



УДК 661.856

**ANALYSIS OF MODERN RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES
MANUFACTURE OF METAL POWDER FOR DIFFERENT PURPOSES
АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВИГОТОВЛЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Morozov A.S. / Морозов А.С.*PhD (Engin.), Associate Prof. / к.т.н., доцент.*

ORCID: 0000-0001-5769-489X

Omelchenko I.V. / Омельченко І.В.*master candidate/ магістрантка*

NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,

Publishing and Printing Institute, Kyiv, prosp. Peremohy, 37, 03056

НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Видавничо-поліграфічний інститут, Київ, проспект Перемоги, 37, 03056

Анотація. З кожним роком споживання металевих виробів зростає та збільшується кількість відходів, що забруднюють навколишнє середовище. За таких умов актуальною є проблема прогнозування їх мінімізації. Вона направлена на розширення повторного використання ресурсів та вторинної сировини, що знижують собівартість виготовленої продукції.

Стружка є поширеною сировиною для виготовлення металевих порошків, для використання як каталізаторів у різних хімічних виробництвах, поліграфії, порошковій металургії тощо. Використання металевих пігментів у друкарській фарбі мають не лише естетичну функцію, а й зберігають товарний вигляд продукції. Об'єкт дослідження – існуючі технології переробки стружкових відходів чорних та кольорових металів та сучасні технологічні схеми отримання металевих пігментів для використання в поліграфічних процесах.

Проведений аналіз існуючих технологій виготовлення металевих пігментів показав переваги способу виготовлення порошків диспергуванням стружки. Металевий порошок для виробництва металізованих фарб і технології бронзування можна одержати із стружкових відходів кольорових металів і сплавів. Їх використання в поліграфічній промисловості дозволяє отримати універсальний матеріал для друкарських процесів. Також вирішується питання утилізації стружкових відходів, що є екологічно та економічно доцільним. Великий відсоток металевих пігментів використовується для виробництва сучасних металізованих фарб.

Ключові слова: стружкові відходи; металеві пігменти; життєвий цикл; металізовані фарби; металевий порошок.

Вступ

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.

З кожним роком споживання металевих виробів зростає, а разом з тим зростають і гори відходів, що не розкладаються, забруднюючи навколишнє середовище. За таких умов дуже актуалізувалася проблема прогнозування їх мінімізації, направленої на розширення повторного використання ресурсів, вторинної сировини, що забезпечує зниження собівартості виготовленої продукції [1-7]. Таким чином, ряд важливих питань, пов'язаних з цим



напрямок, потребують подальшого вивчення і систематизації.

Метою даної статті є аналіз існуючих технологій отримання металевих порошків різного призначення: їх переваг та недоліків.

Результати дослідження

Під безвідходною технологією, виробництвом, системою розуміють не просто технологію або виробництво того або іншого продукту, а принцип організації функціонування виробництва. При цьому повинні раціонально використовуватись усі компоненти сировини і енергії у замкнутому циклі (первинні сировинні ресурси – виробництво – споживання – вторинні сировинні ресурси), тобто сформована екологічна рівновага у біосфері не порушується (рис.1).

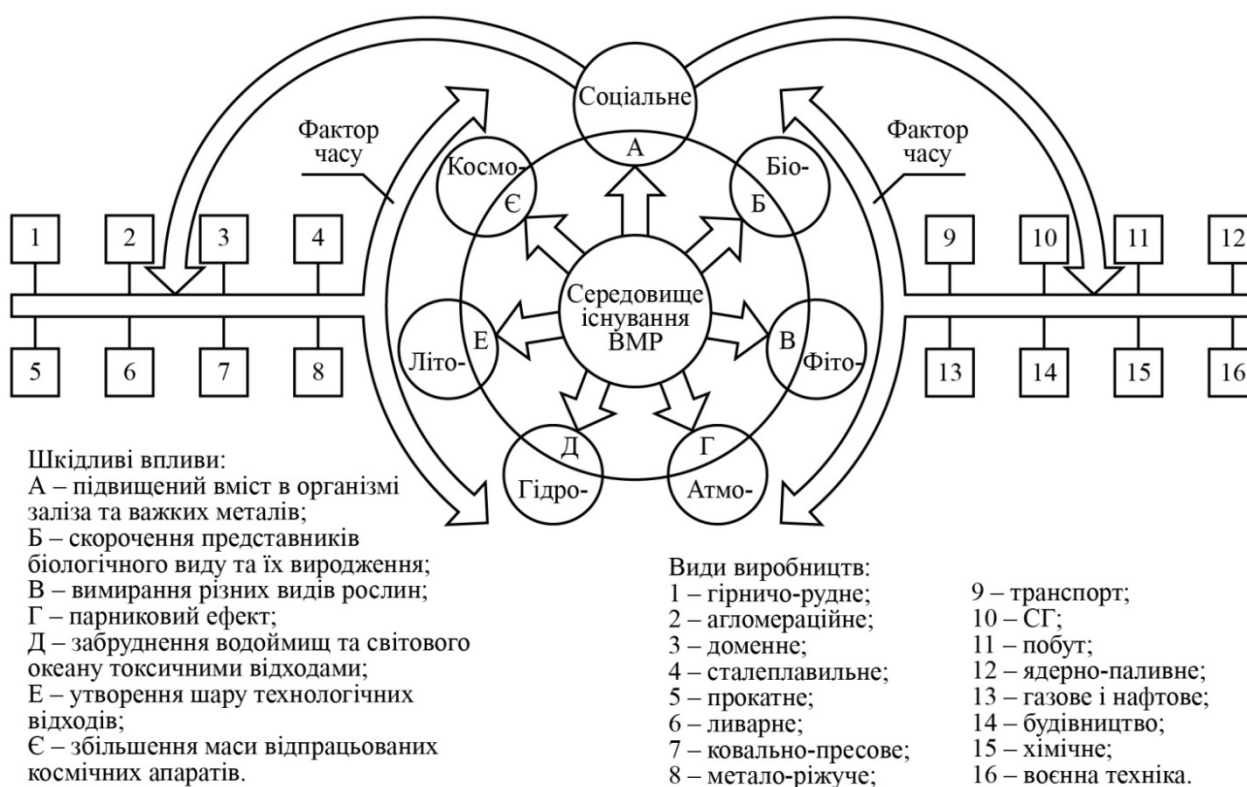


Рис.1. Схема системної екологічно-природоохоронної моделі утворення вторинних металоресурсів (ВМР)

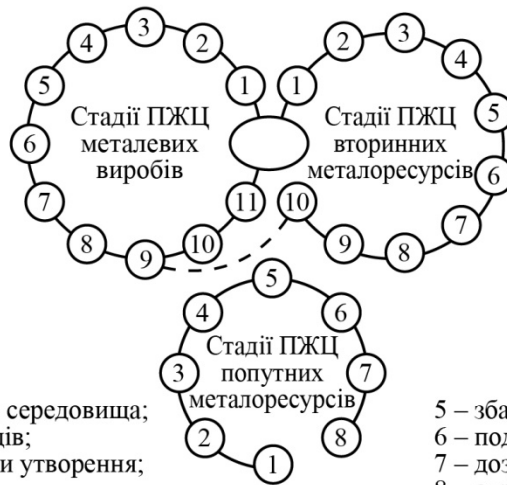
На рис. 2 подано більш конкретну схему повного життєвого циклу вторинних і попутних металоресурсів, які дозволяють виявити доцільність застосування деяких стадій розроблюваного процесу і спрогнозувати ступінь використання коефіцієнту металу.

Традиційні способи переробки металовідходів частіше не відповідають сучасним екологічним вимогам, або є недостатньо ефективними по технічним і економічним міркуванням. Наприклад, чавунна стружка зазвичай переплавляється в металургійних печах. Через властивій чавуну крихкості стружка погано брикетується, а переплав розсипної стружки супроводжується 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 утворення до місць переплаву. Перераховані проблеми призводять до того, що значна частина чавунної стружки взагалі не перероблюється і накопичується у відвалах, засмічуючи землю.

- 1 – добування руди;
- 2 – насичення;
- 3 – агломерація;
- 4 – доменне плавлення;
- 5 – виплавка сталі;
- 6 – ЛКОС;
- 7 – МНЛЗ;
- 8 – прокатка;
- 9 – виготовлення;
- 10 – експлуатація виробів;
- 11 – модернізація виробів;
- 12 – утилізація виробів.



- 1 – отримання і переробка інформації про МР;
- 2 – сортування і ідентифікація;
- 3 – первинна переробка;
- 4 – кінцева переробка;
- 5 – складування;
- 6 – операції на складах споживача;
- 7 – подача до технологічного агрегату;
- 8 – загрузка МР;
- 9 – нагрів МР;
- 10 – плавлення МР.

- 1 – відходи навколишнього середовища;
- 2 – вид накопичених відходів;
- 3 – спосіб видалення із зони утворення;
- 4 – сортування;

- 5 – збагачення;
- 6 – подачі до технологічного агрегату;
- 7 – дозування;
- 8 – отримання готової продукції.

Рис. 2. Структурна схема взаємозв'язків стадій повного життєвого циклу (ПЖЦ) вторинних і попутних металоресурсів

Стружка і кускові відходи крихких металевих матеріалів перероблюються у порошки методом механічного подрібнення. Таким способом були виготовлені порошки осколкової форми із чавунної стружки, стружки інструментальних сталей і кускових відходів твердих сплавів на основі карбиду вольфраму [8].

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, позбавляються сторонніх домішок і брикетуються з щільністю 0,6 – 0,7 від теоретичної. Висока щільність брикетів різко знижує чад металу при переплаві. Оригінальна конструкція відцентрованої розпилювальної установки і її малі габарити роблять процес високопродуктивним і найбільш економічним порівняно з існуючими способами розпилення рідких металів газом або водою.

Забезпечується сферична форма частинок з гладкою поверхнею і розмір їх легко регулюється зміненням швидкості обертання установки для розпилення. При твердінні частинок швидкість їх охолодження досягає 10 К/с, що створює у розпиленіх частинок унікальну мікрокристалічну структуру з дисперсним і однорідним розподіленням домішок і зміцнюючих фаз. Ця особливість структури розпиленіх 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 порошковий чавун, який легко піддається гарячій пластичній деформації з межею міцності при розтягу 1500 МПа. Способом відцентрованого розпилення отримували порошки із відходів алюмінію, міді, різних сплавів на основі заліза і нікелю.

Порівнюючи ціни порошків та відходів і враховуючи вартість металургійної переробки, можна орієнтовно спрогнозувати економічну ефективність виробництва порошків із відходів. Результати прогнозованих рахунків, приведені до одної тони порошкової продукції для різних металевих відходів, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати прогнозованих рахунків, приведених до одної тони порошкової продукції для різних металевих відходів .

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

Аналіз табличних даних вказує на високу економічну ефективність виробництва порошків із металевих відходів. Відпрацьовано ряд бізнес-проектів по створенню виготовлення порошків із чавунної стружки та кускових відходів твердих сплавів, а також виробництва розпилених порошків із титану, інструментальної сталі і направляючих матеріалів.

Відомо про спосіб переробки металевих стружкових відходів з додаванням їх у склад шихти з послідуочим плавленням. При цьому значна частина металу (до 30%) втрачається через вигорання легуючих домішок, що є великим недоліком цього методу переробки. Подрібнені металеві відходи можуть використовуватись у вигляді наповнювачів при виготовленні металополімерних композицій з використанням останніх в подальшому виробництві деталей машин [9].

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 [10].

Важливим напрямком використання стружкових відходів алюмінієвих сплавів є виготовлення високопористого піноалюмінія щільністю $0,6 \dots 1,2 \text{ Г/см}^3$. Широке його використання стримує висока ціна ($4 \dots 8 \text{ \$}$ 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 $0,3 \text{ \$}$ 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 [11].

Значними споживачами алюмінієвих порошків на основі стружкових відходів є підприємства 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 $20 \dots 500 \text{ мкм}$ і дозволяє виконувати процес у повітрі без додаткових засобів захисту. На другій стадії здійснюється процес домолу у присутності рідкого захисновідновлювального середовища з добавкою диспергаторів і інгібіторів корозії [12].

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).

Сьогодні металева стружка може бути оброблена за технологією механічного подрібнення, при якій змінюються її морфологічні властивості, але хімічний склад залишається майже незмінним, крім випадків, що пов'язані з механохімічним легуванням. Переплав стружки в металургії обумовлений зміною її агрегатного стану і повертає її у виробничий процес з метою виготовлення матеріалу з новим хімічним складом.

Сучасні умови розвитку поліграфічної продукції вимагають суттєвого



розширення застосування металевих порошоків для одержання якісних поліграфічних виробів.

Таблиця 2.

Порівняльні дані ефективності виробництва алюмінієвих паст із різних видів сировини

Параметри процесу	Розпилення розплаву зі злитку	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

Існуючі методи одержання металевих пігментів для поліграфії практично відносяться до методів порошкової металургії, де є технології плавлення вихідних матеріалів, а також механічного подрібнення із стружкових відходів. Незважаючи на те, що дані технології потребують значних енергетичних і трудових витрат при підготовці вихідної сировини- порошоків, вони економічно виправдані при виробництві поліграфічних виробів VIP- класу [13] .

На сьогоднішній день існує три методи виготовлення металевих пігментів: метод вакуумної металізації, продуктом якого є вакуумні металізовані пігменти (ВМП), традиційний метод (механічне подрібнення стружкових відходів), отримання металевих пігментів шляхом розпилення(із рідкого металу). Враховуючи збільшення споживчого попиту на металізовану продукцію, питання щодо дослідження технологій застосування подібних матеріалів є досить важливим для сучасних поліграфічних компаній [14-17].

Виготовлення алюмінію в лусках методом розпилення показано на рис. 3.

Другий спосіб виготовлення – метод вакуумної металізації. Найсучасніше виробництво алюмінієвих пігментів спрямоване на виготовлення частинок ультракласу методом вакуумної металізації. Ця технологія забезпечила появу фарб «рідкого металу» (Mirasheen) хромоподібних ефектів (Metasheen), представлених у вигляді алюмінієвої пасту, що містить 60...80% пігментів в суміші вуглеводневих розчинників. Таким методом виготовляються неспливаючі пігменти.

Технологічна схема виготовлення алюмінієвих ВМП (вакуумних металевих пігментів) зображена на рис. 4.

Процес виготовлення даного типу пігментів відбувається наступним чином: у вакуумний барабан подається легкоплавка полімерна основа у вигляді плівки, де проходить процес безпосереднього напилення конденсату алюмінію на полімерний підклад.

Після виходу з барабану основа з алюмінієвим напиленням потрапляє до спеціальної печі, де під дією температури полімерний матеріал, що використовувався у вигляді підкладу, розплавляється і відділяється від металеві плівки. Отриманий шар напиленого алюмінію надходить до



дробильної шахти, в якій проходить процес дезінтеграції з метою формування готових пігментних частинок.

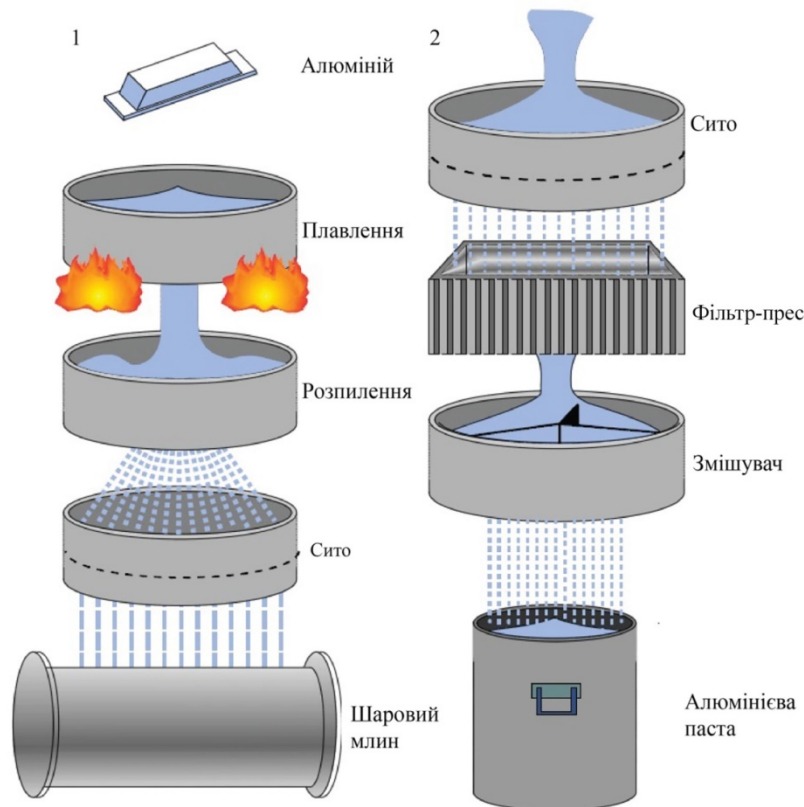


Рис. 3 Виготовлення алюмінію в лусках методом розпилення

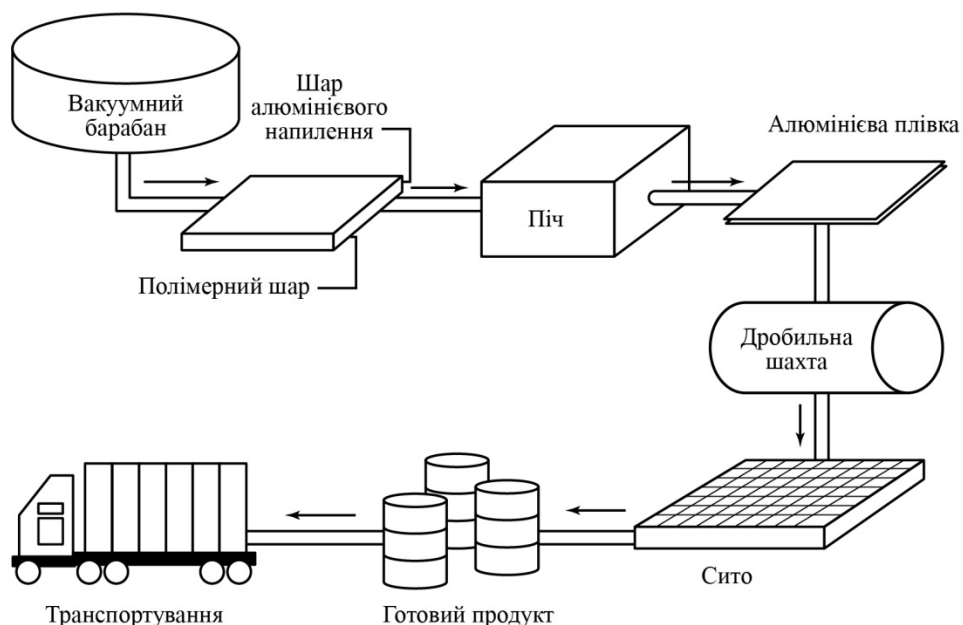


Рис.4 Технологічна схема виготовлення ВМП (вакуумних металевих пігментів)

Утворені частинки відрізняються за розміром. Для відокремлення пігментів потрібного розміру передбачено спеціальний сито-апарат, що



«відбирає» частинки товщиною 3...5 мкм і шириною 7...5 мкм.

Використовуються також технології бронзування для сучасної поліграфії, порошки для яких виготовляються, наприклад із стружки алюмінієвої бронзи.

Висновки

Проведений аналіз існуючих технологій виготовлення металевих пігментів показав важливу перевагу способу виготовлення порошків диспергуванням стружки. Слід зазначити можливість змінювати склад матеріалу в процесі переробки введенням допоміжних компонентів шляхом механохімічного легування, у тому числі таких, які неможливо ввести в матеріал при виготовленні порошку на основі іншої технології.

Металевий порошок, який використовується для виробництва металізованих фарб і технології бронзування можна одержати із стружкових відходів кольорових металів і сплавів. Їх використання в поліграфічній промисловості дозволяє отримати універсальний матеріал для друкарських процесів, крім того, вирішується питання утилізації стружкових відходів, що є екологічно та економічно доцільним. Великий відсоток металевих пігментів використовується для виробництва сучасних металізованих фарб.

Список літератури

1. Морозов С. І. Тенденції переробки металеві стружки /С. І. Морозов, А. С. Морозов//Технологія і техніка друкарства.–2010.–№2. – С.103-114.
2. Морозов А. С. Методологічні та еколого-економічні аспекти існування технологічних систем утилізації відходів, зокрема поліграфічних / А. С. Морозов, Ю. М. Колесник// Технологія і техніка друкарства. – 2010.– №4. – С.169-181.
3. Морозов А. С. Процеси відходоутворення в тарно-пакувальних матеріалах та механізми їх реалізації/ Морозов А. С.// Технологія і техніка друкарства.–2011.– №2.–С.28-34.
4. Чайников Н. А. Ресурсосберегающие технологи изготовления металлополимерных материалов / Н. А. Чайников, Л. С. Беляев, А. Б. Мозжухин, В. В. Жавриков. – Тамбов: ТГТУ. – 2003. - 80 с.
5. 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.
6. Жарин Д. Е. Конструкционные металлонаполненные полимерные композиты/ Д. Е. Жарин, О. Ю. Селиванов, А. Ф. Гумеров // Пластические массы. – 2002. – № 6. – С.37-38.
7. Овчинников В. В. Новые решения в области ресурсосберегающих технологий металлургического производства / Овчинников В. В., Войтович П. Н., Сташкевич В. Г., Вайнер А. М., Рымбальский О. Ф.// Литье и металлургия. –2003. – №3. – С.117-121.
8. Киричок П. О. Перспективи використання стружки алюмінієвої бронзи у поліграфії. Киричок П. О., Роїк Т. А., Морозов А. С., Савченко К. І.// Технологія і техніка друкарства. – №3. – 2009. – С.81- 89.
9. Kimiuki Oqura. Technology for Powder Production and Evaluation of



Powders. Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy. 2015, Vol.53, issue 4, p.340.

10. Robert FRYKHOLM, Yoshinoby TAKEDA, Bo-Goran ANDERSSON, Raif CARLSTROM. Solid State sintered 3-D Printing Component by Using Inkjet(Binder) Methods. Journal of the Japan Society of Powder Metallurgy. 2016, vol.63, issue 7, p.p. 421-426.

11. Yingchao Zhang, Hongqi Ye, Hui Liu. Preparation and characterization of blue color aluminum pigments Al/SiO₂/Pb with double-layer structure. Powder Technology, 2012, vol.217, p.p.614-618.

12. Morozov A.(2019) Analysis of technological and morphological peculiarities of bronzed powders production from the swarf wastes. Technology audit and production reserves, № 1/3(45), 24-26.

13. Емельянова Т. Металлизированные краски: бледно-богатое золото красок/ Емельянова Т.// Полиграфист и Издатель. – 2002. – №7. С.43-49.

14. Эффектные пигменты для печати этикеток. Effect pigments for label printing Buchweitz Jorg. Narro Web Tech, 2003.6, №2. С. 10-11 (РЖ "Издательское дело и полиграфия"– М.: ВИНТИ, 2007г.)

15. Zhao-Hui Zhang, Zhen-Feng Liu, Ji-Fang Lu, Xiang-Bo Shen(2014) The sintering mechanism in spark plasma sintering. Scripta Materiala, 81, 56-59.

16. J.Millgan, J.M.Shockley, R.R.Chromik, M.Brochu(2013) Tribological performance of Al-12Si coating created via Electrospark Deposition and Spark Plasma Sintering . Tribology International, 66, 1-11.

17. Jin X., Gao L., Sun J.(2010) Highly Transparent Alumina Spark Plasma Sintered from Common-Grade Commercial Powder. The Effect of Powder Treatment Journal of the American Ceramic Society, 93, 1232-1236.

Abstract. Every year the consumption of metal products increases and the amount of waste that pollutes the environment are growing. Under such conditions, the problem of forecasting their minimization is relevant. It aims to expand the reuse of resources and secondary raw materials that reduce the cost of manufactured products.

Chips are a common raw material for the manufacture of metal powders. It use as catalysts in various chemical industries, printing, powder metallurgy and more. The use of metallic pigments in printing ink has not only an aesthetic function, but also preserves the appearance of products. The object of research is the existing technologies of processing of ferrous waste of ferrous and non-ferrous metals and modern technological schemes of obtaining metal pigments for use in printing processes.

The analysis of existing technologies for the manufacture of metallic pigments showed the advantages of the method of manufacturing powders by dispersing chips. Metal powder for the production of metallized paints and bronzing technology can be obtained from chip waste of non-ferrous metals and alloys. Their use in the printing industry allows obtaining a universal material for printing processes. The issue of chip waste disposal is also addressed, which is environmentally and economically feasible. A large percentage of metallic pigments are used for the production of modern metallized paints.

Key words: chip waste; metallic pigments; life cycle; metallized paints; metal powder.