

УДК 622.785.017:669.1

**А.С.Нестеров, В.С.Якушев, А.Д.Джигота, М.Г.Джигота,
П.И.Оторвин, А.В.Сапунов**

ОСОБЕННОСТИ АГЛОМЕРАЦИИ ШИХТ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

*Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,
ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»*

Вовлечение в металлургический передел вторичного сырья взамен части минерального изменяет теплопотребность процесса окускования. Проведена ранжировка компонентов аглошихты с позиции их участия в жидкофазном спекании. Необходимый температурно–тепловой уровень аглопроцесса обеспечивается как определенным расходом твердого топлива, так и его крупностью.

Современное состояние вопроса. Подготовка вторичного сырья к окускованию традиционно сводится к обезвоживанию, дроблению, смешиванию, усреднению [1–3], не изменяя присущих каждому продукту физико–химических и тепло физических свойств. Агломерационный цех предприятия спекает шихту из 13 компонентов, значительная доля которых представлена отходами металлургического комплекса в виде вторичного сырья. Уже прошедшие тепловую обработку вторичные материалы–возврат, отсев, сталеплавильные шлаки различного происхождения, окалина–в определенной степени пассивировалась к участию в процессе жидкофазного спекания из–за частично реализованной активности к минералообразованию и сниженной удельной поверхности. Вместе с тем, процесс жидкофазного спекания, к которому относится агломерация, предполагает значительное расплавление составляющих шихты с образованием в конечном итоге спекшихся конгломератов заданного состава при охлаждении.

Изложение основных материалов исследования. Склонность к размягчению–плавлению отдельных компонентов аглошихты реальной крупности, рудной смеси из штабеля с их участием (содержащей также шламы, колошниковую пыль, отсев, известь, мелкий известняк, торф) и подготовленной к спеканию аглошихты после введения в нее молотого известняка, топлива и возврата определяли при нагреве проб под нагрузкой в нейтральной атмосфере в перфорированном графитовом тигле. Результаты приведены в табл.1, где температура 5–процентной усадки характеризует размягченное состояние образца, температура 45–процентной усадки–развитое образование жидкой фазы и температура вытекания расплава через отверстия в тигле–вязкость перегретой жидкой фазы.

Наиболее тугоплавкими составляющими шихты являются сталеплавильный шлак, возврат агломерата и отсев с доменных печей, окалина,

крупные частицы аглоруды. «Плавнем» является марганцевый концентрат, а в готовой аглошихте образование жидкой фазы в температурном интервале аглопроцесса обеспечивается введением флюса.

Таблица 1. Показатели размягчения–плавления различных материалов.

Материал	Температура, °С		
	5% усадки	45% усадки	вытекания расплава
Аглоруда	1280	1450	1530
Железорудный концентрат	1305	1430	1505
Марганцевый концентрат	1200	1295	1360
Сталеплавильный шлак	1390	1490	1550
Окалина прокатная	1375	1470	1510
Отсев агломерата, возврат	1370	1450	1520
Рудная смесь	1370	1445	1480
Аглошихта	1300	1400	1450

При прочих равных условиях при реализации аглопроцесса расход и гранулометрический состав твердого топлива являются технологически управляемыми и отражаются на температурно–тепловом уровне процесса спекания через тепловыделение при горении отдельных частиц и общей жаропроизводительности топлива (максимальной температуры в спекаемом слое).

В лабораторных условиях использовали рудную смесь из промышленного штабеля в составе, кг/т агломерата:

аглоруда	172
железорудный концентрат	440
шламы, всего	144
отсев агломерата с ДП	205
пыль колошниковая	30
окалина	59
окалино–торфяная смесь	17
марганцевый концентрат	9
сталеплавильный шлак	36
известь, всего	26
известняк мелкий, всего	52
торф	16

В процессе подготовки аглошихты к рудной смеси добавляли молотый известняк на получение агломерата основностью 1,15 ед., коксовую мелочь и возврат (20%). Шихту смешивали, доувлажняли и окомковывали в чашевом грануляторе. Спекания проводили в чаше диаметром 220 мм при высоте слоя 300 мм и разрежении под колосниковой решеткой 9,82 кПа. Зажигание осуществляли газовой инжекционной горелкой. Оконча-

ние спекания определяли по достижению максимальной температуры отходящего газа. Горячий «аглопирог» сбрасывали с высоты 2 м на стальную плиту, по выходу фракции +10 мм оценивали выход годного и рассчитывали удельную производительность аглоустановки. Прочность годного агломерата определяли по выходу фракции +5 мм, истираемость—по выходу фракции 0–0,5 мм после барабанного испытания по ГОСТ 15137–79. Степень восстановления полученного агломерата определяли после испытания по ГОСТ 21707–76. Полученные результаты представлены в табл.2.

Таблица 2. Показатели спекания и качества агломерата при различном расходе коксовой мелочи.

Показатели	Содержание углерода в шихте, вносимого коксовой мелочью, %							
	3,0	3,3	3,45	3,6	3,75	3,9	4,2	4,5
Вертикальная скорость спекания, мм/мин.	23,41	23,92	2,95	24,0	23,89	22,72	22,0	20,98
Усадка слоя, мм	45	48	50	50	51	52	53	55
Масса пирога, кг	18,90	18,80	18,75	18,70	18,65	18,60	18,55	18,40
Выход годного, %	66,9	69,5	73,1	74,9	76,0	75,2	73,4	73,0
Уд. производительность, т/м ² час	1,22	1,27	1,33	1,35	1,36	1,34	1,30	1,27
Прочность агломерата, %	58,9	61,0	64,0	65,5	66,4	66,0	63,4	61,7
Истираемость агломерата, %	6,3	6,0	5,8	5,8	5,7	5,8	6,1	6,2
Содержание FeO в годном агломерате, %	9,85	11,0	11,55	12,48	13,47	13,87	16,19	17,70
Степень восстановления, %	—	73,5	72,1	70,0	68,3	66,4	63,2	—

Наилучшие результаты по прочностным свойствам спека достигнуты при содержании углерода в интервале 3,45–3,9% с оптимумом при 3,75%. Однако, при повышении температурно–теплого уровня спекания и характеризующего его содержания FeO прогрессивно снижается степень восстановления агломерата.

Петрографические исследования показали, что переплавлять частицы относительно тугоплавких компонентов крупнее 3 мм за счет повышения содержания углерода в шихте нецелесообразно: проявляется повышенная хрупкость агломерата из–за образования в шлаковой связке высокотемпературной α –фазы двухкальциевого силиката $2CaO \cdot SiO_2$ с последующим ее полиморфным превращением в β и γ –фазы с увеличением объема в процессе охлаждения. Достаточно обеспечить такой температурно–тепловой

уровень спекания, при котором оплавляются острые углы этих частиц, а сами они запекаются в матрицу относительно легкоплавкого расплава, что не позволяет им выкрашиваться и ослаблять прочность тела спека.

Кроме того, известно, что повышение температурно-теплого уровня спекания и рост содержания FeO в агломерате на каждый 1% снижает степень его восстановления в «сухой» зоне доменной печи на 1–2% и увеличивает расход кокса [4].

Оптимизировать показатели спекания при одновременном снижении расхода углерода с 3,75 до 3,6% возможно изменением крупности коксовой мелочи. Для этого был проведен эксперимент по плану сложных симплексных решеток, обоснованный в работе [5]. По результатам серии спеканий и полученным математическим моделям, где аргументом служило содержание в топливе фракций 0–0,5 мм (X_1), 0,5–3 мм (X_2) и 3–5 мм (X_3), а откликом—показатели аглопроцесса, построены трехкомпонентные диаграммы «состав–свойства», представленные на рис. 1.

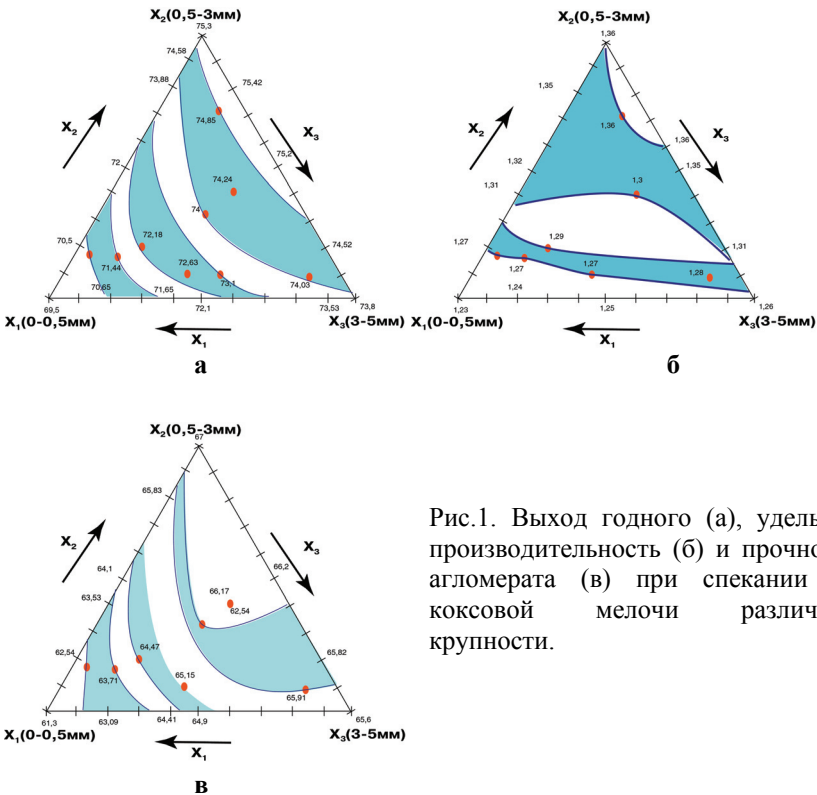


Рис.1. Выход годного (а), удельная производительность (б) и прочность агломерата (в) при спекании на коксовой мелочи различной крупности.

Неблагоприятно наличие в аглотопливе высокореакционной мелочи 0–0,5 мм. Оптимальные результаты получены при использовании классифицированной коксовой мелочи 0,5–3 мм. С учетом закономерностей изменения гранулометрического состава топлива при обычной технологии дробления в четырехвалковых дробилках снижение доли мелкой фракции целесообразно производить за счет фракции 3–5 мм путем увеличения зазора между валками. Это повышает необходимый для спекания относительно тугоплавких шихт температурно–тепловой уровень процесса [6]. Для данной шихты он характеризовался параметрами, приведенными в табл.3.

Таблица 3. Некоторые характеристики температурно–теплого уровня агломерации при использовании коксовой мелочи различной крупности.

Крупность коксовой мелочи, мм	Максимальная температура, °С		Продолжительность существования температуры >1200°С в средней по высоте части спекаемого слоя, с
	в средней по высоте части спекаемого слоя	отходящего газа	
0–0,5	1400	510	134
0,5–3	1530	550	170
3–5	1490	600	161

Для установления допустимого верхнего предела содержания фракции 3–5 мм в топливе проведены опыты по определению влияния сегрегации шихты при загрузке на выход годного продукта. Шихту, подготовленную с использованием топлива с содержанием фракции 3–5 мм 15, 20 и 25%, выгружали из окомкователя в противень по наклонному на 47° отражательному листу, после чего засыпали в аглошашу последовательно в соответствии с расположением по длине противня. Таким способом моделировали реальный процесс загрузки шихты на аглоленту. После проведения спекания и выгрузки «пирога» наблюдали внешний вид последнего. Оценивали расслоение «пирога» и определяли выход годного отдельно из расслоившихся (если расслоение имело место) частей. Результаты экспериментов приведены в табл. 4.

Таблица 4. Оценка выхода годного при спекании шихты, загруженной с учетом сегрегации по высоте слоя при загрузке.

Содержание фракции 3–5 мм в топливе, %	Показатели			
	доля отслоившейся верхней части «пирога», %	выход годного, %		
		из верхней части	из нижней части	средневзвешенный
25	25	55,3	78,1	72,8
20	9	55,7	78,3	73,4
15	–	–	–	74,1

Заключение. Проведенные исследования показали, что в существующих шихтовых условиях аглоцеха предприятия оптимальный с точки зрения экономии топлива, сочетания прочности и восстановимости агломерата температурно–тепловой уровень аглопроцесса характеризуется содержанием FeO в пределах 11,5–14% при спекании шихты на коксовой мелочи 0–5 мм с долей фракции 3–5 мм в ней 15%.

1. *Савицкая Л.И.* Использование железосодержащих отходов при агломерации руд. / «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу». Обзорная информация. Ин-т «Черметинформация».–М., 1984.–Вып.5.–27с.
2. *Разработка* и реализация перспективной технологии утилизации железосодержащих отходов при производстве агломерата /Ю.Л.Добромиров, В.С.Якушев, А.С.Нестеров, Н.А.Гладков // *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.* Сб. научн. тр. ИЧМ НАНУ.–Вып.5.– 2002.–С.74–77.
3. *Технология* производства агломерата с применением в шихте железосодержащих металлургических шламов, обработанных торфом / М.И.Котляр, О.А.Гогенко, В.И.Шатоха, С.Н.Крипак // *Металлургическая и горнорудная промышленность.*–2003.–№3.–С.4–5.
4. *Курихара Д.* Снижение расхода кокса доменной плавки // «Тэцу то хагане».–1981.–№9 (67).–С.1574–1581.
5. Влияние гранулометрического состава различных видов топлива на прочность агломерата /Г.Г.Ефименко, А.Г.Покотилов, С.П.Ефимов, А.А.Арделян // *Изв.вузов. Черная металлургия.* –1976. –№7.–С.23–27.
6. *А.с. №947207* (СССР). Б.И. 1982, №28 Способ получения железохромового агломерата. / М.Д.Жембус, Н.А.Гладков, В.С.Якушев, А.Г.Ульянов.

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