

неравномерно. В местах скопления мелочи в средней части тележек скорости в два и более раза меньше скоростей у краев.

Таким образом, работа кольцевого охладителя без поддонов приводит к улучшению его теплотехнических и газодинамических параметров по сравнению с результатами, полученными при использовании поддонов:

- основные потери напора воздуха в подающем тракте охладителя вызваны наличием на тележках поддонов для сбора просыпи;
- просыпь агломерата на поддонах отсутствует;
- процесс охлаждения на тележках без поддонов протекает более интенсивно, чем на тележках с поддонами, так как на них обеспечены более высокие скорости фильтрации воздуха через слой;
- значения максимальной (поверхностной) и среднемассовой температуры на них на 50–70°C меньше, чем на тележках с поддонами.

Значения скоростей фильтрации, м/с

Тип тележки	Расстояние от внутреннего борта, м								Максимальная неравномерность
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	
С поддоном	1,52	1,29	1,90	1,01	0,87	1,21	1,06	1,47	2,2
С поддоном					0,32	1,75	1,62	2,89	9,0
Без поддона					1,22	1,44	1,99	1,91	1,6

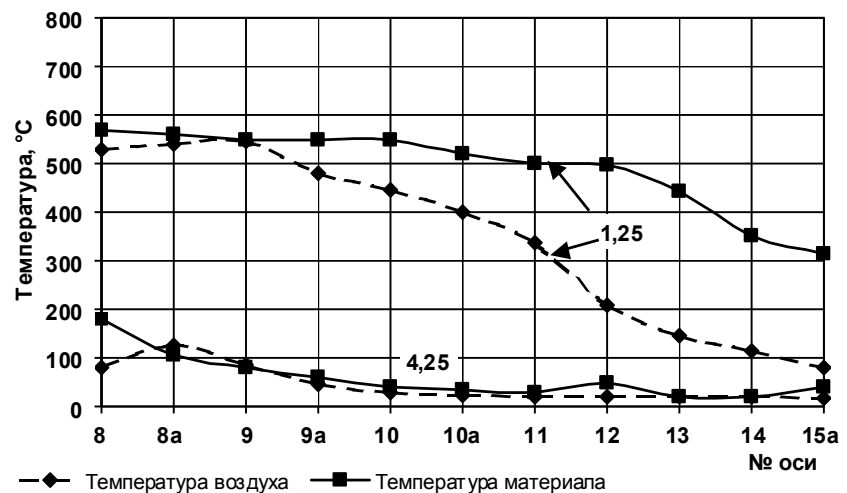


Рис. 4. Изменение температуры поверхности слоя и охлаждающего воздуха по длине кольца охладителя на тележке без поддона (цифры у кривых – расстояние от внутреннего борта тележки, м)

УДК 622.785

Заводяный А.В., Дружков В.Г., Прохоров И.Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКАЕМОСТИ НОВОКИЕВСКИХ ХРОМОНИКЕЛЕВЫХ БУРЫХ ЖЕЛЕЗНЯКОВ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Предприятия черной металлургии Урала постоянно испытывают дефицит железорудного сырья и никеля, их приходится завозить из других регионов.

Запасы железа в рудах Южного Урала составляют 80–100 млн т, никеля – 1,5–2 млн т. Содержание никеля в рудах невысокое, обычно не превышает 0,8–1,2% [1].

Дефицит никеля становится особенно заметным в связи с окончанием периода застоя в отечественной судостроительной промышленности и появлением заказов на крупные суда (танкеры водоизмещением до 300 тыс. т и др.), что увеличивает спрос на «судовые» марки стали, поставщиком которых был Орско-Халиловский метал-

лургический комбинат.

Никелевая отрасль Южного Урала имеет ряд недостатков: отсталость технологий по подготовке руды; отсутствие современных систем загрузки шахтных печей, а также подогрева дутья, использования альтернативных энергоносителей (угля, природного газа, мазута). Однако регион обладает большими запасами окисленных никелевых руд, добываемых открытым способом и расположенных в районах с высокоразвитой инфраструктурой, энергетической и транспортной системами. В качестве примера можно назвать группу месторождений хромоникелевых бурых железняков и конгломератов, кроме железа содержащих хром, никель, кобальт. Основные из

них – Аккермановское, Новокиевское, Новопетропавловское, Малохалиловское, Орловское, Буруктальское. Наиболее разведанными являются Аккермановское (более 170000 тыс. т), Буруктальское и Новокиевское (практически выработано) месторождения [2].

Для переработки хромоникелевых руд здесь в конце 1940-х годов был построен ОХМК. В разные годы на предприятии использовалось несколько схем переработки местных руд в агломенном производстве.

С 1955 по 1973 год во вращающихся печах на ОХМК производили крицу для добавки в количестве 350–500 кг/т чугуна к сырой новокиевской руде при производстве литейного хромоникелевого чугуна. Крупная руда направлялась в доменный цех, мелкая руда (6–0 мм), количество которой достигало до 40% от добытой, складировалась на временном отвале рудника, а часть ее (наиболее богатая по содержанию Fe, Ni и Cr) шла на производство крицы.

Использование крицы в доменной плавке вело к ухудшению газодинамических условий процесса, обусловленного разнородностью гранулометрического состава крицы и высоким содержанием мелочи (около 30% фракции 5–0). Кроме того, производительность вращающихся печей была невысокой из-за частого образования настывлей [2].

Крица и часть сырой новокиевской руды при выплавке хромоникелевых чугунов с содержанием никеля 0,5% были заменены на обожженную руду. Обжиг её проводился с использованием газообразного топлива во вращающихся печах, ранее использовавшихся для производства крицы. При производстве чугуна из обожженной руды увеличился приход пустой породы, что потребовало на ее ошлакование дополнительного расхода известняка. При выплавке чугуна с содержанием никеля до 1% расход известняка составлял 896–967 кг/т чугуна; выход шлака – 1180–1300 кг/т чугуна, расхода кокса – 1300–1450 кг/т чугуна, а производительность доменной печи – 685–710 т/сут.

В разные годы на комбинате с участием многих институтов (Механобр, ЦНИИЧМ, Челябинский НИИМ и др.) разрабатывались технологии производства агломерата из хромоникелевых руд, однако в большинстве случаев получаемый агломерат имел низкие прочностные показатели, а процесс спекания – сравнительно невысокую удельную производительность. Но было выявлено, что удельная производительность спекания и качество агломерата повышаются при добавке в шихту утяжелителей, таких как окалина и чугунная стружка [2].

В настоящее время разрабатывается лишь одно

месторождение Орско-Халиловской группы – Буруктальское. Руда используется для производства ферроникеля в ОАО «Южуралникель» с получением агломерата и последующей шахтной плавкой. Высокую рентабельность данного производства можно обеспечить только при модернизации шахтных печей и обеспечении их высококачественным агломератом.

Агломерация бурых железняков затрудняется по нескольким причинам: высокая теплопотребность шихты; высокий расход топлива, что связано с затратами тепла на удаление гидратной влаги; большие объёмы газа, образующиеся при агломерации и влияющие на распределение тепла [3, 4].

Агломерация хромоникелевых бурых железняков имеет ещё и свои отличительные особенности: трудности в работе механизмов агломерационного цеха из-за налипания руд на стенки технологического оборудования и зависания в бункерах; малый насыпной вес руды, что ведет к получению сильно пористого агломерата невысокой прочности [5].

Для успешной агломерации Орско-Халиловских бурых железняков необходимо введение в шихту дополнительных компонентов в качестве наполнителей-утяжелителей. Последними могут быть окалина и чугунная стружка, но они чаще всего загрязнены и являются дефицитными. Поэтому стоит задача поиска материалов, которые при производстве агломерата из хромоникелевых бурых железняков могли бы стать наполнителями-утяжелителями, а также интенсифицировать процесс спекания.

С целью совершенствования технологии агломерации Орско-Халиловских бурых железняков на агломерационной установке Новотроицкого филиала МИСиС были проведены лабораторные спекания новокиевской руды с получением офлюсованного агломерата.

Был составлен план эксперимента по методу Бокса-Бенкина [6], состоящий из тринадцати опытов, при варьировании содержания:

– концентрата Соколовско-Сарбайского ГОКа в железорудной части шихты от 3 до 6% с интервалом 1,2%;

– углерода в сухой шихте от 6 до 10% с интервалом 2%;

– возврата в железорудной части шихты от 17,5 до 35% с интервалом 8,75%.

Указанные факторы варьировались на трех уровнях.

Состав компонентов агломерационной шихты приведен в **табл. 1**.

Матрица планирования эксперимента в расчетном виде представлена в **табл. 2**.

Таблица 1

Химический состав компонентов агломерационной шихты

Компонент шихты	Зола	С нел	Fe	Cr	Ni	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Концентрат ССГОК			66,09			4,10	1,35	1,05	0,91
Руда хромоникелевая			34,43	0,97	0,49	15,47	6,61	8,35	2,31
Коксик	10,6	86,5							
Зола коксика			8,51			46,2	17,2	7,40	3,11
Известняк						0,51	0,12	53,3	0,73

Таблица 2

Матрица планирования экспериментов в расчетном виде

Номер опыта	Переменные факторы			Постоянные факторы		
	Концентрат ССГОКа, %	С _{нел} , %	Возврат, %	Н слоя, мм	Влажность, %	(CaO+MgO) / (SiO ₂ +Al ₂ O ₃)
1	6,00	10,00	26,25	300,00	19,00	1,0
2	6,00	6,00	26,25	300,00	19,00	1,0
3	3,60	10,00	26,25	300,00	19,00	1,0
4	3,60	6,00	26,25	300,00	19,00	1,0
5	6,00	8,00	35,00	300,00	17,00	1,0
6	6,00	8,00	17,50	300,00	21,00	1,0
7	3,60	8,00	35,00	300,00	17,00	1,0
8	3,60	8,00	17,50	300,00	21,00	1,0
9	4,80	10,00	35,00	300,00	17,00	1,0
10	4,80	10,00	17,50	300,00	21,00	1,0
11	4,80	6,00	35,00	300,00	17,00	1,0
12	4,80	6,00	17,50	300,00	21,00	1,0
13	4,80	8,00	26,25	300,00	19,00	1,0

Каждый опыт повторялся дважды, и параметры определялись как среднее из двух опытов.

Спекания проводилось в аглошаше диаметром 260 мм, разрежение под колосниковой решеткой достигало 12 кПа. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

Опыт проводили в следующем порядке:

- взвешивание компонентов аглошихты и загрузка в смесительный барабан;
- смешивание в течение 3 мин;
- увлажнение и окомкование в течение 4 мин;
- загрузка на колосниковую решетку слоя постели высотой 25–30 мм;
- загрузка шихты в спекательную чашу;
- включение вакуумного насоса и зажигание шихты (в процессе спекания ежеминутно регистрировалась температура и разрежение в вакуум-камере);
- дробление аглоспека производили сбрасыванием с высоты 2 м на металлическую плиту;
- прочность агломерата определяли в барабане в соответствии с ГОСТ 15137-77.

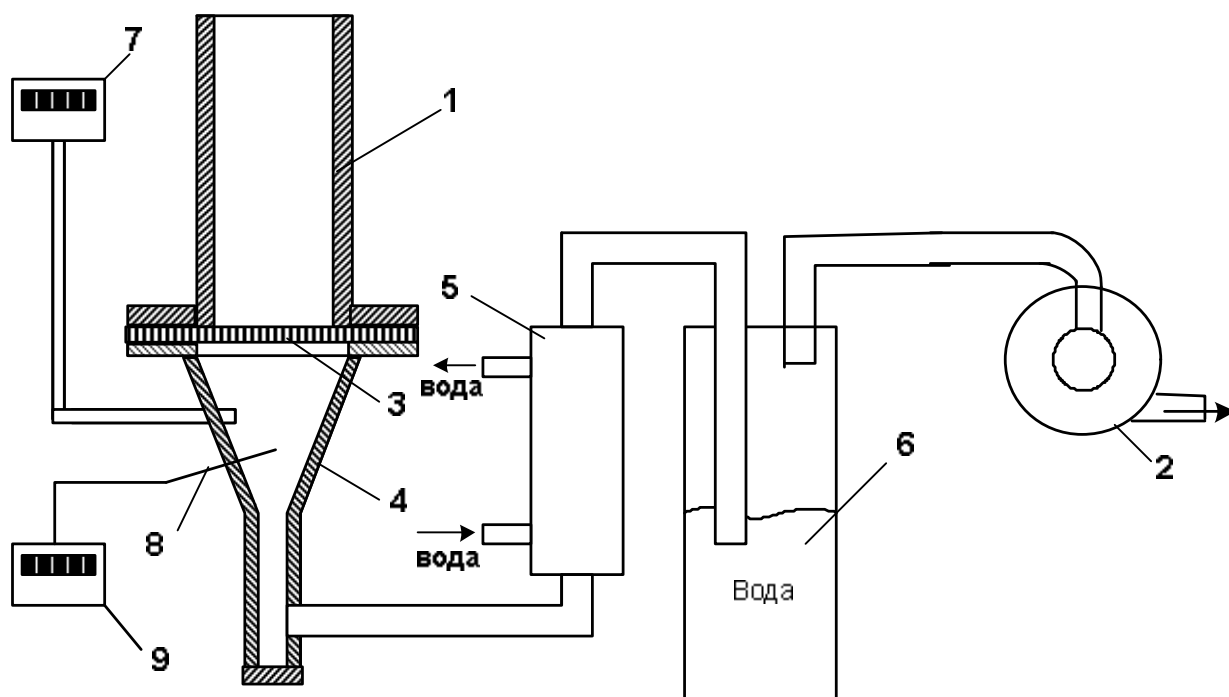


Рис. 1. Схема агломерационной установки:

- 1 – спекательная чаша; 2 – вакуумный насос; 3 – колосниковая решетка; 4 – вакуум-камера; 5 – охладитель; 6 – пылеуловитель; 7 – манометр; 8 – термомпара; 9 – потенциометр

Таблица 3

Средние показатели барабанной прочности агломерата и удельной производительности установки по годному агломерату

Номер опыта	40–25, %	25–10, %	10–5, %	5–0, %	Барабанное число, %	Уд. произв. по годному агломерату, т/м ² ·ч
1	27	38	14	21	78,82	1,680
2	18	43	19	19	80,63	1,464
3	18	44	21	18	82,29	1,539
4	24	38	18	20	80,23	1,410
5	26	48	14	13	87,11	1,657
6	24	41	17	18	81,81	1,515
7	27	44	15	15	85,33	1,512
8	25	36	16	22	77,86	1,417
9	31	42	15	13	87,49	1,671
10	25	44	14	17	83,10	1,542
11	19	43	17	21	79,33	1,461
12	17	40	21	22	78,06	1,373
13	26	44	12	18	82,26	1,611

Таблица 4

Химический состав агломерата некоторых опытных спеканий

Номер опыта	Fe	Cr	Ni	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	P	S
2.1	45,24	0,89	0,44	15,56	2,63	12,52	5,18	0,42	0,312	0,117	0,058
2.2	45,38	0,92	0,45	15,95	2,78	12,82	5,28	0,45	0,325	0,119	0,062
4.1	44,49	0,85	0,42	15,46	2,89	12,79	5,11	0,47	0,289	0,110	0,048
4.2	44,52	0,87	0,44	15,37	2,93	12,72	5,03	0,43	0,295	0,116	0,051
5.1	45,45	0,92	0,41	15,26	2,70	12,46	5,57	0,44	0,376	0,134	0,071
5.2	45,55	0,95	0,42	15,53	2,80	12,96	5,38	0,46	0,326	0,121	0,065
9.1	45,33	0,91	0,45	15,83	2,68	12,58	5,47	0,49	0,342	0,120	0,059
9.2	45,03	0,84	0,42	15,94	2,67	13,04	5,51	0,46	0,334	0,128	0,061
11.1	45,13	0,93	0,44	16,0	2,91	13,11	5,24	0,47	0,300	0,112	0,051
11.2	44,94	0,91	0,4	15,93	2,97	13,03	5,32	0,47	0,312	0,119	0,064

Выход годного из спека не учитывает того, что для получения нужного количества возврата приходится дробить часть годного агломерата и переводить в возврат. Поэтому при определении выхода годного агломерата учтена разница между количеством возврата в шихте и количеством возврата, полученного после дробления.

Усредненные данные по двум сериям опытов представлены в табл. 3.

Проведенный математический анализ с проверкой однородности дисперсий по критерию Кохрена и адекватности полученного полинома по критерию Фишера показал возможность моделирования полнофакторного эксперимента при тех же условиях. Построены графические зависимости удельной производительности спекания агломерата из хромоникелевых бурых железняков в трёхмерном пространстве (рис. 2–4).

Химический состав агломерата ряда спеканий представлен в табл. 4.

По приведенным данным видно, что при добавке в железорудную часть аглошихты концентрата ССГОКа от 3 до 6% разубоживание по никелю и хрому незначительное.

Заключение

Проведенные исследования позволяют утверждать, что при агломерации хромоникелевых бурых железняков возможно получение качественного агломерата с высокой прочностью (бара-

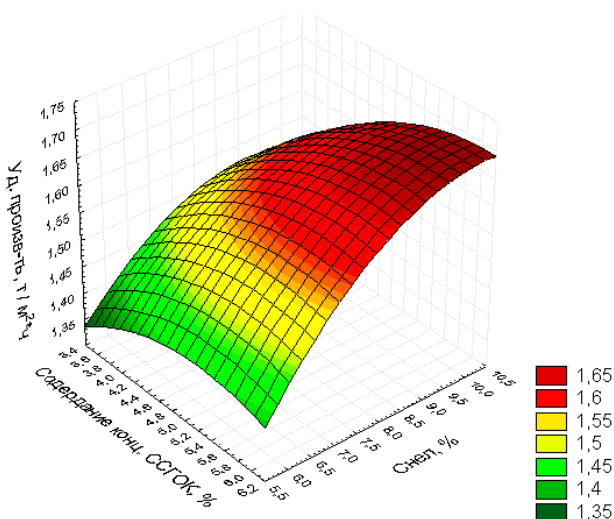


Рис. 2. Удельная производительность агломерационной установки при 26,25% возврата в шихте

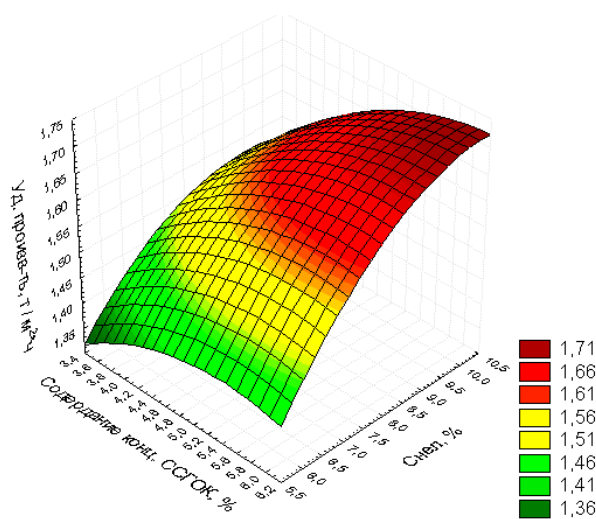


Рис. 3. Удельная производительность агломерационной установки при 35% возврата в шихте

банное число 85–87%) при добавке в агломерационную шихту концентрата глубокого обогащения Соколовско-Сарбайских руд в количестве 4,5–6,0%.

Хотя СО и Н₂, образующиеся в зоне горения, могут восстанавливать гематит до Fe₃O₄ и FeO, необходимых для образования легкоплавких эвтектик, введение этих оксидов с компонентами шихты должно интенсифицировать процесс агломерации бурых железняков. Добавка в агломерационную шихту концентрата ССГОка приносит в процесс готовый Fe₃O₄, который интенсифицирует спекание. Это позволяет иметь относительно невысокий расход коксовой мелочи – до 8% в сухой шихте, по сравнению с 10–12% при работе на аналогичных рудах на предприятии ОАО «Комбинат Южуралникель». Удельная производительность агломерационной установки при этом повышается в 1,4 раза, с 1,2 до 1,7 т/м²·ч.

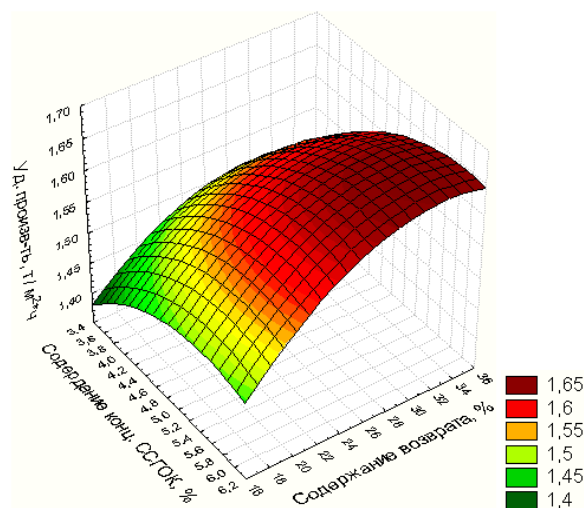


Рис. 4. Удельная производительность агломерационной установки при 8,0% углерода в шихте

Библиографический список

1. Подготовка окисленных никелевых руд к плавке / В.Н. Мащенко, В.А. Книси, В.А. Кобелев и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 324 с.
2. Особенности выплавки природнолегируемых чугунов / Братковский Е.В., Шаповалов А.Н., Бабанак В.В. и др. Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2004. 198 с.
3. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. М.: Металлургия, 1978.
4. Коротич В.И. Некоторые особенности агломерации бурых железняков // Изв. вузов. Черная металлургия. 1997. № 4. С. 10–13.
5. Заводяный А.В., Дружков В.Г., Кадырова Э.М. Особенности окискования и доменной плавки бурых железняков // Литейные процессы. Межрегион. сб. науч. трудов / Под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 6. С. 69–76.
6. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. Киев; Донецк: Выща шк., 1982.