

А.С.Нестеров, А.Д.Джигота, В.С.Якушев, Л.И.Гармаш

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА С
ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ
ЖЕЛЕЗОФЛОСУСОВЫХ ОТХОДОВ И РАЗЛИЧНОГО ТВЕРДОГО
ТОПЛИВА В АГЛОШИХТЕ**

Приведены результаты исследования процесса спекания агломерата в лабораторных условиях из шихты с повышенным содержанием техногенных железозлюсовых отходов черной металлургии. Показано, что при использовании различного твердого топлива, в том числе сланцев, возможно получение кондиционного агломерата при условии поддержания постоянного содержания углерода в составе шихты.

агломерат, шихта, железозлюсовые отходы, твердое топливо, сланцы, углерод

Современное состояние вопроса и постановка задачи.

В процессе спекания агломерата увеличение расхода топлива до определенного предела повышает его прочность. Однако при этом снижается его восстанавливаемость, что влечет дополнительный расход кокса в доменном переделе [1,2]. Поэтому в каждом конкретном случае, например, при повышенном содержании в аглошихте техногенных железозлюсовых отходов, задача сводится к нахождению компромиссного варианта по количеству и составу отходов, обеспечивающих заданные состав и свойства агломерата [3]. Это особенно важно для многокомпонентной шихты, включающей в себя составляющие с широким диапазоном склонности к жидкофазному спеканию в температурном интервале аглопроцесса, снижением так называемого «силикатного распада» при повышенном температурно–тепловом уровне спекания [4, 5].

Основным топливом для агломерационного процесса традиционно служит коксовая мелочь, представленная отсевами доменного и коксохимического производств, отвечающая основным требованиям, которые предъявляют к качеству топлива для спекания (минимальное содержание золы, снижающей содержание железа в агломерате, и летучих, понижающих интенсивность горения топлива при спекании). При недостатке коксовой мелочи часть агломерационного топлива, как правило, заменяют антрацитовым штыбом, который позволяет поддерживать качество агломерата и ход процесса агломерации в необходимых технологических границах. Для использования в аглопроцессе пригодны и другие виды твердого топлива, такие как торф, горючие сланцы, опилки и т.п., но в ограниченных пределах [5–7].

Изложение основных материалов исследования.

В ИЧМ были проведены лабораторные спекания аглошихт с повышенным содержанием техногенных железозлюсовых компонентов при

переменном содержании и составе твердого топлива, а также проведен расчетно–аналитический эксперимент по определению влияния топлива на состав и свойства агломерата и другие параметры аглодоменного производства.

В спеканиях использовали рудную смесь, характерную для украинских предприятий, работающих с высоким содержанием техногенных отходов в составе аглошихты. Соотношение компонентов в штабеле, шихта которого использована для лабораторных спеканий, представлено в табл.1.

Таблица 1. Соотношение компонентов аглошихты.

Вид сырья	Содержание, %
смесь аглоруд	16,2
железорудный концентрат	63,0
колошниковая пыль	2,1
смесь шламов	7,9
отсев доменных печей	10,0
известь	4,4
шлак сталеплавильный	5,3
окалина	1,1

Шихта увлажнялась до влажности 8% в ходе смешивания и окомкования в чашевом грануляторе по принятой методике. Спекания проводили в чаше Ø 220 мм при высоте слоя 300 мм. Окончание спекания определяли по достижению максимальной температуры отходящего газа.

Исходя из расчёта состава аглошихты, компоненты дозировались на получение агломерата основностью по CaO/SiO_2 1,25 ед. Продолжительность смешивания 60 сек, увлажнения и окомкования 300 сек. Подготовленную шихту загружали в чашу диаметром 220 мм высотой слоя 300 мм. Зажигание производили газовой инжекционной горелкой в течение 90 сек.

Начиная с периода зажигания и до окончания спекания разрежение под колосниковой решёткой с помощью водокольцевого насоса РМК–2 поддерживали постоянным 900 мм водяного столба. Продолжительность спекания – от момента начала зажигания до достижения максимальной температуры отходящего газа. Спеченный пирог в горячем виде сбрасывали с высоты 2 м на чугунную плиту и по выходу фракции +10 мм оценивали выход годного продукта.

Удельную производительность аглоустановки определяли по формуле:

$$P=K \cdot \text{МГ}/T; \text{ т}/\text{м}^2 \text{ час}$$

где: МГ – масса годного, кг;

T – продолжительность спекания, мин

K – коэффициент, равный 1,579 ед. (перевод показателя с кг, площади спекания и мин. в показатель удельной производительности в тоннах, кв. метрах и час.)

Прочностные характеристики агломерата оценивали по ГОСТ 15137–79. В качестве твердого топлива использовалась коксовая мелочь и антрацитовый штыб различных видов и их смесь с нетрадиционными добавками при выдерживании постоянного содержания углерода в шихте на уровне 3,6%. Усредненные физико–химические и химико–технологические характеристики агломерационного топлива, а также характеристики его минеральной части представлены в табл.2–4.

Таблица 2. Характеристики агломерационного топлива

Показатель качества	Отсев кокса		Антрацит		Сланец (С)	Торф (Т)
	доменного производства (ОД)	коксо-химического производства (ОКХ)	штыб (АШ)	семечка (АС)		
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива (W ₁), %	8,1–13,2	9,5–13,5	6,0–12,0	5,5–9,0	не более 14	не менее 30
Теплота сгорания соответствует группам качества (ТУ 97300.050216 10.01295), Ккал/кг	6000–7800	6000–7800	5000–7400	5500–7500	1741–2100	2500–3300

Таблица 3. Химико–технологические характеристики различных видов агломерационного топлива

Вид материала	A ^c , %	S ^c , %	Q _{p(n)} , Ккал/кг	H ^c , %	C ^c , %
ОД	13,2	1,4	7400	0,6	81,5
ОКХ	17,0	1,4	7300	0,6	81,0
АШ	16,2	1,8	6800	1,2	76,0
С	51,7	1,56	1900	3,14	23,37
Т	11,9	0,30	3500	6,7	48,5
АС	9,4	1,35	7400	1,2	80,0

Таблица 4. Характеристики химического состава агломерационного топлива

Вид материала	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	S	SiO ₂	CaO	MgO	R ₂ O	Al ₂ O ₃	C	ППП	Потеря массы
ОД	3,51	0,00	5,02	1,53	5,01	1,04	0,31	0,25	2,73	81,86	2,50	85,81
ОКХ	3,5	0,00	5,0	1,54	5,00	1,05	0,35	0,28	2,7	81,35	2,5	85,3
С	3,20	0,00	4,57	1,30	13,50	28,82	2,10	1,02	4,20	23,37	22,14	46,75
АШ	1,97	0,00	5,64	0,950	7,210	0,890	0,340	0,51	2,32	77,5	2,37	80,77
АС	2,0	0,00	2,85	1,0	7,10	0,92	0,35	0,50	2,40	80,0	2,31	84,1

Результаты спеканий на топливе различного состава представлены в табл.5. Спекания показали, что наилучшие результаты достигаются на отсеве доменного кокса и дробленном низкозольном антраците семечке, особенно при их сочетании. В последнем случае достигается экономия топлива на процесс.

Отсев коксохимического производства хуже доменного, поскольку содержит неспеченный уголь и, в некотором количестве, шламы. Ввод в состав топлива торфа благоприятно сказывается на скорости спекания, поскольку разрыхляет шихту и снижает разрушение окомкованных гранул в зоне переувлажнения в спекаемом слое благодаря своей высокой влагоемкости. В зависимости от доли металлургических отходов в шихте расход топлива подбирается индивидуально. Однако, как тенденцию следует отметить, что все металлургические отходы (кроме колошниковой пыли) требуют повышенного температурно–теплового режима аглопроцесса.

Если применение в агломерации коксовой мелочи и антрацита достаточно полно освещено в литературе, то данные по использованию горючих сланцев практически отсутствуют. Этому аспекту в работе уделено особое внимание.

Уникальная особенность горючих сланцев заключается в наличии кальциево–магневых соединений во вмещающей породе. Это позволило предположить, что в процессе агломерации при сохранении исходной прочности окискованного продукта возможно образование более пористой структуры спека, что способствует повышению восстановимости агломерата и, соответственно, улучшению его высокотемпературных свойств по сравнению с традиционным агломерационным топливом. К недостаткам горючих сланцев и торфа как агломерационного топлива необходимо отнести низкую теплоту сгорания и высокую зольность по сравнению с коксовой мелочью и антрацитовым штыбом.

Таблица 5. Показатели спекания и качество агломерата

Показатели	Вид топлив или их смесей, %									
	ОД 100	ОКХ 100	ОД: ОКХ 50:50	АШ 100	АС 100	ОД: АС 50 : 50	ОД: С 80 : 20	ОД: С 50 : 50	ОД: Т 90 : 10	ОД: АС 50 : 50 после ПАВ
Содержание горючего уг- лерода в шихте, %	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,5	3,6	3,6	3,6	3,4
Время спекания, мин.	13,75	14,20	14,00	14,20	13,80	13,80	14,43	14,58	13,55	13,30
Вертикальная скорость спекания, мм/мин	21,82	21,13	21,43	21,13	21,74	21,70	20,23	19,60	22,14	22,55
Выход годного, %	75,50	74,00	73,10	74,00	75,00	75,30	73,30	73,80	73,80	74,00
Макс. температура, °С – в середине спек. слоя	1440	1410	1430	1420	1440	1445	1400	1390	1395	1420
– отходящего газа	625	605	610	600	620	620	600	590	600	610
Уд.производительность, т/м ² час	1,44	1,40	1,41	1,39	1,44	1,45	1,37	1,35	1,41	1,45
Прочность, %	67,10	66,00	66,4	66,40	66,80	66,80	65,9	65,7	65,80	66,00
Истираемость, %	5,50	5,80	5,6	5,70	5,60	5,60	5,8	5,9	5,80	5,75
Содержание FeO в агло- мерате, %	12,70	12,20	12,3	12,10	12,70	12,00	12,1	12,2	12,10	11,70

Лабораторные спекания показали, что замена части коксика сланцем в эквивалентном по углероду количестве увеличивает содержание пустой породы в шихте, в результате чего в процессе спекания образуется повышенное количество жидкой фазы и незначительно падает вертикальная скорость спекания. Содержание FeO в агломерате несущественно изменилось по сравнению с значениями для спеканий на коксовой мелочи (табл. 5). Температурно–тепловой уровень процесса, судя по максимальным температурам в слое и отходящего газа, несколько снизился. Выход годного остался на том же уровне. Удельная производительность аглоустановки несколько снизилась из–за снижения массы спека и увеличения продолжительности спекания. Холодный агломерат более хрупкий. В целом, можно констатировать, что при замене части коксика сланцем в пределах 20% в количестве, эквивалентном по содержанию углерода, качество агломерата и показатели спекания остаются на удовлетворительном уровне.

Расчетно–аналитический эксперимент по определению влияния энергетических сланцев на состав и свойства агломерата, изменения себестоимости агломерата и чугуна проводился на базе информации о среднем уровне качества аглошихты и соотношения цен на агломерационную и доменную шихту для украинских предприятий. Состав агломерационной шихты и соотношение цен на железорудное сырье, кокс и агломерационное топливо (август 2008 года) представлены в табл.6. За единицу стоимости принята цена коксика при условии, что коксохим входит в состав холдинга.

Таблица 6. Химический состав компонентов аглошихты.

	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	S	SiO ₂	CaO	MgO	R ₂ O	Al ₂ O ₃	C	ППП	Потеря массы	Соотношение цен
ЖРС	58,28	17,97	64,48	0,20	8,54	3,59	0,67	0,15	1,57	1,04	1,94	3,17	0,625
Известняк	0,30	0,00	0,43	0,05	1,68	52,71	0,87	0,25	0,70	0,00	42,36	42,41	0,090
Коксик	3,51	0,00	5,02	1,53	5,01	1,04	0,31	0,25	2,73	81,86	2,50	85,81	1,000
Сланец	3,20	0,00	4,57	1,30	13,50	28,82	2,10	1,02	4,20	23,37	22,14	46,75	0,294
Антрацитовый штыб	1,97	0,00	2,81	0,950	7,210	0,890	0,340	0,51	2,32	77,5	2,37	80,77	1,353

В табл.7 представлены варианты изменения соотношений компонентов агломерационного топлива при замене части коксика антрацитовым штыбом, сланцами или их смесью. Результаты расчетов химического состава и обобщенного показателя качества (Пк) агломератов, спеченных с различной долей сланца, представлены в табл.8.

Таблица 7. Соотношения компонентов агломерационного топлива при замене коксика сланцем, антрацитовым штыбом или их смесью

№	Доля в агломерационном топливе, % (по углероду)			Расход, кг/100 кг агломерата			
	коксик	антр.штыб	сланец	коксик	антр.штыб	сланец	сумма
1	100,00	0,00	0,00	5,84	0,00	0,00	5,84
2	95,00	0,00	5,00	5,55	0,00	1,02	6,57
3	90,00	0,00	10,00	5,26	0,00	2,04	7,30
4	85,00	0,00	15,00	4,96	0,00	3,08	8,04
5	80,00	0,00	20,00	4,67	0,00	4,09	8,76
6	70,00	0,00	30,00	4,09	0,00	6,14	10,23
7	50,00	0,00	50,00	2,39	0,00	10,23	12,62
8	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	20,45	20,45
9	90,00	10,00	0,00	5,16	0,61	0,00	5,77
10	81,50	18,50	0,00	4,76	1,14	0,00	5,90
11	80,00	20,00	0,00	4,67	1,23	0,00	5,91
12	80,00	10,00	10,00	4,67	0,61	2,05	7,33
13	60,00	40,00	0,00	3,50	2,45	0,00	5,95
14	60,00	30,00	10,00	3,50	1,85	2,04	7,39
15	60,00	20,00	20,00	3,50	1,23	4,09	8,83
16	45,00	45,00	10,00	3,21	2,78	2,05	8,03
17	0,00	100,00	0,00	0,00	6,17	0,00	6,17
18	0,00	90,00	10,00	0,00	5,55	2,05	7,60

Результаты исследований показывают, что при спекании агломерата постоянной основности замена каждых 10% коксовой мелочи энергетическим эквивалентом технологического сланца при данном соотношении цен на сырье и топливо приводит к:

- увеличению суммарного расхода агломерационного топлива
- на 1,46 кг/100 кг агломерата;
- уменьшению расхода известняка на 0,53 кг/100 кг агломерата;
- снижению содержания железа в агломерате на 0,36 %;
- увеличению содержания щелочных элементов в составе агломерата на 0,02%;
- уменьшению обобщенного показателя качества на 0,3 бала;
- увеличению расхода кокса при выплавке чугуна на 1,43кг/т чугуна;
- снижению себестоимости тонны агломерата на 0,004 отн. %;
- увеличению расхода агломерата на 10,5 кг на тонну чугуна;
- увеличению себестоимости чугуна на 0,005 отн. %.

Таблица 8. Химический состав агломерата

	Fe _{общ}	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	R ₂ O	Fe ₂ O ₃	Показатель качества Пк
1	54,86	8,53	10,66	0,77	1,73	0,28	0,19	65,03	3,22
2	54,69	8,62	10,77	0,78	1,75	0,29	0,20	64,79	3,05
3	54,52	8,71	10,88	0,80	1,78	0,30	0,21	64,55	2,88
4	54,35	8,80	11,00	0,81	1,81	0,31	0,21	64,31	2,70
5	54,19	8,89	11,11	0,83	1,84	0,32	0,22	64,07	2,53
6	53,85	9,07	11,34	0,86	1,89	0,33	0,24	63,59	2,19
7	53,22	9,41	11,76	0,92	1,99	0,36	0,27	62,69	1,55
8	51,50	10,33	12,92	1,08	2,28	0,44	0,36	60,24	-0,22
9	54,82	8,53	10,67	0,77	1,72	0,28	0,19	64,98	3,19
10	54,78	8,55	10,68	0,77	1,72	0,28	0,19	64,92	3,14
11	54,78	8,55	10,68	0,77	1,72	0,28	0,19	64,91	3,13
12	54,48	8,72	10,90	0,80	1,78	0,30	0,21	64,49	2,83
13	54,70	8,57	10,71	0,77	1,72	0,27	0,20	64,80	3,05
14	54,40	8,74	10,92	0,80	1,77	0,29	0,21	64,38	2,75
15	54,11	8,91	11,14	0,83	1,83	0,31	0,23	63,96	2,45
16	54,30	8,78	10,97	0,80	1,79	0,29	0,22	64,23	2,64
17	54,46	8,64	10,80	0,77	1,70	0,25	0,21	64,46	2,80
18	54,16	8,81	11,01	0,80	1,76	0,27	0,22	64,04	2,50

При принятом соотношении цен на железосодержащие и топливные материалы (август 2008г.) точка безубыточности (по себестоимости чугуна для металлургических предприятий) соответствует замене коксовой мелочи сланцем в пределах 18–22% от массы коксовой мелочи. При использовании антрацитового штыба в составе аглошихты для предприятий, не имеющих собственного коксохимического производства в составе холдинга, точка безубыточности при замене коксовой мелочи сланцем находится в пределах 30–32% от стоимости коксовой мелочи.

Заключение.

Таким образом, проведенные опытные спекания в аглочаше показали:

1. Оптимальным температурно–тепловым уровнем для приведенных шихтовых условий следует считать получение FeO в агломерате на уровне $12,0 \pm 1,5\%$ для условий спеканий как на коксовой мелочи, так и на смесях различных видов топлива.

2. В процессе агломерации возможна частичная замена коксовой мелочи энергетическим сланцем при условии выдерживания постоянного содержания углерода в составе аглошихты.

3. Энергетические сланцы целесообразно использовать в первую очередь предприятиям, не имеющим собственного коксохимического производства.

4. Рациональный уровень замены коксовой мелочи энергетическим сланцем, вероятнее всего, находится в пределах 5–15% от массы агломерационного топлива.

5. Уточнение расходных коэффициентов для агломерационного передела возможно после проведения серии опытных спеканий аглошихт с переменным содержанием сланца, определения металлургических свойств спеченных агломератов и проведения опытной плавки.

1. *Савицкая Л.И.* Влияние состава аглошихты на технологию спекания и качество агломерата. // Ин-т «Черметинформация». Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна. – Вып. 1. – 1982. – 30 с.
2. *Снижение* расхода топлива доменной плавки. // РЖМет. – 1982. – 1В 176.
3. *Рациональное* использование металлургических отходов в агломерационном производстве /В.И.Большаков, А.С.Нестеров, М.А. Гуркин и др. // Сталь. – 2010, – № 4. – С.19
4. *Исследование* влияния различных факторов на кусковатость и прочность агломерата. // РЖМет. – 1981. – 2В 141.
5. *Гребе К., Каддайнис Х., Штриккер К.* Технологические и технологические возможности уменьшения разрушения агломерата. // Черные металлы. – 1984. – №20. – С.26 – 35.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук Н.М.Можаренко*

О.С.Нестеров, О.Д.Джигота, В.С.Якушев, Л.І.Гармаш

Дослідження процесу спікання агломерату з підвищенням вмістом техногенних залізофлюсових відходів з використанням різного твердого палива.

Приведено результати дослідження процесу спікання агломерату в лабораторних умовах з шихти з підвищенням вмістом техногенних залізофлюсових відходів чорної металургії. Показано, що при використанні різного твердого палива, зокрема сланців, можливо отримати кондиційний агломерат за умови підтримки постійного вмісту вуглецю у складі шихти.