

УДК 669.162.2:669.162.1.002

**А.С.Нестеров, Л.И.Гармаш, А.В.Пивненко,
А.Г.Коваленко*, А.В.Зубенко*, А.Л.Леонов***

К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ПОДГОТОВКИ ЖЕЛЕЗО-РУДНОГО СЫРЬЯ К ДОМЕННОЙ ПЛАВКЕ

*Институт черной металлургии НАН Украины,
ПАО "Енакиевский металлургический завод"

Приведены результаты исследований влияния углеродсодержащих гранул на качество агломерата ПАО «ЕМЗ». Показано, что углеродсодержащими гранулами можно заменить не более 20-25% углерода, находящегося в традиционном агломерационном топливе, поскольку замена в большем объеме приводит к резкому сокращению выхода годного и снижению стабильности качества агломерата, в первую очередь, по характеристикам его холодной прочности. Коэффициент замены углерода традиционного топлива на углерод в прмышленных гранулированных отходах не превышает 55 %.

Ключевые слова: агломерат, гранулированные отходы, аглошихта, качество

Состояние вопроса. Основной задачей агломерационного процесса является получение годного продукта заданного состава и свойств в соответствии с его технологически и экономически оправданным участием в процессе производства чугуна в доменных печах. Для достижения практического результата при решении этой задачи необходимо учитывать ряд факторов, связанных с технологическими проблемами использования при агломерации всевозможных железосодержащих материалов, в том числе, и накопившихся отходов металлургии и, в частности, гранулированных.

Выполненные ранее расчетно-аналитические и экспериментальные исследования состава и свойств агломерата ПАО «ЕМЗ» при варьировании участия различных видов отходов в аглошихте [1-2] показали, что:

- основной вклад в нестабильность химического состава агломерата ПАО «ЕМЗ» вносят металлургические шламы, внесенные в штабель концентратной смеси и аглоруда КЖРК (по содержанию SiO_2 и $\text{Fe}_{\text{общ}}$);
- чем выше основность агломерата, тем он более нестабилен по составу и свойствам, т.е. стабильность агломерата основностью 1,5 ед. выше, чем агломерата основностью 1,8 ед.;
- повысить стабильность агломерата возможно вводом в состав аглошихты гранулированных вторичных отходов определенной дозировки и использованием богатой, например, Яковлевской аглоруды;

- подготовка вторичных отходов к спеканию путем гранулирования позволяют повысить их содержание в аглошихте на 16 кг на тонну агломерата при сохранении стабильности его состава на том же уровне;
- увеличение использования вторичных отходов приводит к значительному повышению содержания серы и фосфора в составе агломерата и ухудшает условия первичного шлакообразования;
- замена отсева окатышей с высокими значениями температуры плавления гранулированными вторичными отходами основностью 1,35-1,6 ед. увеличивает количество расплава в зоне низких температур и способствует увеличению производительности агломерационного процесса;
- характерное для шихты аглоцеха ПАО «ЕМЗ» повышенное содержание тугоплавких составляющих (отсева агломерата, шлака конвертерного, окалины, аглоруды) с общим содержанием в шихте порядка 45-55% предопределяет необходимость организации достаточно высокого температурно-теплового уровня спекания.

При увеличении использования металлургических отходов в составе агломерационной шихты на 227 кг/т агломерата возможно сократить количество минеральных ресурсов (в частности концентрата ИнГОК) на 167 кг/т агломерата. Это позволяет при работе доменной печи на 100% агломерата снизить себестоимость чугуна до 3,8%, но при этом увеличивается расход агломерата на 160 кг/т чугуна и снижается производительность печи (до 9,5%). Вместе с тем, необходимо также решать задачи расхода аглотоплива на производство агломерата. В связи с этим представляют промышленный интерес гранулированные углеродсодержащие материалы, производимые из металлургических отходов.

Цель исследований. В настоящей работе приводятся результаты проведенных расчетно-аналитических и лабораторных исследований, целью которых являлось установление параметров аглопроцесса при использовании углеродсодержащих гранул и определение возможных способов улучшения качества агломерата.

Методика исследований. На лабораторной базе ИЧМ были проведены опытные спекания агломерата основностью 1,7 ед. с использованием в составе аглошихты концентрата ИнГОК, аглоруды Яковлевского месторождения, вторичных ресурсов, в том числе, гранул промышленного производства и лабораторных углеродсодержащих. Затем были проведены комплексные исследования их металлургических свойств. Фракционный состав исследуемых материалов приведен в табл.1.

По условиям эксперимента шихту заданного состава смешивали и окомковывали в чашевом грануляторе. Спекания проводились в агломерационной чаше диаметром 220 мм при высоте слоя 300 мм. Разряжение под колосниковой решеткой 800 мм водяного столба. Процесс зажигания осуществлялся при помощи газовой инжекционной горелки.

Продолжительность зажигания 1,5 минуты. Измерение температуры проводилось в середине спекаемого слоя. Окончание процесса спекания определяли по температуре отходящих газов.

Таблица 1. Фракционный состав компонентов аглошихты.

Наименование материала	Размер частиц, мм				
	+10	5,0-10,0	3,0-5,0	0,5-3,0	Менее 0,5
Гранулы углеродсодержащие лабораторные	10,97	53,09	22,31	9,97	3,66
Гранулы промышленные	14,1	17,8	15,00	23,27	29,8
Руда Яковлевская	6,64	16,81	9,82	20,63	46,11
Шлак конвертерный	28,46	34,51	10,21	14,0	12,72
Шлам	3,2	6,8	8,2	10,6	71,2

Расход гранул промышленного производства и углеродсодержащих в составе аглошихты задавали в количестве 60-85 кг на тонну аглошихты. Расход агломерационного топлива изменялся от 43 до 25 кг/т.

Результаты исследований. В табл.2 приведен химический состав компонентов аглошихты, в табл.3 – химический состав лабораторных агломератов и их металлургические свойства, в табл.4 – результаты спеканий. Анализ результатов расчетно-аналитического эксперимента и лабораторных спеканий агломерата показывает, что замена промышленных гранулированных отходов, состоящих из частично-офлюсованного отсева окатышей, на углеродсодержащие гранулы позволяет (при поддержании прочностных характеристик агломерата в исходном состоянии и при восстановительно-тепловой обработке на сопоставимом уровне) сократить расход агломерационного топлива на 18-20%.

При таком режиме спекания уровень содержания FeO в агломерате целесообразно поддерживать на 2-2,5% выше базового (12,8-13,2% против 10,7%). Замена промышленных гранул углеродсодержащими приводит к понижению содержания железа в агломерате в среднем на 0,58%.

В отдельных пробах содержание углерода в лабораторном агломерате при использовании углеродсодержащих гранул повысилось на 0,06-0,08%. Этим можно объяснить повышение температур начала фильтрации жидких фаз на 10⁰С и понижение содержания FeO в первичном шлаковом расплаве на 2,5%.

Таблица 2. Химический состав компонентов аглошихты.

Материал	W, %	Fe	FeO	SiO ₂	CaO	Mn	MgO	Al ₂ O ₃	P	C	S	Zn
Гран.отходы промышленные	3,00	51,6	20,70	8,0	7,6	0,32	1,77	0,73	0,02	0,08	0,015	0,00
Гран. отходы лабораторные	3,0	40,3	18,0	8,6	7,2	0,32	1,75	0,73	0,02	28,4	0,00	0,00
Углеродсодержащие												
Яковлевская аглоруда	7,37	60,09	4,28	5,11	0,16	0,00	0,39	2,18	0,054	0,380	0,033	0,000
Концентрат ИнГОК	9,50	67,00	30,14	6,11	0,15	0,02	0,48	1,48	0,033	0,180	0,029	0,000
Конвертерный шлак	4,00	15,07	15,60	20,45	52,29	2,36	8,51	2,38	0,231	0,000	0,425	0,000
Шлам	23,04	49,00	13,21	5,81	8,50	0,32	1,77	1,84	0,042	7,050	0,568	0,181
Окалина	2,00	70,98	55,40	0,62	0,88	0,42	0,81	1,19	0,033	0,440	0,043	0,048
Аспирационная пыль	1,00	55,81	8,85	6,52	6,94	0,06	1,06	1,63	0,050	3,560	0,269	0,000
Колошниковая пыль	13,09	37,22	8,94	7,73	10,85	0,14	1,71	1,95	0,032	14,420	0,667	0,310
Отходы пресножниц	1,00	57,62	9,23	7,48	6,79	2,56	4,60	1,79	0,000	0,000	0,000	0,000
Мет. фракция 0-10 мм	3,20	48,00	10,41	11,17	26,30	2,56	4,60	1,79	0,000	0,000	0,000	0,000
Промсырьё	14,59	38,10	8,87	8,20	10,19	0,00	1,65	1,90	0,032	8,560	0,267	0,000
Окалина ММЗ	4,10	72,54	55,08	0,69	0,68	0,49	0,52	1,08	0,032	0,520	0,051	0,050
Известняк Комсомольского РУ	2,20	0,10	0,00	3,84	51,55	0,60	1,61	0,34	0,000	11,840	0,057	0,000
Известь	0,00	0,20	0,00	2,06	66,00	0,00	10,96	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
Коксовая мелочь	0,00	9,87	0,00	43,74	0,64	0,04	0,64	31,81	0,000	82,980	0,000	0,000

Таблица 3. Химический состав и металлургические свойства агломерата при использовании в шихте различных гранул.

	Расх. кокс. мел.	Fe	CaO/ SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	Б+5	Б-0,5	ИСО Б+6,3	ИСО -Б-0,5	Тнф	M _{ост}	FeO _{шт}
Пром. гранулы	43	55,37	1,67	2,0	1,85	10,70	65,6	5,30	34,59	5,78	1369,5	13,44	10,13
Лабор. гранулы	43	54,72	1,66	1,98	1,86	16,5	69,7	5,3	-	-	-	-	-
Лабор. гранулы	37	54,85	1,67	1,98	1,84	13,9	69,2	5,1	36,8	5,6	1380	12,5	7,9
Лабор. гранулы	31	54,85	1,68	2,0	1,81	12,1	65,08	7,2	-	-	-	-	-
Лабор. Гранулы	25	54,83	1,68	1,98	1,79	8,7	66,0	7,8	-	-	-	-	-

Таблица 4. Результаты спеканий.

Показатели	Гранулы				
	промышленные	лабораторные углеродсодержащие			
Расход коксовой мелочи, кг/т	43	43	37	31	25
Насыпная масса шихты, т/м ³	1,85	1,83	1,80	1,81	1,8
Выход годного, %	74,5	65,55	76,78	73,85	60,34
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	23,29	20,08	23,13	20,89	21,81
Удельная производительность, т/м ² час	1,74	1,35	1,80	1,55	1,33
Испытания на барабане + 5 мм, %	65,6	69,7	69,2	65,08	66,0

По экспертной оценке повышение высокотемпературных свойств агломерата в этих пределах (при доле агломерата в составе доменной шихты на уровне 50%) может привести к сокращению расхода кокса на 0,25-0,35%. В то же время, снижение содержание железа в шихте на 0,29% приведет к увеличению расхода кокса на 0,35% и потере производительности на 0,64%. Для принятия окончательного решения о целесообразности замены гранул промышленного производства углеродсодержащими гранулами необходимо кроме материального баланса также учитывать соотношение цен на железосодержащие материалы и кокс.

Сравнение данных лабораторных исследований состава и свойств промышленных и лабораторных агломератов с использованием в составе агломерационной шихты гранулированных отходов в количестве 60-85 кг/тонну агломерата, со характеристиками агломерата, спеченного с неподготовленными отходами, показывает, что в среднем можно достичь:

- повышения прочности агломерата в исходном состоянии на 3,5-4,0%;
- сохранения истираемости агломерата на удовлетворительном уровне – 6,3% и 6,2% соответственно.
- повышения низкотемпературной прочности (по выходу фракции +6,3%) на 2,5-3,5%;
- улучшения восстановимости агломерата на 0,5-1,0%.

При оптимальном варианте использования углеродсодержащих гранулированных отходов температуры размягчения, плавления и капельного течения расплава практически не изменяются и находятся в пределах статистического отклонения, а содержание FeO в первичных

шлаковых расплавах, полученных при проплавке лабораторных агломератов, уменьшается на 1,5-3,0%.

Данные, полученные в результате лабораторных спеканий, сопоставление свойств агломератов с использованием различных видов гранулированных металлургических отходов и металлургических свойств лабораторных и промышленных агломератов позволили уточнить требования к Техническим условиям ТТ 235-02-2013 на гранулы агломерационные. Изменение к техническим требованиям ТТ 235-02-2013 на гранулы агломерационные (пункт 1) переданные в Технический отдел Енакиевского металлургического комбината, предложено изложить в новой редакции (табл.5).

Таблица 5. Изменения к Техническим требованиям ТТ 235-02-2013 на гранулы агломерационные.

№	Показатель	Норма для марки*		
		ГА-1	ГА-2	ГА-3
1	Массовая доля влаги W, % не более	5,0	5,0	5,0
	Допустимые отклонения по массовой доле влаги W, %	2,0	2,0	2,0
2	Массовая доля Fe общ, %	47,0	48,0	49,0
	Допустимые отклонения по Fe общ, %	-2,0	-2,0	-2,0
3	Массовая доля влаги SiO ₂ , %	8,5	8,0	8,5
	Допустимые отклонения по SiO ₂ , %	1,0	1,0	1,0
4	Основность CaO/SiO ₂ , ед. не менее	1,20	0,80	0,80
	Допустимые отклонения по основности	-0,2	-0,2	-0,2
5	Содержание фракции более 10 мм, % не более	15,0	15,0	15,0
6	Содержание фракции более 2 мм, % не более	10,0	10,0	10,0
7	Прочность, кг/гранула не менее	30,0	30,0	30,0

*Гранулы агломерационные поставляются на ПАО «ЕМЗ» трех составов: ГА-1 – изготавливаются из отсева окатышей и промсырья в соотношении 50 : 50 %; ГА-2 – изготавливаются из отсева окатышей и промсырья в соотношении 80 : 20 %; ГА-3 – изготавливаются из отсева окатышей и промсырья в соотношении 90 : 10 %.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что гранулирование металлургических отходов, в том числе, углеродсодержащих, является одним из эффективных технологических мероприятий по повышению качества агломерата. В таблице 6 представлены технико-экономические показатели работы агломерационного цеха ПАО «ЕМЗ» в обычном режиме и с использованием гранулированных отходов.

Таблица 6. Технико-экономические показатели работы агломерационного цеха ПАО «ЕМЗ»

Наименование показателей	ед.изм.	без брик.	с брикет.
Производство агломерата	т	195049,7	202962,1
Выход агломерата 2-го сорта:	%	5,1	2,8
Удельная производительность в номинальные сутки	т/м ² сутки	1,2	1,14
Скорость агломашин	м/мин.	1,1	1,20
Высота слоя шихты	мм	397,4	350,0
Вертикальная скорость спекания	мм / мин	17,4	16,8
Расход на 1т агломерата			
- рудная часть, всего, в т.ч:	кг/т	590,9	551,0
- концентрат	кг/т	340,0	304,5
- аглоруда	кг/т	250,9	246,4
- вторичные ЖРМ, всего, в т.ч:	кг/т	355,3	382,1
- смесь шламов доменной и конвертерной газоочисток	кг/т	70,8	68,9
- металл. фракция 0- 10мм	кг/т	2,0	2,4
- отсеv агломерата	кг/т	157,8	132,2
- колошниковая пыль	кг/т	37,2	36,0
- аспирационная пыль склада окатышей и кокса	кг/т	9,3	13,0
- окалина общая	кг/т	31,4	26,1
- промышленное сырье (ЗАО "ММЗ")	кг/т	42,7	28,9

- гранулированные отходы	кг/т	3,8	74,2	
- флюсы всего, в т.ч:	кг/т	221,7	274,8	
- известняк обыкновенный	кг/т	109,3	165,5	
- конвертерный шлак	кг/т	73,3	69,6	
- известь	кг/т	39,0	39,7	
- коксовая мелочь (сухой вес)	кг/т	45,2	40,4	
Расход природного газа	м ³ /т	3,9	3,8	
Химический состав агломерата:	Fe	%	50,6	49,8
	SiO ₂	%	10,3	9,1
	CaO	%	14,9	17,1
	FeO	%	12,9	11,5
	MgO	%	1,4	1,2
	Al ₂ O ₃	%	1,9	2,1
	Mn	%	0,1	0,1
	S	%	0,0	0,0
	P	%	0,0	0,1
основность (CaO / SiO ₂)	ед.	1,5	1,9	
Б+5 (прочность)	%	71,0	73,4	
Б -0,5 мм (истираемость)	%	5,2	4,9	
Содержание фракции 0-5мм в агломерате	%	13,6	14,9	
Содержание С в аглошихте	%	3,9	3,8	
Влажность аглошихты	%	8,3	8,0	
Постоянство состава агломерата: по Fe общ.	%	1,5	1,6	
по основности	%	0,2	0,2	
Укладка по содержанию: Fe (±1,0%)	%	53,8	56,3	
основности (±0,10ед.)	%	47,0	54,5	

Заключение. Анализ результатов проведенных расчетно – аналитических и лабораторных экспериментов показывает:

1) Углеродсодержащими гранулами возможно заменить не более 20-25% углерода, находящегося в традиционном агломерационном топливе. Замена традиционного агломерационного топлива на гранулированное топливо в большем объеме приводит к резкому сокращению выхода годного и снижению стабильности качества агломерата, в первую очередь, по характеристикам его холодной прочности.

2) Коэффициент замены углерода традиционного топлива на углерод в промышленных гранулированных отходах не превышает 55 %.

3) Использование в составе агломерационной шихты углеродсодержащих брикетов обуславливает необходимость поддержания более высокого содержания FeO в агломерате (12,8-13,2 против 10,7).

4) Замена промышленных гранул углеродсодержащими приводит к понижению содержания железа в агломерате в среднем на 0,58%.

5) В отдельных пробах содержание углерода в лабораторном агломерате при использовании углеродсодержащих гранул повысилось на 0,06-0,08%. Этим можно объяснить повышение температур начала фильтрации жидких фаз на 10°C и понижение содержания FeO в первичном шлаковом расплаве на 2,5%.

6) По экспертной оценке улучшение высокотемпературных свойств агломерата в этих пределах (при доле агломерата в составе доменной шихты на уровне 50%) может привести к сокращению расхода кокса на 0,25-0,35%. В то же время, снижение содержания железа в шихте на 0,29% приведет к увеличению расхода кокса и потере производительности на 0,35% и 0,64% соответственно. Кроме того, для принятия решения о целесообразности замены гранул промышленного производства углеродсодержащими гранулами необходимо учитывать также соотношение цен на железосодержащие материалы и кокс.

В целом же использование гранулированных отходов в агломерационном производстве ПАО «ЕМЗ» позволяет:

- нормализовать процесс подготовки окускованных железорудных материалов к доменной плавке (обеспечить отсев окатышей и передать пыль окатышей и промсырья на брикетирование);
- улучшить качество агломерата за счет повышения стабильности по содержанию Fe и основности. Так, укладка по содержанию Fe ($\pm 1,0$) с брикетированием отходов составила 53,84 против 56,27% без брикетирования, а укладка по основности соответственно повысилась с 47 до 54,45%;
- сократить производство агломерата второго сорта (по основности) с 5,74 до 0,8% с брикетированием;
- повысить расход вторичных ресурсов на 12 кг/т с 370 до 382 кг/т агломерата при сохранении его качества;
- улучшить холодную прочность агломерата на 2,36% с 71,07 до 73,43.

1. *Получение агломерата заданного состава и свойств при вовлечении в шихту вторичного сырья / А.С.Нестеров, В.С.Якушев, А.Д.Джигота и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр.ИЧМ. – 2010. – Выпуск 21. – С.88-96.*
2. *Исследование влияния гранулированных металлургических отходов в составе аглошихты на показатели аглопроцесса и качество агломерата / В.И.Большаков, А.С.Нестеров, А.В.Пивненко и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр.ИЧМ. – 2013. – Выпуск 27. – С. 13-31.*

*Статья рекомендована к печати
д.т.н. Тогобицкой Д.Н.*

***О.С.Нестеров, Л.І.Гармаш, А.В.Пивненко, О.Г.Коваленко,
О.В.Зубенко, О.Л.Леонов***

Відносно питання вдосконалення підготовки залізо-рудної сировини до доменної плавки

Наведено результати досліджень впливу вуглецьвмісних гранул на якість агломерату на ПАТ «СМЗ». Показано, що вуглецьвмісними гранулами можна замінити не більш 20-25% вуглецю, що знаходиться у традиційному агломераційному паливі, оскільки заміна в більшому обсязі призводить до різкого скорочення виходу придатного і зниження стабільності якості агломерату, в першу чергу, за характеристиками його холодної міцності. Коефіцієнт заміни вуглецю традиційного палива на вуглець в промислових гранульованих відходах не перевищує 55%.

Ключові слова: агломерат, гранульовані відходи, аглошихта, якість.

***A.S.Nesterov, L.I.Garmash, A.V.Pivnenko, A.G.Kovalenko,
A.V.Zubenko, A.L.Leonov***

The improvement of preparation of iron-ore ore to blast furnace

The results of carbon-containing pellets on the quality of sinter by PJSC "EMZ" are presented. The carbonaceous grains can be replaced by no more than 20-25% of the carbon present in traditional sintering fuels as a replacement in high volume leads to a drastic reduction in the yield and reduce the quality stability of the agglomerate primarily on the characteristics of its cold resistance. Ratio replacement of traditional carbon fuels carbon in granular industrial waste does not exceed 55%.

Keywords: agglomerate, pellets, granular wastes, sinter mix, quality.