

К.П. Козловский, зав. лабораторией

И.Э. Мирович, зав. сектором, к.т.н.

В.А. Токарева, зав. лабораторией

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЛОМА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

Донецкий государственный научно-исследовательский и проектный институт цветных металлов

Подано огляд нових, розроблених у Донецькому державному науково-дослідному та проектному інституті кольорових металів, технологій підготовки брухту радіоелектронної апаратури до металургійного переділу, які базуються на використанні збагачувальних процесів та обладнання.

Представлен обзор новых, разработанных в Донецком научно-исследовательском и проектном институте цветных металлов, технологий подготовки лома радиоэлектронной аппаратуры к металлургическому переделу, основанных на использовании обогатительных процессов и оборудования.

Донецкий научно-исследовательский и проектный институт цветных металлов (ДонНИПИЦМ) более 16 лет занимается разработкой технологий переработки вторичного сырья, содержащего драгоценные металлы (ДМ), в том числе наиболее сложного его вида – лома радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

В ДонНИПИЦМ разработана технология подготовки лома РЭА для гидро- и пирометаллургической переработки [1], которая предусматривает три основных этапа:

- предварительную разделку крупных узлов;
- ручную и механизированную разделку мелких узлов;
- применение обогатительного оборудования и специальных технологий.

К элементам лома РЭА, для подготовки которых применяются обогатительные технологии и оборудование, можно отнести: золотосодержащие пластмассовые микросхемы, колончатые модули, содержащие элементы с покрытиями из золота и серебра, электрические соединители (ЭС), керамические серебросодержащие переключатели, стеклотканевые электронные платы со срубленными радиодеталями, электронные лампы, выключатели, переключатели, реле с герконами и многие другие.

Золотосодержащие пластмассовые микросхемы (серий 145, 155, 176, 192) предварительно подвергают обжигу, затем дробят в молотковой дробилке и при помощи магнитной сепарации извлекают никельсодержащие позолоченные выводы. Оставшуюся немагнитную часть измельчают в шаровой мельнице и подвергают рассеву на грохоте с отверстиями 0,5 мм. Магнитный продукт и немагнитную пыль класса крупности -0,5 мм направляют на гидрометаллургическую переработку [2].

Диодно-резисторные колончатые модули типов Б-4К и Д-4К направляют на обжиг для удаления летучих веществ и компаунда, после чего подвергают самоизмельчению в барабанной мельнице и рассеву на грохоте. Надрешетный продукт снова измельчают и рассеивают, затем направляют на обжиг, а подрешетный продукт (пыль) – в отвал. После обжига надрешетный продукт подают на магнитную сепарацию, где выделяются в магнитную фракцию золотосодержащие диоды, а немагнит-

ную разделяют на концентрационном столе (КС) в воде с получением металлического серебросодержащего концентрата [3].

Электрические соединители поступают на переработку, как в разобранном виде, так и закрепленными на платах и шасси аппаратуры. Их содержание во всем объеме электронного лома составляет 5...7 %. После ручной и механизированной разделки мелких узлов лома РЭА получают следующие группы лома ЭС:

- вилки и розетки (с максимально срезанными проводниками тока), изготовленные из одного вида пластмассы, со штырями и гнездами, покрытыми одним драгоценным металлом;

- то же, что и группа 1, но содержащие черные металлы (кожух, соединительные болты);

- то же, что и группа 1, но содержащие черные и цветные металлы (кожух, корпус, зажимы).

Для дробления лома ЭС применяют молотковые и ножевые дробилки. Ножевая дробилка предпочтительнее для соединителей группы 1, кроме тех случаев, когда штыри и гнезда имеют относительно большие диаметры (более 3...4 мм). Соединители группы 2 необходимо предварительно дробить в молотковой дробилке с последующей магнитной сепарацией дробленого продукта. Немагнитный продукт для полного раскрытия металла додрабливают в ножевой дробилке. Лом соединителей группы 3 разбирают вручную с применением слесарного инструмента. Проводники тока, железные приделки, корпуса из цветных металлов обрезают на ручных и гидравлических ножницах и удаляют, чтобы избежать трудностей при последующем гравитационном разделении сложных смесей (медные сплавы, алюминий и алюминиевые сплавы, пластмасса), получающихся при дроблении. Данный материал дробят как лом соединителей группы 1 [4].

Наиболее приемлемым гравитационным аппаратом для разделения полученных смесей служит концентрационный стол, который позволяет визуально наблюдать процесс обогащения и осуществлять его корректировку [5]. Для нормального протекания процесса обогащения следует из дробленого продукта удалить пылевидный класс -0,5 мм. Удаление класса -0,5 мм достигается путем применения пневмосепарации в процессе дробления [6] или рассева на вибрационном грохоте [7].

В результате накопления лома ЭС на складе ДонНИПИЦМ возникла необходимость в усовершенствовании разработанной технологии с целью повышения ее производительности, чего можно было достичь при уменьшении доли ручного труда.

По новой технологии в ножевую дробилку на дробление поступает лом ЭС одного вида ДМ, смешанный по видам изоляторов (термопластичные и термореактивные, а также с остатками стеклотканевых плат). В процессе дробления удаляют пыль пневмосепарацией. Дробленный продукт подвергают магнитной сепарации для удаления железных включений и разделяют на КС [8,9]. После КС получают три продукта: ДМ-содержащий немагнитный металлический концентрат, промежуточный продукт и полимерные отходы, направляемые в отвал. Промежуточный продукт после сушки измельчают в ножевой дробилке с таким же или меньшим размером отверстий разгрузочных решеток. Пыль отделяют пневмосепарацией или грохочением. Обеспыленный дробленный промежуточный продукт направляют на вторую стадию разделения на КС, где получают ДМ-содержащий концентрат и полимерные отходы, направляемые в отвал. Пылевые отходы дорабатывают в центробежном гидравлическом сепараторе. ДМ-содержащие концентраты после сушки направляют на гидро- или пирометаллургическую переработку.

В настоящее время разработана технология обогащения лома ЭС группы 3 (кабельные ЭС в корпусах и кожухах из алюминиевых сплавов) [10,11]. Данная технология позволяет получить магнитный продукт (железо) и три группы немагнитных продуктов: тяжелый (сплавы на основе меди), содержащий драгоценные металлы, легкий – алюминий и алюминиевые сплавы, и полимерные материалы. Отработаны режимы дробления в молотковых и ножевой дробилках, грохочения дробленых продуктов, разделения на КС и в пневмосепараторе, а также магнитной сепарации.

В производстве приборов и устройств автоматики широко применяют детали, изготовленные из керамики. К серебросодержащим деталям на керамике в ломе РЭА можно отнести: многополюсные переключатели со стандартными платами (галетами), предохранители, катушки индуктивности, радиолампы, панельки для радиоламп, конденсаторы подстроечные с воздушным зазором, резисторы и другие. Основное количество серебросодержащих керамических деталей (до 50 %) представлено многополюсными поворотными переключателями, наиболее сложными по составу металлов.

Исследовали состав лома деталей (элементов) на керамике. Учитывая хрупкость керамики, для отделения ее от серебросодержащих деталей рациональным является применение операций дробления.

Разработанная технология переработки керамического сырья, содержащего серебро, предусматривает [12,13]:

- предварительное дробление в молотковой дробилке;
- магнитную сепарацию для выделения крупного ферромагнитного продукта;
- грохочение для подготовки материала к отдельному дроблению в молотковой и конусно-инерционной дробилках;
- магнитную сепарацию для выделения мелкого ферромагнитного продукта (стальные шарики фиксаторов переключателей не должны попадать в конусно-инерционную дробилку);
- дробление в конусно-инерционной и молотковой дробилках;
- грохочение для выделения класса -0,5 мм;
- сепарацию на концентрационном столе с получением серебросодержащего немагнитного концентрата;
- отделение керамики класса -0,5 мм от серебра.

В процессе разделки лома РЭА образуются стеклотканевые платы со срубленными радиодеталями. Наибольшее количество металлов после удаления радиодеталей сосредоточено в отверстиях плат для крепления деталей методом пайки и составляет 9...15 %. По данным химических анализов в платах содержится, %: 3,14...7,54 *Cu*; 1,41...4,44 *Sn*; 1,54...2,64 *Pb*; 0,6...2,32 *Zn*, а также присутствуют железо и никель. Содержание драгоценных металлов составляет, %: 0,25 *Ag*; до 0,004 *Au*; 0,001 *Pd*; 0,00065 *Pt*.

Для дробления плат использовали ножевую дробилку [14]. При дроблении плат на ножевых дробилках часто происходит налипание дробленого продукта на поверхности решетки и процесс разгрузки его из дробилки прекращается. Поэтому ножевую дробилку модернизировали, снабдив ее пневмосепаратором, отсасывающим пыль в пневмосистему, с орошаемым водой циклоном [6,15].

Опробовали различные варианты дробления стеклотканевых плат:

- дробление без отсоса пыли из дробилки;

- дробление с отсосом пыли из дробилки;
- двухстадийное дробление с отсосом пыли.

Для разделения дробленого продукта после двух стадий дробления с отсосом пыли применили концентрацию на столе [5,8,16,17]. В технологию введена операция магнитной сепарации, позволяющая выделить магнитный железоникелевый концентрат, в котором содержание драгоценных металлов составляет, %: до 0,55 *Ag*, 0,088... 0,14 *Au*, 0,04 *Pt*. В немагнитном концентрате содержание драгоценных металлов составляет, %: 0,5...2,36 *Ag*, 0,0008 *Au*.

Магнитный концентрат направляют на гидрометаллургическую переработку, немагнитный – на пиро- и гидрометаллургическую переработку, стеклотканевые продукты – в отвал.

Однако в настоящее время лом РЭА поступает на переработку с более низким содержанием драгоценных металлов, чем ранее. Поэтому экономически невыгодно срубывать радиодетали с плат и проводить последующую ручную сортировку радиодеталей на различные группы по содержанию ДМ.

Авторами предложен метод подготовки «бедных» по содержанию ДМ электронных плат без удаления основного количества радиодеталей, используя обоганительные операции [18]. Стеклотканевые платы в процессе разборки электронных блоков подвергаются визуальной сортировке. С плат удаляют только крупные радиодетали (трансформаторы, конденсаторы в железных корпусах, транзисторы с радиаторами охлаждения, катушки индуктивности, реле), что связано с техническими возможностями применяемого дробильного оборудования. Кроме того, для упрощения технологии удаляют радиодетали с платиной и палладием, которых на таких платах обычно содержится незначительное количество. Таким образом, на платах оставляют только электрические соединители, резисторы (ОМЛТ-2, ОМЛТ-1, МЛТ, ОМЛТ), диоды в металлических корпусах (Д814А, Д814ГП), транзисторы (МП16, МП11, МП42), диоды в стеклянных корпусах (Д229А, Д220), конденсаторы, переключатели, предохранители, гнезда, сигнальные лампы, сборки с радиодетальями и др.

Предусмотрено несколько стадий дробления плат. Первую стадию дробления производят в молотковой дробилке, где происходит раскрытие составляющих плат, и измельчаются детали, содержащие керамику или фарфор. Дробленный материал подают на магнитную сепарацию. Магнитную фракцию направляют на вторую стадию дробления в молотковой дробилке. Дробленный продукт второй стадии дробления рассеивают на грохоте, при этом металлические диоды и транзисторы, находящиеся в продукте, должны пройти в подрешетный продукт грохота.

Из надрешетного продукта грохота удаляют вручную пучки медной проволоки. Подрешетный продукт грохота поступает на третью стадию дробления в молотковую дробилку, которая обеспечивает раскрытие металлических транзисторов (отрыв верхней медной части от нижней магнитной части). При помощи грохочения удаляют пыль, содержащую золото. Оставшийся продукт подвергают грохочению, в результате которого в подрешетном продукте оказываются дробленые стеклянные диоды, которые, в свою очередь, поступают на магнитный сепаратор для отделения железа. Надрешетный продукт грохота представляет собой смесь медных колпачков транзисторов и железных приделок. При помощи магнитной сепарации железные приделки отделяют от медных колпачков.

Немагнитная фракция дробленого продукта (после первой стадии дробления в молотковой дробилке) поступает в ножевую дробилку с пневмосепаратором для отсоса пыли в орошаемый водой циклон. Обеспыленный продукт направляют на первую

стадию сепарации на КС. В потоке воды, текущей по наклонной плоскости деки КС, из него выделяются металлический концентрат, промпродукт 1, промпродукт 2 и отходы.

Металлический концентрат подвергают магнитной сепарации для получения немагнитного концентрата, содержащего медь, золото и серебро. Магнитный концентрат снова направляют на магнитную сепарацию в сильном поле. В результате получают магнитный продукт – куски проволоки и немагнитный продукт – частицы дробленых стеклянных диодов.

Промпродукт 1 первой стадии концентрации на столе представлен алюминиевыми частицами корпусов конденсаторов, медной измельченной проволокой и керамикой, а промпродукт 2 – мелкими кусками (частицами) алюминиевых корпусов конденсаторов и пластмассой (карболитом, стеклопластиком, ПВХ-изоляцией).

Промпродукт 2 направляют на вторую стадию КС с увеличенным углом наклона деки стола. В результате разделения получают алюминиймедьсодержащий продукт, промпродукт – алюминий с пластмассой и отходы – пластмассу.

Промпродукт 1 первой стадии КС объединяют с промпродуктом второй стадии КС и направляют на дробление в ножевой дробилке с последующим удалением пыли грохочением. Обеспыленный продукт поступает на третью стадию КС с увеличенным наклоном деки стола. В обеспыленный продукт добавляют железные частицы (магнитный продукт, полученный ранее) для повышения эффективности процесса концентрации на столе.

После третьей стадии КС получают медьсодержащий концентрат, содержащий серебро и золото, который после удаления магнитной фракции, добавляют к немагнитному концентрату первой стадии КС, а также алюминиймедьсодержащий продукт, который после удаления магнитной фракции добавляют к алюминиймедьсодержащему продукту второй стадии КС.

Продукты разделения циклона, всплывшие на поверхность сборной корзины (куски алюминиевой замасленной фольги от обкладок конденсаторов), собирают и направляют в отвал. Продукты, потонувшие в корзине, собирают, высушивают, отсеивают пыль и направляют в отвал. Пыль, содержащую драгоценные металлы (золото, серебро), направляют на гидрометаллургическую переработку.

В результате предложенной технологии подготовки лома плат с радиодетальями получены следующие продукты, %: золотосеребромедьсодержащий концентрат – 20,55; немагнитный медьсодержащий продукт – 1,3; немагнитный алюминийсодержащий продукт – 4,29; оловянно-свинцовый продукт – 4,5; железосодержащий продукт – 10,45; золотосодержащая магнитная пыль – 0,82; золотосеребросодержащая пыль из циклона после молотковой дробилки – 0,08; золотосеребросодержащая пыль из циклона после ножевой дробилки – 0,51 и полимерные отходы – 57,50, направляемые в отвал. Полученные металлические продукты и пыль участвуют в рециклинге металлов.

Выводы. Рациональное использование сочетания предварительной сортировки лома РЭА и механизированных операций разделки позволяет снизить сложность обогащительных технологий и повысить производительность подготовки лома РЭА к металлургической переработке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология подготовки лома радиоэлектронной аппаратуры для гидро- и пирометаллургической переработки [Текст] / В. М. Карпачев, К. П. Козловский, А. В. Пластовец и др. //

Матеріали міжнар. науков-техн. конф. «Екологічні проблеми промислових підприємств і перспективи їх вирішення в рамках співробітництва з Євросоюзом» (19-23 лютого 2007 р., Свалявський р-н), «Проблеми безпеки життєдіяльності людини та охорони оточуючого середовища» (26 лютого-2 березня 2007 р., Свалявський р-н). – Київ : Т-во «Знання» України, 2007. – С. 50-55.

2. *Козловский, К. П.* Подготовка лома интегральных микросхем в пластмассовых корпусах, содержащих золото, для гидрометаллургической переработки [Текст] / К. П. Козловский, Т. И. Шуляк, А. В. Пластолец // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2003. – № 2 (214). – С. 74-75.
3. Обогащение модулей радиоэлектронного лома, содержащего драгоценные металлы [Текст] / *А. И. Самсонов, К. П. Козловский, В. А. Гордеев и др.* // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2004. – Вип. 9. – С. 56-59.
4. *Козловский, К. П.* Исследование обогащения лома электрических соединителей с покрытиями из драгоценных металлов [Текст] / К. П. Козловский, Т. И. Шуляк, А. В. Пластолец // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2002. – № 3 (209). – С. 70-73.
5. Исследование работы концентрационного стола СКО-0,5Л для обогащения продуктов дробления лома РЭА [Текст] / *А. И. Самсонов, В. Н. Бредихин, К. П. Козловский и др.* // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2005. – Вип. 12. – С. 41-48.
6. Роторный подрібнювач [Текст] : пат. 84079 Україна: МПК (2006), В02С 18/06, В02С 13/02 (2008.01), В02С 23/00 / *Козловський К. П., Бредихін В. М., Пластолец О. В., Шуляк Т. І.,*; заявник та патентовласник Донецьк. держ. наук.-дослід. та проект. ін-т кольорових металів. – № а 2006 13719 ; заявл. 25.12.06 ; опубл. 10.09.08, Бюл. № 17. – 5 с.
7. *Козловский, К. П.* Усовершенствование технологии подготовки лома ЭС в пластмассовых корпусах к металлургическому переделу [Текст] / К. П. Козловский, А. В. Пластолец // *Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов : сборник научн. статей XVII междунар. научно-практ. конф., г. Щелкино, АР Крым 1-5 июня 2009 г., ; в 2 т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь».* – Харьков : «Издательство САГА», 2009. – С. 505-513.
8. *Бредихин, В. Н.* Разработка конструкции, исследование и внедрение концентрационного стола ЭКС-150 для обогащения радиоэлектронного лома [Текст] / В. Н. Бредихин, К. П. Козловский, А. В. Пластолец // *Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнарод. збірник наукових праць.* – Донецьк : ДонНТУ, 2008. – Вип. 36. – С. 40-46.
9. Концентраційний стіл [Текст] : пат. 84077 Україна: МПК (2006), В03В 5/04 (2006.01), В03В 5/06 (2008.01) / *Козловський К. П., Бредихін В. М., Пластолец О. В. та інш. ;* заявник та патентовласник Донецьк. держ. наук.-дослід. та проект. ін-т кольорових металів. – № А 2006 13666 ; заявл. 25.12.06 ; опубл. 10.09.08, Бюл. № 17. – 5 с.
10. *Пластолец, А. В.* Исследование дробления лома ЭС в корпусах из алюминиевых сплавов для последующего обогащения [Текст] / А. В. Пластолец, О. В. Чернюк, К. П. Козловский // *Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровье человека, утилизация отходов : сборник научн. статей XVII междунар. научно-практ. конф., г. Щелкино, АР Крым; 1-5 июня 2009 г. ; в 2 т. Т. 2. / УкрГНТЦ «Энергосталь».* – Харьков : «Издательство САГА», 2009. – С. 514-519.
11. *Козловский, К. П.* Исследование технологии подготовки к плавке лома ЭС в корпусах и кожухах из алюминиевых сплавов [Текст] / К. П. Козловский, О. В. Чернюк, И. К. Козловская // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2010. – № 5 (259). – С. 103-107.
12. Разработка технологии переработки серебросодержащего сырья на керамике из лома РЭА [Текст] / *В. М. Карпачев, А. В. Пластолец, К. П. Козловский и др.* // *Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Проблеми і рішення у сфері поводження з небезпечними відходами»,* 19-23 червня 2006 р. – Київ : Т-во «Знання» України, 2006. – С. 33-39.

13. *Козловский, К. П.* Подготовка к металлургической переработке лома непроволочных резисторов, содержащих серебро [Текст] / К. П. Козловский, И. Э. Миревич // Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения : сборник трудов XIX междунар. научно-практ. конф., г. Щелкино, АР Крым, 6-10 июня 2011 г., : в 3 т. Т. 2 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Харьков : 2011. – С. 360-366.
14. Исследование обогащения стеклотканевых плат со срубленными радиодетальями лома РЭА [Текст] / *А. И. Самсонов, К. П. Козловский, А. В. Пластовец* и др. // *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії.* – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2004. – Вип. 10. – С. 82-87.
15. Роторний подрібнювач для здрібнювання відходів, а саме склотканинних електронних плат [Текст] : пат. 83297 Україна: МПК (2006), В02С 18/00, В02С 18/06, В02С 13/02 (2008.01), В02С 13/284 (2008.01), В29F 17/04 / *Козловський К. П., Бредихін В.М., Пластовець О.В., Шуляк Т.І.*; заявник та патентовласник Донецьк. держ. наук.-дослід. та проект. ін-т кольорових металів. – № А 2006 11190; заявл. 23.10.06; опубл. 25.06.08, Бюл. № 12. – 5 с.
16. *Козловский, К. П.* Исследование обогащения лома РЭА на концентрационных столах для подготовки к пиро- и гидрметаллургической переработке [Текст] / К. П. Козловский, А. В. Пластовец, И. К. Козловская. // *Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : сборник научн. статей XVI междунар. научно-практ. конф., г. Щелкино, АР Крым, 2-6 июня 2008 г. ; в 2-х т. Т. 2 / УкрГНТЦ «Энергосталь».* – Харьков : «Издательство Сага», 2008. – С. 296-306.
17. *Чернюк, О. В.* Возможности обогатительных технологий при подготовке элементов лома РЭА [Текст] / О. В. Чернюк, К. П. Козловский. А. В. Пластовец // *Сборник материалов VII Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 2-4 марта, 2009 г. – М. : МИСиС, 2009. – С. 716-718.*
18. *Козловский, К. П.* Совершенствование технологии подготовки к металлургической переработке стеклотканевых плат лома РЭА [Текст] / К. П. Козловский, О. В. Чернюк // *Матеріали науков.-техн. конф. «Безпека середовища життєдіяльності людини : екологічні, медичні та економічні аспекти», м. Ялта, АР Крим, 4-8 жовтня 2010 р. – Київ : Т-во «Знання» України, 2010. – С. 37-41.*

Стаття надійшла до редакції 10.08.2012 р.
Рецензент, проф. Г.О. Колобов