

6. Газодинамические особенности слоя исходной аглошихты / И.С. Берсенев, Б.А. Боковиков, В.И. Клейн, А.А. Кутузов, Ю.Г. Ярошенко // Сталь. 2010. № 9. С. 16-18.

7. Повышение эффективности процесса агломерации при окомковании шихты с использованием ПАВ / Н.А. Майстренко, Е.В. Овчинникова, А.Н. Шаповалов, И.С. Берсенев // Сталь. 2016. № 1. С. 12-15.

8. Сравнительный анализ эффективности использования связующих различного типа при агломерации (в порядке обсуждения) / И.С. Берсенев, С.Н. Евстюгин, В.А. Горбачев, Д.Ю. Усольцев, Б.Г. Винничук // Сталь. 2015. № 8. С. 2-4.

9. Исследование эффективности использования извести при производстве агломерата в условиях АО «Уральская Сталь» / А.Н. Шаповалов, С.П. Зубов, Н.А. Майстренко, И.С. Берсенев // Сталь. 2017. № 6. С. 2-4.

10. Устройство для определения газопроницаемости агломерационной шихты / Батурин М.И., Лозовой П.Р. Пат. №231568 СССР Кл. 18а, 1/18 МПК С 21b.

УДК 669.162.1

Г. Г. Бардавелидзе, Н. А. Спирин

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СЕРО-ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОБЖИГОВЫХ МАШИНАХ

Аннотация. В данной работе описана последовательность и некоторые, усредненные по нескольким фабрикам окомкования, результаты определения исходных данных для перспективы внедрения серо-очистного оборудования. Представлен результат расчета баланса газо-воздушных потоков, теплового баланса и баланса серы в газо-воздушных и материальных потоках обжиговой машины. В результате выполнения инструментальных замеров на обжиговой машине и соответствующих теплотехнических, балансовых расчетов, выявлены источники максимального выброса серы в атмосферу через дымовую трубу обжиговой машины. В данной работе описаны перспективы использования, полученных в результате исследования и расчетов, параметров; применения данных параметров для реализаций проектов серо-очистного оборудования.

Ключевые слова: сера, обжиговая машина, тепловой баланс, сероочистка, баланс серы, инструментальные замеры.

Abstract. This paper describes the sequence and some, averaged over several pelletizing factories, the results of determining the initial data for the prospect of introducing sulfur treatment equipment. The result of calculating the balance of gas-air flows, heat balance and sulfur balance in gas-air and material flows of the indurating machine is presented. As a result of instrumental measurements on the roasting machine and the corresponding heat engineering, balance calculations, the sources of the maximum sulfur emission into the atmosphere through the chimney of the indurating machine have been identified. This paper describes the prospects for using the

parameters obtained as a result of research and calculations; application of these parameters for the implementation of projects of sulfur treatment equipment.

Key words: *sulfur, indurating machine, heat balance, sulfur purification, sulfur balance, instrumental measurements.*

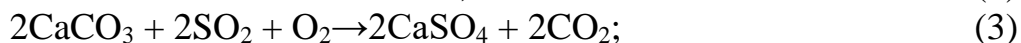
В связи с обострением экологической ситуации во всем мире, главы промышленных предприятий различных отраслей и направлений, рассматривают снижение вредных выбросов в атмосферу, приоритетным направлением дальнейшего развития. В связи с этим возникают обоснованные потребности в разработке мероприятий, способствующих снижению вредных выбросов. Данная тенденция, очевидно проявляется и в перделе производства обожженных окатышей. При производстве обожженных окатышей, в процессе термообработки на обжиговой машине сырых окатышей, полученных из железорудного концентрата, помимо всего прочего, осуществляется выброс в атмосферу вредных сернистых газов, что оказывает отрицательное влияние на все живое. Основным источником серы является железорудный концентрат, количество содержания серы в концентрате зависит от географии месторождения. Таким образом, тема сероочистки на фабриках окомкования сохраняет актуальность.

В литературе широко освещены вопросы механизма и кинетики удаления серы при обжиге окатышей различной основности, влияния основности на процессы десульфурации, упрочнения и металлургические свойства окатышей, формирование структуры окатышей различной основности при их нагреве. Рекомендуются оптимальные режимы термообработки окатышей различной основности на обжиговых конвейерных машинах.

Присутствие в составе окатышей извести осложняет процесс десульфурации вследствие взаимодействия сернистого ангидрида с известняком (CaCO_3) и продуктом его термического разложения известью (CaO).

Согласно литературным данным [1] при температурах ниже $1100\text{ }^\circ\text{C}$ образующийся при окислении пирротина сернистый газ практически полностью поглощается карбонатом кальция с образованием сульфата кальция. При более высоких температурах (более $1150\text{-}1250\text{ }^\circ\text{C}$) происходит удаление серы из офлюсованных окатышей за счет разложения сульфата кальция, но при этом скорость десульфурации значительно ниже, чем в случае неофлюсованных окатышей. Установлено, что соединение серы с флюсом происходит только через газовую фазу.

В присутствии флюса протекают следующие основные реакции:



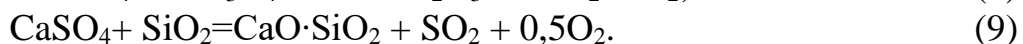
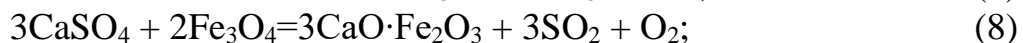
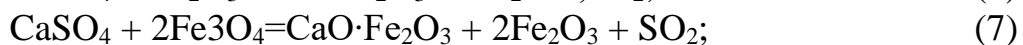
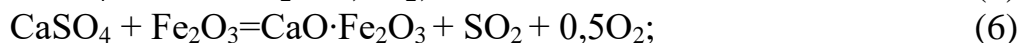
Реакция окисления пирротина интенсивно протекает, начиная с температуры $500\text{ }^\circ\text{C}$. Образующийся сернистый ангидрид при температурах до $900\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$ преимущественно взаимодействует с известняком, т.к. количество извести при этих температурах сравнительно невелико. При более высоких

температурах сернистый ангидрит взаимодействует, главным образом, с известью.

Сульфаты кальция являются по своей природе устойчивыми соединениями и разлагаются лишь при нагреве до температур 1600-1700 °С. В то же время, в присутствии оксидов железа (Fe_2O_3 , Fe_3O_4) и кремния (SiO_2) разложение сульфатов при обжиге окатышей наблюдается при температурах 1200-1300 °С и выше. Это объясняется образованием ферритов и оловинов кальция в результате реакций замещения и повышения давления диссоциации сульфата в присутствии указанных оксидов.

Экспериментально Ю.А. Берманом [2] установлено, что наиболее интенсивно сульфат кальция образуется в интервале температур 700-900 °С. При медленном нагреве до температуры 1000-1100 °С практически вся сера остается в окатышах в результате сульфатизации.

Термодинамические расчеты [3], показали, что при температурах выше 800 °С процесс десульфурации вероятен в протекании следующих реакций:



С повышением температуры наиболее сильно интенсифицируются реакции (5) и (8). Наличие в структуре окатышей магнетита вызывает более энергичную диссоциацию CaSO_4 , чем при взаимодействии с Fe_2O_3 .

Представленные ниже данные получены путем усреднения результатов исследования, нескольких фабрик окомкования Российской Федерации.

Для расчета баланса серы по обжиговой машине (ОМ) необходимо предварительно: рассчитать баланс газо-воздушных потоков и тепловой баланс ОМ [4]; определить температурно-временной режим работы ОМ и химический состав окатышей на входе и выходе из ОМ; осуществить замеры газового состава в газоходной системе в необходимых точках отбора обжиговой машины.

Результаты инструментальных замеров и расчетов представлены ниже (рис. 1, табл. 1-3).

Анализ результатов исследований и расчетов позволил определить основной источник выбросов серы в атмосферу с ОМ. Данным источником является технологическая зона обжига и рекуперации, где удаляется из окатышей максимальное количество серы и выбрасывается в дымовую трубу – 88 %. В общем, с обжиговой машины в дымовую трубу выбрасывается 96 % всей серы, поступившей на ОМ. Очистка газов от серы с газо-воздушных камер зоны обжига и рекуперации, позволит снизить выбросы серы в атмосферу примерно на 50 %. Приход серы с топливом незначителен – 1 %, как и предполагалось, основной источник серы – это концентрат ≈ 98 %. Потенциальная установка сероочистки изменяет тепловой баланс и баланс газо-воздушных поток обжиговой машины, посредством отбора технологических газов и их последующего охлаждения, что нарушает процесс термообработки окатышей. Таким образом, для каждой обжиговой машины, в перспективе внедрения

сероочистки, разрабатываются мероприятия по реконструкции и модернизации с целью сохранения эффективной работы ОМ.

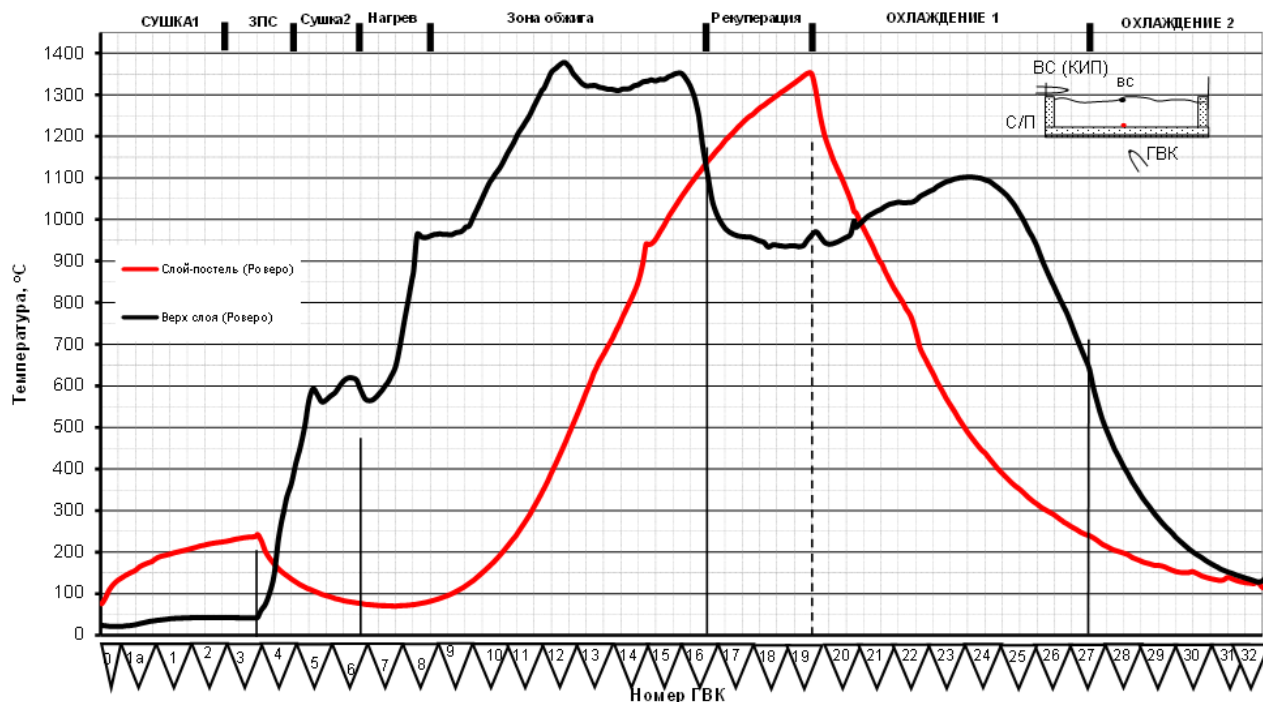


Рис. 1. Распределение температур по высоте слоя и по длине обжиговой машины

Таблица 1

Баланс газо-воздушных потоков обжиговой машины

Статья баланса	тыс. нм ³ /ч	нм ³ /т	%
Входящие газы			
Воздух	938	1756	55,1
Подсосы	719	1347	42,3
Газо-выделения	39	74	2,3
Топливо	4,47	8	0,263
Всего	1701	3185	100,0
Выходящие газы			
Газы в трубу	1286	2408	76
Продувы	415	777	24
Де-баланс	0	0	0
Всего	1701	3185	100

Таблица 2

Тепловой баланс обжиговой машины

Статья баланса	ГДж/ч	МДж/т	%
Приход			
Топливо	199	374	39
Воздух	38	70	7
Окатыши	8,09	15,15	1,59
ФХП	262	491	52
Всего	507	950	100
Расход			
Газ в атмосферу	242	454	48
Окатыши	59	111	12
ФХП	138	258	27
Потери	68,1	127,6	13,4
Всего	507	950	100

Таблица 3

Баланс серы обжиговой машины

Статья баланса	кг S/т обожж. ок.	%
Приход		
С топливом	0,048	1,20
С сырыми окатышами	3,931	98,17
С окатышами постели	0,03	0,63
Всего	4,00	100
Расход		
С обожженными окатышами	0,031	0,77
С окатышами постели	0,02	0,57
В дымовую трубу из зон обжига и рекуперации	3,55	88,71
В дымовую трубу колпака зоны сушки 1	0,29	7,20
С продувами в зоне охлаждения	0,11	2,76
Всего	4,00	100
Невязка	0,003	0,06

Заключение. Для перспективы внедрения серо-очистного оборудования на обжиговые машины требуется выполнение большого количества задач различного типа, начиная от исследования концентрата, заканчивая вариантами реконструкции и модернизации обжиговой машины, будучи работающей с серо-очистным оборудованием. Важную роль в реализации исследований играют инструментальные замеры, результаты которых позволяют осуществить необходимые расчеты и представить полную картину режима работы обжиговой машины, что способствует максимально эффективно в перспективе внедрить

сероочистку. Реализация проектов внедрения серо-очистного оборудования относительно дорогостоящее мероприятие, но перспектива дальнейшего ухудшения экологической ситуации позволяет расставить приоритеты в сторону защиты экологии несмотря на затраты.

Список использованных источников

1. Велецкий Р.К., Григина Н.Н. Измерение параметров пылегазовых потоков в черной металлургии». – М.: Металлургия, 1979. – 79 с.
2. Берман Ю.А. Основные закономерности производства окатышей. Челябинск: Металлургия, 1991. – 184 с.
3. Копырин И.А., Борц Ю.И., Граур И.Ф. Производство окатышей различной основности. – М.: Металлургия, 1975. – 192 с.
4. Боковиков Б.А., Брагин В.В., Евстюгин С.Н., Малкин В.М., Найдич М.И., Солодухин А.А. Теплофизические закономерности термообработки железорудных окатышей на конвейерной машине (математическое моделирование). – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – 200 с.

УДК 621.78.013

М. Ж. Богатова, С. И. Чибизова

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ) «МИСиС»», г. Москва, Россия

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В ПЕЧАХ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ

Аннотация. В статье предложен способ совершенствования тепловой работы нагревательных печей с шагающими балками станов горячей прокатки при помощи статистической математической модели нагрева металла. Объектом исследования является тепловая работа методической печи с шагающими балками для нагрева слябов перед прокаткой. Предметом исследования — статистическое моделирование нагрева металла в печи данного типа. На базе результатов, полученных в ходе проведения 15-ти автоматизированных направленных промышленных экспериментов на методических печах станов горячей прокатки российских металлургических предприятий, разработана статистическая модель, описывающая с допустимой точностью процесс нагрева стальных заготовок. Проведена адаптация статистической модели с использованием результатов промышленных экспериментов. В статье приведен график сравнения реальных и рассчитанных температурных значений на основании штатной математической и разработанной статистической моделей для одного из экспериментов. Сформулированы основные выводы, базирующиеся на результатах проделанного исследования. Впервые в металлургической практике разработана статистическая модель, описывающая процесс нагрева металла в пятизонной методической печи листового стана горячей прокатки с восемью нагревательными подзонами.

Ключевые слова: Математическая модель, статистическая модель, квазидинамическая модель, промышленный эксперимент, печи с шагающими балками.