

УДК 666.798.2

Иванова Л. А., Косицын Н. О., Шофул И. И.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ КОЛОСНИКОВ**

Керамические огнеупорные материалы (КОМ) находят широкое применение в промышленности для изготовления печей, топков и аппаратов, работающих в условиях нагрева до 1450–2000 °С [1–3].

Значительный практический интерес представляет изучение КОМ в качестве потенциального заменителя металлических материалов в виде легированных чугунов, используемых в металлургии для изготовления агломерата для металлургии чугуна. Объем производства агломерата в Украине для производства чугуна составляет ~ 50 млн. тонн в год, а расход колосников для приготовления вышеуказанного объема агломерата ~ 1,25 млн. тонн в год. Таким образом, возможность снижения расхода колосников посредством замены их на более стойкие и экономичные материалы является весьма актуальной.

Целью работы было разработка нового композиционного материала для изготовления отливок «Колосник».

Колосники для агломерационных машин изготавливаются из легированных чугунов: хромовых марки ЖЧХ2 с жаростойкостью в воздушной среде до 600 °С; кремнистых марки ЖЧС5 с жаростойкостью до 700 °С; высоколегированных марки ЖЧЮ6С5 с жаростойкостью до 800 °С [4]. Изучение износа колосников показал, что они в процессе работы быстро теряют свою геометрию, как по сечению, так и по длине см. рис. 1.

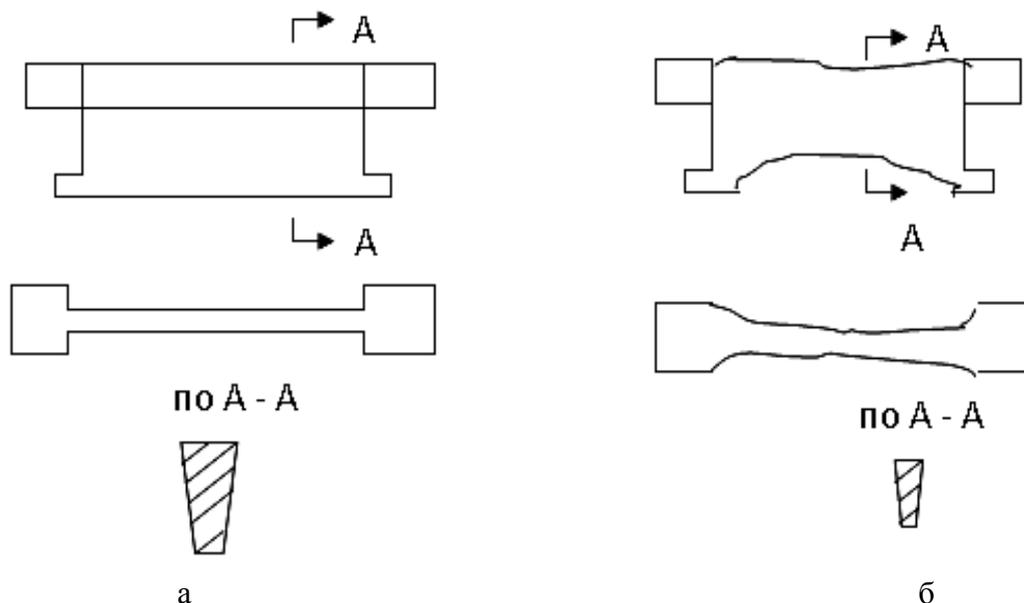


Рис. 1. Вид отливки «Колосник» агломерационной машины:

а – до начала работы машины; б – по окончании цикла работы машины и замене колосников

Агломерация заключается в спекании массы (шихты) включающей: железную руду (40–50 %), известняк (15–20 %), возврата мелкого агломерата (20–30 %), коксовой мелочи (4–6 %). Шихта имеет исходную влажность 6–9 %. Процесс спекания происходит при температуре ~ 1300–1500 °С, при этом из руды выделяется сера и фосфор, а также легкоплавкие

шлаки (CaO, MgO) и окислы (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Поэтому жаростойкость так и шлакоустойчивость чугунов, как материала колесников недостаточна и приводит к их быстрому разрушению (рис. 1, б).

В отличие от чугунов все виды КОМ имеют в 2–3 раза более высокую огнеупорность, ряд из них (магнезитовые, доломитовые, хромомagneзитовые шпинели) и шлакоустойчивость при взаимодействии со шлаками (CaO, MgO, FeO, MnO) образующимися при спекании агломерата. Однако в отличие от чугунов все виды КОМ имеют низкие механические характеристики и особенно прочности на разрыв, а так же показатели по термостойкости. Например, если легированный кремнистый чугун марки ЖЧС5 имеет показатель прочности на растяжение  $\sigma_B = 10\text{--}15$  кгс/мм<sup>2</sup>, то у огнеупоров регламентирован только показатель прочности на сжатие ( $\sigma_{сж}$ ). Например, для динаса  $\sigma_{сж} = 1,5\text{--}3,0$  кгс/мм<sup>2</sup>, а для магнезитового  $\sigma_{сж} = 3,5\text{--}4,0$  кгс/мм<sup>2</sup>. Выбор показателя  $\sigma_{сж}$  для огнеупоров обусловлен основным видом их применения в качестве строительного материала (кирпича) или металлургического припаса (трубки, тигли и др.). При работе колосников они подвергаются следующим воздействиям: ударным, например, при загрузке шихты в агломерационную машину; истиранию под влиянием перемешивания и отделения агломерата от колосников при его выгрузке; теплосменам при выходе «палеты» оснащенной колосниками из машины при выгрузке готового продукта (агломерата).

Известно, что армирование керамики вольфрамowymi и молибденовыми волокнами для изделий оборонной и космической промышленности [5] позволяет многократно повысить показатель прочности на растяжение композиционного материала (КМ). Однако стоимость таких материалов очень высока и их применение, например, в металлургии, экономически нецелесообразно.

Поэтому целью данного исследования была разработка экономичного КМ с керамической матрицей, упрочненной углеродистой сталью (прутками, волокнами, дисперсными частицами) применительно к условиям работы колосников агломерационных машин.

В соответствии с поставленной целью исследования необходимо решить следующие задачи:

– выбрать из группы стандартных огнеупорных керамических материалов наиболее перспективный по комплексу его основных рабочих характеристик (высокотемпературной деформации, шлакоустойчивости, прочности на сжатие, ценовой характеристике за единицу стандартного изделия);

– изучить влияние параметров технологии приготовления нового КМ с керамической матрицей упрочненной сталью на его трещиностойкость при термообработке, термоустойчивость,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{сж}$ , истираемость, поверхностную пористость, структуру до и после термообработки при 400, 600, 800, 1000 и 1200 °С;

– разработать методику моделирования работы колосника в агломерационной машине при температуре 1300–1500 °С из нового КМ и легированного чугуна типа ЖЧС5;

– разработать технологию по изготовлению опытной партии колосников и нового КМ;

– провести промышленное опробывание опытно-промышленной партии (на агломерационной машине либо Одесской ТЭЦ);

– разработать технологическую инструкцию на приготовление и испытание нового КМ с керамической матрицей упрочненной стальными элементами.

В табл. 1 приведена характеристика огнеупорности, прочности в холодном и горячем состоянии, шлакоустойчивости, термостойкости и относительной стоимости стандартных огнеупорных материалов. Данные по физико-химическим показателям взяты из работы Будникова П. П. [1].

Относительная стоимость определялась сопоставлением легированного чугуна для колосников и огнеупорных керамических материалов в ценах 2009 года (кирпичей) пересчитанных на массу в 1 кг. При этом стоимость 1 кг колосников принята равной единице. В качестве керамики для сравнения выбраны наиболее распространенные и экономичные материалы (табл. 1).

Таблица 1

Основные рабочие характеристики огнеупорных материалов типа керамики и бетона

Наименование материала	Огнеупорность, °С	Температура начала деформации, °С*	Шлакоустойчивость	Термоустойчивость, мин **	Прочность на сжатие, кгс/мм <sup>2</sup>	Относительная стоимость за 1 кг, ед
Шамот (плотный)	1580–1750	1250–1500	средняя	5–8	3–5	0,4
Динас	1710–1720	1600–1650	низкая	1–2	2,5–4,5	0,5
Хромомагнезит	1800–2000	1500–1550	высокая	3–30***	2,5–4,0	0,6
Огнеупорный бетон	1450–1800	1410–1540	средняя	н. д.	3,0–5,0	0,3

Примечание: \* – под нагрузкой 2 кг/см<sup>2</sup>; \*\* – нагрев до 850 °С, охлаждение в воде; \*\*\* – термостойкий состав.

Анализ данных приведенных в табл. 2 показывает, что наиболее перспективным огнеупорным материалом для разработки нового КМ упрочненного стальной по комплексу показателей следует принять огнеупорный бетон. Однако, для этого необходимо:

- повысить его механические характеристики армированием сталью;
- поднять шлакоустойчивость введением в поверхностный рабочий слой инертного к шлаку материала, например, графит черный литейный;
- определить режим термической обработки, обеспечивающий отсутствие трещин (при нагреве и охлаждении);
- отработать состав бетона, например, цемент глиноземистый (пылевидный и более крупный) ~ 7–15 % + наполнитель хромомагнезит 85–93 % .

Процессы отверждения с применением химических связующих достаточно известны, как в области литейного производства, так и при получении разнообразных материалов на основе диспергированных керамических и металлических наполнителей [1]. Сопоставляя преимущества и недостатки технологических режимов для придания необходимой прочности, выявлено новое техническое решение, обеспечивающее сочетание экономичности и требуемых эксплуатационных характеристик для широкой номенклатуры металлокерамических изделий: агломерационных колосников, шнеков, моделей, различных элементов со сложной геометрией и оснастки при формировании [2].

Основной задачей при получении металлокерамики считается упрочнение с минимальной пористостью, что обеспечивается спеканием при высокой температуре и длительностью выдержки. Пористость, искажение геометрических размеров, образование неоднородной структуры непосредственно связаны с условиями формообразования и режимов термической обработки.

Процесс формообразования металлокерамики включает основные технологические операции на базе диспергирования наполнителя, смешивание со связующим, получение однородной смеси и приготовление пресспорошка или шликера. Заключительной операцией в принятой схеме – формование изделия и термообработка.

Распределение зерен наполнителя и связующего непосредственно связано с характером макро и микроструктуры. Учитывая физическое различие по свойствам металлической и неметаллической составляющей в составе металлокерамики, разработана шликерная технология на безсвязующей основе при диффузионном отверждении в водопоглощающей оснастке [1].

Диспергированные составы шликера включаем тонкоизмельченные металлические отходы при дробеструйной обработке отливок, измельченные отходы стекольного производства, в качестве диспергированной среды – вода. Приготовление шликера в смесителях основано на расчете массы и соотношения исходных компонентов, исходя из химической формулы материалов и их плотностей.

Отверждение металлокерамического шликера при его заполнении гидрофильной гипсовой оснастки происходит в течение 10–15 минут. Шликер из жидкого состояния переходит в пластично-вязкое, представляющее сложную систему (рис. 2).

Отверждение металлокерамического шликера при соотношении наполнитель – вода (2 : 0,5) происходит при мокром прессовании в магнитном поле в гипсовой оснастке.

Совместное влияние процесса движения свободной влаги в шликере и диффузионных процессов при гидрофильной оснастке обеспечивают формообразование упорядоченной микроструктуры в металлокерамике и снижение пористости. Применены анизотропные постоянные магниты на основе твердых ферритов. Ориентация металлической составляющей водного шликера происходит в определенном направлении магнитных линий под действием внешнего магнитного поля и с учетом направления вектора движения диффузионного потока при контакте с гипсовой оснасткой.

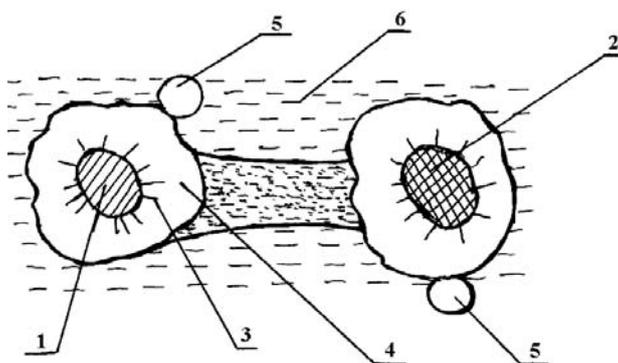


Рис. 2. Структура металлокерамической массы:

1 – тонкодисперсные металлические частицы; 2 – тонкодисперсные стеклообразующие частицы; 3 – диффузионная вода; 4 – адсорбированная вода; 5 – воздух; 6 – свободная влага

Сушка осуществляется при температуре 20–25 °С с последующей операцией обжига. Спекание происходит при температуре 900–1050 °С в течение 2–3 часов.

## ВЫВОДЫ

Разработан технологический процесс получения композиционного материала с керамической матрицей, упрочненной углеродистой сталью, для изготовления колосников.

Изготовление опытной партии агломерационных колосников показало преимущества разработанного технологического процесса и повышение качества изделия при снижении пористости и стабилизации микроструктуры металлокерамики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Технология керамики и огнеупоров* / П. П. Будников, А. С. Бережной и др. – М. : Стройиздат, 1962. – С. 128–130.
2. *Справочник : химическая энциклопедия [Электронный ресурс]*. – Режим доступа : <http://www.chemort.ru/chemical-encyclopedi>.
3. *Керамика : энциклопедия «Кирилл и Мефодий» [Электронный ресурс]*. – Режим доступа : <http://www.internetoff.com/keramika>.
4. *Гиршович Н. Г. Справочник по чугунному литью* / Н. Г. Гиршович. – Л. : Машиностроение, 1978. – С. 104, 114, 120.
5. *Армирование керамики металлическими волокнами [Электронный ресурс]*. – Режим доступа : <http://www.Bank.Referatov.ru>.