

Світові тенденції ринку вторинної переробки відходів і брухту міді (аналітичний огляд)

Переробка відходів і брухту металів є важливим компонентом сучасної економіки, оскільки природні металеві ресурси є вичерпними. А так як відходи та брухт міді можна розглядати як відновлювальні ресурси, то аналіз світового ринку вторинної переробки відходів і брухту міді є актуальним в XXI столітті.

Показано, що мідь використовується в багатьох галузях промисловості. Найбільшими споживачами цієї продукції є машинобудування (частка 32 %) та будівництво (26 %). В XXI столітті (2001–2022 рр.) глобальне виробництво міді рафінованої збільшилось з 15,6 до 25,7 млн т (CAGR 2,3 %), а її використання — з 14,9 до 26,1 млн т (CAGR 2,6 %). За підсумками 2022 р. лідерами виробництва міді рафінованої в світі були Китай (частка 43 %), Чилі (8 %), Республіка Конго (7 %) та Японія (6 %). Аналітика свідчить, що в світі середній рівень переробки мідного брухту в кінці терміну використання становить близько 45 %. Якщо до 2035 р. рівень переробки сягне 60 %, то розрахунково загальний обсяг мідного брухту до 2030 р. сягне 14 млн т, а до 2050 р. — 25 млн т. В той же час в світі сформувався ринок відходів і брухту міді. У кількісному вимірі світовий експорт вказаних товарів у 2003–2022 роках змінювався від 3,8 млн т (2003 р.) до 6,8 млн т (2013 р.). В подальші роки експорт відзначався певною стабільністю і коливався в діапазоні 5...6 млн т. Основними експортерами цих товарів у 2022 році були США (частка 16,4 %), Німеччина (7,2 %) та Японія (6,9 %), а імпортерами — Китай (37,1 %), Німеччина (10,4 %) та Республіка Корея (7,5 %). Розглянуто інформацію стосовно провідних компаній-переробників мідного брухту в світі та США. Представлено інформацію стосовно технологічних аспектів переробки мідного брухту. Показано, що переробна промисловість має у своєму розпорядженні прямі та непрямі методи сортування, лінійку обладнання для металургійної переробки мідного брухту. Констатується, що певні компанії використовують комп'ютеризовані системи для визначення теплових характеристик, вартості та найефективнішого методу переплаву, включаючи потребу у використанні кількох видів брухту. Надано інформацію стосовно компанії Continuuus-Properti S.p.A. (Італія), яка для переробки мідного брухту використовує три варіанти технологій. Відзначається, що наявне обладнання дозволяє переробним компаніям створити технологічний цикл переробки з оптимальною ефективністю залежно від якості вхідного брухту. Представлено інформацію стосовно стану українського ринку відходів і брухту міді, міді рафінованої та мідних виробів, а також вітчизняних технологічних розробок.

Ключові слова: ринок, тенденції, мідь, мідні сплави, відходи, брухт, технології.

1 Аналітика ринку вторинної переробки відходів та брухту міді є важливою складовою наукових досліджень та розробок в секторі металургійної промисловості. Визначення факторів та тенденцій, що впливають на цей ринок, дозволяє корегувати напрями наукових досліджень та інноваційних розробок, а також стимулює створення нового обладнання, виробничих дільниць та цехів. Запаси металів в земній корі обмежені і тому метали у вигляді брухту та відходів є сенс розглядати як відновлювані ресурси, які можна використовувати знову і знову в нових виробках. При цьому зменшуються темпи використання рудних ресурсів, заощаджуються енергетичні ресурси та зменшується забруднення навколишнього середовища. Тому переробці металевих брухту та відходів слід надавати пріоритет над їх утилізацією. При цьому є сенс оптимізувати

не тільки технології та менеджмент, а також торгівлю металевим брухтом і відходами. Метою статті є проведення аналізу технічних, наукових і економічних статей та оглядів, а також статистичних даних стосовно тенденцій ринку вторинної переробки відходів та брухту міді.

1.1. Виробництво міді в світі нараховує щонайменше 10000 років. Сфера її використання простягається від монет і прикрас до мікросхем. В XXI столітті (2001–2022 рр.), як свідчать дані International Copper Study Group (ICSG) [1], видобуток мідних руд в світі характеризується середньорічним темпом зростання (CAGR) 2,2 %. Одночасно глобальне виробництво міді рафінованої збільшилось з 15,6 до 25,7 млн т (CAGR 2,3 %), а її використання — з 14,9 до 26,1 млн т (CAGR 2,6 %). При цьому у 2022 р. завантаженість потужностей вироб-

ництва рафінованої міді в світі становила 81,9 %. Прогнозується, що їх зростання на період до 2027 р. буде складати 3,3 % CAGR. За підсумками 2022 р. лідерами виробництва міді рафінованої в світі були Китай (частка 43 %), Чилі (8 %), Республіка Конго (7 %) та Японія (6 %), що разом становить 64 % глобального обсягу. Стосовно структури виробництва напівфабрикатів з міді та її сплавів, то 64 % припадає на дріт, 12 % — на труби, 11 % — на плоский прокат, 9 % — на стержні та профілі та 4 % — на фольгу. Найбільшими споживачами цієї продукції є машинобудування (частка 32 %) та будівництво (26 %). Відзначається, що частка виливків з мідних сплавів у 2022 р. становила 1,9 % глобального виробництва ливарної продукції [1].

1.2. Світовий досвід свідчить, що переробка відходів і повторне використання металів сприяє мінімізації використання енергії, підвищує ефективність використання ресурсів і є корисним доповненням традиційних виробничих процесів. За оцінкою ICSG [1] у 2022 р. 32 % світового споживання міді припадало на перероблену мідь.

Як свідчить аналітика від компанії Market Reports World (США) обсяг світового ринку мідного брухту в 2022 р. складав 64,8 млрд дол. USD [2]. Прогнозується, що на період до 2029 р. середньорічний темп зростання (CAGR) буде 4,1 % і обсяг ринку сягне 86,0 млрд дол. USA. В звіті відзначається, що при оцінці розмірів ринку враховували вплив COVID-19 та російсько-української війни. Аналітики компанії виокремили 12 найбільших виробників на ринку мідного брухту. Серед них компанії з п'яти країн світу [2]:

— **Aurubis AG** (Німеччина) — Переробка брухту міді та її сплавів є основою виробництва міді в компанії. Вона включає проведення хімічного аналізу, підготовку брухту, а також пірометалургійну та гідрометалургійну обробку. Основним продуктом, який виробляється з міді, є катоди з вмістом міді не менше 99,99 %. Річний обсяг їх виробництва складає близько 1,2 млн т. Компанія заснована в 1866 р. Заводи розміщені в Бельгії, Болгарії, Німеччині, Італії, Іспанії, Фінляндії та США.

— **Commercial Metals Company** (США) — Компанія купує, обробляє, продає та управляє брухтом у співпраці з партнерами по всьому світу. Потужності компанії дозволяють переробляти та відправляти майже 5 млн т брухту чорних і кольорових металів. Заснована в 1915 р. Підприємства знаходяться в США та Польщі. Всього в компанії понад 60 заводів і торгівельних офісів.

— **Sims Metal Management** (Велика Британія) — Компанія купує та переробляє брухт чорних і кольорових металів на понад 200 переробних підприємствах у Великій Британії, США та Австралії. Загалом Sims Metal відновлює та переробляє понад 14 млн т металобрухту на рік, з яких два мільйони тонн переробляються у Великій Британії. Компанія заснована в 1917 р.

— **European Metal Recycling** (Велика Британія) — Компанія збирає та переробляє брухт чорних і кольорових металів. Переробка металів провадить-

ся на більш ніж 130 підприємствах по всьому світу. Компанія започаткована в 1940-х роках.

— **HKS Metals** (Нідерланди) — Компанія спеціалізується на переробці виробів з чорних і кольорових металів, а також електронного брухту. Для розділення компонентів використовуються обладнання, що засновано на визначенні магнітних властивостей, форми, кольору, густини та спектральному аналізі. Компанія створена в результаті трансформації кількох компаній у 1993 р.

— **Jansen Recycling Group** (Нідерланди) — Компанія демонтує вироби з металів від кораблів до контейнерів, переробляє чорні та кольорові метали і реалізує дроблені матеріали виробникам і металургам. Щорічно два підприємства переробляють понад 125 тис. т кольорових металів і 500 тис. т чорних металів. Фірма заснована в 1930 р.

— **Kuusakoski Recycling** (Фінляндія) — Компанія купує брухт кольорових, дорогоцінних і чорних металів в скандинавських країнах, країнах Балтії, Великій Британії та США. На підприємствах компанії провадиться дроблення, плавлення та збагачення. Загалом компанія виробляє понад 10 тис. т міді та дорогоцінних металів. У 2018 р. було завершено роботи над новою піччю для плавлення та рафінування алюмінієвого брухту. Організовано постачання сучасних інтегрованих установок для утилізації метало-брухту. Компанія почала діяльність у 1914 р.

— **Mallin Companies** (США) — Компанія переробляє всі види брухту чорних і кольорових металів. За допомогою спеціальних технологій провадиться подрібнення алюмінієвого та мідного дроту або гранулювання та сепарація. Компанія функціонує з 1928 р.

— **Wieland Group** (Німеччина) — Компанія переробляє брухт кольорових металів (алюміній, мідь, нікель), а також нержавіючу сталь. Підприємства поставляють фольгу з покриттям, вироби з мідних сплавів, а також надає послуги з обробки виробів і нанесення покриття. Виробничі підприємства знаходяться в Європі, Азії та США. Компанія заснована в 1820 р.

— **OmniSource Corporation** (США) — Компанія збирає, переробляє та перепродає брухт чорних і кольорових металів. Переробка останнього передбачає пресування, різання, брикетування гранулювання, прогартування, а також плавлення алюмінію. Щорічно відвантажується понад 5 млн т переробленої сталі та 4,5 тис. т брухту кольорових металів і нержавіючої сталі. Компанія заснована в 1943 р. З 2007 р. OmniSource є дочірньою компанією Steel Dynamics, Inc. (США).

— **Reukema Recycling** (Нідерланди) — Компанія збирає брухт кольорових металів, провадить первинну переробку та постачає його майже 700 компаніям в Нідерландах, Бельгії, Німеччині, Франції, Китаї, Індії та інших країнах. Протягом 2017—2023 років компанія розробила свою першу сміттесортувальну фабрику на основі штучного інтелекту Xorter. Компанія заснована в 1917 р. З 1 вересня 2023 р. компанія змінила назву на Mynе.

— **David J. Joseph Company** (США) — Закупівля, переробка та торгівля брухтом чорних і кольорових металів. До компанії входять понад 60 підприємств в США, а також офіси на шести континентах. Компанія надає транспортні послуги і торгує феросплавами. Заснована в 1885 р. (Примітка. Інформація щодо характеристик компаній отримана з їх сайтів).

Як свідчить аналітика від Левенського католицького університету (Katholieke Universiteit Leuven, KU Leuven, Бельгія) [3] в світі середній рівень переробки мідного брухту в кінці терміну використання становить близько 45 %. Якщо до 2035 р. рівень переробки сягне 60 %, то прогнозно загальний обсяг мідного брухту до 2030 р. сягне 14 млн т, а до 2050 р. — 25 млн т. Однак це вимагатиме суттєвого вдосконалення системи збору та сортування мідного брухту в глобальному вимірі. Прогнозується, що зростання пропозиції вторинної міді впродовж 2020—2050 рр. призведе до зменшення попиту на первинну мідь з 2,7 до 2,5 % [3].

1.3. Європейський Союз. В країнах ЄС виробляють з міді та її сплавів використовуються в конструкціях (частка 36 %), промисловому обладнанні (14 %), транспорті (14 %), інфраструктурі (10 %) та іншому обладнанні (25 %). Відзначається, що переробка брухту міді задовольняє 44 % її попиту. При цьому переробляється 70 % міді в обладнанні, яке не експлуатується, а також 90 % з цивільної інфраструктури [4].

Аналітики Левенського католицького університету вважають [3], що на європейському ринку обсяги мідного брухту зростатимуть до 2030 р., а потім темп сповільниться внаслідок певної стабілізації рівня споживання впродовж останнього десятиліття. Якщо європейським компаніям не вдасться оптимізувати рівень переробки брухту, то в 2050 р. прогнозується зменшення пропозиції вторинної міді на 0,6 млн т. Підвищення переробки мідного брухту може бути досягнуто зменшенням його експорту та за рахунок збільшення збору та якості переробки електронного брухту. Відзначається, що постачання вторинної міді у 2050 р. досягне 4 млн т проти 2,5 млн т у 2020 р. При цьому якщо у 2018 р. попит на мідь в Європі становив 4,7 млн т, то 2050 р. прогнозується в обсязі 6 млн т. В результаті очікується збільшення частки вторинної міді до майже 70 % у 2050 р.

1.4. Сполучені Штати. В 2022 р., як повідомляє звіт USGS (U.S. Geological Survey), споживання в країні рафінованої та вторинної міді оцінюється в 1,9 млн т [5]. При цьому 46 % продукції з міді та її сплавів було використано у будівництві; 21 % — в електричних і електронних приладах; 18 % — в транспортному обладнанні; 10 % — у побутовій техніці; 7 % — у промислових машинах і обладнанні. Повідомляється, що в 2022 р. переробка (рециклінг) старого брухту (Old scrap) дозволив отримати 160 тис. т міді та майже 670 тис. т міді було отримано переробкою нового брухту (New scrap). В результаті вторинна мідь складала 32 % загального постачання міді в США. Має сенс відзначити, що впродовж п'яти років кількість міді, отриманої в результаті переробки старого брухту, ко-

ливалась від 141 (2018 р.) до 170 тис. т (2021 р.) [5].

Аналітика від компанії Grand View Research (США) свідчить про те, що в 2022 р. обсяг ринку мідного брухту в США складав 661,3 млн дол. США проти 643,0 млн дол. США у 2021 р. (+2,8 %) [6]. Прогнозується, що впродовж 2023—2030 рр. середньорічний темп зростання (CAGR) обсягу ринку буде 4,5 %. Очікується, що розвитку ринку мідного брухту країни стимулюватиме позитивний тренд ринку електротранспорту і, зокрема, ринку електромобілів. Констатується, що електромобілі потребують міді в 3—4 рази більше, ніж автомобілі з двигунами внутрішнього згорання. Аналітики компанії Grand View Research відзначають [6], що в найближчі роки слід очікувати збільшення конкуренції на ринку мідного брухту, яка буде супроводжуватись створенням спільних підприємств, а також процесами злиття та поглинання. Наприклад, у вересні 2021 р. компанія Elemental Holding Group (філіали в 35 країнах Європи, Північній Америці та Азії) оголосила про придбання компанії Legend Smelting and Recycling (LSR) із заводами в Каліфорнії, Іллінойсі, Огайо та Індіані. В аналітичному звіті відзначені провідні компанії ринку мідного брухту США. До переліку входять як компанії з топ світового ринку (Aurubis AG, The David J. Joseph Company, OmniSource Corporation, The Wieland Group), так і регіональні гравці [6]:

— **Ames Copper Group** — На заводі компанії мідний брухт сортується, аналізується, переплавляється і відливаються катоди з вмістом міді понад 99,7 %. При цьому використовується брухт, що утворюється всередині підприємства, новий брухт від виробників металу та старий брухт від споживчих товарів. Щомісяця компанія обробляє та пропонує для продажу понад 16 тис. т кольорових металів (мідь, алюміній, олово, цинк, нікель, свинець).

— **Hussey Copper** — Компанія є виробником продукції з міді та мідно-нікелевих сплавів (пруток, лист, пластина, рулон), сировиною для якої являється як внутрішній мідний брухт, так і брухт від зовнішніх постачальників.

— **Joseph Freedman Co., Inc.** — Перероблення брухту чорних і кольорових металів (алюмінієві, мідні, нікелеві сплави) та брухту літаків.

— **Louis Padnos I&M** — Перероблення пластику, паперу та брухту чорних і кольорових металів з наступним його продажем.

— **Mueller Industries** — Перероблення промислового та побутового брухту міді та мідних сплавів. Вміст вторинної міді в продукції компанії (трубопровідні системи, кліматичні продукти та промислові метали) складає понад 57 %. В 2022 р. компанія переробила 94 % своїх відходів.

— **S.I.C. Recycling, Inc.** — Переробка металобрухту чорних і кольорових (алюміній, мідь) металів. Реалізація споживачам брикетів міді та алюмінію.

— **United Scrap Metal** — Переробка брухту кольорових металів (алюміній, мідь, свинець, нікель), а також брухту чорних металів з продажем споживачам як у непідготовленому, так і у спресованому вигляді. Крім того, переробляються відходи паперу, пластику

та дерева.

1.5. Китай. Аналітика від компанії Shanghai Metals Market (Китай) свідчить, що у 2022 р. виробництво мідного брухту в Китаї становило 2,274 млн т [7]. При цьому частка постіндустріального вторинного брухту (post-industrial recycled scrap, PCR) склала 70,2 % (1,596 млн т), а частка постспоживчого вторинного брухту (post-consumer recycled scrap, PIR) — 29,8 % або 0,678 млн т. При цьому в структурі постіндустріального вторинного брухту 30 % становить брухт з електроенергетики та 23 % — з транспорту. Розрахунковий попит в країні на мідний брухт становить 3,98 млн т, а його дефіцит — 1,706 млн т. Очікується, що в результаті впровадження Китаєм регулювання імпорту мідного брухту та удосконаленням внутрішньої системи його переробки, в майбутньому зменшиться кількість імпортованого мідного брухту, а пропозиція внутрішнього мідного брухту збільшиться на тлі зростаючого попиту на мідь [7].

Відзначається [8], що в Китаї в рамках 14-го п'ятирічного плану (2021—2025) проголошено комплексне просування циркулярної економіки та створення багаторівневої, ресурсоефективної системи переробки металевих брухту. Важливим елементом останнього є китайська система переробки брухту міді, яка характеризується такими трендами [8]:

— впродовж майже 70 років китайська індустрія переробки міді зростала в розмірах і перетворилась на інноваційну модель технологічно орієнтованих методів. Координація промислового ланцюга сприяла зосередженню промислових ініціатив і створювала підприємства вищої якості як великі, так і середні та малі;

— мідна промисловість Китаю впровадила останні наукові та технологічні інновації в процеси переробки брухту міді: попередня обробка, плавка та захист навколишнього середовища. Багато підприємств також використовували печі Kaldo та печі NGL для переробки мідного брухту, а також виробничі лінії для перетворення мідного брухту на високоякісну мідну катанку. В результаті це дозволило якісно переробляти електронний брухт;

— Китай впроваджує комплексну систему промислової політики, яка передбачає ефективне використання ресурсів, а також модернізацію та переробку автомобілів, побутової техніки та електроніки. Для досягнення цих цілей Китай прийняв новий Закон про запобігання та контроль забруднення твердими відходами та Національний список небезпечних відходів (видання 2021 р.). Ці зусилля мають велике значення для стандартизації розвитку переробки ресурсів міді та запобігання забрудненню в процесі їх переробки;

— враховуючи обмежені запаси міді в Китаї, імпорт високоякісного мідного брухту є невід'ємною частиною системи постачання до країни мідної сировини. Китай встановив нові стандарти для сировини, включаючи перероблену латунь і мідь.

Відзначається [9], що оптимізація переробки металевих брухту в кінці життєвого циклу виробів може бути ефективним рішенням у поєднанні зі стратегіями

циклічної економіки. Переробка брухту від 40 до 65 % сприяла б зменшенню попиту первинних металів в регіонах з великою кількістю населення та швидким промисловим зростанням. Однак, щоб забезпечити ефективність переробки мідного брухту, необхідно формувати нову промислову політику для переробних підприємств, системного збирання брухту та розробки інноваційних технологій.

2. Торгівля. Світовий експорт відходів і брухту міді (код HS 7404) в XXI столітті характеризується волатильністю. Так у кількісному вимірі світовий експорт вказаних товарів в 2003—2022 роках змінювався від 3,8 млн т (2003 р.) до 6,8 млн т (2013 р.) (рис. 1). В подальші роки експорт відзначався певною стабільністю і коливався в діапазоні 5...6 млн т. В той же час світовий експорт рафінованої міді характеризується підвищувальним трендом, що обумовлено зростанням середньорічних цін Лондонської біржі металів на мідь з 2235 дол. США/мт (2003 р.) до 8822 дол. США/мт (2022 р.).

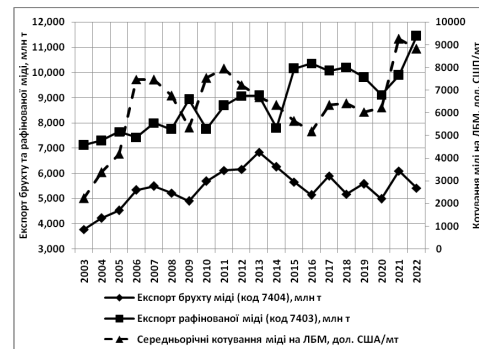


Рис. 1. Динаміка світового експорту відходів і брухту міді (код 7404), рафінованої міді та сплавів (код 7403) [10] і середньорічні котування міді на Лондонській біржі металів [11]

Експортерами відходів і брухту міді є понад 170 країн світу. Загалом впродовж 2018—2022 років у вартісному вимірі світовий експорт відходів і брухту міді збільшувався з середньорічним темпом (CAGR) 8,7 %. До найбільш динамічних країн-експортерів відносяться Японія (CAGR 20,4 %), Таїланд (17,3 %) і Саудівська Аравія (13,3 %). В 2022 р. частка топ-10 світових експортерів склала 56,6 %, а найбільшими продавцями були США (частка 16,4 %), Німеччина (7,2 %) та Японія (6,9 %) (табл. 1).

Загалом має сенс відзначити, що на топ-10 країн експортерів припадає майже 57% світового експорту брухту міді в вартісному вимірі. Україна в світовому рейтингу експортерів відходів і брухту міді звітного періоду займає 104 місце з часткою 0,01...0,02 % (див. табл. 1).

Лідерами глобального рейтингу **імпортерів** відходів і брухту міді як в 2018, так і в 2022 році являються Китай, Німеччина та Республіка Корея з загальною часткою 55,0 % у 2022 р. (табл. 2). Хоча слід відзначити, що одноособовим лідером є Китай, найбільший виробник міді в світі.

Найбільш активним імпортером відходів і брухту міді звітного періоду є Польща, яка перемістилась з 12 місця в 2018 р. на 7 місце в 2022 р. з CAGR 21,5 %.

Рейтинги світових експортерів відходів і брухту міді в 2018 і 2022 роках

2018				2022				CAGR, %
Топ-2018	Країна-експортер	Вартість, млн USD	Частка, %	Топ-2022	Країна-експортер	Вартість, млн USD	Частка, %	
1	США	3166,8	16,08	1	США	4908,0	16,39	9,2
2	Німеччина	1589,2	8,07	2	Німеччина	2154,3	7,19	6,3
3	Франція	1032,3	5,24	3	Японія	2050,7	6,85	20,4
4	Велика Британія	1012,7	5,14	4	Велика Британія	1541,4	5,15	8,8
5	Нідерланди	925,2	4,70	5	Франція	1516,0	5,06	8,0
6	Японія	811,8	4,12	6	Таїланд	1074,6	3,59	17,3
7	Канада	764,6	3,88	7	Італія	981,9	3,28	9,8
8	Іспанія	639,4	3,25	8	Саудівська Аравія	967,6	3,23	13,3
9	Італія	616,1	3,13	9	Нідерланди	888,9	2,97	-0,8
10	Мексика	610,7	3,10	10	Канада	868,7	2,90	2,6
	Разом	11168,8	56,71		Разом	16952,0	56,61	8,7
	Інші 161 країна	8524,8	43,29		Інші 167 країн	12991,2	43,39	8,8
	Всього	19693,5	100,00		Всього	29943,3	100,00	8,7
104	Україна	2,4	0,01	104	Україна	5,2	0,02	16,2

Примітка. Вихідні дані від International Trade Centre [10]. Розрахунок автора.

Таблиця 2

Рейтинги світових імпортерів відходів і брухту міді в 2018 і 2022 роках

2018				2022				CAGR, %
Топ-2018	Країна-імпортер	Вартість, млн USD	Частка, %	Топ-2022	Країна-імпортер	Вартість, млн USD	Частка, %	
1	Китай	9370,7	36,00	1	Китай	13659,4	37,08	7,8
2	Німеччина	2949,7	11,33	2	Німеччина	3835,1	10,41	5,4
3	Республіка Корея	1989,2	7,64	3	Республіка Корея	2763,4	7,50	6,8
4	Японія	1332,2	5,12	4	Бельгія	1998,2	5,42	10,0
5	Бельгія	1238,5	4,76	5	Японія	1914,2	5,20	7,5
6	Італія	979,5	3,76	6	Італія	1398,1	3,80	7,4
7	Індія	902,1	3,47	7	Польща	1116,2	3,03	21,5
8	Тайвань	823,2	3,16	8	Індія	870,8	2,36	-0,7
9	США	770,0	2,96	9	Тайвань	809,4	2,20	-0,3
10	Іспанія	504,2	1,94	10	Іспанія	794,9	2,16	9,5
	Разом	20859,3	80,13		Разом	29159,8	79,16	6,9
	Інші 106 країн	5173,0	19,87		Інші 100 країн	7674,6	20,84	8,2
	Всього	26032,3	100,00		Всього	36834,4	100,00	7,2
38	Україна	33,6	0,13	56	Україна	5,2	0,01	-31,1

Примітка. Вихідні дані від International Trade Centre [10]. Розрахунок автора.

Україна в світовому рейтингу імпортерів брухту міді перемістилась з 38 місця у 2018 р. на 58 місце у 2022 р. внаслідок гальмування вітчизняної промисловості в результаті війни, яку розпочала росія проти України в лютому 2022 р. Таким чином є сенс відзначити, що виходячи з кількості країн, які задіяні в торгівлі відходами і брухтом міді, вказаний метал займає важливе місце в промисловому виробництві глобального

світу.

3. Технологічні аспекти переробки брухту. Переробка відходів і брухту міді в технічному плані передбачає визначення хімічного складу, класифікацію за походженням, сортування, дроблення, плавлення, рафінування та вироблення нових напівфабрикатів

Сортування мідного брухту. Для виконання

цієї технологічної операції використовують прямі та непрямі методи [12].

До **прямих методів** відносяться магнітне сортування, сортування з використанням вихрових струменів, сортування в воді, сортування з використанням потоку повітря та сортування з застосуванням електростатики.

До **непрямих методів** відноситься **сенсорне** сортування, в якому сигнал від датчика передається до комп'ютера. Останній видає команду сортувальному механізму для адресного переміщення компонента брухту. Цей вид сортування використовує такі технології: **вимірювання рентгенівської флуоресценції** (the x-ray fluorescence, XRF) брухту, що надає можливість реалізувати якісний та кількісний елементний аналіз; **лазерно-індукована спектроскопія** (laser-induced breakdown spectroscopy, LIBS) забезпечує швидкий елементний аналіз компонентів брухту; **комплексні системи** використовують комбінацію кількох різних датчиків, а саме електромагнітні датчики (electromagnetic sensors, EMS) із спектроскопією ближнього інфрачервоного діапазону (near infrared spectroscopy, NIR). XRF-технологія використовується разом з EMS-технологією для пошуку домішок міді в сталевому брухті. Однак відзначається, що систему сортування мідного брухту слід вибирати, виходячи з конкретного потоку/виду брухту. Крім того, необхідно враховувати забрудненість мідного брухту металевими та неметалевими домішками, а також вартість та ефективність приладів контролю хімічного складу брухту. Тому деякі переробні компанії для зменшення фінансових витрат переплавляють мідний брухт без сортування.

Констатується [12], що між переробкою брухту дуже низької якості на мідеплавильному заводі з декількома етапами рафінування та простим переплавленням брухту дуже чистої міді в нові напівфабрикати, існує багато проміжних форм переробки з різною кількістю та комбінаціями технологій. Найважливішими процесами, які використовуються для видалення інших елементів, є хімічне окислення шляхом вдування кисню, додавання флюсу для утворення шлаку, видалення летючих речовин шляхом видалення пилу, розділення розчинних і нерозчинних компонентів шляхом вилуговування та використання відмінностей у їх окисно-відновному потенціалах.

Актуальною проблемою при переробці мідного брухту є видалення з нього свинцю [12]. Вимоги щодо вмісту останнього були підвищені внаслідок негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини. Подальші обмеження або навіть заборона свинцю обговорюються, наприклад, у ЄС та США. Це призводить до проблем у переробці свинцевих мідних сплавів. Як варіант можливо сильно розбавити розплав або використати іншу технологію плавлення та рафінування. Вже два десятиліття досліджується ідея стосовно введення кальцію до розплавленої латуні для утворення кальцієво-свинцевих інтерметалідів і виведення таким способом свинцю з мідного брухту.

До металургійної переробки брухту міді відносяться такі технології [12]:

— **Електролітичне розкладання** (Electrolytic decomposition) — гідрометалургійний процес, заснований на електролізі міді/латуні. Він забезпечує відокремлення міді, цинку і свинцю, а також здатний нейтралізувати домішки кремнію, олова, алюмінію, заліза, нікелю та титану [12, 13].

— **Вакуумна дистиляція** (Vacuum distillation) — видалення з розплаву міді, цинку та свинцю, які мають вищий тиск пари ніж мідь.

— **Статична кристалізація** (Static crystallization) — процедура статичної кристалізації, заснована на розчинності свинцю в кубічній об'ємноцентрованій β -фазі латуні.

Відзначають [12], що деякі компанії використовують **комп'ютеризовані системи** для визначення теплових характеристик, вартості та найефективнішого методу переплаву, включаючи потребу у використанні кількох видів брухту. При цьому для переробки низькоякісного мідного брухту вторинні плавильні заводи зазвичай використовують комбінацію вагранок, доменних, ревербераційних або обертових печей, які працюють на газі або електриці. Зазвичай додають флюс для вилучення домішок на ранніх стадіях процесу, а також отримують шлаковий продукт на додаток до розплаву з високим вмістом міді. Оновлений розплав міді завантажується в конвертер, де він окислюється з підвищенням чистоти металу до 90 %. Потім розплав переміщують у піч для рафінування, де його чистоту покращують до 99 % міді.

Для плавлення мідного брухту в США використовують лінійку плавильних печей, яка сформована як в історичному, так і в практичному аспектах [14].

Дугова піч (Arc Furnace). Колись популярні, дугові печі сьогодні не так часто використовуються виробниками зливків мідних сплавів.

Піч ASARCO (ASARCO Furnace). Шахтна піч, що названа на честь компанії American Smelting and Refining Company і введена в експлуатацію наприкінці 1950-х років. Вказана піч використовується для плавлення мідних катодів та чистого мідного брухту і працює в тандемі з машиною для лиття катанки. В якості палива використовується природний газ, пропан, бутан і нафта.

Тигельна піч (Crucible Furnace). Тигельні печі використовуються для плавлення чистого, відсортованого мідного брухту, зазвичай в ливарних цехах. Для захисту поверхні розплаву застосовуються комплексні флюси, як можуть містити як рафінуючий, так і легуючий компоненти. Зазвичай мідний брухт розплавляють у тигельних печах методом пудлінгу (the puddling method) — плавлять достатню кількість брухту, щоб утворився об'єм розплаву, а потім в нього замішують новий брухт. Ці печі працюють на природному газі, мазуті, пропані або їх комбінаціях, а також використовують електроенергію (електромагнітний індукційний нагрів). Досить великий тоннаж вторинної мідної продукції виробляється в тигельних печах.

Доменна піч, вагранка (Blast Furnace, Cupola). Доменна піч використовується на вторинних плавильних заводах для переплавлення брухту низькоякісної міді та латуні, рафінадних шлаків і дросів. Вагранка

застосовується для плавлення мідного брухту з невеликим відновленням окислених матеріалів або без нього. Зазвичай розплавлений метал з шлаком зливають з доменної печі через жолоб у відбивну (reverberatory) піч, де вони відстоюються для більш повного розділення металу та шлаку. Кінцева продукція, вироблена в доменній печі, визначається первинним складом брухту/шихти. Типовий хімічний склад розплаву: 75...88 % міді; 1,5 % олова; 1,5 % свинцю; 0,1...0,7 % сурми; 0,5...1,5 % заліза; 4...10 % цинку та 0,5...1,25 % сірки. Кальцій-залізо-кремнеземний шлак може також містити до 1,5 % міді.

Реввербераційна/відбивна піч (Reverberatory Furnace). Шихта, яка використовується для переплавки мідного брухту в відбивній печі, повинна містити мінімум 40 % міді. Це дозволяє запобігти надмірному накопиченню шлаку, який вступає в реакцію з футеровкою печі і зменшує термін її експлуатації. Брухт завантажується через рівні проміжки часу до моменту заповнення печі. Процес плавлення ефективніше, якщо легкий брухт ущільнюють шляхом сушіння або брикетування. Втрати розплаву від окислення та випаровування мінімізуються швидким плавленням в атмосфері з легким окисненням та рідким шлаком. Відбивна піч дозволяє виробляти 100 т міді на день або більше.

Конвертер (Converter). Застосовується додавання мідного брухту до первинної міді в конвертер для унормування температури розплаву. Також конвертер використовуються для перетворення первинного мідного штейну та суміші сульфідів заліза та міді у чорнову мідь шляхом їх окислення.

Обертова піч (Rotary Furnace). Ротаційні конвертери з верхнім дуттям (наприклад, печі Kaldo або TBRC) використовуються для плавлення та очищення мідного брухту. Ці печі є більш універсальними, ніж відбивні печі, але їхня потужність не перевищує 45 т кольорових металів на день. Піч дозволяє переробляти різні шихтові матеріали, а саме як первинні та вторинні неблагородні метали та анодні шлами. Піч Kaldo або піч TBRC (Top Blown Rotary Converter) — поворотний конвертер з газовим пальником, використовується для виробництва чорнової міді з низькосортного мідного брухту. Піч відповідає екологічним стандартам, оскільки виробляє інертні шлаки з низьким вмістом металу. Вона компактна і може бути повністю закрита для запобігання випадковим викидам.

Низькочастотна індукційна піч (Low-frequency Induction Furnace). Ці печі використовуються для плавлення міді, брухту мідних сплавів, побутового брухту та значної кількості первинної міді. Швидкість плавлення в індукційних печах може бути високою, але потужність не перевищує 5 т. При цьому енерговитрати для плавлення зазвичай вищі, але це певною мірою компенсується екологічною чистотою процесу.

Повідомляється [8, 15], що в Китаї для переробки мідного брухту створена та використовується **піч NGL** (Natural Gas Liquids, рідкий природний газ) — циліндрична поворотна топкова камерна піч з газовим нагрівом. Особливістю печі являється те, що заван-

таження брухту/шихти та випуск шлаку реалізуються через одне вікно. Піч характеризується ефективним енергозбереженням, високим рівнем автоматизації та захистом навколишнього середовища. При цьому реалізується одностадійний процес плавлення для виробництва анодної міді з вмістом $\text{Cu} \geq 99,2\%$ із мідного брухту з вмістом $\text{Cu} \geq 85\%$.

Розроблено та пропонується спосіб використання **електрохімічних процесів** для переробки брухту електричних дротів у мідь високої чистоти [16]. Метод переробки подрібнених дротів полягає в розчиненні міді в електроліті та видаленні залишків ізоляції. В подальшому металева мідь відновлюється електроосадженням. Загалом розроблений процес отримав назву «електровидобуток» (electrowinning). Використовується дворідинна електролітична ванна з діафрагмою для запобігання повторного розчинення відновленої міді [16].

До прикладу компанія **Continuus-Properti S.p.A.** (Італія) для переробки мідного брухту використовує **три варіанти технологій** [17]:

1. Пакетний процес з максимальним рафінуванням і використанням відбивної/ ревербераційної печі (Reverberatory Furnace). Використовується одна ревербераційна піч, яка забезпечує прокатну лінію, або слябова машина безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) протягом приблизно однієї зміни на день.

2. Безперервний процес з обмеженим рафінуванням. Базується на вертикальній (шахтній) печі (Vert-Ref), поряд з якою встановлені дві печі витримки/рафінування, які в комплексі забезпечують 24 години на добу лінію з виготовлення мідних стрижнів.

3. Пакетний процес з обмеженим рафінуванням реалізується на ревербераційній печі та призначений для лиття зливків протягом однієї зміни. Потім злитки разом з катодами переплавляють в шахтній печі для виробництва мідної катанки Electrolytic Tough Pitch (ETP).

Новий процес Vert-Ref є еволюцією добре відомої системи Cosmelt, що поставляється компанією Continuus-Properti у кількох блоках на основі понад 20-річного досвіду. В результаті забезпечується отримання розплавленої міді з контрольованим вмістом домішок для виробництва мідного зливка, мідної катанки тощо.

Система Vert-Ref складається зі спеціальної шахтної печі, де скіповий підйомник завантажує скрап. У нижній частині шахти є одна або кілька камер для рафінування, в які засипаються добавки та відбувається шлакування. На виході з останньої камери розплав є очищеним, але все ще має занадто високий вміст кисню. Операція відновлення виконується в наступній витримувальній печі.

За більш ніж 30 років компанія Continuus-Properti поставила та ввела в експлуатацію декілька десятків печей для реалізації процесу № 1 в Італії, США, Кореї, Ірані, Мексиці, Бразилії, Китаї, Індії, Україні, Кубі та інші [17].

Таким чином, в світі розроблено і використовується лінійка технологій та обладнання для переробки мідних відходів і брухту. Однак використання того

чи іншого обладнання залежить від якості та характеристик вихідного мідного брухту та фінансової ефективності процесу в цілому.

4. Мідь і мідний брухт України. Виробництво міді та виробів з неї є важливим компонентом промисловості України. В той же час збирання та переробка мідного брухту та відходів в XXI столітті суттєво оптимізує виробництво товарної продукції з міді та її сплавів. Представлені дані [18] свідчать, що в Україні заготівля мідного брухту та відходів впродовж 1990—2003 рр. характеризується волатильністю. Відзначається, що якщо впродовж 1990—1995 рр. заготівля мідного брухту в Україні зменшилась з 119 до 41,3 тис. т, то з 1995 до 2000 р. цей показник збільшився до 148 тис. т. Проте з 2001 по 2003 р. заготівля мідного брухту зменшилась до 84 тис. т.

На початку XXI століття в Україні перероблення мідного брухту та відходів на товарну продукцію (труби, провід, катанка, листи, католи тощо) реалізовувалось на лінійці підприємств, серед яких БАТ «Артемівський завод обробки кольорових металів» м. Артемівськ/Бахмут (потужність 90 тис. т на рік), ТОВ ТПК «Укрсплав» м. Донецьк (40 тис. т на рік), ТОВ «Запорізький завод кольорових сплавів» м. Запоріжжя (15 тис. т на рік), СП «Панком-Юн» м. Одеса (12 тис. т на рік), БАТ «Втормет» (9 тис. т на рік) і ТОВ «Костянтинівський завод металургійного обладнання» м. Костянтинівка (2,4 тис. т на рік) [18].

Як свідчить Бізнес-каталог [19], виробництвом міді, як видом діяльності, в Україні займалось 31 підприємство. Хоча слід зазначити, що ці дані актуальні до початку нападу рф на Україну в лютому 2022 р. За підсумками 2023 р., згідно з інформацією Держстату України, активними виробниками міді в країні є 30 підприємств. Найбільше, по п'ять підприємств, знаходяться в Дніпропетровській та Харківській областях [20].

Слід відзначити, що Кабінет Міністрів України постановою від 10 травня 1995 р. N 330 затвердив «Комплексну програму розвитку промислової бази

для виробництва міді, її сплавів і напівфабрикатів (Мідь України)». Основна мета Програми «Мідь України» — створення на державному рівні сприятливих умов для забезпечення потреб машинобудування, оборонного комплексу, сільського господарства, будівництва, інших галузей народного господарства в прокаті і виробі із міді та її сплавів. Пріоритетними напрямками Програми визначено розвиток виробництва високоякісного мідного прокату з обсягом приросту 30 тис. т на рік і мідної катанки 50 тис. т на рік на Артемівському заводі з обробки кольорових металів (м. Артемівськ/Бахмут), а також розвиток виробництва міді вогневого рафінування і катодної міді з брухту та відходів на СП «Донкавамет» (м. Донецьк) і заводі «Укрцинк» (м. Костянтинівка Донецької області). Відзначалось, що переробка мідного брухту на катодну мідь створить можливості для організації виробництва мідної катанки з власної сировини, тобто скоротити витрати валюти на закупівлю катодної міді за кордоном до 40 млн дол. USD на рік [21].

Програмою також передбачалось виконання комплексу заходів для вдосконалення процесу збирання і залучення до переробки майже всіх вторинних ресурсів України, які містять мідь. При цьому планувалось скорочення до мінімуму експорту мідного брухту і відходів, а також залучення вторинної сировини з країн близького зарубіжжя. Крім того, планувалось забезпечити виробництво в країні катодної міді з мідного брухту та відходів обсягом 30 тис. т на рік, а також виробництво рафінованої міді з брухту та відходів кабельних виробів і електродвигунів обсягом 35 тис. т на рік [21].

Представлені статистичні дані (табл. 3) стосовно ситуації на українському ринку відходів і брухту міді, а також продукції з міді, свідчать про його певну нестабільність в 20-х роках XXI століття.

Вочевидь це свідчить про певні проблеми в організації збирання та переробки брухту міді, а також з споживанням мідної продукції на внутрішньому ринку України, оскільки за даними [10] в 2022 р. з

Таблиця 3

Структура ринку відходів і брухту міді, міді рафінованої та мідних виробів України в 2000—2021 рр.

Найменування	Код товару	2000	2011	2013	2015	2017	2019	2021
Утворення брухту міді та сплавів на мідній основі в процесі виробництва провідників струму, т	3110.2.9.02 ДК 005-96	д. в.	д. в.	д. в.	д. в.	612,3	381,6	д. в.
Експорт відходів і брухту міді, т	7404 HS	0	0	0	0	3091	1412	1123
Імпорт відходів і брухту міді, т	7404 HS	1,4	0,3	85	0	1775	8100	10434
Виробництво міді рафінованої нелегованої, необробленої, тис. т	24.44.13.30 НПП	д. в.	д. в.	16,5	18,5	25,2	20,4	28,8
Експорт міді рафінованої та мідних сплавів необроблених, тис. т	7403 HS	5,5	8,2	4,0	6,5	8,7	0,5	2,5
Імпорт міді рафінованої та мідних сплавів необроблених, тис. т	7403 HS	9,7	1,3	0,1	0,1	2,3	0,6	0,3
Експорт прутків, брусків і профілів мідних, тис. т	7407 HS	20,2	4,9	6,5	1,4	7,3	8,3	13,5
Імпорт прутків, брусків і профілів мідних, тис. т	7407 HS	1,2	1,6	1,1	0,6	0,8	1,0	0,5

Примітка. Вихідні дані від International Trade Centre [10] і Держстату України [20]; д. в. — дані відсутні.

України було експортовано майже 5 тис. т мідного брухту, а імпортовано 0.6 тис. т.

В 20-х роках XXI столітті науковці та підприємці України розробили та впровадили перспективні технології переробки брухту та відходів міді з метою покращення ефективності металургійного виробництва.

На ВАТ «Артемівський завод обробки кольорових металів» була розроблена та впроваджена в 2002 р. технологія та обладнання прецизійного вогневого рафінування міді, яка виробляється з мідних брухту та відходів. При цьому забезпечувався мінімальний вміст шкідливих домішок в металі. Для плавлення та рафінування металу використовувалась відбивна коливальна газова піч FR-120. Готовий розплав міді передавався на лінію виготовлення катанки або на ливарну дільницю для виробництва плоских або круглих злитків. В результаті підприємство виготовляло якісний мідний прокат, а також було збережено екологію навколишнього середовища [18, 22].

Дослідження відходів міді показало [23], що основною шкідливою домішкою в них є кисень. Розроблено спосіб рафінування розплаву відходів міді від кисню в індукційній печі за допомогою графітової шайби, в якій зроблені отвори, і через які протікає рідкий метал [23].

На ВАТ «Алчевський металургійний комбінат» в першому десятилітті XXI століття було відпрацьовано технологію плавки під шаром флюсу великогабаритного брухту безолов'яної бронзи в дуговій електропечі ДСП-3 з наступним отриманням металу в чушках. В результаті досягалось зменшення собівартість 1 т виливків безолов'яної бронзи при плавленні останньої в полум'яній печі для виготовлення виливків [24].

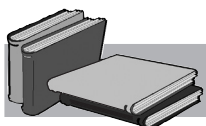
Вочевидь подальший розвиток промислового комплексу, який включає переробку мідного брухту та відходів, а також виробництво товарної продукції з міді та її сплавів, може базуватись на концепції

металургійних мікро-заводів з обсягом виробництва 3—5 тис. т на рік. Відзначається, що такий формат виробництва в порівнянні з традиційними заводами обробки кольорових металів має на порядок менші накладні витрати та термін виробництва при високій якості продукції [25].

Виходячи з наведеної інформації стосовно стану українського ринку відходів і брухту міді, міді рафінованої та мідних виробів, а також враховуючи українсько-російську війну та її наслідки, є сенс відновити міністерство промисловості України та почити роботу над новою програмою «Мідь України».

Висновки

Мідь відноситься до перших металів, виробництва і застосування яких освоїв людина. В XXI столітті виробництво рафінованої міді характеризується позитивним трендом. Вироби з міді та її сплавів використовуються в багатьох галузях: від транспорту до побутової техніки. Проте запаси мідних руд вичерпні, і тому промисловість приділяє велику увагу переробці мідних відходів і брухту. В той же час сформувався світовий ринок брухту та відходів міді, в якому гравцями в форматі експорту є більше 170 країн і імпорту — більше 100 країн. У 2022 р. найбільшими експортерами мідного брухту були США (частка 16,4 %), Німеччина (7,2 %) та Японія (6,9 %), а імпортерами — Китай (37,1 %), Німеччина (10,4 %) та Республіка Корея (7,5 %). Слід відзначити, що в країнах Європи, США, а також в Китаї фактично створена галузь промислової переробки металевих відходів та брухту, включаючи мідний брухт. Аналіз джерел свідчить, що світова промисловість переробки мідних відходів оснащена сучасними приладами для контролю хімічного складу, а також лінійкою плавильного обладнання з різними технічними характеристиками. Це дозволяє переробним компаніям створити технологічний цикл переробки з оптимальною ефективністю залежно від якості вхідного брухту.

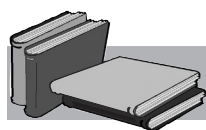


ЛІТЕРАТУРА

1. The World Copper Factbook 2023. International Copper Study Group. Lisbon, Portugal. 68 p. URL: <https://icsg.org/copper-factbook/> (дата звернення: 09.02.2024).
2. Copper Scrap Market Share, Trend 2023—2030. Status and Prospect. Market Reports World. June 2023. 106 p. URL: <https://www.wicz.com/story/49020397/Copper-Scrap-Market/> (дата звернення: 09.02.2024).
3. Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. KU Leuven. April 2022. 112 p. URL: <https://eurometaux.eu/media/rqocjybv/metals-for-clean-energy-final.pdf> (дата звернення: 09.02.2024).
4. EuRIC — Metal Recycling Factsheet. European Recycling Industries Confederation. 2019. 7 p. URL: https://www.hosz.org/document/korforgasos/EuRIC-brosura_femhulladek.pdf (дата звернення: 09.02.2024).
5. Mineral Commodity Summaries 2023. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2023. 210 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2023> (дата звернення: 09.02.2024).
6. U.S. Copper Scrap Market Size, Share & Trends Analysis Report 2023—2030. Grand View Research. 87 p. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-copper-scrap-market-report/> (дата звернення: 09.02.2024).
7. China Copper Scrap Market Research. Shanghai Metals Market. Jul 26, 2023. URL: <https://news.metal.com/newscontent/102305392/China-Copper-Scrap-Market-Research/> (дата звернення: 09.02.2024).
8. Zhao Kai. Circular Copper Recycling in China: Current Practices and Future Trends. 16 June 2021. URL: <https://copperalliance.org/resource/circular-copper-recycling-in-china-current-practices-and-future-trends/> (дата звернення: 09.02.2024).

9. Jinhui Li, Disna Eheliyagoda, Yong Geng, Zhiming Yang, Xianlai Zeng. Examining the influence of copper recycling on prospective resource supply and carbon emission reduction. *Fundamental Research*, November 12, 2022. 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.09.022>
10. International Trade Centre. URL: <https://intracen.org/> (дата звернення: 09.02.2024).
11. The World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/> (дата звернення: 09.02.2024).
12. Loibl A., Tercero Espinoza L.A. Current challenges in copper recycling: aligning insights from material flow analysis with technological research developments and industry issues in Europe and North America. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021. Vol. 169. 105462. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105462>
13. Patent DE 10 2011 012 133 A1 2012.08.30, Method of separating lead from brass recycling circuit, involves subjecting brass recycling circuit to electrolytic copper refining in sulfuric acid, cementation by sodium hydroxide and zinc addition and electrolytic zinc recovery. Grohbauer, Adolf, Wieland-Werke AG.
14. Janice L. Jolly. The U.S. Copper-base Scrap Industry And Its By-products. An Overview. Thirteenth Edition, Copper Development Association Inc. New York, 2013. P. 106. URL: https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/scrap_report.pdf
15. Tan Fangfang, Huang Yiwei. High-grade copper NGL furnace smelting technology and production practice. URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A9%3A12982201/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A148599519&crl=c/> (дата звернення: 09.02.2024).
16. Mitsuyasu Ogawa, Masahiro Kato, Masatoshi Majima, Tomoyuki Awazu, Hitoshi Yata and Masaharu Ooe. Copper Recycling Technique Using Electrochemical Processes SEI TECHNICAL REVIEW. NUMBER 84. APRIL 2017. URL: <https://global-sei.com/technology/tr/bn84/pdf/84-16.pdf> (дата звернення: 09.02.2024).
17. Properzi Copper Scrap Recycling. Continuuus-Properzi S.p.A. Printed by: B.P. Graph — Milan — Italy. 1st Edition — March 2020. P. 12. URL: https://properzi.com/_mamawp/wp-content/uploads/2021/07/Properzi-Copper-Scrap-Recycling.pdf (дата звернення: 09.02.2024).
18. Савенков Ю.Д., Дубоделов В.И., Шпаковский В.А., Кожанов В.А., Штепан Е.В. Рафинированная медь Украины. Днепрпетровск: Арт-Прес, 2008. 175 с.
19. Бізнес-каталог Databases Lab. URL: <https://www.ua-region.com.ua/kved/24.44> (дата звернення: 09.02.2024).
20. Держстат України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 09.02.2024).
21. Постанова Кабінету Міністрів України від 10 травня 1995 р. N 330 Про Комплексну програму розвитку промислової бази для виробництва міді, її сплавів і напівфабрикатів (Мідь України). 52 с. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP950330?ap=1/> (дата звернення: 09.02.2024).
22. Брезин А.А., Данильченко А.В. Экологические аспекты эксплуатации комплекса огневого рафинирования меди. *Экология и промышленность*. 2007. № 3. С. 30—32.
23. Адамчук С.И., Бялик Г.А., Наумик В.В., Лунёв В.В., Омельченко О.С. Способ рафинирования расплава меди и ее сплавов от кислорода. *Компрессорное и энергетическое машиностроение*. 2011. № 3. С. 55—56. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kiem_2011_3_17 (дата звернення: 09.02.2024).
24. Мамедов А. С., Самарский В. Н., Иваненко А. Н., Шаповал Л. В. Опыт переработки крупногабаритного лома безоловянной бронзы в условиях неспециализированного участка цветного литья. *Металл и литье Украины*. 2009. № 6. С. 3—4.
25. Смірнов О.М., Нарівський А.В., Верзілов О.П., Смірнов Ю.О., Семенко А.Ю. Сучасні технологічні побудови для виробництва прокату з міді та її сплавів на базі концепції мікро-металургійних заводів. *Метал та лиття України*. 2020. № 4 (323). С. 42—46. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.04.042>

Надійшла 18.02.2024



REFERENCES

1. The World Copper Factbook 2023. International Copper Study Group. Lisbon, Portugal. 68 p. URL: <https://icsg.org/copper-factbook/> (Last accessed: 09.02.2024).
2. Copper Scrap Market Share, Trend 2023-2030. Status and Prospect. Market Reports World. June 2023. 106 p. URL: <https://www.wicz.com/story/49020397/Copper-Scrap-Market/> (Last accessed: 09.02.2024).
3. Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. KU Leuven. April 2022. 112 p. URL: <https://eurometaux.eu/media/rqocjybv/metals-for-clean-energy-final.pdf> (Last accessed: 09.02.2024).
4. EuRIC — Metal Recycling Factsheet. European Recycling Industries Confederation. 2019. 7 p. URL: https://www.hosz.org/document/korforgasos/EuRIC-brosura_femhulladek.pdf (Last accessed: 09.02.2024).
5. Mineral Commodity Summaries 2023. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2023. 210 p. URL: <https://pubs.usgs.gov/publication/mcs2023> (Last accessed: 09.02.2024).
6. U.S. Copper Scrap Market Size, Share & Trends Analysis Report 2023-2030. Grand View Research. 87 p. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/us-copper-scrap-market-report/> (Last accessed: 09.02.2024).

7. China Copper Scrap Market Research. Shanghai Metals Market. Jul 26, 2023. URL: <https://news.metal.com/newscontent/102305392/China-Copper-Scrap-Market-Research/> (Last accessed: 09.02.2024).
8. Zhao Kai (2021). Circular Copper Recycling in China: Current Practices and Future Trends. 16 June 2021. URL: <https://copperalliance.org/resource/circular-copper-recycling-in-china-current-practices-and-future-trends/> (Last accessed: 09.02.2024).
9. Jinhui Li, Disna Eheliyagoda, Yong Geng, Zhiming Yang, Xianlai Zeng. (2022). Examining the influence of copper recycling on prospective resource supply and carbon emission reduction. *Fundamental Research*, November 12, 2022. 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2022.09.022>
10. International Trade Centre. URL: <https://intracen.org/> (Last accessed: 09.02.2024).
11. The World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/> (Last accessed: 09.02.2024).
12. Loibl, A., Tercero, Espinoza L.A. (2021). Current challenges in copper recycling: aligning insights from material flow analysis with technological research developments and industry issues in Europe and North America. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105462. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105462>
13. Patent DE 10 2011 012 133 A1 2012.08.30, Method of separating lead from brass recycling circuit, involves subjecting brass recycling circuit to electrolytic copper refining in sulfuric acid, cementation by sodium hydroxide and zinc addition and electrolytic zinc recovery. Grohbauer, Adolf, Wieland-Werke AG.
14. Janice L. Jolly. (2013). The U.S. Copper-base Scrap Industry And Its By-products. An Overview. Thirteenth Edition, Copper Development Association Inc. New York, 2013. P. 106. URL: https://www.copper.org/publications/pub_list/pdf/scrap_report.pdf (Last accessed: 09.02.2024).
15. Tan Fangfang, Huang Yiwei. High-grade copper NGL furnace smelting technology and production practice. URL: <https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A9%3A12982201/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A148599519&crl=c/> (Last accessed: 09.02.2024).
16. Mitsuyasu Ogawa, Masahiro Kato, Masatoshi Majima, Tomoyuki Awazu, Hitoshi Yata and Masaharu Ooe. (2017). Copper Recycling Technique Using Electrochemical Processes SEI TECHNICAL REVIEW. NUMBER 84. APRIL 2017. URL: <https://global-sei.com/technology/tr/bn84/pdf/84-16.pdf> (Last accessed: 09.02.2024).
17. Properzi Copper Scrap Recycling. Continuus-Properzi S.p.A. Printed by: B.P. Graph — Milan — Italy. 1st Edition — March 2020. P. 12. URL: https://properzi.com/_mamawp/wp-content/uploads/2021/07/Properzi-Copper-Scrap-Recycling.pdf (Last accessed: 09.02.2024).
18. Savenkov, Y.D., Dubodelov, V.I., Shpakovsky, V.A., Kozhanov, V.A., Shtepan, E.V. (2008). Refined copper of Ukraine. Dnipropetrovsk: Art Press, 175 p. [in Russian].
19. Business catalog Databases Lab. URL: <https://www.ua-region.com.ua/kved/24.44> (Last accessed: 09.02.2024). [in Ukrainian].
20. State Statistics Service of Ukraine. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (Last accessed: 09.02.2024). [in Ukrainian].
21. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 10 (1995). N 330. On the Comprehensive Program for the Development of the Industrial Base for the Production of Copper, Its Alloys and Semi-finished Products (Copper of Ukraine). 52 p. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/KP950330?an=1/> (Last accessed: 09.02.2024). [in Ukrainian].
22. Brezin, A.A., Danylchenko, A.V. (2007). Ecological aspects of the operation of the copper fire refining complex. *Ecology and industry*, 3, 30-32 [in Russian].
23. Adamchuk, S.I., Byalik, G.A., Naumik, V.V., Lunev, V.V., Omelchenko, O.S. (2011). A method for refining molten copper and its alloys from oxygen. *Compressor and power engineering*, 3, 55-56. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kiem_2011_3_17 (Last accessed: 09.02.2024). [in Russian].
24. Mamedov, A.S., Samarsky, V.N., Ivanenko, A.N., Shapoval, L.V. (2009). Tinless bronze bulky scrap processing experience under conditions of non-special nonferrous castings workshop. *Metal and Casting of Ukraine*, 6, 3-4 [in Russian].
25. Smirnov, O.M., Narivskiy, A.V., Verzilov, O.P., Smirnov, Yu.O., Semenko, A.Yu. (2020). Modern technological constructions for the production of rolled copper and its alloys based on the concept of metallurgical micro-mills. *Metal and Casting of Ukraine*, 4(323), 42-46. <https://doi.org/10.15407/steelcast2020.04.042> [in Ukrainian].

Received 18.02.2024

Summary

V.A. Gnatush, PhD (Engin.), independent analyst,
e-mail: vgnatush@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0772-686x>

(Kyiv, Ukraine)

Global market trends for secondary processing of copper waste and scrap (analytical review)

Recycling of waste and scrap metal is an important component of the modern economy, because natural metal resources are exhaustible. And since copper waste and scrap can be considered as renewable resources, the analysis of the world market for secondary processing of copper waste and scrap is relevant in the 21st century.

It is shown that copper is used in many industries. The largest consumers of this product are mechanical engineering (32 % share) and construction (26 %). In the 21st century (2001-2022), the global production of refined copper increased from 15.6 to 25.7 million tons (CAGR 2.3 %), and its use – from 14.9 to 26.1 million tons (CAGR 2.6 %). By the end of 2022 the leaders in the production of refined copper in the world were China (share 43 %), Chile (8 %), the Republic of Congo (7 %) and Japan (6 %). Analytics show that the average level of copper scrap recycling in the world at the end of the useful life is about 45 %. If the recycling rate reaches 60 % by 2035, then the estimated total volume of copper scrap will reach 14 million tons by 2030, and 25 million tons by 2050. At the same time, a market for copper waste and scrap has formed in the world. In quantitative terms the world export of the specified goods in the years 2003-2022 varied from 3.8 million tons (2003) to 6.8 million tons (2013). In subsequent years, exports were characterized by a certain stability and fluctuated in the range of 5...6 million tons. The main exporters of these goods in 2022 were the USA (16.4 % share), Germany (7.2 %) and Japan (6.9 %), and the importers were China (37.1 %), Germany (10.4 %) and Republic of Korea (7.5 %). Information on the leading copper scrap processing companies in the world and the USA is considered. Information on the technological aspects of copper scrap processing is presented. It is shown that the processing industry has at its disposal direct and indirect methods of sorting, a line of equipment for metallurgical processing of copper scrap. Certain companies are found to use computerized systems to determine thermal characteristics, cost and the most efficient method of remelting, including the need to use multiple types of scrap. Information is provided regarding company Continuus-Properti S.p.A. (Italy), which uses three technology options for copper scrap processing. It is noted that the available equipment allows processing companies to create a technological cycle of processing with optimal efficiency depending on the quality of incoming scrap. Information is presented on the state of the Ukrainian market for copper waste and scrap, refined copper and copper products, as well as domestic technological developments.

Keywords

Market, trends, copper, copper alloys, waste, scrap, technologies.