

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ

УДК 622.785.5

©Семакова В.Б.¹, Пилюгин Е.И.², Безруков В.В.³

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СПЕКАНИЯ АГЛОМЕРАТА С ДОБАВКОЙ В ШИХТУ КАЛИБРОВАННОГО ВОЗВРАТА

В статье приведены результаты исследований влияния количества калиброванного возврата в шихте на производительность агломерационного процесса и качество агломерата.

Ключевые слова: агломерационная шихта, спекание, возврат, выход годного, производительность, барабанная проба.

Семакова В.Б., Пилюгин Е.И., Безруков В.В. Дослідження процесу спікання агломерату з додаванням у шихту каліброваного звороту. У статті наведені результати досліджень впливу кількості каліброваного звороту в шихті на продуктивність агломераційного процесу та якість агломерату.

Ключові слова: агломераційна шихта, спікання, зворот, вихід годного, продуктивність, барабанна проба.

V.B. Semakova, E.I. Pilyugin, V.V. Bezrukov. Research of sintering process with recycled selected sinter fines addition into charge. The article contains the results of research of the influence of the quantity of recycled selected sinter fines in the charge upon productivity of sintering process and the quality of sinter.

Key terms: sinter charge, sintering, recycled sinter fines, final yield, productivity, drum sample.

Постановка проблемы. В настоящее время агломерация остается основным способом окускования железорудного сырья. Агломерационная шихта является полидисперсной, максимальный и минимальный размеры частиц которой при спекании тонкодисперсных концентратов с добавкой железосодержащих шламов отличаются практически в тысячу раз, что крайне негативно сказывается на газопроницаемости смеси ее компонентов. Повышение газопроницаемости осуществляется проведением важной технологической операции подготовки агломерационной шихты – окомкования. В процессе окомкования особая роль отводится возврату – мелкому агломерату, направляемому на повторное спекание, частицы которого играют роль центров грануляции шихты. Эффективность окомкования прежде всего определяется гранулометрическим составом агломерационной шихты, в том числе количеством и крупностью возврата [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно исследованиям [3] агломерационная шихта состоит из фракций: -0,4 мм (70,4 %), 0,4-1,0 мм (11,7 %), 1-5 мм (8,3 %), 5-10 мм (6,8 %), +10 мм (2,8 %), т. е. соотношение между ее комкуемой, комкующей и промежуточной [2] частями составляет приблизительно 70:15:15 и характеризуется относительно небольшим количеством центров окомкования. В результате неэффективного протекания процесса окомкования гранулированная шихта содержит до 34 % фракций 0,5-1,0 мм, снижающих газопроницаемость слоя, и до 14 % аэроактивных фракций -0,5 мм, что приводит к существенному снижению производительности аглопроцесса до 30 % [3]. В условиях недостатка крупных фракций в агломерационной шихте возрастает роль частиц возврата как центров ее окомкования.

¹ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ студент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

Цель статьи – на основе результатов лабораторных экспериментов установить оптимальную крупность калиброванного возврата и влияние его количества на производительность агломерационного процесса и качество агломерата.

Изложение основного материала. В агломерационном производстве возврат является циркулирующей нагрузкой и представляет собой кусочки мелкого агломерата крупностью менее 5-15 мм [4], отделяемые от годного агломерата при грохочении аглоспека после его дробления. В отечественной практике содержание возврата в шихте $\varphi = M_v / (M_{ш} + M_v)$, д. ед., где M_v и $M_{ш}$ – масса возврата и сырой агломерационной шихты, соответственно, кг/т агломерата, составляет 20–30 %, однако суммарный выход агломерата с учетом отсева мелкой фракции перед доменными печами составляет 55-75 % [4]. Согласно исследованиям [5] при полном отсева мелкой фракции из годного агломерата его выход снижается практически до 50 %. К этим показателям близка зарубежная практика обработки аглоспека, в которой выход годного агломерата из аглоспека $\beta = 1 / (1 + 0,001 M_v)$, д. ед., находится на уровне 55-60 %, что соответствует расходу возврата в шихту 670-820 кг/т агломерата. Содержание возврата в шихте и выход годного из аглоспека связаны зависимостью [6]:

$$\beta = 1 - b\varphi, \quad (1)$$

где b – отношение выхода возврата из аглоспека и шихты, которое представляет собой величину $b = (M_{ш} + M_v) / (1000 + M_v)$, обратную выходу аглоспека из шихты, содержащей возврат.

Выход аглоспека из сырой шихты обычно составляет 0,85-0,90 кг/кг шихты, а выход годного агломерата из аглопирога находится на уровне 0,65-0,70 кг/кг аглоспека [4]. Выход годного зависит от прочности аглоспека и выбранной схемы его обработки, в частности, граничного размера зерна при выделении возврата [7]. Графически зависимость (1) при различном выходе аглоспека из шихты представлена на рис. 1.

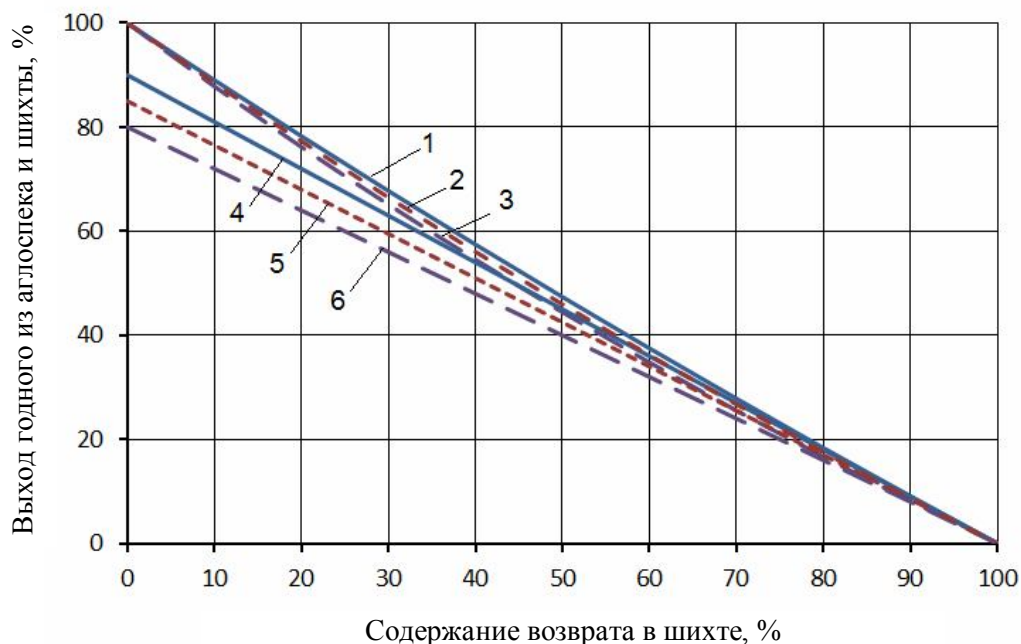


Рис. 1 – Изменение выхода годного агломерата из аглоспека (1, 2, 3) и шихты (4, 5, 6) при различном выходе аглоспека из шихты, кг/кг шихты: 0,90 (1, 4); 0,85 (2, 5); 0,80 (3, 6)

Выход годного агломерата из аглоспека β для шихт с различным содержанием летучих практически одинаков при равной доле возврата в шихте (рис. 1, 1-3). При содержании возврата в шихте $\varphi = 20\%$ β изменяется в узких пределах 76,2-78,3 %, при $\varphi = 30\%$ $\beta = 65,1-67,7\%$, при $\varphi = 40\%$ $\beta = 54,6-57,5\%$. Производительность агломерационного процесса определяется выходом годного агломерата из шихты $k = \beta/b = 1000 / (M_{ш} + M_v)$, который зависит от содержания летучих в шихте (рис. 1, 4-6): чем больше летучих, тем ниже выход годного из шихты. Для шихты с

долей возврата 20-30 % при выходе твердого остатка из шихты $\alpha=0,90$ кг/кг шихты $k=63,0-72,0$ %, при $\alpha=0,85$ кг/кг шихты $k=59,5-68,0$ %, при $\alpha=0,80$ кг/кг шихты $k=56,0-64,0$ %. С увеличением доли возврата в шихте выход годного агломерата снижается, что приводит к уменьшению производительности агломерационных машин. Однако по мере увеличения содержания возврата в шихте снижается ее кажущаяся теплоемкость и повышается газопроницаемость агломерируемого слоя, что способствует росту вертикальной скорости спекания [7]. Зависимость качества агломерата от содержания возврата в шихте также, как и производительность агломерационного процесса, носит экстремальный характер [1, 7]. Одним из факторов, определяющих оптимальное количество возврата в шихте, является его крупность. Лучше комкуется возврат фракции 3-6 мм [4], для агломерации тонких концентратов предпочтительнее более мелкие фракции возврата -5 мм или -3 мм [1].

Для определения оптимальной крупности возврата проведены исследования процесса окомкования шихты, состоящей из железорудного концентрата и возврата различной крупности: 2-3, 3-5, 5-7 и 7-10 мм. Содержание возврата в шихте принято на основе производственных данных «ММК им. Ильича» и МК «Азовсталь» постоянным и равным 20 %. Исследования проводились в лабораторном тарельчатом грануляторе (угол наклона 45° , длительность окомкования 4 мин).

Качество окомкованной шихты с использованием возврата различной крупности оценивалось степенью окомкования [2]

$$C = \frac{m_{<0,4}^{>1,6}}{m_{<0,4}^{c.y.m.}}, \text{ д. ед.}, \quad (2)$$

где $m_{<0,4}^{>1,6}$ – масса класса менее 0,4 мм во фракции окомкованной шихты более 1,6 мм;

$m_{<0,4}^{c.y.m.}$ – масса класса менее 0,4 мм во всей шихте;

и эквивалентным диаметром гранул [2]

$$d_{\text{экв}} = \frac{100}{\sum m_i d_i}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где m_i и d_i – соответственно массовое содержание, %, и средний размер гранул, мм, каждой фракции окомкованной шихты.

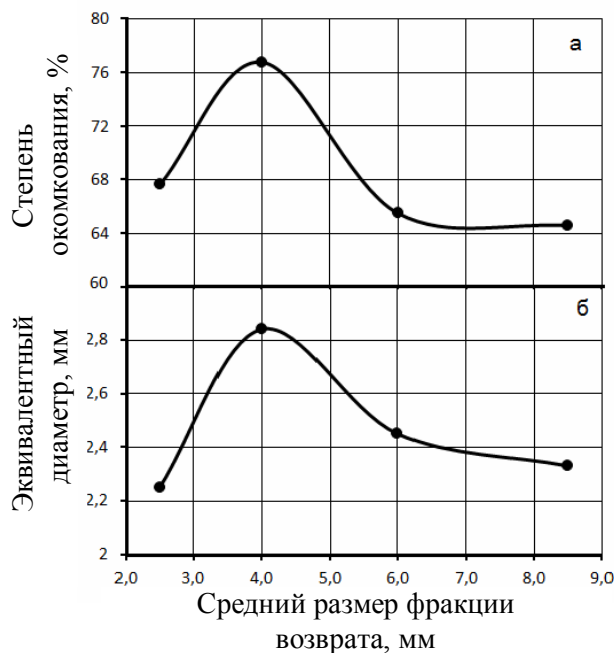


Рис. 2 – Зависимость показателей процесса окомкования от среднего размера фракции возврата

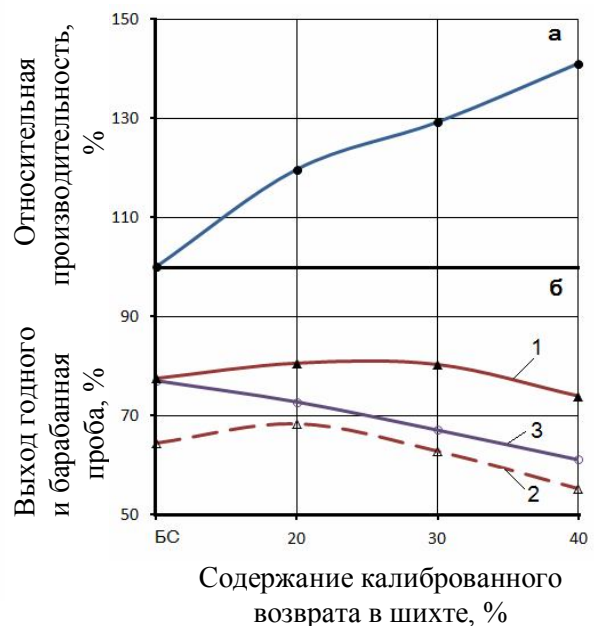


Рис. 3 – Влияние добавок калиброванного возврата в шихту на производительность аглопроцесса и качество агломерата (пояснения в тексте)

Анализ результатов исследования процесса окомкования показал, что степень окомкования шихты изменялась в пределах 64,57-76,76 % (рис. 2, а), а эквивалентный диаметр гранул – в пределах 2,25-2,84 мм (см. рис. 2, б).

Влияние крупности возврата на процесс окомкования носит экстремальный характер. Максимальные значения степени окомкования шихты $C = 76,76$ % и эквивалентного диаметра гранул $d_{экс} = 2,84$ мм достигались при добавлении к тонкодисперсному концентрату возврата фракции 3-5 мм.

С целью исследования влияния количества калиброванного возврата (фр. 3-5 мм) на показатели агломерационного процесса были проведены лабораторные спекания агломерационной шихты (аглоруда – 17,5 %, железорудный концентрат – 60 %, известняк – 17,5 %, коксик – 5 %) влажностью 8 % с содержанием возврата 20, 30 и 40 %. В базовом спекании (БС) крупность возврата составляла -5 мм при его содержании в шихте 20 %, в опытных спеканиях применяли калиброванный возврат фракции 3-5 мм при его содержании в шихте 20, 30 и 40 %. Спекания слоя агломерационной шихты высотой 180 мм проводились в лабораторной агломерационной чаше диаметром 140 мм с разрежением под колосниковой решеткой 10 кПа.

Удельная производительность агломерационного процесса определялась по формуле:

$$P = 0,06 \frac{Q}{S\tau}, \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}, \quad (4)$$

где Q – выход годного агломерата, кг;
 S – площадь колосниковой решетки, м²;
 τ – длительность спекания, мин.

Замена обычного возврата фракции -5 мм калиброванным привела к повышению вертикальной скорости спекания с 10,3 до 13,9 мм/мин, повышение содержания калиброванного возврата в шихте с 20 до 40 % способствовало росту вертикальной скорости спекания до 19 мм/мин и увеличению удельной производительности агломерационного процесса с 1,095 до 1,431 т/м²·ч. Добавки калиброванного возврата в шихту улучшали процесс ее окомкования и газопроницаемость окомкованной шихты, которая является основным фактором, определяющим производительность агломерационного процесса.

Изменение относительной производительности аглоустановки при повышении доли калиброванного возврата в шихте с учетом понижающего коэффициента, определяющегося отличиями лабораторных и производственных условий спекания, показано на рис. 3, а. Замена обычного возврата, применяемого в базовом спекании, калиброванным при его неизменной доле в шихте 20 % привела к росту производительности практически на 20 %, увеличение доли калиброванного возврата в шихте с 20 до 40 % сопровождалось соответствующим повышением производительности на 20 %. Таким образом, увеличение доли калиброванного возврата на 1 % при его содержании в шихте 20-40 % сопровождалось повышением производительности на 1 % соответственно в принятых условиях спекания. Следует учесть, что корректировка условий спекания (состав шихты, разрежение, высота слоя и т. д.) повлечет изменение величины прироста производительности при повышении доли возврата в шихте.

Изменение выхода годного по фракции +5 мм и +10 мм (рис. 3, б, кривые 1 и 2) при спекании агломерационных шихт с разным содержанием калиброванного возврата качественно одинаково. При замене обычного возврата калиброванным без изменения его доли в шихте, равной 20 %, наблюдалось увеличение выхода годного по фр. +5 мм с 77,47 до 80,55 %, по фр. +10 мм с 64,41 до 68,33 % за счет более полного выгорания топлива в шихте. Однако, увеличение крупности возврата без соответствующей корректировки расхода топлива привело к снижению механической прочности агломерата, барабанная проба уменьшилась с 77,01 до 72,72 %. Повышение доли калиброванного возврата в шихте сопровождалось снижением прихода тепла в процессе спекания агломерата, так как эксперименты проводились при постоянном расходе топлива в сырую шихту. В результате при повышении доли калиброванного возврата в шихте с 20 до 40 % выход годного агломерата снизился по фр. +5 мм с 80,55 до 73,92 %, по фр. +10 мм с 68,33 до 55,22 %, а барабанная проба – с 72,72 до 61,05 %. При спекании шихт с обычным возвратом увеличение его содержания в шихте сверх определенного предела требу-

ет корректировки расхода в нее топлива [1]. Для сохранения прочности агломерата и обеспечения необходимого уровня выхода годного необходимо повышение расхода топлива в шихту при увеличении крупности и количества возврата в ней.

При реализации технологии спекания агломерата с применением калиброванного возврата неизбежно возникает проблема утилизации мелкого возврата. Ранее предложен способ агломерации железорудных материалов [8], в котором возврат фракции -1 мм измельчают до крупности концентрата, т. е. переводят его в комкующую часть агломерационной шихты, которую затем спекают по обычной технологии. Согласно предложенной технологии [9] эффективной является совместная подготовка шламов с влажностью 12-15 %, которые послойно укладывают с сухим мелкоизмельченным возвратом фракции -3 мм в соотношении 10:(1±1,5) и после коагуляции частиц вводят в агломерационную шихту в количестве 100-150 кг на 1 т готового продукта.

Наиболее целесообразным представляется укрупнение частиц мелкого возврата, например методом горячего брикетирования в смеси с другими железосодержащими материалами и использование полученных брикетов в доменной шихте либо гранулированием со связующими и последующее введение гранул в агломерационную шихту.

Выводы

1. В ходе лабораторных экспериментов установлено, что замена обычного возврата калиброванным фр. 3-5 мм и дальнейшее увеличение его доли в шихте сопровождается повышением производительности агломерационного процесса. Однако непрерывное уменьшение содержания топлива в шихте с увеличением доли калиброванного возврата в ней приводит к снижению выхода годного агломерата и его механической прочности.
2. В дальнейшем необходимо определить параметры агломерационного процесса с применением калиброванного возврата в шихте, позволяющие получать агломерат с высокой механической прочностью.
3. Применение калиброванного возврата в агломерационном процессе потребует разработки способа подготовки мелкого возврата фр. -3 мм с целью его утилизации в агломерационной шихте.

Список использованных источников:

1. Вегман Е. Ф. Теория и технология агломерации / Е. Ф. Вегман. – М.: Metallurgy, 1974. – 288 с.
2. Коротич В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке / В. И. Коротич. – М.: Metallurgy, 1978. – 208 с.
3. Засельский В. И. Исследование эффективности окомкования многокомпонентной агломерационной шихты в барабанном окомкователе / В. И. Засельский, Д. В. Пополов, С. А. Учитель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2010. – № 2/1(44). – С. 73-76.
4. Коротич В. И. Агломерация рудных материалов / В. И. Коротич, Ю. А. Фролов, Г. Н. Бездежский // Научное издание. – Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. – 400 с.
5. Качество агломерата и возврата на различных стадиях обработки спека / Г. В. Коршиков, С. Л. Зевин, Е. В. Нержицкий [и др.] // Сталь. – 1988. – № 12. – С. 6-12.
6. Базилевич С. В. Исследование режима возврата / С. В. Базилевич, Е. А. Пахомов // Сталь. – 1964. – № 2. – С. 108-111.
7. Базилевич С. В. Агломерация / С. В. Базилевич, Е. Ф. Вегман. – М.: Metallurgy, 1967. – с. 368.
8. Способ подготовки агломерационной шихты: А. с. 1082848 СССР: МКИ С 22 В 1/16.
9. Способ подготовки агломерационной шихты: А. с. 420670 СССР: МКИ С 21 В 1/10.

Bibliography:

1. Vegman E.F. Theory and technology of sintering / E.F. Vegman. – Moscow: Metallurgy, 1974. – 288 p. (Rus.)
2. Korotych V.I. Fundamentals of the theory and technology of preparation of raw materials to the blast furnace / V.I. Korotych. – Moscow: Metallurgy, 1978. – p. 208. (Rus.)
3. Zaselsky V.I. Study the effectiveness of pelletizing multicomponent of the sinter charge in a pellet-

- izing drum/ V.I. Zaselsky, D.V. Popolov, S.A. Uchitel' // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – 2010. –V. 2/1 (44) – P. 73-76. (Rus.)
4. Korotych V.I. Agglomeration of ore materials / V.I. Korotych, Y.A. Frolov, G. N. Bezdezhsky // Scientific edition. - Ekaterinburg: SEE HPE "UGTU-UPI", 2003. – 400 p. (Rus.)
5. Quality of sinter and recycled sinter fines on different stages of processing of sinter / G.V. Korshikov, S.L. Zevin, E.V. Nerzhitsky [et al] // Steel. – 1988. – V. 12. – P. 6-12. (Rus.)
6. Bazilevich S.V. Study of recycled sinter fines regime / S.V. Bazilevich, E.A. Pakhomov // Steel. – 1964. – V. 2. - P. 108-111. (Rus.)
7. Bazilevich S.V. Agglomeration / S.V. Bazilevich, E.F. Vegman. – Moscow: Metallurgy, 1967. – 368 p. (Rus.)
8. Method of preparation of the sinter charge: A. c. 1082848 USSR, IPC C 22 B 1/16. (Rus.)
9. Method of preparation of the sinter charge: A. c. 420670 USSR, IPC C 21 B 1/10. (Rus.)

Рецензент: В. П. Тарасов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 16.11.2011

УДК 669.162.21

©Кравченко В.П.*

СЕЛЕКТИВНАЯ АКТИВАЦИЯ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ

По результатам гранулометрических исследований ТГШ и ПМС-шлаков разработана схема селективной активации доменных шлаков, которая в два раза снижает потребный объем доизмельчаемого шлака. Регулировка работы классификатора первичной классификации позволяет получать грансостав с оптимальным размерным рядом зерен высокой реакционной способности.

Ключевые слова: доменные граншлаки, активация, активность, грансостав, классификатор.

Кравченко В.П. Селективна активація доменних шлаків. За результатами гранулометричних досліджень ТГШ та ПСМ-шлаків розроблена схема селективної активації доменних шлаків, які у два рази знижують необхідний об'єм подрібнення шлаку. Регулювання роботи класифікатора первинної класифікації дозволяє отримати гранулометричний склад з оптимальним розмірним рядом зерен високої реакційної здібності.

Ключові слова: доменні граншлаки, активація, активність, гранулометричний склад, класифікатор.

V.P. Kravchenko. Selective activation of Blast Furnace slag. On the basis of grain size analysis of SGS and PSM slags a procedure for selective activation of blast furnace slag was developed, which is capable of reducing twice the required volume of slag regrinding. By adjusting the operation of primary stage classifier it is possible to obtain granule composition with optimal grain sizes with high reaction capability.

Keywords: blast-furnace granulated slag, activation, activity, grain-size distribution, classifier.

Постановка проблемы. Как указывается в источнике [1] механоактивация в струйной установке ТГШ (продукт шарового помола граншлака) повышает гидравлическую активность доменных шлаков до величины, равной марке портландцемента (ПЦ) М400. При этом рекомен-

* инженер ПАО ММК «Ильича», г. Мариуполь