

УДК 621.928: 621.313.17

Кубиков А. П., Коняев И. А.
Уральский федеральный университет
kia_ustu@mail.ru

О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО СЕПАРАТОРА ИНДУКТОРНОГО ТИПА

Аннотация. В работе описан один из методов сепарации электронного лома и проанализированы возможности повышения энергоэффективности электродинамического сепаратора индукторного типа.

В современном мире остро стоит вопрос рационального использования природных ресурсов и сохранения экологического баланса. Эта проблема большей частью вызвана постоянным ростом количества отходов производства и потребления. Причем в большинстве случаев эти отходы представляют собой многокомпонентную смесь материалов (например, твердые бытовые отходы, автомобильный лом и т. д.). Разделение подобных отходов на компоненты позволяет вернуть обратно в народное хозяйство вторичные металлы, полимеры и другие материалы, причем себестоимость полезного продукта, полученного из вторичных материалов намного ниже, чем из первичного сырья. Однако для разделения отходов на составляющие необходима первичная обработка, например, дробление до определенной крупности, которая позволяет добиться раскрытия материалов (отделения составляющих друг от друга). Раздробленные материалы подвергаются сортировке по крупности. После чего можно приступить к разделению полученной смеси на составляющие её компоненты.

Стоит отметить, что в современном мире постоянно растёт доля отходов, которые необходимо дробить для раскрытия материалов до размеров частиц менее 5-10 мм. К такому роду отходов относится, например, электронный лом (отработавшие свой срок радио- и электротехнические изделия, отходы радио-электронного производства и т. д.). Рост объема таких отходов обусловлен быстрым развитием технологий, что ведёт к быстрому устареванию электронного и другого высокотехнологичного оборудования и, как следствие, к их замене. Поэтому совершенствование технологий переработки таких отходов является актуальным.

Основными задачами предварительной обработки электронного лома являются выделение из него неметаллов (прежде всего, изоляции) и последующее разделение металлов по сортам и видам сплавов. Отделение частиц изоляции чаще всего производится с помощью пневмосепараторов. Для извлечения частиц

ферромагнитных металлов любой крупности из дробленной смеси эффективна магнитная сепарация. Как показывает мировой опыт, для извлечения частиц цветных металлов из смесей используется метод электродинамической сепарации. Данный способ позволяет сортировать металлы по сортам и по крупности. Достоинством метода является возможность получения селективных концентратов цветных металлов.

По данным зарубежных источников, подтвержденным исследованиями, проводимыми в УрФУ, применение электродинамических сепараторов с бегущим магнитным полем на основе трехфазных линейных индукторов при питании их от сети с частотой 50 Гц позволяет обрабатывать смеси крупностью частиц более 10 мм. Для сепарации более мелких частиц требуется увеличение частоты магнитного поля до нескольких сотен Гц или нескольких кГц. Такие частоты можно получить в сепараторах с вращающимся магнитным полем: в сепараторах с вращающимися магнитами (электромагнитами) (до 500-800 Гц) и в сепараторах индукторного типа с модуляцией магнитного поля в рабочем зазоре (до нескольких кГц). Опытный образец сепаратора индукторного типа, при участии авторов, был создан в лаборатории УрФУ на базе необмотанного ротора серийной машины постоянного тока. Конструктивно сепаратор представляет собой зубчатый ротор, над которым установлен Ш-образный магнитопровод с обмоткой возбуждения, питаемой постоянным током. Частота модулированной составляющей магнитного поля составляет 1-3 кГц.

Проведенные исследования показали, что зависимость электромагнитного усилия, действующего на извлекаемую частицу, от частоты магнитного поля носит экстремальный характер. Экстремум усилия в функции частоты вращающегося магнитного поля для частиц размером несколько миллиметров находится на уровне десятков килогерц, поэтому рабочие точки сепараторов индукторного типа при частотах в несколько кГц находятся на начальном прямолинейном участке характеристик. В этом случае электромагнитное усилие извлечения, в первую очередь, зависит от индукции и частоты магнитного поля – $F_{эм} \sim B_m^2 \cdot f$. Повышение частоты бегущего магнитного поля требует увеличения скорости вращения ротора, что осложняет изготовление сепаратора, поэтому основное внимание при исследованиях и проектировании электродинамических сепараторов индукторного типа уделяется возможности увеличения индукции бегущего магнитного поля.

Оценка значения величины индукции магнитного поля в активной зоне сепаратора проводилась двумя способами: экспериментально и расчетным путем. Для расчетов поля в активной зоне сепаратора, имеющей сложные границы, целесообразно использовать метод конечных элементов, например, реализованный в программном пакете Elcut. При проведении таких расчетов была выполнена оценка влияния насыщения магнитопровода и величины активного зазора на параметры магнитного поля в сепараторе. Для этого были проведены расчеты магнитного поля в заданных точках активной зоны для двух случаев: без учета кривой намагничивания стали магнитопровода $B(H)$ и с учетом ее (рис. 1). Как видно из графиков, приведенных на рис. 1, с уменьшением величины воздушного зазора активной зоны влияние намагниченности магнитопровода сказывается сильнее.

Можно отметить, что расчет без учета насыщения дает завышенные значения индукции (на 5-7 %) и, как следствие, завышение электромагнитных усилий на 10-15 %. При этом ошибка нарастает с уменьшением зазора в зоне сепарации.

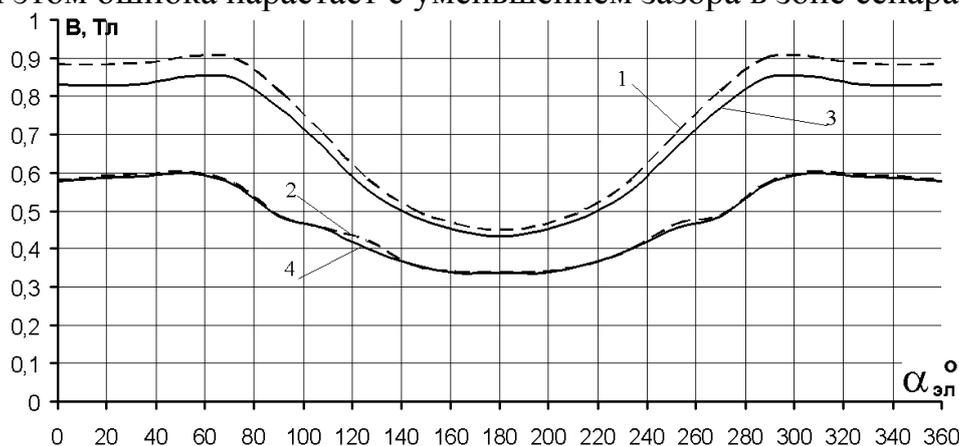


Рис. 1. Распределение магнитного поля в активной зоне сепаратора:

1, 2 – кривые без учета намагничивания для зазоров $\delta=3$ и 5 мм, соответственно;
3, 4 – то же с учетом намагничивания

Для электродинамического сепаратора индукторного типа важным показателем является коэффициент использования магнитного поля $k_{и}$ (в данном случае оценка ведется по первой гармонике), определяемый выражением:

$$k_{и} = \frac{B_{m1}}{B_{m0}}, \quad (1)$$

где B_{m1} – индукция первой гармоники магнитного поля в активной зоне сепаратора, зависящая от конфигурации зубцовой зоны ротора, Тл; B_{m0} – постоянная составляющая индукции магнитного поля в активной зоне, определяемая намагничивающей силой обмотки возбуждения, Тл.

Проведены исследования зависимости коэффициента $k_{и}$ от величины рабочего зазора δ (мм) и полюсного деления зубчатого ротора τ (мм). Такая зависимость показана на рис. 2.

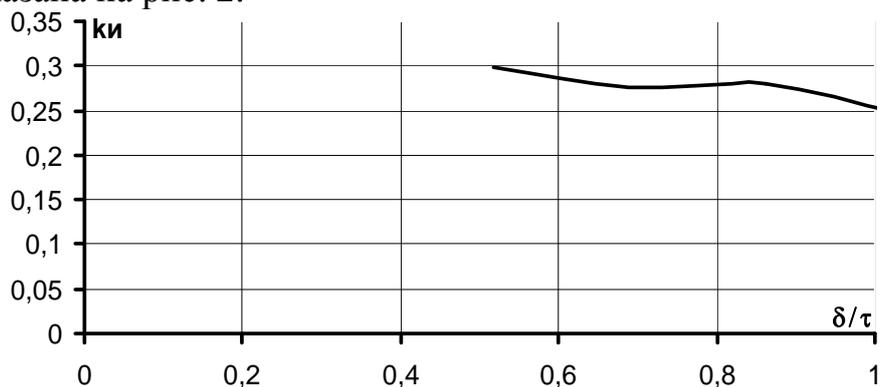


Рис. 2. Зависимость $k_{и}=f(\delta/\tau)$

Из рис. 2 видно, что с уменьшением относительной величины воздушного зазора возрастает коэффициент использования поля. При этом возрастают амплитуда бегущей составляющей магнитного поля и электромагнитное усилие, действующее на извлекаемые частицы, при заданном потреблении энергии обмоткой возбуждения.