

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*Корчевский А.Н., Назимко Е.И., Донецкий национальный технический университет,
Украина*

Апоначенко С.С., ООО «Скрап», Украина

Приведены расчетные формулы и результаты определения скоростей витания и стесненного движения частиц меди, алюминия, текстолита и резины, составляющих сложный лом радиоэлектронной промышленности.

В современных условиях, когда запасы богатых руд практически исчерпаны, вторичная переработка материалов, содержащих благородные и редкие металлы, приобретает особое значение. Технический прогресс в электронной промышленности привел к появлению новых видов лома и отходов, представляющих собой агрегаты различных материалов и металлов, проводников и диэлектриков, сплавов. Содержание неметаллических материалов в неразделенном ломе радиоэлектронной аппаратуры колеблется по разным данным от 45 до 56%, а металлическая часть представлена медью, алюминием, никелем, серебром, золотом, палладием, оловом. Суммарное количество металлов составляет порядка 3 кг/т.

Во многих случаях отходы изделий из благородных металлов содержат в себе относительно больше благородных металлов, чем руды, из которых добываются первичное золото, серебро, платина. Поэтому отходы выгодно перерабатывать, так как использование ценных компонентов из них все же рентабельно вследствие высокой стоимости этих компонентов [1]. В мировом производстве металлов использование вторичного металлосодержащего сырья постоянно увеличивается. В ряде промышленно развитых стран производство вторичных металлов составляет 30-40% от общего объема производства отрасли [2].

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. Однако исследование свойств этих материалов с точки зрения их разделения не проводилось.

Таким образом, исследования, направленные на поиск методов разделения такого сложного по составу и свойствам сырья являются актуальными.

Для данного сырья предпочтительным методом его разделения является пневматическая сепарация, основанная на использовании свойств частей сложного лома после его предварительного дробления. Указанный процесс гравитационного обогащения основывается на различии в таких параметрах исходного материала как форма, плотность, коэффициент трения и другие свойства частиц [3, 4].

Целью настоящей работы является исследование скорости частиц материалов, составляющих лом цветных металлов, в восходящем потоке воздуха.

Задачи исследования состоят в оценке аэродинамических характеристик разделяемых компонентов и определении диапазона применимости различных расчетных формул в зависимости от режима движения частиц разной формы.

Обобщение свойств и деталей строения проводов и кабелей позволило выделить основные особенности их строения [5, 6] 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 [5]. В работе [5] приведены скорости витания для частиц шарообразной формы. Вместе с тем продукты дробления сложного лома

имеют самую разнообразную форму [7, 8]. При дроблении проводников тока форма частиц близка к правильной геометрической форме, а для лома кабеля характерна неопределенная геометрическая форма.

Для оценки аэродинамических характеристик такого неравномерного по форме материала выполнены расчеты скорости витания частиц, форма которых отличается от сферической. Учесть форму частиц можно с помощью коэффициента сферичности, определяемого как отношение поверхности равновеликого по объему шара к действительной поверхности частицы:

$$K_s = d^2_{\text{э}} / d^2_s . \quad (1)$$

Здесь K_s – коэффициент сферичности, $d_{\text{э}}$ – диаметр эквивалентного по объему шара, м; d_s – диаметр шара с площадью поверхности, равной поверхности данной частицы, м.

В работах Б.В. Кизевальтера указывается, что скорость падения частицы правильной геометрической формы может быть определена из выражения:

$$v = K v_{\text{э}}, \quad (2)$$

где K – коэффициент, учитывающий форму частицы, $v_{\text{э}}$ – скорость падения эквивалентного по объему шара, м/с.

Между коэффициентом, учитывающим форму частиц, и коэффициентом сферичности существуют определенные соотношения в зависимости от значений параметра Лященко для эквивалентного шара:

- для параметра Лященко $L < 350$

$$K = K_s^{1/2} . \quad (3)$$

- для $L > 5 \cdot 10^4$

$$K = 1,245 (K_s / (8,95 - 7,4^{K_s}))^{1/2} . \quad (4)$$

При расчете скоростей витания частиц лома, имеющих правильную геометрическую форму, приняты расчетные значения коэффициента формы частиц K с учетом максимального приближения к реальным размерам частиц. Кроме того, для этих частиц параметр Лященко соответствует концу переходной области и зоне турбулентного движения, поэтому поправочный коэффициент формы вычислялся по соотношению (4). Результаты расчетов показаны на рис. 1 и 2.

Зависимость скорости витания с достаточной степенью точности может быть описана линейным уравнением. Уравнения и параметры аппроксимации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Аналитические зависимости скорости витания для частиц разных материалов правильной геометрической формы

Материал	Зависимость скорости от эквивалентного диаметра	Значение параметра аппроксимации R^2
Резина	$v = 0.596 d_{\text{э}} + 3.94$	0.896
Текстолит	$v = 0.644 d_{\text{э}} + 4.09$	0.921
Алюминий	$v = 0.801 d_{\text{э}} + 5.51$	0.935
Медь	$v = 1.47 d_{\text{э}} + 9.65$	0.931

Аналитическая зависимость для скорости витания может быть представлена также полиномом третьей степени, что является более точным, т.к. параметр аппроксимации имеет

большее значение: $R^2 = 0,91-0,94$. Однако, для технологических расчетов достаточно и линейного приближения. Скорость витания частиц резины дискообразной формы описывается полиномом четвертой степени (рис. 2).

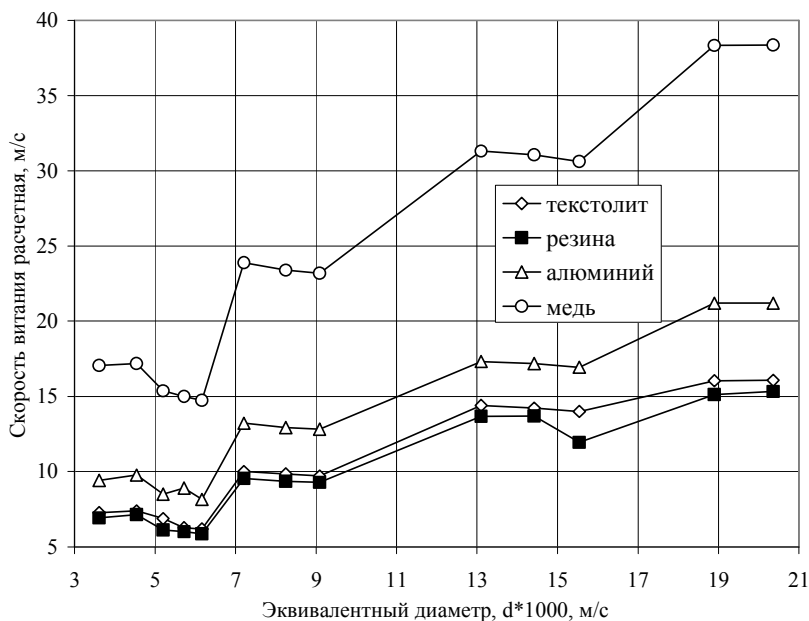


Рис. 1. Расчетная скорость витания для частиц правильной геометрической формы

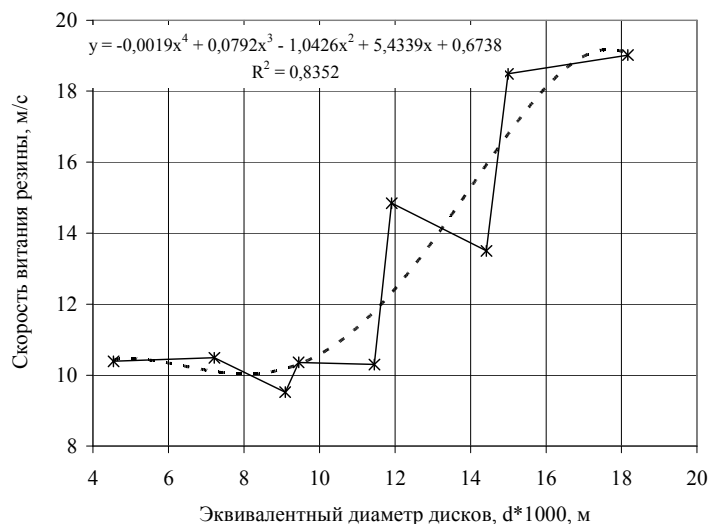


Рис. 2. Скорость витания частиц резины дискообразной формы

Из данных, представленных на рис. 1 и 2 следует, что в целом при увеличении эквивалентного диаметра частиц скорость витания повышается. Зависимость скорости витания с достаточной степенью точности может быть описана линейным уравнением. Следует ожидать относительно точного разделения меди от остальных материалов. Разделение частиц текстолита и резины в разные продукты является весьма проблематичным. Для выделения алюминиевых частиц необходимо подбирать определенные режимы пневматической сепарации.

Для описания перемещения массы частиц сложного лома, движущихся в рабочем пространстве пневматического сепаратора, необходимо использовать закономерности стесненного движения. Скорость стесненного движения материала будет зависеть от степени

его разрыхленности. Для определения расчетных значений скорости стесненного движения использовалась формула Лященко, в соответствии с которой

$$V_{cm} = V_{вум} m^\lambda, \quad (5)$$

где $V_{вум}$ – скорость витания частиц, m – коэффициент разрыхленности материала, λ – показатель степени, зависящий от характеристик материала.

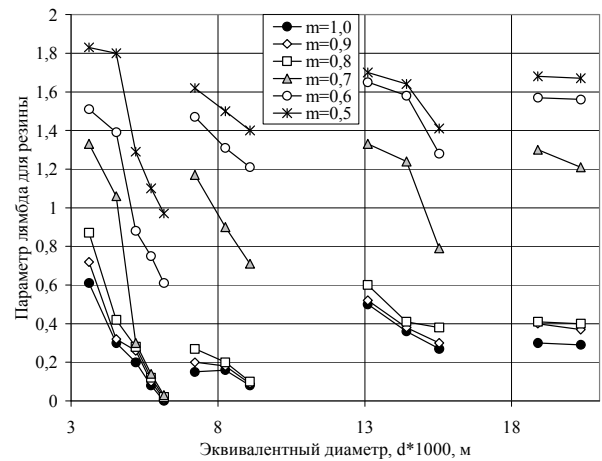
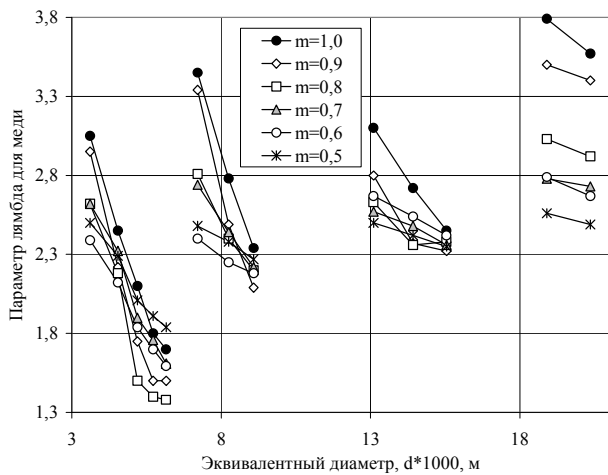
Значения параметра λ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Значения параметра λ для частиц различной крупности
в зависимости от разрыхленности материала

Диаметр эквивалентный, $d * 1000$, м	Разрыхленность														
	$m=0,9$			$m=0,8$			$m=0,7$			$m=0,6$			$m=0,5$		
	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина	медь	алюминий	резина
3,61	2,95	0,65	0,72	2,62	1,46	0,87	2,62	2,77	1,33	2,39	1,59	1,51	2,50	2,04	1,83
4,54	2,22	0,26	0,32	2,18	1,31	0,42	2,32	1,88	1,06	2,12	1,56	1,39	2,29	2,0	1,80
5,2	0,75	0,17	0,26	1,50	0,32	0,28	1,90	1,49	0,30	1,84	1,24	0,88	2,01	1,68	1,29
5,72	0	0,16	0,10	1,40	0,27	0,12	1,76	1,46	0,14	1,70	1,21	0,75	1,91	1,62	1,10
6,16	0	0	0,01	1,38	0	0,02	1,61	1,31	0,03	1,60	1,0	0,61	1,84	1,44	0,97
7,21	3,34	0,54	0,20	2,81	1,72	0,27	2,74	2,12	1,17	2,40	1,90	1,47	2,48	2,10	1,62
8,25	2,49	0,50	0,18	2,40	1,33	0,2	2,44	1,70	0,90	2,25	1,70	1,31	2,38	2,0	1,50
9,09	2,09	0	0,09	2,20	0,89	0,1	2,22	1,55	0,71	2,18	1,68	1,21	2,27	1,87	1,40
13,1	2,80	0,4	0,52	2,63	1,64	0,6	2,57	1,96	1,33	2,67	1,92	1,65	2,50	2,03	1,70
14,42	2,37	0,10	0,38	2,36	1,42	0,41	2,48	1,84	1,24	2,54	1,85	1,58	2,42	1,96	1,64
15,54	1,93	0	0,30	2,38	1,18	0,38	2,36	1,71	0,79	2,42	1,76	1,28	2,35	1,91	1,41
18,9	3,50	1,04	0,40	3,03	1,86	0,41	2,78	2,10	1,30	2,79	2,17	1,57	2,56	2,17	1,68
20,36	3,40	1	0,37	2,92	1,80	0,40	2,73	2,05	1,21	2,67	2,12	1,56	2,49	2,14	1,67

Анализ данных табл. 2 позволяет выделить диапазоны значений эквивалентного диаметра частиц, в которых параметр λ изменяется в определенных интервалах. Например, для всех материалов получены следующие диапазоны диаметров частиц: 3.61-6.16, 7.21-9.09, 13.1-15.54, 18,9-20,36 мм. В пределах одного диапазона параметр λ уменьшается. В следующем диапазоне крупности частиц значения λ превышают достигнутые для последнего размера в предыдущем диапазоне. Например, для меди при разрыхленности $m = 0.7$ для диапазона эквивалентных диаметров 3,61-6,16 мм λ уменьшается со значения 2,62 до 1,61. Для следующего диапазона крупности 7.21-9,09 параметр λ изменяется от 2,74 до 2,22. Изменение параметра λ для меди и резины в зависимости от величины эквивалентного диаметра и разрыхленности материала представлено на рис. 3. Из данных следует, что при уплотнении слоя частиц меди (коэффициент разрыхленности уменьшается от 1 до 0,5) параметр λ снижается (рис. 3, а). Те же диапазоны эквивалентного диаметра соблюдаются и для других исследованных материалов: алюминия и резины. Однако, здесь характер изменения параметра λ другой, он показан на рис. 3, б для резины.



а

б

Рис. 3. Значения параметра λ для меди (а) и резины (б) в зависимости от эквивалентного диаметра и разрыхленности

Следует отметить, что для резины и алюминия при увеличении разрыхленности слоя материала значения параметра λ уменьшаются (рис. 4).

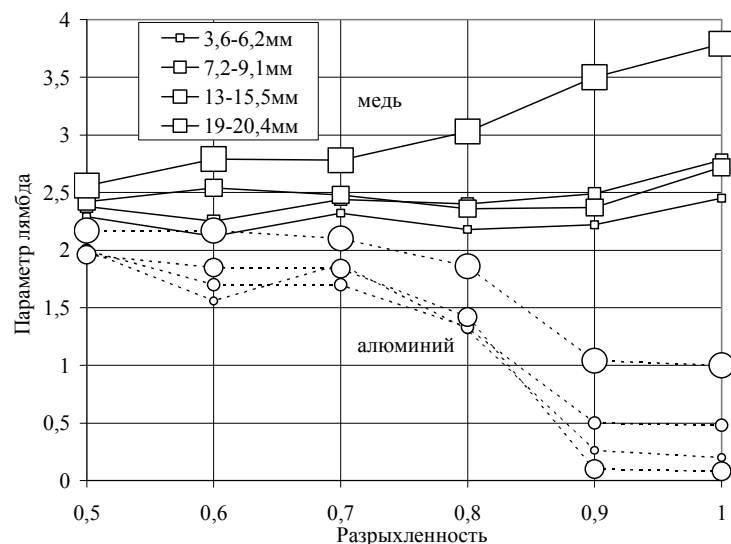


Рис. 4. Значения параметра λ при разной разрыхленности для меди и алюминия (размер маркеров отражает размер частиц)

На рис. 5 показано изменение скорости стесненного движения для частиц меди и алюминия (а) и алюминия и резины (б), рассчитанной по формуле (5). Анализ данных позволяет заключить, что скорость стесненного движения имеет наибольшие значения для меди при максимальной разрыхленности слоя ($m = 1$ и $0,9$). В остальных случаях расчетные скорости стесненного перемещения медных и алюминиевых частиц близки. При сравнении этого параметра для алюминия и резины отмечена аналогичная зависимость (см. рис. 5, б).

Полученные данные позволяют предположить, что разделение частиц в рабочем пространстве сепаратора в стесненных условиях будет затруднено в связи с тем, что расчетные значения скоростей стесненного движения частиц различной крупности и различного веса при разной степени разрыхленности слоя материала имеют довольно близкие значения. Исключением являются только частицы меди при высокой разрыхленности слоя. Это потребует тщательного определения шкалы классификации

материала, его разрыхленности и подбора оптимального технологического режима ведения процесса.

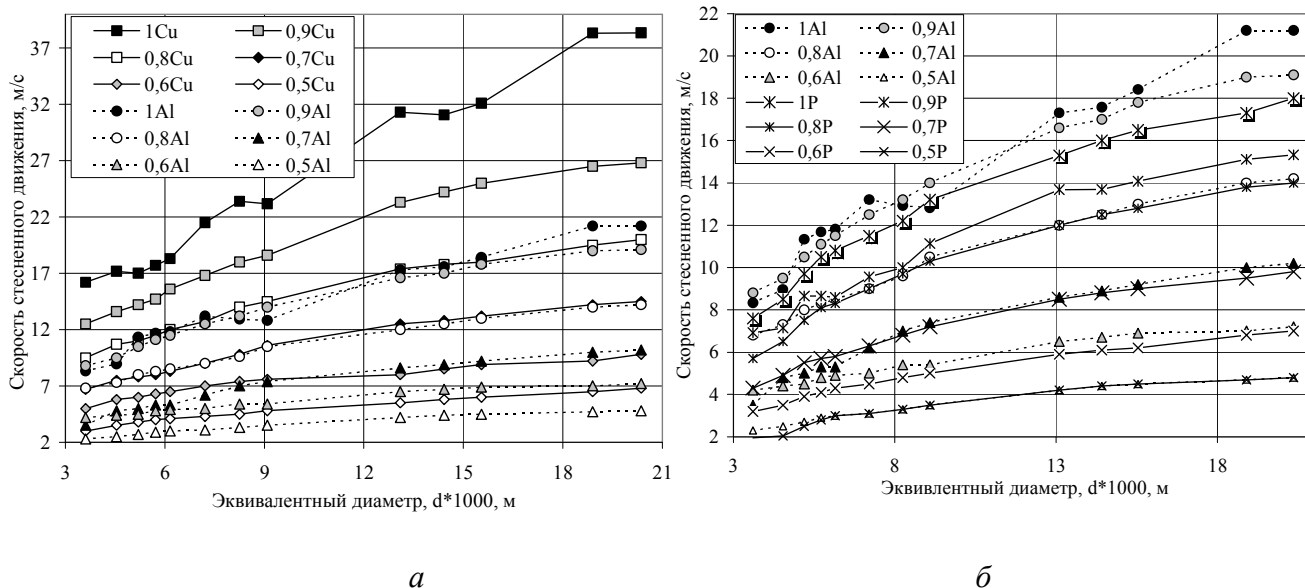


Рис. 5. Расчетные значения скоростей стесненного движения частиц при разной разрыхленности

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что лом цветных металлов является сложным объектом для разработки технологии его разделения из-за разнообразия форм частиц и закономерностей их перемещения в восходящем воздушном потоке. Наиболее эффективно может происходить разделение частиц меди при высокой разрыхленности слоя. Расчетные скорости стесненного движения алюминия и резины имеют близкие значения, что будет затруднять их разделение и потребует разработки специальных технологических режимов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на определение оптимального значения разрыхленности слоя материала в рабочем пространстве пневматического сепаратора и экспериментальное определение скоростей витания и стесненного движения частиц сложного лома.

Список литературы

1. Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра. – М.: МИМиС. 2001. – 336 с.
2. Котляр Ю.А., Меретуков М.А. Металлургия благородных металлов. Учебное пособие. – М.: Академия средств массовой информации (АСМИ). 2002. – 465 с.
3. А.Н. Корчевский, Е.И. Назимко, С.С. Апоначенко. Исследование свойств лома цветных металлов как объекта обогащения // Вісник Криворізького технічного університету. – 2007. - №16. - С. 68-71.
4. Берт Р.О. Технология гравитационного обогащения. М.: Недра. – 1990. – 574 с.
5. Е.И Назимко, А.Н. Корчевский, С.С. Апоначенко. Исследование скорости движения частиц лома цветных металлов в восходящем потоке // Збагачення корисних копалин. – 2007. - №29-30. - С. 135-140.
6. Ю.А. Карпов. Проблемы пробоотбора, пробоподготовки и анализа вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы.// Заводская лаборатория. – 1996. - № 10, С. 4-7.
7. Козловский К.П., Шуляк Т.И., Пластовец А.В. Подготовка лома интегральных микросхем в пластмассовых корпусах, содержащих золото, для гидрометаллургической переработки. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. - №2. - С. 74-75.

8. 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.