



ISSN 2786-5827

Електронне наукове видання

НАУКОВИЙ ВІСНИК МІЖНАРОДНОЇ АСОЦІАЦІЇ НАУКОВЦІВ.

Серія: економіка, управління, безпека, технології

SCIENTIFIC BULLETIN OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF SCIENTISTS.

Series: Economy, Management, Security, Technology

Том 2, № 3, 2023

Volume 2, Issue 3, 2023

www.man.org.ua

Наказом МОН України від 10.10.2022 р. №894 видання включено до **категорії «Б»** за спеціальностями:

051 – економіка; 072 – фінанси, банківська справа та страхування; 073 – менеджмент;

076 – підприємництво, торгівля та біржова діяльність; 292 – міжнародні економічні відносини

DOI: 10.56197/2786-5827/2023-2-3-3

УДК 338.45:669.295](477):341.38

Гахович Наталія Георгіївна,
кандидат економічних наук,
старший науковий співробітник відділу промислової політики,
Державна установа “Інститут економіки та прогнозування НАН України”
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01000, Україна,
email: ngahovich@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-7754-9080

Венгер Віталій Васильович,
доктор економічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник з покладанням обов’язків завідувача відділу секторальних
прогнозів та кон’юнктури ринків, Державна установа “Інститут економіки та прогнозування
НАН України”,
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01011, Україна,
email: vengerv@ukr.net,
ORCID ID: 0000-0003-1018-0909
Scopus ID: 35759836300

Кушніренко Оксана Миколаївна,
доктор економічних наук, доцент,
старший науковий співробітник відділу промислової політики,
Державна установа “Інститут економіки та прогнозування НАН України”
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01000, Україна,
email: kushnksena@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3853-584X
Scopus ID: 57211200565

Gakhovych Nataliia,
PhD in Economics, Senior Researcher, Department of Industrial Policy,
State Organization “Institute for Economics and Forecasting, NAS of Ukraine”,
Panasa Myrnoho str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011
email: ngahovich@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-7754-9080

Venger Vitalii,
Doctor of Economic Sciences, Senior Researcher,
Leading Research Fellow acting as Head of the Department of Sectoral Forecasts and Market
Conditions, State Organization “Institute for Economics and Forecasting, NAS of Ukraine”
Panasa Myrnoho str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011
email: vengerv@ukr.net,
ORCID ID: 0000-0003-1018-0909,
Scopus ID: 35759836300

Kushnirenko Oksana,
Doctor of Economic Sciences, Senior Researcher,
Senior Researcher Department of Industrial Policy,
State Organization “Institute for Economics and Forecasting, NAS of Ukraine”,
Panasa Myrnoho str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011
email: kushnksena@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-3853-584X
Scopus ID: 57211200565

ПЕРЕДУМОВИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТИТАНОВОЇ ГАЛУЗІ В УКРАЇНІ У ПОВОЄННИЙ ПЕРІОД

PREREQUISITES AND PROSPECTS FOR THE UKRAINIAN TITANIUM INDUSTRY DEVELOPMENT IN THE POSTWAR PERIOD

Вступ. Для подолання втрат від війни Україні, окрім зовнішньої допомоги з боку країн-союзників, необхідно мобілізувати внутрішні ресурси та реалізувати можливості відновлення промисловості. Зокрема в тих галузях, де Україна має достатній ресурсний, виробничий, науковий та кадровий потенціали. Одним із таких напрямів є налагодження повного циклу виробництва продукції з титанової сировини як критично важливої для національної безпеки. Завдяки своїм унікальним властивостям (легкість, висока міцність, стійкість до корозії, біосумісність) титанові сплави називають матеріалом майбутнього, що робить країну, яка виробляє таку продукцію вагомим учасником глобальних економічних відносин.

Матеріали і методи. Використано методи системного підходу; абстрактно-логічний; економіко-статистичний; розрахунково-конструктивний; статистичних порівнянь; графоаналітичний.

Результати і обговорення. Україна володіє унікальними запасами титанових руд та вже багато років постачає її на світовий ринок. Однак розвиток титанової галузі в Україні обмежений багатьма чинниками, включаючи значну експортну орієнтованість (понад 80% титанових руд і концентратів експортується, а не переробляється в продукцію з більш високою доданою вартістю), необхідність модернізації виробничого потенціалу та структурний дисбаланс продукції. До того ж в Україні є потужна науково-дослідна та дослідно-конструкторська база, сформовані наукові школи в галузі матеріалознавства, металургії та інженерії титану, які мають можливість на високому науково-практичному рівні здійснювати супровід конкурентоспроможних наукоємних технологій та виробництв. Це підтверджується результатами наукової діяльності профільних науково-дослідних інституцій НАН України, численними патентами на корисні моделі, проектами фундаментальних та прикладних наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок. Подальший розвиток титанової галузі залежить від забезпечення кадрами, яке наразі ускладнено внаслідок військових дій. Значна частина

навчальних закладів різних рівнів, що готували технічних спеціалістів, інженерів та робітників гірничо-металургійної промисловості, розташовані в окупованих містах та на територіях активних бойових дій.

Висновки. Виходячи з характеристик титанових ресурсів і поточної ситуації в титановій галузі, весь промисловий ланцюг виробництва титанової продукції в Україні повинен бути оновлений. Крім того, необхідно доповнити структуру споживання титанових матеріалів для розширення їх застосування. Передумови розвитку титанової галузі в Україні (ресурсна база, науково-виробничий потенціал, система підготовки кадрів) дозволяють розвинути виробничі потужності повного циклу переробки титанових руд у титанову губку, зливки й вироби з них та стати потужним гравцем на глобальному ринку продукції з металевого титану.

Ключові слова: титанова галузь, повний цикл виробництва, додана вартість, перспективи розвитку, повоєнний період.

JEL Classification: O13, O3, Q00

Introduction. Faced with unprecedented war challenge, Ukraine in addition to external assistance from allied countries need more internal resources to realize the opportunities for the industrial base recovery towards the providing security for the population and further develop in the future. This has been a pivotal factor to realize internal opportunities for industrial development, in particular, in those areas where Ukraine has sufficient resource, production, scientific and human potentials. One of these areas is the creation of a full cycle of production of titanium products as a critically important mineral for national security. Due to its unique properties, corrosion resistance, biocompatibility) titanium called the material of the future, which makes the country that produces such products a significant participant in global economic relations.

Materials and methods. The methods of the system approach were used; abstract-logical; economic and statistical methods; calculation and construction; statistical comparisons graphoanalytics.

Results and discussion. Ukraine has unique titanium reserves and has been supplying titanium ore to the world market for many years. However, at the moment, the level of application of high-quality titanium materials in Ukraine is limited by many factors, including significant export orientation (more than 80% titanium ores and concentrates produced in Ukraine are exported, and not processed into products with a higher added value), the necessity for modernization the industry's production potential, high processing costs and structural imbalance of products. Also, there is a scientific-research and experimental-design base, established scientific schools in Ukraine in the field of materials science, metallurgy and titanium engineering. They support the further competitive development of science-intensive technologies and industries at a high scientific and practical level. This is confirmed by the results of the scientific activities of specialized research institutions of the Academy of Sciences of Ukraine, numerous patents for useful models, projects of fundamental and applied scientific research and scientific and technical (experimental) developments. Further development of the titanium industry depends on the provision of personnel, which is currently complicated by military operations.

Conclusions. Based on the characteristics of titanium resources and the current situation in the development of the titanium industry, the entire industrial chain of titanium production in Ukraine should be upgraded. In addition, it is necessary to supplement the consumption structure of titanium materials to expand their implementation. Prerequisites for the development of the titanium industry in Ukraine (resource base, scientific-research and production potential, personnel training system) make it possible to develop into production facilities a full cycle of processing titanium ores and concentrates into titanium sponge, ingots and products, and to become Ukraine a powerful player on the global market of metal titanium products.

Keywords: titanium industry, full cycle of production, added value, development prospects, post-war period.

Вступ. Повномасштабне вторгнення РФ в Україну посилило важливість забезпечення внутрішніх потреб як сил оборони, так і цивільного населення продукцією власного виробництва, зокрема такої що має стратегічне значення. Одним із стратегічних напрямів промислового відновлення має стати поглиблений розвиток виробництва продукції з металевого титану та високотехнологічних галузей на його основі. Це обумовлено рядом чинників. Перш за все, наявністю унікальних запасів металорудних корисних копалин – значних покладів ільменіту (титанової руди); наявність виробничого циклу від видобутку титанової руди до виробництва титанових злитків; потужна наукова база та розгалужена система підготовки кадрів для потреб титанової галузі тощо. До того ж розвиток титанової галузі відповідає пріоритетним напрямам плану заходів з післявоєнного відновлення України, переліку пропозицій щодо пріоритетних реформ та стратегічних ініціатив Національної ради з відновлення України від наслідків війни відповідно до Указу Президента від 21 квітня 2022 року № 266/2022 р. Саме тому аналіз передумов та обґрунтування перспектив розвитку титанової галузі України у період повоєнного відновлення на основі створення повного циклу виробництва продукції з металевого титану з високою часткою доданої вартості є надзвичайно актуальним та визначає мету нашого дослідження.

Матеріали і методи. Використано методи системного підходу – для визначення зв'язків між явищами та процесами економічної дійсності; абстрактно-логічного – для уточнення поняття інноваційна модернізація; монографічного – для вивчення та аналізу літературних джерел, нормативних документів, досвіду господарювання в сучасних умовах; економіко-статистичного – для опрацювання офіційних статистичних даних міжнародного, державного, регіонального рівнів; системно-порівняльного аналізу – для аналізу показників розвитку титанової галузі; розрахунково-конструктивного – для оцінки індикаторів моніторингу та оцінювання розвитку конкурентоспроможних технологій титанового виробництва; статистичних порівнянь; групування; структурно-інституціонального підходу; графоаналітичного.

Результати і обговорення. Титанова галузь в Україні має тривалу історію свого розвитку. В Україні протягом багатьох років розвивалися наукові школи у галузі фізики твердого тіла, металофізики та фізичного матеріалознавства, де дослідження особливостей добування, виплавки та обробки титану посідають одне з вагомих місць. Зокрема, академік НАН України О.М. Івасишин присвятив свої дослідження проблемам підвищення комплексу механічних характеристик конструкційних титанових сплавів та підготував покоління талановитих науковців, які створили потужну науково-експериментальну базу технологій оброблення титанових сплавів, що досягла найвищих (рекордних) у світі показників їх міцності – до 1900 МПа (Марковський, 2021).

Широкий спектр науково-теоретичних та прикладних проблем досліджуються представниками наукової школи Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Пашинський В.В., Шваб С.Л. та інші науковці створили лінійку промислових електронно-променевої установок продуктивністю від 180 до 1500 т титанових зливків на рік. Усі ці установки укомплектовано термокатодними електронними гарматами “Патон-300” потужністю 300 кВт і прискорювальною напругою 30 кВ. Промислову електронно-променеву установку UE5810 загальною потужністю 2,5 МВт укомплектовано 7 електронними гарматами “Патон-300” і призначено для виплавляння зливків титану діаметром до 1100 мм та масою до 20 т (Ахонін, 2019).

Дослідники з Інституту проблем матеріалознавства ім. І.Н. Францевича НАН України Карпець М. В., Фірстов С.О., Рокицька О. А., Крапивка Н. А. представили напрацювання у сфері дослідження нових титанових сплавів, зокрема закономірності структуроутворення квазікристалів та апроксимантних кристалічних фаз в титанових сплавах (Карпець, 2016). Розроблено технологію електронно-променевого плавлення

титанових сплавів, яка забезпечує гарантоване видалення тугоплавких включень, дрібнозернисту структуру зливка, однорідність розподілу легуючих елементів в об'ємі зливка. За даною технологією як вихідну шихту можна використовувати до 100% брухту титану та губчастий титан без його попереднього пресування у витратний електрод. Зазначена технологія дозволяє отримувати не лише традиційні промислові титанові сплави, відомі з минулого століття, а й нові складнолеговані високоміцні титанові сплави конструкційного призначення та жароміцні титанові сплави з дисперсійним зміцненням силіцидами та інтерметалідами, які створюють учені НАН України (Firstov, 2004).

Про новостворену низьковуглецеву технологію виробництва титанового порошку заявлено й у дослідженні українських фахівців Gonchar et al. (2023), які представляють підприємства Titanera LLC, Velta Holding US Inc (Gonchar, 2023).

Серед зарубіжних вчених, що займаються дослідженням напрямів підвищення технологічності титану, перш за все слід назвати розробки Вільяма Кролла, який винайшов процес виробництва титану та цирконію під назвою “процес Кролла”, що залишається основним способом вилучення цих металів із руд (Kroll, 1940). Д. Банерджі та Дж. К. Вільямс розглядають перспективи науки та технології титану в критично важливих для безпеки конструкціях, таких як літаки та авіаційні двигуни (Banerjee, 2013). Вчені з Національної консультативної ради з матеріалів Національної академії наук США Роберт І. Джаффі та інші присвятили багато праць поточному використанню та обґрунтуванню майбутніх можливостей, включаючи економічні аспекти щодо матеріалів з титану (Robert I. Jaffee, 1973). Китайськими вченими представлена значна кількість публікацій щодо технологій титанового виробництва. Так, науковці Школи переробки корисних копалин та біоінженерії Центрального університету Чанша в КНР – Юйфен Го та інші обґрунтували тенденції розвитку титанової промисловості КНР, і визначили стратегічні аспекти розвитку: створення спільного виробництва в сталеливарній та титановій промисловості, поєднання переваг виробництва сталі та виплавки кольорових металів, а також посилення великомасштабного виробництва титанових сплавів у КНР (Qiand, 2022). Дослідники з канадського університету м. Шербрука М. Ель Халлуфі, О. Дремель, Ж. Сусі та інші провели огляд ефективних методів виробництва титанового порошку за допомогою процесів видобувної металургії та обґрунтували перспективи їх майбутнього розвитку (Khalloufi, 2021).

Наведене свідчить, що існуючі наукові школи та їх дослідження дали змогу розширити можливості застосування титану як конструкційного матеріалу майбутнього. Водночас, в науковому дискурсі наразі визначення передумов та чинників відновлення титанової галузі України для забезпечення потреб обороноздатності й стійкості національної економіки залишаються недостатньо дослідженими.

Історично склалося так, що титанова промисловість в Україні є єдиною з підгалузей кольорової металургії, яка має практично завершений виробничий цикл з виробництва напівфабрикатів (від видобутку титановмісних руд, їх збагачення, виробництва губчастого титану та виплавки титанових зливок).

Основним джерелом забезпечення підприємств з виробництва титанової продукції є **мінерально-сировинна база**, яка в Україні представлена приблизно 40 родовищами титану, що включають одне унікальне, 13 великих та 10 середніх родовищ. Наразі видобуток руд титану в Україні ведеться лише з розсіпних покладів, що становлять близько 10% усіх розвіданих запасів¹. За оцінками світових експертів, українські поклади титанових руд (ільменіту та рутилу) за обсягом займають десяте місце у світі (понад 1 % від світових запасів) (Рудько, 2021) (рис. 1).

¹ URL: <https://inventure.com.ua/uk/analytics/articles/titan-v-ukrayini:-vijskovo-ekonomichnij-kontekst> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

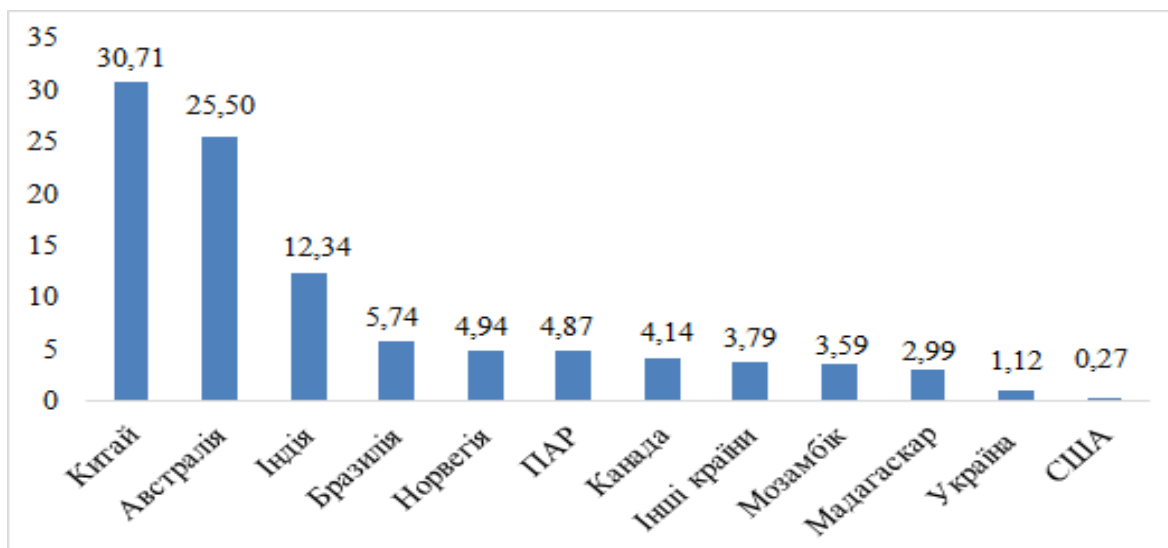


Рис. 1. Структура світових запасів титанової руди (ільменіту та рутилу) станом на 01.01.2022 р., %

Джерело: складено за даними Державної геологічної служби США, 2022 р. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf>

Наявність значних запасів титанових руд (ільменіту, рутилу) в Україні (станом на кінець 2021 р. становили 8 400 тис. т, з них ільменіт – 5900 тис. т, рутил – 2500 тис. т)² (рис. 2) створило передумови не лише для їх внутрішнього споживання, а й для виходу на зовнішні ринки.

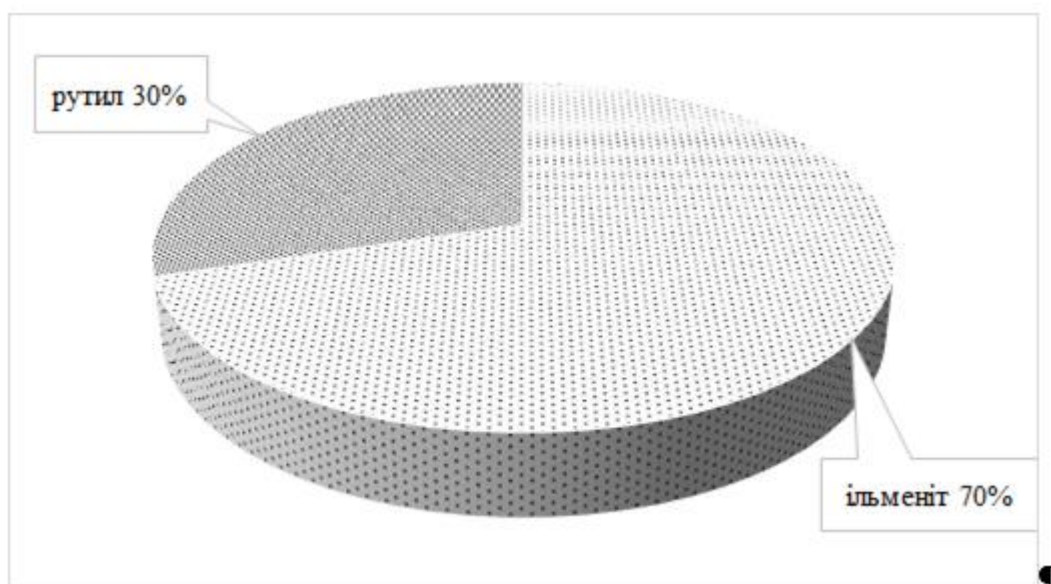


Рис. 2. Запаси руд титану в Україні станом на 01.01.2022 р., тис. т

Джерело: складено за даними Державної геологічної служби США, 2022 р. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

В Україні видобувну та виробничу діяльність титанових руд і концентратів здійснюють як державні, так і приватні компанії, серед яких найбільшими є: АТ “Об’єднана гірничо-хімічна компанія” (UMCC); Group DF; ТОВ ВКФ “Велта”; ТОВ “Демурінський ГЗК” (табл. 1).

² URL: <https://eiti.gov.ua/resursi-rozvidka-ta-vidobuvannya/rudi-titanu/#:~:text=> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

Таблиця 1

Характеристика основних гравців у сфері видобування та переробки титанової руди в Україні

№	Назва компанії	Короткий опис	Виробничий профіль	Особливості розвитку
1	ПрАТ “Об’єднана гірничо-хімічна компанія” (UMCC)	Об’єднання потужностей Вільногірського гірничо-металургійного комбінату у Дніпропетровській області та Іршанського гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) у Житомирській області	Видобуток руди для виробництва 20 тис. тонн титану на рік у 2021 р. ³ та понад 350 тис. т концентратів титанових руд та циркону. Станом на 01.01.2022 р. загальний обсяг балансових запасів руд титану становив 40,20 млн куб. м, що на 6,03% менше, ніж станом на 01.01.2021 року. Сумарний обсяг балансових (видобувних) запасів пісків циркон-рутил-ільменітоносних станом на кінець 2021 р. склав 23,80 млн куб. м, (на 14,39% менше минулорічного показника).	ОГХК в умовах воєнного стану продовжує видобування, хоч обсяги значно зменшились. В травні 2022 р. видобуто 7270 тонн ільменітового концентрату, 1419 тонн цирконового концентрату, 2951 тонн рутилового концентрату, то у травні 2023 р. відповідні цифри складають приблизно на 60% менше: ільменіт – 3000 тонн, рутил – 1300 тонн, циркон – 700 тонн відповідно ⁴ .
2	Group DF ⁵	Об’єднання потужностей ГЗК ТОВ “Валки-Ільменіт”, ТОВ “Межиріченського ГЗК”, 49% капіталу ТОВ “Запорізького титано-магнієвого комбінату”.	Потужності ГЗК ТОВ “Валки-Ільменіт” становлять 45 тис. т ільменітового концентрату на рік ⁶ . Потужності ТОВ “Межиріченського ГЗК” становлять 100 тис. т ільменітового концентрату на рік ⁷ .	Побудовано доводочну фабрику, що дозволяє не шукати зовнішніх підрядників для збагачення руди, а робити це самотужки на власних виробничих потужностях.
3	ТОВ ВКФ “Велта” ⁸	Приватний виробник титанової продукції, що володіє Бирзулівським (9,45 млн т ільменіту) та Лікарівським (2,6 млн т ільменіту) родовищами титанових руд, які розташовані в Кіровоградській області України.	Поточна потужність ТОВ ВК “Бирзулівський гірничо-збагачувальний комбінат” становить до 270 тис. т ільменітового концентрату на рік.	Власний R&D центр, 3 національних патента та 2 патенти у США, запущено процеси сертифікації власного виробництва, отримано сертифікат ISO 45001:2018 та ISO 9001:2018. У липні 2023 р. отримано новий сплав алюмініду титану (TiAl) за допомогою власного виробничого процесу замкнутого циклу.
4	ТОВ “Демурінський ГЗК” ⁹	Компанію створено у 2001 р. з метою промислового видобутку і збагачення титано-цирконієвих руд. Підприємство розробляє Вовчанське титано-циркоїєве родовище (запаси ільменіту оцінюють в 2,3 млн т, рутилу – 0,7 млн т	Виробнича потужність – до 10 тис. т ільменіту/на рік).	Здійснюються гірські роботи, введено в експлуатацію модуль рудопідготовки, проводиться проєктування і будівництво фабрики доведення.

Джерело: складено авторами за даними сайтів компаній UMCC, Group DF, Velta, ТОВ “Демурінський ГЗК”.

³ URL: <https://ua.interfax.com.ua/news/economic/776517.html> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁴ URL: <https://gmk.center.ua/news/oghk-u-cheretni-planuie-vidnoviti-robotu-irshanskogo-gzk/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁵ URL: <https://groupdf.com/uk/nash-biznes-2/titanoviy-biznes/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁶ URL: <https://valki.in.ua/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁷ URL: <https://mgok.com.ua/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁸ URL: <https://velta-ua.com/production/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

⁹ URL: <https://nadra.info/tag> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

Обсяг виробництва концентратів титанових в Україні за 2021 р. становив 525 тис. т, з яких виробництво ільменітового концентрату складало 430 тис. т, що на 34 тис. т більше 2020 р (5,11% від світового виробництва), а виробництво рутилового концентрату – 95 тис. т (15,10% від світового виробництва) згідно з оціночними даними Державної геологічної служби США¹⁰. Сумарний обсяг виробництва титанових концентратів в Україні у 2021 році оцінювався у розмірі 5,81% від обсягу світового виробництва (рис. 3).

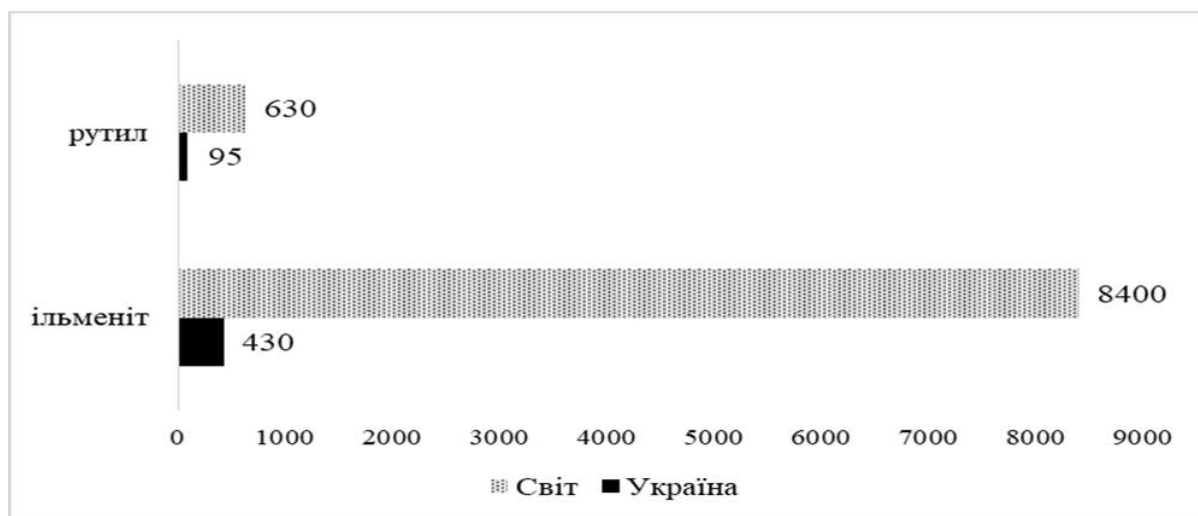


Рис. 3. Обсяги виробництва титанових концентратів (ільменіт та рутил) в Україні та світі у 2021 р., тис. т

Джерело: складено за даними Державної геологічної служби США. 2022 р. URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

Аналізуючи сучасний стан виробництва титанової продукції слід звернути увагу на те, що переважна більшість вироблених в Україні титанових руд і концентратів (понад 80%) експортується (рис. 4). Україна наростила експорт титановмісних руд та концентрату на 3% порівняно з 2020 р. до 553,05 тис. т. У грошовому виразі за цей період експорт зріс на 17% – до 161,9 млн дол. США. Основні поставки у 2021 р. здійснювалися до Чехії, КНР, Мексики, Туреччини.

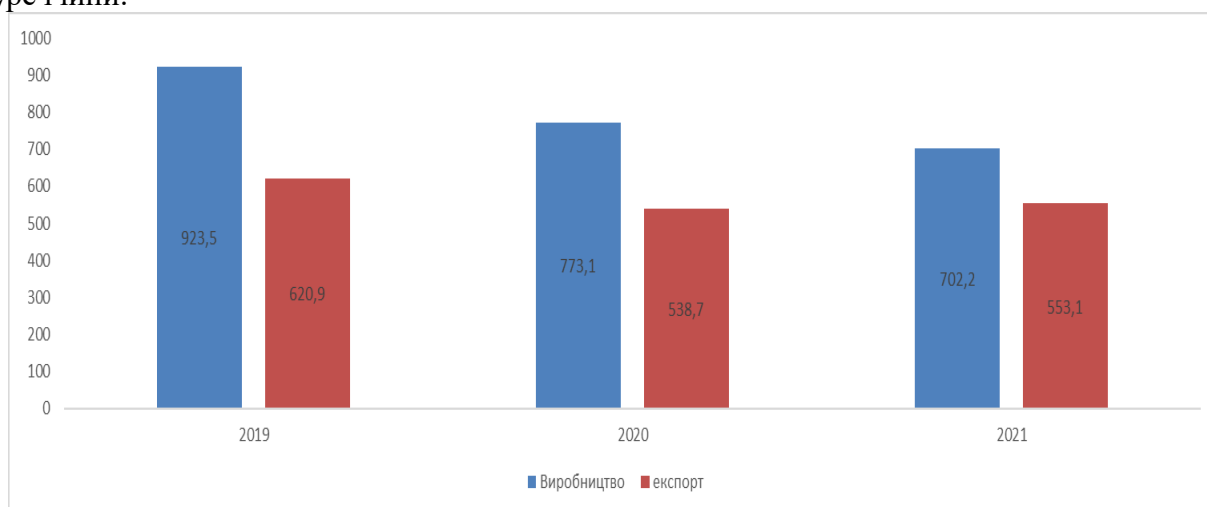


Рис. 4. Обсяги виробництва та експорту титанових концентратів (ільменіт та рутил) в Україні за 2019-2021 рр., тис. т

Джерело: складено за даними Держстату.

¹⁰URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

Обсяги видимого споживання концентратів на внутрішньому ринку (виробництво – експорт + імпорт) мають тенденцію до скорочення: 51,3% у 2019 р., 22% – у 2020 р. та 13,1% у 2021 р. Найбільшими споживачами титанової сировини на внутрішньому ринку України виступають хімічна та металообробна галузі промисловості. Більшість титанового концентрату споживається хімічною промисловістю України для виготовлення титанових пігментів з вмістом TiO_2 93-95%. Це кінцева продукція, яка є важливою складовою при виробництві лакофарбових матеріалів, паперу, пластмас, гуми. Водночас перспективним є застосування титанових концентратів у металообробній промисловості, зокрема при виготовленні напівфабрикатів з титану та сплавів для реалізації на внутрішньому та зовнішньому ринках. Мова йде про повний цикл переробки сировини у напівфабрикати у вигляді титанових злиwkів, які є заготовками для виробництва складних виробів в машинобудуванні, аерокосмічній індустрії, ОПК.

В Україні виробництвом титанової продукції займаються: ДП “НВЦ “Титан” ІЕЗ ім. Є.О. Патона”, МК “Антарес”, ТОВ “Стратегія БМ”, Запорізький титаномагнієвий комбінат. Металевий губчастий титан в Україні виробляють на Запорізькому титаномагнієвому комбінаті (ЗТМК) з використанням технології плавки ільменітових концентратів в електродугових печах з отриманням титанових шлаків (Ненгу, 1973). Наступним елементом переділу виробничого циклу переробки титанового концентрату є виробництво титанової губки – сировини для виробництва титанових злиwkів, які у свою чергу, використовуються для виробництва кінцевої продукції в авіаційній, автомобільній, медичній, хімічній, машинобудівній галузях, завдяки своїй високій міцності та стійкості до корозії. Попит на титанову губку буде зумовлений зростаючою потребою у легких матеріалах із високою міцністю та стійкістю до корозії. Проте, українським виробникам поки що не вдається замінити російські поставки титанової губки на світовому ринку: обсяг виробництва титанової губки знизився у 2019 р. більш ніж у 3 рази порівняно з 2008 р. і має тенденцію до скорочення (з 8 тис т у 2019 р. до 6,1 тис т у 2021 р.). В даному сегменті також зберігається значна експортна орієнтація майже 92% виготовленої у 2021 р. титанової губки експортовано (рис. 5).

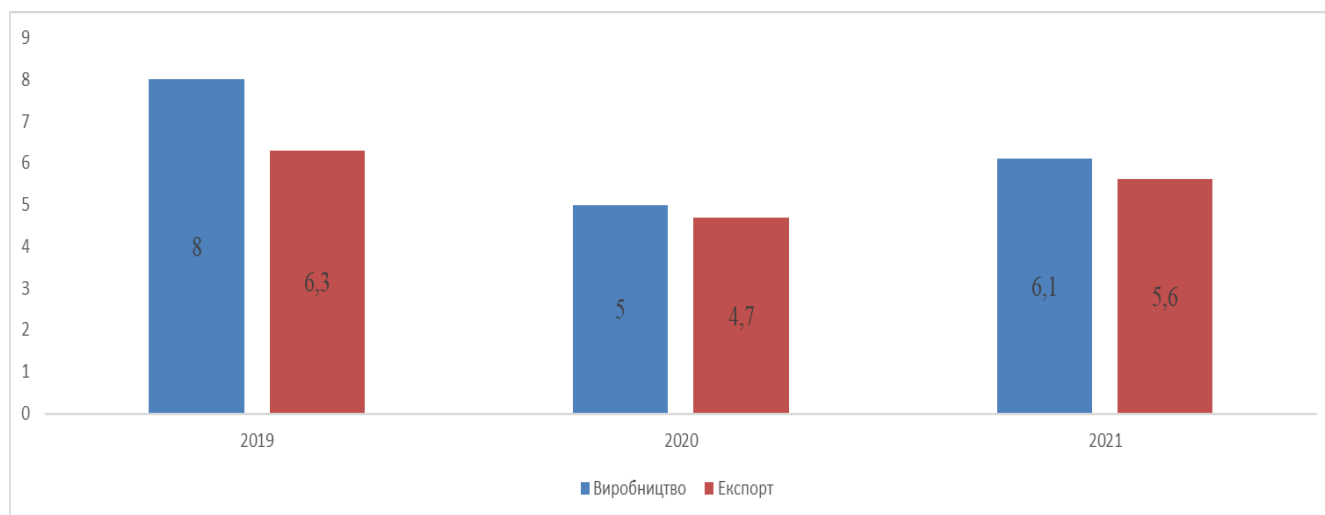


Рис. 5. Обсяги виробництва та експорту титанової губки в Україні за 2019-2021 рр., тис. т
Джерело: складено за даними Держстату

Таким чином, Україна поки що не реалізує усі можливості щодо виробництва титанової губки: наразі понад 80% її експортується, а не переробляється в продукцію з більш високою доданою вартістю. Ще у 2009 році корпорація зі США заявила про готовність щорічно закуповувати близько 15 тис. т порошку гідриду титану у ЗТМК. Однак комбінат у 2010 році не здійснив повноцінний запуск виробництва і не підписав контракт з Boeing. Внаслідок рішення уряду у 2013 р. 49% акцій ЗТМК було продано Tolexis Trading Limited,

що належить Д. Фірташу, та повністю передано в управління цій структурі. Також в управлінні цієї компанії знаходяться Вільногірський та Іршанський ГЗК, продукція з яких експортувалася переважно для потреб російської ВСМПО-АВІСМА. Протягом усього періоду управління ЗТМК групою Д. Фірташа виробництво гідриду титану було зупинено, обсяг виробництва титанової губки впав більш ніж у 2 рази, а обсяг виробництва шлаку – у 3 рази¹¹.

Зі злиwkів титанових сплавів, отриманих методом електронно-променевого плавлення, на машинобудівних підприємствах України організовано виробництво виливок (АТ “Мотор Січ”, м. Запоріжжя), поковок (ДП “Південмаш”, м. Дніпро, ВО “Сумське машинобудівне об’єднання”, м. Суми тощо), пресованих, кованих та катаних прутків (ДП “Південмаш”, м. Дніпро, ПП “Ангара”, м. Київ тощо), а також пресованих і холодноотягнутих труб (ВО “Оскар”, м. Нікополь), зварювального дроту¹².

Україна має потужну *науково-дослідну та дослідно-конструкторську* базу, наукові школи в галузі матеріалознавства, металургії та інженерії титану, які мають можливість на високому науково-практичному рівні здійснювати супровід подальшого конкурентоспроможного розвитку нових проривних наукоємних технологій та виробництв (Венгер, 2022). Це підтверджується результатами наукової діяльності профільних науково-дослідних інституцій НАН України, численними патентами на корисні моделі, проектами фундаментальних та прикладних наукових досліджень і науковотехнічних (експериментальних) розробок. Провідними науковими установами є: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України; ДП “НВЦ “Титан” ІЄЗ ім. Є.О. Патона”; АТ “Інститут титану”; Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича; Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України; Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України; ДП “УкрНДІспецсталь”; Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України; Velta RD Titan; ДУ “Інститут економіки та прогнозування НАНУ” та ін.

Металургійне виробництво злиwkів титану та сплавів на його основі в Україні базується на розробленій в **Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона** технології електронно-променевого плавлення з проміжною ємністю, яка дозволяє гарантовано видаляти з титану тугоплавкі включення, що складаються з нітридів, карбідів та оксидів титану і інших металів, та забезпечує високі техніко-економічні показники процесу плавлення, особливо при виплавці злиwkів-слябів прямокутного перетину. Зазначена технологія забезпечує дрібнозернисту структуру зливка та однорідність розподілу легуючих елементів в об’ємі зливка. За розробленою технологією як вихідну шихту можна використовувати до 100 % брухту титану та губчастий титан без його попереднього пресування у витратний електрод. Розроблена технологія дозволяє отримувати не лише традиційні промислові титанові сплави, відомі з минулого століття, а й нові складнолеговані високоміцні титанові сплави конструкційного призначення та жароміцні титанові сплави з дисперсійним зміцненням силіцидами та інтерметалідами, які створюють учені НАН України (Firstov, 2004; Ахонин, 2017).

Компанія “Велта” активно проводить науково-дослідні роботи, підтвердженням чого є 2 національні патенти та патент у США на Velta Ti Process. З 2017 року науково-дослідний центр Velta RD Titan працює над вивченням нових технологій отримання титанових матеріалів. Особливу орієнтацією в цих дослідженнях вчені зробили на металевому титані. Ключова відмінність методу, який Velta RD Titan патентує в США і Україні, від давно існуючих, полягає в максимально зниженій енергоємності та кількості операцій у процесі отримання титану, що дозволить відчутно знизити його собівартість. Все це підтверджує

¹¹ URL: https://zaxid.net/shho_zavazhaye_ukrayini_vitisniti_rosiyu_z_titanovogo_rinku_ta_stati_liderom_galuzi_n1554063 (дата звернення: 08.08.2023 р.)

¹² URL: <https://www.nas.gov.ua/UA/Messages/Pages/View.aspx?MessageID=8027> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

можливості українських виробників витіснити рф зі світового титанового ринку та забезпечити потреби внутрішнього ринку в титановій продукції¹³.

Специфіка титанової галузі вимагає *спеціальної підготовки кадрів* за різними спеціальностями. В Україні працює низка навчальних закладів різних рівнів, до завдання яких входить підготовка технічних спеціалістів, інженерів та робітників гірничо-металургійної промисловості. Однак найбільше з них зосереджено в містах, де розташовані виробничі потужності: Запоріжжя, Кам'янське, Кривий Ріг, Маріуполь та Авдіївка. До їх числа належать: Запорізький професійний ліцей автотранспорту; Запорізький гідроенергетичний коледж; Запорізький будівельний центр професійно-технічної освіти; Запорізький електротехнічний коледж; Запорізьке вище індустріально-політехнічне училище; Запорізька державна інженерна академія; Придніпровський державний металургійний коледж; Кам'янський індустріальний коледж; Дніпровський державний технічний університет; Запорізький політехнічний центр професійно-технічної освіти; Запорізький правобережний професійний ліцей; Запорізьке машинобудівне вище професійне училище; Запорізький металургійний коледж; Запорізький національний університет “Запорізька політехніка”; Інгулецький професійний ліцей; Криворізький професійний гірничо-електромеханічний ліцей; Індустріальний коледж ДВНЗ “КНУ”; Криворізький професійний гірничо-технологічний ліцей; Криворізький центр професійної освіти металургії та машинобудування; Центри підготовки і перепідготовки робітничих кадрів тощо.

Повномасштабна війна в Україні призвела до неможливості підготовки кадрів в окупованих містах та на територіях активних бойових дій, зокрема в містах Маріуполь, Донецьк, Авдіївка, Костянтинівка та інших, де була сформована розгалужена система підготовки кадрів для добувної галузі. Хоч військові дії тривають, проте вже зараз необхідно розробити план дій щодо відновлення роботи установ НАН України, ЗВО, технікумів та коледжів тощо в сфері підготовки кадрів для потреб титанової галузі.

Вищезазначені можливості (ресурсна база, науково-виробничий потенціал, система підготовки кадрів) дозволяють розвинути в Україні виробничі потужності повного циклу переробки титанових руд та концентратів у титанову губку, зливки та вироби з них, а також, враховуючи сучасні технологічні тренди, стати потужним гравцем на глобальному ринку продукції з металевого титану.

Висновки. Україна спеціалізується на видобуванні та збагаченні титанових руд і концентратів (ільменітові та рутилові), виробництві двоокису титану, титанової губки, титанових зливок і обмеженого асортименту продукції з них. Водночас для зміцнення економічної стійкості України важливим є будівництво нових та реконструкція існуючих підприємств титанової промисловості України, що є стратегічним питанням державного значення у повоєнному відновленні економіки України. В Україні можуть бути створені сучасні підприємства у сфері видобування й переробки титанових металів із дотриманням високих екологічних стандартів. Цьому сприяє наявність перспективних родовищ та історично сформована наукова база, розгалужена система підготовки кадрів. Для реалізації наявного потенціалу титанової галузі доцільно разом з інвесторами побудувати та/або модернізувати виробничі потужності, які зможуть переробляти вітчизняну титанову сировину, покриваючи потреби в металевій титановій продукції для внутрішнього та зовнішнього ринків.

Варто зазначити, що модернізація та/або будівництво нових виробничих потужностей має здійснюватися на основі:

– *технології виробництва прутків діаметром 200 мм.* Традиційно напівфабрикати у вигляді прутків з титану виробляють шляхом виплавки методом *вакуумно-дугового переплаву* (ВДП) зливок великого діаметру (600 мм), а потім їх перековування на поковки меншого діаметру (до 200 мм) та наступної прокатки або пресування. В Україні виплавка зливок

¹³ URL: <https://www.facebook.com/100005415253398/posts/pfbid02sJijVa9BMfa4nuDcvwaGSeUhn7MEvhkzFNLV1LtwiCPTNwgbicXm8SsQYQMhKBMEI/> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

здійснюється з використанням технології *електронно-променевого плавлення* (ЕПП) діаметром від 300 до 1100 мм. На основі розробок Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України) з економічної точки зору більш доцільно виплавляти зливки діаметром до 200 мм, виключивши при цьому із технологічного процесу вартісну операцію перековування зливка, і далі виробляти прутки діаметром до 60 мм, що знизить вартість кінцевої продукції на 10–15% і дозволить їх використовувати у технології 3D-друку;

– *виробництво деталей заданої форми і структури із заздалегідь прогнозованими властивостями* на основі перспективних розробок адитивних технологій ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. Перевагами запропонованих розробок є: нижча вартість 3D-принтера порівняно з іноземними аналогами, повний науковий супровід та обслуговування, використання власної титанової сировини та напівфабрикатів. Розширення асортименту продукції з високою доданою вартістю за рахунок освоєння нових адитивних технологій є їх застосування, зокрема і в авіаційній галузі. За прогнозами компанії “Boeing”, 3D-друк титанових деталей на принтері дозволить економити від 2 до 3 млн дол. США на кожному літаку “787 Dreamliner”. З 256 млн дол. США вартості “787 Dreamliner”, 17 млн дол. США йде саме на виробництво титанових деталей.

За допомогою 3D-друку виготовляють також продукцію для медичної сфери: прозорі елайнери (капи) для вирівнювання зубів; хірургічні шаблони, які допомагають робити складні операції імплантати. 3D-технології також активно використовують у хірургії, зокрема при заміні колінного суглоба. Обсяги світового ринку медичної продукції, яка виготовляється за допомогою 3D-друку у 2022 р. досягли 2,8 млрд дол. США, а в 2032 р. – можуть зрости до 11,0 млрд дол. США¹⁴.

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України вже розроблено та запропоновано інноваційні технології пошарового виготовлення титанових виробів методом швидкого прототипування, які відкривають нові можливості для 3D-друку деталей газотурбінних двигунів літальних апаратів та виготовлення ендопротезів. Крім того, технологія 3D-друку дозволить одержувати вироби, які неможливо отримати іншими методами, і конкурувати з іноземними зразками;

– *виробництво продукції з металевого титану на основі технології ВДП титанових злиwkів* для їх використання у виробництві високонавантажених деталей авіаційного призначення. Оскільки, за вимогами конструкторської документації зливки отримані за технологією ЕПП яка використовується в Україні повинні піддаватися далі ВДП у сертифікованих печах, то існує об’єктивна необхідність та економічна доцільність розширення виробничих потужностей шляхом придбання та використання печей на основі технології ВДП. Це дасть можливість розширити асортимент виробництва титанових виробів кінцевого споживання в авіаційній промисловості. Попит на такі вироби щорічно зростатиме, оскільки за оцінками до 2035 р. кількість лише комерційних літаків збільшиться у два рази порівняно з 2014 р., а вироби із титанових сплавів і в перспективі залишаться основним матеріалом для їх використання в авіаційній промисловості. Організація вітчизняного виробництва титанових злиwkів на основі ВДП дасть змогу долучитися до глобальних ланцюгів доданої вартості авіаційної індустрії. Орієнтований обсяг інвестицій для запуску виробництва титанових виробів на основі ВДП складе близько 11 млн дол. США. Виробництво злиwkів авіаційного титану, які можуть вироблятися в Україні, матиме цінову конкурентну перевагу в середньому на 18–32% порівняно зі світовими аналогами, що дасть можливість успішно конкурувати на світових ринках;

¹⁴ URL: <https://www.globenewswire.com/en/news-release/2023/03/27/2634981/0/en/3D-Printing-in-Medical-Applications-Market-Size-Growing-at-16-6-CAGR-Set-to-Reach-USD-11-Billion-By-2032.html> (дата звернення: 08.08.2023 р.)

– розвиток власного прокатного виробництва для прокатки листа, зокрема прокатного цеху з супутніми печами для нагрівання, травильним відділенням і хімічною лабораторією, вартість яких може складати від 250 до 500 млн дол. США.

Наведене свідчить про необхідність формування стратегічного бачення, зокрема розробки і ухвалення концепції та програми розвитку титанової галузі України на довгостроковий період з метою ефективного управління наявними ресурсами задля їх поглибленої переробки та подальшого технологічного розвитку у повоєнний період.

Список використаних джерел.

1. Марковський П.Є., Саввакін Д.Г. Видатна особистість титанової науки. До 75-річчя академіка НАН України О.М. Івасишина. *Вісник Національної академії наук України*. 2021. №1. С. 84-89. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.11.084>
2. Ахонін С.В. Тенденції розвитку спеціальної електрометалургії титану в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 13 березня 2019 року). *Вісник Національної академії наук України*. 2019. № 6. С. 28-36. URL: <http://www.visnyk-nanu.org.ua/sites/default/files/files/Visn.2019/6/5.Akhonin.pdf>
3. Карпець М.В., Фірстов С.О., Рокицька О.А., Крапивка Н.А. Вплив титану на фазовий склад сплавів системи Ti-Cr-Al-Si-O. *Міжнародна наукова конференція “Матеріали для роботи в екстремальних умовах – б”*, 1–2 грудня 2016 року, м. Київ. Київ: КІП ім. Ігоря Сікорського. 2016. С. 309-312. URL: <http://surl.li/jvdut>
4. Firstov S.A. The main tendencies in elaboration of materials with high specific strength. In: *Metallic materials with high structural efficiency*. 2004. pp. 33-44. URL: https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7_3
5. Gonchar A., Troshchylo V., Brodskyy A., Yarovynskiy V., Chukhmanov O. Development of a technology to produce titanium powder with a low carbon footprint. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. vol. 2, no. 6, pp. 42–54. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276746>
6. Kroll W. The Production of Ductile Titanium. *Transactions of the Electrochemical Society*. 1940. 78(1). pp. 35-47. URL: <https://doi.org/10.1149/1.3071290>
7. Banerjee D., Williams J.C. Perspectives on Titanium Science and Technology. *Acta Materialia*. 2013. 61(3). pp. 844-879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.043>
8. Jaffee R. I., Burte H. M. *Titanium Science and Technology*. Springer New York, NY. 1973. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1346-6>
9. Qiuand G., Guo Y. Current situation and development trend of titanium metal industry in China. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*. 2022. Vol. 29. No. 4, pp. 599-610. URL: <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2455-y>
10. Khalloufi M. El., Drevelle O., Soucy G. Titanium: An Overview of Resources and Production Methods. *Minerals*. 2021, 11(12), 1425. URL: <https://doi.org/10.3390/min11121425>
11. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2021. № 2, С. 3-14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>
12. Henry J.L., Hill S.D., Schaller J.L., Campbell, T.T. Nitride inclusions in titanium ingots. *Metallurgical Transactions*. 1973. Vol. 4, Issue 8, pp. 1859-1864. URL: <https://doi.org/10.1007/BF0266541>
13. Venger, V. and Romanovska, N. (2022), “Mechanisms and Directions of Financing Ukrainian Industry in the Post-War Period: the World Experience”, *Naukovyi visnyk Mizhnarodnoi asotsiatsii naukotsiv. Serii: ekonomika, upravlinnia, bezpeka, tekhnolohii*, Vol. 1, Issue 3. URL: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2022-1-3-4>.
14. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Северин А.Ю., Березос В.А., Пикулин А.Н., Ерохин А.Г. Структура и свойства нового высокопрочного титанового сплава Т120, полученного

методом ЭЛП после деформационной и термической обработки. *Современная электрометаллургия*. 2017. № 2. С. 11-16. URL: <https://doi.org/10.15407/sem2017.02.02>

References.

1. Markovskiy, P.Ie. and Savvakina, D.H. (2021), "An outstanding personality of titanium science: To the 75th anniversary of Academician of NAS of Ukraine O.M. Ivasyshyn". *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, vol. 11, pp. 84-89. URL: <https://doi.org/10.15407/visn2021.11.084>
2. Akhonin, S.V. (2019), "Tendencies of development of special electrometallurgy of titanium in Ukraine (according to the materials of scientific report at the meeting of the presidium of NAS of Ukraine, march 13, 2019). *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, vol. 6, pp. 28-36.
3. Karpets, M.V., Firstov, S.O., Rokytska, O.A. and Krapyvka, N.A. (2016), "The effect of titanium on the phase composition of alloys of the Ti-Cr-Al-Si-O system", *Materialy dlia roboty v ekstremalnykh umovakh – 6* [Materials for work in extreme conditions – 6], Mizhnarodna naukova konferentsiia "Materialy dlia roboty v ekstremalnykh umovakh – 6 [International scientific conference "Materials for work in extreme conditions - 6"], 1-2 hrudnia 2016 roku, m. Kyiv [англ]. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, pp. 309-312. URL: <http://surl.li/jvdt>
4. Firstov, S.A. (2004), "The main tendencies in elaboration of materials with high specific strength", In: *Metallic materials with high structural efficiency*, pp. 33-44. URL: https://doi.org/10.1007/1-4020-2112-7_3
5. Gonchar, A., Troshchylo, V., Brodskyy, A., Yarovynskiy, V. and Chukhmanov, O. (2023), "Development of a technology to produce titanium powder with a low carbon footprint", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 6, pp. 42–54. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276746>
6. Kroll, W. (1940), "The Production of Ductile Titanium", *Transactions of the Electrochemical Society*. 78(1). pp. 35-47. URL: <https://doi.org/10.1149/1.3071290>
7. Banerjee, D. and Williams, J.C. (2013), "Perspectives on Titanium Science and Technology". *Acta Materialia*. 61(3). pp. 844-879. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.043>.
8. Jaffee, R.I. and Burte, H. M. (1973), *Titanium Science and Technology*, Springer New York, NY. URL: <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-1346-6>
9. Qiuand G. and Guo, Y. (2022). "Current situation and development trend of titanium metal industry in China", *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, vol. 29, No. 4, pp. 599-610. URL: <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2455-y>
10. Khalloufi, M. El., Drevelle, O., Soucy, G. (2021), "Titanium: An Overview of Resources and Production Methods", *Minerals*. 11(12), 1425. URL: <https://doi.org/10.3390/min11121425>
11. Rudko, H. I. and Bala, H. R. (2021), "Critical mineral raw materials and their prospects in Ukraine", *Mineral Resources of Ukraine*, (2), 3-14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14>
12. Henry, J.L., Hill, S.D., Schaller, J.L. and Campbell, T.T. (1973), "Nitride inclusions in titanium ingots", *Metallurgical Transactions*, Vol. 4, Issue 8, pp. 1859-1864. URL: <https://doi.org/10.1007/BF0266541>
13. Venger B., & Romanovska H. (2022), "Mechanisms and Directions Of Financing Ukrainian Industry In The Post-War Period: The World Experience", *Scientific Bulletin of International Association of Scientists. Series: Economy, Management, Security, Technologies*, 1(3). URL: <https://doi.org/10.56197/2786-5827/2022-1-3-4>
14. Akhonyn, S.V., Belous, V.Iu., Ceveryn, A.Iu., Berezos, V.A., Pykulyk, A.N. and Erokhyn, A.H. (2017), "Structure and properties of new high-strength titanium alloy T120,

produced by the method of EBM after deformational and heat treatment”, *Sovremenniaia elektrometallurhiia*, Vol. 2. pp. 11-16. URL: <https://doi.org/10.15407/sem2017.02.02>.

Стаття надійшла до редакції 10.08.2023 р.

Рецензовано 20.08.2023 р.

Опубліковано 30.08.2023 р.

Дослідження виконано за кошти НАН України в рамках науково-дослідного проекту «Інноваційна модернізація перспективних галузей промисловості України післявоєнного періоду на основі наявного науково-технічного, виробничого та ресурсного потенціалу». Етап І: Розвиток стратегічно важливих видів промислової діяльності України на новітній технологічній основі (2023 р.) (номер державної реєстрації 0123U102325).