

УДК 669.1:622

*д.т.н. Петрушов С.Н.,  
к.т.н. Русанов И.Ф., к.т.н. Куберский С.В.,  
Лупанов Д.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **СПЕКАНИЕ АГЛОМЕРАТА С ВВОДОМ В ПРИБОРТОВОЙ СЛОЙ ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ**

*Наведені результати теоретичних та практичних досліджень, отримані залежності, що описують процес агломерації з введенням чавунної стружки до складу шихти прибортового шару на агломераційній машині.*

***Ключові слова:** агломерація, чавунна стружка, прибортовий шар, показники процесу агломерації, міцність агломерату.*

*Приведены результаты теоретических и практических исследований, получены зависимости, которые описывают процесс агломерации с вводом чугуна стружки в состав шихты прибортового слоя на агломерационной машине.*

***Ключевые слова:** агломерация, чугуна стружка, прибортовой слой, показатели процесса агломерации, прочность агломерата.*

### **Проблема и её связь с научными и практическими задачами.**

Содержание мелочи в готовом агломерате в значительной мере определяется условиями спекания агломерационной шихты у бортов спекательных тележек, где проявляется так называемый “пристеночный эффект”. Суть его заключается в том, что газопроницаемость слоя полифракционных материалов у стен значительно выше, чем слоев удаленных от стен. В результате повышенной газопроницаемости прибортового слоя шихты (его ширина составляет 50-100 мм или 2-4 % от общей ширины спекаемого слоя) скорость движения воздуха и газов в нем в 1,2-1,5 раза выше средней скорости их движения во всем слое. При такой скорости газов условия протекания всех физико-химических и тепловых процессов далеки от оптимальных. В результате спеченный агломерат прибортовой зоны имеет низкое качество.

В связи с этим возникает проблема изменить условия спекания агломерата в прибортовой зоне агломашин или же перейти на новую технологию, позволяющую в существующих условиях получить качественный агломерат.

Решение этой проблемы на основе научных изысканий позволит повысить качество агломерата прибортовой зоны и тем самым увеличить выход годного.

#### **Анализ исследований и публикаций.**

Проблеме улучшения качества агломерата, спеченного в прибортовой зоне агломашины, уделяется большое внимание. При этом основные разработки и предложения направлены на изменение условий спекания агломерата в прибортовой зоне путем снижения газопроницаемости слоя шихты в ней. В частности предложены различные устройства - уплотнители уложенного на спекательные тележки слоя ("лыжи", барабаны и др.) уменьшающие порозность слоя и тем самым увеличивающие его газодинамическое сопротивление.

В некоторых исследованиях проблема решается путем изменения структуры слоя шихты в прибортовой зоны. Достигается это увеличением высоты слоя шихты в этой зоне или же изменением условий сегрегации гранул шихты по его высоте [1,2].

Все известные предложения позволяют в той или иной мере решить проблему улучшения условий спекания агломерата в прибортовой зоне. Однако при этом вопрос тепловой нагрузки в прибортовой зоне решен не полностью, что не позволяет свести на нет негативное влияние условий спекания агломерата в этой зоне на его качество.

**Постановка задачи.** В работе поставлена задача: улучшить качество агломерата, спекаемого у бортов агломашины, не изменяя условий формирования структуры слоя шихты в этой зоне, а используя ее особенности. В частности, используя избыточный кислород этой зоны для увеличения тепловой нагрузки в ней путем окисления чугунной стружки вводимой в шихту, прилегающую к бортам агломашины.

#### **Изложение материала и его результаты.**

Проведенные по ширине одной из агломерационных машин ПАО «Алчевский металлургический комбинат» замеры скорости движения воздуха в слое сырой шихты показали следующее. По всей ширине машины, кроме бортовой зоны шириной около 100 мм, скорость движения воздуха примерно одинакова и в условиях комбината составляет 0,8-0,9 м/с. В прибортовой зоне она плавно возрастает, достигая максимального значения равного 1,2-1,5 м/с непосредственно у бортов.

Как показали расчеты такое увеличение скорости движения воздуха в слое прибортовой зоны вызвано тем, что пористость слоя в этой зоне на  $0,08 - 0,10 \text{ м}^3/\text{м}^3$  выше, чем во всем остальном слое.

Пористость слоя прибортовой зоны может быть снижена путем ввода в слой любого мелкого материала, например, агломерационной руды. Однако при этом удастся лишь выровнять скорость движения воздуха в слое по ширине машины без компенсации потерь тепла через

борта спекательных тележек. В результате проблема получения качественного агломерата в прибортовой зоне будет решена не в полной мере.

Для увеличения тепловой нагрузки в слой необходимо вводить не инертный материал, а какой-либо теплоноситель. В частности таким материалом может быть мелкая чугунная стружка. Соответствующие расчеты показали, что максимальное количество вводимой стружки, которое может быть введено в слой, составляет около 18 % от массы шихты в прибортовой зоне.

С целью определения влияния ввода стружки в прибортовую зону спекаемого слоя в лаборатории ДонГТУ проведены специальные исследования.

При проведении исследований в центральную часть установки загружалась обычная агломерационная шихта, а в прибортовую - шихта, содержащая чугунную стружку. Спекания проводились в цилиндрической чаше диаметром 0,2 м и высотой 0,4 м. Стружка вводилась в прибортовое кольцо шириной 0,01 м в количестве 10- 20 % от общей массы шихты загруженной в эту кольцевую зону.

Насыпная масса шихты со стружкой возрастала пропорционально ее количеству в шихте. Если насыпная масса шихты без стружки равнялась  $1870 \text{ кг/м}^3$ , то при введении в нее стружки в количестве 0,1 и 0,2 от массы шихты ее насыпная масса в условиях опытов была равна 2170 и  $2450 \text{ кг/м}^3$  соответственно. Учитывая, что стружка не участвовала в процессе окомкования шихты, а вводилась в слой непосредственно при загрузке шихты в установку, увеличение насыпной массы приводило к снижению пористости слоя в прибортовой зоне. Обычно пористость слоя агломерационной шихты равна  $0,47 - 0,54 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . В прибортовой зоне она выше на  $0,05 - 0,07 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

В результате проведенных исследований установлено, что шихта прибортовой зоны после ввода в слой стружки спекается примерно в таких же условиях, как и шихта в центральной части установки. При вводе стружки в прибортовую зону выравнивается температура по сечению спекаемого слоя. Если при обычном спекании температура в прибортовой зоне не превышала  $600-700 \text{ }^\circ\text{C}$ , то при вводе стружки она была близка к температуре в центре чаши (возросла до  $1200-1250 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Повышение температуры в прибортовой зоне явилось следствием окисления чугунной стружки. Физико-химические закономерности этого процесса подробно описаны в работе [3].

При вводе чугунной стружки в прибортовую зону выход годного агломерата крупностью более 5 мм возрастал пропорционально количеству введенной стружки, - на 1-2 %.

В результате прочность агломерата по всей установке стала примерно одинакова. Определенный по методике, изложенной в работе [4]

коэффициент прочности агломерата центральной зоны был равен 1,32, а агломерата прибортовой зоны – 1,34.

Разработанная технология опробована в аглоцехе Алчевского металлургического комбината. При этом порядок проведения экспериментов был следующий.

Вначале, во время кратковременной остановки агломашины, перед зажигательным горном в слой у одного из бортов спекательной тележки на глубину 150 мм был заглублен в шихту П-образный стальной лист толщиной 1 мм. Лист ограничивал возле борта тележки прямоугольную зону шириной 100 мм и длиной 350 мм.

Спекание агломерата во время проведения эксперимента проводилось при вакууме 840 мм вод. ст., скорости движения аглоленты 1,5 м/мин и высоте слоя 350 мм. Температура в зажигательном горне была равна 1020°C.

После завершения процесса агломерации и выхода тележки с экспериментальным спеком в зону охлаждения производилось извлечение куска, ограниченного П-образным листом, для проведения исследований. При извлечении спека из ограниченной зоны было установлено, что реально можно извлечь спек на глубину не более 150 мм. Поэтому в последующих двух опытных спеканиях стружка загружалась в слой толщиной не более этой величины.

В этих опытных спеканиях чугунная стружка вводилась в слой в количестве 1 и 2 кг, что в пересчёте на всю спекаемую аглошихту при двухсторонней загрузке составит приблизительно 0,3 % и 0,6 % соответственно. Загрузка заданного количества стружки производилась на тележку вдоль борта на глубину приблизительно 150 мм и ширину приблизительно 100 мм. Загрузку стружки проводили по возможности равномерно, а после загрузки обязательно перемешивали стружку с шихтой для предотвращения образования плотной корки на поверхности спека. После загрузки стружки, в шихту заглублялся П-образный лист.

Следует отметить, что во всех трёх спеканиях стальной П-образный лист в ходе агломерации шихты с глубины приблизительно 20 мм полностью окислился. Включений чугунной стружки при осмотре спека также не было обнаружено, что полностью согласуется с ранее установленными авторами закономерностями поведения при агломерации металлического железа [3].

После извлечения спека проводился его рассев на ситах 3 и 5 мм и готовились пробы для химического анализа. Результаты отсева спеков и их полные химические анализы приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Результаты рассева экспериментальных спеков

Фракция	Спек без стружки		Спек с вводом в прибортовой слой 1 кг стружки		Спек с вводом в прибортовой слой 2 кг стружки	
	кг	%	кг	%	кг	%
+ 5	2,60	94,55	2,7	95,07	2,60	95,60
3 - 5	0,05	1,82	0,06	2,11	0,07	2,57
- 3	0,10	3,63	0,08	2,81	0,05	1,84
Всего	2,75	100	2,84	100	2,72	100

Таблица 2 – Химический анализ спеков с различным содержанием стружки

Количество введенной стружки, кг	Содержание компонентов, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Fe	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO
0	9,27	0,93	9,78	1,55	56,3	24,9	52,8	0,187
1	8,87	0,88	8,97	1,38	57,3	28,1	50,7	0,161
2	8,28	0,91	9,33	1,5	58,3	33,9	45,7	0,232
Количество введенной стружки, кг	Содержание компонентов, %							
	P	S	TiO <sub>2</sub>	Zn	Pb	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P
0	0,032	0,087	0,047	0,009	0,014	0,1	0,14	0
1	0,037	0,072	0,046	0,012	0,015	0,1	0,15	1
2	0,033	0,175	0,048	0,009	0,015	0,08	0,15	2

Как следует из таблицы 1, выход фракции + 5 мм при вводе в прибортовую зону чугуной стружки увеличивается пропорционально ее количеству. При этом прирост выхода фракции в условиях эксперимента составлял примерно 0,5 % на каждый кг введенной стружки.

Изменение количества фракции + 5 мм, явилось следствием повышения температурного уровня в прибортовой зоне, которое повлияло также и на изменение химического состава полученного агломерата.

Полученные данные позволяют полагать, что при полномасштабном внедрении предложенной технологии выход годного агломерата возрастет на 1,2-2,0 %.

Как следует из анализа данных, приведенных в таблице 2, при вводе в слой чугунной стружки содержание Fe в агломерате возрастает пропорционально количеству введенной стружки. В условиях опытов содержание железа в спеке прибортовой зоны возросло на 1 % на каждый кг введенной стружки. В пересчете на весь агломерат рост содержания железа в нем составит 0,1-0,2 %.

Согласно данным таблицы 2 при вводе в слой стружки содержание FeO в спеке возрастает также пропорционально количеству введенной стружки, что является следствием окисления металлического железа. Характерно, что при относительном увеличении расхода стружки металлическое железо в большей степени окисляется до FeO. Если при вводе в слой 1 кг стружки до FeO окислилось 58,7 % железа (остальное окислилось до Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), то при вводе 2 кг стружки – 75,2%.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Проанализировав результаты экспериментов можно сделать следующие выводы.

Ввод чугунной стружки в прибортовую зону агломашин позволяет существенно изменить условия спекания агломерата в этой зоне. В результате увеличивается выход годного агломерата на 1,2-2,0 %, при повышении содержания Fe в агломерате на 0,1-0,2 %.

Введенное в слой металлическое железо в количестве до 20 % от массы шихты окисляется полностью до FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом, чем больше введено стружки, тем в большей степени металлическое железо окисляется до FeO, что создает предпосылки для снижения расхода твердого топлива.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку теоретических основ использования чугунной стружки как в прибортовом слое аглошихты, так и при агломерации железорудного сырья в целом.

#### **Библиографический список**

1. Рудь Ю.С. Интенсификация процесса спекания перераспределением общего потока воздуха, просасываемого через слой агломерационной шихты / Ю.С. Рудь, В.Т. Кучер // *Теплотехника и газодинамика агломерационного процесса*. - Киев: Наукова думка. – 1983. – С. 133.

2. Авт. св. 1388443, МКИ С 22 В 1/16, Способ агломерации железосодержащих материалов / И.Ф. Русанов, С. Н. Петрушов, С. Н. Кобышкин и др.// *Опубл. Бюл. № 14.*– 1988.

3. Петрушов С.Н. Определение прочности материалов по результатам их дробления / С.Н. Петрушов, И.Ф. Русанов, Д.Б. Остапенко, Р.И. Русанов, Д.С. Петрушов // *Теория и практика производства чугуна: Сб. тр. Междун. НТК (Кривой Рог, КГГМК “Криворожсталь”, 24-27 мая 2004 г).* – С. 499-501.

4. Петрушов С.Н. Особенности спекания агломерата из шихты, содержащей металлическое железо / С.Н. Петрушов, И.Ф. Русанов, Р.И. Русанов, Д.В. Лупанов // Сборник научн. трудов ДонГТУ. - вып. 19. - 2005. – С. 142-149.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.*