

УДК 622.78:669.1:661

А. С. Нестеров, Л. И. Гармаш, М. Г. Болденко, О. А. Вергун, К. П. Лопатенко
ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЦЕССЫ
АГЛОМЕРАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины

Аннотация. В статье описан один из перспективных методов улучшения подготовки агломерационной шихты с помощью использования в качестве дополнительного связующего материала поверхностно-активных веществ (ПАВ). Использование водо-растворимых добавок ПАВ (аминокрилата различных составов) при увлажнении аглошихты в режиме смешивания и окомкования шихтовых материалов положительно отражается на показателях спекания и качестве готового агломерата. Отмечено повышение прочности агломерата при восстановлении, снижение истираемости, повышение температуры максимальной фильтрации расплава. Наблюдалось также повышение восстановимости агломерата и связанное с этим снижение «агрессивности» первичных шлаков. При использовании ПАВ продолжительность процесса сократилась, а вертикальная скорость спекания возросла с 1,0-1,8% до 6,1-8,5%. Выход годного аглошихты увеличился на 0,4-2,4%, показатель прочности – 0,4-2,2%. Анализ результатов лабораторных исследований подтвердил, что введение ПАВ в увлажняющую воду позволяет улучшить качество шихты. В частности, улучшена газопроницаемость шихты, обеспечены лучшие условия горения твердого топлива и протекания процесса жидкофазного спекания, повышены прочностные свойства готового продукта. Вовлечение части металлургических отходов в аглодоменный комплекс позволяет существенно расширить ресурсную базу железорудных компонентов, снизить себестоимость входного сырья и улучшить экологическую обстановку.

Ключевые слова: агломерационная шихта, вторичные ресурсы, поверхностно-активные вещества (ПАВ), качество агломерата

Ссылка для цитирования: Нестеров А.С. Влияние поверхностно-активных веществ на процессы агломерации при использовании вторичных ресурсов / А.С. Нестеров, Л.И. Гармаш, М.Г. Болденко, О.А. Вергун, К.П. Лопатенко // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2018. – Вып.32. – С.80-92.

Doi:

A.S.Nesterov, L.I.Garmash, M.G.Boldenko, O.A.Vergun, K.P.Lopatenro

Influence of surface-active substances on the processes of agglomeration when the secondary resources are using

Iron and Steel Institute named after Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine

Abstract. A promising method of intensifying the process of sinter preparation preparation was investigated by using surfactants as an additional binding material. It is shown that surfactants provide efficient compaction of charge materials. The use of water-soluble surfactant additives (aminocrylate of various compositions) when moistening the charge in the blending and pelletizing of charge materials positively affects the sintering performance and the quality of the finished sinter. An increase in the strength of the agglomerate during recovery, a decrease in abrasion, and an increase

*«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – 2018. - Вып.32
 «Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2018. – Collection 32
 «Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2018. – Vypusk 32*

in the temperature of the maximum melt filtration were noted. An increase in the recoverability of the agglomerate and the associated decrease in the “aggressiveness” of primary slags were also observed. When using surfactants, the duration of the process was reduced, and the vertical sintering rate increased from 1.0-1.8% to 6.1-8.5%. The yield of the charge has increased by 0.4-2.4%, the strength index - by 0.4-2.2%. Analysis of the results of laboratory studies confirmed that the introduction of surfactants in moisturizing water can improve the quality of the mixture. In particular, the gas permeability of the charge is improved, the best conditions for burning solid fuel and the process of liquid-phase sintering are provided, and the strength properties of the finished product are enhanced. The involvement of a part of metallurgical wastes in the fermentation domain complex allows to significantly expand the resource base of iron ore components, reduce the cost of input raw materials and improve the environmental situation.

Keywords: sintering mixture, secondary resources, surface-active substances (surfactants), sinter quality.

For citation: Nesterov A.S. Influence of surface-active substances on the processes of agglomeration when the secondary resources are using / A.S. Nesterov, L.I. Garmash, M.G. Boldenko, O.A. Vergun, K.P. Lopatenro // *«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii»*. – 2018. – Vypusk 32. – P.80-92. (In Russ.).

Doi:

O.C.Нестеров, Л.І.Гармаш, М.Г.Болденко, О.О.Вергун, К.П.Лопатенко

Вплив поверхнево-активних речовин на процеси агломерації під час використання вторинних ресурсів

Інститут чорної металургії ім.З.І.Некрасова НАН України

Анотація. В статті описаний один з перспективних методів інтенсифікації процесу підготовки агломераційної шихти шляхом застосування в якості додаткового сполучного матеріалу поверхнево-активних речовин (ПАР). Показано, що ПАР забезпечують ефективне ущільнення матеріалів шихти. Використання водо-розчинних добавок ПАР (амінокрїлата різних складів) при зволоженні аглошихти в режимі змішування і огрудування шихтових матеріалів позитивно відбивається на показниках спікання і якості готового агломерату. Відзначено підвищення міцності агломерату при відновленні, підвищення стійкості до тертя, підвищення температури максимальної фільтрації розплаву. Спостерігалось також підвищення відновлення агломерату і пов'язане з цим зниження «агресивності» первинних шлаків. При використанні ПАР тривалість процесу скоротилася, а вертикальна швидкість спікання зростає з 1,0 - 1,8% до 6,1 - 8,5%. Вихід придатного аглошихти збільшився на 0,4-2,4%, показник міцності – на 0,4-2,2%. Аналіз результатів лабораторних досліджень підтвердив, що введення ПАР в зволожуючу воду дозволяє поліпшити якість шихти. Зокрема, покращено газопроникність шихти, забезпечено кращі умови горіння твердого палива і протікання процесу жидкофазного спікання, підвищено міцнісні властивості готового продукту. Залучення частини металургійних відходів у аглодоменний комплекс дозволяє істотно розширити ресурсну базу залізорудних компонентів, знизити собівартість вхідної сировини та поліпшити екологічну обстановку.

Ключові слова: агломераційна шихта, вторинні ресурси, поверхнево-активні речовини (ПАР), якість агломерату

Посилання для цитування: Нестеров А.С. Влияние поверхностно-активных веществ на процессы агломерации при использовании вторичных ресурсов / А.С. Нестеров, Л.И. Гармаш, М.Г. Бодненко, О.А. Вергун, К.П. Лопатенко // *«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. – 2018. – Вып.32. – С.80-92.

Doi:

Состояние проблемы. На металлургических предприятиях Украины ежегодно образуются миллионы тонн железосодержащих отходов, включающих пыли и шламы агломерационных, доменных и сталеплавильных цехов, окалину, шлаки и скрапы конвертерного производства, некондиционные фракции агломерата и окатышей [1, 2]. Вовлечение части металлургических отходов в аглодоменный комплекс позволяет существенно расширить ресурсную базу железорудных компонентов, снизить себестоимость входного сырья и улучшить экологическую обстановку, однако качество чугуна при использовании вторичного сырья заметно снижается [3, 4]. Поэтому задача определения оптимального количества вторичных ресурсов, которые можно использовать без ухудшения качества продукции минимизируя негативные последствия для оборудования, приобретает особую актуальность в нестабильных и изменяющихся сырьевых условиях, характерных для предприятий ГМК в последние годы.

Учеными Института черной металлургии НАН Украины совместно с производителями крупных металлургических предприятий постоянно ведутся комплексные работы по определению рационального уровня использования вторичных ресурсов в составе агломерационной и доменной шихты с учетом показателей качества всех шихтовых материалов и эффективности доменной плавки [5-6].

Процесс утилизации металлургических отходов имеет ряд серьезных ограничений, обусловленных наличием вредных примесей, фракционным составом и другими факторами [7-8]. Технология окомкования и оборудование, используемые на отечественных агломерационных фабриках, разрабатывались еще в 60-х годах XX столетия для окомкования грубозернистой шихты. Прочность гранул окомкованной шихты отвечала требованиям, предъявляемым к ней для успешного спекания агломерата в слое толщиной 0,18-0,22 м [9]. В настоящее время несоответствие шихтовых условий используемой технологии очень часто приводит к неудовлетворительному качеству окомкования (большое количество неокомкованной шихты на выходе и значительное различие гранул по крупности и прочности) и вызывает ухудшение работы агломерационных машин, снижение объемов производства и качества агломерата. Кроме того, высокий физический износ оборудования украинских агломерационных фабрик и ликвидация части агломерационных машин привели к тому, что практически на всех предприятиях отрасли в доменной плавке стали использовать железосодержащие брикеты, а часть доменного отсева фракцией 3-5 мм загружается непосредственно в доменную печь.

Естественно, что такие изменения шихтовых условий заметно влияют на качество чугуна [10]. Низкое содержание железа (53,5-57%), высокое и переменное количество фосфора, серы, цинка, щелочных элементов в доменной

шихте, а также высокое содержание диоксида кремнезема в агломерате, обуславливают высокую колеблемость состава и свойств сырья, как по химическому составу, так и по содержанию фракции 0-5мм в скиповом агломерате.

Чаще всего в качестве добавок в агломерационной шихте используются:

колошниковая пыль из пылеуловителей доменных печей;

окалина, образующаяся при окислении слитков в нагревательных печах;

отсев агломерата фракции 0-5мм, получаемый после дополнительного отсева агломерата в доменном цехе (по химсоставу он близок к товарному агломерату);

конвертерный шлак, используемый как заменитель железных, марганцевых руд и флюсов;

сварочный шлак, образующийся в процессе нагревания стальных слитков перед прокаткой из окалины, которая отстает от слитков, сталеплавильного шлака и остатков теплоизоляционных плит, частичек огнеупоров от защитной футеровки;

пыль печей от обжига известняка;

графитовая пыль, образующаяся при выпуске чугуна из печи, заливании чугуна в миксер, разливке в формы, десульфурации чугуна;

шламы аглодоменного и сталеплавильного производств;

шлак силикомарганцевого производства (как заменитель марганцевых руд);

отсев некондиционных фракций кокса и шламы коксохимического производства.

Все более широкое вовлечение вторичных ресурсов в производство требует разработки новых технологических решений, но их внедрение на действующих морально устаревших украинских аглофабриках, как правило, сопряжено с большими капитальными затратами. Одним из способов, не требующим значительных капитальных затрат и оказывающим комплексное положительное воздействие на процесс подготовки аглошихты и ход спекания, может стать использование в аглошихте добавок, улучшающих окомкование путем интенсивного энергетического воздействия на шихту.

В настоящее время на большинстве аглофабрик применяется неорганическое связующее – кальциевая строительная известь, являющаяся медленно твердеющим воздушным вяжущим веществом и не удовлетворяющая современным требованиям экологии, ресурсо- и энергосбережения, поэтому поиск инновационных связующих, обеспечивающих высокую эффективность и экологичность агломерации, является весьма актуальной задачей.

Целью исследования является исследование возможности использования в агломерационной шихте добавок вторичных ресурсов, улучшающих окомкование путем интенсивного энергетического воздействия. Одним из перспективных методов, позволяющим существенно интенсифицировать процесс, является применение в качестве дополнительного связующего материала поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые обеспечивают эффективную смачиваемость и уплотнение материалов [11]. Их воздействие проявляется в улучшении окомкования агломерационной шихты и в каталитическом воздействии органических веществ определенного состава на процесс горения частиц твердого топлива.

Фундаментальное свойство ПАВ заключается в способности адсорбироваться на поверхностях и межфазных границах. В процессе окомкования происходит коагуляция твердых частичек увлажненной шихты, в результате чего образуются гранулы-агрегаты с различной прочностью контактов. Эти агрегаты состоят из десятков и сотен дисперсных железорудных частичек, разделенных тонкими (наноразмерными) пленками жидкости. Благодаря ПАВ повышаются силы когезии, улучшается комкуемость шихты, а также увеличивается прочность и крупность получаемых гранул. Особенно сильно это влияние проявляется для тонкоизмельченных железорудных концентратов [12-13].

Существенным преимуществом ПАВ является то, что они не требуют значительных капитальных затрат и остановки производства, полностью удаляются в процессе агломерации, не оказывают влияния на конечный химический состав агломерата и не наносят вреда окружающей среде. Кроме того, с их помощью можно даже в определенной мере улучшить экологическую ситуацию путем вовлечения в процесс производства аглошихты вторичного сырья мелких фракций, требующих окомкования – шламов, шлаков, окалины, возврата собственного производства или отсева с доменных печей, доля которых может достигать 30-40% [14].

Исследования влияния ПАВ на свойства агломерата, проведенные в ИЧМ ранее, подтвердили, что их применение при подготовке аглошихты позволяет улучшать как механические, так и физико-химические свойства агломерата. В частности, было отмечено повышение прочности агломерата при восстановлении, снижение истираемости, повышение температуры максимальной фильтрации расплава. Наблюдалось также повышение восстановимости агломерата и связанное с этим снижение «агрессивности» первичных шлаков по отношению к футеровке доменных печей [15].

Методика проведения исследований. Испытания проводились по методике, разработанной в ИЧМ. ПАВ в виде органических соединений натриевых солей и воду в определенных соотношениях вводили в промежуточную емкость, из которой под давлением раствор подавался в

экспериментальные пеногенераторы. Генерированной пеной непрерывно обрабатывали на конвейере возврат после барабанов тушения и просыпь при труске пылевых мешков. Обработанные пеной ПАВ продукты попадали в бункер возврата шихтового отделения и далее в отдозированную перед окомкованием аглошихту. Одновременно фиксировали изменение запыленности воздуха на цикле возврата и в аглогазах [16].

Во время промышленных испытаний контролировались:

расходы шихтовых материалов, поступающих на подготовку (окомкование);

гранулометрический состав окомкованной шихты;

скорость движения агломашины;

температура отходящих аглогазов в трех последних вакуум-камерах и перед эксгаустерами агломашин и разрежение в этих же точках.

Определение свойств агломерата проводилось по гостированным методикам и методике ИЧМ [17], моделирующим поведение спека в доменном переделе в комплексе от загрузки материала на колошник до образования чугуна и шлака.

На лабораторной базе ИЧМ была выполнена серия лабораторных спеканий, в которых в состав аглошихты на базе концентратов Ингулецкого и Северного горно-обогатительных комбинатов вводились различные виды водорастворимых полимерных связующих (аминокрилата) с целью оценки их влияния на показатели процесса агломерации и качественные характеристики продукта.

Смешивание и окомкование отдозированных компонентов шихты производили в чашевом грануляторе в режиме переката. Предварительно все шихтовые материалы прошли режим сушки. Увлажнение шихтовых материалов проводили путем распыления из расчета влажности 8,5%. Расход ПАВ выдерживали в расчете 50 и 100 мл на тонну шихтовых материалов первого и второго компонента.

Одна часть растворенного в воде ПАВ подавалась в конце смешивания для получения наиболее однородной смеси. Остальная часть растворов подавалась в начале окомкования для увеличения продолжительности этого процесса. В базовом варианте для сравнения показателей процесса спекания увлажнение шихты производилось по такому же регламенту, но без использования поверхностно-активных компонентов. Подача увлажняющей жидкости производилась в верхнюю часть шихты, в которой циркулирует ее наиболее мелкая составляющая, к тому же представленная в определенной мере гидрофобными материалами (пыли, окалина).

Расход углерода в шихте составлял 3,4%, возврата 15%, влажность находилась в пределах $8,5 \pm 1\%$. Шихту спекали в чаше диаметром 220 мм при высоте слоя 300 мм. Зажигание производили в течение 90 секунд

«Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2018. - Вып.32

«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2018. – Collection 32

«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoј metallurgii». – 2018. – Vypusk 32

газовой инжекторной горелкой, разрежение под колосниковой решеткой 800 мм водяного столба обеспечивалось водокольцевым насосом РМК-2. Окончание спекания определяли по температуре отходящего газа.

Полученный аглопирог подвергали разрушению четырехкратным сбрасыванием на него груза и по выходу фракции +10мм оценивали выход годного. Прочность и истираемость годного определяли барабанным испытанием по ГОСТ 15137-79, соответствующему стандарту ИСО.

Контроль металлургических свойств лабораторных агломератов проводили по комплексной методике ИЧМ, включающей оценку холодной (ГОСТ 15137-79) и горячей (ИСО 4696-1) прочности, относительной восстановимости, а также оценку поведения агломерата в зоне размягчения, плавления и капельного течения. Обобщенный показатель качества лабораторных агломератов определяли согласно методике [18].

Компонентный и химический состав шихтовых материалов, используемых в процессе спекания лабораторных агломератов основностью 1,62 ед., представлены в таблицах 1 и 2.

Руду и возврат использовали фракции 0-10 мм, коксовую мелочь и известняк дробили до фракции 0-3 мм. Остальные компоненты использовали естественной крупности.

Таблица 1. Компонентный состав аглошихты

Наименование	Влажный вес, кг/т	W %	Сухой вес, кг/т	Доля в шихте, %	Большая чаша, (19 кг)
Аглоруда	66,50	6,27	62,33	6,21	1,18
Концентрат СевГОК	449,00	9,90	404,55	40,28	7,65
ШЛАК ККЦ	83,30	4,11	79,88	7,95	1,51
Отсев агломерата (всего)	6,50	0,32	6,48	0,65	0,12
Шлам	114,80	0,00	114,80	11,43	2,17
Окалина (Общ)	45,90	0,00	45,90	4,57	0,87
Аспирационная пыль	45,90	0,00	45,90	4,57	0,87
Колошниковая пыль	91,80	0,00	91,80	9,14	1,74
Металлодобавка	17,70	3,20	17,13	1,71	0,324
Известь ЕМЗ	18,20	0,00	18,20	1,81	0,34
Известняк	84,60	3,64	81,52	8,12	1,54
Топливо (КОКСИК)	35,80	0,00	35,80	3,56	1,00
ВСЕГО	1060		1004,3		19,32
ВОЗВРАТ					2,75

Таблица 2. Химический состав компонентов агломерационной шихты

Наименование материалов	Содержание элементов, %						
	Fe	SiO ₂	CaO	Mn	MgO	Al ₂ O ₃	ППП
Аглоруда ЯковГОК	59,47	7,79	0,16	0,13	0,40	1,77	1,17
Концентрат СевГОК	65,55	7,92	0,18	0,04	0,39	1,19	0,74
Отсев агломерата	52,98	8,28	10,92	0,10	1,55	1,52	4,38
Окалина	71,97	0,70	0,72	0,40	0,00	1,25	0,58
Аспирационн. пыль	58,03	5,68	4,96	0,06	1,08	1,79	6,54
Колошниковая пыль	40,35	6,58	10,53	0,15	1,70	1,36	17,5
Металлодоб. 0-10 мм	48,00	11,17	26,30	2,56	4,60	1,79	3,49
Конверт.шлак	19,70	18,5	42,50	3,10	8,40	2,59	2,4
Известняк обыкновенный	0,22	3,30	52,21	0,00	0,78	0,22	43,26
Известь	0,20	1,63	64,41	0,00	9,83	0,00	15,92
Топливо, всего	10,80	44,35	0,57	0,00	0,81	31,32	86,19

Изложение основных результатов исследования. Результаты спекания лабораторных агломератов с использованием различных видов водо-растворимых полимерных связующих представлены в таблице 3. Анализ этих результатов показывает, что использование водо-растворимых добавок аминокрилата различных составов при увлажнении аглошихты в режиме смешивания и окомкования шихтовых материалов положительно отражается на показателях спекания и качестве готового агломерата.

Об улучшении окомкования шихты косвенно свидетельствуют увеличение усадки ее в сравнении с более «упакованной» базовой и некоторое снижение насыпной массы. В результате продолжительность процесса сократилась, а вертикальная скорость спекания возросла с 1,8% при использовании ПАВ-1 до 8,5% и 6,1% при применении ПАВ-2 и ПАВ-3 соответственно. По исследованиям ИЧМ данный показатель на 75% определяет удельную производительность агрегата.

Повышение температурно-теплового уровня спекания, сопровождавшееся ростом максимальной температуры отходящего газа на 20-30°C, выразилось в повышении прочностных свойств спека. Так, выход годного возрос на 0,4-2,4%, показатель прочности на 0,4-2,2%. Это объясняется как улучшением подвода кислорода к горящим частицам твердого топлива, так и каталитическим влиянием ПАВ на процесс горения.

Показатель истираемости находился примерно на одном несколько повышенном уровне, что объясняется переходом во фракцию 0-0,5 мм слабоспеченной части аглопирога, пристенного к чаше.

Таким образом, анализ результатов лабораторных исследований подтвердил, что введение ПАВ в увлажняющую воду позволяет улучшить качество шихты, в частности, ее газопроницаемость и обеспечить лучшие условия горения твердого топлива и протекания процесса жидкофазного спекания, приводящие к повышению прочностных свойств готового продукта. Повышение прочности агломерата объясняется воздействием молекул ПАВ на активные поверхностные центры твердых частиц и формированием новой границы раздела фаз.

Использование ПАВ-2 и ПАВ-3 приводит к увеличению:

вертикальной скорости спекания на 6,1-8,5% отн.;

выхода годного агломерата на 2,3-2,4% абс.;

удельной производительности на 8,8-11,0% отн.;

содержания оксида железа на 0,35-1,85%;

показателя прочности годного агломерата на 0,4-2,2% абс.;

восстановимости агломерата на границе косвенного восстановления на 0,2-0,9%.

Низкотемпературная прочность агломерата по показателю $RDI_{-3,15}$ ухудшилась на 1,2-2,8%. Высокотемпературные характеристики опытных агломератов практически не изменились по сравнению с базовым режимом спекания. В целом, металлургическая ценность агломератов при спекании аглошихт с использованием водо-растворимых добавок аминокрилата различных составов при увлажнении аглошихт в режиме смешивания и окомкования повысилась в сравнении с базовым режимом в среднем на 0,2 бала, что эквивалентно сокращению расхода кокса в доменной плавке на 0,2%.

Таблица 3. Результаты спекания шихт и качественные характеристики лабораторных агломератов

Показатели		Вид связующего			
		Базовый вариант	ПАВ-1	ПАВ-2	ПАВ-3
Показатели агломерационного процесса	Насыпная масса шихты, т/м ³	1,81	1,79	1,80	1,80
	Усадка слоя, мм	56	60	59	60
	Продолжительность спекания, мин.	14,00	13,75	12,90	13,20
	Вертикальная скорость спекания, мм/мин	21,43	21,82	23,26	22,72
	Максимальная температура отходящего газа, °С	480	500	510	500
	Масса пирога, кг	16,90	16,80	16,60	16,75
	Выход годного, %	71,60	72,02	73,92	74,00
	Удельная производитель.,	1,36	1,39	1,51	1,48

	т/м ² час				
Химический состав	Feобщ., %				
	FeO, %	14,35	14,7	16,12	15,58
	CaO/SiO ₂ (ед.)	1,61	1,63	1,61	1,62
ГОСТ 15137-79	Прочность (Б+5мм), %	61,8	62,2	63,6	64,0
	Истираемость (Б-0,5 мм), %	8,58	8,50	8,15	8,29
ИСО 4696-1	RDI +6,3	79,26	76,34	72,6	74,8
	RDI – 3,15	14,0	15,2	16,8	16,2
	RDI – 0,5	2,8	4,2	4,6	3,9
ГОСТ 21707-76	Rf – 1050	66,2	66,87	67,1	64,42
Высоко-температурные свойства	T нф	1340	1345	1345	1342
	Mпш	5,2	4,4	4,6	4,6
	FeОпш	12,6	11,4	10,94	11,03
Обобщенный показатель качества	ПК	10,37	10,54	10,57	10,65

При применении ПАВ-1 вертикальная скорость увеличилась незначительно. Также при использовании ПАВ-1 заметно усиливалось гарнисажеобразование на стенках гранулятора.

Экстраполируя результаты лабораторных исследований на промышленные условия на основе принятой практики оценки результатов промышленных в 1/3 от величины, полученной в идеальных лабораторных условиях, можно предположить, что применение ПАВ приведет к:

- увеличению вертикальной скорости спекания на 2-2,8% отн.;
- увеличению выхода годного агломерата на 0,8% абс.;
- повышению удельной производительности на 2,9-3,7% отн.;
- увеличению показателя прочности годного агломерата на 0,6-0,7% абс.

За счет увеличения высоты спекаемого слоя на 20-25 мм и корректировки содержания FeO в агломерате возможна экономия твердого топлива до 0,5-1,0 кг на тонну агломерата.

Опытно-промышленные испытания технологии интенсификации аглопроцесса за счет использования ПАВ показали:

1. Температура отходящих аглогазов из предпоследней вакуум-камеры, над которой заканчивается процесс спекания, возросла в среднем на 11°C.

2. Температура в сборном коллекторе перед эксгаустером увеличилась на 8°C.

3. Разрежение в предпоследней вакуум-камере и перед эксгаустером понизилось на 30 мм водяного столба. Это свидетельствует об улучшении окомкования шихты, что подтверждается снижением содержания неокомкованной фракции 0-3мм в полтора-два раза и потенциальной возможностью повышения производительности агломашин на 3-5%.

4. Содержание закиси железа в агломерате повысилось в среднем на 0,42%.

5. Улучшение физико-механических свойств агломерата промышленного производства при использовании ПАВ характеризовалось снижением содержания мелочи 0-5мм в нем на 1,04% абс.

6. Улучшение физико-химических свойств агломерата при использовании ПАВ выразилось в повышении прочности при восстановлении на 0,5-1,4%, снижении истираемости на 0,1-0,9%, увеличении восстановимости на 0,2-3,1%, снижении "агрессивности" первичного шлака по отношению к огнеупорной футеровке и росте температуры максимальной фильтрации расплава, характеризующей температуру физического нагрева чугуна, на 5-10°C.

Библиографический список

1. *Анализ сырьевой базы металлургического производства: стратегический аспект. Железородные материалы/ Назюта Л. Ю., Косолап Н. В., Губанова А. В. // «Металл и литье Украины», 2005, № 9-10, с. 3-7*
2. *Современное состояние аглодоменного производства в Украине и пути его совершенствования/ Нестеров А.С., Гармаш Л.И., Захарченко В.Н.// Сб. научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Выпуск 30. – 2015 г. – С. 27-37.*
3. *Проблемы экологии и утилизации техногенного сырья в металлургическом производстве / Ю. С. Карабасов, Ю.С. Юсфин, И. Ф. Курунов и др. – Металлургия, 2004. – № 8. – С. 27-33.*
4. *К вопросу о совершенствовании подготовки железо-рудного сырья к доменной плавке/Нестеров А.С., Гармаш Л.И., Пивненко А.В. и др.// Сб. научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Выпуск 29. – 2014 г. – С. 64-74.*
5. *Рациональное использование металлургических отходов в аглодоменном производстве / В.И.Большаков, А.С. Нестеров, М.А. Гуркин и др. // Международный конгресс “Доменное производство-XXI век”: сб. статей // Сталь. – 2010. – №4.*
6. *Нестеров А.С. Технологические особенности доменной плавки при использовании в железорудной части шихты высокой доли вторичных ресурсов/ Производственное совещание «Состояние и перспективы ДП Украины», посвященное памяти Дышлевича И.И.», ЕВРАЗ-ДМЗ им.Петровского, Днепропетровск. – 2015.*
7. *Назюта Л.Ю. Эффективность использования в аглошихте предприятий Украины вторичных железосодержащих материалов // Экология и ресурсосбережение. – 2007. – № 3. – С.18-26.*
8. *Использование вторичных ресурсов черной металлургии для улучшения экологической ситуации на предприятиях/А.С. Нестеров, Л.И. Гармаш, Н.В. Горбатенко, О.А. Вергун //Материалы конференции СПЕЦИАЛЬНА МЕТАЛУРГІЯ: ВЧОРА, СЬОГОДНІ, ЗАВТРА <http://smytt-metal.kpi.ua/SMYTTXVI/author>*

9. *Комбинированное окомкование* агломерационной шихты в аппаратах барабанного типа и тарельчатых грануляторах / Г.И. Исаенко, А.Н. Сапрыкин, А. С. Кузнецов и др.// *Сталь*. — 2009. № 5. — С. 2-7.
10. *А.И. Бабаченко, Л.И. Гармаш*. Повышение эффективности использования вторичных ресурсов в аглодоменном производстве//Материалы конференции Tech today hub. Місце зустрічі науки та бізнесу. - Дніпро. - 2017. <https://techtoday.in.ua/wp-content/uploads/2017/11/04.-Povyishenie-e%60ffektivnosti.pdf>
11. *Исследование параметров* процесса спекания агломерационных шихт, обработанных поверхностно-активными веществами/ Бондаренко В.Д., Зюзь В.Г., Пастушенко З.З. и др. // *Теория и практика металлургии*. – 2010. – № 1-2. – С.11-13.
12. *Применение органических связующих компонентов* в процессе агломерации железорудного сырья/ Сибатуллин С.К., Иванов А.В., Решетова И.В. //Вестник МГТУ им. Носова. – 2010. – № 4, – С. 30-32.
13. *Опыт применения полимерных связующих* в металлургическом производстве/ Маркова С.В., Кийк А.А., Кормина И.В., Пономаренко А.А. //Сталь. – 2013. – № 7, – С.10-13.
14. *Основные направления* повышения эффективности производства железорудного агломерата в России/Берсенева И.С., Ершов М.П., Клейн И.В. и др.//Сталь. – 2014. – № 8. – С.5-7.
15. *Результаты спекания* и свойства агломерата из шихт, подготовленных с использованием поверхностно-активных веществ /А.С.Нестеров, В.С. Якушев, М.Г. Болденко, Л.И. Гармаш и др.//Сб. научных трудов ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Выпуск 25. – 2012 г. – С. 43-51.
16. *Способ производства агломерату* / Фомін С.П., Якушев В.С., Агапова В.Т., Шишацкий А.Г. та ін./Україна. Декл. патент на корисну модель № 15188, кл. С 22В 5/20. – Опубл. 15.06.2006. – Бюл. № 6, – с.35.
17. *Процессы* в слое железорудных материалов при его нагревании/ Гладков Н.А., Нестеров А.С. // *Известия АН СССР*. – Металлы. – 1987. – № 3. – С.9-11.
18. *Патент РФ №2283877* Способ определения металлургической ценности доменного железорудного сырья.

Reference

1. *Analiz syr'yevoy bazy metallurgicheskogo proizvodstva: strategicheskiy aspekt. Zhelezorudnyye materialy/* Nazyuta L. YU., Kosolap N. V., Gubanova A. V. // «Metall i lit'ye Ukrainy», 2005, № 9-10, s. 3-7
2. *Sovremennoye sostoyaniye aglodomennogo proizvodstva v Ukraine i puti yego sovershenstvovaniya/* Nesterov A.S., Garmash L.I., Zakharchenko V.N.// Sb. nauchnykh trudov ICHM «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii». Vypusk 30. – 2015 g. – S. 27-37.
3. *Problemy ekologii i utilizatsii tekhnogenogo syr'ya v metallurgicheskoy metallurgii /* YU. S. Karabasov, YU.S. Yusfin, I. F. Kurunov i dr. – Metallurgiya, 2004. – № 8. – S. 27-33.
4. *K voprosu o sovershenstvovanii podgotovki zhelezo-rudnogo syr'ya k domennoy plavke/*Nesterov A.S., Garmash L.I., Pivnenko A.V. i dr.// Sb. nauchnykh trudov ICHM «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii». Vypusk 29. – 2014 g. – S. 64-74.

5. *Ratsional'noye ispol'zovaniye metallurgicheskikh otkhodov v aglodomennom proizvodstve / V.I.Bol'shakov, A.S. Nesterov, M.A. Gurkin i dr. // Mezhdunarodnyy kongress "Domennoye proizvodstvo-XXI vek": sb. statey // Stal'. – 2010. – №4.*
6. *Nesterov A.S. Tekhnologicheskiye osobennosti domennoy plavki pri ispol'zovanii v zhelezorudnoy chasti shikhty vysokoy doli vtorichnykh resursov/ Proizvodstvennoye soveshchaniye «Sostoyaniye i perspektivy DP Ukrainy», posvyashchennoye pamyati Dyshlevicha I.I.», YEVRAS-DMZ im.Petrovskogo, Dnepropetrovsk. – 2015.*
7. *Nazyuta L.YU. Effektivnost' ispol'zovaniya v agloshikhte predpriyatiy Ukrainy vtorichnykh zhelezosoderzhashchikh materialov // Ekologiya i resursoberezeniye. – 2007. – № 3. – S.18-26.*
8. *Ispol'zovaniye vtorichnykh resursov chernoy metallurgii dlya uluchsheniya ekologicheskoy situatsii na predpriyatiyakh/A.S. Nesterov, L.I. Garmash, N.V. Gorbatenko, O.A. Vergun //Materialy konferentsii SPETSIAL'NA METALURGIYA: VCHORA, S'OGODNI, ZAVTRA <http://smytt-metal.kpi.ua/SMYTTXVI/autho>*
9. *Kombinirovannoye okomkovaniye aglomeratsionnoy shikhty v apparatakh barabannogo pita i tarel'chatykh granulyatorakh / G.I. Isayenko, A.N. Saprykin, A. S. Kuznetsov i dr.// Stal'. — 2009. № 5. – S. 2-7.*
10. *A.I. Babachenko, L.I. Garmash. Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya vtorichnykh resursov v aglodomennom proizvodstve//Materialy konferentsii Tech today hub. Mistse zustrichii nauki ta biznesu. - Dnipro. – 2017. <https://techtoday.in.ua/wp-content/uploads/2017/11/04.-Povyshenie-e%60effektivnosti.pdf>*
11. *Issledovaniye parametrov protsessa spekaniya aglomeratsionnykh shikht, obrabotannykh poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami/ Bondarenko V.D., Zyuz' V.G., Pastushenko Z.Z. i dr. // Teoriya i praktika metallurgii. – 2010. – № 1-2. – S.11-13.*
12. *Primeneniye organicheskikh svyazuyushchikh komponentov v protsesse aglomeratsii zhelezorudnogo syr'ya/ Sibagatullin C.K., Ivanov A.B., Reshetova I.V. //Vestnik MGTU im. Nosova. – 2010. – № 4, – S. 30-32.*
13. *Opyt primeneniya polimernykh svyazuyushchikh v metallurgicheskoye proizvodstve/ Markova S.V., Kiyk A.A., Kormina I.V., Ponomarenko A.A. //Stal'. – 2013. – № 7, – S.10-13.*
14. *Osnovnyye napravleniya povysheniya effektivnosti proizvodstva zhelezorudnogo aglomerata v Rossii/Bersenev I.S., Yerшов M.P., Kleyn I.V. i dr.//Stal'. – 2014. – № 8. – S.5-7.*
15. *Rezultaty spekaniya i svoystva aglomerata iz shikht, podgotovlennykh s ispol'zovaniyem poverkhnostno-aktivnykh veshchestv /A.S.Nesterov, V.S. Yakushev, M.G. Boldenko, L.I. Garmash i dr.//Sb. nauchnykh trudov ICHM «Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii». Vypusk 25. – 2012 g. – S. 43-51.*
16. *Sposob virobnitstva aglomeratu / Fomin S.P., Yakushev V.S., Agapova V.T., Shishats'kiy A.G. ta in./Ukraina. Dekl. patent na korisnu model' № 15188, kl. S 22V 5/20. – Opubl. 15.06.2006. – Byul. № 6, – s.35.*
17. *Protsessy v sloye zhelezorudnykh materialov pri yego nagrevanii/ Gladkov N.A., Nesterov A.S. // Izvestiya AN SSSR. – Metally. – 1987. – № 3. – S.9-11.*
18. *Patent RF №2283877 Sposob opredeleniya metallurgicheskoy tsnnosti domennogo zhelezorudnogo syr'ya.*

*Статья поступила в редакцию сборника 01.12.2018 года,
прошла внутреннее и внешнее рецензирование (Протокол заседания
редакционной коллегии сборника №1 от 26 декабря 2018 года)
Рецензенты: д.т.н., проф. А.К. Тараканов; к.т.н. А.Д. Джигота*