

УДК 622.788

Ожогин В.В.¹, Ковалевский И.А.², Жерлицина О.В.³

ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОКОМКОВАНИЕМ АГЛОШИХТЫ

Рассмотрены вопросы интенсификации процессов агломерации путём эффективного управления окомкованием аглошихты и газопроницаемостью её спекаемого слоя.

Известно, что качество подготовки сырья во многом определяет эффективность его дальнейшей обработки и свойства готовой продукции. В полной мере это относится и к окомкованию, – такой ответственной операции подготовки сырья к агломерации. Ухудшение комкуемости приводит к снижению газопроницаемости и интенсивности процессов спекания. Это приводит к уменьшению производительности агломашин и к снижению качества агломерата.

До недавнего времени в технологи располагали необходимым количеством средств для организации эффективного управления окомкованием аглошихты. Прежде всего, это крупный фракционный состав исходных материалов, который легко понижают до требуемого размера дроблением. Другими, достаточно действенными инструментами окомкования является варьирование влажностью, а также длительностью окомкования путём регулирования угла наклона барабанного окомкователя. Как правило, этих средств оказывалось достаточным для организации удовлетворительного процесса [1].

Такие приёмы управления процессами окомкования эффективны при использовании сырья с большим количеством крупных и средних частиц размером более 1,6 мм, служащих центрами образования гранул. С понижением их количества эффективность окомкования резко снижается.

В современных условиях в связи с увеличением в аглошихте доли тонкоизмельчённых материалов – концентрата и шламов, с мелким и тонким фракционным составом, ухудшающим комкуемость. Поэтому возникает проблема организации эффективного управления процессами окомкования шихты, т.е. получения гранул требуемых размеров. Установлено, что оптимальные размеры окомкованных гранул шихты должны составлять 1,6 – 6,0 мм [2].

Для улучшения управляемостью процессами окомкования неоптимальной по фракционному составу шихты разработано и запатентовано значительное количество способов, повышающих комкуемость. Это и механическая активация шихты, добавка в воду окомкователя, различных поверхностно-активных веществ и связующих; электростатическая, магнитная, электромагнитная и ультразвуковая обработка компонентов шихты и другие способы [3]. Однако эти способы по большей части не имеют универсального действия, т.к. во многом они определяются свойствами компонентов шихты. Изменение характера аглошихты приводит к изменению эффективности воздействия на них различных добавок, существенно усложняя управление процессом.

Теоретически эта проблема может быть решена вводом в шихту крупных фракций каких-либо материалов или отходов, пригодных к агломерации. На практике её решение заключается в использовании средних фракций (от 4 – 6 мм до 9,5 мм) дробленого конвертерного шлака [4, 5] или сырых окатышей [6]. К этому направлению относится и использование в шихте отсева и возврата агломерата фракции менее 5 мм.

Однако эти виды сырья и отходов обладают различными существенными недостатками, а потому не дают требуемого решения рассматриваемой проблемы.

Таким образом, основными причинами, препятствующими распространению способа эффективного управления процессами окомкования аглошихты, является необходимость массового получения дешёвых гранул нужного качества в количестве 50 – 100 кг/т агломерата и более, и недостаточная изученность их влияния на процессы окомкования и спекания.

Задачей исследования является изучение возможности улучшения управляемости процессами окомкования аглошихты путём ввода гранул крупных фракций, их влияния на комкуемость шихты, агломерационный процесс в целом и механические свойства агломерата.

¹ПГТУ, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

²ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

³ПГТУ, ассистент

Кардинально этот вопрос может быть решён вводом крупных частиц, получаемых из части неудовлетворительно или чрезмерно комкующихся фракций шихты, предназначенной к использованию в процессе. При этом общий состав шихты не изменяется и появляется возможность активного управления процессами её окомкования, регулирования её газопроницаемости и скорости спекания.

Известно, что скорость спекания во многом определяет производительность агломашин, она сильно зависит от газопроницаемости шихты. Последняя зависит от качества окомкования, которое во многом определяет фракционный состав исходной шихты [6].

Удовлетворительную комкуемость исходной шихты обеспечить её определённый фракционный состав, в котором частицы разных размеров выполняют различную роль. Крупные частицы размером более 1,6 мм являются центрами окомкования, т.к. они своей массой создают сдвигующее усилие, достаточное для их сближения на расстояния, при которых начинают активно действовать силы адгезии, в т.ч. с участием влаги.

Частицы размером от 1,6 до 0,06 мм плохо комкуются, т.к. не являются центрами окомкования из-за малой их массы и неудовлетворительно накатываются на другие частицы. Фракции менее 0,06 мм удовлетворительно накатываются и комкуются. При этом тонкие частицы размером менее 0,01 мм, слипаясь, образуют большие комья и ухудшают качество окомкования.

Исходя из этого, предельная крупность вводимых гранул должна составлять 1,6 – 6,0 мм. Она определяется из условий хорошей комкуемости, спекаемости, максимальной газопроницаемости шихты и эффективности гранулирующей установки.

Верхний предел размера гранул устанавливают исходя из условий окатываемости и спекаемости. При эффективном окатывании размер крупных гранул увеличивается до 8 – 12 мм и более. Такие частицы хуже и большее время спекаются, а их излишек создаёт избыточную газопроницаемость. Максимальный размер окомкованных частиц зависит от плавкости сырья, интенсивности аглопроцесса и не должен превышать 8 мм [7]. Нижний предел гранул устанавливают на уровне 1,6 мм, что обеспечивает удовлетворительное накатывание на них мелких частиц.

Спекаемость ограничивает размер гранул до 6 мм, остальные условия требуют повышенной крупности – 6 – 8 мм и более. Известные способы производства гранул обеспечивают получение гранул различного размера, включая некоторое количество некондиционных фракций менее 1,6 мм. При этом средний размер годных гранул должен составлять 3 – 5 мм.

Ранее были рассмотрены способы получения гранул нужного качества в требуемом количестве [8]. Такие гранулы могут быть получены: экструзией, фракционированием, брикетированием, комбинированием известных способов и др., см. рис. 1.

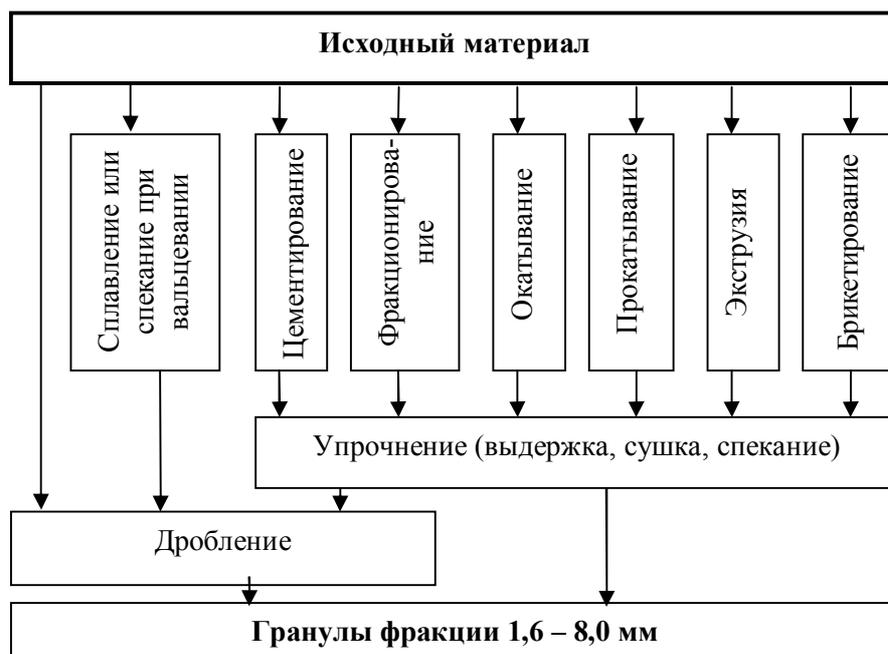


Рис. 1 – Способы получения гранул

Для изучения возможности организации эффективного управления процессами окомкования аглошихты с целью повышения производительности агломашии, улучшения качества агломерата и других технико-экономических показателей, были выполнены лабораторные исследования по получению гранул, определению их механических характеристик, качества окомкования аглошихты, а также спеканию агломерата с их добавками.

Для определения степени управляемости процессами окомкования и спекания агломерата исходили из следующего.

Управление вообще каким-либо производством или объектом представляет собой непрерывный, целенаправленный и организационный процесс, осуществляемый различными методами и средствами для достижения оптимальных технико-экономических результатов. Применительно к техническому объекту управление есть совокупность действий, выбранных на основании определённой информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования объекта в соответствии с имеющейся программой или целью функционирования [9].

Для хорошей управляемости процессом необходимо, чтобы управляющее воздействие обеспечивало бы устойчивое, пропорциональное и определённо-однозначное изменение управляемого объекта при широком интервале вариации регулируемого показателя.

В качестве информации об объекте управления в нашем случае выступают критерии оптимальности. Одним из таких универсальных критериев оптимальности применительно к процессам спекания является достижение максимально возможной производительности аглоленты при заданном уровне качества агломерата [10]. Производительность агломашии через установленный ряд функциональных зависимостей определяется качеством окомкования. Поэтому, очевидно, процессы окомкования в значительной степени определяют эффективность процессов спекания, а его управляемость в значительной мере определяется эффективностью управляемости процессами окомкования.

В качестве критерия управляемости процессами окомкования выберем показатель средневзвешенного размера частиц, который определяет качество шихты.

Для проверки эффективности такого способа управления было выполнено лабораторное исследование при характеристиках, близких к условиям реального производства.

Из гранулометрического состава исходной шихты (табл. 1) следует, что в ней содержится 23,7 – 54,6 % неудовлетворительно комкующихся фракций 1,6 – 0,063 мм и значительное количество тонких фракций менее 0,05 мм, которые следует подвергать принудительному окомкованию. Так, для шлама неудовлетворительно комкующиеся фракции 1,6 – 0,063 мм составляют 23,7 % (1,0 + 1,0 + 1,3 + 4,3 + 5,4 + 10,7), а для фракции менее 0,063 мм – 74,4 % (10,0 + 64,4).

Таблица 1 – Гранулометрический состав железосодержащих компонентов исходной шихты, %

Показатель	Фракция, мм								
	8,0 – 1,6	1,6 – 1,0	1,0 – 0,63	0,63 – 0,315	0,315 – 0,160	0,160 – 0,100	0,100 – 0,063	0,063 – 0,050	– 0,050
1. Концентрат	-	-	4,3	4,7	5,8	16,2	18,5	17,9	32,6
2. Аглоруда	30,5	7,0	7,4	10,3	12,8	8,4	8,7	4,9	10,0
3. Шлам	1,9	1,0	1,0	1,3	4,3	5,4	10,7	10,0	64,4
4. Гранулы	61,6	7,9	3,8	4,2	2,4	3,1	4,0	5,6	7,4

Неудовлетворительно комкующуюся фракцию и часть тонких фракций в виде шлама и части концентрата в количестве до 25 % от массы шихты принудительно гранулировали по схеме «брикетирование – сушка – дробление», являющейся наиболее эффективной по технологичности производства, выходу годного и прочности получаемых гранул.

Эти фракции смешивали со связующим – гашёной известью, увлажняли и прессовали под давлением 50 МПа в брикеты цилиндрической формы диаметром 30 мм, высотой 18 – 20 мм и массой 30 – 35 г. Их сушили в течение 0,5 ч при 250 – 300 °С и дробили в щёковой дробилке ДЩ–150×80. Эти показатели обеспечивают высокую производительность способа получения гранул.

Для получения технического эффекта достаточным является выход годных фракций 1,6 – 6,0 мм в количестве более 50 %. Фактически выход годных фракций составил 61,6 %. Прочность средней гранулы размером 5 мм составила: сухой – 22,1 Н при регламентируемом уровне 13 Н, обеспечивающем 5-кратный запас прочности с учётом её уменьшения при увлажнении,

влажной – 4,4 Н. По данным [3] максимальная разрушающая нагрузка на гранулу окомкованной шихты фракции 5 мм составляет 1,6 – 2,6 Н.

Гранулы со средневзвешенным размером 3,9 мм в различных количествах смешивали с шихтой, окомковывали, и спекали в лабораторной чаше диаметром 150 мм и высотой слоя 250 мм. Базовый средневзвешенный размер исходной шихты составил 1,25 мм, окомкованной – 3,5 мм. После гранулирования 24 % шихты эти размеры составили 2,0 и 4,6 мм соответственно.

Полученные данные представлены в виде графиков, позволяющих наглядно оценивать влияние добавок гранул на изменение технико-экономических показателей спекания, см. рис. 2.

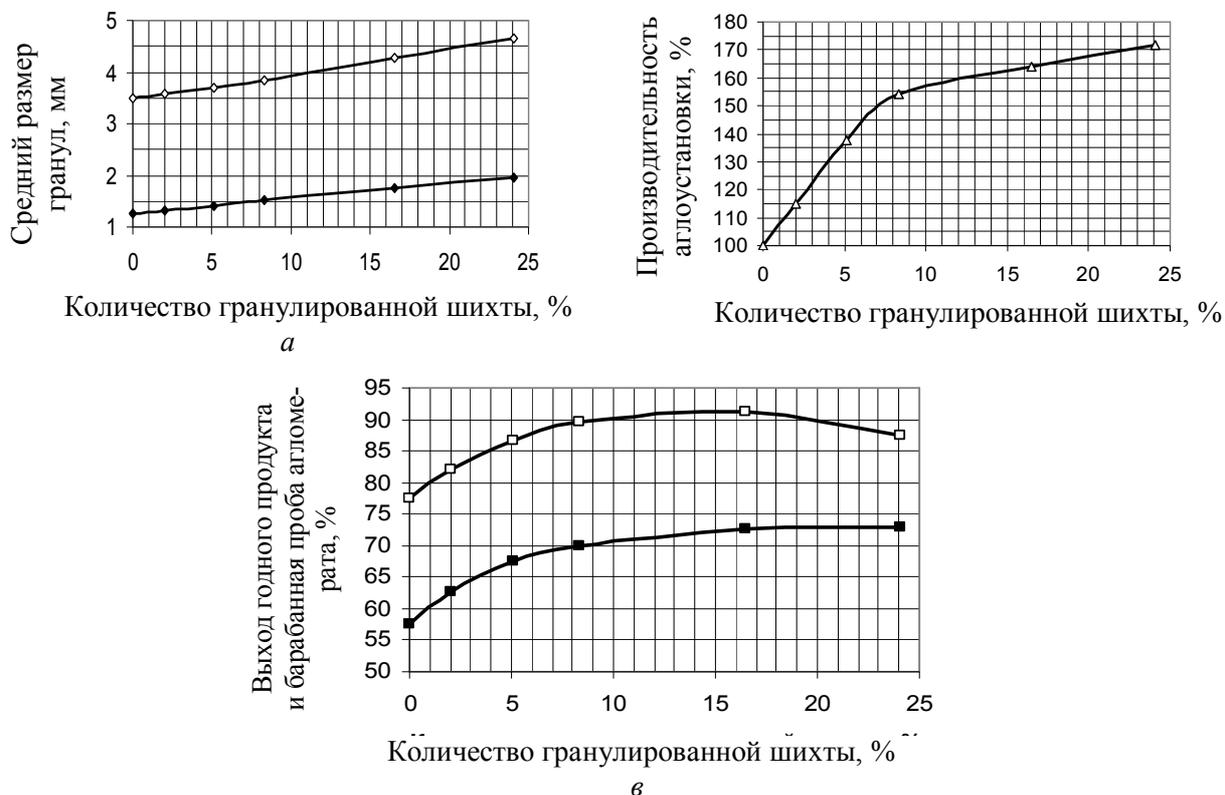


Рис. 2 – Зависимость технико-экономических характеристик спекания агломерата от количества гранулированной части тонкой шихты: *а* – для среднего размера гранул, *б* – производительности аглоустановки, *в* – выхода и прочности агломерата; ◆ – исходная шихта, ◇ – то же, окомкованная; Δ – производительность аглоустановки; □ – выход годного агломерата, ■ – барабанная проба агломерата

Добавки гранул приводят к улучшению практически всех характеристик аглопроцесса: процесса окомкования, увеличивается средний размер гранул исходной и окомкованной шихты (рис. 2*а*), увеличивается производительность аглоустановки. По годному агломерату (рис. 2*б*), увеличивается механическая прочность агломерата (рис. 2*в*).

По мере ввода гранул растёт интенсивность спекания. Так, скорость спекания увеличилась с 18,3 мм/мин (базовый вариант) до 27,1 мм/мин (24 % гранул в шихте) что составляет 148,1 %, а производительность аглоустановки увеличилась с 1,094 до 1,880 т/(м²·ч), составив 171,8 %.

Вместе с тем выход годного агломерата не имеет постоянной тенденции роста. Так, при добавке гранул в количестве более 16,4 % имеет место его снижение. Это объясняется повышенной пористостью агломерата, связанной с увеличением порозности спекаемой шихты. Отсюда вытекает необходимость организации управления процессом агломерации по выбранным критериям оптимальности. Если требуется максимальная производительность или прочность агломерата, то количество вводимых гранул должно быть максимальным (24 % от массы шихты). Если требуется максимальный выход годного агломерата, ввод гранул следует ограничить 16,4 %.

Следует отметить, что тонкая шихта не может быть полностью гранулирована, т.к. при этом ухудшаются процессы накатывания топлива. Чрезмерная газопроницаемость приведет к избыточному

поступлению воздуха и охлаждению им зоны горения, в результате чего спекание становится неустойчивым, или даже прекращается. При таком спекании частицы обжигаются, но не сплавляются. Указанное явление в некоторой степени можно корректировать уменьшением разрежения, создаваемого эксгаустером.

Полученные данные показывают, что технические характеристики процессов спекания и качество агломерата находятся в тесной зависимости от количества огранулированной мелкой фракции исходной аглошихты. Практически линейный характер имеет зависимость «количество огранулированной мелкой фракции аглошихты – средневзвешенный размер гранул исходной и окомкованной аглошихты».

Зависимость «количество огранулированной мелкой фракции аглошихты – производительность аглоустановки» гораздо сложнее. Однако для управления процессами окускования и спекания эти зависимости на достаточно широком интервале размер фракции шихты однозначны, непрерывны, и согласованно-взаимосвязаны. Потому они не только управляемы, но и легко подвергаются автоматизации.

Расчётный срок окупаемости установки получения гранул составляет менее 1 года.

Выводы

1. Показано, что использование предложенного способа принудительного окомкования аглошихты позволяет иметь полный контроль над процессами окомкования и спекания аглошихты, т.е. осуществлять не только активное управление процессами производства агломерата на всех стадиях, но и регулировать качество агломерата.
2. Дальнейшие исследования следует вести в направлении определения максимально возможной производительности аглоустановки, увеличения выхода годного продукта и максимальной прочности агломерата, выбора наиболее приемлемого способа получения гранул, его адаптации к условиям промышленного производства, а также автоматизации управления процессами окомкования.

Перечень ссылок

1. *Астахов А.Г.* Справочник агломератчика / *А.Г. Астахов, А.И. Мачковский, А.И. Никитин и др.* – К.: Техніка, 1964. – 448 с.
2. *Вегман Е.Ф.* Теория и технология агломерации / *Е.Ф. Вегман.* – М.: Металлургия. – 1974. – 288 с.
3. *Кухарь А.С.* Производство и качество агломерата / *А.С. Кухарь, В.А. Мартыненко, В.П. Шевченко.* – М.: Металлургия, 1977. – 160 с.
4. *Русанов Р.И.* Совершенствование технологии агломерации с целью переработки обогащённого мартеновского шлака: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.02 / *Р.И. Русанов;* Приазов. гос. техн. ун-т. – Мариуполь, 2004. – 18 с.
5. *Савицкая Л. И.* Использование железосодержащих отходов при окусковании руд: Обзорная информация. Серия «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу и производство чугуна» / *Л.И. Савицкая.* – М.: Ин-т «Черметинформация», 1984. – Вып. 5. – 27 с.
6. Доменное производство: Справочное издание. В 2-х т. Т.1. Подготовка руд и доменный процесс / Под ред. Вегмана Е.Ф. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
7. *Ожогин В.В.* Влияние различных способов подготовки шлама на технико-экономические показатели аглопроцесса / *В.В. Ожогин, А.А. Томаш, В.Б. Семакова.* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Мариуполь, 2002. – Вип. 12. – С. 15 – 17.
8. *Ожогин В.В.* Способы получения гранул и влияние их добавок на процессы спекания и механические свойства агломерата / *В.В. Ожогин* // Металлургические процессы и оборудование. – 2006. – № 3. – С. 19 – 24.
9. Политехнический словарь. 2-е изд. / Гл. ред. акад. А.Ю. Ишлинский. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 656 с.
10. *Маковский В.А.* Оптимальное управление агломерационным процессом / *В.А. Маковский, Ю.Н. Властьков, Ю.В. Карнышов.* – К.: Вища школа, 1987. – 122 с.

Рецензент: Л.Ю. Назюта
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 19.01.2009