

П. И. Ефремов, И. А. Шихов, А. Ю. Коняев,
Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

The article discusses the issues of recycling non-ferrous metals recovered from mixed solid waste production and consumption. It is shown that in order to obtain high-quality alloys, it is necessary to sort the scrap metal by types and groups of alloys.

Развитие предприятий по переработке твердых отходов производства и потребления идет по пути разделения отходов на фракции с последующим использованием утилизируемых фракций материалов (металлы, бумага, стекло, пластмассы и др.) в качестве вторичного сырья [1–2]. В смешанных твердых отходах наиболее ценными утилизируемыми фракциями являются цветные металлы [2]. Наиболее велико содержание цветных металлов в таких видах отходов, как лом электротехнических и электронных изделий, кабельный лом и др. В связи с увеличением доли алюминия в массе автомобилей (прогнозируется ее рост к 2025–2030 году до 30–40 % [3]) будет возрастать содержание алюминия в многотоннажном автомобильном ломе. С учетом этого необходимым звеном переработки твердых отходов становится извлечение из них цветных металлов. Как правило, первым этапом переработки указанных видов отходов является дробление, необходимое для раскрытия материалов. На следующем этапе используется магнитная сепарация, позволяющая удалить из смеси материалов черные металлы. В оставшемся потоке немагнитных материалов содержатся частицы цветных металлов и частицы неметаллов (изоляционные материалы, пластмассы, дерево, резина, стекло и т. п.).

Для извлечения из потоков неметаллов включений цветных металлов чаще всего используется электродинамическая сепарация [4–5]. Однако, получаемый при этом коллективный концентрат цветных металлов является низкокачественным металлургическим сырьем, поскольку содержит неконтролируемое количество разных металлов и сплавов.

Возникает потребность в сортировке лома цветных металлов, извлекаемого из отходов. Такая же задача сортировки лома цветных металлов актуальна при подготовке металлолома к металлургическому переделу на предприятиях вторичной цветной металлургии [5–6]. Возможности использования для решения такой технологической задачи электродинамических сепараторов рассматриваются в данной статье.

Работа электродинамических сепараторов основана на взаимодействии переменного магнитного поля с токами, наводимыми этим полем в частицах металла. Возникающее при этом электромагнитное усилие, зависящее, в первую очередь, от удельной электропроводности металлов и сплавов, заставляет частицы извлекаться из потока отходов. Ускорение, приобретаемое частицами металла, определяется не только электромагнитным усилием $F_{эм}$, но и массой частицы m . Поэтому для оценки возможности сортировки металлов и сплавов целесообразно использовать такой показатель, как удельное электромагнитное усилие $F_m = F_{эм}/m$ [Н/кг или м/с²] (отношение пускового электромагнитного усилия к массе извлекаемой частицы).

На рисунке 1 показаны зависимости удельного электромагнитного усилия F_m от крупности металлических частиц b , рассчитанные для некоторых сплавов, встречающихся в дробленом электротехническом или электронном ломе (деформируемый сплав алюминия АД31, литейный сплав алюминия АК12, сплав меди Л90). Расчеты выполнены для одного из опытно-промышленных сепараторов на основе трехфазных линейных индукторов, разработанных в УрФУ и предназначенных для обработки дробленого электронного лома [7].

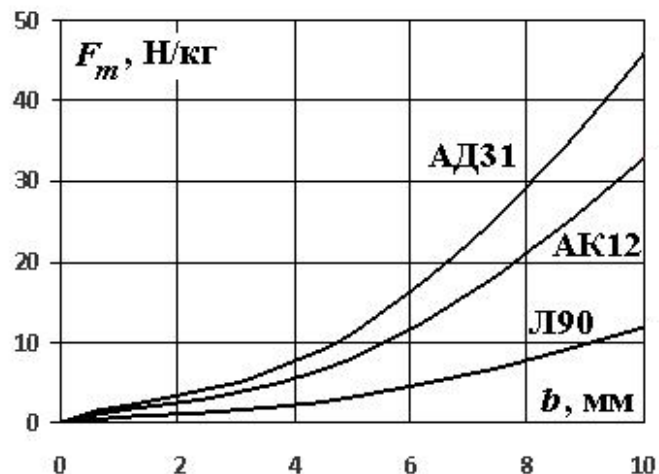


Рис. 1. Зависимости удельного электромагнитного усилия от крупности частиц

На рисунке 1 видно существенное различие удельных электромагнитных усилий (и ускорений частиц) для разных сплавов. Этим обеспечивается формирование разных траекторий движения частиц и селективный сбор их в различные приемники. Для оценки селективности разделения сплавов на первом этапе можно ввести коэффициент селективности $k_{\text{сел}}$, определяемый отношением удельных электромагнитных усилий соответствующих пар сплавов. Например, при одинаковой крупности частиц для первого и второго сплавов получаем $k_{\text{сел1}_2} = 1,39$, для первого и третьего – $k_{\text{сел1}_3} = 3,83$.

Подобные коэффициенты характеризуют контрастность физических свойств разделяемых сплавов и определяемое ей различие в траекториях движения частиц. В то же время имеющийся запас в различии свойств сплавов может оказаться недостаточным, поскольку в реальном производстве существует ряд факторов, снижающих селективность разделения сплавов. К таким факторам относится, например, наличие в потоке отходов частиц крупности. Например, на рис. 1 видно, что частицы сплава АД31 при крупности 8 мм не смогут отделяться от частиц сплава АК12 крупностью 10 мм. К снижению селективности разделения сплавов приводят также различия в форме частиц и ориентации их в магнитном поле.

С учетом сказанного исследования авторов направлены на поиск путей повышения селективности сепарации.

На кафедре «Электротехника» УрФУ разработан и создан электродинамический сепаратор для индукционной сортировки сплавов цветных металлов. Основу сепаратора составляет двухсторонний линейный индуктор, в рабочий зазор которого по наклонной плоскости подаются сепарируемые материалы. Частицы лома подаются из питателя в верхней части плоскости и движутся вдоль линии подачи. В процессе сепарации частицы приобретают разные траектории и собираются в нижней части плоскости в разные приемники.

В ходе экспериментальных исследований установки показано, что одним из простых способов повышения селективности разделения сепарируемых сплавов является увеличение размера плоскости между индуктором и приемниками продуктов разделения. Сказанное иллюстрируется зависимостями, показанными на рисунке 2 (B – отклонение частиц от линии подачи, L_{Π} – расстояние от края индуктора до приемников). В данных экспериментах использовались частицы алюминиевых сплавов с размерами $20 \times 20 \times 3$ мм.

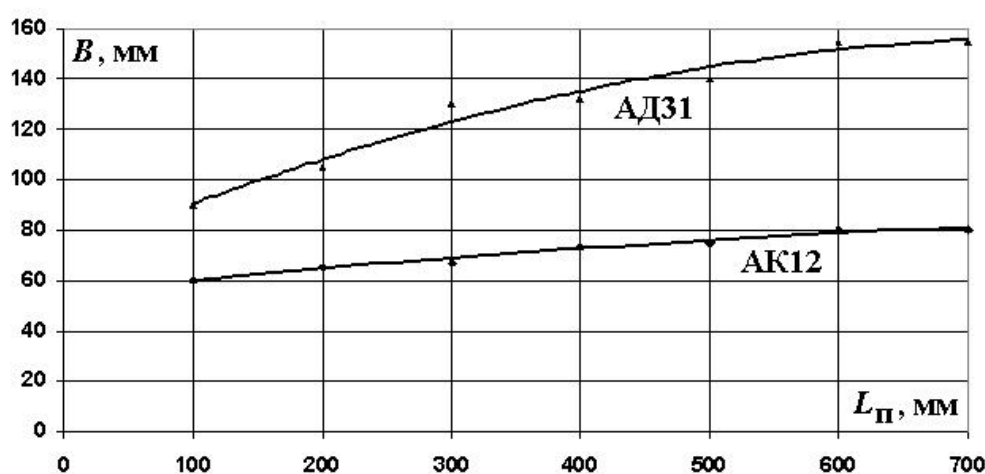


Рис. 2. Отклонения частиц разных сплавов алюминия от линии подачи в зависимости от размера плоскости подачи за индуктором

В рассматриваемом случае реальную селективность разделения сплавов можно оценивать по полученным отклонениям частиц от линии подачи. По данным эксперимента получаем для размера плоскости $L_{\Pi} = 100$ мм, $k_{\text{сел}} = 1,50$, а для размера $L_{\Pi} = 600$ мм, $k_{\text{сел}} = 1,94$.

Таким образом, выполненный анализ показывает, что для улучшения качества вторичных цветных металлов и сплавов, получаемых при переработке твердых отходов целесообразна сортировка по видам и маркам сплавов. Для такой сортировки можно использовать электродинамические сепараторы на основе трехфазных линейных индукторов.

Исследования показывают, что селективность разделения металлов и сплавов зависит от многих факторов, влияние которых на эффективность сортировки требует дополнительного изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 г. (утв. Распоряжением Правительства РФ от 25.01.2018 № 84-р) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_289114/ (дата обращения: 28.03.2022).
2. Шубов, Л. Я. Технология отходов / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, А. В. Олейник. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 352 с.
3. Modaresi, R., Lovik, N., Muller, D. B. Component- and alloy-specific modeling for evaluating aluminium recycling strategies for vehicles // Journal of Metals. – 2014. – Vol. 66, Issue 11. – P. 2262–2271.
4. Wilson, R. J., Veasey, T. J., Squires, D. M. Application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes // Minerals Engineering. – 1994. – № 7. – P. 975–984.
5. Колобов, Г. А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М.: Металлургия, 1993. – 288 с.
6. Коняев, А. Ю., Коняев, И. А., Назаров, С. Л. Применение электродинамических сепараторов в технологиях вторичной цветной металлургии // Цветные металлы. – 2012. – № 11. – С. 22–26.

7. Воскобойников, В. В., Дистанов, А. А., Коняев, А. Ю., Назаров С. Л. , Якушев Н. С. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов // Твёрдые бытовые отходы. – 2014. – № 2. – С. 26–30.

P. I. Efremov, I. A. Shikhov, A. Yu. Konyaev,
Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

**INCREASING THE EFFICIENCY OF INDUCTION SORTING
METAL-CONTAINING SOLID WASTE**