УДК 664.73.05

Филатов М. А., к.т.н. Левченко Э. П., к.т.н. Карпук И. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР),
д.т.н. Зубков В. Е.
(г. Луганск, ЛНР),
Кащеев А. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СПОСОБ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПРОБОПРИГОТОВЛЕНИЯ В АГЛОМЕРАЦИОННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рассмотрены возможности бестрансмиссионного обеспечения движения мелющих тел в электромагнитном измельчителе и его особенности для приготовления проб в агломерационном производстве. Показана картина распределения векторного магнитного потенциала в активной зоне рабочей камеры устройства.

Ключевые слова: *электромагнитный измельчитель, мелющие тела, магнитное поле, рабочая камера, энергоэффективность.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Главнейшим направлением повышения стабильности работы доменных печей является рациональное распределение шихтовых материалов в агломерационном сырье. Так, нарушение режимов выплавки чугуна может существенным образом сказываться на повышении расхода дорогостоящего кокса, снижении производительности процесса плавки, ухудшении газопроницаемости и др. [1–3].

В связи с этим при производстве агломерата в агломерационных цехах осуществляется постоянный контроль химического состава готового агломерата на предмет определения в нём процентного соотношения железа и кремнезёма и поддержания их пропорций на постоянном уровне, что способствует стабилизации режимов работы и управления доменных печей и, соответственно, улучшению основных показателей их работы.

На сегодняшний день [4] для определения химического состава агломерата, как правило, через определённые промежутки времени (около 30 мин) с помощью механического пробоотборника отбираются его представительные пробы массой около 180 кг на технологическом тракте погрузки в хопперы.

В дальнейшем полученный материал подвергается сокращению с последующим предварительным дроблением на малогабаритных лабораторных щековых дробилках до фракции 0–10 мм.

После этого производится сокращение полученного продукта до количества 2–2,5 кг с окончательным измельчением на мельницах валкового типа до размеров 0–3 мм. Окончательная подготовка пробы заключается в очередном её сокращении до массы 0,5 кг и истирании до размеров частиц 0,071 мм. После этого полученный порошок в количестве 100 г поступает непосредственно на химический анализ.

Таким образом, существующий традиционный технологический процесс пробоприготовления требует большой номенклатуры лабораторного оборудования, обслуживаемого значительным количеством персонала, и характеризуется продолжительностью около двух часов.

С учётом вышеприведённого актуальным направлением усовершенствования процесса подготовки проб агломерата является создание оборудования, позволяющего осуществлять комплексный подход к упрощению получения сырья для химического анализа при одновременном сохранении его качества.

Постановка задачи. Задачей исследований является повышение эффективности процесса пробоприготовления путём интенсификации измельчения агломерата, отобранного для химического анализа.

Изложение материала и его результаты. Ранее в Донбасском государственном техническом университете осуществлялись работы по созданию и внедрению универсального пробоприготовительного комплекса [5] на основе конусной и ударной роторной дробильно-измельчительных машин, собранных в единую компоновочную схему вертикального исполнения, снабжённых вибрационным питателем сырьевых компонентов, дисковым сократителем и разгрузочным устройством, оборудованным рукавным фильтром (рис. 1).

Данный комплекс хоть и обеспечивал получение пробы нужного качества, однако отличался значительно большей компактностью по сравнению с оборудованием, применяемым для аналогичных целей в агломерационных цехах, но всё же являлся достаточно сложным по конструкции и особенно, с точки зрения ремонтопригодности, требовал высокой квалификации обслуживающего его персонала и значительного времени на настройку.

Выполненный обзор различных источников информации по данному вопросу показывает, что в настоящее время всё большее распространение для повышения энергоэффективности процессов диспергирования материалов находят разработки, касающиеся электромагнитных измельчителей, обеспечивающих движение мелющих тел в рабочей камере за счёт переменного магнитного поля [6]. Данные устройства обеспечивают уменьшение энергоёмкости процесса диспергирования в связи с отсутствием необходимости в дополнительных источниках электроэнергии для создания сил, разрушающих материал.

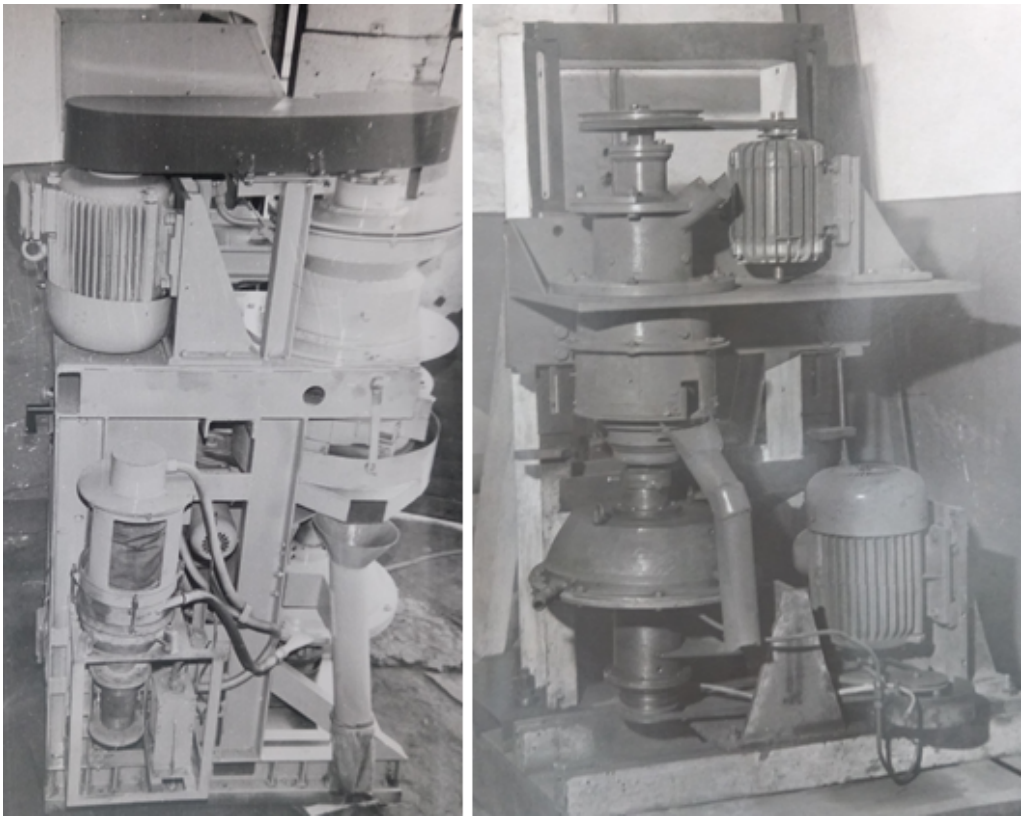


Рисунок 1 Комплекс для приготовления проб железной руды

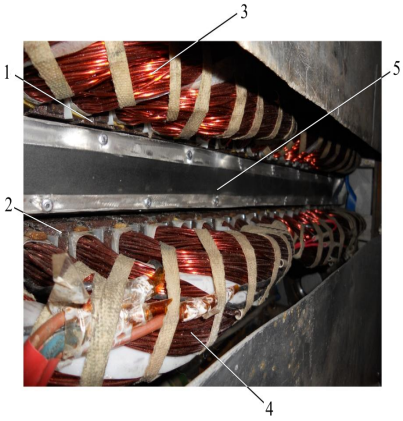
Наибольшим вниманием пользуются мельницы, в которых создаётся переменное магнитное поле, по сравнению с измельчителями с постоянным магнитным полем, хотя имеются прототипы, где на основе постоянных магнитов в рабочей камере создаются пульсирующие и вращающиеся магнитные поля.

Такой способ задания движения мелющим элементам позволяет снизить энергоёмкость процесса диспергирования материалов в связи с отсутствием механических вращающихся элементов и трансмиссионной связи передачи движения, а следовательно, обладает гораздо большим коэффициентом полезного действия, т. к. известно, что потери энергии в трансмиссии могут достигать 10–15 % и более [2].

Пока что низкая производительность и узкая специализация затрудняют широкое применение подобных устройств, однако всё чаще и чаще они находят своё применение в различных сферах производств, требования которых удовлетворяют техническим условиям таких машин.

В текущее время в Донбасском государственном техническом университете спроектирована, разработана и исследуется конструкция электромеханического измельчителя (рис. 2) [7, 8], который состоит из корпуса со смонтированными в нём обмотками возбуждения (рис. 3) переменного магнитного поля.

Рисунок 2 Экспериментальный образец электромеханического измельчителя



1, 2 — индукторы бегущего поля;
3, 4 — трёхфазные обмотки; 5 — рабочая камера

Рисунок 3 Внутреннее устройство (вид на электромагнитные катушки)

При протекании электрического тока в обмотках возбуждения генерируется переменное магнитное поле, приводящее к направленному движению мелющей загрузки в виде ферромагнитных тел роликообразной (цилиндрической) формы, которые совершают сложные колебательные и вращательные движения и взаимное столкновение в рабочей камере измельчителя (рис. 4), где находится и материал, подлежащий диспергированию на более мелкие компоненты.

Дифференциальное уравнение электромагнитного поля в частных производных относительно векторного магнитного потенциала представляется как [8]

$$rot\left(\frac{1}{\mu}\cdot rot\overline{A}\right)-\gamma\cdot\frac{\partial\overline{A}}{\partial t}-$$
$$-rot\left(\overline{v}\cdot rot\overline{A}\right)=-\overline{J}_{стор}, \qquad (1)$$

где $\mu=\mu_0\cdot\mu_r$ — абсолютная магнитная проницаемость; γ — удельная электрическая проводимость; v — вектор скорости движения электропроводящей среды относительно источника магнитного поля; $J_{стор}$ — плотность сторонних токов.

Для непроводящих областей справедливо уравнение Пуассона, имеющее вид

$$rot\left(\frac{1}{\mu}\cdot rot\overline{A}\right)=-\overline{J}_{стор}. \qquad (2)$$

Основные параметры электромеханического измельчителя представлены в таблице 1.

Картина распределения векторного магнитного потенциала в активной зоне рабочей камеры электромеханического измельчителя показана на рисунке 5 [8, 9].

Сравнительная визуальная оценка силового магнитного поля и рабочей камеры показывает, что линии силового электромагнитного воздействия чётко соответствуют характеру деформации элементов участков рабочей камеры.

Таблица 1

Технические характеристики электромеханического измельчителя

Параметр	Характеристика параметра
Вид тока	3-фазный переменный
Напряжение	380 В
Частота переменного тока	50 Гц
Потребляемая мощность	4 кВт
Объём рабочей камеры	2,68 дм^3
Максимальное время работы	7 мин
Вид охлаждения	воздушное

Рисунок 4 Рабочая камера

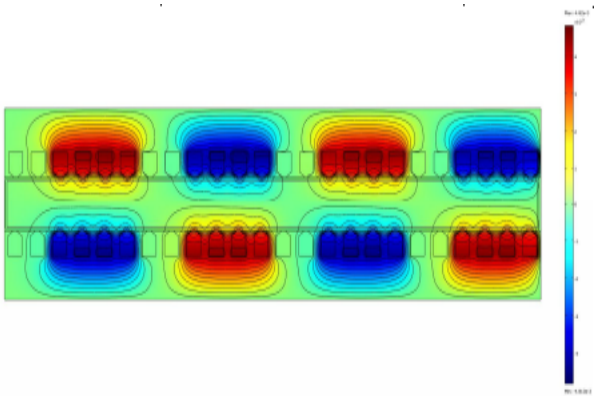


Рисунок 5 Распределение магнитного поля

Магнитное поле представлено устойчивым знакопеременным характером, а его величина достигает 0,084 Тл, что является вполне характерным с точки зрения организации движения ферромагнитных мелющих тел.

В экспериментальной модели загрузка исходного продукта и выгрузка готового материала осуществляется периодически, однако в дальнейшем планируется организация непрерывной подачи и выгрузки, например, с помощью пневмотранспорта.

Предварительные поисковые эксперименты показали, что данный тип измельчителя хорошо подходит для измельчения угля, что может быть применено в металлургическом производстве при приготовлении коксика (измельчённого кокса), входящего в состав лёточной массы для заделки выпускных каналов доменных печей, который является обязательным компонентом в составе огнеупорного материала, обеспечивающим его затвердевание.

Данный принцип приготовления готового продукта может быть полезным в агломерационном производстве при выполнении химического анализа спечённого агломерата, когда требуется его предварительное тонкое измельчение.

Кроме того, подобное обеспечение движения мелющих тел может быть полезным в лакокрасочном производстве, где перетирание пигмента и растворителя осуществляется в бисерной мельнице — вертикально вытянутом трубчатом корпусе, наполненном

твёрдыми ферромагнитными телами, которые при взаимодействии друг с другом и сырьём интенсивно перетираются до необходимой величины и смешиваются с олифой.

Таким образом, предложенный электромагнитный способ измельчения материалов предполагает снижение затрат электроэнергии на диспергирование ввиду отсутствия дополнительных подвижных механических частей в виде трансмиссии и может быть применён в металлургии и химическом производстве.

Выводы и направление дальнейших исследований. Проведённый анализ выявил возможность применения электромагнитного принципа измельчения материалов на этапе приготовления проб агломерата для проведения химического анализа сырья для доменных печей.

Величина индукции магнитного поля, достигающая 0,084 Тл обеспечивает устойчивое активное взаимодействие мелющих ферромагнитных тел и измельчаемого материала при объёме рабочей камеры 2,68 дм^3, что позволяет получать готовый продукт на протяжении времени, не превышающем 7 мин.

Простота обслуживания и повышенная эффективность работы электромеханического измельчителя позволяют использовать его при получении сухих порошковых материалов, диспергировании в жидкой среде, например, в изготовлении красок в химической промышленности.

Библиографический список

1. *Гончаров, Б. Ф. Подготовка шихтовых материалов к доменной плавке [Текст] / Б. Ф. Гончаров. — М. : Металлургия, 1967. — 187 с.*

2. *Жилкин, В. П. Производство агломерата, оборудование, автоматизация [Текст] / В. П. Жилкин, Д. Н. Доронин. — Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. — 292 с.*

3. *Гребеник, В. М. Механическое оборудование металлургических заводов. Механическое оборудование фабрик окускования и доменных цехов [Текст] : учебн. для вузов / В. М. Гребеник, Д. А. Сторожик, Л. А. Демьянец и др. — К. : Выща школа, 1985. — 312 с.*

4. *Масалимов, А. В. Разработка системы контроля химического состава агломерата в режиме реального времени [Текст] / А. В. Масалимов, Е. В. Ушерова, П. Ю. Шаранов и др. // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — № 9. — Т. 82. — С. 26–30.*

5. *Королев, П. П. Современное дробильно-измельчительное оборудование для приготовления аналитических проб горнорудных материалов [Текст] / П. П. Королев, Э. П. Левченко // Комплексное освоение техногенных месторождений: сборник тезисов докладов всесоюзной научно-практической конференции. — Челябинск, 1990. — С.104–105.*

6. *Волков, В. С. Разработка ресурсо- и энергосберегающего электромагнитного способа механоактивации витаминизированной биологически активной кормовой добавки [Текст] : дис. ... к-та техн. наук : 05.20.02 / Волков Владимир Сергеевич ; Санкт-Петербургский государственный аграрный ун-т. — СПб, 2014. — 179 с.*

7. *Пат. № 87222 України, МПК (2006.01) H02K 41/025, B01F 13/08. Електромеханічний пристрій багатофакторної дії для обробки матеріалів / Н. Н. Заблодський, М. А. Філатов, В. Ф. Шинкаренко и др. — № 210310641 ; заявл. 03.09.13 ; опубл. 27.01.14, Бюл. № 2. — 4 с.*

8. *Заблодский, Н. Н. Моделирование электромагнитного поля электродинамического дезинтегратора [Текст] / Н. Н. Заблодский, М. А. Филатов, В. Ю. Грицюк // Сборник научных трудов ДонГТУ.— Алчевск : ДонГТУ, 2013. — Вып. 39. — С. 221–226.*

9. *Филатов, М. А. Оценка возможности использования электромеханического дезинтегратора в технологии приготовления водоугольного топлива [Текст] / М. А. Филатов, В. Ю. Грицюк, В. В. Лысак // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ДонГТУ, 2012. — Вып. 37. — С. 325–329.*

© Филатов М. А., Левченко Э. П., Карпук И. А., Кащеев А. В.
© Зубков В. Е.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н., д.т.н., проф., зав. каф. АТ ЛНУ им. В. Даля Замотой Т. Н.

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

Філатов М. А., к.т.н. Левченко Е. П, к.т.н. Карпук І. А. *(ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)*, **д.т.н. Зубков В. Є.** *(м. Луганськ, ЛНР)*, **Кащєєв А. В.** *(ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)*

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СПОСІБ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПРОБОПРИГОТУВАННЯ В АЛОМЕРАЦІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Розглянуто можливості безтрансмісійного забезпечення руху молольних тіл в електромагнітному подрібнювачі та його особливості для приготування проб в агломераційному виробництві. Показано картину розподілу векторного магнітного потенціалу в активній зоні робочої камери пристрою.

Ключові слова: *електромагнітний подрібнювач, молольні тіла, магнітне поле, робоча камера, енергоефективність.*

Filatov M. A., PhD in Engineering Levchenko E. P., PhD in Engineering Karpuk I. A. *(DonSTU, Alchevsk, LPR)*, **Zubkov V. E.** *(Lugansk, LPR)*, **Kashcheev A. V.** *(DonSTU, Alchevsk, LPR)*

ELECTROMAGNETIC METHOD OF GRINDING MATERIALS AND ITS USING FOR SAMPLE PREPARATION IN SINTERING

There have been examined the possible steps for transmission-free motion of grinding bodies in the electromagnetic grinder and its features for preparing the samples in sintering. The pattern for distribution the magnetic vector potential in the active core of operating chamber of the unit is shown.

Key words: *electromagnetic grinder, grinding bodies, magnetic field, operating chamber, energy efficiency.*