

УДК 669.162.2:622.785:622.341.1

**А.С.Нестеров, В.С.Якушев, М.Г.Болденко, Л.И.Гармаш, А.Д.Джигота,
В.Т.Агапова*, А.Г.Шишацкий*, Ю.В.Пицък***

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКАНИЯ И СВОЙСТВА АГЛОМЕРАТА ИЗ ШИХТ, ПОДГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНО– АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

*ИЧМ им. Некрасова НАН Украины, *ДНУ им. Гончара*

Исследованы свойства агломерата из шихты с использованием поверхностно-активных веществ (ПАВ). Зафиксированы текущие шихтовые условия в различные периоды производства агломерата. Приведена сравнительная оценка изменения показателей работы агломашин и свойств агломерата при подготовке шихты без использования и с использованием поверхностно-активных веществ. Отмечены положительные экологические аспекты разработанной технологии.

агломерат, агломашинны, поверхностно–активные вещества (ПАВ), экологические аспекты

Состояние вопроса. На агломерационное производство среди технологических процессов в горно–металлургическом комплексе страны приходится свыше 30% выбросов пыли, 60% сернистого ангидрида, 75% окиси углерода и более 25% окиси азота. Общие потери компонентов агломерационной шихты с пылью превышают 60 кг на тонну произведенного агломерата.

Одной из основных причин высокого уровня техногенного воздействия агломерационного производства является использование до 30–40% мелкого вторичного сырья различного происхождения – шламов, шлаков, возврата собственного производства или отсева с доменных печей, окалины, требующих окомкования в процессе производства аглошихты. Использование поверхностно–активных веществ (ПАВ) как технологического приема призвано в определенной мере улучшить экологическую ситуацию.

Применение ПАВ или специально подготовленной воды в практике агломерационного производства показывает их интенсифицирующее влияние на ход процесса спекания [1–4]. Связано это с улучшением окомкования агломерационной шихты, и, по–видимому, с каталитическим воздействием органических веществ определенного состава на процесс горения частиц твердого топлива. Свойства же агломерата оценивались только с точки зрения прочности в исходном состоянии.

Методика исследований. 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 [5]. С обработанными пеной продуктами ПАВ попадали в бункер возврата шихтового отделения и далее в отдозированную перед окомкованием аглошихту. Одновременно фиксировали изменение запыленности воздуха на цикле возврата и в аглогазах. 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, разрежение в этих же точках.

Повышение температуры отходящих газов и снижение разрежения в газовых трактах является показателем возможности экономии твердого топлива и увеличения скорости агломашин, т.е. их производительности. Последняя, однако, может быть реализована только в условиях стабильно высокого потребления продукта доменным цехом или в периоды ремонтов агломашин, когда их скорость искусственно не занижалась.

Определение физико-механических и физико-химических свойств агломерата производилось по гостированным методикам [6–7], методике ИЧМ [8], моделирующим поведение спека в доменном переделе в комплексе от загрузки материала на колошник до образования чугуна и шлака.

Шихтовые условия в различные периоды производства.

Промышленные исследования экспериментального образца системы обработки возврата раствором ПАВ проводились в три периода. За сравнительные периоды принимались показатели предшествующих или последующих суток. В ходе проведения экспериментов разрабатывались сформированные на рудном дворе штабеля, обеспечивающие такие расходы заложенных в них компонентов (табл.1). Дозировка компонентов шихты в различные периоды производства представлена в табл.2–4, а результаты рассева окомкованной шихты – в табл. 5.

В 1-ом опытном периоде технологическим персоналом аглоцеха при работе на шихте с обработанным ПАВ возвратом производилось снижение расхода топлива в аглошихту и известняк в нее не вводился в связи с высоким его содержанием в штабеле.

Показатели спекания в различные периоды.

В первом и третьем периоде согласно дозировке имело место снижение расхода топлива, выразившееся в увеличении рудно-флюсо-возвратной нагрузки, соответственно с 37,91 до 44,44 и с 42,55 до 46,70 на единицу топлива. Значительно улучшился гранулометрический состав окомкованной шихты. Наблюдался также небольшой рост содержания закиси железа в агломерате опытных периодов.

Анализ полученных данных показывает, что имеющее место повышение температуры отходящих газов, а также снижение разрежения

в вакуум–камерах и коллекторе свидетельствуют о потенциальной возможности повышения скорости агломашин на 5–10%.

Таблица 1. Состав компонентов рудной смеси в штабеле в различные периоды

№ п/п	Компонент	Фактический расход, кг/т агломерата		
		1–й период	2–й период	3–й период
1	Аглоруда	110,3	101,6	169,9
2	Концентрат	511,1	483,4	430,7
3	Рудный шлам	147,4	140,6	150,9
4	Известковая пыль	5,9	7,0	6,1
5	Известь	26,4	24,9	18,3
6	Отсев агломерата	211,8	244,6	223,1
7	Колошниковая пыль	15,0	18,8	13,0
8	Окалина	56,0	57,7	53,8
9	Окалино–торфяная смесь	14,3	16,1	15,0
10	Шлак обогащенный	41,3	37,5	40,7
11	Торф активированный	16,4	17,9	15,9
12	Известняк фракции 0 – 5мм	31,0	18,8	30,8
13	Шлам ДЦ–1	0	0	0

Таблица 2. Динамика изменения дозировки компонентов аглошихты в 1–ом периоде

Период Время, расход, т/час	Сравнительный				Опытный		Сравнительный			
	6–15	16–20	21–22	23–24	8–22	23–24	8–9	9–10	9–10	10–14
Рудная смесь	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
Возврат	100	80	80	80	50	50	50	50	50	50
Коксовая мелочь	18	18	16	15	14	13	13	15	16	17

Таблица 3. Динамика изменения дозировки компонентов аглошихты в 2–ом периоде

Период Время, Расход, т/час	Сравнительный			Опытный		
	8–15	15–16	17–22	7–15	15–16	17–19
Рудная смесь	550	550	550	550	550	550
Возврат	100	100	100	50	50	50
Коксовая мелочь	15	17	15	14	16	15
Известняк	11	11	11	11	11	11

Температура, разрежение в вакуум–камерах и коллекторе, а также скорость агломашин в процессе выработки шихты с отсевом, обработанным ПАВ (числитель), и шихты без обработанного отсева в предыдущие сутки (знаменатель) представлены в табл. 6–8.

Таблица 4. Динамика изменения дозировки компонентов аглошихты в 3–ем периоде

Период	Сравнительный			Опытный		
	10–16	16–18	18–22	10–15	16–19	19–22
Время, Расход, т/час						
Рудная смесь	550	550	550	550	600	600
Возврат	60	60	60	60	100	100
Коксовая мелочь	13	15	16	16	17	16
Известняк	14	14	14	14	15	15

Таблица 5. Результаты отсева окомкованной аглошихты без использования и с использованием ПАВ

Фракция, мм	Содержание фракции, %		
	Сравнительный		Опытный
	агломаш. №2	агломаш. №3	агломаш. №3
+ 10	13,1	15,2	14,4
5–10	16,2	18,3	20,5
3–5	31,3	28,5	46,5
0–3	39,4	38,0	18,6

Таблица 6. Показатели работы агломашин в 1–ом периоде.

Показатель	№ вакуум–камеры	№ агломашин				
		1	2	3	4	5
Температура, °С	11	200/180	235/180	185/185	160/125	–
	12	150/135	170/155	245/240	205/165	–
	13	245/235	235/230	250/250	195/190	–
	коллектор	130/125	140/125	130/120	120/110	–
Разрежение, мм водяного столба	11	740/755	670/685	640/685	765/800	–
	12	780/800	670/685	640/640	765/800	–
	13	760/775	645/660	650/660	780/810	–
	коллектор	775/835	775/820	840/845	820/850	–
Скорость агломашин, м/мин.		1,55/1,45	1,65/1,65	1,70/1,65	1,60/1,60	–

Физико–механические характеристики агломерата в различные периоды производства представлены в табл.9. Содержание фракции +5мм показывает сопротивление агломерата ударным нагрузкам, а фракции 0–0,5 мм – истираемость спеченного продукта. Рассев агломерата, выгруженного на площадку бункерной эстакады, полученного из шихты без применения ПАВ и при его использовании показал значительное снижение (на 1,84% абс.) содержания мелочи в агломерате. Несколько улучшились показатели барабанного испытания.

Химический состав агломерата в разные периоды приведен в табл.10, а высокотемпературные свойства представлены в табл.11.

Таблица 7. Показатели работы агломашин во 2-ом периоде.

Показатель	№ вакуум-камеры	№ агломашин				
		1	2	3	4	5
Температура, °C	11	220/203	–	215/220	210/175	210/205
	12	170/115	–	245/245	195/205	215/210
	13	245/232	–	240/240	205/200	200/185
	коллектор	128/121	–	132/123	127/120	128/120
Разрежение, мм водяного столба	11	775/793	–	595/645	690/727	570/630
	12	800/837	–	555/593	625/743	550/610
	13	785/821	–	620/657	723/755	570/668
	коллектор	825/865	–	793/823	800/840	770/800
Скорость агломашин, м/мин		1,50/1,53	–	1,75/1,70	1,75/1,70	1,80/1,80

Таблица 8. Показатели работы агломашин в 3-ем периоде.

Показатель	№ вакуум-камеры	№ агломашин				
		1	2	3	4	5
Температура °C	11	218/215	195/175	235/210	160/150	150/130
	12	120/115	165/150	275/230	196/181	205/193
	13	221/220	217/200	276/260	201/192	194/176
	коллектор	125/125	123/113	138/125	121/115	115/113
Разрежение, мм водяного столба	11	847/855	683/700	755/820	693/740	608/615
	12	880/880	700/760	710/760	735/780	603/650
	13	880/880	680/740	770/830	730/760	626/640
	коллектор	970/970	822/860	950/970	814/865	824/835
Скорость агломашин, м/мин		1,50/1,50	1,60/1,65	1,75/1,75	1,70/1,70	1,75/1,75

Таблица 9. Физико-механические характеристики агломерата в различные периоды

Период	№ проб п/п	Рассев агломерата на ДП–5 содержание мелочи (0–5мм,%)	ГОСТ 15137–79,% механическая прочность	
			+5мм	0–0,5мм
1-й	1	20,40	68,0–68,4	5,6–5,7
	2	20,44	68,4–68,5	5,6–5,7
	3	20,42	67,9–68,2	5,8–5,6
2-й	4	20,40	67,9–69,7	5,7–6,4
	5	20,41	68,4–69,8	5,5–5,7
3-й	6	20,42	68,4–68,3	5,5–5,6
	7 сравнит.	19,93	68,0	5,7
	8 опытный	18,09	68,8	5,5

Таблица 10. Средний химический состав агломерата по периодам

Период	№ проб п/п	Содержание компонентов, %					
		Fe	FeO	SiO ₂	CaO	MgO	Осн.
1-й	1	55,76	15,48	8,65	10,08	1,3	1,17
	2	56,03	16,22	8,56	9,79	1,24	1,14
	3	56,15	15,62	8,49	9,73	1,24	1,15
2-й	4	55,82	15,41	8,62	9,92	1,23	1,15
	5	55,84	15,89	8,71	9,74	1,24	1,12
3-й	6	55,43	16,34	8,83	9,84	1,36	1,12
	7	55,57	16,39	8,90	10,08	1,42	1,13

Таблица 11. Высокотемпературные физико-химические свойства агломерата в различные периоды его производства.

Период	Прочность при восстановлении (выход фракций мм), % ГОСТ 19575-84		Методика ИЧМ			
	+5мм	0-0,5 мм	Температура фильтрации расплава, °С		FeO в первичном шлаке, %	Степень восстановления агломерата, %
			Начало	Максимум		
1-й опытный сравнит.	47,2	12,3	1330	1460	17,02	68,2
	46,7	12,3	1330	1455	17,30	68,0
2-й опытный сравнит.	47,0	12,4	1335	1460	16,95	70,2
	45,9	12,5	1330	1450	17,05	68,3
3-й опытный сравнит.	48,5	11,4	1345	1460	14,9	71,1
	47,1	12,5	1330	1455	15,9	68,0

Отмечается повышение прочности агломерата при восстановлении, снижение истираемости, повышение температуры максимальной фильтрации расплава (температуры физического нагрева чугуна). Повысилась также восстановимость агломерата и связанное с этим снижение «агрессивности» первичных шлаков (содержание закиси железа) по отношению к футеровке доменных печей.

В ходе экспериментов отмечено снижение запыленности воздуха на цикле возврата не менее чем на 30%, концентрации пыли в аглогазах и содержания в них окиси углерода не менее, чем в 2 раза и на 20% соответственно. Это связано с пенным пылеподавлением, укрупнением состава пыли (повышением прочностных свойств агломерата) и уменьшением расхода топлива на спекание.

Заключение. Таким образом, в ходе опытно–промышленных испытаний технологии интенсификации аглопроцесса за счет использования поверхностно–активных веществ при подготовке шихты к спеканию, проведенных в три периода, получены следующие результаты:

1. Температура отходящих аглогазов из предпоследней вакуум–камеры, над которой заканчивается процесс спекания, возросла в среднем на 13⁰С.

2. Температура в сборном коллекторе перед эксгаустером увеличилась на 10⁰С.

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 0–3 мм в два раза и потенциальной возможностью повышения производительности агломашин на 5–10%.

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

5. Рудная нагрузка (смесь рудной части шихты, флюса и возврата агломерата) на единицу топлива в 1–ом и 3–ем периодах возросла на 6,53–8,79 ед., что, наряду с увеличением содержания закиси железа в спеке, свидетельствует о возможности снижения расхода коксовой мелочи на спекание при подготовке шихты с использованием ПАВ.

6. Улучшение физико–механических свойств агломерата промышленно производства при использовании ПАВ характеризовалось снижением содержания мелочи 0–5мм в нем в 3–ем опытном периоде на 1,84% абс.

7. 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 (снижение содержания закиси железа в нем) и росте температуры максимальной фильтрации расплава, характеризующей температуру физического нагрева чугуна, на 5–10⁰С.

8. Дополнительно к основной цели применения ПАВ впервые использована пена с его участием, что позволило на 30% снизить запыленность в процессах обработки агломерата. Внедрение технологии подготовки аглошихты с участием ПАВ позволяет снизить уровень загрязнения атмосферного воздуха, способствует снижению ресурсоемкости производства агломерата.

1. *Рудовский Г.И., Мартыненко В.А.* Влияние воды, подвергнутой магнитной обработке, на процесс агломерации // *Металлург*, – 1967. – № 5, С.4–5.
2. *Шихта* для окомкования железной руды // Пат. США, кл. 75–3, № 3258327. Оpubл. 28.06.66.
3. *Фомин С.П., Агапова В.Т., Шишацкий А.Г.* Снижение выбросов пыли при производстве агломерата// «Екологічні проблеми гірничо–металургійного комплекс України за умов формування принципів збалансованого розвитку». Матеріали науково–практичної конференції. – К.: Центр екологічної освіти та інформації. – 2008. – С.215–220.
4. *Ровенский И.И., Пожидаева Э.Ю., Попович З.П.* Исследование органических добавок для окомкования. / Тезисы докладов Всесоюзной научно–технической конференции «Теория и технология» подготовки сырья к доменной плавке». – Днепропетровск, ДметИ, – 1985 г., – С.274.
5. *Способ* виробництва агломерату/ С.П.Фомін, В.С.Якушев, В.Т.Агапова, А.Г.Шишацкий та ін./ – Україна – Декл. патент на корисну модель № 15188, кл. С 22В 5/20. Оpubл. 15.06.2006. Бюл. № 6, с.35.
6. *ГОСТ 15137–79.* Руды железные и марганцевые, агломераты и окатыши. Метод определения прочности во вращающемся барабане.
7. *ГОСТ 19575–84.* Руды железные и марганцевые, агломераты и окатыши. Метод определения прочности в процессе восстановления.
8. *Гладков Н.А., Нестеров А.С.* Процессы в слое железорудных материалов при его нагревании// *Известия АН СССР. – Металлы.* – 1987. – № 3. – С.9–11.

*Статья рекомендована к печати
д.т.н. проф. Товаровским И.Г.*

***А.С.Нестеров, В.С.Якушев, М.Г.Болденко, Л.И.Гармаш,
А.Д.Джигота, В.Т.Агапова, А.Г.Шишацкий, Ю.В.Піцик***

Результати спікання та властивості агломерату з шихт, підготовлених з використанням поверхнево–активних речовин.

Досліджено властивості агломерату з шихти з використанням поверхнево-активних речовин (ПАР). Зафіксовано поточні шихтові умови в різні періоди виробництва агломерату. Наведено порівняльну оцінку зміни показників роботи агломашин і властивостей агломерату при підготовці шихти без використання і з використанням поверхнево-активних речовин. Відзначено позитивні екологічні аспекти розробленої технології.