

полнив в нем перегородки, создающие отдельные камеры, в которых происходит по стадийное брожение осадка, циклично перемещаемого из одного отсека в другой.

Обоснованные направления увеличения выхода биогаза и объемы постоянно образующегося сырья показывают, что данная технология, не смотря на общеизвестность и не сложное в исполнении оборудование перерабатывающих систем, еще имеет достаточные резервы для повышения качественных показателей получаемого альтернативного топлива, достижение которых вызовет требуемую для экологической безопасности интенсивность внедрения.

#### Литература

1. Осмонов О.М. Основы инженерного расчета гелиобиоэнергетических установок. / М.: Издательско-аналитический центр «Энергия», 2011. 175 с.
2. Полосин И.И., Кузнецова Н.В., Щукина Т.В. Биогаз – как способ регулярного снабжения топливом локальных потребителей // *Materialy VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Perspektywiczne opracowania są nauką i technikami – 2011»*, 07-15 listopada 2011 roku. Volume 49. *Chemia i chemiczne technologie.: Przemysł. Nauka i studia – Str. 52-57.*
3. Зуева С.Б., Зарцына С.С., Щербаков В.И. Экозащитные технологии систем водоотведения предприятий пищевой промышленности. / СПб.: Проспект Науки, 2012. 328 с.
4. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива/ показатели по территориям/ - М.: «ИАЦ Энергия», 2007. 272 с.
5. Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. – М.: Стройиздат, 1991. 128 с.
6. Щукина Т.В. Биогаз – перспективы и возможности производства // *Известия вузов «Прикладная химия и биотехнология»*, 2012, № 1(2). С. 113-118.
7. Кузнецова Н.В., Щукина Т.В. Повышение надежности альтернативного газоснабжения локальных потребителей // *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник тезисов шестнадцатой международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (24-26 апреля 2013 г., г. Москва); М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО «МГСУ» Москва: МГСУ, 2013. С. 243-247.*

### **Снижение расхода агло топлива при агломерации железорудной шихты за счет подачи в спекаемый слой воды и газовой смеси**

Богомолов В.М., к.т.н. доц. Богомолова Н.П., Гречко Е.Г.  
*Университет машиностроения*  
8(4992)267-10-12

*Аннотация.* Исследована возможность улучшения параметров агломерационного процесса железорудной шихты путём совместной подачи воды и углеводородов.

*Ключевые слова:* агломерация железорудной шихты, оптимизация агломерационного процесса;

Идея частичной замены агло топлива углеводородным газом впервые появилась еще в 1947 году [1]. Однако практической реализации она не получила из-за воспламенения газообразного топлива не внутри, а над поверхностью слоя спекаемой шихты.

Кроме того, были попытки использовать водяной пар или тонкодисперсную воду в процессе агломерации для уменьшения толщины зоны горения и, как следствие, увеличения газопроницаемости спекаемого слоя и производительности процесса. Тем не менее, все предлагавшиеся способы применения воды не дали ожидаемого эффекта [2, 3].

Впервые совместное использование газа и воды было предложено группой авторов [4]

для процесса агломерации в производстве свинца. Это позволило, согласно лабораторным [5] и промышленным [6] испытаниям, повысить производительность процесса на 26-60%, вовлечь в переработку окисленные свинецсодержащие промпродукты свинцового и цинкового производств, улучшить качественные показатели агломерата: прочность, пористость, химический состав.

Полученные высокие результаты явились предпосылкой для исследования эффективности применения данного метода в агломерационных процессах черной металлургии.

Были проведены лабораторные испытания на типовой шихте одного из отечественных предприятий черной металлургии. В качестве исследуемых параметров были приняты: расход аглотоплива (70% коксовой мелочи и 30% нефтекокса) [кг/т шихты] и количество подаваемых в спекаемый слой шихты воды и углеводородного газа (пропана).

Шихту перемешивали в грануляторе в течение 3-х мин. и частично увлажняли, а затем доувлажняли до оптимальной влажности и окатывали в течение 5 мин. За 1 мин. до завершения окатывания, на поверхность шихты распыляли 20 мл диспергатора из жидкого стекла, приготовленного по заводской технологии. Такая технология шихтоподготовки позволила получать практически полностью гранулированную шихту с возможностью изменения размера гранул.

Подготовленную к спеканию шихту нагревали в электрическом подогревателе до 70 °С, а затем загружали в агломерационную чашу. Агломерацию осуществляли на лабораторной установке (см. рисунок 1).

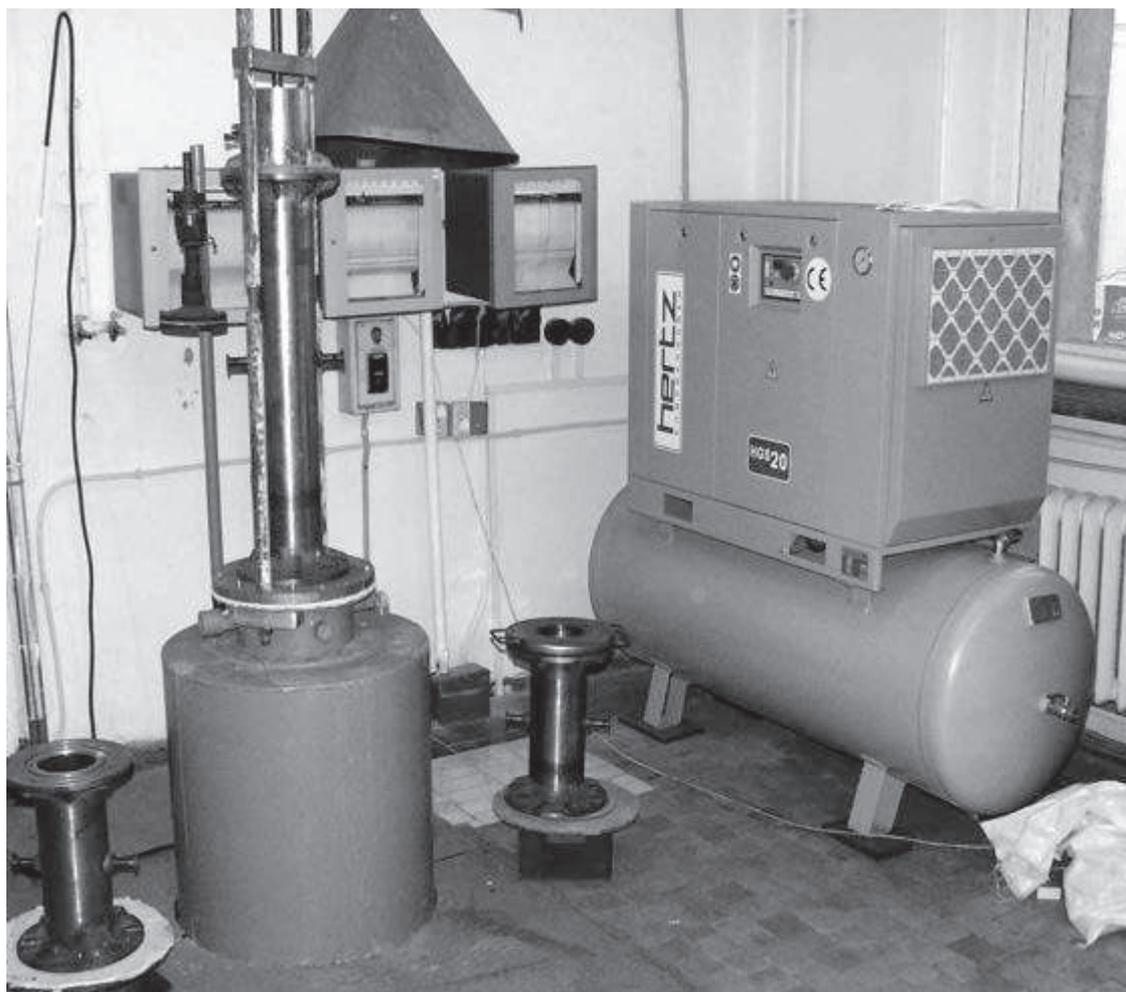


Рисунок 1. Агломерационная установка для спекания шихты

В течение опытов спекания стабилизировали следующие параметры процесса:

- высоту слоя шихты 400 мм;
- температуру подогрева шихты 70 °С;
- температуру 1240 °С и продолжительность 2,5 мин. зажигания шихты;
- окончание опыта (в момент начала устойчивого снижения температуры отходящих газов под колосниковой решеткой);
- охлаждение агломерата после опыта в чаше просасываемым воздухом до 100 °С.
- разрежение под колосниковой решеткой после зажигания - 880-900 мм. вод. ст.

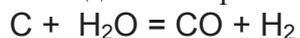
При выполнении экспериментов варьировали:

- расход аглотоплива ( $Q_k$ ) – 27-43 кг/т шихты
- расход дозируемой в слой воды ( $Q_B$ ) - 50-150 мл (3,8-13л/т шихты);
- расход дозируемого в слой пропана ( $Q_r$ ) - 3-20 дм<sup>3</sup> (в пересчете на метан 0,5-3,8 м<sup>3</sup>/ т шихты).

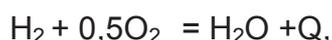
В процессе экспериментов контролировали:

- температуру в спекаемом слое (на глубине 200, 400 мм от поверхности слоя и на границе постель-шихта);
- выход годного Вг,% - определяли по прочности методом сбрасывания агломерата по выходу класса +10 мм;
- прочность на удар ( $Pr_{+5}$ ) - испытывали в барабане Рубина (количество оборотов барабана 100 за 4 мин.) по выходу класса +5 мм;
- прочность агломерата на истирание ( $Pr_{-0,5}$ ) по выходу класса -0,5 мм.

Лабораторные опыты выполняли на «усовершенствованной» шихте. Шихту загружали в аглочашу, зажигали с помощью короткофакельной горелки и спекали. После перемещения зоны горения на середину слоя, на поверхность шихты подавали воду в количестве 9-17 л/т шихты и газ, при сгорании которого выделялось 51 000 – 94 500 кДж/т шихты. Над слоем газоздушная смесь не загорается из-за низкой температуры поверхности. Интенсификаторы (газовоздушная смесь и водяной пар) проходят в зону спекания, где при температуре более 1000 °С происходит процесс конверсии водяного пара на аглотопливе



Продукты этой реакции сгорают в воздушном потоке



что в сочетании с теплом, выделяющимся при сгорании метана,



увеличивает температуру спекания в спекаемом слое и, как следствие, повышает жидкотекучесть образующегося при агломерации расплава. Расплав под действием гравитационных сил и попутного движения газового потока перемещается в нижние слои спекаемого слоя и более интенсивно переносит теплоту в направлении движения процесса спекания, что способствует увеличению вертикальной скорости спекания и уменьшает протяженность горячей зоны. Кроме того, при введении интенсификаторов образуются более тугоплавкие соединения, которые улучшают прочностные показатели. По завершении процесса готовый агломерат охлаждали путем просасывания воздуха, разгружали, анализировали и подвергали испытаниям на прочность.

Опыты 1 и 2 выполнялись на заводской шихте при одинаковом расходе аглотоплива на тонну шихты. Отличие опыта 2 от опыта 1 заключалось в том, что в течение спекания в шихту дозировали воду и газ.

## Результаты агломерации шихты в лабораторных условиях

№ оп	Агло-топливо, кг/т шихты (Q <sub>к</sub> )	Подача		Показатели агломерации			Пр, %		Температура от поверхности слоя, °С	
		Вода (Q <sub>в</sub> )	Газ (Q <sub>г</sub> )	V <sub>сп</sub> , мм/мин	V <sub>г</sub> , %	Q <sub>а</sub> , кг/т агл.	Пр <sub>+5</sub>	Пр <sub>-0,5</sub>	200 мм	400 мм
1	43	-	-	28,57	75,49	55,22	81,03	2,26	1285	1115
2	43	min	min	25,80	71,36	56,02	80,99	2,28	1400	1340
3	34	-	-	28,98	62,79	51,48	78,44	2,42	1275	1165
4	34	min	ср	23,88	70,77	45,86	79,17	2,59	1305	1112
5	34	max	max	29,63	62,93	50,80	82,37	1,89	1340	1175
6	34	ср	ср	29,65	61,72	51,57	80,30	2,33	1295	1275
Средние значения оп. 4-6	34	+	+	27,72	65,14	49,41	80,61	2,27	1313	1187
7	27	min	ср	27,34	44,45	57,6	67,72	2,34	1380	1105
8*	27	-	-	18,8	36,16	69,0	59,51	3,9	-	-
9*	27	ср	ср	19,8	49,42	51,6	64,63	3,42	-	-
П	42,8	-	-	25,34	59,57	56,9	79,75	3,7	-	-

\*- высота спекаемого слоя шихты 810 мм; П – производственные значения

Как видно из приведенных в таблице 1 данных (оп. 2), при подаче даже минимального количества воды и газа почти все показатели агломерации, за исключением прочности на удар, по сравнению со средними значениями показателей агломерации шихты в базовом режиме спекания ухудшились. По мнению авторов, это связано с повышенным тепловыделением, что приводит к увеличению жидких фаз и, как следствие, снижению газопроницаемости спекаемой шихты. Это подтверждается анализом результатов измерения температуры в спекаемом слое шихты, который показал, что в момент подачи воды и газа температура в слое составляет 1400 °С, что выше температуры спекания той же шихты в базовом режиме на 115 °С. В результате снизились почти все показатели спекания шихты.

В связи с этим было принято решение снизить содержание агломерационного топлива в шихте при проведении последующих опытов.

В опыте 3, выполненном на шихте со сниженным на 20% по сравнению с заводским расходом агло топлива, вертикальная скорость спекания несколько выше (за счет улучшения газопроницаемости), а выход годного, прочность на истирание и прочность на удар хуже, чем их производственные значения. Частичное ухудшение показателей опыта 3 очевидно обусловлено недостатком в шихте топлива.

Опыты 4, 5 и 6 выполняли на той же шихте, что опыт 3, но с дозировкой воды и газа в спекаемый слой.

Средние значения показателей агломерации этих лабораторных опытов лучше анало-

гичных производственных показателей:

- $V_{сп}$ , (мм/мин) 27,72 против 25,34 (выше на 9,4%);
- $V_r$ , (%) 65,14 против 59,57 (выше на 9,4%);
- $Q_k$ , (кг/т агломерата) 49,41 против 56,9 (ниже на 13,2%);
- Пр, (%):
  - Пр<sub>+5</sub> 80,61 против 79,75 (выше на 1,1%);
  - Пр<sub>-0,5</sub> 2,27 против 3,70 (ниже на 38,7%).

Средние значения показателей агломерации в лабораторных опытах 4, 5 и 6 несколько лучше аналогичных показателей в лабораторном опыте 3, за исключением скорости спекания

- $V_{сп}$ , (мм/мин) 27,72 против 28,98 (ниже на 4,3%);  
лучше аналогичных показателей в лабораторном опыте 3:
- $V_r$ , (%) 65,14 против 62,79 (выше на 3,7%);
- $Q_a$ , (кг/т агломерата) 49,41 против 51,48 (ниже на 4,0%);
- Пр, (%):
  - Пр<sub>+5</sub> 80,61 против 78,44 (выше на 2,8%);
  - Пр<sub>-0,5</sub> 2,27 против 2,42 (ниже на 6,2%);

Кроме того, результаты отдельных опытов показывают, что при спекании шихты с уменьшенным на 20% по сравнению с производственным содержанием твердого топлива, варьированием дозировки воды и газа (оп. 4, 5 и 6) в лабораторных условиях можно достичь еще более высоких показателей агломерации:

- $V_{сп}$  - 29,65 мм/мин (оп. 6);
- $V_r$  - 70,77 % (оп.4);
- $Q_k$  - 45,86 кг/т агломерата (оп.4);
- Пр, (%):
  - Пр<sub>+5</sub> - 82,37 % (оп.5);
  - Пр<sub>-0,5</sub> - 1,89% (оп.5).

Из этого следует, что варьированием дозировки воды и газа можно улучшить все показатели агломерационного процесса. Однако для достижения этой цели необходимо выполнить опыты по определению оптимальных параметров агломерации производственной шихты в лабораторных условиях, так как это было сделано для свинцовой шихты [5].

Сравнительный анализ результатов отдельных лабораторных опытов, выполненных с дозировкой воды и газа (оп. 4, 5, 6) с существующими производственными показателями показывает, что при достижении значений лабораторных опытов показатели агломерации в производственных условиях улучшатся:

- $V_{сп}$  возрастет с 25,34 до 29,65 мм/мин (на 17%);
- $V_r$  увеличится с 59,57 до 70,77 % (на 18,8%);
- $Q_a$  снизится с 56,9 до 45,86кг/т агломерата (на 19,4%);
- Пр, (%):
  - Пр<sub>+5</sub> увеличится с 79,75 до 82,37 % (на 3,3 %);
  - Пр<sub>-0,5</sub> уменьшится с 3,7 до 1,89% (на 51,1%).

Для определения предельных значений снижения содержания твердого топлива в шихте агломерации выполняли опыт 8, в котором содержание аглотоплива уменьшили до 27 кг на т шихты. Результаты приведены в таблице 1.

Как видно, в опыте 8, выполненном с дозировкой воды и газа на шихте содержащей более чем на 35% топлива меньше, чем обычно дозируется в заводских условиях, все показатели агломерации по сравнению с показателями спекания шихты в лабораторных и производственных условиях заметно ухудшились.

Сравнивая результаты опытов 8 и 9 можно констатировать, что при спекании слоя шихты высотой 810 мм (в два раза выше, чем в остальных опытах) с подачей воды и газа (оп. 9) по сравнению с агломерацией в базовом для завода режиме без газа и воды (оп. 8)

увеличивается  $Pr_{+5}$  - на абс.9%;  $Q_a$  уменьшается на 34%. Для сравнения аналогичные показатели агломерации этой же шихты при высоте слоя 400 мм (см. оп. 4, 5, 6 по сравнению с оп. 3) изменяются следующим образом: возрастает  $Pr_{+5}$  на 5%; уменьшается  $Q_a$  на 12,5%. Таким образом, на основании дополнительных опытов с определенной долей уверенности можно заключить, что при многократной подаче воды и газа в спекаемый слой при увеличении слоя шихты до 600 – 800 мм, процесс агломерации будет существенно эффективней, чем при спекании по этой же технологии производственных слоев шихты высотой 400 мм.

#### **ВЫВОДЫ:**

1. Лабораторные опыты по совершенствованию агломерационного процесса подачей воды и углеводородного газа в спекаемый слой производственной шихты показали принципиальную возможность и целесообразность осуществления этой технологии при спекании шихт в черной металлургии.

2. Установлено, что дозировкой воды и природного газа можно влиять на качественные и количественные показатели агломерационного процесса.

3. При спекании шихты с подачей воды и углеводородного газа для повышения качественных и количественных показателей агломерационного процесса рекомендуется, по сравнению с заводским, снизить содержание аглотоплива.

4. Для достижения лучших показателей агломерационного процесса рекомендуется повысить высоту спекаемого слоя шихты с многократной подачей воды и газа в спекаемый слой.

В дальнейшем планируется изучить влияние подачи воды и природного газа на изменение химического состава железорудного агломерата и отходящих газов.

#### **Литература**

1. Способ агломерации окисленных соединений металлов. Авторское свидетельство СССР №75223, опубл. 30.04.1949 г.
2. Воловик Г.А. // Сталь, 1972, №5, с.153
3. Кубышев Н.Н., Бийсентов А.А., Рахметов Б.А. // Цветные металлы, 1974, №5, с. 24-26
4. Способ подготовки металлургических шихт к плавке. Авторское свидетельство № SU 1225868А, Б.И. 1986, №16
5. Рязанов В.П., Богомоллов В.М. Опыты интенсификации агломерационного процесса введением газа и водяного пара в слой // Известия вузов. Цветная металлургия. 1985. №6, с. 28-31
6. Рязанов В.П., Богомоллов В.М. Влияние дозировки газа и воды на некоторые показатели спекающего обжига свинцовых шихт с низкой теплотворной способностью // Известия вузов. Цветная металлургия. 1988. №3, с. 39-45

#### **Методы и приборы определения активности цемента**

к.т.н. Головин В.В., д.т.н., проф. Латышенко К.П., соискатель Цикунов В.С.

*Университет машиностроения*

*8 (499) 267-0746, dealmark2009@yahoo.com*

*Аннотация.* Проведен обзор методов и приборов определения активности портландцемента, проанализированы их основные характеристики, определены достоинства и недостатки, сделаны выводы по использованию наилучшего метода измерения активности.

*Ключевые слова:* активность, прочность, цемент