

## **ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ИНДУКЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Одной из актуальных задач развития экономики России является увеличение производства вторичных цветных металлов, поскольку получение металлов из рудного сырья сталкивается с целым рядом экономических и экологических проблем. Все возрастающие затраты на разработку минерального сырья, связанные с уменьшением содержания металлов в рудах, с увеличением транспортных расходов из-за удаленности месторождений, большие энергетические затраты на производство цветных металлов и расходы на природоохранные мероприятия приводят к увеличению себестоимости цветных металлов, производимых из первичного сырья, и делают такие производства экономически не выгодными. Подтверждением сказанному является закрытие производства первичного алюминия на ряде алюминиевых заводов Свердловской области. В то же время спрос на цветные металлы неуклонно растет [1-3]. Этим обусловлена необходимость вовлечения вторичного сырья (рециклинга металлов) в производства цветных металлов и изделий из них. В промышленно развитых странах доля рециклинга все время возрастает. Степень рециклируемости некоторых цветных металлов и уровень экономии энергии при использовании вторичного сырья показаны в табл. 1 [1].

Таблица 1

Доля рециклинга в производстве металлов и уровень экономии энергии  
(по оценкам за 2012 г.), %

Металлы	США	ЕС	Экономия энергии
Алюминий	36	39	95
Медь	35	32	85
Цинк	53	20	60
Свинец	83	74	60

Нетрудно видеть, что наибольшую экономию энергии можно получить при производстве алюминия из вторичного сырья, что определяет ускоренный рост таких производств. Источниками вторичного алюминия являются промышленные технологические отходы, а также лом алюминия, извлекаемый из различных видов твердых металлосодержащих отходов (прежде всего, из автомобильного лома, лома электро- и радиотехнических изделий, твердых бытовых отходов).

Производство вторичных цветных металлов в нашей стране уступает достигнутому в ведущих промышленных странах уровню как по количественным (доля вторичных металлов от всего производства), так и по качественным (качество сплавов) показателям [4]. Одной из причин такого положения является отставание в области разработки и производства оборудования для извлечения цветных металлов из разных видов отходов и для вспомогательных технологических операций, необходимых на стадии подготовки лома и отходов к металлургическому переделу и обеспечивающих свойства вторичного сырья, требуемые для металлургических процессов.

Проблема заключается в том, что значительная часть лома цветных металлов поступает на металлургические заводы в неразделанном и несортированном виде. Непосредственная плавка несортированного лома сопровождается рядом нежелательных явлений, таких как:

- потери легирующих добавок (в первую очередь, легкоплавких: олова, свинца, цинка);
- выпуск низкокачественных сплавов (например, для алюминия основными загрязнителями являются железо, кремний, марганец);
- повышение энергозатрат, связанное как с увеличением времени плавки, так и с расходами на последующую очистку расплавов;
- ухудшение свойств шлака и выделение вредных выбросов, обусловленные наличием в ломе неметаллических включений (резина, пластмассы и т.п.);
- потери основного металла на угар при плавке металлолома с фрагментами, существенно отличающимися по размерам (например, стружки и кускового лома).

На предприятиях нашей страны преобладает ручная видовая сортировка лома и отходов цветных металлов по внешним признакам (цвет, характер излома, наименование деталей и изделий и др.) [5]. Ручная сортировка малопродуктивна и не позволяет разделять сплавы, не имеющие визуальных отличий, но разные по химическому составу. Разделение по маркам сплавов возможно только по результатам химического или спектроскопического анализа. Однако указанные методы малопродуктивны для сортировки дробленого лома. В то же время дробление лома и отходов во многих случаях необходимо для раскрытия отдельных материалов (в случае автомобильного лома, лома электро- и радиотехнических изделий и т.п.). Отсутствие такой сортировки приводит, например, к тому, что из вторичного алюминиевого сырья получают только малоответственные литейные сплавы. В то же время, получение селективных концентратов алюминиевых сплавов позволит вовлечь их в производство высококачественных сплавов и изделий из них [6-7].

В зарубежной практике технологии подготовки вторичного сырья и соответствующее оборудование начали разрабатываться в 1970-1980-е годы. В настоящее время машиностроительные фирмы многих стран выпускают оборудование, позволяющее обрабатывать различные виды металлоотходов с учетом источников их происхождения и требуемого качества выпускаемой из отходов продукции. Такое оборудование обеспечивает фрагментацию крупногабаритного лома, дробление, измельчение и сортировку лома и отходов. Удаление из лома и отходов неметаллических включений, сортировка цветных металлов по крупности, а также по видам металлов и группам сплавов являются наиболее сложными операциями на стадии подготовки вторичного сырья. В промышленно развитых странах широкое применение при сборе и обработке лома и отходов цветных металлов находит электродинамическая сепарация в бегущем магнитном поле [8-10]. При этом извлекаемые из потока материалов металлические предметы и частицы играют роль вторичного элемента индукционной электрической машины. Бегущее магнитное поле наводит в них вихревые токи, взаимодействие которых с полем обеспечивает создание электромагнитных сил извлечения. Разработка установок электродинамической сепарации является одним из научных направлений кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета.

Индукционная сортировка дробленого лома цветных металлов, предназначенная для разделения его по видам и маркам сплавов, является одной из наиболее сложных технологических операций, дающих в то же время значительный экономический эффект. Проблема заключается в том, что разделяемые сплавы имеют близкие физические свойства (удельную электропроводность  $\gamma$  и плотность  $\rho$ ). При этом на первый план при разработке электродинамических сепараторов выходят показатели, характеризующие селективность разделения. Авторы предлагают оценивать возможность качественного разделения сплавов с помощью коэффициента селективности  $K_{\text{сел}}$ , в качестве начального значения которого принимается отношение показателей  $\gamma/\rho$  соответствующих сплавов. Например, в дробленном автомобильном

ломе могут присутствовать частицы деформируемых алюминиевых сплавов ( $\gamma = 28$  МСм/м,  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup>) и частицы литейных сплавов ( $\gamma = 20$  МСм/м,  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup>). При этом начальное значение коэффициента селективности составляет  $k_{\text{сел}} = 1,4$ . В идеале это определяет разницу в электромагнитных усилиях, действующих на частицы одинаковых размеров, а значит и разницу в траекториях их движения. Изменение параметров бегущего магнитного поля (частота, полюсное деление) или отклонения размеров частиц от заданных будут приводить к снижению коэффициента селективности. Это следует учитывать на стадии разработки установок. Например, известно, что зависимости электромагнитного усилия, действующие на проводящие частицы в бегущем магнитном поле, от частоты  $f$  являются нелинейными. При этом соотношение электромагнитных усилий для указанных видов сплавов будет изменяться с изменением частоты. Пример такого изменения показан на рис.1. Расчеты выполнены для опытной установки электродинамической сепарации на основе двухсторонней линейной индукционной машины (ЛИМ), имеющей следующие данные: полюсное деление  $\tau = 75$  мм, немагнитный зазор в активной зоне  $\delta = 12$  мм, удаление пластин от поверхности индуктора  $h = 5$  мм, амплитуда магнитной индукции в середине активной зоны  $B_m = 0,132$  Тл. В качестве вторичного элемента (ВЭ) использованы пластины с размерами 40×40 мм разной толщины ( $d = 2, 4, 6$  мм – цифры на графиках).

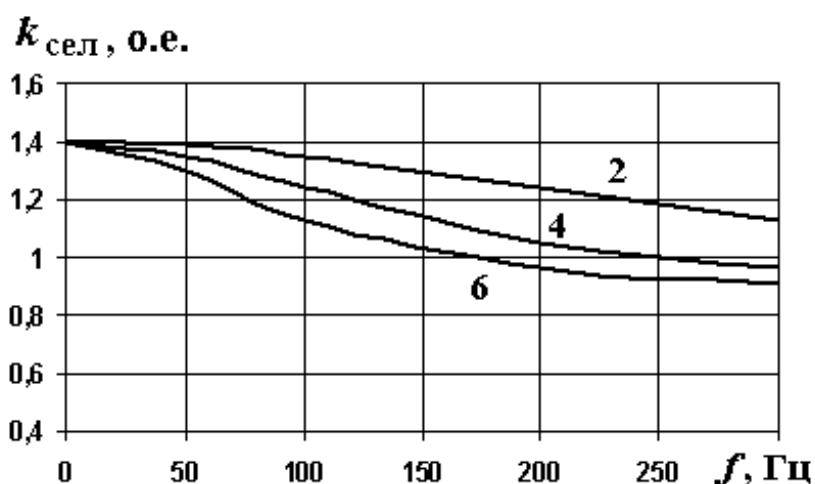


Рис. 1. Изменение коэффициента селективности при изменении толщины частиц и изменении частоты магнитного поля

Из приведенных результатов видно, что с увеличением толщины частиц и с ростом частоты магнитного поля коэффициент селективности падает, увеличивается взаимозасорение фракций. При  $k_{\text{сел}} \leq 1,0$  сортировка сплавов становится невозможной. Лучшее качество сортировки получается при пониженных частотах поля. Например, в данном примере целесообразно выбрать частоту  $f = 50$  Гц.

Оценка коэффициентов сепарации позволяет также определить целесообразную крупность частиц сортируемых сплавов, которую нужно обеспечить при подготовке лома и отходов цветных металлов (дроблении и сортировке их по крупности). Например, на рис. 2 приведены зависимости коэффициентов селективности от толщины ВЭ для сортировки рассматриваемых групп алюминиевых сплавов для варианта ЛИМ с  $\tau = 0,132$  м и  $f = 50$  Гц при размерах квадратных пластин  $a = b = 40, 50, 60$  мм (цифры на графиках).

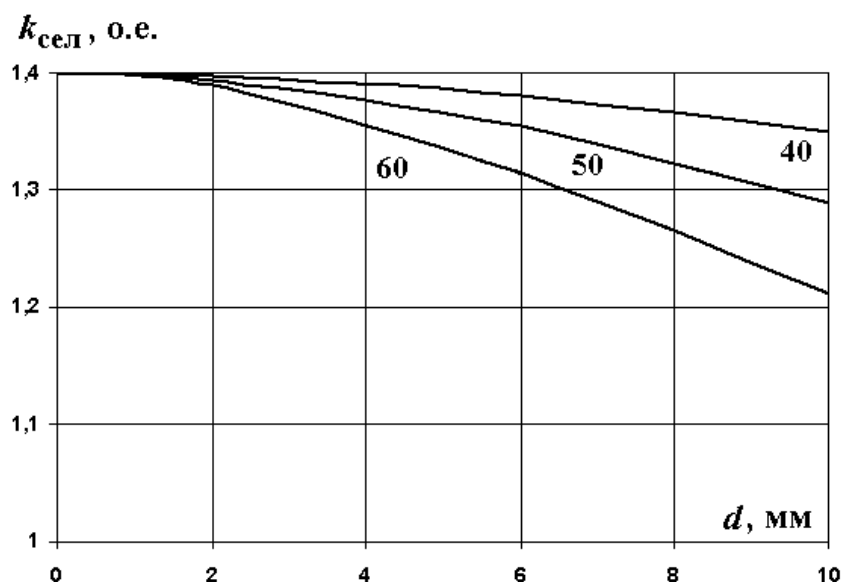


Рис. 2. Влияние размеров сепарируемых частиц на селективность сортировки алюминиевых сплавов

Как видно на рис. 2, коэффициенты селективности существенно снижаются при увеличении размеров и толщины ВЭ (извлекаемых частиц), что уменьшает надежность сортировки сплавов. Для рассматриваемого случая сортировки алюминиевых сплавов при указанных параметрах ЛИМ рекомендуется крупность частиц не более 40 мм. Нетрудно видеть, что при дальнейшем уменьшении размеров ВЭ коэффициенты селективности приближаются к их начальным значениям.

Таким образом, выполненные исследования показали, что оценка факторов, влияющих на значение коэффициента селективности, позволяет выбирать рациональные параметры электродинамического сепаратора, а также определяет требования, предъявляемые к подготовке дробленого лома по крупности.

#### Список использованных источников

1. Татаркин, А.И. Тенденции и перспективы развития рециклинга металлов / А.И. Татаркин, О.А. Романова, В.Г. Дюбанов, А.В. Душин, О.С. Брянцева // Экология и промышленность России, 2013, № 5, с. 4-10.
2. Бейлис К., Цесмелис К. Роль рециклинга в устойчивом развитии рынка алюминия // Цветные металлы, 2014, № 5, с. 71-76.
3. The problem of aluminium recycling // Recycling International, 2007, № 3, р. 14-16.
4. Золотаревский В.С. Вторичные алюминиевые сплавы: состояние и перспективы // Цветные металлы, 2004, № 7, с. 76-80.
5. Оборудование для вторичной обработки металлов и сплавов / Ю.П. Бойцов, С.Л. Иванов, А.Б. Рыжих. СПб.: СПбГГИ(ТУ), 2003. 55 с.
6. Макаров Г.С. Высокие технологии в рециклинге алюминия: возможности и перспективы // Цветные металлы, 2006, № 8, с. 112-117.
7. Овсянников Б.В. Изготовление деформированных изделий с использованием лома и отходов алюминиевых сплавов // Цветные металлы, 2014, № 5, с. 66-70.
8. Non-ferrous metals separators Lindemann / URL: // [www.metsominerals.com](http://www.metsominerals.com).
9. Separation technology / URL: // [www.cogelme.com](http://www.cogelme.com).
10. Non-ferrous metal separator / URL: // [www.steinert.de](http://www.steinert.de).