УДК 621.385.21

С.И.КРИВОШЕЕВ, А.П.НЕНАШЕВ, Г.А.ШНЕЕРСОН

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ СЕПАРАТОР ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНОГО ЛОМА И ЛОМА БЫТОВОЙ ТЕХНИКИ

Разработана технология автоматического извлечения цветного металла из засоренного металлического лома при одновременной сепарации по плотности (отделение алюминия и его сплавов от меди, медных и цинковых сплавов). Предложенный метод сепарации может быть использован для обработки промышленных и бытовых отходов, загрязненных цветным металлом (например, старых холодильников, стиральных машин, легковых и грузовых автомобилей, бытовых отходов в виде пивных банок и т.п.). Разработан опытный образец магнитно-импульсного сепаратора.

The technology of automatic extraction of nonferrous metal from the littered melting metal scrap with simultaneous separation on density (sorting aluminium and its alloys from copper and copper and zinc alloys) is developed. The offered method of separation for processing the industrial and household waste products polluted by nonferrous metal (for example, old refrigerators, washing machines, automobile and lorries, household waste products with the contents of beer jars etc.) can be used. The prototype of magnetopulse separator is developed also.

При утилизации автотранспорта и бытовой техники типичным является предварительное дробление этих отходов в специальных молотковых дробилках на отдельные куски размером менее 100 мм. Степень измельченности выбирается достаточной для механического отделения друг от друга кусков различных материалов.

Последующей стадией технологического процесса переработки отходов является собственно сепарация разделенных кусков, среди которых, как правило, имеются различные металлы (обычно железные, алюминиевые и медные сплавы), а также неметаллы – резина, стекло, камни, пластик и т.д. Существующие методы сепарации не обеспечивают экономически эффективное разделение мелкоразмерной (менее 50 мм) фракции, содержащей до 50 % от исходной массы металла.

Магнитно-импульсный сепаратор решает проблему извлечения цветных металлов размерами меньше 50 мм с одновременным разделением меди и алюминия.

Действие установки (см. рисунок), состоит в том, что проводящие куски металлолома ускоряются и сбрасываются с конвейера при взаимодействии с сильным импульсным магнитным полем, которое создается соленоидом, расположенным под конвейером при протекании по нему разрядного тока конденсаторной батареи.

При разряде конденсаторной батареи на последовательно включенные резистор и соленоид индукция магнитного поля изменяется по закону

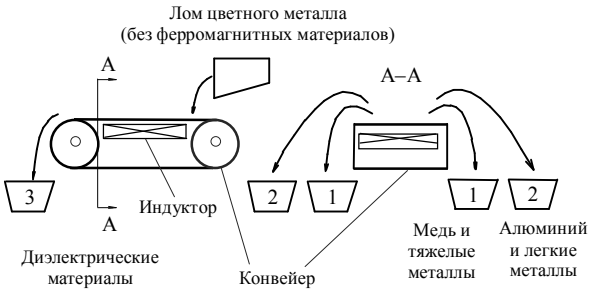


Схема магнитно-импульсного сепаратора

$$B = B_{\max}\, \mathrm{e}^{-t/\tau} \sin(\omega t),$$

где τ – постоянная времени затухания импульса тока, $\tau = 2L/R$; R – сопротивление контура; L – индуктивность соленоида; $\omega\tau >> 1$.

Круговая частота колебаний ω должна быть выбрана так, чтобы было выполнено условие резко выраженного поверхностного эффекта (скин-эффекта):

$$\sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0}} << d,$$

где ρ – удельное сопротивление проводника; μ_0 – магнитная постоянная; d – характерный размер тела (кусков металлолома).

В случае резко выраженного поверхностного эффекта сила, действующая на сплошную сферу объемом V, пропорциональна объему:

$$\overline{F} = -K_f V \operatorname{grad}\frac{B^2}{2\mu_0}$$

при выполнении следующего условия: $\left|\frac{B^2}{\operatorname{grad}(B^2)}\right| >> d$.

В формуле для силы фигурирует геометрический фактор K_f, равный 3/2 для сферы. Для других тел, за исключением тонких пластин, плоскость которых ориентирована перпендикулярно вектору индукции, геометрический фактор, как и для сферы, равен единице. Если в процессе ускорения тело не успевает сместиться на расстояние d, то действие поля можно характеризовать полным импульсом электромагнитной силы:

$$\overline{P} = -\frac{K_f V}{2\mu_0}\int_0^{\infty} \operatorname{grad} B^2 dt \approx -\frac{K_f V \operatorname{grad} B^2_{\max}}{2\mu_0}\tau_{eff},$$

где $\tau_{eff} \approx (1/4)\tau$ – эффективная длительность поля, характерное значение $\tau \approx 10^{-3}$ с.

Расстояние D, на которое смещается тело под действием импульса магнитного поля, определяется по баллистической формуле

$$D = \frac{(U_0)^2 \sin 2\alpha}{g} = (K_f \frac{\operatorname{grad} B^2_{\max}}{2\mu_0}\frac{\tau_{eff}}{\gamma})^2 \frac{\sin 2\alpha}{g},$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}8$ м/с^2; α – угол наклона вектора электромагнитной силы к горизонтальной плоскости.

Очевидно, что в этом случае возможна резкая зависимость расстояния D от плотности γ: $D = \text{const}/\gamma^2$.

При близких значениях K_f и $\operatorname{grad} B^2$ тела из алюминия и меди под действием импульса поля должны быть отброшены на расстояния, отличающиеся примерно в 10 раз. При этом необходимо заметить, что даже при различии значений геометрического фактора K_f в несколько раз зоны разлета алюминиевых и медных тел независимо от их формы и размера не будут перекрываться. Это обеспечивает разделение медных тел от алюминиевых: они попадают в разные бункеры 1 и 2 (см. рисунок). Кроме того, диэлектрические тела не подвергаются воздействию поля и остаются на конвейере, а затем сбрасываются с него в бункер 3. Следует заметить, что описанный здесь метод сепарации эффективен лишь для сплошных тел при резко выраженном скин-эффекте.

Для реализации предложенного метода сепарации разработан промышленный макет сепаратора. При производительности по исходному (содержание алюминия около 60 %) материалу 2 м^3/ч и потребляемой мощности 8 кВт промышленный макет сепаратора формирует на выходе продукт, в котором содержание алюминия более 90 %. Производительность установки определяется скоростью движения конвейера, плотностью потока материала, частотой срабатывания установки. Интервал между импульсами определяется мощностью зарядного устройства.

Потребительские характеристики данного сепаратора намного лучше известных в настоящее время сепараторов. В частности, известны сепараторы финской компании «Куосокоски», в которых используются так

называемые «тяжелые суспензии» – жидкости различной плотности. В этих сепараторах цветные металлы различаются по плотности. Достоинством сепараторов является высокая производительность (несколько десятков тонн в час). Наряду с указанными преимуществами им присущи существенные недостатки: высокая стоимость (до 4 млн долларов); высокие эксплуатационные расходы; экологическая опасность, так как «тяжелые суспензии» содержат целый набор вредных для окружающей среды веществ.

Модифицированный сепаратор автомобильного лома (модульного исполнения) можно использовать для извлечения пищевого алюминия из потока твердых бытовых отходов (ТБО). Модуль состоит из индуктора с корректирующим экраном, датчика, определяющего наличие цветного металла, блока управления зарядного устройства и генератора импульсных токов. Потребляемая мощность одного модуля 2 кВт, ширина прорабатываемой зоны (по ширине конвейера) одного модуля 300 мм. Количество модулей зависит от скорости и ширины основного конвейера.

В лаборатории СПбГПУ разработан и создан опытный образец сепаратора для извлечения алюминиевых банок из потока ТБО. Как показали испытания, качество отбора алюминиевых банок из потока ТБО близко к 100 %.

Вопросы взаимодействия поля с проводниками рассматриваются в лекционных и лабораторных курсах кафедры «Инженерная электрофизика и техника высоких напряжений» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.