

П.І. ПІЛОВ, д-р техн. наук,

Д.О. ЛИСЕНКО

(Україна, Дніпро, Державний ВНЗ "Національний гірничий університет")

ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОННОГО ЛОМУ

1. Вступ

Життєзабезпечення людства в умовах сучасного технологічного укладу потребує відповідних ресурсів, які виснажуються, інтенсифікація експлуатації надр усугубляє екологічні проблеми. Враховуючи наведене, світова економіка потребує нових технологій орієнтованих на повторне використання матеріалів (рециклінг). Актуальним є повторне використання ресурсів, що містяться в ломі електричного та електронного обладнання (WEEE). Розроблення оптимізованих технологій для переробки складних металевих матеріалів, таких як WEEE повинне передбачати жодних відходів. Особливо цінними є високотехнологічні метали, такі як галій, германій та тантал, які можуть втрачатися під час обробки WEEE.

Перспективною для цієї мети є технологія піролізу, яка дозволяє накопичувати метали з фракцій WEEE без окислення, а також генерації висококалорійних газів та рідин для енергетичної утилізації. Кількість WEEE у Європі зростає приблизно на 7% в рік

2. Характеристика лома електротехнічного та електронного обладнання (WEEE)

Друковані плати є важливим компонентом практично всіх електронних і електричних пристроїв, таких як комп'ютери, телевізори, мобільні телефони, розважальні пристрої, побутові прилади та інші подібні предмети. Швидке зростання та використання такого обладнання сприяє утворенню великої кількості електронних та електричних відходів. За оцінками ЮНЕСКО, світ щорічно виробляє близько 20-50 млн т електронних відходів. Друковані плати становить приблизно 30% загального електронного лому, який генерується. Він має однорідну суміш органічного матеріалу, металів та скловолокна. Композиція WEEE може час від часу відрізнятися через різноманітність. Загалом, електронний брухт складається з 15-30% пластмас, 40-50% кераміки та 20-30% металів, таких як мідь, алюміній та залізо. Металеві фракції в друкованих платах приблизно містять 16% міді, 4% олова та свинцю, 3% заліза та фериту, 2% нікелю, 0,05% срібла, 0,03% золота, 0,01% паладію та навіть металів такі як тантал, які звичайно зв'язані з керамікою або пластиком.

Переробка друкованих плат вважається складною через їх багатокомпонентну та багатозарову конструкцію. Тому розробка екологічно чистої та еконо-

мної технології переробки необхідна не тільки для переробки цінних ресурсів, але також для уникнення забруднення навколишнього середовища.

3. Завдання дослідження

Продукти, що закінчують терміном служби, можуть бути не дуже корисними для їх власників, і вони повинні бути утилізовані. Електронні відходи вважаються одними з найбільш небезпечних та найшвидших відходів в списку відходів. Управління електронними відходами не тільки представлено в розпорядженні або відновленні, але також охоплює процес попереднього утилізації, який проілюстрований у зворотній логістичній діяльності, включаючи збирання та транспортування процесів. Основними причинами відновлення електронних відходів є зменшення зростаючої проблеми електронних відходів, скорочення викидів парникових газів, запобігання забрудненню повітря та води та мінімізації небезпек для здоров'я людини та навколишнє середовище.

Нові технології переробки Е-відходів здатні досягти високих показників відновлення металів до рециклінгу (майже 95-99%).

Однією з причин поводження з електронними відходами є абсолютне нехтування та неоптимальне використання небезпечних речовин, які впливають на здоров'я та навколишнє середовище. У цьому сенсі неправильна утилізація, така як звалища або спалення, що можуть сильно вплинути на стан людини через викиди та витоки від переробки.

4. Технологічні рішення з вилучення кольорових металів з електронних відходів

Дослідження здійснено з метою вилучення металів з друкованих плат (частин материнських плат комп'ютерів) старих та застарілих комп'ютерів (рис. 1).

WEEE являє собою суміш різних компонентів, які потребують спеціальних методів попередньої обробки. Ідея роботи полягала у відокремленні металевих фрагментів і матеріалу плат та послідовної їх сепарації.

Завдяки піролізу зростає крихкість матеріалу плат, яка підвищує ефективність відокремлення.

Піроліз – це термохімічне розкладання органічного матеріалу при підвищених температурах (як правило, без участі кисню). Це передбачає одночасну зміну хімічного складу і фізичної фази, і є незворотнім. Це може розглядатися, як альтернативний спосіб переробки друкованої плати, оскільки в процесі піролізу органічна частина розкладається на низькомолекулярні продукти (рідини або гази), які можуть бути використані як паливо або хімічне джерело. Крім того, зміна міцності матеріалу, яке призводить до зростання крихкості, щоб на далі легко подрібнити, тоді як неорганічна частина, така як скловолокно, мало змінюється, і яку можна переробити в інші композити.

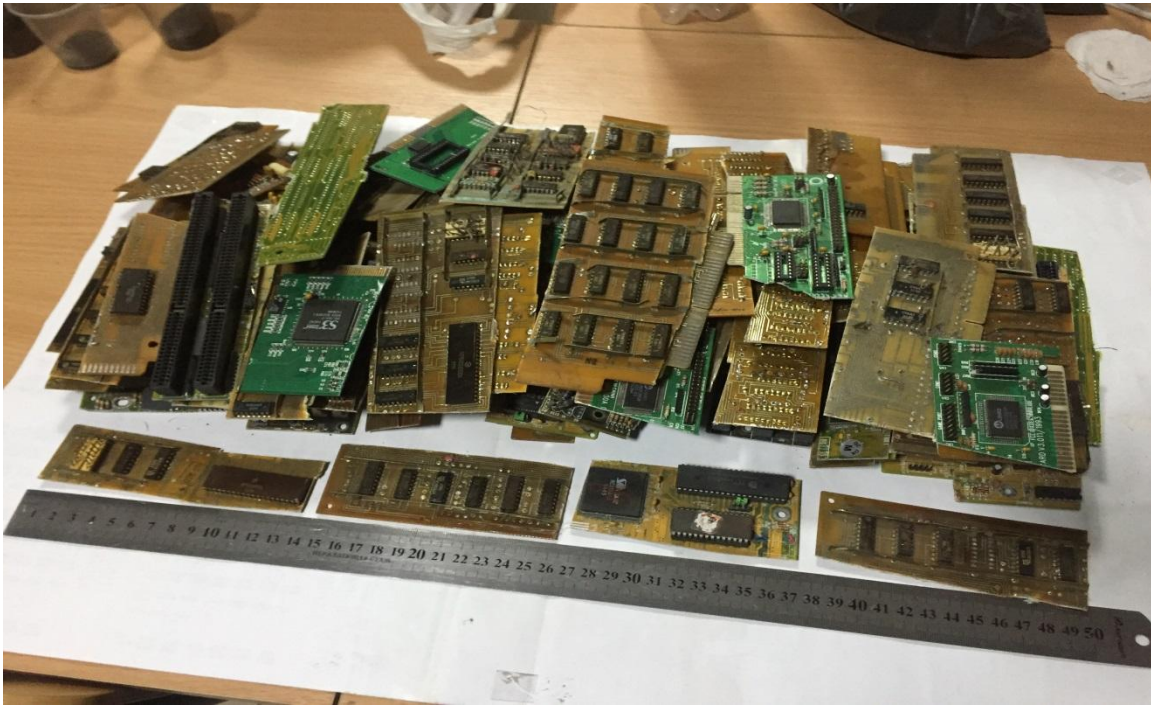


Рис. 1. Материнські плати комп'ютерів

У процесах піролізу органічні сполуки деградують в інертній атмосфері, а метали під час термохімічного процесу не окислюються (рис 2).



Рис. 2. Плати після піролізу

Піроліз залежить, головним чином, від температури, швидкості нагрівання або тривалості затримки в залежності від вхідного матеріалу та кількості та якості потрібних продуктів.

Процес піролізу може стати частиною технологічного ланцюгу, щоб відокремити критичні метали та генерувати паливо з низьким виходом галогенів для енергетичного використання. Продуктами цього термохімічного процесу є суміш деяких металів, суміш чорних металів, які можуть бути оброблені в різних процесах, а також газ та олія для енергетичного використання, наприклад у комбінованому виробництві теплової та електричної енергії.

Обробка протягом 50 хвилин при температурі 600-700 °С дозволила перейти в газову та рідку фазу приблизно 25% маси вихідного матеріалу.

Проте попередня термічна обробка значно покращила відокремлення фрагментів, що включають мідь та інші метали, що містяться у платах, оскільки в піролізі певна кількість органічної речовини була видалена, а решта стала більш крихкою.

Тому, після піролізу плати були піддані подрібненню у кульових млинах: барабанному та вібраційному.

Кульовий млин за рахунок ударів та відносного ковзання металевих куль викликає сплющення металевих фрагментів та скловолокна (рис. 3), які можуть бути вилучені за допомогою розсіву (грохоченню).



Рис. 3. Зовнішній вигляд піролізованого електронного скрапу після обробки у кульовому млині

Аналіз показав, що кульовий подрібнювач не забезпечує високого ступеню сплющення металевих частинок, тому значна їх частина не може бути вилучена за допомогою грохочення.

Більш високий ступень сплющення може бути отримано при більш інтенсивній взаємодії елементів середовища, що подрібнює. Це можливо при засто-

суванні вібраційного навантаження. Тому, у наступному експерименті розміри фрагментів плат були зменшені до 2-4 см та піддані обробці у вібраційному подрібнювачі. Така обробка дозволила за рахунок більшого сплюснення металевих частинок вилучити їх на 90-96% на ситах (при грохоченні).

Гранулометричний склад металевої фракції (головним чином – мідної) після вібраційної обробки наведений у табл. 1.

Таблиця 1

Гранулометричний склад металевої фракції	
Клас крупності	Вихід, %
+0,2	30,42
0,16-0,2	0,99
0,05-0,16	4,89
-0,05	63,70
Разом	100,00

Схема обробки друкованих електронних плат наведена на рис. 4,

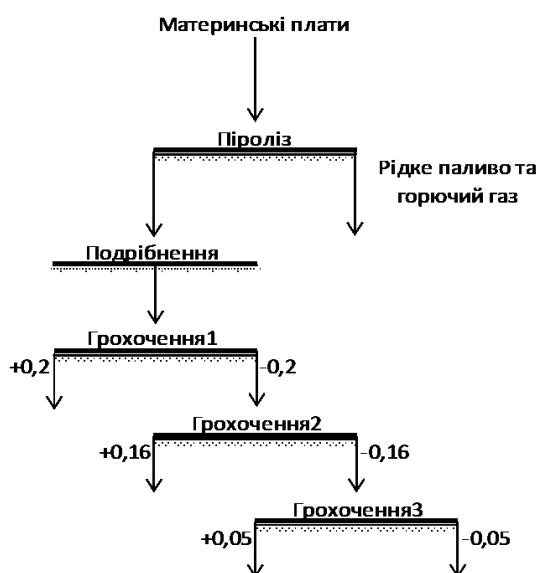


Рис. 4. Технологічна схема переробки електричного та електронного скрапу

Фотографічні зображення окремих класів крупності, отримані за допомогою мікроскопу представлені на рис. 5.

Матеріал класу -0,05 (рис. 5г) після вилучення металевих фракцій може використовуватися як наповнювач-композит для виробництва вторинних будівельних матеріалів. Неметалевий порошок може бути доданий як добавка до бетону, розчину, асфальту та інших будівельних матеріалів, і значно підвищує ефективність використання вихідного матеріалу.

Як новий модифікатор він підвищує експлуатаційні характеристики асфальту. Властивості модифікованого асфальту з енергією неметалів суттєво підвищує такі показники, як стандартна в'язкість, проникнення, точка розм'якшення.

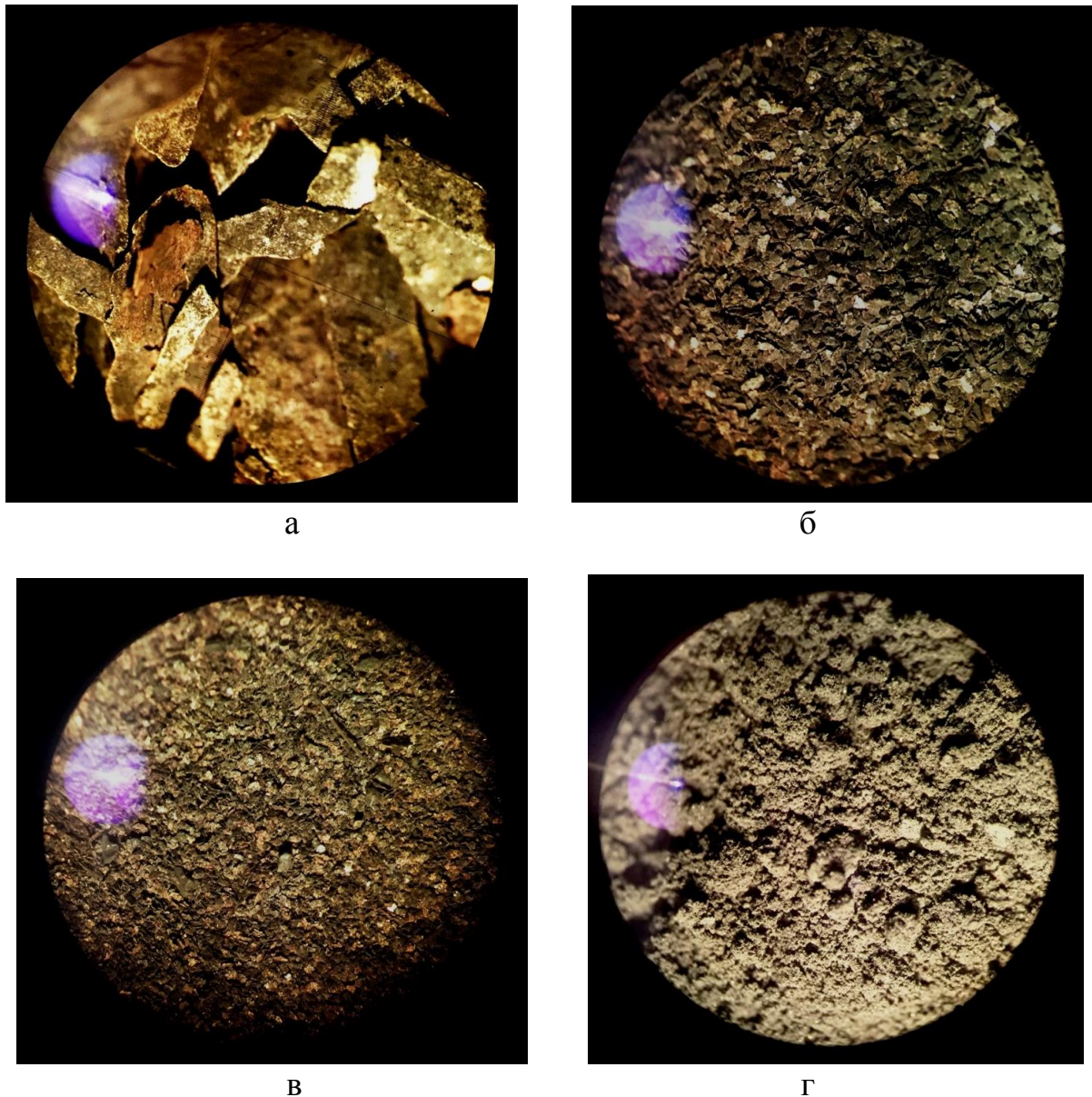


Рис. 5. Металева фракція різних класів крупності після грохочення:
а – +0,2 мм; б – 0,16-0,2 мм; в – 0,05-0,16 мм; г – -0,05 мм

5. Висновок

Установлена принципова можливість вилучення металевої фракції із печатних плат електронного лома. Вивчена технологія включає піроліз протягом 50 хвилин при температурі 600-700 °С, який переводить в газову та рідку фазу приблизно 25% маси вихідного матеріалу, обробку піролізованого продукту в кульових вібраційних подрібнювачах з отриманням розплющених металевих фрагментів, які на 90-96% вилучаються при грохоченні

© Пілов П.І., Лисенко Д.О., 2018

*Надійшла до редколегії 18.03.2018 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*