

*ассистент Лупанов Д.В.,  
к.т.н., доц. Попов Г.Н.,  
к.т.н., доц. Куберский С.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),  
начальник агломерационной фабрики ОАО АМК Тринеев Е.Т.  
(ОАО АМК, г. Алчевск, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В ШИХТЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ФЛЮСОВ**

*Виконаний аналітичний огляд досліджень процесу агломерації з використанням у складі шихти різних видів флюсів, зроблені висновки про перспективи і напрями подальших досліджень.*

Современная чёрная металлургия нуждается в большом количестве высококачественного агломерата для доменных печей. Производительность агломерационных машин и качество агломерата зависят от ряда технологических факторов, одним из которых является состав агломерационной шихты и в частности флюсующих материалов.

С целью изучения вопроса о эффективности ввода в агломерационную шихту различных флюсующих материалов был проведён аналитический обзор различных исследований, в которых изучалось влияние указанных компонентов на показатели процесса агломерации и качество получаемого продукта.

Исследованию процесса агломерации железных руд и концентратов с использованием в качестве флюса обожженной извести посвящено значительное количество работ. Интенсифицирующее действие извести объясняется её высокой влагоемкостью и гидратационной способностью, при которой образуются тонкодисперсные частицы, способствующие улучшению окомкования и повышению газопроницаемости шихты. Положительным моментом ввода извести является выделение 17,7 МДж тепла на 1 кг СаО при её гашении, что повышает температуру шихты. Ввод извести сохраняет газопроницаемость шихты в зонах сушки и переувлажнения.

По данным работы [1], наибольший технологический эффект достигается при вводе в шихту 5,7 % извести, что позволяет заменить 50 % известняка, дальнейшее повышение количества вводимой извести ухудшает показатели аглопроцесса. В работе [2] исследователи доказы-

вают, что ввод извести крупностью 0,5-0 мм в количестве до 3,5% позволяет повысить производительность на 12 %, а скорость спекания на 23 %, а также на 10-11 % снизить расход топлива. Ввод извести в количестве до 140 кг/т агломерата основностью 2,0 позволяет повысить выход годного продукта на 1,2%, а оптимальным признан расход извести в количестве 70-80 кг/т агломерата [3]. В то же время в работе [4], признан максимальным расход извести в количестве 60 кг/т агломерата, что обусловлено повышением себестоимости агломерата из-за высокой ее стоимости.

В работах [5,6] отмечается положительная роль извести при спекании агломератов из шихты, содержащей труднокомкуемые оолитовые концентраты (лисаковский гравитационно-магнитный концентрат) в условиях Карагандинского металлургического комбината. Так при содержании в шихте 15 – 17 % оолитовых концентратов ввод извести в шихту в количестве 35 кг/т агломерата позволяет повысить удельную производительность агломашины с 0,6 т/м<sup>2</sup>·час до 0,85 т/м<sup>2</sup>·час.

Для увеличения эффективности процесса агломерации в работе [7] предлагается раздельная подача извести и возврата для устранения накатывания извести на частицы возврата. Так при содержании в шихте извести в количестве 4,5% скорость спекания возрастает на 30%, при этом ввод возврата не интенсифицирует аглопроцесс. Предложенная технология позволяет повысить производительность на 9 %.

Качество извести определяется её способностью к образованию мельчайших частиц гидратов, обладающих вяжущими свойствами и адсорбирующих на своей поверхности воду. По данным исследований [8,9], замена извести низкого качества на высококачественную позволяет экономить твёрдое топливо аглопроцесса в количестве 2-13 кг/т агломерата, способствует росту производительности установки на 10-15 %, и снизить выход фракции -5 мм на 0,2-0,3% при расходе извести 3% и на 1,1-1,2% при расходе извести 6%.

В работе [10] исследовалось влияние степени обжига извести на показатели процесса агломерации. Исследователи пришли к выводу об определяющем влиянии количества вносимой активной извести и незначительном влиянии степени обжига извести. Следует отметить неэффективность повышения температуры обжига извести, что влечёт увеличение времени гашения из-за увеличения размеров кристаллов и переоплавления поверхности обожженной извести.

Несмотря на эффективность применения извести в агломерационном процессе, в настоящее время ее доля в составе шихты находится в пределах 1-4 %, что обусловлено большими капитальными затратами на агрегаты для производства извести и её высокой себестоимостью. В работе [11] описывается способ повышения эффективности применения

известии за счёт накатывания-напыления её на гранулы шихты. При этом влага не проникает внутрь гранул, а поглощается поверхностным слоем известии. Описанная технология позволяет при накатывании известии в количестве 0,4 % от массы сырой шихты повысить скорость спекания на 14,7 %. Схожая технология описывается в работе [12], при которой производится накатывание смеси известии и топлива, что позволяет на 5 % повысить удельную производительность, а так же повысить выход фракции +5 мм на 6 %. В работе [13] проведены исследования использования известии путём её накатывания в процессе окомкования, что позволяет повысить эффективность применения известии в качестве интенсификатора процесса агломерации в 1,5 раза, а также позволяет повысить высоту спекаемого слоя до 500 мм.

Другим важным фактором влияющим на качество агломерата является содержание в нем магнезии.

По данным работ [14, 15], связь прочности агломерата с содержанием MgO в нем имеет экстремальный характер, идентичный для шихт с различным количеством железа, причем максимум прочности по мере уменьшения содержания железа в рудной части шихты сдвигается в сторону увеличения содержания MgO. Из этого следует, что при спекании руд с кислой пустой породой каждому содержанию железа в рудной части шихты соответствует определенное содержание MgO в агломерате, при котором его прочность максимальна. Объясняется это тем, что вместо обычного стекла образуется ситалл – двухкомпонентная композиция дендритов волластонита (Ca, Mg, Fe) SiO<sub>4</sub> в стекле – такая композиция придает материалам высокую механическую прочность. Показателем прочности магниезального агломерата из железорудных компонентов с кислой пустой породой при умеренной основности (CaO/SiO<sub>2</sub>=1,0÷1,3) можно принять отношение SiO<sub>2</sub>/MgO в нем. Независимо от содержания железа и кремнезема в рудной смеси в исследованных пределах наибольшая прочность агломератов имеет место при отношении SiO<sub>2</sub>/MgO в узком интервале с максимумом около 7.

Ввод в аглошихту MgO снижает вертикальную скорость спекания, независимо от основности агломерата [16]. В то же время выход годного и удельная производительность зависят от основности агломерата и от количества работы разрушения, испытываемой спеком. Так выход годного «бункерного» агломерата при основности 0,7 и повышении содержания MgO в агломерате снижается с 75,5 % до 71,2 %, а при основности 1,9 повышается с 73,5 % до 75,5 %. Схожая тенденция наблюдается для «скипового» агломерата. Удельная производительность «бункерного» агломерата при основности 0,7 и повышении содержания MgO в агломерате снижается независимо от основности, но для «скипового» агломерата при повышении основности агломерата повышение

содержания MgO ведёт к незначительному увеличению удельной производительности.

В работе [17] исследовались свойства агломерата, спекаемого из шихты с различным содержанием MgO в условиях ММК (таблица 1). Уменьшение прочности, по мнению исследователей, связано с ростом в составе силикатных связей двухкальциевого силиката. Он вызывает термические напряжения, создаваемые превращениями  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ . Тенденция увеличения температурного интервала размягчения агломератов обусловлена ростом в их составе двух высокотемпературных фаз: магномагнетита и двухкальциевого силиката.

Таблица 1 – Влияние MgO на свойства агломерата

№ агломерата	Содержание MgO, %	Выход фракции + 5 мм, %	Выход фракции – 0,5 мм, %	Температурный интервал размягчения, °С
1	1,5	58,9	5,3	100
2	1,7	59,1	4,4	110
3	1,9	58,0	7,3	115
4	2,1	58,1	6,5	97
5	2,3	56,2	6,0	150
6	3,0	56,6	5,3	120

Положительное влияние повышения содержания магнезии в агломерате на его прочность в условиях промышленного производства рассмотрено в работе [18]. Так повышение содержания MgO в шихте с 1,63 % до 1,9 % повлекло снижение количества мелких фракций на 2,2 % в пересчёте на 1 % MgO. В другой период исследований повышение содержания MgO в шихте с 1,3 % до 1,85 % повлекло снижение количества мелких фракций на 2 % в пересчёте на 1 % MgO. Помимо этого наблюдалось снижение содержания FeO в агломерате, что позволило снизить расход топлива на 1 кг/т агломерата.

По данным исследований [19, 20] добавка MgO повышает прочность агломерата. Так, количество фракции –5 мм в агломерате основностью 2,0 при добавке MgO в количестве 6 % от массы шихты уменьшилось на 7 %, а количество фракции +15 мм возросло на 12 %. Для агломератов основностью 0,9-1,3 добавка магнезии в количестве 2,8 – 3,7 % позволила увеличить выход фракции + 15 мм на 8%. Авторы работы объясняют это снижением количества стекловидной цементирующей связи и мелкозернистой структурой окускованного материала.

В работе [21] изучается различие влияния на минералогический состав агломерата магнезии, находящейся в составе железорудного концентрата и магнезии, вносимой в агломерационную шихту доломитом. Авторы работы делают вывод, что находящаяся в составе железорудного концентрата магнезия увеличивает вязкость расплава из-за нахождения её в связке с рудными минералами, являющимися твёрдыми включениями – готовыми центрами кристаллизации, а магнезия, вносимая доломитизированным известняком или доломитом, находится в агломерате преимущественно в виде силикатов и способствует снижению вязкости расплава.

На Алчевском металлургическом комбинате совместно с Донбасским государственным техническим университетом были проведены лабораторные и промышленные исследования по использованию мела (до 30 %) в агломерационной шихте вместо части известняка. Основанием для проведения этих опытов является стремительное уменьшение запасов известняков в Украине, значительно меньшая механическая прочность мела в сравнении с известняком и одинаковое содержание СаО в исходном, необожженном материале. Запасы мела (особенно в Донбассе) огромны, себестоимость в 1,5-2 раза ниже, чем у известняка.

Промышленные исследования показали целесообразность использования мела в агломерационном производстве. На Алчевском металлургическом комбинате на протяжении 8 месяцев успешно использовался мел в количестве 20-30 кг/т агломерата. При этом основным фактором, препятствующим полномасштабному использованию этой технологии, являются вопросы дробления мела до фракции 3-0 мм и его ввода в технологический поток на аглофабрике.

Учитывая несколько противоречивые результаты исследований влияния флюса на показатели агломерационного процесса, следует признать необходимым проведение дальнейших исследований, направленных на изучение его свойств и влияния на процесс агломерации, с учётом наличия в шихте иных компонентов, в первую очередь других флюсующих материалов.

#### **Выводы:**

1. Ввод извести в агломерационную шихту позволяет повысить качество агломерата и интенсифицировать процесс агломерации, однако расход её более 5-7 % является неэффективным с экономической точки зрения из-за высокой себестоимости флюса.

2. Эффективность применения извести зависит от её качества и технологии ввода в агломерационную шихту.

3. Влияние магнезии на показатели процесса агломерации зависит от носителя магнезии в агломерационной шихте и вида нагрузки, испытываемой агломератом.

4. Влияние магнезии на показатели процесса агломерации нуждается в дальнейшем исследовании из-за противоречивости результатов ранее выполненных исследований.

5. Мел является эффективным заменителем известняка при решении проблемы его дробления до фракции 0-3 мм.

6. Признать целесообразным проведение дальнейших исследований влияния отдельных и комплексных флюсующих материалов на показатели процесса агломерации и качество готового продукта.

*Выполнен аналитический обзор исследований процесса агломерации с использованием в составе шихты различных видов флюсов, сделаны выводы о перспективах и направлениях дальнейших исследований.*

*The analytical review researches of sintering with the use in composition of sinter-feed a different form of flux is executed, conclusions about prospects and directions of further researches are done.*

#### **Библиографический список**

1. Берштейн Р.С. Повышение эффективности агломерации. / Р.С. Берштейн. – М.: Металлургия, 1979. – 144 с.

2. Коршиков Г.В. и др. Влияние извести на процесс спекания тонкоизмельчённых концентратов. / Г.В. Коршиков, Е.В. Невмержицкий, М. А. Хайков, В.Н. Пономарев. // Сталь. – 1974. – № 4. – С. 7-12.

3. Гурин П.И. и др. Эффективность применения извести при агломерации шихты высокой основности. / П.И. Гурин, Н.С. Хлапонин, А.М. Осипенко. // Сталь. – 1981. – № 9. – С. 9-12.

4. Минаков Н.С. и др. Исследование влияния различных способов ввода извести в шихту на показатели процесса агломерации. / Н.С. Минаков, В.И. Кретинин, В.П. Горбачев, Г.А. Арыков. // Сталь. – 1988. – № 9. – С. 5-8.

5. Мирко В.А. и др. Использование лисаковского концентрата в аглодоменном переделе в рациональных объёмах. / В.А. Мирко, Г.С. Викулов, Ю.А. Кабанов, А.М. Печеркин. // Сталь. – 2000. – № 6. – С. 12-16.

6. Бургов В.Н. и др. Совершенствование технологии агломерации мелкозернистых концентратов. / В.Н. Бургов, В.А. Мирко, В.К. Головкин, Ю.А. Кабанов. // Металлург. – 1985. – № 6. – С. 22-24.

7. Мирко В.А. и др. Повышение эффективности использования извести и возврата в агломерационной шихте. / В.А. Мирко, А.М. Ли, А.М.

Тычинин, Ю.А. Кабанов. // Бюллетень НТИ. Чёрная металлургия. – 1986. – № 22. – С. 36-38.

8. Гелюх Л.Л. и др. Экономическая эффективность использования извести высокого качества в агломерационном производстве. / Л.Л. Гелюх, А.Н. Ванжа, А.М. Осипенко, В.А. Манакина// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1990. – № 2. – С. 4-6.

9. Совершенствование агломерационного процесса. / Ф.Ф. Колесанов, Н.С. Хлапонин, В.Н. Кривошеев, В.И. Чикуров. – К.: Техника, 1983. – 110 с.

10. Савельев С.Г. и др. Применение в агломерационной шихте извести разной степени обжига. / С.Г. Савельев, Р.Д. Каменев, О.Г. Федоров, Н.М. Панчошный. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1980. – № 3. – С. 24-26.

11. Петрушов С.Н. Формирование слоя шихты на агломашине: Курс лекций. / С.Н. Петрушов. – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – 187 с.

12. Сабинин Ю. А. и др. Влияние различных интенсификаторов при спекании многокомпонентной шихты. / Ю. А. Сабинин, А. Г. Жунев, А. Л. Галатонов, Г. А. Соколов. // Сб. тр. института Уралмеханобр. – Свердловск: Уралмеханобр, 1981. – С. 41-48.

13. Коришков Г.В. и др. Пути повышения интенсивности агломерационного процесса и улучшения качества агломерата при спекании тонкоизмельчённых концентратов. / Г.В. Коришков, Е.В. Невмержицкий, М.А. Хайков, В.Н. Пономарев. // Сталь. – 1974. – № 8. – С. 675-682.

14. Крижевский А.З. и др. Влияние магнезии на прочность агломерата. / А.З. Крижевский, В.Н. Компаниец, А.А. Гринвальд, Г.М. Дроздов. // Сталь. – 1984. – № 6. – С. 8-10.

15. Крижевский А.З. К вопросу о влиянии окиси магния на прочность агломерата. / А.З. Крижевский, А.К. Иванов. // Металлург. – 1983. – № 9. – С. 15-16.

16. Коришков Г.В. и др. Влияние магнезии на показатели спекания шихты на базе железорудных материалов бассейна КМА. / Г.В. Коришков, М.А. Хайков, Е.В. Невмержицкий, С. Л. Зевин. // Сб. тр. института Уралмеханобр. – Свердловск: Уралмеханобр, 1984. – С. 19-26.

17. Малышева Т.Я. и др. Влияние оксида магния на фазовые превращения и металлургические свойства высокоосновного агломерата. / Т.Я. Малышева, Ю.С. Юсфин, М.Ф. Гибадулин, В.В. Коровушкин. // Сталь. – 2006. – № 10. – С. 4-6.

18. Лобачёв В.Т. и др. Производство магнезиального высокоосновного агломерата. / В.Т. Лобачёв, Л.М. Рудаков, А.И. Капуста, Г.С. Якименко. // Металлург. – 1987. – № 2. – С. 20-21.

19. Васильев Г.С. Влияние обжига и добавок MgO на прочность и минералогический состав агломерата. Известия вузов. Чёрная металлургия, 1968 г. № 4

20. Васильев Г.С. Влияние магнезии на минеральный состав и структуру спека. / Г.С. Васильев. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1974. – № 4. – С. 25-30.

21. Быков М.С. и др. Влияние носителя магнезии на минеральный состав агломерата. / М.С. Быков, В.А. Долинский, А.А. Пермяков. // Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1972. – № 10. – С. 44-47.

**Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Петрушовым С.Н.**