

2. Белов Н.А., Савченко С.В., Хван А.В. Фазовый состав и структура силуминов. – М.: МИСИС, 2008. – 282 с.
3. Золоторевский В.С., Белов Н.А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. – М.: МИСИС, 2005. – 376 с.
4. Водород и свойства сплавов алюминия с кремнием / В.К. Афанасьев, И.Н. Афанасьева, М.В. Попова и др. – Абакан: Хакасское кн. изд-во, 1998. – 192 с.
5. Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Старостина М.А. Особенности влияния малых добавок кремния на линейное расширение алюминия // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 6. С. 88, 89.
6. Афанасьев В.К., Горшенин А.В., Старостина М.А. Об аномалиях линейного расширения алюминия марки А7 // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 8. С. 53, 54.
7. Попова М.В., Кривичева Н.В., Копытько А.А. Влияние малых добавок легкоплавких элементов на коэффициент линейного расширения алюминия // Изв. вуз. Черная металлургия. 2009. № 8. С. 27, 28.

© 2013 г. М.В. Попова, Н.В. Кибко
Поступила 19 сентября 2013 г.

УДК 669.162.142

А.А. Одинцов¹, В.А. Долинский²

¹ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат

²Сибирский государственный индустриальный университет

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОФИЛАКТИРОВАННОГО ИЗВЕШЬЮ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА В АГЛОМЕРАЦИИ*

Проблема обеспечения железорудным сырьем для аглофабрики ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» существует с момента пуска агломашинов в 1967 – 1971 гг. По проекту основным поставщиком железорудного сырья для аглопроизводства «ЕВРАЗ ЗСМК» был Коршуновский ГОК. Однако в период снижения объема производства горно-металлургическим комплексом России в 1990-х гг. и сменой собственника на Коршуновском ГОКе ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» было вынуждено приобретать железорудное сырье у ряда ГОКов России (Кузнецкого, Михайловского, Стойленского, Оленегорского, КМАруда, Лебединского, Высокогорского, Бакальского), а также Казахстана (Лисаковского, Соколовско-сарбайского).

В условиях финансово-экономического кризиса 2008 – 2010 гг. возросла актуальность сокращения издержек, существенную долю которых на металлургических предприятиях составляют затраты на сырье. Использование местного железорудного сырья (ОАО «Евраз-руда») для ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» создало

предпосылки для достижения синергетического эффекта предприятий ЕВРАЗА.

Сокращение, а затем и ликвидация доменного производства на ОАО «НКМК» в 2007 – 2009 гг. привело к перепрофилированию Абагурского филиала с обогатительно-агломерационного в обогатительное и соответствующему увеличению поставок на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» железорудного концентрата. Для отгрузки абагурского концентрата в зимний период времени в 2003 г. была проведена реконструкция аглоучастка № 2 с установкой сушильного барабана (проектная производительность 408 тыс. т/год). Однако в зимний период времени мощности сушильного барабана не позволяли перерабатывать весь влажный концентрат. Для решения проблемы транспортировки влажного концентрата в зимний период времени (2007 – 2008 гг.) было решено профилировать его от смерзаемости раствором хлористого кальция (CaCl₂).

Ввиду повышенной влажности материала разгрузка и транспортировка профилированного концентрата на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» приводила к дестабилизации работы подающих конвейеров, забивке течек и т.п. На агло-

* В работе принимали участие А.И. Шенцов, Н.Г. Дячок, А.Д. Шарига, В.К. Николаев.

мерационных машинах прогрессировало явление зарастания колосникового поля, что приводило к снижению живого сечения колосниковой решетки, увеличению трудозатрат по ее очистке, снижению объема производства агломерата. Также наблюдалось накопление хлоридов в возврате, уловленной пыли батарейных циклонов, агломерационных шламах и оборотной воде. В зимний период ситуация с приемкой и разгрузкой абатурского концентрата еще более усложнилась, так как концентрат поставщиком отгружался с влажностью 9 % и более без профилактики против смерзаемости. Помимо дестабилизации работы трактов подачи аглофабрики, это приводило к накоплению немобильного концентрата, который вывозился с закрытых складов концентрата на напольный склад. Таким образом, проблема транспортировки и разгрузки влажного абатурского концентрата в зимний период времени на аглофабрике оставалась нерешенной в течение нескольких лет.

Для решения проблемы транспортировки всего объема абатурского концентрата в зимний период специалистами ОАО «Евразруда» и «ЕВРАЗ ЗСМК» разработано техническое предложение по профилактике влажного концентрата обожженной известью. В 2009 г. была проведена реконструкция обогатительного цеха Абатурского филиала с целью организации производства извести на агломашине № 7 и последующего смешивания извести с влажным концентратом, отгрузки полученной смеси на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Способ производства извести на конвейерной машине получил широкое распространение на Украине в связи с наличием избыточных мощностей аглофабрик. Производство извести осуществляется на маломощных конвейерных машинах КМ-14 (шихта для обжига состоит из известняка и коксовой мелочи) [1]. Необходимо также отметить, что полученная на конвейерных машинах известь используется только по прямому назначению – как интенсификатор аглопроцесса. Таким образом, схема получения извести на агломашине МАК-90 с последующим ее вводом в концентрат для

профилактирования от смерзаемости в настоящее время не имеет аналогов не только в отечественной, но и зарубежной практике.

Проведенные лабораторные и промышленные исследования по вводу извести в штабели с концентратом с последующим вылеживанием полученной смеси показали эффективность данного мероприятия в различных шихтовых условиях [2, 3].

Цель настоящей работы – оценка влияния ввода профилированного известью абатурского концентрата в аглошихту на показатели агломерационного процесса и качество агломерата. В табл. 1 приведен химический состав извести, получаемой на агломашине и в шахтной печи.

Сравнительный анализ представленных данных показывает, что качество извести, полученной на агломашине, несколько уступает качеству извести, произведенной в шахтных печах, что согласуется с данными работ [1, 3]. Повышенное содержание серы в извести с агломашины объясняется наличием в шихте для производства извести коксовой мелочи; для обжига известняка в шахтных печах используется только газообразное топливо (природный газ). Низкое содержание активного оксида кальция в извести агломашины обусловлено незавершенностью процесса обжига известняка [4].

В сентябре и октябре 2009 г. на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» поступили первые опытные партии профилированного известью абатурского концентрата. В связи с отработкой технологии обжига известняка на агломашине и профилирования концентрата полученной известью, относительно незначительными объемами поставок профилированного концентрата ОАО «Евразруда» в сентябре и октябре 2009 г. показатели по этим месяцам в дальнейшем анализе не учитывались.

За период с сентября 2009 по май 2010 г. было поставлено 463 партии концентрата общей массой 1273,8 тыс. т. Средневзвешенное содержание влаги в профилированном концентрате составило 5,27 % (при колебаниях от 1,69 до 8,08 %) против заявленного (допустимого) в ТУ – 4,8 %. Концентрат имел неста-

Т а б л и ц а 1

Химический состав извести

Известь	Содержание, %								
	S	P	Fe ₂ O ₃	CaO	CaO _{акт}	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ППП
Шахтной печи	0,030	–	0,53	80,95	70,80	1,11	1,17	0,50	15,89
Агломашины	0,110	0,012	1,24	80,30	66,85	1,56	2,04	0,77	14,00

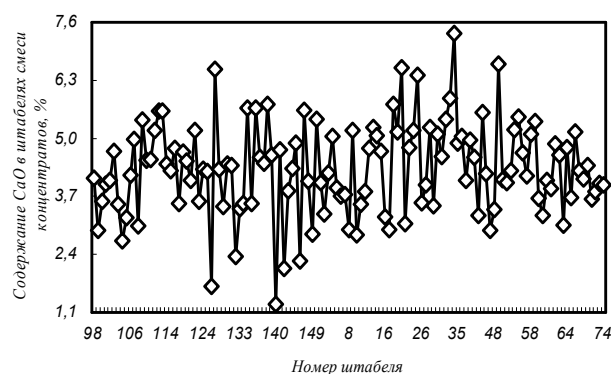
бильный (по содержанию железа, оксида кальция, кремнезема и др.) химический состав (см. табл. 2). Основные причины вышеуказанных недостатков – неудовлетворительное качество получаемой извести (низкое содержание активного оксида кальция, повышенная крупность) и не обеспечение заявленной нагрузки известкования (120 кг/т концентрата) у поставщика. Фактическая нагрузка извести по партиям колебалась в диапазоне 100 – 240 кг/т при среднемассовой (расчетной) 132 кг/т концентрата. Средние значения показателей усреднения профилированного абагурского концентрата (за период с ноября 2009 по май 2010 г.) по содержанию Fe, CaO и влаги составили: 24,4, 28,1 и 51,1 % (см. табл. 3), что существенно ниже показателей усреднения других железорудных концентратов, используемых на ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК».

Существенное превышение фактической влажности концентрата против установленной ТУ привело к увеличению простоев вагоноопрокидывателей аглофабрики «ЕВРАЗ ЗСМК» (длительный разогрев концентрата в рудоразмораживающих установках (как следствие), разбивка мерзляков) и остатков концентрата в полувагонах после выгрузки.

Крупность известкованного концентрата существенно выше крупности влажного (табл. 4). Так, содержание класса крупности менее 0,074 мм в профилированном известью концентрате составило в среднем 48,73 против 55,58 % в исходном при колебаниях от 44,64 до 52,43 %. Крупные классы (более 1 мм) известкованного концентрата представляют собой «жареный» известняк.

Среднее содержание профилированного известью концентрата в сформированных железорудных штабелях – 28,80 % при колебаниях от нуля до 60,19 %. Нестабильная нагрузка извести на концентрат (у поставщика), неритмичные поставки железорудного сырья, а также существенное снижение остатков смеси концентратов на складах аглофабрики в зимний период времени приводили к значительным колебаниям содержания оксида кальция в железорудных штабелях, забранных в период с ноября 2009 г. по май 2010 г. (см. рисунок), что в свою очередь отрицательно влияло на усреднение смеси концентратов.

Усреднение смеси концентратов в опытном периоде по сравнению с базовым снизилось: по содержанию железа – на 25,4 % (с 83,5 до 8,1 %); оксида кальция – на 26,4 % (с 87,9 до 61,5 %); кремнезема – на 11,4 % (с 98,4 до 87,0 %) и магнелии – на 5,2 % (с 98,1 до 92,8 %) соответственно. Ухудшение усреднения



Изменение содержания оксида кальция по штабелям смеси концентратов

смеси концентратов произошло вследствие несоответствия фактических поставок железорудного сырья плановым, снижения их ритмичности и введения в состав смеси профилированного абагурского концентрата.

При подаче со складов, движении по трактам, известковании, закатке бункеров и дозировании смеси концентратов (содержащих профилированный концентрат) на аглофабрике ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» серьезных проблем не отмечено.

Оценка влияния введения в состав аглошихты профилированного известью абагурского концентрата на основные технологические показатели процесса спекания и качество агломерата производилась на основании анализа среднемесячных данных за период с ноября 2009 по май 2010 г. (опытный период). В качестве базового был выбран период с июня по сентябрь 2009 г. (работа аглофабрики в составе трех агломашин). Полученные данные приведены в табл. 5 – 7.

Анализ данных табл. 5 показывает, что в опытном периоде, по сравнению с базовым, произошло существенное изменение состава железорудной части шихты. Так, повышено содержание в шихте михайловского концентрата (с 1,18 до 7,29 %) при выводе карельского концентрата; введены в состав шихты лебдинский и высокогорский профилированные концентраты (10,41 и 0,94 % соответственно); снижено суммарное содержание местных (абагурского и мундыбашского) концентратов с 66,07 до 55,52 %. Среднее содержание профилированного абагурского концентрата в шихте опытного периода составило 27,02 % при снижении доли абагурского (сушеный/влажный) с 45,21 до 13,03 %.

Использование профилированного известью концентрата в аглошихту привело к увеличению общего расхода извести с 25,86 до

Т а б л и ц а 2

Химический состав профилактированного известью абагурского концентрата

Период	Содержание, %																
	Fe	Mn	S	P	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ППП	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	ZnO	MnO
Ноябрь	54,20	0,22	0,45	0,023	24,60	50,17	9,56	5,91	2,09	1,96	0,053	4,49	0,15	0,07	0,10	0,054	0,28
Декабрь	54,00	0,25	0,48	0,026	23,90	50,66	9,47	6,10	2,05	2,06	0,060	4,79	0,15	0,05	0,10	0,052	0,32
Январь	52,41	0,19	0,49	0,027	23,20	49,17	10,73	5,97	2,09	1,95	0,062	5,09	0,15	0,04	0,08	0,045	0,25
Февраль	51,98	0,22	0,43	0,030	23,10	48,66	10,75	6,14	2,46	1,96	0,069	5,73	0,15	0,04	0,10	0,048	0,28
Март	51,94	0,20	0,36	0,028	21,90	49,94	10,86	6,17	2,31	1,98	0,064	6,33	0,15	0,05	0,09	0,042	0,26
Апрель	53,37	0,19	0,35	0,026	23,20	50,54	9,59	6,01	2,28	1,96	0,060	5,94	0,15	0,05	0,13	0,041	0,25
Май	53,38	0,18	0,36	0,023	22,50	51,33	9,52	5,70	2,30	1,82	0,053	6,90	0,15	0,07	0,10	0,037	0,23
Среднее	53,04	0,21	0,42	0,026	23,20	50,07	10,07	6,00	2,23	1,96	0,060	5,61	0,15	0,05	0,10	0,046	0,27
Минимум	51,94	0,18	0,35	0,023	21,90	48,66	9,47	5,70	2,05	1,82	0,053	4,49	0,15	0,04	0,08	0,037	0,23
Максимум	54,20	0,25	0,49	0,030	24,60	51,33	10,86	6,17	2,46	2,06	0,069	6,90	0,15	0,07	0,13	0,054	0,32

Т а б л и ц а 3

Показатели усреднения профилактированного известью абагурского концентрата

Период	Месяц	Усреднение ($\pm 0,5$), %		
		Fe	CaO	влажность
2009 г.	Сентябрь	27,3	27,3	36,4
	Октябрь	33,3	38,9	50,0
	Ноябрь	18,5	20,0	55,4
	Декабрь	33,9	38,7	48,4
	Январь	20,0	30,9	41,8
	Февраль	31,9	29,8	55,3
2010 г.	Март	20,3	31,3	50,0
	Апрель	26,7	28,3	53,3
	Май	19,4	17,9	53,7
Среднее		24,4	28,1	51,1
Минимум		18,5	20,0	41,8
Максимум		33,9	38,7	55,4

50,58 кг/т агломерата (см. таблицу 6), что позволило интенсифицировать агломерационный процесс. Удельная производительность агломашин по цеху в опытном периоде по сравнению с базовым повысилась на 3,85 % и составила 1,0102 т/(м² · ч). Повышение удельной производительности обусловлено изменением состава шихты (на 1,90 %) и использованием профилактированного известью абагурского концентрата (на 1,95 %). Основные причины незначительного увеличения удельной производительности: низкое содержание активного оксида кальция, грубый помол вводимой в концентрат извести (в отдельные периоды до 25 мм) у поставщика. На незначительный прирост удельной производительности также повлияли следующие факторы: снижение температуры шихты на 12 – 13 °С (с 59 – 61 до 46 – 49 °С) и уровня разрежения в газовом коллекторе на 75 мм вод. ст. (с 867 до 792 мм вод. ст.); сдерживание агломашин (косвенный показатель – повышение температуры отходящих газов с 139 до 144 °С) по причинам доменного цеха, существенного снижения остатков смеси концентратов на складах аглофабрики и увеличения высоты спекаемого слоя на 6 мм (с 382 до 389 мм); дефицит извести (удельный расход был снижен с 25,86 до 22,82 кг/т агломерата).

Механическая прочность агломерата улучшилась вследствие изменения состава шихты, увеличения основности (см. табл. 7) агломера-

та и повышения высоты спекаемого слоя. Улучшение механической прочности агломерата сопровождалось снижением мелочи в годном агломерате (с 13,70 до 12,28 %).

Как указывалось ранее, по ряду причин усреднение смеси концентратов в опытном периоде снизилось. Это привело к снижению качества агломерата по постоянству химического состава: по содержанию железа и основности – с 73,6 до 61,5 % и с 86,6 до 78,3 %; по содержанию марганца и монооксида железа – с 96,2 до 92,1 % и с 91,0 до 89,8 % соответственно.

Динамика химического состава агломерата (см. табл. 7) связана с изменением базовых показателей (содержания железа, основности) по агломерату, состава и качественных характеристик компонентов аглошихты.

В дальнейшем, поступательное совершенствование технологии обжига известняка, а также проведенная модернизация комплекса агломашин № 7 [4] позволили стабилизировать качество профилактированного концентрата по химическому и гранулометрическому составам, снизить влажность материала.

Таким образом, впервые в отечественной практике внедрена и отработана технология комбинированного ввода извести в аглошихту: на первой стадии – в концентрат ММС на ГО-Ке с последующей закладкой известкованного концентрата в штабель смеси концентратов на складах аглофабрики; на второй стадии – в поток смеси концентратов, подаваемой со складов аглофабрики.

Выводы. Профилактированный известью концентрат характеризовался нестабильным химическим составом и содержанием влаги по партиям, что приводило к ухудшению усреднения агломерата по содержанию железа, его монооксида, марганца и основности. Введение в аглошихту профилактированного известью абагурского концентрата позволяет повысить удельную производительность агломашин на 1,95 %. Незначительный прирост удельной производительности, несмотря на увеличение общего расхода извести с 25,86 до 50,58 кг/т агломерата, объясняется низким качеством извести, полученной на конвейерной машине. В связи с пониженным качеством извести, получаемой на конвейерной машине, данный способ производства агломерационной извести целесообразен только при наличии избыточных мощностей аглофабрик.

Гранулометрический состав местных концентратов ММС

Период	Содержание, %, класса крупности материала, мм												
	0 –0,05	0,05 –0,063	0,063 – 0,074	0,074 – 0,1	0,1 –0,16	0,16 –0,2	0,2 –0,315	0,315 – 0,4	0,4 –0,63	0,63 –1,0	1,0 – 5,0	5,0 – 12,0	<0,074
<i>Абагурский профилактированный</i>													
Ноябрь	23,71	14,43	12,38	12,37	13,4	6,19	6,19	2,06	2,06	1,03	4,12	2,06	50,52
Декабрь	23,86	17,05	10,23	13,64	14,77	6,82	5,68	1,14	1,14	1,14	3,4	1,13	51,14
Январь	25,24	18,45	8,74	10,68	12,62	7,77	6,80	2,91	–	0,97	2,91	2,91	52,43
Февраль	19,64	13,39	11,61	9,82	14,29	9,82	8,93	3,57	0,89	0,89	3,57	3,58	44,64
Март	21,55	14,66	9,48	11,21	13,79	7,76	8,62	4,31	–	0,86	2,58	4,31	45,69
Апрель	21,29	15,74	12,04	14,81	13,89	8,33	6,48	1,85	–	0,93	1,86	1,85	49,07
Май	18,10	17,14	12,38	16,19	15,24	7,62	5,71	0,95	–	–	1,90	4,77	47,62
Среднее	21,91	15,84	10,98	12,67	14,00	7,76	6,92	2,40	1,36	0,97	2,91	2,94	48,73
Максимум	25,24	18,45	12,38	16,19	15,24	9,82	8,93	4,31	2,06	1,14	4,12	4,77	52,43
Минимум	18,10	13,39	8,74	9,82	12,62	6,19	5,68	0,95	0,89	0,86	1,86	1,13	44,64
<i>Абагурский</i>													
Среднее	23,93	17,44	14,21	14,96	13,57	8,18	6,48	1,23	–	–	–	–	55,58
<i>Мундыбаишский</i>													
Среднее	21,65	19,61	13,46	14,52	14,53	8,66	6,65	0,93	–	–	–	–	54,72

Т а б л и ц а 5

Содержание концентратов в железорудной части шихты

Концентрат	Среднее содержание, % за период		Отклонение, %
	опытный	базовый	
Коршуновский	18,28	20,03	– 1,75
Михайловский	7,29	1,18	6,11
Лебединский	10,41	–	10,41
Высокогорский профилактированный	0,94	–	0,94
Абагурский	13,03	45,21	– 32,18
Абагурский профилактированный	27,02	–	27,02
Мундыбашский	15,47	20,86	– 5,39
Карельский	–	3,96	– 3,96
Абагурский + абагурский профилактированный	40,05	45,21	– 5,16
Абагурский + мундыбашский	55,52	66,07	– 10,55
Итого концентратов:	93,18	91,38	1,80

Т а б л и ц а 6

Основные показатели процесса спекания

Показатель	Среднее значение за период		Отклонение
	опытный	базовый	
Производство агломерата, т, в том числе:			
план	633 157	620 750	12 407
факт	631 445	625 388	6 057
отклонение ±, т	– 1 712	4 638	– 6 350
отклонение, %	– 0,57	0,63	– 1,20
Удельная производительность агломашин, т/(м ² ·ч)	1,0102	0,9713	0,0389
Простои, %:			
общие	9,8	7,9	1,9
текущие	5,3	3,3	2,0
Температура слоя шихты, °С:			
верхнего	46	59	– 13
нижнего	49	61	– 12
Разрежение в газовом коллекторе, мм вод. ст.	792	867	– 75
Содержание возврата в шихте, %	29,4	32,2	– 2,8
Температура отходящих газов, °С	144	139	5
Высота спекаемого слоя, мм	389	382	6
Удельный расход, кг/т агломерата:			
собственной извести	22,82	25,86	– 3,04
общей извести	50,58	25,86	24,72
известняка	67,24	93,36	– 26,12
твердого топлива	56,46	56,49	– 0,03

**Химический состав агломерата и
его усреднение**

Элемент, оксид	Среднее значение за период		Отклонение
	опытный	базовый	
Химический состав, % и основность			
Fe	56,24	55,50	0,74
Mn	0,41	0,40	0,01
S	0,019	0,019	0,000
P	0,042	0,046	– 0,004
CaO	9,66	9,20	0,46
SiO ₂	6,19	6,51	– 0,32
Al ₂ O ₃	1,82	2,16	– 0,34
MgO	2,09	2,23	– 0,14
FeO	12,22	12,48	– 0,26
K ₂ O	0,102	0,110	– 0,008
Na ₂ O	0,069	0,083	– 0,014
TiO ₂	0,165	0,187	– 0,022
ZnO	0,042	0,054	– 0,012
CaO/SiO ₂	1,56	1,42	0,14
Усреднение, %			
± 0,5 Fe	61,5	73,6	– 12,1
± 0,1 Mn	92,1	96,2	– 4,1
± 0,05 осн.	78,3	86,6	– 8,3
± 1,5 FeO	89,8	91,0	– 1,2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Введение в технологии металлургического структурообразования. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 501 с.
2. Минаков Н.С., Кретицин В.И., Горбачев В.П. и др. Исследование влияния различных способов ввода извести в шихту на показатели процесса агломерации // Сталь. 1988. № 9. С. 5 – 8.
3. Крижевский А.З., Сальников И.М., Иванов А.К. Влияние качества извести на производительность агломашин // Металлург. 1977. № 4. С. 10 – 12.
4. Береснев И.С., Клейн В.И., Зарщиков П.И. и др. Производство извести на агломерационной машине МАК-90 // Сталь. 2013. № 4. С. 2 – 5.

© 2013 г. А.А. Одинцов, В.А. Долинский
Поступила 17 сентября 2013 г.