

А.К. НАДЫРБЕКОВ, С.Н. ЛИС, Б.П. ХАСЕН, Ю.Ю. СМОЛЕНКОВ*

ТОО «Институт проблем комплексного освоения недр», г. Караганда

* *opi@ipkon.kz*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ШЛАКА ПРОИЗВОДСТВА РАФИНИРОВАННОГО ФЕРРОХРОМА

В настоящее время лишь 10–15% металлургических отходов используются как вторичные материальные ресурсы. Производство вяжущих материалов относится к наиболее эффективным областям применения металлургических шлаков, однако, даже при самом благоприятном химическом составе, металлургические шлаки не проявляют химической активности при взаимодействии с водой. В статье приведены результаты экспериментальных исследований по повышению вяжущих свойств шлака производства рафинированного феррохрома. Установлено, что возможно эффективное повышение (в 3–3,5 раза) вяжущих свойств саморассыпающегося шлака производства рафинированного феррохрома в шлакощелочном вяжущем путём добавления шлака производства высокоуглеродистого феррохрома или рукавной пыли газоочистки в количестве 14,5–14,6 %. Проведенные исследования подтвердили правильность методики определения массовой доли компонентов в смеси, рассматривающей многокомпонентные материалы как сложную открытую термодинамическую систему.

Ключевые слова: шлак производства рафинированного феррохрома, шлак производства высокоуглеродистого феррохрома, рукавная пыль газоочистки, многокомпонентные материалы

Введение. Современная строительная отрасль требует решения таких важных задач, как уменьшение материалоёмкости основных строительных материалов и прирост объёмов строительства путём ресурсосбережения. В этой связи актуальной является проблема переработки вторичного сырья при производстве строительных материалов. Экономическая целесообразность этого обусловлена тем, что строительные материалы, которые изготовлены с использованием отходов, на 20–50% дешевле, чем из природного минерального сырья. Таким образом, эффективное применение отходов не только освободит значительную часть земельных угодий, исключит расходы, связанные с устройством и эксплуатацией отвалов, но и решит ряд таких важных проблем как снижение себестоимости и повышение физико-механических свойств строительных материалов, расширение сырьевой базы стройиндустрии и комплексное использование сырьевых ресурсов. На данный момент лишь 10–15% отходов используются как вторичные материальные ресурсы, а остальные находятся в шлаконакопителях, терриконах, хранилищах. Это связано с недостаточным исследованием структуры как самого сырья, так и механизма формирования структуры строительных материалов и изделий из отходов. Поэтому для успешного решения этих вопросов требуется проведение научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ.

Производство вяжущих материалов относится к наиболее эффективным об -

ластям применения металлургических шлаков и позволяет сократить производственный цикл изготовления вяжущих, а главное исключить такой энергоёмкий процесс как обжиг, так как образование структурообразующих соединений шлаковых вяжущих происходит в процессе охлаждения шлаковых расплавов. Таким образом, технологии производства строительных материалов из металлургических шлаков ещё обладают и высокими энергосберегающими качествами.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов. Главной задачей при производстве вяжущих из металлургических шлаков является повышение их гидравлической активности. Даже при самом благоприятном химическом составе ни быстроохлаждённые остеклованные, ни тем более медленноохлаждённые закристаллизованные шлаки при обычных температурах (до 15–25°C) практически не проявляют активности при взаимодействии с водой и, следовательно, не твердеют, что объясняется отсутствием или низким содержанием в них достаточно активных фаз. Однако, как показывают исследования, в шлаках, как в кристаллической, так и в стекловидной фазе, имеются составляющие, способные при раздельном или совместном воздействии на них механических, химических и тепловых факторов к взаимодействию с водой и твердению, что обусловлено образованием новых нерастворимых в воде химических соединений. Повышение гидравлической активности шлаков, а также вяжущих и заполнителей на их основе, позволяет раскрыть весь потенциал их возможностей и таким образом решить две важные и взаимозависимые задачи - повысить механические и эксплуатационные характеристики и снизить расход вяжущего в изделиях. Следовательно, определяющим фактором, от которого зависят свойства получаемого вяжущего, является выбор вида активизатора.

Нами проведены исследования трёх видов отходов производства феррохрома, различающиеся по своему составу и свойствам:

1. Саморассыпающийся шлак производства рафинированного феррохрома;
2. Шлак производства высокоуглеродистого феррохрома;
3. Рукавная пыль газоочистки.

Как показали проведенные исследования, эффективным активизатором для шлака производства рафинированного феррохрома является шлак производства высокоуглеродистого феррохрома. Использование этой добавки в количестве до 14–15% позволяет повысить прочность на сжатие ($\sigma_{сж.}$) образцов из шлака производства рафинированного феррохрома с жидким стеклом в 3,5 раза в трёхсуточном возрасте (рисунок 1), а также сократить время набора прочности.

Эти результаты позволили провести исследование по возможности использования шлака производства высокоуглеродистого феррохрома в силикатном закрепителе анкерных стержней для повышения его прочности. Использование шлака производства высокоуглеродистого феррохрома в количестве 20–25% в этом закрепителе позволяет повысить прочность камня из этого закрепителя в 1,2–1,4 раза через 10 минут после его схватывания.

Удельная поверхность и фракционный (зерновой) состав шлаков в значительной степени определяют свойства вяжущего на их основе. Для различных видов вяжущих существует такая оптимальная тонкость помола, при которой необходимые свойства вяжущего соответствуют оптимальному количеству энергозатрат.

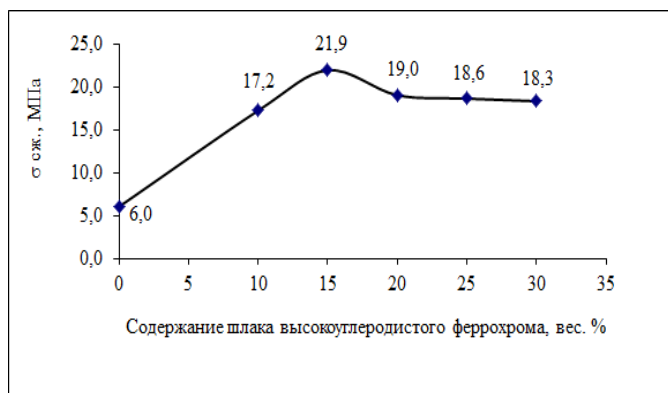


Рисунок 1 — Зависимость прочности образцов из шлака рафинированного феррохрома в трехсуточном возрасте от количества активизирующей добавки шлака высокоуглеродистого феррохрома

Наблюдается расхождение данных зависимости максимальной активности шлакощелочного вяжущего от величины оптимальной тонкости помола, полученные разными авторами. Также существует несоответствие относительно влияния частиц разных фракций на свойства вяжущего. В связи с этим нами были проведены исследования по влиянию зернового состава на свойства шлакощелочного вяжущего. При этом использовался саморассыпавшийся шлак производства рафинированного феррохрома, в который добавлялась рукавная пыль газоочистки. Гранулометрический состав этих компонентов показан в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты сухого и мокрого гранулометрического анализов шлака производства рафинированного феррохрома и рукавной пыли газоочистки

Размер классов, мм	Шлак производства рафинированного феррохрома, %		Рукавная пыль, %	
	сухой	мокрый	сухой	мокрый
+2	2,2	-	-	-
-2+0,63	3,5	-	-	-
+1	-	5,2	1,9	0,9
-1+0,63	-	1,5	1,9	0,5
-0,63+0,315	1,9	2,2	8,0	2,6
-0,315+0,2	2,6	1,4	14,3	5,8
-0,2+0,1	6,2	5,7	37,0	26,9
-0,1+0,071	7,2	5,6	18,7	5,9
-0,071+0	76,4	-	18,2	7,8
-0,071+0,045	-	7,6	-	-
-0,045+0	-	70,8	-	49,6
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00

В качестве жидкой фазы использовался состав низкомодульного жидкого стекла. Для данной двухфракционной системы определяли оптимальный состав путём добавления в шлак производства рафинированного феррохрома рукавной пыли газоочистки с шагом 5%. Результаты экспериментов представлены на рисунке 2.

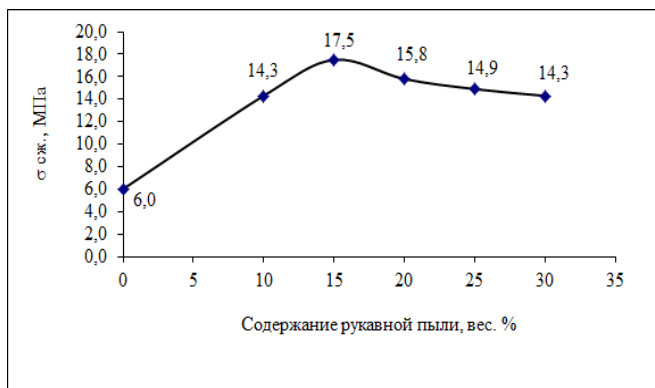


Рисунок 2 — Зависимость прочности образцов из шлака производства рафинированного феррохрома в трехсуточном возрасте от количества рукавной пыли

Наиболее высокой прочностью обладает состав 85% шлака производства рафинированного феррохрома и 15% рукавной пыли. Повышение прочности в значительной степени может быть связано с получением более плотной упаковки смеси путём перераспределения частиц в объёме. Вероятно, что пустоты, создаваемые более крупными зёрнами, заполняются зёрнами меньшего размера. Здесь же возможна высокая скорость гидратации этих мелких частиц, которая обусловлена увеличением поверхности взаимодействия этих частиц с жидкой фазой.

Многокомпонентные материалы представляют собой сложную термодинамическую систему. В современной теории систем, диагностике их качественных состояний большое значение имеет последовательность, генерируемая уравнением [1-5]:

$$X^{n+1} + X - 1 = 0,$$

где: n – любое целое натуральное число.

Положительные корни этого уравнения (X) образуют последовательность, приведенную в таблице 2 для значений кратности $n = 0, 1, 2, \dots 9$.

Таблица 2 – Корни уравнения

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	0,5000	0,6180	0,6823	0,7245	0,7549	0,7781	0,7965	0,8117	0,8243	0,8351

Эта последовательность образует шкалу степени организации системы, а корни уравнения являются узловыми точками на этой шкале. Отсюда – возможность оперировать последовательностью X как оптимальными интегральными, структурными показателями различных систем, мерами гармоничности неких сложных наборо-

ров ингредиентов, образующих целое. Всякий ансамбль (части целого, элементы множества, вероятности или частоты событий) может быть охарактеризован таким интегральным показателем. Приравняв его к одному из ряда чисел X , получаем базовое соотношение для гармонизации ансамблей, смесей (микстов), составов, частей целого. Спектр действия, основанный на этой технологии гармонизации, широк, особенно при производстве любого сложносоставного продукта. Поскольку практически все используемые вещества представляют собой структурно сложные составы - смеси, соединения простых компонентов - легко представить, сколь велик диапазон оптимизирующего действия этого закона. Если воспользоваться рядом значений X процесс технологического конструирования структурно сложного продукта обретает характер научно направленного эксперимента, поскольку внимание концентрируется только на перспективных вариантах, а варианты, не гарантирующие качества, в таком случае исключаются.

Согласно работе [6], массовая доля компонентов смеси определяется одним из членов последовательности, приведенной в таблице 2 или его производными. В нашем случае для смеси рафинированного феррохрома с высокоуглеродистым феррохромом или рукавной пыли этот алгоритм будет следующим: $(0,618)^4 = 0,146$; т.е. оптимальным количеством добавки высокоуглеродистого феррохрома или рукавной пыли в шлак производства рафинированного феррохрома, исходя из этой методики, будет являться 14,6%, что и подтвердили вышеприведенные исследования.

Результаты исследования ещё раз подтвердили правильность методики [6] определения количественных соотношений компонентов в смеси.

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования показывают, что возможно эффективное повышение (в 3–3,5 раза) вяжущих свойств саморассыпающегося шлака производства рафинированного феррохрома в шлакощелочном вяжущем путём добавления шлака производства высокоуглеродистого феррохрома или рукавной пыли газоочистки в количестве 14,5–14,6%. Эти исследования подтвердили правильность методики определения массовой доли компонентов смеси, рассматривающей многокомпонентные материалы как сложную термодинамическую систему.

ЛИТЕРАТУРА

1 Лис С.Н., Казанцева Г.В. Пространственные связи в системной организации пород в земных недрах // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030»: Труды Междунар. научн. конф. (Сагиновские чтения №2). – Караганда: КарГТУ, 2010 – Ч.3.- С.254 – 256.

2 Лис С.Н. Определение границ зон геомеханического состояния и газовой динамики в подработанном и надработанном горном массиве // Предупреждение техногенных аварий, обусловленных изменением геомеханического состояния массива в процессе разработки месторождений полезных ископаемых Республики Казахстан: Сборн. докл. и выступл. II-ой науч.-практ. конф. – Караганда: КарГУ, 2011, С. 73 – 75.

3 Лис С.Н. Определение границ зон дезинтеграции горных пород при подземных взрывах // Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности: Сборн. трудов XIII Междунар. научно-практич. конф., Кемерово: КВК «Экспо-Сибирь», 2011, С. 29 – 33.

4 Лис С.Н., Вареха Ж.П. Закономерности дезинтеграции горных пород вблизи капитальных и подготовительных выработок // Комплексное использование минерального сырья.- 2012.- № 2.- С. 23 – 29.

5 Лис С.Н. Исследование закономерностей зонального проявления динамических явлений в шахтах и рудниках в зависимости от глубины разработки // Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности: Сборн. трудов XIV Междунар. научно-практич. конф., Кемерово: КВК «Экспо-Сибирь», 2012.- С. 10–13.

6 Вареха Ж.П., Лис С.Н. Методологические основы разработки многокомпонентных материалов // Горный журнал Казахстана.- 2013, № 1-2.- С. 84-86.

Түйіндеме

Қазіргі уақытта тек 10-15% металлургиялық қалдықтар екінші материалдық ресурстар сияқты пайдаланылады. Байланыстырғыш материалдар өндірісінің ең тиімді қолдану облыстарында металлургиялық қож жатады, алайда тіпті металлургиялық күйінділердің химиялық құрамы өзара іс-әрекетте сумен химиялық белсенділік көрсетпейді. Мақалада көрсетілген тазартылған феррохром өндірісі қожның жоғарылау (3–3,5 ретте) бойынша байланыстырғыш құрылымдарын тәжірбелік зерттеу нәтижелерін, сол сияқты көрсетілген тазартылған феррохром өндірісінің қожның байланыстырғыш құрылымдарының жоғарылау айқындылығы мүмкін, жоғарғы көміртекті феррохром өндірісінің қожына байланыстырғыш үстеме қосу немесе газтазартушы жеңушы тозаңының сапасында 14,5-14,6%. Өткізілген зерттеулер қоспа компоненттерінің массалық үлесін анықтай отырып әдістің дұрыстығын растады, ашық күрделі термодинамикалық жүйе сияқты көпкомпонентті материалдар қарастырылған.

Түйін сөздер: тазартылған феррохром өндірісінің қождары, жоғарғы көміртекті феррохром өндірісінің қожы, газтазартушы жеңушы тозаңы, көпкомпонентті материалдар

Summary

Now only 10 - 15% of metallurgical wastes are used as secondary material resources. Metallurgical slag is most effectively used in the production of binding materials. However, metallurgical slags with favorable chemical composition never show chemical activity in contact with water. The results of experimental studies on improving the binding properties of slags from the refined ferrochrome production are given in the paper. These studies show that it is possible to significantly improve (3-3,5 times) the binding properties of self-scattering slag from the refined ferrochrome production in the slag-alkaline binder by adding 14,5-14,6% of slag from the high-carbon ferrochrome production or baghouse dust of gas cleaning. The carried out research has proved correctness of the technique for determination of a mass fraction of the components in the mixture considering multicomponent materials as a complicated open thermodynamic system.

Keywords: slag of refined ferrochrome production, slag of high-carbon ferrochrome production, baghouse dust of gas-cleaning, multicomponent materials, binding materials

Поступила 15. 03. 2013