624 с.
6. Вагин В. В. Каменное и шлакокаменное литье. Практическая петургия : монография / В. В. Вагин, Л. Ф. Лекаренко, П. Драгоун. – Донецк : ПП Чернецка Н. А., 2011. – 244 с.
7. Зайцев А. И. Физическая химия металлургических шлаков / Зайцев А. И., Могутнов Б. М., Махназов Е. Х. – Москва : Интеконтакт Наука, 2010. – 269 с.
8. Попов К. Н. Строительные материалы / Попов К. Н., Каддо М. Б. – Москва : Студент, 2012. – 439 с.

REFERENCES

1. Bol'shakov V.I. Kalinichenko N.V., Shcherbak S.A. Ispol'zovanie othodov promyshlennosti pri proizvodstve stroitel'nyh materialov [The use of industrial wastes in the production of construction materials]. Theoretical Foundations of Civil Engineering. Polish-Ukrainian-Lithuanian Transactions (conference). Warsaw, 2010, V. 18, pp. 451-454. (in Russian).
2. Bol'shakov V.I., Eliseeva M.A., Spil'nik N.V., Kutsyn V.S. Sovremennoe sostoyanie v pererabotke zhidkih shlakov ferosplavnogo proizvodstva [The present state of a processing liquid slag ferroalloy production]. Naukovy visnyk budivnutstva – Scientific Bulletin of construction. Sbornik nauchnykh trudov - Collection of Scientific paper. Kharkiv, 2010. 336-340 p. (in Russian).
3. Bol'shakov V.I., Kambarov O.A., Eliseeva M.A., Nevedomskii V.A. Tehnologiya proizvodstva shlakolitynyh stroitel'nyh materialov iz shlakov silikomargantsa [Technology of production of slag cast building materials from slag silico]. Visnyk PDABA – Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 2010, no. 2-3, pp.13-17. (in Russian).
4. Bol'shakov V.I., Kutsyn V.S., Nevedomskii V.A., Shcherbak S.A. Uglerodotermyiya shlakov silikomargantsa i puti ih primeneniya [Carbon thermia of silicomanganese slag and the way of use them.]. Visnyk PDABA – Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 2011, no.5, pp.4-8. (in Russian).
5. Pshinko O.M., Krasniuk A.V., Gromova O.V. Budivel'ne materialoznavstvo na transporti [Construction materials on transport]. Dnepropetrovsk, Vudavnutstvo Dnipropetrovskogo natsionalnogo universitrtu zaliznychnogo transportu im.akad. V. Lazaryana 2010. 624 p. (in Ukrainian).
6. Vagin V.V., Lecarenko L. F., Dragoun P. Kamennoe shlakokamennoe lit'e [Stone and slag stone molding]. Donetsk, PP Chernetska N.A. 2011. 244 p. (in Russian).
7. Zaitsev A.I., Mogutnov B.M., Makhnazov E.Kh. Fizicheskaya khimiya metalurgicheskikh shlakov [Physical chemistry of metallurgical slags]. Moscow, Intecontact Nauka, 2010. 269 p. (in Russian).
8. Popov K.N., Kaddo M.B. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow, Student, 2012, 439 p. (in Russian).