

Особенности формирования напряженного состояния и разрушения агломерата

Проведен анализ особенностей формирования напряженного состояния агломерационного спека и исследовано влияние различных параметров на процессы его разрушения и получения готового агломерата. Выполнена оценка особенностей поведения кусков спека при механической обработке. Оборудование загрузочного устройства барабана-стабилизатора свободно подвешенными металлическими билами позволяет разрушать крупные куски до попадания в барабан, улучшая показатели стабилизации агломерата. Доказано, что предварительно стабилизированный за крупностью агломерат, позволяет уменьшить время обработки в барабанах-стабилизаторах, что также позитивно влияет на стабилизацию и уменьшение доли переизмельчения.

Ключевые слова: агломерат, измельчение, стабилизация, прочность.

Постановка задачи. Агломерат представляет собой гетерогенный материал, содержащий в себе большое количество минеральных составляющих, которые образуют между собой различные соединения, существенно влияющие на показатели его прочности: гематит (Fe_2O_3), магнетит (Fe_3O_4), ферриты кальция ($\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, CaFe_2O_4 , CaFe_4O_7), двухкальциевый силикат (Ca_2SiO_4), железо-кальциевые минералы ($(\text{CaO})_x(\text{FeO})_{2-x}(\text{SiO}_2)_x$), представленные оливинами – особенно вытянутыми кристаллами ферромонтчеллита (CaFeSiO_4), фаялита (Fe_2SiO_4). [1]. Его прочность, как композиционного материала, является весьма важной характеристикой, которая связана с параметрами внутреннего напряженного состояния. Оно возникает как в процессе агломерации, так и, в значительной степени, во время охлаждения спека, а реализуется при механической обработке с образованием менее напряженных и более крепких кусков.

Современные схемы механической обработки не позволяют контролировать величину приложенной силы на кусок спека, что не приводит к качественной реализации внутренних напряжений в агломерате, с целью стабилизации его как по гранулометрическому составу, так и по прочности.

В связи с этим был проведен анализ особенностей формирования напряженного состояния агломерационного спека и исследовано влияние различных параметров на процессы его разрушения и получения готового агломерата.

Методика проведения эксперимента. Анализ особенностей формирования напряженного состояния и исследование влияния механической обработки на разрушение агломерационного спека проводились визуально и с помощью специальных устройств.

Одной из главных причин образования внутренних напряжений является композитность агломерата. Наиболее прочными фазами являются Fe_2O_3 , $2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$. Наименее прочную фазу образуют минералы $(\text{CaO})_x(\text{FeO})_{2-x}\cdot\text{SiO}_2$, в то время как другие имеют прочность, которая несущественно отличается друг от друга. Авторами работы [2] были установлены в относительных единицах сравнительные характеристики прочности на сжатие группы вторичных фаз, составляющих агломерат к оливиновому стеклу (показатели которого приняты за 100 единиц). Значение прочности для каждой фазы приведены на рис. 1.

Следует отметить, что такие значительные колебания характеристик прочности минералов активно способствуют формированию напряженного состояния спека и особому характеру его разрушения. Разрушение спека при механической нагрузке начинается в местах концентрации самых слабых



Рис. 1. Сравнение характеристик прочности при сжатии вторичных фаз агломерата, по отношению к оливиновому стеклу

минералов. Наименьшую прочность имеет оливниновое стекло, образованию которого способствует быстрое охлаждение расплава и наличие разницы температур интенсивного образования зародышей и роста кристаллов.

Снижению способности силикатного расплава к образованию стекловидной фазы способствует увеличение основности расплава [2]. Однако, увеличение основности приводит к значительному снижению прочности оливнинов ($\text{CaO}_{0,5} \cdot \text{FeO}_{1,5} \cdot \text{SiO}_2$ имеет в 2,5 раза больший предел прочности по отношению к $\text{CaO} \cdot \text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$).

Также, теоретический анализ показал, что вероятность появления и развития трещин в макроструктуре агломерата определяется наличием в нем пор и каналов.

Образование трещин вокруг пор обусловлено концентрацией растягивающих напряжений на их контурах. При достижении внешними сжимающими напряжениями критического уровня, возникает напряжение на контурах пор, что способствует развитию трещин, которые в итоге при многократном разветвлении и изменении направления образования создают вместе магистральную трещину, ориентированную вдоль направления внешних усилий, что и приводит к разрушению материала [3].

Одним из способов производства стабилизированного по крупности и прочности агломерата является способ обработки в барабане-стабилизаторе, загрузочное устройство которого дополнительно оборудовано свободно подвешенными в шахматном порядке металлическими билами треугольной формы, которые вершинами своих граней направлены навстречу движению агломерата, при этом промежуток между билами в одном ряду равен максимальному размеру куска агломерата [4]. Металлические била позволяют разрушать крупные куски спека до попадания в барабан-стабилизатор. Согласно схеме обработки, спек после первичных стадий дробления в зубчатой дробилке проходит через металлические била с одновременным отсевом мелочи (фракции 0-5 мм), после чего подлежит дополнительной целенаправленной механической обработке в специализированном устройстве барабанного типа. Куски спека под действием энергии разрушения распадаются на куски повышенной прочности размером 5-50 мм и на мелочь, что отсеивается во время грохочения. Анализ процесса производства стабилизированного агломерата показал, что данный способ в целом решает поставленную задачу.

Для оценки эффективности использования металлических бил с целью предварительного разрушения крупных кусков спека до попадания в барабан-стабилизатор, была отобрана проба агломерата массой 15 кг и крупностью кусков более 60 мм, которую сбрасывали с высоты 2 м на металлическую

плиту, предварительно оснащенную металлическими билами. После каждого сброса агломерат рассеивался на ситах с целью выявления изменения его гранулометрического состава.

Исследование характеристик влияния предварительной механической обработки проводилось в барабане-стабилизаторе. После каждой минуты обработки в устройстве агломерат рассеивался на ситах с целью выявления изменения его гранулометрического состава.

Результаты исследований. Результаты изменения гранулометрического состава отобранной пробы, крупностью более 60 мм и массой 15 кг, после сброса на металлическую плиту, предварительно оснащенную металлическими билами, приведены на рис. 2.

Степень измельчения агломерата после сбросов возрастала до 1,14; 1,4; 1,84, с уменьшением среднего диаметра куска с 54,16 до 29,4 мм, при увеличении содержания мелочи до 0,66, 2 и 3,33 % от общей массы соответственно. Количество фракции 60 мм уменьшилось до 8-10 %. Уменьшение содержания крупной фракции важно для работы барабана-стабилизатора, поскольку наличие ее в значительном количестве приводит к переизмельчению других фракций и влияет на время необходимой обработки агломерата.

С целью оценки влияния предложенной предварительной обработки агломерата на результаты работы барабана-стабилизатора, было проведено исследование процесса стабилизации агломерата по крупности при использовании спека с разным количеством крупных кусков. Результаты приведены на рис. 3 и 4.

Как показали исследования, даже незначительное увеличение содержания фракции более 60 мм (16 против 8 %) в барабане-стабилизаторе увеличивало время необходимой стабилизации и приводило не только к значительному переизмельчению агломерата, но и к разрушению фракции 25-40 мм, способствуя образованию большого количества мелочи.

Степень измельчения для стандартной схемы составляла 2,25, а для предложенной – 1,49, средний размер куска на выходе из барабана (15,13 против 22,62 мм) и количество мелочи (30 против 22 %) под-

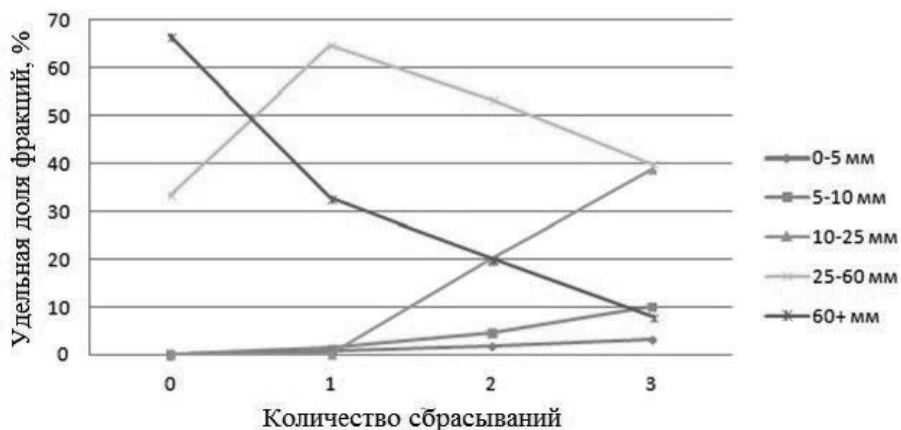


Рис. 2. Зависимость изменения гранулометрического состава агломерата от количества падений на металлическую плиту, предварительно оснащенную металлическими билами

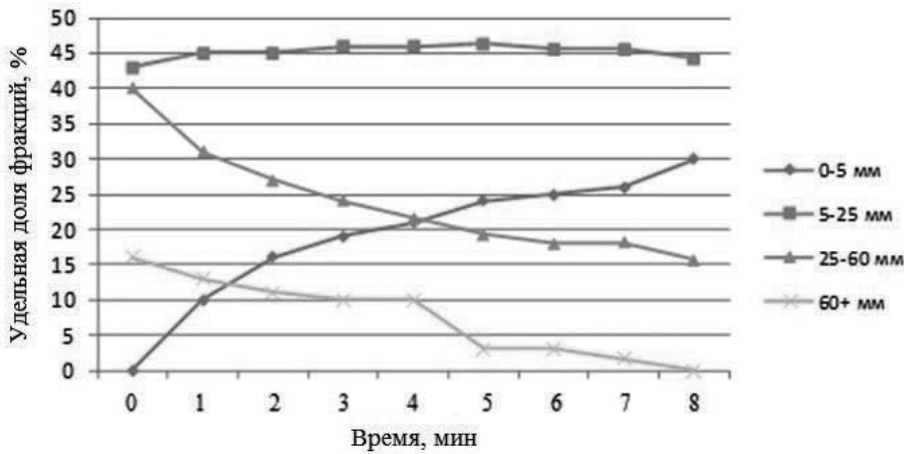


Рис. 3. Изменение гранулометрического состава агglomerата при обработке в барабане-стабилизаторе после традиционной схемы подготовки спека

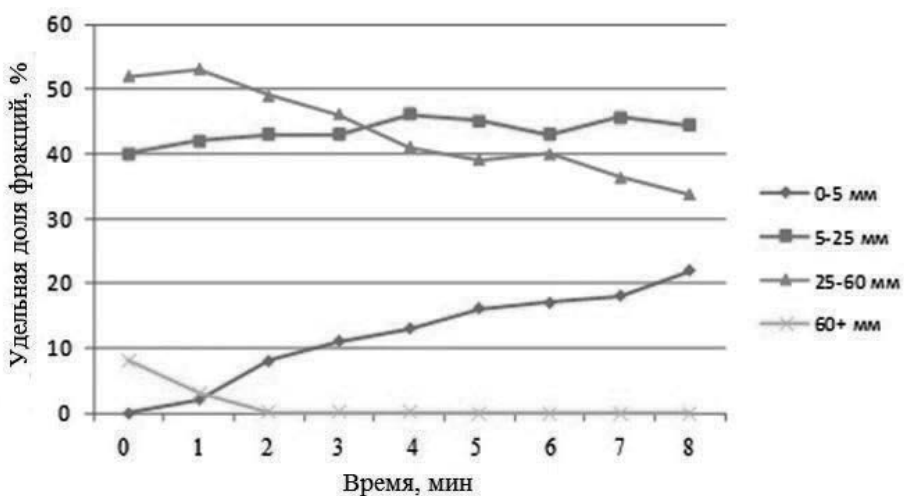


Рис. 4. Изменение гранулометрического состава агglomerата при стабилизации в барабане после прохождения металлических бил

тверждают эффективность предложенной схемы обработки.

Важным параметром обработки агglomerата в барабане-стабилизаторе является время. Изменение среднего диаметра и количества образованной мелочи в зависимости от времени приведены в таблице.

Таким образом, сравнение подтвердило тот факт, что после прохождения металлических бил и уменьшения количества крупной фракции, образование мелочи уменьшается, и стабилизация агglomerата

Влияние времени пребывания агglomerата в барабане-стабилизаторе на средний диаметр и количество образованной мелочи в материале

Время обработки, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Средний диаметр, мм	33,9	31,72	28,61	27,41	25,66	24,95	24,85	23,9	22,62
Количество мелочи, %	0	2	8	11	13	16	17	18	22

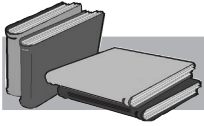
протекает более качественно. При этом довольно существенно сокращается время, необходимое на разрушение фракции более 60 мм. При предварительной обработке оно составляет лишь 2-3 минуты, с образованием 8 % мелочи, что важно для предотвращения значительного переизмельчения во время дальнейшей работы барабана-стабилизатора. Важным является поведение фракции 5-25 мм, которая показала себя наиболее прочной и пригодной для обработки в барабане-стабилизаторе, в то время как слишком длительная обработка приводит к переизмельчению, в значительной степени, фракции 25-40 мм, что оставляет открытым вопрос необходимого усилия для формирования блоков пригодной фракции и невозможности их разрушения.

Выводы

Рассмотрены основные факторы, приводящие к образованию напряженного состояния спека. Показано, что основным фактором является неоднородность минералов по прочности и их высокая пористость.

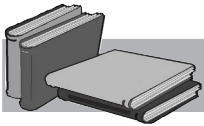
Выполнена оценка особенностей поведения кусков спека при механической обработке. Показано, что эффективность процесса стабилизации агglomerата по крупности и прочности в значительной степени определяется содержанием в спеке крупных кусков (60 мм и более). Чем меньше крупных кусков, тем эффективность выше.

Оборудование загрузочного устройства барабана-стабилизатора свободно подвешенными металлическими билами позволяет разрушать крупные куски до попадания в барабан, улучшая показатели стабилизации агglomerата.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаенко М. П.* Определитель текстур и структур руд. – Москва: «Недра», 1983. – 261 с.
2. *Ковалев Д. А., Ванюкова Н. Д., Иващенко В. П., Крикунов Б. П., Ягольник М. В., Бойко М. Н.* Теоретические основы производства окучкованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений // НМетАУ. – Днепр: ИМА-пресс, 2011. – 476 с.
3. *Толстунов В. Л.* Текстуры и структуры железорудных агломератов разной основности и их влияние на прочность и восстановимость: автореф. дис. канд. техн. наук. – Свердловск, 1974. – 31 с.
4. Патент України на корисну модель №100418. Барабан-стабілізатор із завантажувальним пристроєм / Суліменко С. Є., Бочка В. В., Суліменко Є. І., Сова А. В., u201500823 від 02.02.2015, опубл. 27.07.2015 р., Бюл. № 14.



REFERENCES

1. *Isaenko M. P.* (1983). *Opredelitel' tekstur i struktur rud [Determinant of textures and structures of ores]*. Moscow: "Nedra", 261 p. [in Russian].
2. *Kovalev D. A., Vaniukova N. D., Ivashchenko V. P., Krikunov B. P., Yagol'nik M. V., Boiko M. N.* (2011). *Teoreticheskie osnovy proizvodstva okuchkovannogo syr'ia: uchebnoe posobie dlia vysshikh uchebnykh zavedenii [Theoretical bases of production of agglomerated raw material: manual for higher educational institutions]*. NMetAU. Dnepr: IMA-press, 476 p. [in Russian].
3. *Tolstunov V. L.* (1974). *Tekstury i struktury zhelezorudnykh aglomeratov raznoi osnovnosti i ikh vliianie na prochnost' i vosstanovimost' [Textures and structures of iron ore agglomerates of different basicity and their influence on durability and recoverability]*. Extended abstract of candidate's thesis. Sverdlovsk, 31 p. [in Russian].
4. Patent of Ukraine for useful model no. 100418. *Baraban-stabilizator iz zavantazhuval'nym prystroem [Drum-stabilizer with boot device]*. Sulimenko S. E., Bochka V. V., Sulimenko E. I., Sova A. V., u201500823 vid 02.02.2015, publ. 27.07.2015, bull. no. 14 [in Ukrainian].

Анотація

Бочка В. В., Сова А. В., Двоєглазова А. В., Суліменко С. Є., Височин Д. С.

Особенности формирования напряженного stanu та руйнування агломерату

Проведено аналіз особливостей формування напруженого стану агломераційного спіку та досліджено вплив різних параметрів на процеси його руйнування і отримання готового агломерату. Виконано оцінку особливостей поведінки кусків спеченця при механічній обробці. Обладнання завантажувального пристрою барабану-стабілізатора вільно підвішеними металевими білами дозволяє руйнувати крупні куски до потрапляння в барабан, покращуючи показники стабілізації агломерату. Доведено, що попередньо стабілізований за крупністю агломерат, дозволяє зменшити час обробки в барабані-стабілізаторі, що також позитивно впливає на стабілізацію та зменшення долі переподрібнення.

Ключові слова

Агломерат, подрібнення, стабілізація, міцність.

Summary

Bochka V., Sova A., Dvoeglazova A., Sulimenko S., Vysochyn D.

Features of formation of tension and destruction of agglomerate

The analysis of features of tension formation of sinter good is carried out and the influence of various parameters on the processes of its destruction and receiving the finished agglomerate is investigated. The assessment of features of sinter good pieces behavior when machining is performed. The equipment of the loading device of the drum-stabilizer by freely suspended metal beaters allows destroying large pieces before reaching the drum, improving the stabilization of sinter. It is proved that the agglomerate which is previously stabilized behind fineness, allows to reduce processing time in the drum-stabilizer that also positively influences stabilization and reduction of a share of overgrinding.

Keywords

Agglomerate, grinding, stabilization, strength.

Поступила 08.06.17