



УДК 661.856

**ORGANIZATIONAL, MORPHOLOGICAL, STRUCTURAL FEATURES OF
BRONZE POWDER MANUFACTURE FROM CHIP WASTE
ОРГАНІЗАЦІЙНІ, МОРФОЛОГІЧНІ, СТРУКТУРНІ ОСОБЛИВОСТІ
ВИГОТОВЛЕННЯ БРОНЗУВАЛЬНИХ ПОРОШКІВ
ІЗ СТРУЖКОВИХ ВІДХОДІВ**

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. Об'єктом дослідження була технологія практичного одержання металевих порошків із стружкових відходів алюмінієвої бронзи з подальшим їх використанням у якості пігментів для поліграфічних процесів. В ході досліджень було виявлено, що розвинута поверхня стружкових частинок, багаточисельні дефекти у вигляді макро і мікротріщин, розщеплень та пор, специфічний мікрорельєф є сприятливими передумовами для їх подрібнення.

Експериментальні напрацювання тонкої структури показали, що в процесі подрібнення стружки за рахунок додаткової пластичної деформації щільність дислокацій і величина мікровикривлень кристалічної ґратки порошкових частинок збільшується. Дослідження форми і стану поверхні на оптичному і растровому мікроскопах надали необхідну інформацію для пояснення процесів, які відбуваються при подрібненні стружки. Аналіз характеру руйнування поверхні підтвердив успадковування морфологічних, структурних та фізико-хімічних закономірностей знов утвореними частинками порошку, і можливість отримання дисперсного металевого пігменту для використання в поліграфії.

Одержані позитивні результати надали змогу реалізувати експериментальні напрацювання з використання стружкових відходів кольорових сплавів для виготовлення металевих порошків. Вказані відходи можуть бути вельми перспективним сировинним матеріалом для їх використання незважаючи на масштаби утворюваних металевих стружкових відходів легованих кольорових металів і сплавів, особливо в умовах розвитку в Україні новітніх ресурсозберігаючих технологій.

Ключові слова: стружкові відходи, металеві пігменти, металевий порошок.

Вступ

Стружка є поширеною сировиною для виготовлення металевих порошків, які використовують каталізаторами у різних хімічних виробництвах, поліграфії, порошковій металургії тощо.

Наприклад, металевий порошок, який використовується для виробництва металізованих фарб і технології бронзування, можна одержати із стружкових відходів кольорових металів.

За рахунок чітко виявленої дефектної структури стружки, при відповідній технології дезінтеграції цього матеріалу, процес її обробки може протікати при відносно низьких додаткових енергетичних витратах. Механічне диспергування стружкових відходів після металообробки стає перспективним методом



виготовлення порошків, дозволяючи з певною ефективністю повернути у виробництво значну частину металу. Серед альтернативних рішень виготовлення тонкодисперсних металевих порошків, механічне подрібнення стружкових відходів має суттєву перевагу. У даному випадку матеріал порошку відповідає певному металу або сплаву з якого була отримана стружка.

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 механо-хімічним легуванням. Переплавлення стружки в металургії обумовлений зміною її агрегатного стану і повертає її у виробничий процес з метою виготовлення матеріалу з новим хімічним складом.

Підвищення рівня якості поліграфічної і пакувальної продукції зумовлює необхідність застосування на поліграфічних підприємствах різноманітних технологічних процесів. Металевий блиск поліграфічної продукції є найбільш популярним ефектом серед замовників. Він реалізується друком металізованими фарбами та бронзуванням. Металеві пігменти, які використовують при бронзуванні, мають вигляд порошків, що одержані за допомогою різноманітних технологій [1-5].

Порошкова металургія за відсотком використання посідає перше місце і займає 90 %, проте в поліграфічній галузі використовується лише 1% від загального обсягу. Раніше цього вистачало для оздоблення поліграфічної продукції. Проте сучасні умови розвитку поліграфічної продукції вимагають суттєвого розширення застосування металевих порошків для одержання якісних поліграфічних виробів. Крім того, як металеві пігменти можна застосовувати стружкові відходи, про що більш детально викладено нижче.

Метою досліджень, результати яких наведені у статті, є аналіз організаційних, морфологічних, структурних особливостей стружки алюмінієвої бронзи БрАЖ 9-4 та визначення можливостей подальшого використання порошку на її основі у поліграфії.

Матеріали та методи досліджень

Методологія мінімізації відходів є більш кращою порівняно з методами економії матеріалів, охорони навколишнього середовища тощо. Одним зі способів мінімізації є прогнозування причинно-наступних зв'язків, що забезпечують механізми відходоутворення при механічній обробці.

Наприклад, ланцюг міжгрупових причин при механічній обробці сировини (рис. 1) у вигляді формули $C_5—E_1—S_3—\Xi_3$ означає наступний варіант реалізації механізму відходоутворення.

Надлишковий вміст сировини (причина C_5) при відсутності достатнього енергозабезпечення (причина E_1) та неможливості розширити і використати інші ресурси системи (причина S_3) для того, щоб переробити надлишок сировини, призводить до планування у виробничій системі відходів у вигляді необробленого сировинного матеріалу.

На практиці даний механізм відходоутворення може бути застосований для будь-яких процесів різання металу. Визначившись зі способом переробки сировини і виявивши хоча б одну з явних причин, через які в системі



утворюються відходи, можна далі по ланцюжку встановити інші причини та сформулювати основні принципи і механізми для даного виду виробництва.

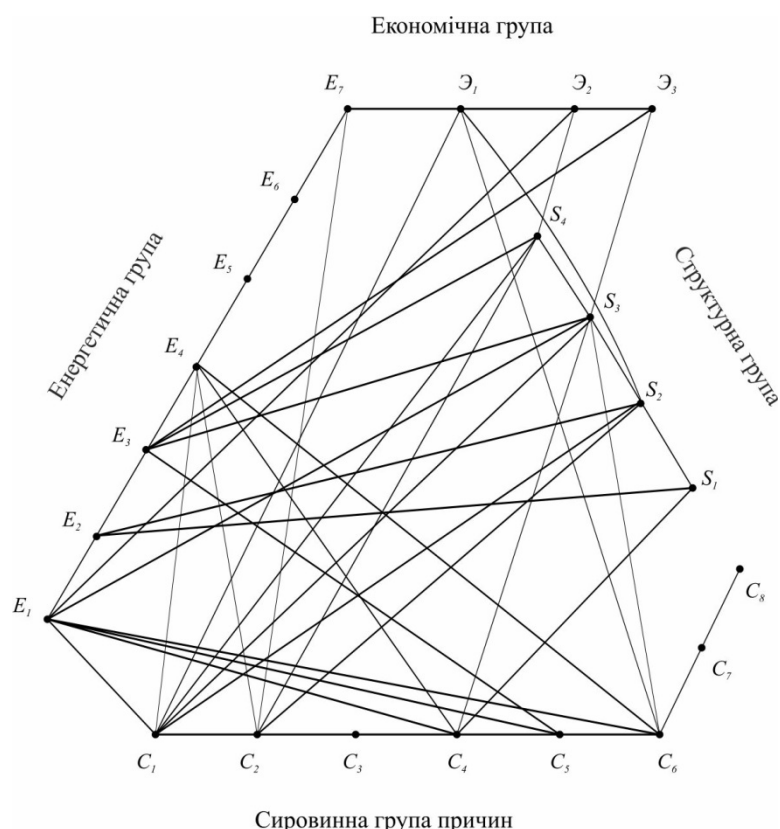


Рис.1. Схема міжрівневих причинно-наступних зв'язків, що забезпечують механізми відходоутворення при механічній обробці

Спробуємо застосувати даний механізм на прикладі технології обробки деталі на токарному верстаті. Явною причиною відходоутворення у вигляді стружки є надлишковий вміст металу в заготовці (причина C_5). Розглянемо далі схему причинно-наступних зв'язків для механічної обробки, починаючи з причини C_5 (рис. 1). Ми одержуємо дві достатньо розвинуті схеми (рис.1-2).

Надлишковий вміст компонентів сировинної бази (причина C_5) і відсутність в системі очевидних енергетичних ресурсів для їх переробки (причина E_1) призводить до того, що отримана стружка не має достатньої споживчої цінності. При цьому в системі відсутні додаткові ресурси (причина S_3), щоб забезпечити відторгнуту стружку певною споживчою привабливістю.

Отже, приймаючи механічну заготовку певних розмірів як сировину, ми заздалегідь запроваджуємо в кошторис витрати на утворення та утримання одержаної стружки у вигляді запланованого відходу [6].

У іншому випадку механізм стружкоутворення може бути заснований на причині E_3 , розуміючи під недостатньою енергетичною провідністю опосередкований параметр – швидкість різання на верстаті. Якщо достатні ресурси для збільшення швидкості різання та розширення функціональних можливостей верстата (причина S_3) відсутні, то ми знову переходимо до результату причини $Э_3$. Якщо ми маємо справу зі зношеним верстатним обладнанням (причина S_4), то в результаті маємо $Э_2$, або просто кажучи брак.



Такий вигляд має механізм утворення стружкових відходів.

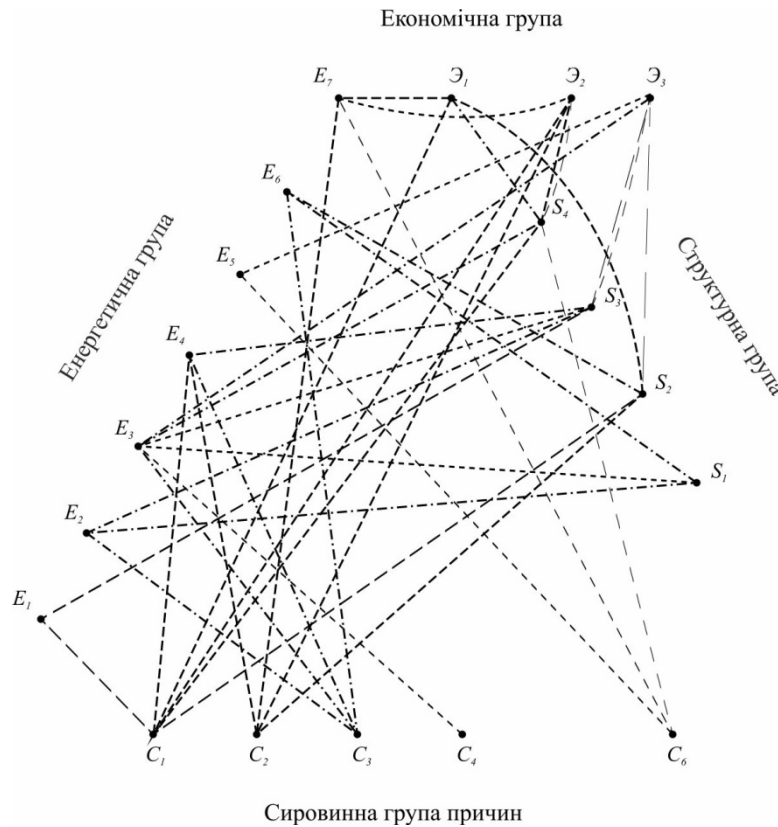


Рис. 2. Версія механізму утворення стружки в технології токарної обробки деталі

Стружка алюмінієвої бронзи є морфологічно вигідним матеріалом для отримання порошків і затрачена енергія на утворення стружки не знецінюється. Розвинута поверхня, багаточисельні дефекти у вигляді макро- і мікротріщин, розщеплень і пор формує в матеріалі стан, що є характерним для стадії попереднього подрібнення.

Зони пластичної деформації у елементі стружки та в області, що випереджає та супроводжує деформації, мають темний колір. Мікродослідження показало, що це пов'язано з високою щільністю площин ковзання і дислокацій. Процес підсилюється зі збільшенням глибини різання. Зона випереджаючого зміцнення 1,03–1,45 мм набагато більше глибини зміцненого шару під різцем 0,05–0,30 мм. Ступінь пластичної деформації структурних складових неоднакова [7].

Лінії ковзання мають певну кристалографічну орієнтацію в різних зернах. Знаходячись у вихідному стані в дисперсійній (10–30 мкм) і дезорієнтованій зоні пластичної деформації, α -фаза спочатку витягується в площині, нормальній до напрямку руху різця, а потім повертається у напрямку його руху. При цьому поверхневий шар набуває волокнистої будови. Межі зерен в зоні деформації частково або повністю втрачають свої окреслення (рис. 3).

Для подрібнення стружки кольорових відходів використовується прокатний стан певної конструкції, яка наведена на рис.4.



Рис. 3. Локалізація пластичної деформації

Пропонується здійснювати технологічний процес переробки відходів кольорових металів наступним чином: грубий розсів стружкових елементів просіюється на віброситах з комірками більшого діаметру (5 мм). Вібросита з потужністю двигуна 1,5 кВт використовуються для просіву первинних стружкових відходів, щоб звільнитися від включень картону, дерева, скла. Просіяні частинки йдуть на подальшу обробку в прокатний стан, у конструкції якого є пристрій для видалення змащувально-охолоджуючої рідини (рис. 4). У табл. 1 наведено характеристику прокатного стану.

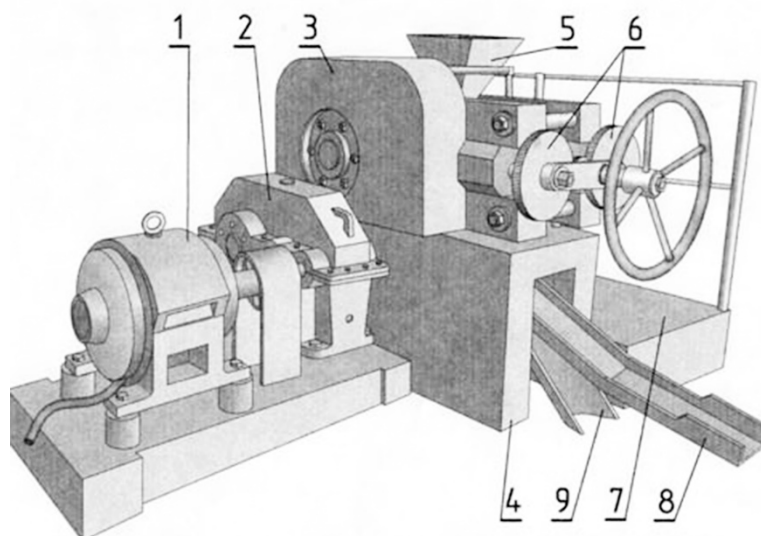


Рис. 4. Схема двохвалкового стану для переробки металевої стружки:

1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – блок трибів; 4 – станина; 5 – дозатор для засипки подрібнюваного матеріалу; 6 – ручний привід для регулювання зазору між валками; 7 – оглядовий майданчик; 8 – жолоби для вивантаження готової продукції

Його доцільно використовувати і для тонкого подрібнення стружкових відходів алюмінієвих сплавів. При цьому формується пориста стрічка з додатковим подрібненням частинок в процесі деформації при відносно невеликому контактному тиску і центру деформації [8-9].



Таблиця 1

Характеристика прокатного стану

Назва показника	Чисельні дані
Потужність електродвигуна	7,5 кВт
Частота обертання двигуна	750 об/хв
Діаметр валків	250 мм
Швидкість обертання валків	3 м/с
Зазор між валками	3 мм
Крутний момент	400 кгс·с

Специфіка прокатки стружкових частинок полягає у тому, що: по-перше, з них формується стрічка невеликої міцності, по-друге, вона легко руйнується в звичайному атриторі. Багаторазовість таких операцій з вищевказаною послідовністю дає можливість отримувати порошок дуже дрібних фракцій 10...30 мкм з мінімальним окисненням. На рис. 5 зображено діаграму пересування стружкових частин у бункері прокатного комбайну.

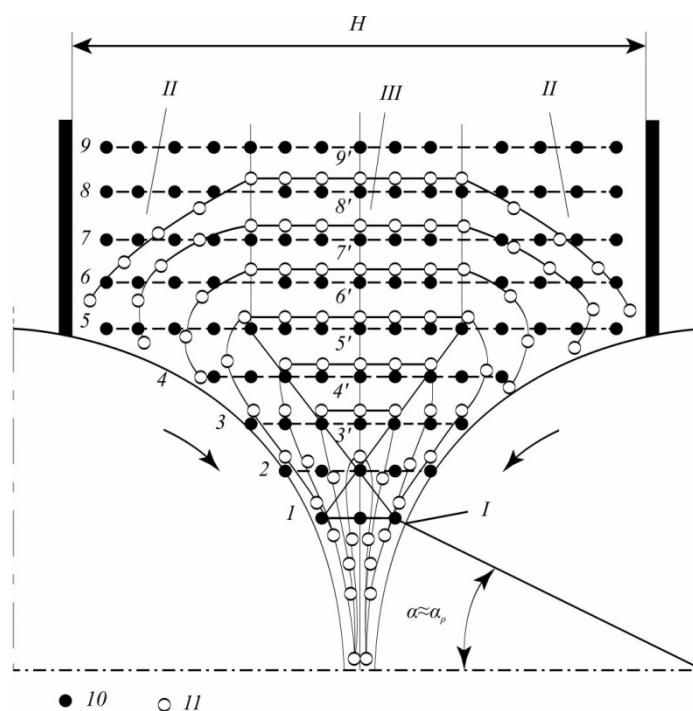


Рис. 5. Діаграми пересування стружкових частинок в бункері прокатного комбайну при вертикальній прокатці: 1-9 – горизонти укладки стружкових частинок; 10 – вихідний стан частинок; 11 – стан частинок після повороту валків

Піддаючись ударному впливу обертових частин бил у атриторі, стружкові частинки діляться на більш дрібні елементи. В початковому стані вони мають клиноподібну форму. В подрібнювачі, завдяки контакту один з одним та поверхневій деформації, вершини і ребра зминаються, різкі профілі змінюються на більш обкатані та гострі кути перетворюються на тупі. У результаті утворюються частинки стовпчастої форми з перетином, що є близьким до трапецеїдального.



Хоча стружка є пластично деформованим матеріалом, в ході диспергування на поверхні частинок утворюються вм'ятини — ділянки з ослабленими перетинами. При наступних ударах в цих зонах, які є нездатними до подальшої пластичної деформації, концентрація дефектів стає граничною і відбувається крихке руйнування по виникаючим мікро- і макротріщинам. В результаті утворюються частинки переважно у формі неправильного чотирикутника [10].

Оскільки знову утворені частинки успадковують всі мікро- і макродефекти стружки, тобто мають більш низьку міцність, то в результаті прикладених напруг, вони руйнуються швидше. Але крім спадкових дефектів, в процесі багаторазового навантаження, виникають нові.

Найбільш ймовірним місцем зародження тріщин є поверхневі шари на межі частинки, що руйнується, зі здавлюючим тілом. Таке місце характеризується наявністю найбільших сколюючих напруг. Причому цей процес полегшується вже наявними дефектами поверхні у вигляді дислокацій і мікронесуцільностей (рис.6).

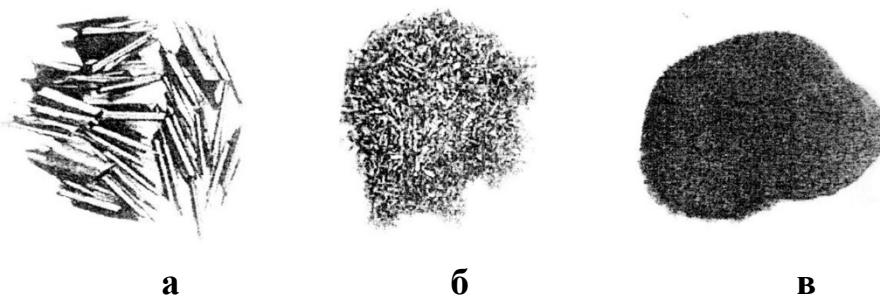


Рис. 6. Дрібні фракції бронзувального порошку:
a – 15-30 мкм ; б – 5-7 мкм; в – 200-300 нм.

Результати досліджень та обговорення

Мікроскопічні дослідження показали, що в більшості випадків в частинках виникає безліч тріщин, що поширюються переважно зигзагоподібно. В результаті цього частинки набувають осколкову форму.

Слід зазначити, отриманий у вібротриборі порошок має більш розвинену і насичену мікронесуцільностями поверхню порівняно з порошком з атритора.

Мікроструктура частинок порошку успадковує особливості будови литого металу і стружки. Однак, глибина і ступінь пластично деформованих шарів є більшими. Мікротвердість альфа-фази в поверхневих шарах часток становить 281–303 Н, у центральних – 230-270 Н. У порівнянні зі стружкою, мікротвердість структурних складових при подрібненні підвищується в середньому в 1,1-1,14 рази, а у відношенні до литого металу в 1,4-1,6 рази. Суттєвої відмінності в твердості частинок порошку, отриманого в атриторі та у вібраційному подрібнювачі, не спостерігається [11].

Дослідження тонкої структури показали, що в процесі подрібнення стружки за рахунок додаткової пластичної деформації щільність дислокацій і величина мікровикривлень кристалічної решітки порошкових частинок збільшується. Морфологія частинок на різних стадіях подрібнення стружки алюмінієвої бронзи приведена на рис. 7.

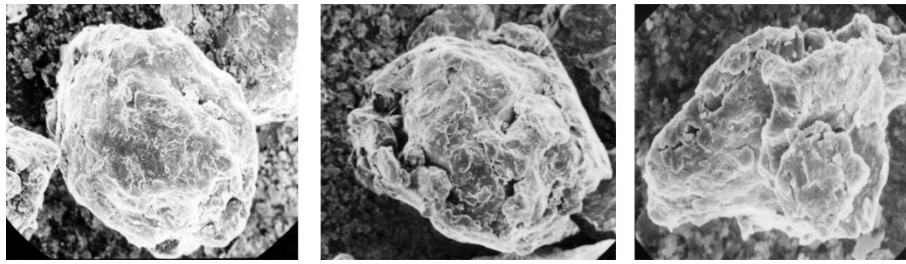


Рис. 7. Частинка металевого пігменту (збільшення x241)

Після отримання бронзувального порошку було виготовлено бронзувальну пасту. Склад суміші для бронзування: олійно-смоляний лак 1 л та бронзовий порошок 400–450 г.



Рис.8 Алгоритм виготовлення бронзувальної пасту із стружкових відходів



Бронзовий порошок затирають на невеликій кількості лаку. Отриману суміш розводять рештою лаку до робочої в'язкості. Для виготовлення суміші з алюмінієвого порошку використовують 200–220 г на 1 л лаку [12].

Для роботи суміш виготовляють невеликими порціями, які мають бути відразу використані, оскільки при довгому зберіганні спостерігається сильне змочування частинок бронзи, які осідають на дно посудини. Надалі під час нанесення на поверхню частинки бронзи не будуть спливати у зовнішній шар плівки. Як результат — вона втратить блиск і стане тьмяною.

Така бронзувальна паста може використовуватись для оздоблення поліграфічної продукції (особливо для подарункових пакувань)

Одним із способів утилізації металевої стружки, як вже зазначалося вище, є її використання у поліграфічній промисловості в якості пігментів для друкарських фарб, що знайшли широке застосування при виробництві пакувань. Зазвичай в якості задрукованого матеріалу при виготовленні пакувань є: скло, пластик, полімерна плівка та різні метали. Найбільш важливою властивістю цих матеріалів є відносно малий строк життєвого циклу (від виготовлення пакувань до їх видалення перед початком експлуатації основного виробу). Час життєвого циклу тарно-пакувальних матеріалів залежить від ліквідності основної продукції і вимірюється часом, який витрачається на пакування основного виробу [13].

Етап розділення матеріалопотоків в ході виробничого процесу є визначальним в розумінні природи відходоутворення. Механізм цього розподілу, залежить від об'єктивних явищ, що закладені в технології отримання корисного продукту і в кінцевому результаті характеризує рівень екологічної стійкості всієї системи в цілому (рис.9).



Рис.9 Кругообіг металевих пігментів із стружкових відходів



Екологічна стійкість багаторівневої технічної системи може бути оцінена, наприклад, у відношення до роздільних ресурсопотоків виробництва за сировиною, готовою продукцією, відходам з врахуванням того, що кожний з цих потоків в рівному ступені є потенціальним джерелом забруднення середовища в просторово-часових координатах.

Висновки

В ході дослідження продемонстровано, що завдяки властивостям поверхні стружкових частинок, у вигляді численних дефектів, існує перспектива подальшого використання порошків певних фракцій для поліграфічних процесів. Особливостями прокатки стружкових частинок є утворення стрічки невеликої міцності та легке руйнування у звичайному атриторі.

Частота таких операцій з наведеними вище послідовностями дозволяє отримувати порошки дуже маленьких фракцій 10–20 мкм з мінімальним окисненням.

Наступні дослідження будуть спрямовані на виробництво менших частинок з меншим ступенем окислення та з більшою кількістю їх оптичних властивостей, оскільки це безпосередньо впливає на економічні аспекти друкованої продукції.

Список літератури

1. Kimiuki Oqura. Technology for Powder Production and Evaluation of Powders. *Jornal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy*. 2015, Vol.53, issue 4, p.340.
2. Robert FRYKHOLM, Yoshinoby TAKEDA, Bo-Goran ANDERSSON, Raif CARLSTROM. Solid State sintered 3-D Printing Component by Using .*Jornal of the Japan Society of Powder Metallurgy Inkjet(Binder) Methods*. 2016, vol.63, issue 7, p.p. 421-426.
3. 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.
4. Rungrot Kitsomboonoha, T.Bera, Joydeep Dutta. Direct Synthesis of Anisotropic Metal Particles by Ink Printing Technique. *Advanced Materials Research*. 2008, vol.55-57, p.p 585-588.
5. R.Kronberger, Volker Wienstroer. 3-D printer FSS using printing filaments with enclosed metal particals. *Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall(PIERS-FALL)*. 19-22 November 2017, Singapore.
6. Волошин В. С. Природа отхоодообразования. Мариуполь: Рената, 2007. 666 с.
7. Морозов С. І., Морозов А. С. Тенденції розвитку переробки металевих відходів // *Технологія і техніка друкарства*. 2010. № 2. с. 103–114.
8. Морозов А. С., Колесник Ю. М. Методологічні, екологічні та економічні аспекти існування технологічних систем переробки відходів, зокрема поліграфічних // *Технологія і техніка друкарства*. 2010. № 4. с. 169–181.
9. Морозов А. С. Процеси переробки використаних паковальних матеріалів та механізми їх впровадження // *Технологія і техніка друкарства*. 2011. № 2.



с. 28–34.

10. Методи виготовлення алюмінієвих пігментів для використання в поліграфічній промисловості / Морозов А. С., Сухіна Є. Г., Гуща О. В., Безкоровайна Д. В. // Технологія і техніка друкарства. 2012. № 1. с. 169–175.

11. Перспективи використання стружки алюмінієвої бронзи в поліграфічних процесах / Киричок П. О., Роїк Т. А., Морозов А. С., Савченко К. І. // Технологія і техніка друкарства. 2009. № 3. с. 81–89.

12. Морозов А.С., Савченко Е.И. Использование металлических пигментов при изготовлении этикетки и упаковки // Упаковка. 2008. № 2. с. 28–31.

13. Морозов А. С., Івасенко М. В., Шахова О. В. Обробка металізованих колоїдних систем // Технологія і техніка друкарства. 2013. № 2. с. 47–53.

***Abstract.** The object of research was practical technology receiving of metal powders from chip waste of aluminum bronze with their subsequent use as pigments for printing processes. In the course of research was found that the developed surface of chip particles, numerous defects in the form of macro and microcracks, fissures and pores, specific microrelief are favorable conditions for their grinding.*

Experimental developments of the thin structures showed that in the process of grinding chips due to additional plastic deformation, the density of dislocations and the magnitude of the micro-distortions of the crystal lattice of the powder particles are increases. The use of a rolling combine with a set of vibrating screens allowed to further thin grinding of chip waste.

Studies of the shape and condition of the surface on optical and scanning microscopes provided the necessary information to explain the processes that occur during the grinding of chips. Analysis of the destruction nature of the surface of aluminum bronze chips in the grinding process confirmed the inheritance of morphological, structural and physicochemical patterns of the latter newly formed powder particles, as well as the possibility of receiving a dispersed metallic pigment for use in printing.

The receiving positive results made it possible to implement experimental developments in the use of chip waste of non-ferrous alloys for the manufacture of metal powders. Due to this result, selective grinding of chip particles to the desired size and use the obtained powder fractions for their intended purpose is possible.

These wastes can be a very promising raw material for their use, despite the scale of the generated metal chip waste of alloyed non-ferrous metals and alloys, especially in the conditions of development in Ukraine of the latest resource-saving technologies.

Key words: chip waste, metal pigments, metal powder.