

С.А. Божко, О.В. Бондаренко, В.П. Курінний, О.І. Шевченко

МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАЯВНИХ В ОБІГУ РЕСУРСІВ ВОЛЬФРАМУ МІЖ ГАЛУЗЯМИ ВИКОРИСТАННЯ

***Анотація.** Досліджуються галузі та форми застосування вольфраму, аналізуються способи переробки матеріалів, які містять вольфрам, з точки зору можливості перерозподілу наявного ресурсу між сферами його застосування. Встановлено, що з цієї точки зору найбільшим є виробу з твердих сплавів на основі карбїду вольфраму; На території України щорічно знаходиться в обігу приблизно від однієї до двох тисяч тон виробів з твердих сплавів. Способи переробки відходів твердих сплавів, які не передбачають відновлення вольфраму з карбїду, характеризується мінімальними витратами енергії, але обмеженими можливостями щодо перерозподілу наявного ресурсу вольфраму між сферами його використання. Способи переробки відходів твердих сплавів, які передбачають відновлення вольфраму, створюють найширші можливості для перерозподілу наявного в обігу ресурсу вольфраму між різними сферами його використання.*

***Ключові слова:** вольфрам, карбїд вольфраму, перерозподіл ресурсів, циркулярна економіка.*

Постановка проблеми. Воєнно-політична та економічна ситуація в світі, яка склалася на даний момент, спонукає країни Європи покладатися на власні сили і ресурси. Перш за все це стосується ресурсів, якими Європа бідна. Необхідно мати можливість сконцентрувати наявні запаси того чи іншого ресурсу і трансформувати його у ту форму, яка є найбільш необхідною на даний момент. При цьому бажано мати можливість зворотної трансформації в разі зміни ситуації. Мова йде як про заздалегідь накопичені запаси, так і про ту кількість ресурсу, яка знаходиться в обігу. Одним з таких дефіцитних у Європі ресурсів є вольфрам, без якого неможливе створення сучасних озброєнь і сучасне машинобудування взагалі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вольфрам дуже широко використовується в сучасній техніці. Основні сфери його використання за даними [1]:

1 твердосплавний інструмент: металорізальний, для обробки металів тиском, гірничо-видобувний;

2 зварювальні матеріали, дріт для електроерозійної обробки, дріт для ламп розжарювання;

3 інструментальні та конструкційні сталі, сплави на основі титану та нікелю (відливки, порошки, прокат, пресовані профілі);

4 високотемпературні електричні контакти;

5 високотемпературні змащувальні матеріали;

6 боеприпаси (осердя бронебійних підкаліберних снарядів, уражаючі елементи осколкових та касетних боеприпасів, картеч) [2,3,4];

7 авіаційна та ракетно-космічна техніка і ракетне озброєння [3,5].

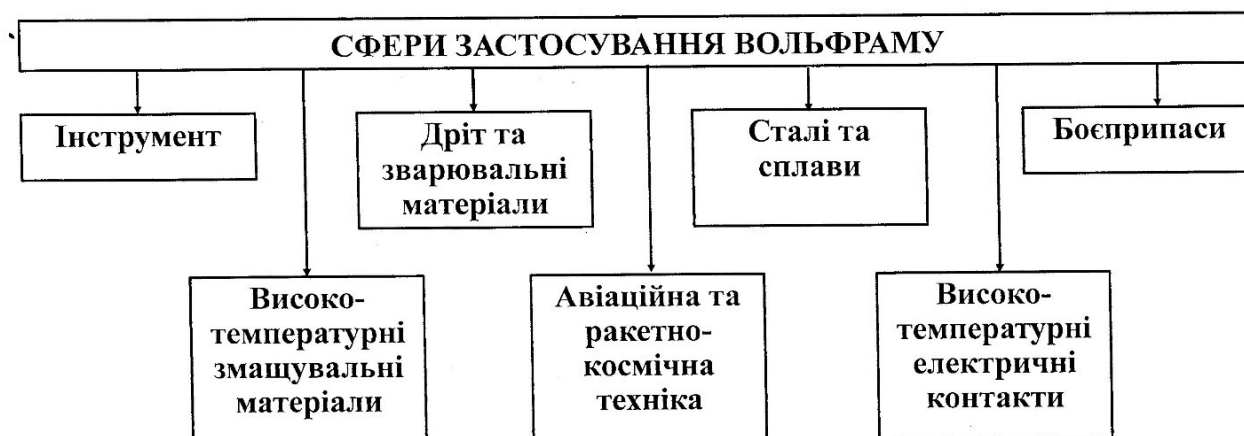
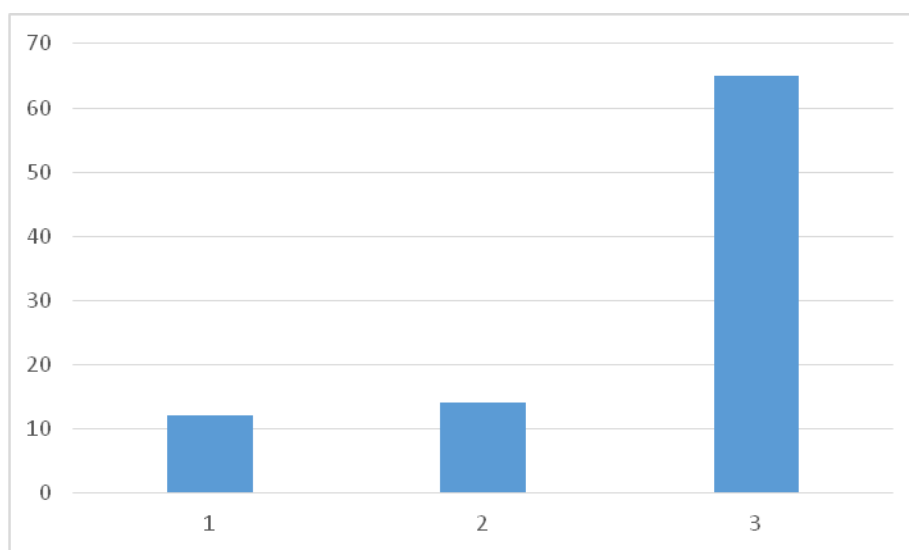


Рисунок 1 – Сфери застосування вольфраму у сучасній техніці

В цих сферах вольфрам використовується в різних сполуках та в чистому вигляді. Наприклад, в твердосплавних робочих частинах інструментів використовується карбід вольфраму. Для виплавки інструментальних та конструкційних сталей вольфрам застосовують у вигляді феросплавів, а в сплавах на основі титану та нікелю – у вигляді лігатур. В бронебійних боеприпасах, в касетних боеприпасах вольфрам може бути використаний як у вигляді карбиду, так і в чистому вигляді або у вигляді сплавів на основі вольфраму [2-4]. У зварювальних матеріалах (дріт, електроди) вольфрам

використовується у чистому вигляді [1]. У змашувальних матеріалах вольфрам використовується у вигляді хімічних сполук, наприклад, сульфідів [1].

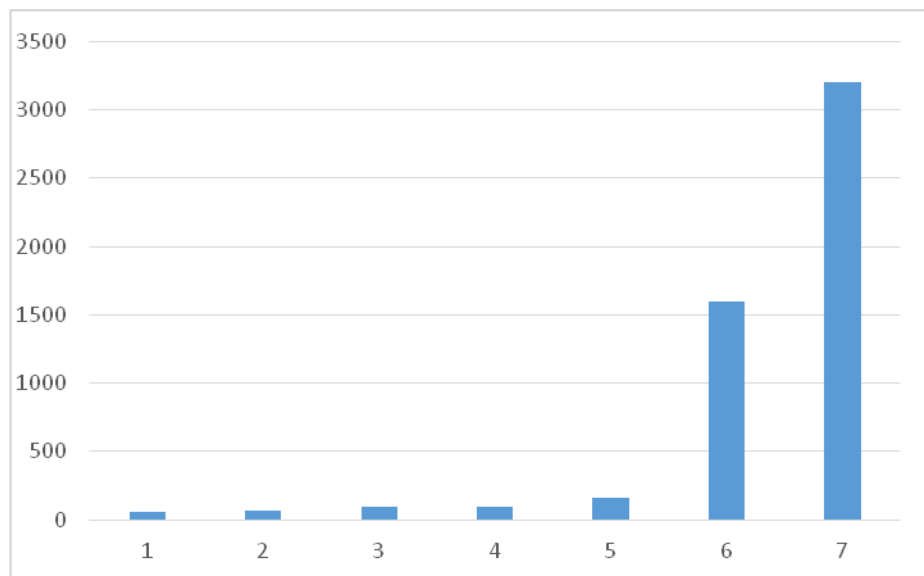
За даними [1] приблизно 65% вольфраму, який видобувається в світі, використовується для виготовлення карбіду вольфраму, ще 14% – феросплавів і лігатур для виплавки сталей та сплавів на основі титану та нікелю і деяких бронз, 12% – вольфраму у чистому вигляді або сплавів на основі вольфраму. Ще близько 9% вольфраму використовується у вигляді хімічних сполук. Таким чином, найбільш часто вольфрам застосовується у вигляді карбіду. У графічному вигляді це наведено на рисунку 1.



1 – вольфрам у чистому вигляді та сплави на основі вольфраму,
2 – феросплави і лігатури для виготовлення інструментальних та конструкційних сталей і сплавів, 3 – карбід вольфраму

Рисунок 2 – Розподіл вольфраму, який видобувається в світі (у відсотках), для виготовлення конструкційних матеріалів [1]

Сам вольфрам як ресурс є вкрай дефіцитним і дуже нерівномірно розміщений по всьому світу. За даними [1] відомі світові запаси вольфраму сягають 3200 000 тон, з яких Китайська народна республіка – приблизно 1600 000 тон, рф – 160 000 тон, Демократична республіка В’єтнам – 95000 тон, Монгольська народна республіка – 63 000 тон, Іспанія – 54000 тон. Що стосується України, то видобуток вольфраму в нашій країні на теперішній час не здійснюється. Потенційні запаси вольфраму в Україні оцінюються в 95000 тон [6-10].



1 – Іспанія, 2 – Монгольська народна республіка, 3 – Демократична республіка В'єтнам, 4 – Україна (прогнозовані дані), 5 – російська федерація, 6 – Китайська народна республіка, 7 – загальні запаси в світі (оціночні дані)

Рисунок 3 – Розподіл запасів вольфраму по країнах (у тисячах тон) [1,6-10]

Європейський континент є регіоном, у якому інтенсивна промислова діяльність триває найдовший час. Природно, що значна частина корисних копалин Європи вже вичерпана, хоча в цілому континент забезпечений більшістю корисних копалин, які необхідні для сталого розвитку. Україна є однією з небагатьох країн Європи, надра яких вивчені далеко не повністю. Таким чином не дивно, що європейські країни доволі активно просувають ідеї циркулярної економіки [11]. Циркулярна економіка або економіка замкненого циклу – модель економічного розвитку, що є альтернативою лінійній економіці і яка передбачає відновлення, повторне використання, раціональне споживання ресурсів і дозволяє створити додаткову цінність за допомогою нових послуг та інтелектуальних рішень.

Слід зауважити, що перші елементи циркулярної економіки почали системно використовуватися в ході Першої та Другої світових воєн – багаторазове використання тари для боєприпасів, снарядних гільз, збирання і переплав виведеної з ладу техніки [12]. Можливо пригадати і більш ранні приклади – війни революційної Франції проти коаліцій монархічних держав Європи, коли за наказом Гаспара Монжа чавунні каналізаційні решітки

переплавлялися на ядра для гармат [13]; Карфаген, в якому для виготовлення зброї використали майже всі металеві предмети, які лишилися в місті [14]. Як видно з наведених прикладів вже перші спроби використати якісь елементи того, що після назвуть циркулярною економікою, стосувалися багаторазового використання одного й того ж матеріального ресурсу та трансформації такого ресурсу у ту форму, яка є необхідною у даний момент.

Метою статті є виявлення найбільших ресурсів вольфраму, які знаходяться в обігу та можуть бути трансформовані в ту форму, яка є необхідною на даний момент.

Виклад основного матеріалу. Однією з підвалин циркулярної економіки є багаторазове використання одного й того ж матеріального ресурсу. З точки зору багаторазовості використання матеріального (сировинного) ресурсу, наведені вище сфери застосування вольфраму можливо розділити за наступною ознакою:

1 можливе повторне використання майже всього обсягу вольфраму або його сполуки;

2 в процесі використання та/або переробки чи утилізації відбувається розпорошення ресурсу, подальше збирання якого є технічно неможливим та/або економічно не раціональним;

3 відбувається часткова втрата або розпорошення ресурсу, але частина зберігається і може бути перероблена зі збереженням чи підвищенням концентрації ресурсу та збереженням чи покращенням властивостей.

Будь-який боєприпас використовується одноразово і корпус його бойової частини, як правило, руйнується з розпорошенням ресурсу і технічною неможливістю його збирання для наступної консолідації (підвищення концентрації). Це ж стосується готових уражаючих елементів касетних боєприпасів або картечі. Виняток становлять боєприпаси, які були виготовлені, пролежали на складах визначений термін, не були використані в ході бойової підготовки чи бойових дій, як правило, морально застарілі. В цьому разі вони є цінним ресурсом і можуть бути розібрані в заводських умовах і їх складові можуть бути належним чином утилізовані і перероблені поодиночі чи комплексно. За даними [2] в теперішній час здійснюється перехід до використання для виготовлення бронебійних осердь підкаліберних снарядів з

важких вольфрамових сплавів (до 90% вольфраму) замість твердих сплавів на основі карбиду вольфраму. Це не дивно, тому що густина важких сплавів на основі вольфраму складає від 18,0 г/см³ до 18,5 г/см³, в той же час як густина твердих сплавів на основі карбиду вольфраму лише від 14,0 г/см³ до 14,5 г/см³. Більша густина важкого сплаву порівняно з твердим забезпечує краще пробивання броні та/або ураження інших цілей, наприклад, крилатих ракет і безпілотних літальних апаратів. Таким чином, може виникнути потреба у переробці частини карбиду вольфраму на вольфрам чи важкі сплави на основі вольфраму. Технічна можливість такої переробки є. Цілком можливе і зворотне перетворення чистого вольфраму на карбід.

Зварювальні матеріали (неплавкі електроди, дріт) та матеріали для електроерозійної обробки використовуються в процесі експлуатації, частина матеріалу розпорошується і втрачається безповоротно (при переточування електродів, розривах дроту). Частина ж матеріалів, які входять до складу виробів, що вже неможливо використати за призначенням (короткі залишки електродів і дроту) цілком може бути зібрана і перероблена як чистий вольфрам чи на сплави на його основі. Також такі відходи можуть бути перероблені на карбід вольфраму.

Можливість переробки сталей і сплавів зі збереженням концентрації вольфраму залежить від їх складу та призначення виробів, які виготовлені з того чи іншого матеріалу. У всі сталі вольфрам вводиться у вигляді феросплавів. Самі феросплави отримують спільним відновленням оксидів вольфраму та заліза алюмінієм [15]. З феросплавів виділити чистий вольфрам технічно складно і економічно недоцільно. У сплави на основі титану та нікелю вольфрам вводять у вигляді лігатур, які здебільшого теж виготовляються методом алюмінотермії. Виділити чистий вольфрам з лігатури також технічно складно і економічно недоцільно.

Вироби з титанових та нікелевих сплавів з вмістом вольфраму, є здебільшого елементами складних технічних систем, які утилізуються профільними, спеціально обладнаними підприємствами. В цьому разі ці вироби будуть перероблені зі збереженням вмісту вольфраму у вторинному матеріалі (відливок, порошок, напівфабрикати, заготовки). Знос таких виробів в процесі штатної експлуатації відносно невеликий і розпорошення вольфраму

не спостерігається. Навіть в разі пошкодження технічної системи часто наявна можливість зберегти більшу частину її елементів для переробки. Виділити зі сплавів вольфрам для використання в інших матеріалах технічно неможливо або дуже складно та економічно недоцільно.

З швидкорізальних сталей здебільшого виготовляється суцільний металорізальний інструмент, такий як свердла, зенкери, мітчики, розгортки, фрези, протяжки, меншою мірою суцільні різці. Осьовий інструмент в процесі переточування суттєво зменшується в розмірах (крім мітчиків), при цьому значна частина матеріалу робочої частини втрачається безповоротно разом з вольфрамом, який входить до його складу. Разом з вольфрамом втрачаються не менш дефіцитні кобальт і молібден. Частина спрацьованого інструменту (хвостовики, робоча частина, розміри якої вже недостатні для обробки заготовок) можуть бути перероблені без зменшення концентрації вольфраму. Здебільшого на машинобудівних підприємствах відходи швидкорізальних сталей збирають окремо для подальшої переробки. Леговані інструментальні сталі (наприклад, типу ХВГ) можуть бути перероблені таким же чином. Отже, відходи швидкорізальних та легованих інструментальних сталей можуть бути перероблені на матеріали з таких же сталей без зменшення вмісту вольфраму, але частина вольфраму втрачається в процесі експлуатації інструмента через знос і переточування.

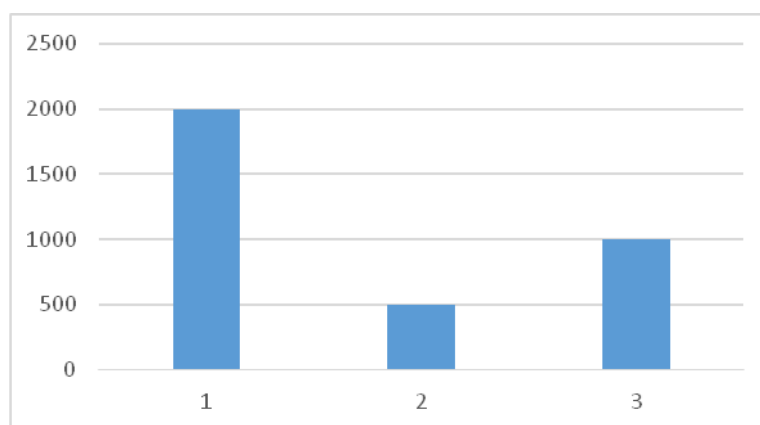
Конструкційні сталі, в тому числі нержавіючі, які леговані вольфрамом, використовуються відносно рідко. Якщо вироби з таких сталей мають достатньо великі розміри, то цілком можлива їх утилізація і переробка на профільних підприємствах зі збереженням концентрації вольфраму. Якщо ж вироби мають малі розміри, наприклад, кріпильні деталі, то вони здебільшого будуть утилізуватися разом з іншими відходами і ресурс вольфраму буде розпорозуватися без можливості подальшої консолідації.

Високотемпературні електричні контакти входять як елементи до складних технічних систем, які по закінченні терміну експлуатації утилізуються профільними підприємствами, на яких здійснюється належне сортування вторинної сировини. Таким чином, цей ресурс вольфраму зберігається і може бути перероблений як такий та перетворений на карбіди, феросплави та лігатури.

Тверді змащувальні матеріали, наприклад, дисульфід вольфраму, використовуються одноразово. Обсяги їх виробництва невеликі і вони необхідні в обмеженій кількості в тих технічних системах, де інші змащувальні матеріали не здатні виконувати свої функції.

Таким чином, найбільшим ресурсом з точки зору можливості перерозподілу наявної в обігу кількості вольфраму між різними галузями використання, є виробу з твердих сплавів на основі карбіду вольфраму.

Наявність твердих сплавів у промисловому обігу України можливо оцінити наступним чином. На 1991 рік промисловість України споживала до двох тисяч тон виробів з твердих сплавів на рік [16]. У 2004 році ця цифра складала сотні тон, а у 2014 році – одну тисячу тон [17]. Причинами зменшення обсягів використання твердих сплавів є не тільки скорочення обсягів промислового виробництва, а і покращення якості твердосплавного інструменту, який став доступним українським підприємствам. Таким чином, потреби промисловості України у виробу з твердих сплавів становлять від однієї до двох тисяч тон на рік. Відповідно, на території країни щорічно знаходиться в обігу приблизно така кількість виробів з твердих сплавів, основою переважної більшості з яких є карбід вольфраму.



1 – 1991 рік, 2 – 2004 рік (орієнтовні дані), 3 – 2014 рік

Рисунок 3 – Споживання виробів з твердих сплавів в Україні (по роках у тонах) [16,17]

Для переробки виробів з твердих сплавів та трансформації ресурсу вольфраму з карбіду в інші форми можуть бути задіяні декілька способів. Усі способи переробки відходів твердих сплавів можливо розділити на дві великі групи:

1 способи, які передбачають розділення карбідів і кобальту, подрібнення виробу та подальше використання карбідів і кобальту без відновлення вольфраму;

2 способи, які передбачають відновлення вольфраму з карбідів.

Перша група способів передбачає переробку відходів твердих сплавів на нові вироби з твердих сплавів. Можливість зміни форми використання вольфраму для цих способів – зменшення розмірів частинок карбідів. Можливості для такого зменшення є як при вибуховому подрібненні відходів за рахунок збільшення швидкості детонації вибухової речовини [18], так і при механічному розмелюванні після цинкотермічного виділення кобальту. Це може бути використано для переробки відходів застарілого металорізального інструменту, інструменту для обробки металів тиском та гірничо-видобувного інструменту на сучасний металорізальний інструмент. Також може бути змінена марка сплаву шляхом введення свіжих порошоків карбідів вольфраму, титану і танталу, а також кобальту. Ця група способів придатна для всіх груп твердих сплавів на основі карбіду вольфраму. Також ця група характеризується мінімальними витратами енергії, але обмеженими можливостями щодо перерозподілу наявного ресурсу вольфраму між сферами його використання.

Друга група способів передбачає відновлення вольфраму з карбідів. Таке відновлення можливо зробити шляхом окислення карбіду до оксиду і подальшого відновлення вольфраму. На виході можуть бути отримані кілька продуктів в залежності від способу відновлення та співвідношення реагентів:

1 чистий вольфрам – алюмінотермія або відновлення воднем з наступним дегідруванням;

2 феросплави – алюмінотермія, спільне відновлення вольфраму і заліза;

3 лігатура з вмістом вольфраму на основі нікелю або титану – алюмінотермія, спільне відновлення з оксидами титану і нікелю

4 важкий сплав на основі вольфраму – алюмінотермія;

5 інші хімічні з'єднання вольфраму, наприклад, сульфіди.

З чистого вольфраму чи його оксиду можливе отримання карбіду, але в результаті переробки можливо отримати вже інші розміри частинок, як менші за вихідні, так і більші. В процесі отримання порошоків карбідів вольфраму з оксидів чи порошоків чистого вольфраму частинки карбідів гарантовано не

будуть мати тріщин та внутрішніх напружень, які можуть виникнути при розмелюванні. Таким чином, способи переробки відходів твердих сплавів, які передбачають відновлення вольфраму, створюють найширші можливості для перерозподілу наявного в обігу ресурсу вольфраму між різними сферами його використання.

Висновки

Найбільшим ресурсом з точки зору можливості перерозподілу наявної в обігу кількості вольфраму між різними галузями використання є виробництво з твердих сплавів на основі карбиду вольфраму.

На території України щорічно знаходиться в обігу приблизно від однієї до двох тисяч тонн виробів з твердих сплавів, основою переважної більшості з яких є карбід вольфраму.

Способи переробки відходів твердих сплавів, які не передбачають відновлення вольфраму з карбідів, характеризується мінімальними витратами енергії, але обмеженими можливостями щодо перерозподілу наявного ресурсу вольфраму між сферами його використання.

Способи переробки відходів твердих сплавів, які передбачають відновлення вольфраму, створюють найширші можливості для перерозподілу наявного в обігу ресурсу вольфраму між різними сферами його використання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Сайт International tungsten industry association [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.itia.info/applications-markets/>
2. Едуард Перов (02.04.2021) Підкаліберний бронейний снаряд: Історія з анатомією. Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/2021/04/lom.html>
3. Сайт CSIS [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://missilethreat.csis.org/system/patriot/>
4. Сайт Lockheed Martin [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/guided-mlrs-unitary-rocket.html>
5. Санін Ф.П. Твердопаливні ракетні двигуни. Матеріали і технології: підручник. /Ф.П. Санін, Л.Д. Кучма, Є.О. Джур, А.Ф. Санін /.- Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. Ун-ту, 1999. – 320 с.
6. Сивий М., Паранько І., Іванов Є. Географія мінеральних ресурсів України: монографія. – Львів: Простір М, 2013. – 684 с.
7. Металічні корисні копалини України / О. В.Грінченко, М.В. Курило, М.А.Михайлов та ін. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 220 с.
8. Мінеральні ресурси України: щорічний довідник. – Київ: ДНВП «Геоінформ України», 2018. – 270 с.

9. Бабій К.В., Бубнова О.А., Малеев Є.В., Рюміна Д.М., Левченко К.С., Ікол О.О. Ресурси стратегічних корисних копалин України: монографія. / К.В. Бабій, О.А. Бубнова, Є.В. Малеев, Д.М. Рюміна, К.С. Левченко, О.О. Ікол / – Дніпро: ПБП «Економіка», 2024. – 324 с.
10. Сайт ТОВ «Інститут геології» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://insgeo.com.ua/wolframium/>
11. Циркулярна економіка. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальностями 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» / Є.С. Цюман, В.І. Зюсюн; Національний транспортний університет. – Київ: НТУ, 2023. – 133 с.
12. Знімки надлишків військової техніки після Другої світової війни. 1945-1948 (14 фото). Режим доступу: <https://nevsedoma.com.ua/uk/561534-znimki-nadlishkiv-vijskovoji-tehniki-pislja-drugoji-svitovoji-vijni-1945-1948-14-foto.html>
13. Le Paris des polytechniciens. Des ingénieurs dans la ville. Collection Paris et son patrimoine. Édité pour le bicentenaire l'école polytechnique. 1994.
14. Степан Кудрявченко (09.03.2026) Карфаген має бути зруйнований: гасло, що спалило античний світ. Режим доступу: <https://www.svitstyle.com.ua/karfahen-maie-butyzruinovanyi-haslo-shcho-spalylo-antychnyi-svit/>
15. В. П. Мовчан, М. М. Бережний. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 336 с
16. Уданович М.Р. Анализ рынка и маркетинг в инструментальном производстве / Оборудование и инструмент для профессионалов, 2003, № 12, с. 32-34.
17. Лисовський А. Ф. Технологія виробництва крупногабаритних твердосплавних виробів та освоєння їх промислового виробництва для металургійної промисловості України / А. Ф. Лисовський, Е. О. Цігітшвілі, А. І. Кулик, О. Ф. Курочкін, В. Г. Лясков, В. В. Пашинський, А. Д. Рябцев, Д. Г. Сидоренко, А. В. Феофілактов / Сверхтвердые материалы, 2010, № 2, . 30-42. ISSN 0203-3119.
18. Kurinnyi V.P., Harkusha I.P., Musiienko S.P. Theoretical substantiation of the explosive crushing of particles of tungsten-cobalt alloys // Geotekh. meh. 2019, 147, 73-81, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900045>

Received 16.03.2026.

Accepted 18.04.2026.

Published 30.04.2026

UDK 620.1:621.7

Sergey Bozhko, Oleg Bondarenko, Volodymyr Kurinnyi, Olexandr Shevchenko

POSSIBILITIES OF REDISTRIBUTION OF AVAILABLE TUNGSTEN RESOURCES IN CIRCULATION BETWEEN INDUSTRIES OF USE

***Abstract.** The purpose of this study is to identify the industries and forms of application of tungsten in which the largest amount of it is in circulation; to analyze the methods of processing materials containing tungsten, from the point of view of the possibility of redistributing the available resource between the areas of its application. The main research method in this work is the analysis of freely available data. The scientific novelty of this work is that it was established that the largest resource of tungsten in circulation is products made of hard alloys based on tungsten carbide. Based on the*

results of this study, the following conclusions can be drawn. The largest resource in terms of the possibility of redistributing the available amount of tungsten in circulation between different areas of use is products made of hard alloys based on tungsten carbide. Approximately one to two thousand tons of hard alloy products are in circulation in Ukraine annually, the basis of the vast majority of which is tungsten carbide. Methods of processing hard alloy waste that do not involve the recovery of tungsten from carbide are characterized by minimal energy consumption, but limited possibilities for redistributing the available tungsten resource between its areas of use. Methods of processing hard alloy waste that involve the recovery of tungsten create the widest possibilities for redistributing the available tungsten resource between its different areas of use.

Keywords: tungsten, tungsten carbide, resource redistribution, circular economy.

REFERENCES

1. Sait International tungsten industry association [Site International tungsten industry association] itia.info/applications-markets/ Retrieved from <https://www.itia.info/applications-markets/>
2. Eduard Perov (02.04.2021) Pidkalibernyi bronebiinyi snariad: Istoriia z anatomiieiu. [Sub-caliber armor-piercing projectile: A history with anatomy].ukrmilitary.com. Retrieved from <https://www.ukrmilitary.com/2021/04/1om.html>
3. Sait CSIS [Site CSIS]. missilethreat.csis.org. Retrieved from <https://missilethreat.csis.org/system/patriot/>
4. Сайт Lockheed Martin [Site Lockheed Martin]. lockheedmartin.com. Retrieved from <https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/guided-mlrs-unitary-rocket.html>
5. F.P. Sanin, L.D. Kuchma, Ye.O. Dzhur, A.F. Sanin (1999) Tverdopalyvni raketni dvyhuny. Materialy i tekhnologii: pidruchnyk [Solid-fired rocket engines. Materials and technologies: handyman] Dnipropetrovsk, Vyd-vo Dnipropetr. Un-tu, [in Ukrainian].
6. Syvyi M., Paranko I., Ivanov Ye. (2013) Heohrafiia mineralnykh resursiv Ukrainy: monohrafiia. [Geography of mineral resources of Ukraine: monograph] – Lviv: Prostir M, [in Ukrainian].
7. O. V.Hrinchenko, M.V. Kurylo, M.A.Mykhailov ta in. (2006.) Metalichni korysni kopalyny Ukrainy [Metallic brown diggings of Ukraine]. Kyiv: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr «Kyivskyi universytet», [in Ukrainian].
8. 8. Mineralni resursy Ukrainy: shchorichnyi dovidnyk (2018.) [Mineral resources of Ukraine: short-haired witness] Kyiv: DNVP «Heoinform Ukrainy» [in Ukrainian]
9. Babii K.V., Bubnova O.A., Malieiev Ye.V., Riumina D.M., Levchenko K.S., Ikol O.O. (2024) Resursy stratehichnykh korysnykh kopalyn Ukrainy: monohrafiia [Resources of strategic bark copalins of Ukraine: monograph]. Dnipro: PBP «Ekonomika» [in Ukrainian]
10. Sait TOV «Institute geologii» [Site Institute of geology R&D]. insgeo.com.ua. . Retrieved from <https://insgeo.com.ua/wolframium/> [in Ukrainian]
11. Tsyrukliarna ekonomika. [Circular economy] [Elektronnyi resurs]: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv druhooho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity za spetsialnostiamy 101 «Ekolohiia» ta 183 «Tekhnologii zakhystu navkolyshnoho seredovyscha» (2023) / Ye.S. Tsiuman, V.I. Ziuziun; Kyiv: NTU [in Ukrainian].
12. Znimky nadlyshkiv viiskovoi tekhniky pislia Druhoi svitovoi viiny. 1945-1948 (14 foto) [Photos of surplus military technology after another light war. 1945-1948 (14 photos)].

- Retrieved from <https://nevsedoma.com.ua/uk/561534-znimki-nadlishkiv-vijskovoji-tehniki-pislja-drugoji-svitovoji-vijni-1945-1948-14-foto.html>
13. Le Paris des polytechniciens. Des ingénieurs dans la ville. Collection Paris et son patrimoine. Édité pour le bicentenaire l'école polytechnique. 1994.
 14. Stepan Kudriavchenko (09.03.2026) Karfahen maie buty zruinovanyi: haslo, shcho spalylo antychnyi svit [Carthage must be destroyed: the slogan that burned the ancient world]. Retrieved from <https://www.svitstyle.com.ua/karfahen-maie-but-y-zruinovanyi-haslo-shcho-spalylo-antychnyi-svit/>
 15. V. P. Movchan, M. M. Berezhnyi. Osnovy metalurhii (2001) [Fundamentals of metallurgy]. Dnipropetrovsk: Porohy, [in Ukrainian].
 16. Udanovych M.R. (2003) Analiz rynku y marketynh v ynstrumentalnom proyzvodstve / Oborudovanye y ynstrument dlia professyonalov [Market analysis and marketing in tool production] – Equipment and instrument for professionals, 12, 32-34 [in Ukrainian].
 17. A. F. Lysovskiy, E. O. Tskitishvili, A. I. Kulyk, O. F. Kurochkin, V. H. Liasov, V. V. Pashynskiy, A. D. Riabtsev, D. H. Sydorenko, A. V. Feofilaktov. Tekhnolohiia vyrobnytstva krupnohabyrnykh tverdosplavnykh vyrobiv ta osvoinnia yikh promyslovoho vyrobnytstva dlia metalurhiinoi promyslovosti Ukrainy (2010) [Technology for the production of large-sized carbide particles and the development of their industrial production for the metallurgical industry of Ukraine], Superhard Materials, 2, 30-42.
 18. Kurinnyi V.P., Harkusha I.P., Musiienko S.P. Theoretical substantiation of the explosive crushing of particles of tungsten-cobalt alloys // Geotekh. meh. 2019, 147, 73-81, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900045>

Божко Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Бондаренко Олег Віталійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4958-1777>

Курінний Володимир Павлович – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-6727-2344>

Шевченко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник відділу геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-0186>

Bozhko Sergey Anatoliyovich – , Candidate of technical Sciences., Associated. Profesor., Associated Profesor of Department of rocket-space and innovation technology, Oles Honchar Dnipro National University. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Bondarenko Oleg Vitalievich – Candidate of technical Sciences., Associated. Profesor., Associated Profesor of Department of rocket-space and innovation technology, Oles Honchar Dnipro National University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4958-1777>

Kurinni Volodymyr Pavlovich – Doctor of technical Sciences, Profesor, Senior Researcher, Department of Geomechanical Basis of Open-Pit Technologe, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-6727-2344>

Shevchenko Olexandr Ivanovich – Doctor of technical Sciences, Profesor, Senior Researcher, Department of Geomechanical Basis of Open-Pit Technologe, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2630-0186>