УДК 621.798+621.928.8

АНАЛІЗ МЕТОДІВ СЕПАРАЦІЇ ТА ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ МЕТАЛОПЛАСТИКОВИХ ПАКОВАНЬ

І. І. Конюхова, О. Ю. Братах, Ю. Ф. Петяк

Українська академія друкарства,
вул. Під Голоском, 19, Львів, 79020, Україна

Наведені результати аналізу методів сепарації та переробки відходів металопластикових пакувань.

Основним завданням переробки відходів металопластикових пакувань є якісне відділення кольорових та інших металів від пластику. На сьогодні можна виділити такі методи переробки відходів металопластикових пакувань, що застосовуються на практиці, а саме: термічний, механічний, хімічний, криогенний та автоматичний. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, але саме автоматичний метод дає змогу переробляти широкий діапазон матеріалів.

Розроблено блок-схему автоматичної переробки відходів металопластикових пакувань, а також класифікацію методів сепарації металопластикових пакувань, до яких належать коронно-електростатичний; трибоелектричний та магнітний (типи магнітних сепараторів: барабанний, підвісний з постійними магнітами, підвісний з електромагнітами та вихреструмовий).

У результаті вибір конкретної технологічної схеми переробки відходів металопластикових пакувань залежить від типу відходів, що переробляються, необхідної продуктивності і якості кінцевих продуктів.

Ключові слова: металопластикові пакування, переробка відходів, коронно-електростатична сепарація, трибоелектрична сепарація, магнітна сепарація.

Постановка проблеми. Створення і накопичення величезної кількості відходів виробництва і споживання призвело до того, що існування людини стало екологічно небезпечним, оскільки відходи є основними забруднювачами навколишнього середовища. Екологія і технічний прогрес мають бути системно пов'язані між собою, інакше неминуче наближення екологічної катастрофи. Щоб цього не сталося, повинна бути створена науково обґрунтована система управління відходами, яка представляє системно пов'язані між собою операції їх збирання, видалення (транспортування), сортування, переробки, утилізації та захоронення.

Пріоритетними під час вибору та створення технології, яка відповідає досягненням і тенденціям розвитку світової практики, є еколого-економічні критерії (екологічна безпека технології, кількість і екологічна безпека відходів, що утворюються, екологічна безпека нової продукції, економічна ефективність, капітальні та експлуатаційні витрати). Крім того, на вибір технології істотно впливає ступінь її використання і готовності до практичного застосування [6].

У різних країнах вживаються заходи для зменшення відходів. Найбільша увага приділяється цьому в країнах Європейського Союзу. До таких заходів належить сміттєві контейнери; створення безвідходних технологій; виготовлення виробів багаторазового використання; використання відремонтованих засобів замість покупки нових; конструювання виробів, що потребують менше сировини; зменшення кількості відходів, що надходять для остаточного їх захоронення. З цією метою необхідно проводити сортування сміття і переробляти відходи для вторинного використання [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Під час переробки відходів металопластикових паковань доводиться одночасно вирішувати кілька завдань: продуктивність, собівартість, вартість кінцевих продуктів. Поки не вдалося розробити процес, де всі показники були б найкращими. Проте залежно від цілей можна підібрати технологію, яка найбільш відповідає виробничим завданням. Максимальна віддача при автоматизованій переробці металопластикових паковань забезпечується при ретельному попередньому сортуванні за типом і конструкцією. Відсутність сортування знижує споживчу вартість кінцевого продукту в півтора рази, а вартість переробки збільшує у два рази [2].

Мета статті — провести аналіз методів сепарації та переробки відходів металопластикових паковань.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сучасні металопластикові відходи за належної переробки можуть бути джерелом цінної сировини, оскільки в більшості своїй містять металеву частину і полімерну. Пластик виготовляють з різних полімерних матеріалів, нерідко поєднуючи шари полімерів різного типу, які при сплавленні (наприклад, в агломераторі) можуть взаємно погіршувати властивості один одного. Металеві фрагменти, навпаки, здебільшого складаються з одного сплаву, найчастіше з електротехнічної міді або алюмінію.

Отже, основним завданням переробки відходів металопластикових паковань є якісне відділення кольорового металу та інших металів від пластику.

На сьогодні можна виділити такі методи переробки відходів металопластикових паковань, що застосовуються на практиці (рис. 1).

Рис. 1. Класифікація методів переробки відходів металопластикових паковань

Термічний спосіб. Пластиковий матеріал, наприклад ізоляційний, обпалюють на відкритому вогні. Піроліз в безповітряному просторі з випалюванням викидів більш безпечний для довкілля. Перевагами цього способу є те, що не потребує вкладень та простота. До недоліків можна зарахувати виділення шкідливих речовин в атмосферу, струмопровідники (мідь) покриваються окалиною, розплавлен-

ними залишками пластику та верхні шари металів пошкоджуються полівінілхлоридом.

Механічний спосіб. Металопластикові матеріали зачищаються вручну або на пересувних верстатах (стриперах). Перевагами цього способу є екологічність; компактність установок; вартість і чистота продуктів переробки. До недоліків можна зарахувати трудомісткість процесу, низьку продуктивність та для верстатів не підходять тонкі матеріали.

Хімічний спосіб. Поліхлорвініловий матеріал повністю розчиняється під дією органічних розчинників (тетрагідрофуран, диметилформамід та циклогексанон). Спосіб переробки металопластикових відходів, наприклад, проводів шляхом розчинення ізоляції має певні переваги: вихід до 99 % чистого металу; повна регенерація полімерної ізоляції; утилізація мікродротів і додатковий витяг металу та облагороджування поліетилену з відходів після повітряно-вібраційної сепарації при механічній переробці проводів. Однак у цього способу є недоліки: висока вартість і токсичність розчинників; відносно низька продуктивність і необхідність регенерації розчинника.

Криогенний спосіб. Суть процесу полягає в тому, що «заморожений» рідким азотом провід пропускають через валики і ізоляція легко відділяється, тобто пластмасова або гумова ізоляція стає крихкою і обсипається, при цьому досягається економія енерговитрат на руйнування ізоляції. Перевагами цього способу є те, що одержувані порошки полімерів за якістю перевершують подрібнену ізоляцію. Вони практично не мають забруднень. Але є суттєвий недолік: з огляду на ціну рідкого азоту, спосіб економічно невиправданий.

Автоматичний спосіб. Автоматизоване управління на мінізаводах дає змогу дробити металопластикові відходи без участі ручної сили. Подрібнені відходи сепаруються за щільністю металу на пластик і металеву січку. Переваги: широкий діапазон матеріалів, що переробляються; висока продуктивність та високий ступінь механізації [5].

Загальна схема автоматичної переробки відходів металопластикових пакувань подана на рис. 2.

На першому етапі для сухого розділення матеріалів, які відрізняються електричними властивостями застосовують коронно-електростатичну сепарацію. Електростатичний (коронний) сепаратор вилучає електропровідні компоненти (кольорові та дорогоцінні метали) з подрібненого матеріалу. Продукт розподіляється на компоненти залежно від електропровідності в об'єднаному полі коронного розряду з електростатичним полем. Вихідний продукт подається на електрод осадження, що обертається і знаходиться під позитивним потенціалом. У міжелектродному просторі всі частинки заряджаються негативними іонами повітря. Частинки-провідники, вийшовши із зони коронного розряду, перезаряджаються, приймають знак заряду електрода осадження і відштовхуються від нього. Відхиляючий електрод, який має однаковий з коронуючим електродом потенціал, створює нерівномірне поле, що сприяє більш ранньому відхиленню електропровідної фракції від електрода осадження, збільшуючи ефективність розділення на провідниковий

і непровідниковий продукт. Частинки-непровідники, що мають негативний заряд, утримуються на барабані та знімаються очисним валиком [2].

Рис. 2. Блок-схема автоматичної переробки відходів металопластикових пакувань

Переробка відходів металопластикових пакувань передбачає декілька етапів, де відбувається сепарація, методи яких наведені на рис. 3.

Рис. 3. Класифікація методів сепарації металопластикових пакувань

Другий етап — трибоелектрична сепарація. Розділення пластмас на види, що відрізняються електричними властивостями, здійснюється за допомогою барабанного трибоелектричного сепаратора. Двокомпонентна суміш полімерів (попередньо подрібнена, висушена та відкласифікована) подається в приймальний бункер,

далі продукт потрапляє в спеціальний трибозарядний пристрій. У трибозарядному пристрої частинки суміші полімерів завдяки чисельним зіткненням одна з одною та із стінками пристрою отримують позитивні чи негативні заряди, а потім розділяються за допомогою сил електричного поля на барабанному сепараторі. Відповідно до знака заряду частинки притягуються або до осаджувального електроду, або до відхиляючого електроду, який з'єднаний з джерелом живлення високої напруги [3].

Попереднє подрібнення до розміру фрагментів 20–40 мм відбувається на шредері. У разі необхідності попереднього вилучення крупних металевих компонентів, після подрібнення на шредері, додатково встановлюється вихреструмний магнітний сепаратор. Принцип дії сепаратора кольорових металів заснований на ефекті вихрових струмів. Такий сепаратор містить магнітний індуктор, всередині якого обертається магніт, який створює змінне магнітне поле. Це магнітне поле індукуює вихрові струми усередині частинок кольорового металу, що створює магнітне поле навколо цих частинок. У результаті взаємодії цих магнітних полів виникає сила, яка відштовхує домішки кольорового металу, що використовується для магнітної сепарації.

Основне подрібнення до розміру 4–8 мм відбувається на ножовій дробарці. Сепараційний стіл забезпечує вилучення основної частини кольорових металів методом гравітаційного розділення.

Барабанний магнітний сепаратор забезпечує вилучення дрібних металевих часток із подрібненого матеріалу. Сепаратор барабанного типу складається з рухомого циліндричного корпусу, всередині якого є потужні нерухомі магніти зазвичай зі сплаву заліза і неодиму, які генерують постійне магнітне поле, так що ніяких додаткових витрат енергії не потрібно. Сам барабан виготовлений з немагнітного матеріалу і приводиться в дію електродвигуном. Барабанний сепаратор зазвичай встановлюється на виході конвеєра або вібраційного лотка. Немагнітний матеріал, падаючи на передню частину барабана, продовжує рух за своєю траєкторією, тоді як частки магнітних металів захоплюються магнітним полем і виявляються на поверхні барабана. Після повороту барабана частинки залишають зону дії магнітного поля і падають вниз під дією сили тяжіння.

Фізичний принцип роботи підвісного сепаратора з постійним магнітом ґрунтується на магнітному полі, яке створюється за допомогою потужних магнітів. Ферромагнітний матеріал взаємодіє з магнітним полем сепаратора, притягується до магнітного блока та відокремлюється від інших матеріалів. Магнітний вузол не потребує споживання енергії. Перед магнітним блоком є невелика конвеєрна стрічка, і всі металеві домішки, притягнуті магнітним полем, залишаються в її центральній частині. Стрічка обертається, переміщуючи металеві частинки до краю, далеко від магніту. Як тільки ці домішки покидають зону дії магнітного поля, вони падають вниз під дією сили тяжіння. Також підвісний сепаратор може містити замість постійного магніту електромагніт. Такий сепаратор складається з електромагніту, електродвигуна і блока живлення, який забезпечує енергію, необхідну для роботи електромагніту на заданій потужності. За допомогою управління блоком живлення можна вручну регулювати силу, з якою електромагніт притягує чорні метали. Це

дає змогу адаптувати сепаратор до вимог технологічного процесу без необхідності варіювати положення магніту щодо конвеєра або контейнера з продуктом. Однак недоліком такого сепаратора є необхідність постійного споживання електроенергії для магнітного вузла [4].

Висновки. Проведений аналіз методів переробки відходів металопластикових пакувань, що на сьогодні застосовують на практиці, дав змогу виділити такі: термічний, механічний, хімічний, криогенний та автоматичний. До методів сепарації відходів металопластикових пакувань належать коронно-електростатичний, трибоелектричний та магнітний. У результаті вибір конкретного технологічного процесу переробки відходів металопластикових пакувань залежить від типу відходів, що переробляються, необхідної продуктивності та якості кінцевих продуктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конюхова І. І., Братах О. Ю. Вплив властивостей пакувальних матеріалів на екологію навколишнього середовища. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів УАД* : тези доповідей (м. Львів, 18–21 лютого 2020 р.). Львів, 2020. С. 105.
2. Сепаратор електростатичний (коронний) типу ЕБС. URL: http://www.prodecolog.com.ua/-production/electric_separators/electrostatic_separators/ebs/ (дата звернення: 17.04.2020 р.).
3. Трибоелектричні сепаратори. URL: http://www.prodecolog.com.ua/-production/electric_separators/tribo_electric/ (дата звернення: 14.03.2020).
4. Магнитные сепараторы, их виды и области применения. URL: <https://greenologia.ru/othody/metally/magnitnye-separatory.html> (дата звернення: 17.04.2020 р.).
5. Переробка кабелю: особливості та способи діяльності. URL: <http://budivnik.in.ua/pererobka-kabelyu-osoblyvosti-ta-sposoby-diyalnosti.html> (дата звернення: 17.04.2020 р.).
6. Обзор методов промышленной переработки отходов кабелей. URL: <https://www.waste.ru/-modules/section/item.php?itemid=174> (дата звернення: 17.04.2020 р.).

REFERENCES

1. Koniukhova, I. I., & Bratakh, O. Yu. (2020). Vplyv vlastyvostei pakuvalnykh materialiv na ekolohiiu navkolyshnoho seredovyshcha. *Naukovo-tekhnichna konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, naukovykh pratsivnykiv i aspirantiv UAD* : tezy dopovidei (m. Lviv, 18–21 liutoho 2020 r.). Lviv (in Ukrainian).
2. Separator elektrostatychnyi (koronnyi) typu EBS. Retrieved from http://www.prodecolog.com.ua/-production/electric_separators/electrostatic_separators/ebs/ (data zvernennia: 17.04.2020 r) (in Ukrainian).
3. Tryboelektrychni separatory. Retrieved from http://www.prodecolog.com.ua/-production/electric_separators/tribo_electric/ (data zvernennia: 14.03.2020) (in Ukrainian).
4. Magnitnye separatory, ih vidy i oblasti primenenija. Retrieved from <https://greenologia.ru/othody/metally/magnitnye-separatory.html> (data zvernennja: 17.04.2020 r.) (in Russian).
5. Pererobka kabeliu: osoblyvosti ta sposoby diialnosti. Retrieved from <http://budivnik.in.ua/-pererobka-kabelyu-osoblyvosti-ta-sposoby-diyalnosti.html> (data zvernennia: 17.04.2020 r.) (in Ukrainian).

6. Obzor metodov promyshlennoj pererabotki othodov kabelej. Retrieved from <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=174> (data zvernennja: 17.04.2020 r.) (in Russian).

doi: 10.32403/2411-3611-2020-2-38-81-87

ANALYSIS OF METHODS OF SEPARATION AND PROCESSING OF METAL-PLASTIC PACKAGING WASTE

I. I. Koniukhova, O. Yu. Bratakh, Yu. F. Petiak

*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pid Holoskom St., Lviv, 79020, Ukraine
asdf1966@meta.ua*

The article presents the analysis results of methods of separation and processing of metal-plastic packaging waste.

At processing of metal-plastic packaging waste, it is necessary to solve several problems at the same time: productivity, prime cost, cost of final products. Depending on the goals, one can choose the technology that best meets the production objectives. The maximum efficiency at the automated processing of metal-plastic packaging is provided at careful preliminary sorting by type and design. Modern metal-plastic waste with proper processing can be a source of valuable raw materials, as most of them contain a metal part and a polymer part.

The main task of processing of metal-plastic packaging waste is high-quality separation of non-ferrous and other metals from plastic. Nowadays, one can identify the following methods of processing of metal-plastic packaging waste, used in practice, namely: thermal, mechanical, chemical, cryogenic and automatic. Each of these methods has its advantages and disadvantages, but it is the automatic method that allows you to process a wide range of materials.

The block diagram of automatic processing of metal-plastic packaging waste is developed in the article. The classification of separation methods of metal-plastic packaging has been developed, including: corona-electrostatic; triboelectric and magnetic (types of magnetic separators: drum, suspended with permanent magnets, suspended with electromagnets and eddy current).

As a result, the choice of a specific technological scheme for processing of metal-plastic packaging waste depends on the type of waste being processed, the required productivity and the quality of the final products.

Keywords: *metal-plastic packaging; waste processing, corona-electrostatic separation; triboelectric separation; magnetic separation.*

*Стаття надійшла до редакції 23.11.2020.
Received 23.11.2020.*