

Е.И. НАЗИМКО, д-р. техн. наук, **А.Н. КОРЧЕВСКИЙ**, ст. преп.,
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

С.С. АПОНАЩЕНКО, инж.,
(Украина, Донецк, ООО «Скрап»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОСХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ

Ощущающийся в последние годы дефицит цветных металлов в промышленности приводит к необходимости вовлечения в производство таких сырьевых ресурсов как вторичное сырье [1]. Отходы различных производств, включая и отходы потребления, могут служить одним из источников получения цветных металлов. Сюда можно отнести и лом цветных металлов, использование которого во вторичной цветной металлургии будет способствовать не только экономии материальных ресурсов, но и охране окружающей среды.

Проводившиеся ранее исследования свойств этого вида вторичного сырья показали, что лом цветных металлов чаще всего представлен кусками кабеля и проводников тока, бытовых радиотехнических и электронных приборов. Металлическая часть лома представлена медью, алюминием и другими металлами, а содержание неметаллических материалов в неразделенном ломе доходит до 56%. Его вторичная переплавка обеспечивает получение некондиционных сплавов, однако при этом увеличиваются потери ценных металлов, а также на 14% повышаются энергетические затраты. Существующие на данном этапе развития техники технологии переплавки приводят к загрязнению окружающей среды продуктами разложения пластмасс и изоляционных материалов.

Отсюда вытекает актуальность исследований, направленных на поиск эффективных методов разделения и аппаратов для их реализации.

Подготовительные операции лома к металлургическому переделу включают дробление компонентов и разделение их на виды и группы, для чего необходимо знать их свойства с позиций дальнейшего обогащения. Однако, эти свойства недостаточно изучены, что создает определенные ограничения при выборе способа разделения.

С учетом свойств данного объекта обогащения и особенностей его технологической переработки предпочтительным является применение сухих гравитационных процессов разделения компонентов, к которым относится и пневматическая сепарация, которая получила относительно широкое распространение в отечественной и особенно зарубежной практике для разделения сыпучих материалов. Для данного процесса наибольшее значение имеют такие параметры исходного материала как форма, плотность, коэффициент трения и другие свойства частиц, на различии в которых и основан способ разделения пневматической сепарацией [2, 3].

Выполненный обзор литературных источников и исследовательских работ в этой области позволил выделить основные группы применяемых машин: вибрационные, пневматические, пневмовибрационные, ферромагнитные [4]. Физические основы процессов разделения для определенного типа машин являются разными, каждый класс аппаратов имеет определенные достоинства и недостатки [5-7].

Целью настоящей работы является исследование скорости частиц материалов, составляющих лом цветных металлов в восходящем потоке воздуха. Основной задачей пневматической сепарации при разделении сложного лома цветных металлов является получение металлических концентратов в ходе отделения неметаллических и металлических составляющих.

Обобщение свойств и деталей строения проводов и кабелей позволяет выделить основные особенности их строения: 1) наличие одной или нескольких жил – проводников тока; 2) разделение этих жил изоляцией (резиновой, полиэтиленовой или пластмассовой); 3) наружная оболочка из стальной брони; 4) покрытие (битум или пластик).

При разделении частиц лома в рабочем пространстве сепаратора их траектории будут зависеть от скоростей перемещения, которые определяются при прочих равных условиях формой и весом частиц. Удельный вес компонентов сложного лома, на базе которого при определенных допущениях (шарообразная форма частиц) можно определить вес частиц, представлен в табл. 1. Результаты расчета веса частиц показаны на рис. 1.

Таблица 1

Материал	Удельный вес, кг/м ³
Алюминий	2700-2750
Медь	8900
Бумага	600
Пенька битуминизированная	1200-1400
Гетинакс	1200-1300
Полимер - поливинилхлорид	1420
Пластик – полиэтилен	920-1200
Резина	1200-1300

При допущении, что все частицы имеют форму, близкую к шарообразной, можно предположить, что скорость частиц одинакового веса в восходящем потоке воздуха в сепараторе будет одинаковой, т.е. такие частицы являются равнопадаемыми. Эти особенности исходного сырья необходимо учитывать при определении шкалы классификации питания пневматического сепаратора. Важным для данного процесса разделения является исследование падения частиц различного состава и крупности в воздушной среде в свободных и стесненных условиях.

При движении частиц в воздушной среде основным параметром, характеризующим их перемещение, является конечная скорость падения или скорость витания.

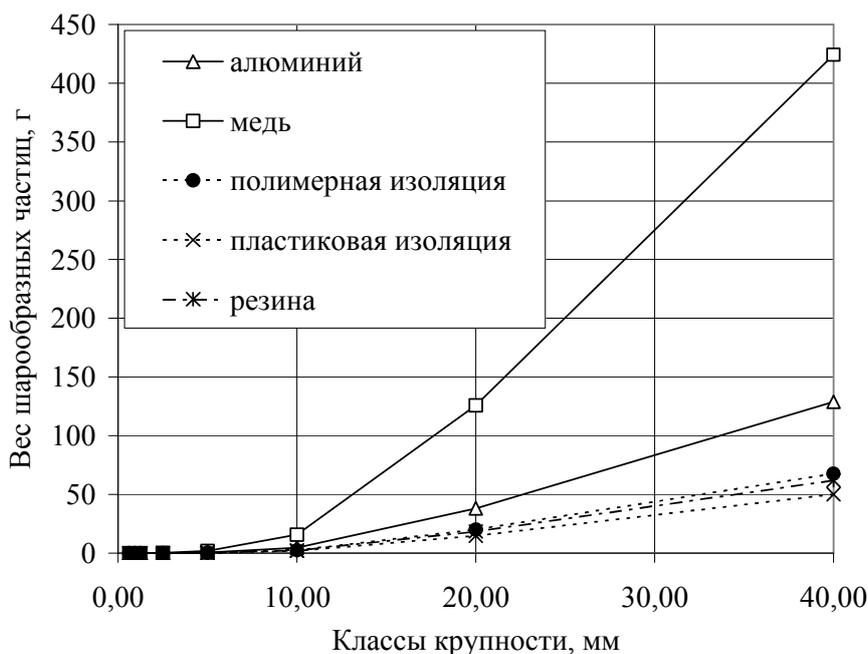


Рис. 1. Распределение веса шарообразных частиц сложного лома цветных металлов в зависимости от крупности

В работах М.Д. Барского показано, что скорость падения в воде частиц полихлорвинила, железорудного концентрата и ряда других материалов крупностью от 1 до 10 мм близка к скорости их витания по оси трубы в противотоке. Поэтому за основной параметр, определяющий характер движения частиц исследуемых материалов, принята скорость их витания. Расчет выполнен для частиц сферической формы по интерполяционным формулам, связанным с аппроксимацией кривой Рэлея. Эта кривая условно делилась на 6 участков, каждый из которых заменялся прямой линией. Вид расчетной формулы определялся по параметру Лященко:

$$L = (\pi d^3 / 6) \Delta (g / \nu^r). \quad (1)$$

Критерий Архимеда связан с параметром Лященко соотношением:

$$Ar = 6 L / \pi. \quad (2)$$

После подстановки выражения (1) в соотношение (2) получено:

$$Ar = g d^3 \Delta / \nu. \quad (3)$$

Здесь d – диаметр шарообразной частицы, Δ – разность плотностей твердой фазы и среды, отнесенная к плотности среды, $\Delta = (\rho_m - \rho_{cp}) / \rho_{cp}$.

С другой стороны параметр Лященко может быть определен по числу Рейнольдса и сопротивлению среды по формуле:

$$L = Re^2 \psi. \quad (4)$$

Параметр Рейнольдса определялся по выражению:

$$Re = Ar / (18 + 0.6 (Ar)^{1/2}). \quad (5)$$

В данной работе скорость витания вычислялась по формуле В.А. Олевского:

$$v = K d^{\beta n-1} \nu^{1-2n} \Delta^n, \quad (6)$$

где K и n – коэффициенты, принятые для воздуха по табличным данным; значение ν принято равным $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с. В зависимости от значения параметра Лященко для частиц разного размера и плотности получены разные значения показателей степени в формуле (6) и соответственно вид расчетной формулы и значения скоростей витания, показанные в табл. 2.

Таблица 2.

Материал	Крупность, мм	Расчетная формула для скорости витания
Полиэтилен, резина, гетинакс	1,0	$v = K d \nu^{-1/3} \Delta^{2/3}$
Поливинилхлорид, алюминий, цинк, медь, свинец	1,0	$v = K d^{2/3} \nu^{-1/9} \Delta^{5/9}$
Полиэтилен, поливинилхлорид, гетинакс, алюминий	2,5	$v = K d^{2/3} \nu^{-1/9} \Delta^{5/9}$
Резина, цинк, медь, свинец	2,5	$v = K d^{1/2} \Delta^{1/2}$
Полиэтилен, резина, поливинилхлорид, гетинакс, алюминий, цинк, медь, свинец	5; 10; 20	$v = K d^{1/2} \Delta^{1/2}$

Зависимость скорости витания от крупности частиц для различных материалов, составляющих сложный лом цветных металлов, после его дробления показана на рис. 2. Статистический анализ полученных значений расчетной скорости витания свидетельствует о том, что для всех материалов зависимость скорости от размера частиц наиболее точно описывается логарифмической функцией. Уравнения и параметры аппроксимации представлены в табл. 3.

Таблица 3.

Материал	Зависимость скорости от крупности частиц	Значение параметра аппроксимации R^2
Полиэтилен	$v = 5.9 \ln d + 2.9$	0.9855
Резина	$v = 6.2 \ln d + 3.3$	0.984
Гетинакс	$v = 6.2 \ln d + 3.3$	0.9839
Поливинилхлорид	$v = 6.2 \ln d + 4.5$	0.9803
Алюминий	$v = 8.6 \ln d + 6.8$	0.978
Цинк	$v = 13.4 \ln d + 10.9$	0.9588
Медь	$v = 14.98 \ln d + 12.3$	0.9581
Свинец	$v = 16.8 \ln d + 14.1$	0.9556

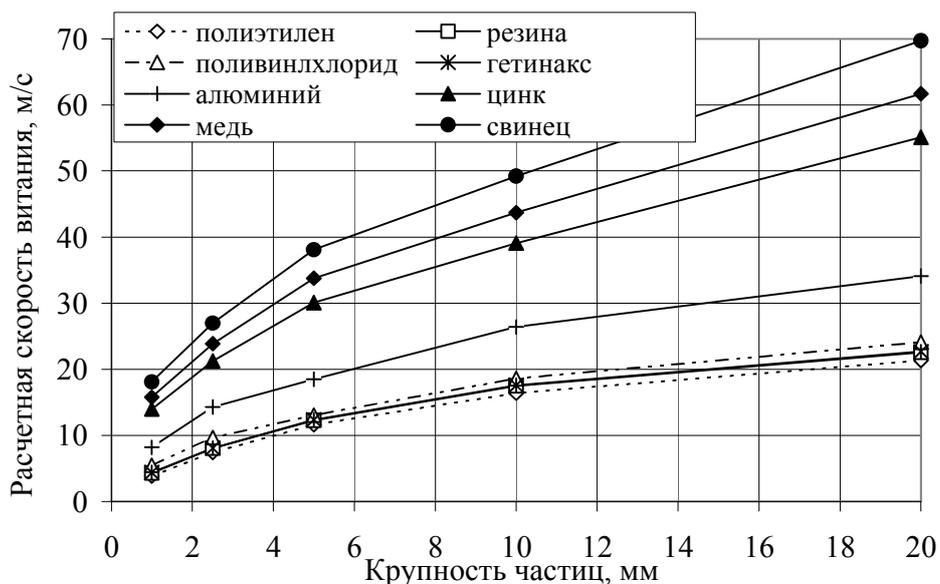


Рис. 2 – Скорость витания для различных материалов, составляющих лом цветных металлов, в зависимости от крупности частиц

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что для гетинакса и резины, являющихся изоляционными материалами, скорость витания частиц практически одинакова. Это позволяет предполагать, что разделение этих материалов методом пневматической сепарации невозможно. Близкие величины скорости витания к указанным материалам имеют также полиэтилен и поливинилхлорид. Т.е. разделение изоляционных материалов между собой будет крайне затруднено. Для разделения металлов необходимо подбирать соответствующие режимы сепарации. Наиболее легко от остальных металлов будет отделяться алюминий. Более крупные частицы имеют большие отличия в скоростях движения в восходящем потоке, следовательно, их разделение будет наиболее эффективным.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение скоростей падения частиц сложного лома цветных металлов в стесненных условиях.

Список литературы

1. **Гринев А.Ф.** Вступительная статья // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2006.- №1. – С. 1-3.
2. **Сухин Н.В., Корчевский А.Н., Назимко Е.И.** Применение вибрационного пневматического сепаратора при разделении лома цветных металлов // *Збагачення корисних копалин*. – 2004. - № 20 (61). – С. 83-88.
3. **L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky, I.N. Druts** Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation // *Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. 2006. p. 785-798.*
4. **Кофанов А.С., Чумак В.Ф., Уманец А.С., Ефремов Ю.И.** Обогащение полезных ископаемых пневмовибрационным способом // *Збагачення корисних копалин*. – Дніпропетровськ. – 2003. – С. 96-101.

5. **В.Д. Анохин, Д.А. Плинс, В.Н. Монахов.** Вибрационные сепараторы. М.: Недра, 1991. – 156 с.
6. Оборудование для обогащения угля: Спр. пособие / Под ред. Б.Ф. Братченко. М.: Недра. – 1979. – 335 с.
7. **Р.О. Берг.** Технология гравитационного обогащения. М.: Недра. – 1990. – 574 с..

*Поступила в редколлегию 18.04.2007 г.
Рекомендована к публикации д.т.н. А.Д. Полуляхом*