

В.В. Бочка, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры

А.В. Сова, мл. науч. сотр., e-mail: owlartpoetry@gmail.com

А.В. Двоглазова, канд. техн. наук, мл. науч. сотрудник

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина

Исследование особенностей процесса разрушения агломерата в устройстве барабанного типа

С помощью математического моделирования процесса разрушения спека в устройстве барабанного типа и эксперимента в физической модели барабана проведена оценка влияния необходимой величины приложенной энергии нагрузки на агломерат. Установлено, что эффективная стабилизация агломерата в барабане имеет место при наличии в нем трех характерных зон разрушения с различным механизмом: дробления с максимальной величиной ударных нагрузок; стабилизации характеристик при минимальном образовании мелочи за счет уменьшения ударных нагрузок; предоставление кускам агломерата шаровидной формы при обработке в основном энергией истирания и раскалывания. Предложены оптимальные конструкционные и технологические характеристики барабана.

Ключевые слова: агломерат, механическая обработка, стабилизация, барабан-стабилизатор, прочность.

Постановка проблемы. В доменной печи шихтовые материалы подвергаются воздействию значительных нагрузок. Их можно разделить на: механические – возникающие при загрузке материала в печь и воздействия на него слоя шихты, физико-химические – в ходе преобразований в связи с процессами восстановления, и нагрузки, возникающие во время резкого перепада температур. Это приводит к разрушению загруженных материалов с образованием дополнительного количества мелочи в них, что негативно влияет на работу доменной печи [1, 2].

Повышение качества железорудной части шихты является одним из наиболее эффективных способов, который во время работы доменной печи позволяет снизить удельный расход кокса, повысить ее производительность, уменьшить выход шлака и создает благоприятные условия для применения технологии дудования в печь пылеугольного топлива (ПУТ) [3, 4].

Основным компонентом железорудной части доменной шихты является агломерат. Это антропогенный многокомпонентный материал по составу похож на железные руды, поскольку содержит значительное количество одноименных минералов, структуру и минералогический состав которого в отличие от руд можно менять в зависимости от состава и условий подготовки шихты и режима спекания [5].

Учитывая это, к агломерату, как к основному железосодержащему материалу, выдвигается целый ряд требований, наиболее проблемными из которых на сегодняшний день является однородность гранулометрического состава с минимальным содержанием мелочи и его прочность, которая связана с параметрами внутреннего напряженного состояния. Внутреннее напряжение в кусках агломерата возникает как и в процессе агломерации, так и в значительной степени во время охлаждения спека, а реализуется с помощью механической обработки.

Значительное внимание исследованию структуры

агломерата уделил в своих работах Е.Ф. Вегман [6]. Он установил, что кусок агломерата представляет собой систему округлых сгустков вещества крупностью 3–30 мм, названных блоками, и связующих частей со стекловидными фазами между ними, которые в отличие от блоков очень хрупкие. Между сгустками расположены крупные поры неправильной формы.

Наличие хрупких связующих в структуре агломерата, которые не поддаются упругим деформациям, является причиной его чрезмерного разрушения не только на этапе подготовки спека к доменной плавке, но и во время транспортировки, хранения, загрузки и использования материала в доменной печи.

Задача получения стабилизированного по крупности и прочности агломерата с минимальным содержанием мелочи остается актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Формирование прочной структуры и оптимального минерального состава агломерата происходит на каждом этапе его производства, начиная с выбора и подготовки шихты до спекания и заканчивая выделением прочных блоков из спеченного продукта во время механической обработки [7].

Закономерности разрушения агломерационного спека показывают, что дезинтеграция материала осуществляется последовательно, начиная с разрыва слабых связующих и разрушения крупных пор. Прочные блоки при этом почти не подвергаются разрушению, так как при нормальных условиях спекания прочность связующих между элементами должна быть ниже прочности самого элемента [5].

Это свидетельствует о том, что прочность офлюсованных агломератов зависит от минерального состава связующих рудных зерен и наличия крупных пор. При этом существует зависимость: минералогический состав связующих компонентов определяется основностью шихты, а прочность готовой продукции, в свою очередь, напрямую зависит от их состава.

Увеличение основности шихты от 1,6 до 3,0 приводит к появлению ферритов, которые образуют более прочную структурную композицию рудной связующей части, чем силикаты [8].

Реализация внутренних напряжений с выделением из спеченного продукта прочных блоков происходит на этапе механической обработки агломерата.

Получение качественного агломерата с минимальным содержанием мелочи в значительной степени зависит от типа нагрузок на него.

Неограниченная деформация и большой запас действующей энергии устройства приводит к вторичному разрушению с избыточным образованием мелочи. Необходимой является механическая обработка с энергией нагрузки 60–100 Дж/кг с последующим уменьшением этой величины вместе с уменьшением крупности кусков агломерата. Это позволит избежать измельчения агломерата, прежде чем он будет доставлен в доменный цех [5].

В современных условиях агломерат перед отправлением в доменный цех подвергается механической обработке в дробилках различного типа. Отсутствие возможности контроля необходимой величины нагрузки и подавляющая однотипность вида энергии, приложенной на материал в данных устройствах, решает в основном задачу измельчения кусков до заданных размеров, а не выделения из них прочных блоков. В этих условиях все больше исследований посвящается проблеме снижения однотипных нагрузок в дробилках на материал, чего можно достичь изменением характера нагрузки [9].

Для улучшения условий стабилизации агломерата по гранулометрическому составу было предложено использование барабанного грохота после этапа дробления [10]. Он представляет собой металлический цилиндр с окнами по диаметру, с закрепленными в них решетчатыми секциями из прутков круглого сечения, установленных параллельно продольной оси с зазором 6 мм. При вращении барабанного грохота куски агломерата, перекатываясь с подъемом по внутренней поверхности, разрушаются, а мелочь отсеивается через решетчатые секции и направляется в агломерационную шихту для утилизации при спекании. Агломерат, который остается на решетке грохота, направляется в доменный цех. Содержание мелочи 0–5 мм в таком агломерате находится в пределах 13,5–22,5 %.

Существенным недостатком барабанного грохота такой конструкции является однотипность характера нагрузки на материал во время нахождения в устройстве, что не позволяет обеспечить необходимые ударные нагрузки и получить стабилизированный по гранулометрическому составу и прочности агломерат с минимальным содержанием мелочи 0–5 мм.

Одним из перспективных способов получения стабилизированного по крупности и прочности агломерата является его механическая обработка в устройстве барабанного типа, в рабочем пространстве которого размещено определенное количество полок [11]. Согласно предложенной схеме обработки, испеченный на агломерационной ленте материал при температуре 600–700 °С направляется на зубчатую

дробилку, где разрушается на куски размером менее 100–150 мм, после чего попадает во вращающийся барабан специальной конструкции. Механическая обработка спека осуществляется в нем при взаимодействии кусков различной формы и крупности, движущихся по своим траекториям. Агломерационный спек полками или стенками барабана поднимается на определенный угол и, падая в верхней точке угла подъема, разрушается на более мелкие куски. Происходит стабилизация агломерата с удалением острых выступов и перегоронок между порами, изменение геометрии куска, что обеспечивает высокую эффективность работы последующего отсева мелочи.

Режим движения этих кусков определяется их угловой скоростью и количеством полок. При низких скоростях преобладает каскадный режим движения материалов в барабане, с преимущественным действием энергии истирания, а с увеличением скорости – это соотношение меняется в сторону преимущества водопадного режима. При движении материала водопадным режимом, механическая обработка агломерата может происходить с помощью одновременного действия сил удара, стирания и раскалывания.

Кроме стабилизации агломерата происходит его охлаждение за счет интенсивного отбора тепла от корпуса барабана при орошении его водой из форсунок.

Предварительные испытания данного устройства показали, что эффективность механической обработки и получения агломерата стабилизированной крупности и прочности в значительной степени определяются механизмом разрушения кусков при различных условиях работы устройства и нагрузки в нем.

Решение задачи получения стабилизированного по крупности и прочности агломерата выдвигает на первый план необходимость проведения исследовательского процесса разрушения кусков в устройстве барабанного типа и влияния конструктивных и технологических параметров работы барабана на величину и характер энергетических нагрузок на материал.

Формулировка цели статьи. Задачей данной статьи является исследование влияния конструктивных и технологических параметров работы барабана-стабилизатора на величину и вид энергетических нагрузок на агломерат, а также подбор оптимального способа механической обработки агломерата в нем для стабилизации испеченного продукта по крупности и прочности.

Описание методики проведения исследования. Оценка влияния необходимой величины и вида приложенной энергии нагрузки на агломерат осуществляли с помощью математического моделирования процесса разрушения спека в устройстве барабанного типа и сопоставления результатов моделирования с результатами эксперимента обработки агломерата в физической модели барабана.

С помощью математической модели рассчитывали величину и вид энергетических нагрузок на агломерат в экспериментальном устройстве, что позволило установить зависимость между характеристиками прочности материала и приложенной энергией.

Экспериментальные исследования проводились в барабане, в который предварительно загружали

пробу агломерата массой 15 кг и крупностью от 5 до 40–70 мм. В процессе исследования барабан оставляли после каждой минуты работы и проводили рассев пробы по фракциям.

Изложение основного материала и полученных научных результатов. Математическое моделирование процессов, происходящих в устройстве барабанного типа, осуществляли с учетом особенностей математической модели работы шаровой мельницы во время измельчения материалов металлическими шарами одинакового размера [12].

Математическая модель процесса разрушения кусков агломерационного спека в устройстве барабанного типа в отличие от модели мельницы разработана с учетом того, что внутри устройство имеет полки, а в качестве тел дробления используются куски агломерационного спека.

Агломерат характеризуется значительной гранулометрической неоднородностью по крупности и неправильной формой (коэффициент формы характеризует степень приближения формы к шарообразной), из-за чего имеет более высокий коэффициент трения, который влияет на величину угла отрыва кусков от стенки и полок барабана.

Наличие полок, как показали исследования, существенно влияет на угол отрыва кусков от поверхности барабана и их траекторию падения в пространстве устройства. Количество и ширина полок определяют часть материала, перемещаемого в водопадном режиме.

Математическая модель позволяет определить оптимальную скорость вращения барабана, при которой определенное количество слоя агломерата начинает двигаться в водопадном режиме, размер этого слоя, траекторию падения кусков, а также параметры времени, скорости, величины и вида энергетических нагрузок, действующих на материал.

Расчет траектории падения куска со стенки устройства и с полки при одинаковых технологических и конструктивных параметрах работы барабана показал, что увеличение угла отрыва кусков агломерата при использовании полок, по сравнению со стенкой барабана, существенно меняет характер движения материала в рабочем пространстве барабана.

Во время падения с полки барабана материал движется к его противоположной стенке по более пологой траектории. При этом в точке падения увеличивается энергия нагрузки на материал, и начинается новый цикл его движения в барабане.

Математическая модель описывает механизм взаимодействия кусков спека в пространстве барабана при различных режимах движения и позволяет рассчитать величину и вид энергетических нагрузок на агломерат с учетом технологических и конструктивных параметров работы устройства барабанного типа. Ее исходными параметрами является величина общей энергии нагрузки, которая состоит из энергий удара, стирания и раскалывания.

Математическое моделирование процесса разрушения агломерата в устройстве барабанного типа позволило выделить основные конструктивные и технологические факторы влияния на механическую

обработку материала: радиус барабана, частоту вращения, количество и ширину полок, степень загрузки устройства агломератом. Длина барабана и угол его наклона влияют на время нахождения агломерата в барабане, что отображается на суммарной величине полученных материалом энергетических нагрузок.

С помощью разработанной математической модели проведена оценка влияния конструктивных и технологических факторов на величину энергии нагрузки на куски спека, которая приведена на рис. 1. Исследования проведены для барабана радиусом 1,5 м, частотой вращения – 10 об/мин, количеством полок – 4, шириной полок – 20 % от радиуса, степенью загрузки – 30 %, путем поочередной смены каждого технологического и конструктивного параметра.

Как показано на рис. 1а, изменение частоты вращения барабана существенно влияет на величину и вид энергии нагрузки. Изменение частоты до 7 об/мин не приводит к значительным изменениям величины и характера энергии нагрузки. С увеличением скорости до 8–10 об/мин значительно возрастает величина общей энергии нагрузки. При этом следует отметить существенное увеличение ударных сил и максимальное значение величины сил истирания и раскалывания. Дальнейшее увеличение скорости вращения приводит к значительному возрастанию общей энергии нагрузки за счет быстрого роста ударных сил и уменьшения сил истирания и раскалывания. Это приведет к значительной перегрузке и измельчению агломерата.

С рис. 1б видно, что увеличение радиуса барабана до 1,5 м приводит к плавному росту энергетических нагрузок на куски агломерационного спека. С увеличением радиуса >1,5 м начинается активный рост ударных сил по отношению к силам стирания и раскалывания.

Увеличение количества и ширины полок приводит к пропорциональному росту всех видов энергии (рис. 1, в, г). Объясняется это тем, что количество и ширина полок влияют на динамику движения кусков в барабане путем изменения части слоя агломерата, который движется водопадным режимом, а следовательно, изменяя интенсивность энергетических нагрузок.

Увеличение степени загрузки барабана-стабилизатора агломератом в незначительной мере приводит к повышению доли энергии истирания и раскалывания (рис. 1, д). Это происходит из-за увеличения слоя материала, при неизменном количестве агломерата, который движется водопадным режимом.

Рекомендуется заполнять рабочее пространство барабана в пределах 15–30 %, поскольку с учетом веса самого устройства увеличивается механическая нагрузка на привод барабана.

На основе результатов моделирования, получено уравнение множественной регрессии зависимости величины общей (E_k) и ударной ($E_{уд}$) энергий от конструктивных и технологических факторов, влияющих на процесс разрушения кусков агломерата в барабане:

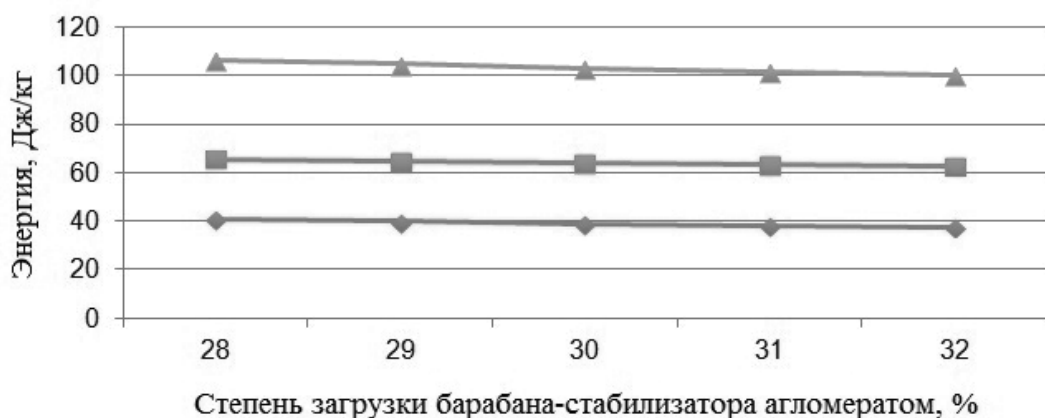
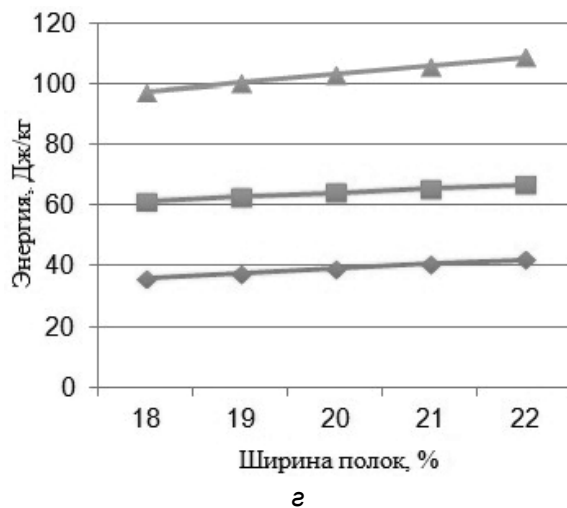
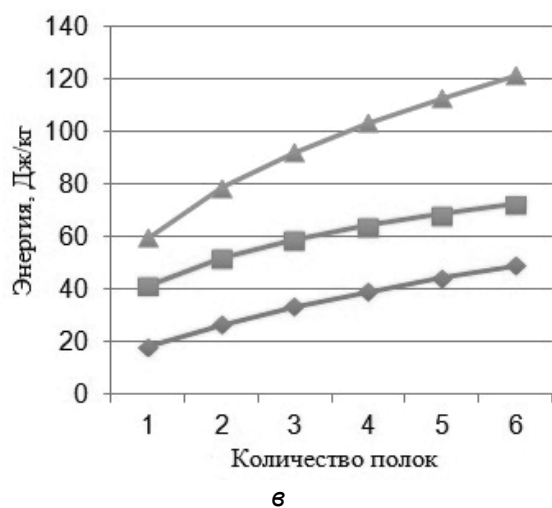
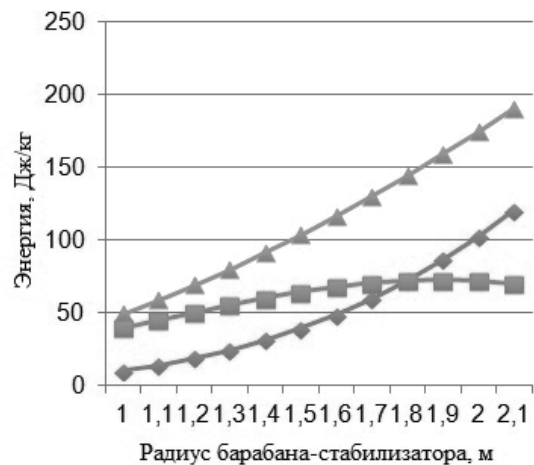
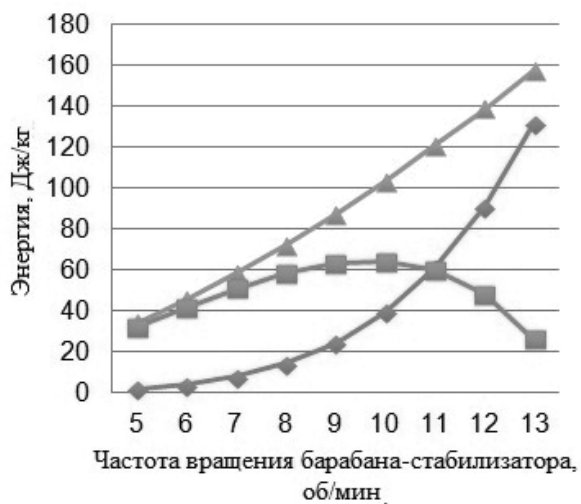
$$E_k = 0,02927 \cdot n_{об}^{1,61} \cdot R_б^{3,82} \cdot n_{п}^{0,39} \cdot h_{п}^{0,55} \cdot \varphi^{0,57},$$

где $n_{об}$ – частота оборотов барабана-стабилизатора в минуту; $R_б$ – радиус барабана-стабилизатора; n_n – количество полок; h_n – ширина полки; φ – степень загрузки:

$$E_{уд} = 4,103 \cdot 10^{-6} \cdot n_{об}^{4,63} \cdot R_б^{5,34} \cdot n_n^{0,55} \cdot h_n^{0,77} \cdot \varphi^{0,41}$$

Энергия, затрачиваемая на разрушение истиранием и раскалыванием, определяется разницей общей и ударной энергий.

Использование приведенных уравнений позволяет обоснованно делать выбор оптимальных параметров конструкции устройства барабанного типа. Кроме того, они позволяют по заданным величинам



▲ – Общая энергия ◆ – Энергия на удар ■ – Энергия истирания и раскалывания

Рис. 1. Зависимость величины и вида энергии нагрузки на 1 кг агломерата от: а – частоты вращения барабана-стабилизатора; б – радиуса барабана-стабилизатора; в – количества полок; г – ширины полок; д – степени загрузки материалом барабана-стабилизатора

приведенных факторов определять технологические параметры механической обработки кусков спека, которые обеспечат получение агломерата заданной крупности и формы.

Результаты экспериментального исследования изменения гранулометрического состава агломерата в исследовательском барабане приведены в табл. 1.

Основное разрушение крупных фракций происходит на начальном этапе механической обработки. При этом продуктами разрушения крупных кусков в основном являются фракции крупностью более 5 мм (5–10; 10–25; 25–40 мм). Фракция 0–5 мм образуется в пределах 10 %, а фракция 10–25 мм – почти 50 %.

Приведенный характер разрушения свидетельствует о том, что именно на этом этапе из крупных кусков начинают выделяться более прочные компоненты, которыми являются блоки. Основными причинами этого являются: высокий уровень реализации внутренних напряжений, разрушения кусков по крупным порам и на контактах фаз.

При дальнейшей обработке агломерата, характер разрушения кусков несколько меняется – кроме фракции более 40 мм начинает разрушаться фракция 25–40 мм. При этом продуктами разрушения данной фракции являются в основном куски крупностью более 5 мм. Такой характер разрушения сохраняется и при дальнейшей обработке. Следует отметить, что общее количество фракций 5–10, 10–25, 25–40 и более 40 мм в течение испытания остается на уровне 85–90 %. После трех минут обработки материала начинает частично разрушаться наиболее прочная фракция 10–25 мм, что свидетельствует о начале процесса измельчения, который является нежелательным.

Решение этой проблемы возможно путем изменения характера и величины нагрузки, действующей на агломерат в ходе механической обработки в барабане.

Результаты исследований показали, что в устройстве барабанного типа можно выделить три характерные зоны с различным механизмом разрушения материала: дробления – с максимальной необходимой величиной общих и ударных нагрузок; стабилизации характеристик по крупности при минимальном образовании мелочи за счет уменьшения ударных нагрузок; истирания, которое должно обеспечить минимизацию ударных нагрузок, с основным действием сил, которые позволят удалить острые выступы для предоставления агломерату шаровидной формы.

Создание рабочих зон в барабане с целью снижения величины общих и ударных нагрузок в момент

падения агломерата возможно благодаря изменению количества и ширины полок в рабочих зонах устройства, поскольку эти факторы влияют на интенсивность механической обработки, а их изменение будет наиболее простым конструкционным и технологическим решением.

Результаты исследований показали, что для обеспечения оптимальной механической обработки и получения агломерата, стабилизированного по прочности и крупности, устройство барабанного типа должно иметь следующие характеристики: радиус барабана – 1,25-1,75 м; частота вращения – 8-10 об/мин; количество полок – от 6 (1 зона) – 3-5 (2 зона) и 0-2 (3 зона); ширина полок – 20-22 % от радиуса барабана (1 зона) – 18-20 % (2 зона) и 16-18 % (3 зона); степень загрузки барабана – 15-30 %; угол наклона 4–6 град.; длина барабана – 7,5-10 м.

Данная конструкция барабана-стабилизатора позволяет обеспечивать необходимый уровень начальных нагрузок на агломерат в пределах 60–100 Дж/кг с последующим уменьшением энергетических сил.

В табл. 2 приведены изменения энергетических нагрузок в рабочих зонах для барабана радиусом – 1,25 м, частотой вращения – 9 об/мин, степенью загрузки – 30 %, и изменением в рабочих зонах количества полок с 6 до 3 и 1, и их ширины – с 21 % до 19 % и 17 % от радиуса барабана соответственно.

На рис. 2 представлена схема предлагаемого устройства барабанного типа.

Устройство состоит из барабана 1, загрузочной воронки 2, бандажей 3, опорных роликов 4, упорных роликов 5, привода 6, полок 7, разгрузочной камеры 8, форсунок для орошения устройства водой 9, кольцевых ребер 10.

Использование предлагаемого устройства барабанного типа увеличивает эффективность механи-

Таблица 2

Влияние изменения количества и ширины полок в рабочих зонах барабана-стабилизатора на энергию нагрузки

Рабочая зона	Общая энергия, Дж/кг	Энергия на удар, Дж/кг	Энергия истирания и раскалывания, Дж/кг
Дробления	75	17	58
Стабилизации	54	11	43
Истирания	32	4	38

Таблица 1

Влияние механической обработки агломерата в устройстве барабанного типа на его гранулометрический состав

Время обработки, мин	Содержание фракции, %				
	0–5 мм	5–10 мм	10–25 мм	25–40 мм	40+ мм
0	0	0	0	0	100
1	10,23	13,62	45,74	21,05	9,36
2	14,20	17,4	45,8	16,78	5,82
3	16,35	22,1	48,47	8,5	4,58
4	21	22,3	46,17	6,3	4,23

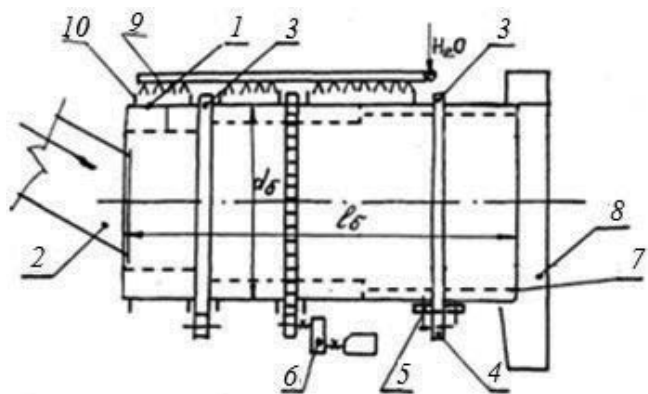


Рис. 2. Схема предлагаемого устройства барабанного типа

ческой обработки спека, с возможностью получения стабилизированного по крупности и прочности агломерата с меньшим количеством мелочи (табл. 3).

Постепенное снижение энергии нагрузки на агломерат в предложенном устройстве барабанного типа положительно влияет на механическую обработку агломерата, о чем свидетельствует сравнение результатов экспериментов, приведенных в табл. 1 и 2.

Снижение нагрузки на куски спека, начиная со второй минуты обработки, приводит к уменьшению количества мелочи на 6–9 % поминутно. Агломерат

Таблица 3

Влияние механической обработки агломерата в предложенном устройстве барабанного типа на его гранулометрический состав

Время обработки, мин	Содержание фракции, %				
	0–5 мм	5–10 мм	10–25 мм	25–40 мм	40+ мм
0	0	0	0	0	0
1	10,4	13,3	43,9	22,24	10,16
2	13,35	16,9	46,2	16,42	7,13
3	15,2	21,6	48,7	9,3	5,2
4	18,05	22,1	47,8	7,45	4,6

фракцией 5–10 мм остается в количестве на том же уровне, увеличивается количество фракции 10–25 мм, 25–40 мм и в незначительном количестве более 40 мм.

Контроль вида и величины энергетических нагрузок на спек и продукты его разрушения позволяет эффективно выделять из него крепкие составляющие, а получаемые куски шарообразной формы в конце обработки позволяют увеличить часть годного агломерата благодаря возможности снижения нижней кондиционной фракции во время грохочения с 5 до 3 мм.

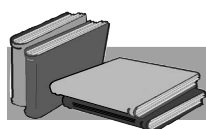
Кроме высоких показателей прочности стабилизированный агломерат по отношению к обычному имеет лучшие показатели химического состава, более высокий коэффициент формы, приближенный к 1 и лучшую плотность слоя. Это позволяет положительно влиять на технико-экономические показатели доменной плавки при замене обычного агломерата стабилизированным.

Выводы

Установлено, что для обеспечения оптимальной стабилизации агломерата по крупности и прочности должна выполняться обработка материала при наличии различных видов нагрузок, что характерно для условий его использования в доменной печи.

Проведенное математическое моделирование процесса разрушения агломерата в устройстве барабанного типа позволило определить основные конструкционные и технологические факторы влияния на обработку материала: радиус барабана, скорость вращения, количество и ширину полок, степень загрузки устройства агломерата, а также их влияние на вид и величину энергетических нагрузок на агломерат.

В результате исследований, определены оптимальные конструкционные и технологические параметры механической обработки в устройстве барабанного типа, с целью получения стабилизированного по прочности и крупности агломерата.

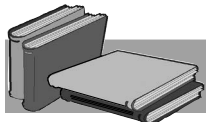


ЛИТЕРАТУРА

1. Фон Энде, Греббе К. Поведение компонентов доменной шихты при восстановлении // *Черные металлы*. – 1972. – № 7. – С. 47–58.
2. Чернавин А.Ю., Нечкин Г.А., Чернавин Д.А., Кобелев В.А., Филатов С.В. Моделирование поведения шихтовых материалов в нижней части доменной печи // *Сталь*. – 2010. – № 5. – С. 20–23.
3. Лялюк В.П., Шеремет В.А., Тараканов А.К. и др. Опыт использования высококачественного окускованного железорудного сырья в доменной плавке // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – № 6. – С. 6–9.
4. Лялюк В.П., Тараканов А.К., Журавлев Ф.М., Кассим Д.А., Чупринов Е.В. Главное направление инновационного совершенствования доменной технологии – использование одного вида железорудного сырья, сочетающего лучшие свойства агломерата и окатышей // *Сталь*. – 2018. – № 1. – С. 6–11.
5. Холунов Э.А. Селективное разрушение минерального и техногенного сырья. – Екатеринбург: УИПЦ, 2013. – 429 с.
6. Везман Е.Ф., Крахт Л.Н. Некоторые итоги исследования блочной текстуры железорудного агломерата // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 1983. – № 9. – С. 11–18.
7. Сулименко С.Е. Перспективные направления создания экологически чистой технологии получения агломерата повышенного качества в современных условиях // *Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов*. – Днепропетровск. – 2014. – Выпуск 4 (93). – С. 32–38.
8. Малышева Т.Я., Павлов Р.М. Влияние минералогического состава связок на прочностные свойства агломератов различной основности // *Изв. вузов. Черная металлургия*. – 2012. – № 55 (11). – С. 6–10.

9. Кольга А.Д., Айбашев Д.М. Возможности снижения нагрузок в щековых дробилках // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – Магнитогорск. – 2013. – № 4. – С. 77–80.
10. Мигуцький Л.Р., Лихорадов А.Н., Мalyuta Д.М. та ін. Досвід одержання стабілізованого сортового агломерату і проведення дослідної доменної плавки на ньому // Бюлетень ЦНИИЧМ. – 1965. – № 18 (516). – С. 4–6.
11. Патент України № 72711, МПК С22В1/26. Стабілізатор гранулометричного складу гарячого агломерату / Р.О. Купріков, В.В. Бочка, С.Є. Суліменко, В.М. Ковшов. Опубл. 27.08.2012 р., Бюл. № 16.
12. Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985. – 285 с.

Поступила 11.12.2018



REFERENCES

1. Von Ende, Grebe K. (1972). Behavior of the components of the blast-furnace charge during recovery. *Black metals*, no. 7, pp. 47–58 [in Russian].
2. Chernavin, A.Yu., Nechkin, G.A., Chernavin, D.A., Kobelev, V.A., Filatov, S.V. (2010). Modeling the behavior of charge materials in the lower part of the blast furnace. *Steel*, no. 5, pp. 20–23 [in Russian].
3. Lyaluk, V.P., Sheremet, V.A., Tarakanov, A.K. et al. (2010). Experience of using high-quality agglomerated iron ore raw materials in blast-furnace smelting. *Metallurgical and mining industry*, no. 6, pp. 6–9 [in Russian].
4. Lyaluk, V.P., Tarakanov, A.K., Zhuravlev, F.M., Kassim, D.A., Chuprinov, E.V. (2018). The main direction of innovation improvement of the domain technology is the use of one type of iron ore raw materials combining the best properties of sinter and pellets. *Steel*, no. 1, pp. 6–11 [in Russian].
5. Khopunov, E.A. (2013). Selective destruction of mineral and man-made materials. Ekaterinburg: UIPTS, 429 p. [in Russian].
6. Wegman, E.F., Krakht, L.N. (1983). Some results of the study of the block texture of iron ore sinter. *Izv. vuzov, Chernaia metallurgii*, no. 9, pp. 11–18 [in Russian].
7. Sulimenko, S.E. (2014). Perspective directions of creation of ecologically pure technology for obtaining sinter of high quality in modern conditions. *System technologies. Regional intercollegiate collection of scientific papers*. Dnepropetrovsk, Issue 4 (93), pp. 32–38 [in Russian].
8. Malysheva, T.Ya., Pavlov, R.M. (2012). The influence of the mineralogical composition of ligaments on the strength properties of agglomerates of various basicity. *Izv. vuzov, Chernaia metallurgii*, no. 55 (11): pp. 6–10 [in Russian].
9. Kol'ga, A.D., Aibashev, D.M. (2013). Opportunities to reduce loads in jaw crushers. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova. Magnitogorsk*, no. 4, pp. 77–80 [in Russian].
10. Migutsky, L.R., Likhovadov, A.N., Malyuta, D.M. et al. (1965). The experience of obtaining a stabilized sorted agglomerate and conducting experimental blast-furnace smelting on it. *Biuletен' TSNIICHM*, no. 18 (516), pp. 4–6 [in Ukrainian].
11. Kuprikov, R.O., Bochka, V.V., Sulimenko, S.E., Kovshov, V.M. (2012). Patent of Ukraine no. 72711, IPC C22B1/26. Publish. 27.08.2012, Biul. no. 16 [in Ukrainian].
12. Serго, E.E. (1985). Crushing, grinding and screening of minerals. Moscow: Nedra, 285 p. [in Russian].

Received 11.12.2018

Анотація

В.В. Бочка, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри; **А.В. Сова**, мол. наук. співр., e-mail: owlartpoetry@gmail.com; **А.В. Двоєглазова**, канд. техн. наук, мол. наук. співробітник

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна

Дослідження особливостей процесу руйнування агломерату в пристрої барабанного типу

За допомогою математичного моделювання процесу руйнування спеченця в пристрої барабанного типу та експерименту у фізичній моделі барабана проведено оцінку впливу необхідної величини прикладеної енергії навантаження на агломерат. Встановлено, що ефективна стабілізація агломерату в барабані має місце при наявності в ньому трьох характерних зон руйнування з різним механізмом: дроблення з максимальною величиною ударних навантажень; стабілізації характеристик при мінімальному утворенні дріб'язку за рахунок зменшення ударних навантажень; надання кускам агломерату кулястої форми при обробці в основному енергією стирання та розколювання. Запропоновано оптимальні конструкційні та технологічні характеристики барабана.

Ключові слова

Агломерат, механічна обробка, стабілізація, барабан-стабілізатор, міцність.

Summary

V.V. Bochka, Doctor of Engineering Sciences, Prof., Professor at the Department; **A.V. Sova**, Junior Researcher, e-mail: owlartpoetry@gmail.com; **A.V. Dvoeglazova**, Candidate of Engineering Sciences, Junior Researcher

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Research of the features of the process of the agglomerate destruction in the drum type device

An impact assessment of the required magnitude of the applied load energy on the agglomerate has been made using mathematical modeling of the sinter fracture process in a drum type device and an experiment in the physical drum model. It has been established that effective stabilization of agglomerate in the drum takes place in the presence of three characteristic destruction zones with different mechanisms: crushing with the maximum value of shock loads; stabilization of characteristics with minimal formation of trifles by reducing shock loads; providing spherical shapes to the pieces of agglomerate when processed mainly by the energy of abrasion and splitting. The optimum constructional and technological characteristics of the drum are offered.

Keywords

Agglomerate, mechanical processing, stabilization, drum-stabilizer, durability.