

А.А. Одинцов

Сибирский государственный индустриальный университет

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСЛОЙНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Классическая схема агломерационного процесса методом просасывания характеризуется неравномерным распределением тепла по высоте спекаемого слоя: недостаток тепла в верхних горизонтах слоя, избыток – в средних и особенно нижних горизонтах слоя. Необходимо также отметить, что объемная плотность шихты по высоте спекаемого слоя неравномерна и при однослойной загрузке шихты увеличивается сверху вниз [1]. Таким образом, наблюдается получение агломерата неудовлетворительной прочности в верхней части, происходит и переоплавление нижней части пирога с пониженной восстановимостью.

Для выравнивания температурно-тепловых характеристик процесса агломерации по высоте спекаемого слоя в 1911 г. Х.Г. Торульфом (Швеция) была разработана технология двухслойного спекания шихты, которую изначально применяли на агломерационных установках периодического действия. Сущность технологии заключается в последовательной загрузке агломерационной шихты, отличающейся содержанием коксовой мелочи на 1,0 – 1,5 %, питателями нижнего и верхнего слоев

На машинах непрерывного действия ленточного типа разработанная технология впервые была реализована в 1950 – 1951 гг. (аглофабрики Германии и Франции) [2].

В отечественной практике производства железорудного агломерата технология двухслойного спекания шихты получила распространение в 60-х годах при проектировании и вводе в эксплуатацию типовых агломерационных машин с площадью спекания и охлаждения 200 м² (Качканарский ГОК) и 312 м² (Новолипецкий (НЛМК), Череповецкий, Западно-Сибирский (ЗСМК) и Карагандинский металлургические комбинаты). При промышленном опробовании технологии двухслойной агломерации были определены оптимальные параметры процесса в конкретных шихтовых условиях: соотношение толщины слоев, влажность, содержание топлива в шихте [3].

В дальнейшем на этих аглофабриках (кроме ЗСМК) отказались от двухслойной загрузки и перешли на однослойную загрузку агломерационной шихты [4 – 6]. Так, на аглофабрике НЛМК при переходе на однослойную загрузку были получены следующие положительные результаты: снижение объемной плотности шихты, повышение производительности агломашины на 10 %. Наряду с улучшением ряда технологических показателей были отмечены и отрицательные стороны: ухудшились прочностные характеристики агломерата; возросло содержание в нем мелочи; незначительно повысился расход топлива в шихте. Повышение производительности агломашины в данном случае связано, прежде всего, с увеличением площади спекания за счет демонтажа загрузочного устройства верхнего слоя и в меньшей степени – с повышением газопроницаемости загруженной шихты. Это объясняется исследователями в работе [7] изменением гранулометрического состава окомкованной шихты, авторами работы [8] – изменением объемной плотности спекаемых слоев.

В зарубежной практике производства агломерата наблюдаются несколько другие тенденции. Например, на аглофабриках Японии и Китая двухслойная загрузка шихты применяется, но имеет различные схемы реализации. Помимо «классической» технологии [9] разработаны схема загрузки шихты одним слоем с подачей дополнительного топлива в верхнюю часть слоя [10]; технология с дополнительным зажиганием верхнего слоя и подачей в него замасленных отходов [11].

Необходимо отметить, что некоторые проектные компании международного уровня предлагают двухслойную загрузку шихты для новых агломерационных машин [12].

Несмотря на более сложную технологическую схему и негативные последствия переуплотнения загруженного слоя шихты, двухслойная агломерация имеет ряд преимуществ, благодаря которым достигаются высокие пока-

затели процесса спекания и качество железорудного агломерата.

Наряду с функцией подачи дополнительного топлива автономная линия дозирования топлива в корпусе агломерации позволяет более оперативно корректировать уровень содержания оксида железа (II) в агломерате и, соответственно, управлять прочностными характеристиками и содержанием мелочи в получаемом агломерате, регулировать производительность процесса спекания. К дополнительным преимуществам двухслойной агломерации можно отнести: возможность поддержания оптимальной влажности шихты для каждого слоя (разность которой доходит до 0,5 %); безостановочную работу агломашины при остановке одного из трактов подачи и подготовки шихты.

Для повышения эффективности использования твердого топлива при двухслойной загрузке шихты предлагается подавать в верхний и нижний слои коксовую мелочь различного гранулометрического состава [13]. Рекомендуемое содержание мелких (менее 0,5 мм) фракций составляет 20 – 25 и 30 – 35 %, крупных (более 3 мм) фракций – 13 – 17 и 10 – 13 % для верхнего и нижнего слоев соответственно.

При реализации технологии ввода различного по крупности топлива в аглошихту при двухслойной схеме распределения твердого топлива усреднение, грохочение и дробление топливной смеси предусматривается по типовой схеме подготовки твердого топлива. На заключительной стадии подготовки (измельчении топлива) предлагается использовать часть четырехвалковых дробилок (10 – 30 % от общего количества) для получения твердого топлива с содержанием 20 – 25 % фракции менее 0,5 мм, остальную часть – для получения твердого топлива с содержанием 30 – 35 % фракции менее 0,5 мм. Получение топлива заданного гранулометрического состава достигается регулировкой зазоров четырехвалковых дробилок [14]. Подготовленное топливо с пониженным содержанием фракции менее 0,5 мм подается в верхний слой шихты в корпусе агломерации, топливо с повышенным содержанием фракции более 0,5 мм подается в шихту дозировочного отделения.

Эффективность разработанной новой технологии двухслойного спекания шихты подтверждена в лабораторных условиях: удельный расход топлива снижен на 4 % по сравнению с базовой технологией при достаточно

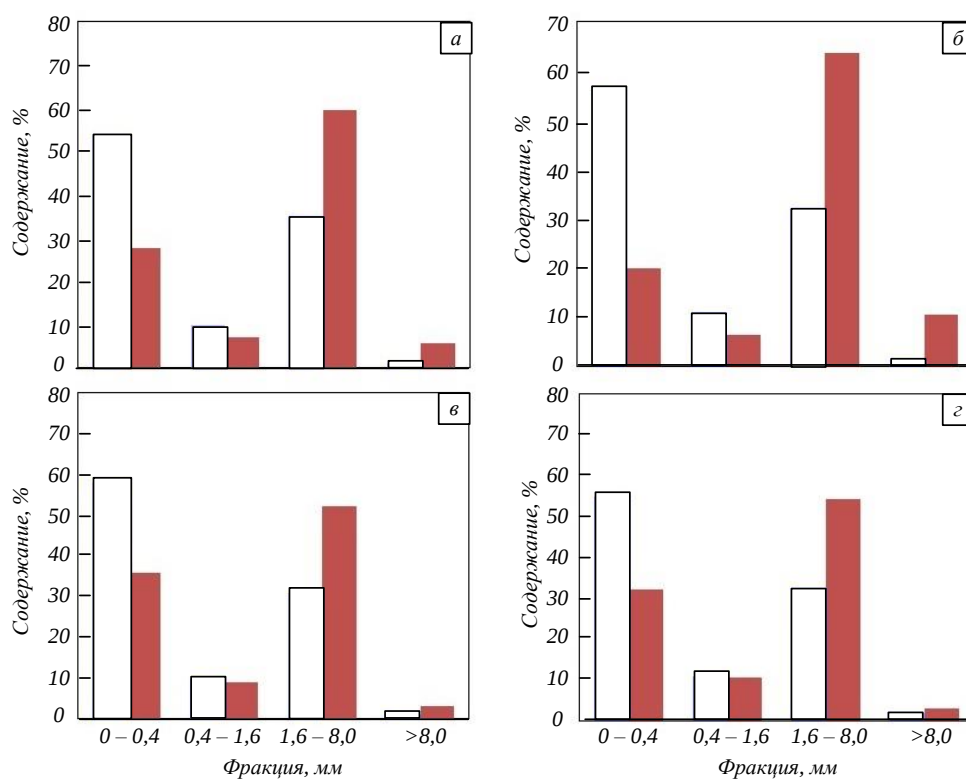


Рис. 1. Гранулометрический состав шихты:

□ и ■ – исходная и окомкованная шихта;

а и б – базовый и опытный периоды работы окомкователя нижнего слоя;

в и г – базовый и опытный периоды работы окомкователя верхнего слоя

высоких показателях процесса спекания и механической прочности агломерата [15].

Одним из приоритетных направлений совершенствования технологии двухслойной агломерации считается оптимизация высоты верхнего и нижнего слоев. Первоначально аглофабрики с двухслойной загрузкой шихты проектировали, исходя из одинаковой производительности трактов для верхнего и нижнего слоев шихты, поэтому установленные параллельно окомкователи шихты имели идентичные конструктивные и технологические характеристики, объем бункеров для верхнего и нижнего слоев был одинаков. Однако в процессе промышленной отработки технологии двухслойной агломерации [3] пришли к выводу, что необходимо уменьшить высоту верхнего слоя при соответствующем увеличении нижнего слоя в соотношении 1:3. При внедрении такой технологии окомковательное оборудование не подвергали модернизации или замене, несмотря на возникшее несоответствие изменившейся нагрузки материала геометрическим размерам барабана окомкователя шихты. При сохранении тенденции повышения высоты спекаемого слоя и доли тонкоизмельченных концентратов в шихте отечественных аглофабрик целесообразно дальнейшее снижение высоты верхнего слоя по сравнению с нижним до соотношения 1:4. Это позволит частично снизить влияние переуплотнения шихты нижнего слоя и, следовательно, повысить газопроницаемость всего спекаемого слоя.

С целью выявления различий гранулометрического состава для верхнего и нижнего слоев шихты при изменении режимов работы окомкователей проведены промышленные исследования в условиях аглофабрики АО «ЕВРАЗ Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЕВРАЗ ЗСМК)».

Исследование технологических режимов работы окомкователей проводили методом отбора и последующего анализа гранулометрического, химического составов и влажности агломерационных шихт. Степень грануляции рассчитывали согласно методике, предложенной авторами работы [16].

При увеличении скорости вращения окомкователя нижнего слоя с 4 до 7 мин⁻¹ наблюдается улучшение фракционного состава окомкованной шихты (рис. 1). Отмеченное улучшение выражается в уменьшении содержания комкуемой части (фракция менее 0 – 0,4 мм) в окомкованной аглошихте (19,86 %) по сравнению с исходной аглошихтой (27,63 %). При этом разность между содержанием этой фракции в исходной и окомкованной аглошихте

увеличивается с 26,21 до 36,25 %. Содержание комкующей части (фракции более 1,6 мм) в окомкованной аглошихте по сравнению с исходной закономерно увеличивается с 65,15 до 73,97 %, степень грануляции возрастает с 0,63 до 0,74. Улучшению процесса грануляции шихты способствует снижение степени заполнения барабана с 17 до 10 %. Характер изменения соотношения между комкуемой и комкующей частями аглошихты свидетельствует о повышении эффективности процесса грануляции шихты за счет изменения технологического режима окомкователя нижнего слоя.

При увеличении скорости вращения окомкователя верхнего слоя с 3,6 до 6,0 мин⁻¹ соотношение между количеством комкуемой и комкующей частей аглошихты, а также степень грануляции (0,59 – 0,60) существенно не изменились, что свидетельствует о незавершенности процесса окомкования аглошихты (рис. 1). По-видимому, это связано с низким уровнем заполнения барабана окомкователя верхнего слоя аглошихтой: степень заполнения в базовый и опытный периоды составляет 12 и 8 % соответственно.

При анализе динамики химического состава и влажности различных классов аглошихты выявлены следующие закономерности (рис. 2):

- в базовом периоде содержание железа и серы в крупных (3 – 25 мм) фракциях окомкованной аглошихты нижнего слоя увеличивается по сравнению с содержанием этих элементов в исходной аглошихте, что связано с накоплением частиц концентрата на поверхность крупных кусочков возврата; оксид кальция и углерод, напротив, в окомкованной аглошихте концентрируются по сравнению с исходной в мелких (0 – 5 мм) классах, что объясняется перераспределением частиц известняка и топлива в процессе окомкования;

- в опытном периоде характер распределения элементов/соединений в окомкованной аглошихте нижнего слоя по сравнению с исходной имел идентичную закономерность, при этом колебание большинства элементов/соединений по фракциям уменьшилось;

- в опытном и базовом периодах для верхнего слоя аглошихты указанного выше перераспределения элементов/соединений не наблюдается, хотя и имеет место снижение их колебания по фракции менее 12 мм; это свидетельствует о незавершенности процесса окомкования;

- в базовом периоде исходная аглошихта верхнего слоя содержала 6,3 % влаги (аглошихта нижнего слоя – 4,4 %); в окомкованной аглошихте верхнего слоя (базовый период) со-

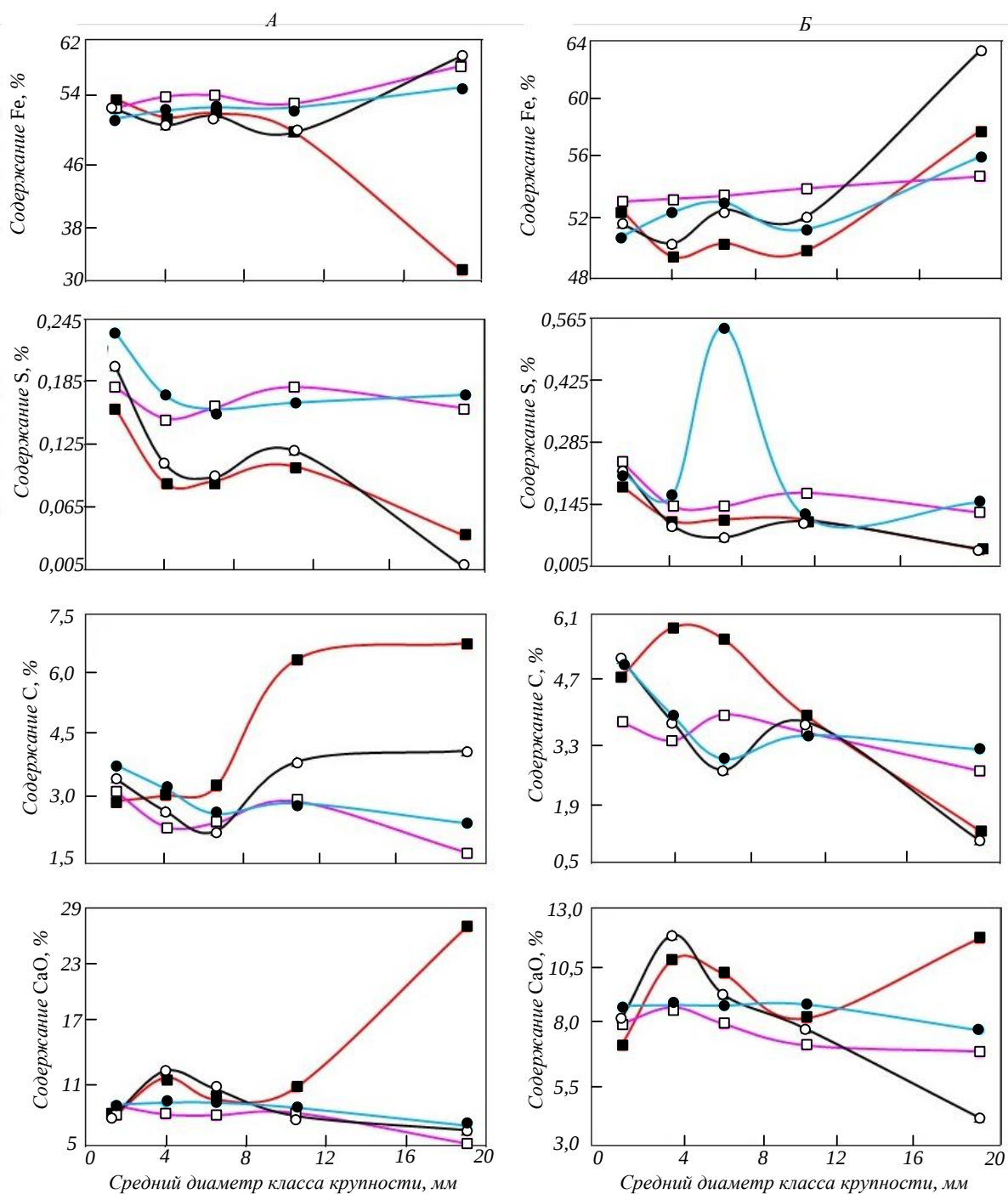


Рис. 2. Распределение элементов/соединений по фракциям шихты нижнего (А) и верхнего (Б) слоев; светлые и темные точки – исходная и окомкованная шихта; □, ■ – база; ○, ● – опыт

держание влаги составляло 10,4 % за счет увеличения влажности фракции 0 – 3 мм до 16,4 % по сравнению с исходной (7,4 %), что выходит за пределы оптимальных значений и связано со снижением степени заполнения барабана.

В таблице приведены технологические показатели работы агломашины в периоды проведения промышленных исследований.

Повышение скорости вращения окомкователей позволило увеличить удельную производительность агломашины на 7,8 % за счет возрастания вертикальной скорости спекания и

выхода годного агломерата (содержание возврата в шихте снизилось в опытном периоде). Улучшение приведенных показателей объясняется повышением газопроницаемости загруженной шихты, о чем свидетельствует падение разрежения в газовом коллекторе с 8,55 до 8,13 кПа.

Таким образом, результаты опытно-промышленных исследований показали, что для повышения эффективности процесса окомкования аглошихты (например, за счет оптимизации скорости вращения окомкователя)

Технологические показатели работы агломашины

Параметр	Период		Отклонение
	базовый	опытный	
Высота слоя шихты, мм	400	400	-
Температура шихты, °С:			
нижнего слоя	58	63	5
верхнего слоя	56	60	4
Нагрузка шихты, т/ч:			
по нижнему слою	364	370	6
по верхнему слою	229	259	30
Степень заполнения окомкователя, %:			
по нижнему слою	17	10	-7
по верхнему слою	12	8	-4
Содержание возврата в шихте, %	39,5	37,5	-2,0
Температура горна, °С	1008	1015	7
Скорость агломашины, м/мин	2,9	3,0	0,1
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	14,9	15,4	0,5
Разрежение в коллекторе, кПа	8,55	8,13	-0,42
Температура отходящих газов, °С	145	150	5
Удельная производительность, т/(ч·м ²)	1,02	1,10	0,08

необходимо учитывать исходную нагрузку или степень заполнения барабана. Регулирование степени заполнения барабана достигается за счет изменения его скорости вращения, угла наклона или геометрических размеров самого агрегата. Это является дополнительным резервом повышения интенсивности агломерационного процесса при двухслойной загрузке шихты.

Выводы. Несмотря на сложившуюся тенденцию отказа от двухслойной загрузки шихты в отечественной практике производства железорудного агломерата, технология двухслойного спекания шихты является перспективной для повышения технико-экономических показателей работы существующих агломаши и проектирования новых аглофабрик. На основе лабораторных и промышленных исследований разработаны основные направления развития двухслойной агломерации, направленные на повышение интенсивности аглопроцесса, снижение расхода твердого топлива: ввод различного по крупности топлива по слоям шихты; регулирование соотношения верхнего и нижнего слоев в зависимости от крупности спекаемых материалов; оптимизация гранулометрического состава шихты за счет изменения режимов работы окомкователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И с а е н к о Г.Е. Совершенствование технологии комбинированного окомкования, загрузки, зажигания и спекания агломерационной шихты: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Липецк, 2011. – 16 с.
2. Черная металлургия капиталистических стран. Ч. 2. Подготовка руд к плавке и доменное производство / В.С. Абрамов, Н.К. Леонидов, Н.Б. Арутюнов и др. – М.: Металлургиздат, 1957. – 494 с.
3. Е ф и м е н к о Г.М., К о л о к о л ь ц о в Б.И., С о л о в ь е в Ю.М. Совершенствование технологии спекания двухслойной аглошихты // Металлург. 1971. № 1. С. 11 – 13.
4. В и к у л о в Г.С., К а б а н о в Ю.А. О некоторых проблемах в конструктивных решениях аглофабрик // Черная металлургия. 2000. № 5-6. С. 17 – 22.
5. М а л ы г и н А.В., Н е в р а е в В.П., Г у р к и н М.А. Исследование распределения компонентов шихты по высоте слоя при одно- и двухслойной загрузке агломерационных машин // Черная металлургия. 2003. № 4. С. 10 – 12.
6. Ф р о л о в Ю.А. Теплотехническое исследование процесса агломерации и совершенствование технологии и техники для производства агломерата: автореф. дис. докт. техн. наук. – Екатеринбург, 2005. – 53 с.
7. К о р ш и к о в В.Г., Ш а р о в С.И., Х а й д у к о в В.П. Газопроницаемость слоя шихты на агломашине с площадью

- спекания 252 м² при различных способах загрузки // *Сталь*. 1970. № 9. С. 772 – 776.
8. Фролов Ю.А., Петров В.Н., Зевин С.Л. Усовершенствованная система загрузки шихты на агломашину АКМ-312 // *Черная металлургия*. 1987. № 22. С. 30 – 33.
9. Разработка технологии низкотемпературной агломерации в высоком слое / Реф. Л.И. Александрова // *Новости черной металлургии за рубежом*. 2002. № 2. С. 29.
10. Совершенствование загрузочных устройств агломерационной машины в Японии / Реф. Л.И. Александрова // *Новости черной металлургии за рубежом*. 2004. № 6. С. 23 – 25.
11. Kinzel J., Rammer O., Gebert W., et. al. Successful application of the top-layer-sintering process for recycling of ferrous residuals contaminated with organic substances. – In book: *Ironmaking conference proceedings*. 1997. P. 377 – 381.
12. Решения для аглофабрик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w4.siemens.ru/datapool/industry/industry-solutions/metals/simetal/ru/Solutions-for-sinter-plants-ru.pdf>. (Дата обращения 11.09.2015 г.)
13. Пат. 2465349 РФ. Способ спекания агломерационной шихты / А.А. Одинцов, В.А. Долинский. Заявл. 16.05.2011; опубл. 27.10.2012.
14. Одинцов А.А., Долинский В.А. Совершенствование режимов дробления твердого топлива на четырехвалковых дробилках // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2008. № 12. С. 7 – 11.
15. Феокистов А.В., Одинцов А.А. Повышение эффективности использования твердого топлива при двухслойной агломерации // *Металлург*. 2014. № 6. С. 66 – 73.
16. Исаенко Г.Е., Хайдуков В.П. Алгоритм оценки рационального состава и степени грануляции аглошихты различного состава // *Металлург*. 2012. № 4. С. 36 – 39.

© 2016 г. А.А. Одинцов
Поступила 28 января 2016 г.