

УДК 655.3.022

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ПЕРЕРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ВІДХОДІВ

© С. І. Морозов, к.т.н., доцент, ДДТУ, Дніпродзержинськ,
А. С. Морозов, к.т.н., доцент, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

**Проанализированы существующие старые и более
прогрессивные технологии переработки металлоотходов.**

**A analysis existening old and much progressive techno-
logies utilizing of metallic sailing has been done.**

Постановка проблеми

Нині одним із завдань, поставленим перед вітчизняною промисловістю, є економія матеріальних ресурсів. У зв'язку з цим комплексне використання існуючих джерел сировини і створення безвідходних виробництв стає актуальним напрямком ресурсозберігаючих технологій. У даній роботі розглядається проблема переробки відходів металообробних підприємств — металевої стружки, величезна кількість якої утворюється на машинобудівних підприємствах країни.

Мета роботи

Метою роботи є систематизація існуючих недоліків і переваг технологій, пов'язаних з переробкою металевих відходів, зокрема з металевою стружкою.

Результати дослідження

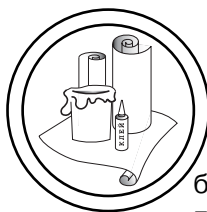
Стружка є поширеною і недефіцитною сировиною для виготовлення металевих порошоків, які можна використовувати у якості каталізаторів у різних хімічних виробництвах, поліграфії, порошоків металургії і т. і. [1].

Наприклад, металевий порошок, який використовується для

виробництва металізованих фарб і технології бронзування можна одержати із стружкових відходів кольорових металів [2].

За рахунок різко виявленої дефектної структури стружки при відповідній технології дезінтеграції цього матеріалу процес може протікати при порівняно низьких додаткових енергетичних затратах. Механічне диспергування стружкових відходів після металообробки стає перспективним методом виготовлення порошоків, дозволяючи з певною ефективністю повернути у виробництво значну частину металу. Серед альтернативних рішень виготовлення тонкодисперсних металевих порошоків механічне подрібнення стружкових відходів має суттєву перевагу тому, що у даному випадку матеріал порошку відповідає певному металу або сплаву, із якого була отримана стружка.

Традиційний спосіб рециркуляції стружкових відходів — переплав. Проте при такому способі обробки втрачається безповоротно біля 30 % металу, насамперед легувальних елементів. Доцільніше перетворювати стружку в порошок шляхом розмолу. Важлива перевага спосо-



ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

бу виготовлення порошків диспергуванням стружки — можливість змінювати склад матеріалу в процесі переробки введенням допоміжних компонентів шляхом механо-хімічного легування, у тому числі таких, які неможливо ввести в матеріал при виготовленні порошку на основі іншої технології [2].

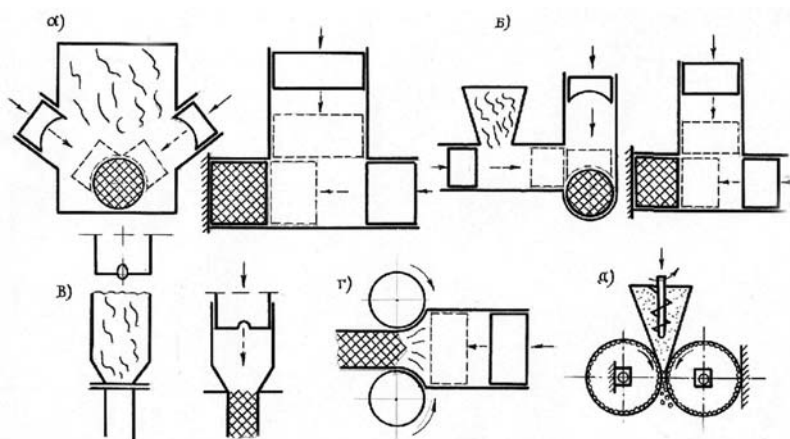
Створення енергозберігаючих технологій дозволяє отримувати нові матеріали з меншими витратами. Більш раціональна утилізація стружкових відходів і повторне їх використання у виробництві дозволяє здійснювати комплексні заходи, які направлені на зниження витрат при виробництві продукції.

Виробництво з використанням безвідходних технологій здійснюється головним чином за наступними напрямками:

1. Повне використання вихідної сировини з металів, наприклад, у виробництві деталей за

допомогою порошкової металургії. Проте дана технологія потребує значних енергетичних і трудових витрат при підготовці вихідної сировини — порошків і економічно виправдана при виробництві деталей складної конфігурації. У цьому випадку додаткові витрати на підготовку сировини у вигляді порошків компенсуються за рахунок зниження трудомісткості в технології виготовлення деталі шляхом заміни багатьох операцій механічної обробки на спікання порошків у прес-формі, яка дозволяє не тільки сформувати складну конфігурацію деталі, але і забезпечити відповідну чистоту обробки робочих поверхонь деталей [3].

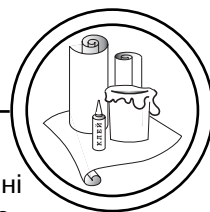
2. Використання відходів у якості вторинної сировини шляхом її повернення у виробництво у вигляді домішок до вихідного продукту. Проте на багатьох виробництвах об'єм відходів до



- а) - на брикетуючих пресах у холодному стані;
 б) - на брикетуючих пресах у нагрітому стані;
 в) - на устаткуванні непрямого ущільнення в конічній матриці;
 г) - прокатка в горизонтальних валах;
 д) - прокатка на компактори Хюта.

Рис. 1. Способи ущільнення металеві стружки

ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ



вихідної сировини обмежений зниженням при цьому якості кінцевої продукції.

3. Подрібнення стружкових відходів і використання порошків у вигляді наповнювачів у виробництві композиційних матеріалів з наступним виготовленням різних деталей побутового і господарського призначення.

Процес вторинної переробки відходів машинобудівних і металообробних виробництв включає вибір самих технологій і підбір технологічного обладнання. Одним із головних моментів, який визначає економічність і доцільність утилізації металевих відходів, є дослідження галузей застосування виготовлених на їх основі матеріалів. Має місце той факт, що існує певний перелік технологічних способів ущільнення металевих відходів (рис. 1).

Причинами відходоутворення у виробничій системі є:

— втрати енергії, обумовлені її розсіюванням при перетворенні;

— багатоелементність сировинної бази, її засміченість компонентами, які не представляють життєвого інтересу для даного технологічного процесу;

— специфіка самої технології, вибрані засоби обробки сировини, технічне забезпечення вибраної технології [4].

Огляд науково-технічної літератури і аналіз розробок, що існують, показав, що велика кількість відходів і вторинних матеріалів, які утворюються в металургійній і металообробній галузях промисловості потребують розробки і впровадження ефективних технологій їх утилізації. Найбільш важко перероблюваною сировиною є поліметалічні мідні руди, складно утилізованими відходами є шлами (гальванічні, травлення металови-

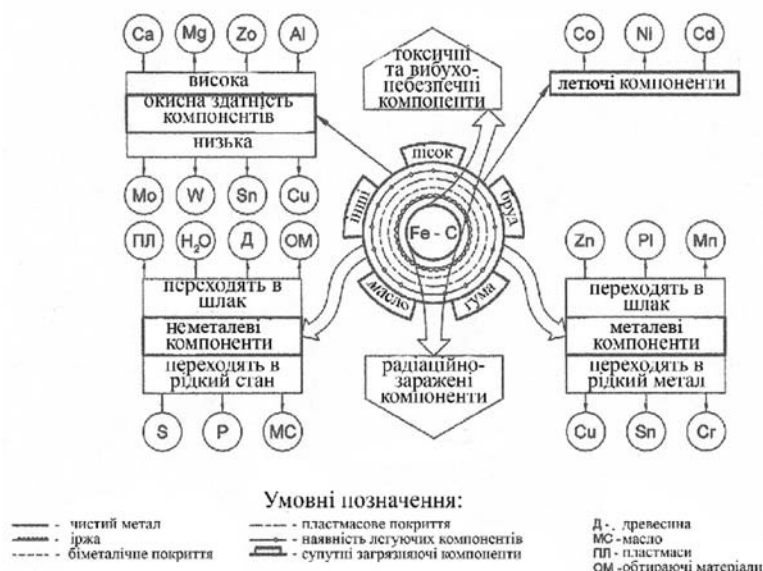
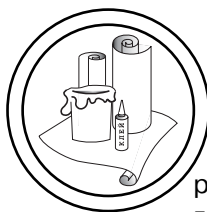


Рис. 2. Системна модель речовинно-хімічного складу метало-відходів, що утилізуються



ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

робів, нейтралізації травильних і гальванічних розчинів), прокатна окалина з ЗОР, дрібні дисперсні відходи обробки різних високолегованих сталей, сплавів титану, цирконію тощо (рис. 2).

Кожен тип вищезгаданих відходів має свої особливості, які повинні бути взяті до уваги при розробці процесів рециклінгу. Всі ці особливості роблять пряму переробку таких відходів в шахті плавильних печей досить важкою, оскільки переплавні процеси супроводжуються великими втратами дорогих легуючих елементів таких, як хром, вольфрам, титан, молібден та алюміній. Проблема витягання металів із стічних вод також є

надзвичайно актуальною. Це дозволяє підвищити екологічність різних виробництв і є дуже вигідним з економічної точки зору. Тому, проблема вибору раціональних технологій вилучення і відновлення металів є безумовно актуальною.

Велике значення при розробці ефективних технологій переробки вторинної сировини має фізико-хімічне обґрунтування впливу різних технологічних факторів на інтенсифікацію процесу та пошуку оптимальних співвідношень для одержання високих показників. Первинна інформація може бути одержана при термодинамічному моделюванні рівноважних характеристик розподілу елементів між

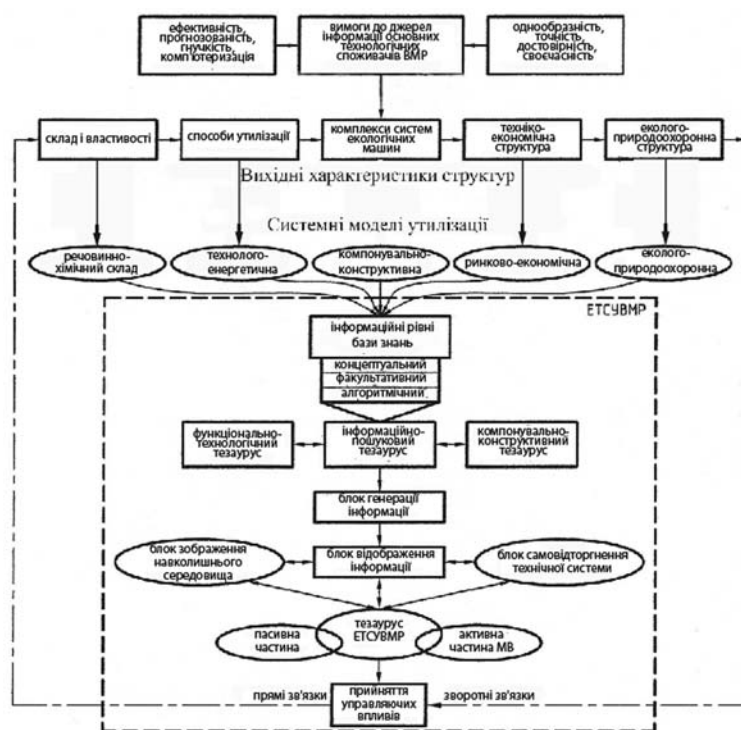
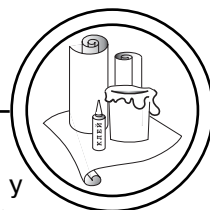


Рис. 3. Структурна схема системної інформаційно-управляючої моделі утилізації вторинних металоресурсів (ВМР)

ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ



фазами, для чого існують різні програмні засоби для розрахунку. Тому, особливий інтерес становлять теоретичні бази даних, що є придатними для аналізу процесів відновлення техногенних відходів (рис. 3).

Під безвідходною технологією, виробництвом, системою розуміють не просто технологію або виробництво того або іншого продукту, а принцип організації функціонування виробництва. При цьому раціонально використовуються усі компоненти сировини і енергії у замкнутому циклі (первинні сировинні ресурси—виробництво—споживання—вторинні сировинні ресурси), тобто не порушується сформована екологічна рівновага у біосфері (рис. 4).

Якщо структурно розглянути металофонд країни (рис. 5), то можна побачити, що він є зв'язуючим між підсистемними технологічними комплексами ($M_1 \dots M_5$), системо-утворюючими факторами ($D_1 \dots D_{10}$) і одночасно є

центром кругообігу металу у всіх його формах. Тобто на стадії розробки безвідходної технології треба враховувати комплекс інформаційно-управляючих, матеріало-речовинних, технологічних, екологічних і економічних аспектів, які дозволять максимально ефективно оптимізувати час її існування. На рис. 6 подано більш конкретну схему повного життєвого циклу вторинних і попутних металоресурсів, вони дозволяють виявити доцільність застосування деяких стадій розроблюваного процесу і спрогнозувати ступінь використання коефіцієнту металу.

Традиційні способи переробки металовідходів частіше не відповідають сучасним екологічним вимогам, або є недостатньо ефективними по технічним і економічним міркуванням. Наприклад, чавунна стружка звичайно переплавляється в металургічних печах. Із-за властивій чавуну крихкості стружка погано брикетується, а переплав розсипної стружки супроводжується

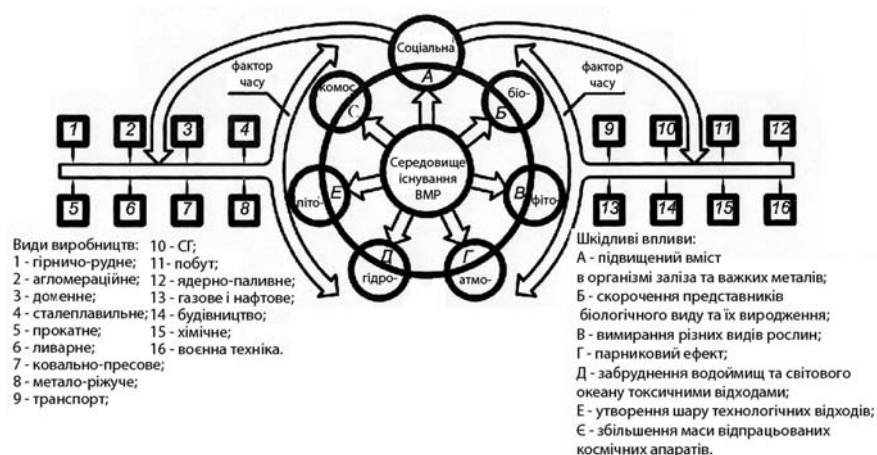
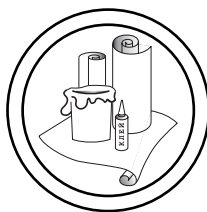


Рис. 4. Схема системної екологічно-природоохоронної моделі утворення вторинних металоресурсів (ВМР)



ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

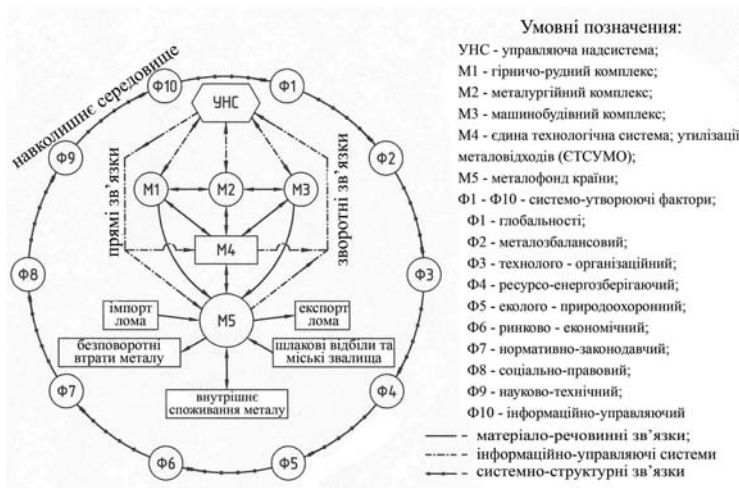


Рис. 5. Структурна схема управління, взаємозв'язків підсистемних комплексів (М1, М2, М3, М4, М5) і факторів технологічної системи «Металоресурси України»

ся чадом металу (до 40 %) і викидом у атмосферу великої кількості дисперсних оксидів, сажі і шкідливих газів. Дорогими є операції збору стружки і транспортування від місць утво-

рення до місць переплаву. Перераховані проблеми призводять до того, що значна частина чавунної стружки взагалі не перероблюється і накопичується у відвалах, засмічуючи землю.

Структурна схема взаємозв'язків стадій повного життєвого циклу (ПЖЦ) вторинних і попутних металоресурсів

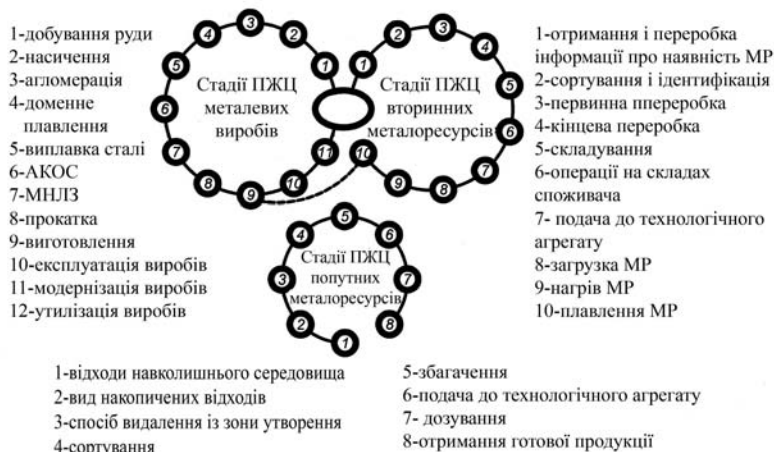
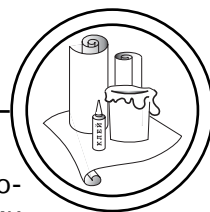


Рис. 6. Структурна схема взаємозв'язків стадій повного життєвого циклу (ПЖЦ) вторинних і попутних металоресурсів

ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ



Стружка і кускові відходи крихких металевих матеріалів перероблюються у порошки методом механічного подрібнення. Таким способом були виготовлені порошки осколочної форми із чавунної стружки, стружки інструментальних сталей і кускових відходів твердих сплавів на основі карбіду вольфраму.

Для переробки відходів із пластичних металів і сплавів розроблена комплексна технологія, яка включає в себе підготовку відходів до переплаву і переплав з відцентрованим розпиленням рідкого металу у порошок. При підготовці до переплаву стружкових відходів, останні диспергуються, очищаються від сторонніх домішок і брикетуються з щільністю 0,6-0,7 від теоретичної. Висока щільність брикетів різко знижує втрати металу при переплаві. Оригінальна конструкція відцентрованої розпилювальної установки і її малі габарити роблять процес висо-

копродуктивним і найбільш економічним порівняно з існуючими способами розпилення рідких металів газом або водою [5].

Забезпечується сферична форма частинок з гладкою поверхнею і розмір їх легко регулюється зміненням швидкості обертання установки для розпилення. При затвердженні частинок швидкість їх охолодження досягає 10 К/с, що створює у розпиленних частинок унікальну мікрористалічну структуру з дисперсним і однорідним розподіленням домішок і зміцнюючих фаз. Ця особливість структури розпиленних частинок дозволяє отримувати з них високоміцні і зносостійкі порошкові матеріали при мінімальному вмісті дорогих і дефіцитних легуючих елементів, а у деяких випадках і без них. Наприклад, можна отримати білий порошок чавун, який легко піддається гарячій пластичній деформації з межею міцності при розтягу 1500 МПа. Способом відцентро-

Таблиця 1
Результати прогнозованих рахунків, приведеніх до одної тони порошкової продукції для різних металевих відходів [5]

Метал або сплав	Ціна відходів, \$/т	Вартість переробки, \$/т	Собівартість порошку, \$/т	Ціна порошку, \$/т	Очікуваний прибуток, \$/т
Алюміній	990	400	1390	4070	2680
Мідь	1640	450	2090	3600	1610
Чавун (стружка)	20	300	320	650	330
Нержавіюча сталь	475	900	1375	4180	2805
Швидкоріжуча сталь	390	1500	1890	6000	4110
Титан (стружка)	900	2500	3400	20000	16600
Тверді сплави	4500	2000	6500	16000	9500

ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

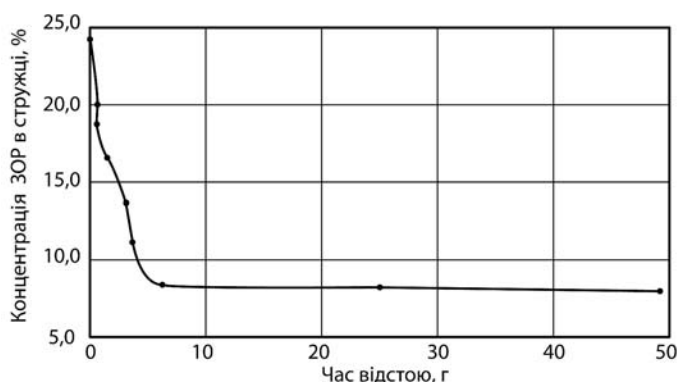
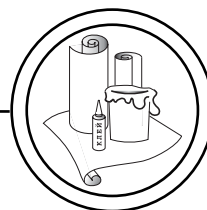


Рис. 8. Залежність концентрації ЗОР в стружці від терміну відстою [6]

зав, що концентрація мастила у ЗОР складає 4 %, у той же час у ЗОР, яка залишилась у стружці, концентрація мастила досягає 33 %. Що говорить про тенденцію концентрації мастила у стружці і першочерговому усуненні водної складової.

Для зниження вмісту ЗОР у стружці менше 8 % передбачалось використовувати віджим з одночасним брикетуванням. При дослідженні складу ЗОР, вилучених і які залишилися у стружці після відстою і пресування, був встановлений ефект концентру-

вання мастильної складової ЗОР у стружці. Так, у процесі обробки вміст мастила у стружці змінюється з 3,0 % до 2,7 %, у той час як вміст води знижується з 15 % до 1,2 % у відстоєній і збрикетованій стружці. При цьому віджата речовина представлена у основній водній складовій ЗОР (рис. 9).

Даний ефект пояснюється першочерговим видаленням води із стружки завдяки її низькій кінематичній в'язкості і високій адгезійній здатності мастила до поверхні металу. Встановлений

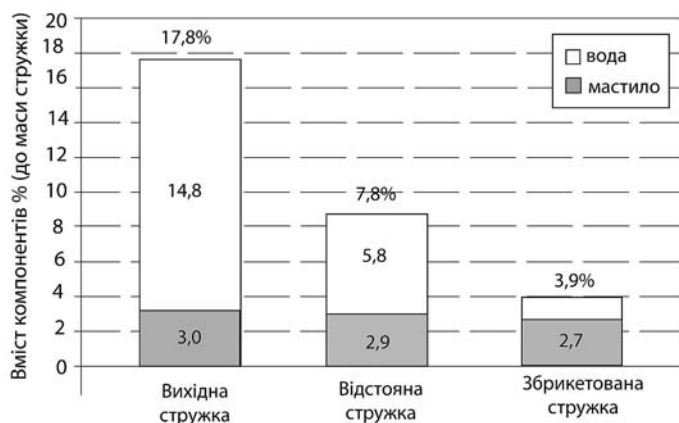


Рис. 9. ЗОР в стружці на різних етапах обробки



ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

ефект має принципово важне значення для подальшої термічної обробки брикетів [6].

Запропонована термічна обробка брикетів у вибраних температурних режимах пов'язана із згоранням залишків ЗОР, які виділяються при нагріванні брикетів. Таким чином, процеси температурної обробки приводять до утворення значної кількості газоподібних токсичних речовин, у тому числі канцерогенних, що обумовлює потенційну екологічну небезпеку розроблюваної технології (рис. 10).

Відомо про спосіб переробки металевих стружкових відходів з додаванням їх у склад шихти з послідовним плавленням. При цьому значна частина металу (до 30 %) утрачається із-за вигорання легуючих домішок, що є великим недоліком цього методу переробки. Подрібнені металеві відходи можуть використовуватись у вигляді наповнювачів при виготовленні металополімерних композицій з викорис-

танням останніх в подальшому виробництві деталей машин.

Найбільш трудомісткою операцією в порошковій металургії є виготовлення порошоків. Порівняння методів виробництва порошоків показує поряд з перевагами і їх недоліки. Найбільш поширеними способами виготовлення порошку є наступні методи:

- Механічний вплив (удар або стирання) в інертному або в рідкому середовищі;

- Хімічна або хіміко-термічна обробка;

- Використання поверхнево-активних речовин (ефект Ребіндера);

- Охолодження стружки до температури нижче точки переходу порогу крихкості металу.

Вивчення і аналіз використуваних і запропонованих різними авторами методів переробки металевих стружкових відходів машинобудівного виробництва і проведені дослідження дозволили авторам розробити технологію їх комплексної переробки,

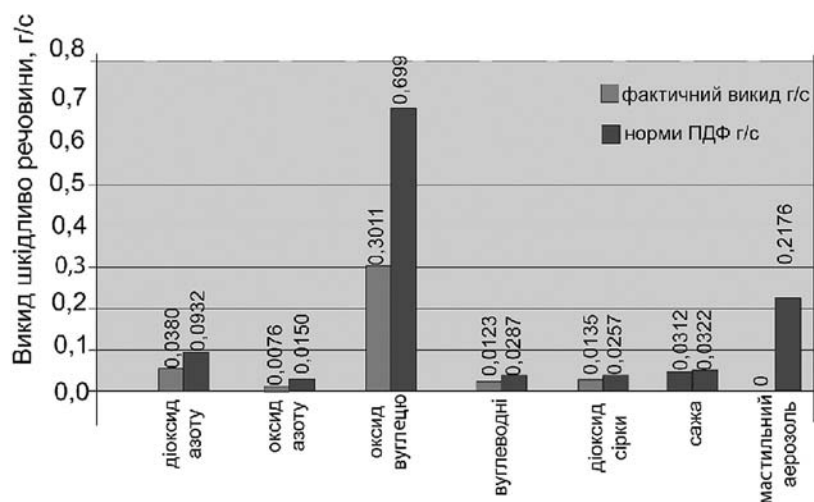
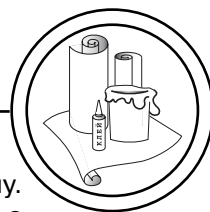


Рис. 10. Концентрація шкідливих речовин у продуктах згорання ЗОР

ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ



що містить у собі: попереднє подрібнення металевої стружки у грубо дисперсний порошок, його кінцеве диспергування у середовищі олігомеру. Така шихта використовується у якості матеріалу для подальшого виготовлення з неї методом гарячого формування виробів складної конфігурації з послідуною витримкою останніх в термошафі для більш швидкого отвердження до необхідних параметрів [7].

Важливим напрямком використання стружкових відходів алюмінієвих сплавів є виготовлення високопористого піноалюмінія щільністю 0,6...1,2 Г/см³. Широке його використання стримує висока ціна 4...8 \$ за 1 кг, яка в значній мірі залежить від вартості сировини алюмінієвого порошку. Виготовити значно дешевий піноалюміній можливо із алюмінієвих відходів за допомогою економічного диспергуючого пристрою, який дозволяє виробляти із стружки порошок дисперсністю 2000 мкм, енергозатрати при цьому не перевищують 0,3 \$ на 1 кг. І навіть при використанні такого дорогого вспінювача, як гідрид титану, собівартість виготовлення піноалюмінію знижується в 1,5...2 рази, що по оцінкам закордонних спеціалістів, різко збільшує попит на нього. Піноалюміній, маючи високе звукопоглинання і добрий екрануючий ефект від електромагнітного випромінювання, непогану тепло і вогнестійкість, питому міцність, є привабливим матеріалом у будівництві [8].

Значними споживачами алюмінієвих порошоків на основі стружкових відходів є підпри-

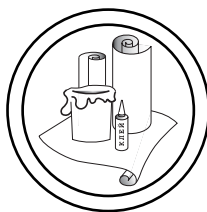
ємства по випуску поробетону. Активно реагуючи з вапном з виділенням водню, він формує пористу структуру поробетону — матеріалу з низькою щільністю і високими теплоізолюючими властивостями.

Треба підкреслити, що алюмінієвий газоутворювач із стружкових відходів раціонально виготовляти у дві стадії. Спочатку проводиться диспергування підготовленої стружки у порошок розміром 20...500 мкм і дозволяє виконувати процес у повітрі без додаткових засобів захисту. На другій стадії здійснюється процес домолу у присутності рідкого захисно-відновлювального середовища з добавкою диспергаторів і інгібіторів корозії [9].

Порівняльні дані про ефективність виробництва алюмінієвої пасти з різних видів сировини вказує на значно менші витрати при її виготовленні із алюмінієвої стружки механічним диспергуванням (табл. 2).

Висновок

Підсумовуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що за останній час суттєво поширилась кількість технологій пов'язаних з переробкою металевої стружки, особливо у країнах СНД (Білорусії, Росії). Автори вважають головним чинником такого підйому глобальну кризу, яка, між іншим, торкнулась і терен України. Порошки, виготовлені із металевої стружки, стають головним сировинним компонентом для багатьох матеріалів антифрикційного і будівельного призначення, збільшилась також гама металів і



ПОЛІГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ

Таблиця 2

Порівняльні дані ефективності виробництва алюмінієвих паст із різних видів сировини

Параметри процесу	Розпилення розплаву із злитка	Розпилення розплаву з відходів	Механічне диспергування стружки
Питомі витрати енергії, кВт·г/Т	1100-1200	1200-1300	500-600
Питомі витрати праці, кВт·г/Т	20-35	30-35	15-18

сплавів, відходи яких перероблюються електрофізичними технологіями. Такий клас сировини привертає увагу і розробників нанотехнологій, враховуючи той

факт, що дефектна структура тієї ж стружки приховує в собі велику потенційну енергію для саморуйнування при перетворенні в корисний виріб.

1. А. С. Морозов. Стабілізація металізованих колоїдних розчинів поліграфічного призначення / А. С. Морозов // Технологія і техніка друкарства. — 2008. — № 1. — С. 110—117. 2. П. А. Киричок. Некоторые аспекты получения полидисперсных металлических пигментов из стружковых отходов медных сплавов / П. А. Киричок, А. С. Морозов // Технологія і техніка друкарства. — 2007. — № 1-2. — С. 96—101. 3. Н. А. Чайников. Ресурсосберегающие технологии изготовления металлополимерных материалов / Н. А. Чайников, Л. С. Беляев, А. Б. Мозжугин, В. В. Жавриков. — Тамбов : ТГТУ. — 2003. — 80 с. 4. Гороховский Г. А. Получение металлических порошков методом измельчения стружкоотходов / Г. А. Гороховский, В. Г. Чернышев, В. П. Рева, Л. В. Коваленко // Порошковая металлургия. — 1988. — № 12. — С. 1—8. 5. В. С. Волошин. Природа отхообразованія / В. С. Волошин. — Мариуполь : Рената. — 665 с. 6. Електронний ресурс. — Режим доступу : <http://www.sciteclibrary>. 7. Потапов В. В. Исследование, разработка и внедрение экологически чистой технологии переработки чугуной стружки с целью получения брикетов, свободных от СОЖ и пригодных для выплавки чугуна высокого качества при производстве отливок в автомобильной промышленности. Автореферат диссертации. — Москва. — 2009. — 27 с. 8. Д. Е. Жарин. Конструкционные металлонаполненные полимерные композиты / Д. Е. Жарин, О. Ю. Селиванов, А. Ф. Гумеров // Пластические массы. — 2002. — № 6. — С. 37—38. 9. Овчинников В. В. Новые решения в области ресурсосберегающих технологий металлургического производства / Овчинников В. В., Войтович П. Н., Сташкевич В. Г., Вайнер А. М., Ромбальский О. Ф. // Литье и металлургия. — 2003. — № 3. — С. 117—121. 10. Волочко А. Т. Исследование свойств газообразователя на основе вторичных алюминиевых сплавов для производства поробетона / Волочко А. Т., Богданович Н. П. // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз-тэхн. навук. — 2004. — № 3. — С. 44—48.

Рецензент — Т. А. Роїк,
д.т.н., професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 21.06.10