

УДК 622.785.05

**А.С.Нестеров, А.В.Пивненко, В.С.Якушев, Л.И.Гармаш, В.В.Горупаха****ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ НОСИТЕЛЕЙ МАГНЕЗИИ НА ПРОИЗВОДСТВО  
ОФЛЮСОВАННОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТА**

Целью работы является изучение возможности использования флюсов различного состава, содержащих магнезию и железо, качестве компонента аглошихты. Определено изменение шихтовых условий производства агломерата при использовании флюсов различной основности и содержания MgO. Для ряда флюсов установлено их влияние на результаты спекания и качество агломерата. Показано, что повышенное содержание железа в агломерате при частичном использовании магнезиального концентрата позволяет вовлечь в агломерационный передел дополнительное количество вторичных ресурсов.

**носители магнезии, флюсы различного состава, шихтовые условия, агломерат, основность, спекание.**

**Состояние вопроса.** Высокое содержание мелочи в агломерате обуславливает перерасход кокса в доменной плавке и ухудшение качества чугуна, связанное с повышением в нем содержания кремния и серы. К перерасходу кокса приводит также необходимость ввода в доменную шихту сырого известняка и колеблемость химического состава сырья, нарушающая шлаковый режим плавки. Если улучшение гранулометрического состава агломерата можно достигнуть путем механической обработки и многостадийного грохочения, то улучшение исходной прочности, свойств при восстановительно-тепловой обработке и свойств, обеспечивающих оптимальный шлаковый режим, возможно достичь только путем управления составом вещества агломерата и его структурой. На большинстве агломерационных фабрик отрасли механическая обработка спека отсутствует или несовершенна, и, следовательно, оптимизацию качества продукта возможно вести лишь по второму пути.

Влияние основности на качество продукта реализуется через изменение его минералогического состава и структуры. Свойства могут изменяться как в благоприятную, так и неблагоприятную стороны. Агломерат необходимой для доменной плавки основности (1,2–1,5 ед.) находится в «провале» по холодной прочности [1,2].

Работами ИЧМ, ДМетИ, МИСиС [3–5] достаточно подробно вскрыт механизм этого явления при спекании шихт с кислой, частично сопугствующей ей магнезиальной и глиноземистой пустой породой, заключающейся в полиморфном превращении  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  с увеличением объема при охлаждении и кристаллизации расплава, реализацией при этом внутренних напряжений в продукте. Установленный в исследованиях процесс минералообразования напрямую связан с температурно–тепловыми условиями спекания. Отсюда рекомендовано его ограничение в технологически оправданных пределах [6,8].

Восстановимость агломерата с повышением основности возрастает благодаря замене трудно восстановимого фаялита более легко восстановимыми железокальциевыми оливинами и, в особенности, ферритами. Кроме того, происходит «активация восстановления» [7], связанная с увеличением пористости тела спека. Последний фактор считается определяющим [9]. Усиление шлаковой связки с повышением основности в определенных пределах увеличивает прочность агломерата при восстановлении. Температура плавления восстановленного агломерата растет [10].

Влияние магнезии на свойства агломерата по данным большинства исследований является благоприятным. Холодная прочность агломерата с содержанием MgO в пределах 1–2 % возрастает в связи с появлением ряда новых фаз, получением мелкокристаллической структуры спека. Исследованиями ИЧМ и «ДМК им. Дзержинского» [11,12] установлено, что при определенном содержании магнезии вместо обычного стекла образуется ситалл – двухкомпонентная композиция дендритов воластонита (Ca,Mg,Fe) SiO<sub>2</sub> в стекле. Такая композиция придает материалам высокую механическую прочность [13].

Магнезия тормозит образование и ускоряет термический распад Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, способствует образованию Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и уменьшает разрушение агломерата при низкотемпературном восстановлении, смещает интервал размягчения в область более высоких температур [14–15].

Носителями магнезии в агломерационном производстве традиционно выступают доломитизированные известняки и доломиты Донецкого региона добычи. В определенной степени их периодически дополняют поставками доломита и железорудного концентрата с магнезиальной пустой породой из Российской Федерации. Однако, если первый путь можно в дальнейшем признать перспективным, то использование железорудного магнезиального концентрата Ковдорского ГОКа (Кольский полуостров РФ) следует рассматривать только как возможный [16], тем более через агломерацию с традиционными украинскими шихтовыми материалами.

Вызывает интерес возможность использования предварительно обожженного в шахтной печи кускового сидерита непосредственно в доменной плавке или его отсева после обжига и под бункерами доменных печей (КОС) в качестве компонента аглошихты [17–19], содержащего магнезию и железо.

**Целью работы** является изучение возможности использования флюсов различного состава, содержащих магнезию и железо, качестве компонента аглошихты.

**Методика исследований.** Были исследованы шихтовые условия и результаты спекания агломерата, офлюсованного различными носителями кальция и магния. Проведены расчеты изменения шихтовых условий при вовлечении в агломерат различных носителей магнезии, выполнены лабораторные спекания офлюсованных CaO и MgO шихт, характерных по составу железорудных составляющих и вторичного сырья для заводских

аглофабрик отрасли и оценено качество полученного в результате спекания агломерата.

Были проведены спекания железорудных материалов в соотношении концентрат : аглоруда = 66,85 : 33,15 % и различных флюсов, химический состав которых приведен в табл.1.

Таблица 1. Состав железорудных компонентов и флюсов

Компонент		Содержание, %					
		Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ппп
Аглоруда		56,47	15,45	0,19	0,47	1,58	0,0
Ингулецкий концентрат		67,11	5,68	0,13	0,32	1,55	0,0
Ковдорский концентрат		63,98	0,61	0,43	5,55	2,32	0,0
а	Известняк	0,21	1,38	53,97	0,66	0,50	42,37
б	Известняк	0,21	1,60	52,72	1,91	0,60	42,39
в	Известняк	0,39	2,10	51,47	3,16	0,38	42,90
г	Известняк доломитизированный	0,30	1,80	45,45	7,70	0,53	44,52
д	Обоженный сидерит (КОС)	48,20	4,00	1,24	16,83	1,23	1,80
е	Доломит	0,30	2,00	30,90	21,90	0,10	43,40

В качестве концентрата использовался или чистый ингулецкий концентрат или их смесь с ковдорским в соотношении: ингулецкий концентрат : ковдорский концентрат : руда = 32,00 : 34,85 : 33,15 %. Специфика ковдорского концентрата в том, что он практически не комкуется – это заметно снижает скорость спекания. Вместе с тем, низкое содержание кремнезема дает возможность увеличить долю железа в агломерате и сохранить высокую удельную производительность. Пониженное содержание шлакообразующих в шихте и зависящего от них процесса жидкофазного спекания при использовании ковдорского концентрата для поддержания высоких прочностных характеристик потребовало увеличение коксовой мелочи на спекание с 63,6 до 64,0 кг/т агломерата. Возврат подготавливался предварительно и вводился в шихту в количестве 20%. Расход техногенных добавок и топлива (коксовой мелочи) выдерживался постоянным (табл.2). Спекания проводились в агломерационной чаше Ø 220 мм при высоте слоя шихты 300 мм и разрежением под колосниковой решеткой 800 мм вод.ст. Зажигание осуществлялось газовой инъекционной горелкой в течение 90 сек.

В табл.3 представлены результаты расчетов составов агломератов при использовании разных кальций и магний содержащих флюсов. Основность агломерата по CaO/SiO<sub>2</sub> составляет 2,0 ед. Выбраны составы шихт для проведения опытных спеканий.

Для сравнения проведены спекания с использованием трех видов рядовых известняков (опыты 1,2,3 (табл.3)). В качестве опытных – (шихты опытов 10,11,12,15) с использованием известняка «в» в смеси с магнезиевыми добавками «г», «д», «е» (табл.1).

Таблица 2. Расход добавок при опытных спеканиях.

Наименование материала	Расход, кг/т агломерата
Шлам	29,9
Окалина	11,0
Конверторный шлак	11,9
Колошниковая пыль	40,9
Топливо	63,6
Отсев из-под бункеров доменной печи	107,3

**Изложение основных результатов исследований.** Использование в шихте более двух видов сырых флюсов технологически не оправдано, так как с учетом еще и традиционно используемой извести приводит к непредсказуемой колеблемости химического состава агломерата, особенно по основности и MgO, нарушению шлакового режима доменной плавки.

Использование рядовых известняков даже при повышении содержания в них MgO с 0,77% до 3,16% в данном случае не позволяло получить содержание MgO в агломерате выше 1,48% при использовании чистого ингулецкого концентрата. При заданной основности 2,0 ед. расход флюса даже увеличивается на 11,7 кг/т агломерата, а содержание железа уменьшается на 0,42 %.

В серии спеканий с доведением MgO в агломерате до 2,0 % магнезиевые добавки использовали с наиболее богатым по содержанию MgO рядовым известняком, что позволяет поддерживать стабильное содержание железа на уровне 50,75–50,80%. Повысить содержание MgO до 2,0 % возможно также при замене в рудной смеси части ингулецкого концентрата ковдорским. При этом содержание Fe в агломерате повышается до 52,4%.

Технологические показатели спекания и качество агломерата в исходном состоянии и при восстановительно–тепловой обработке, определенные по стандартной методике и методике ИЧМ [10,20], приведены в табл.4.

Улучшение прочностных свойств в исходном состоянии агломерата основностью 2,0 ед. и магнезией 2,0 % показали спеки, офлюсованные смесью рядового богатого известняка с доломитом или доломитизированным известняком (по сравнению с КОС на 2,3 – 2,9 %).

Таблица 3. Расход флюсов, аглоруды и концентрата на получение агломерата основностью CaO/SiO<sub>2</sub> 2,0 ед. и его химический состав.

№№ опытов	Расход, кг/т агломерата										Содержание в агломерате, %							
	Флюса										Σ Флюса	аглоруды концентрат	Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	а	б	в	г	д	е												
	268,6	-	-	-	-	-	268,6	-	-	-	268,6	215,3	434,2	51,54	8,46	16,92	0,77	1,80
	-	274,3	-	-	-	-	274,3	-	-	-	274,3	214,2	432,1	51,34	8,44	16,89	1,12	1,80
	-	-	280,3	-	-	-	280,3	-	-	-	280,3	213,1	429,8	51,12	8,43	16,85	1,48	1,80
	119,9	-	-	173,1	-	-	293,0	-	-	-	293,0	211,7	426,9	50,84	8,36	16,76	2,0	1,82
	255,7	-	-	-	75,1	-	330,8	-	-	-	330,8	193,8	390,8	51,02	8,15	16,31	2,0	1,79
	233,4	-	-	-	-	57,5	290,9	-	-	-	290,9	211,3	426,1	50,77	8,39	16,79	2,0	1,81
	-	145,0	-	147,4	-	-	292,4	-	-	-	292,4	211,7	426,9	50,84	8,37	16,77	2,0	1,82
	-	264,7	-	-	54,7	-	319,4	-	-	-	319,4	198,6	400,5	50,96	8,22	16,44	2,0	1,79
	-	247,5	-	-	-	42,9	290,4	-	-	-	290,4	211,3	426,2	50,78	8,40	16,80	2,0	1,81
0.	-	-	183,4	108,1	-	-	291,5	-	-	-	291,5	211,6	426,8	50,83	8,38	16,78	2,0	1,81
1.	-	--	274,4	-	32,9	-	307,3	-	-	-	307,3	203,7	410,9	50,91	8,29	16,59	2,0	1,79
2.	-	-	263,4	-	-	26,5	289,9	-	-	-	289,9	211,4	426,3	50,80	8,40	16,80	2,0	1,80
3.	-	-	-	311,4	-	-	311,4	-	-	-	311,4	227,6	458,9	50,32	8,29	16,58	2,98	1,84
4.	-	-	-	-	-	436,7	436,7	-	-	-	436,7	393,0	792,5	45,74	7,95	15,90	10,01	1,87
5.	228,1	-	-	-	-	-	228,1	-	-	-	228,1	223,4	450,6*	52,4	7,41	14,82	1,98	2,01

\* - смесь ингулецкого и ковдорского концентратов

Таблица 4. Результаты опытных спеканий аглошихт различного состава.

Показатели	Шихтовые условия согласно спеканиям (табл.3)						
	1	2	3	10	11	12	15
Насыпная масса шихты, т/м <sup>3</sup>	1,73	1,73	1,73	1,65	1,67	1,64	1,77
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	21,4	21,4	21,31	22,51	21,74	22,81	20,8
Выход годного, %	69	69,2	69,2	70	69,3	69,4	68,8
Удельная производительность, т/м <sup>2</sup> час	1,24	1,25	1,27	1,29	1,26	1,28	1,24
ГОСТ 15137 - 79							
Прочность (+ 5 мм), %	77	77,1	77,8	79	77,1	79,4	77,9
Истираемость (-0,5 мм), %	6	6	6	5,8	6,1	5,8	5,9
Методика ИЧМ							
t н.ф., °С	1390	1400	1410	1426	1428	1425	1447
FeO, %	8,72	6,54	4,35	1,12	1,42	1,14	3,2
Пк (бал) [20]	11,71	11,8	11,92	12,18	11,85	12,14	13,83

Поскольку доломитизированный известняк и, особенно, доломит обладают повышенными прочностными свойствами, их дробление должно сопровождаться усилением контроля за качеством помола. В случае технических затруднений допустимо изменение основности и содержания MgO только в сторону уменьшения, например, до 1,8 ед. и 1,8 % соответственно, или увеличение содержания кальциевой и магниевой извести.

Поскольку КОС не содержит CaO, общий расход флюсов с использованием его как магниезиальной добавки возрастает на 15–18 кг/т агломерата. Вопрос его использования решается в каждом конкретном случае условиями поставок или ценовой политикой.

**Закключение.** Анализ лабораторных спеканий аглошихт, содержащих повышенное содержание оксида магния в флюсовой или железорудной оставляющей, контроль качества лабораторных агломератов и расчетно-аналитический прогноз их металлургической ценности показывают, что:

- в зависимости от носителя оксида магния (при равной основности агломерата) содержание железа общего в агломерате может изменяться в пределах от 50,77 до 52,4%;
- удельная производительность аглопроцесса (т/м<sup>2</sup>час) с повышением содержания оксида магния в агломерате повышается. Причем мак-

симальная удельная производительность зафиксирована при спекании агломерата на смеси рядового и доломитизированного известняка;

- наилучшие прочностные характеристики агломерата основностью 2,0 ед. показали спеки, офлюсованные смесью рядового богатого известняка с доломитом или доломитизированным известняком;

- ввод в состав аглошихты КОС снижает исходную прочность агломерата на 1,9–2,3%;

- использование в составе шихты ковдорского концентрата, обеспечивающего содержание MgO на уровне 2%, несмотря на снижение удельной производительности по спеку (т/м<sup>2</sup>час) на 3,6–4%, повышает металлургическую ценность агломерата на 1,65–1,69 балла, что соответствует сокращению расхода кокса на 8–8,5 кг/т чугуна;

- повышенное содержание железа в агломерате при частичном использовании магнезиального концентрата позволяет вовлечь в агломерационный передел дополнительное количество вторичных ресурсов.

1. *Вегман Е.Ф.* Теория и технология агломерации. – М.: Металлургия, –1974. – 286 с.
2. *Совершенствование* технологии агломерационного процесса. / Ф.Ф.Колесанов, Н.С. Хлапонин, В.Н.Кривошеев, В.И.Чикуров. – К.: Техніка, – 1983. – 110 с.
3. *Якушев В.С., Болденко М.Г., Балмагамбетов И.Х.* Причины разупрочнения промышленного агломерата повышенной основности. / Всесоюзная научно техническая конференция «Теория и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке» (тезисы докладов) – Днепропетровск: ДМетИ, 1985. – С.60.
4. *Смирнов С.В., Смирнова Е.А.* Особенности структурообразования железорудных спеков основностью 1,1-2,0 и их прочность. / Всесоюзная научно техническая конференция «Теория и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке» (тезисы докладов) – Днепропетровск: ДМетИ, 1985. – С.53–54.
5. *Гринвальд А.А., Балмагамбетов И.Х.* Влияние основности на прочностные характеристики спека и распределение FeO в продуктах его обработки. / Всесоюзная научно техническая конференция «Теория и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке» (тезисы докладов): – Днепропетровск: ДМетИ, 1985. – С.172.
6. *Механизм* минералообразования и металлургические свойства агломератов основностью 1,1 – 3,1 в условиях ММК. // Т.Я.Мальшева, Ю.С. Юсфин, Н.Р.Мансурова и др. // Сталь. – 2007. – №2. – С.19–22
7. *К вопросу* об оптимизации основности агломерата и окатышей // А.С.Нестеров, И.Х.Балмагамбетов, Н.А.Гладков, В.С.Якушев, Н.А. Гребенкин. // Сталь. – 1989. – №11. – С.5–8.
8. *Леонидов Н.К.* Подготовка сырьевых материалов черной металлургии. – В кн.: Итоги науки и техники, т.14. – Производство чугуна и стали – М.: ВИНИТИ, 1983. – С.3–68.

9. *Шкодин К.К.* Роль физической структуры агломерата в восстановительных процессах. – В кн.: Форсирование доменной плавки. М.: Metallurgizdat, 1963. – С.92–106.
10. *Поведение железорудных материалов в процессах доменной плавки.* / Н.А.Гладков, В.А.Улахович, В.С.Якушев, А.С.Нестеров, Г.М.Дроздов. // Сталь. – 1989. – №12. – С.7–12.
11. *Влияние магнезии и основности агломерата на его металлургические свойства и химический состав продуктов доменной плавки*/Д.Н.Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, А.И.Белькова, В.Г.Крупий и др.// Сб. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Вып. 5. – Днепропетровск, – 2002. – С.83–90.
12. *Влияние магнезии на прочность агломерата.* / А.З.Крижевский, В.Н.Компаниец, А.А.Гринвальд, Г.М.Дроздов, В.С.Якушев. // Сталь. – 1984. – №6. – С.8–10.
13. *Макмиллан П.У.* Стеклокерамика. Пер. с англ. – Москва: Мир, 1967. – 263с.
14. *Влияние MgO на высокотемпературные свойства агломерата.* // РЖМет. – 1982. – 12В 123.
15. *Способы изготовления агломерата, офлюсованного доломитизированным известняком.* // РЖМет. – 1980. – 6В 115П.
16. *Оценка качества агломерата ЧерМК из шихты различного состава.* / С.Н.Крипак, В.С.Якушев, Д.Н.Тогобицкая, И.Х.Балмагамбетов. // В кн. Технология выплавки чугуна. – МЧМ СССР. – М.: Металлургия, 1989. – С.12–14.
17. *Использование сидеритов при работе доменных печей с неофлюсованными окатышами.* / С.А.Фещенко, В.И.Плешаков, К.Н.Савейко и др. // Металлург. – 2006. – №8. – С.51–55.
18. *Патент РФ № 2248404 МПК С 22 И1/20 Способ производства агломерата.* Оpubл. 20.03.2005.
19. *Оценка влияния содержания концентрата обожженного сидерита в аглошихте на показатели доменного производства ОАО ММК.* // Сталь. – 2012. – №6. – С.4–5.
20. *Патент Российской Федерации на изобретение № 2283877 “Способ определения металлургической ценности доменного железорудного сырья”* (Заявка № 2005124065 от 28.07.2005 зарегистрировано в гос.реестре 20.09.06) / М.А.Гуркин, А.В.Гельгорн, А.С.Нестеров, В.И.Большаков, В.П.Невраев, С.Ю.Денисова, В.С.Якушев.

*Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Д.Н.Тогобицкой*

***О.С.Нестеров, А.В.Півненко, В.С.Якушев, Л.І.Гармаш, В.В.Горуша***

**Вплив різних носіїв магнезії на виробництво офлюсованого залізорудного агломерату**

Метою роботи є вивчення можливості використання флюсів різного складу, що містять магнезію і залізо, як компоненти аглошихти. Визначено зміни шихтових умов виробництва агломерату при використанні флюсів різної основності і вмісту MgO. Для ряду флюсів встановлено їх вплив на результати спікання і якість агломерату. Показано, що підвищений вміст заліза в агломераті при частковому використанні магнезіального концентрату дозволяє залучити до переділу додаткову кількість вторинних ресурсів.