



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 3, № 2, 2024

Volume 3, Issue 2, 2024

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, страхування та фондовий ринок; 073 – менеджмент;

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

DOI 10.56197/2786-5827/2024-3-2-6

УДК 338.246.027.2+669.2

Олефір Володимир Костянтинівич,
кандидат економічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник відділу секторальних прогнозів та кон'юнктури ринків,
Державна установа “Інститут економіки та прогнозування
Національної академії наук України”,
вул. Панаса Мирного, 26, м. Київ, 01011, Україна,
email: oksavol@ukr.net
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4180-3435>
Scopus ID: 56529406600

Olefir Volodymyr,
PhD in Economics, Senior Researcher,
Leading Research Fellow, Department of Sectoral Forecasts and Market Conditions,
State Organization “Institute for Economics and
Forecasting of the National Academy of Sciences of Ukraine”,
Panasa Myrnogo str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011
email: oksavol@ukr.net
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4180-3435>
Scopus ID: 56529406600

ДЕРЖАВНЕ СТИМУЛЮВАННЯ ВИРОБНИЦТВА МЕТАЛЕВОГО ТИТАНУ В КРАЇНАХ СВІТУ

GOVERNMENT STIMULATION OF THE PRODUCTION OF METAL TITANIUM IN COUNTRIES OF THE WORLD

Вступ. Україна повинна максимально використати можливість збільшення виробництва кінцевої продукції з металевого титану. На сьогодні титанові руди вивозяться переважно за кордон, а готова продукція з металевого титану імпортується. Це економічно невигідно, оскільки експорт сировини приносить менше валютної виручки, ніж експорт готової продукції, а споживачі готової продукції переплачують за імпорт. Україна має потужності з виробництва готових виробів з металевого титану, але за обсягами випуску поступається іншим країнам. Метою статті було вивчити закордонний досвід державного стимулювання виробництва металевого титану і на цій основі обґрунтувати рекомендації щодо збільшення виробництва в Україні титанової продукції з великим обсягом доданої вартості.

Матеріали та методи. Під час проведення дослідження було використано такі методи: економіко-статистичний, порівняння, монографічний, аналізу і синтезу, системного підходу тощо. Для проведення аналізу залучались дані: *UN Comtrade Database*, *World*

Integrated Trade Solution, інформаційні ресурси Інтернету, статистична інформація Держстату України.

Результати і обговорення. Форми державного впливу на титанову галузь різняться в залежності від питомої ваги державного сектору в економіці. В ринковій економіці інструментами впливу держави є: державні програми, державні закупівлі, фінансування наукових досліджень, підтримка інноваційної діяльності, державні позики під низькі відсотки, захист нових галузей протекційними методами тощо. На думку багатьох дослідників металевий титан – це матеріал майбутнього, значення якого для науково-технічного прогресу і розвитку промисловості буде постійно зростати. Тому, найбільш імовірно, що державний нагляд за виробництвом металевого титану та його державне стимулювання залишаться актуальними і в перспективі.

Висновки. Досвід інших країн має велике значення для розвитку вітчизняного виробництва металевого титану. В першу чергу це стосується досвіду Казахстану і Саудівської Аравії. Успіх цих країн у виробництві металевого титану базувався на приватній ініціативі, яка мала державну підтримку. Держава створила умови для розвитку національного бізнесу, забезпечила в країні інвестиційний клімат, сприятливий для іноземних компаній. Наслідком цього стало створення спільних підприємств, в яких національний виробник був на рівних умовах з іноземним інвестором. Іноземний партнер забезпечив доступ до інновацій і можливість інтегруватись у світові ланцюги доданої вартості. Таким чином, складовими успіху були: наявність розвинутого національного бізнесу, сприятливий інвестиційний клімат, кооперація з провідними світовими виробниками.

В контексті повоєнного розвитку виробництва металевого титану в Україні завданнями держави є: 1) визначення виробника-лідера галузі, який стане «локомотивом» зростання; 2) створення сприятливого інвестиційного клімату, що зробить можливим залучення стратегічного іноземного інвестора, який забезпечить доступ до сучасних технологій, надходження інвестицій і входження до світових ланцюгів доданої вартості.

Ключові слова: державне стимулювання, металевий титан, титанова промисловість, порівняльний аналіз, програми розвитку, закордонний досвід

Introduction. Ukraine should make the most of the opportunities to increase the production of final products from titanium metal. Today, titanium ores are mainly exported abroad, and finished products made of titanium metal are imported. This is economically unprofitable, since the export of raw materials brings less foreign exchange earnings than the export of finished products, and consumers of finished products overpay for imports. Ukraine has the capacity to produce finished products from metallic titanium, but it is inferior to other countries in terms of output. The purpose of the article was to study the foreign experience of state stimulation of the production of metallic titanium and, on this basis, to justify recommendations for increasing the production of titanium products with a large amount of added value in Ukraine.

Materials and methods. During the research, the following methods were used: comparison, analysis and synthesis, economic-statistical, monographic, systems thinking, etc. Data from the UN Comtrade Database, World Integrated Trade Solution, Internet information resources, and statistical information from the State Statistics Service of Ukraine were used for the analysis.

Results and discussion. Forms of state influence on the titanium industry vary depending on the specific weight of the state sector in the economy. In a market economy, the instruments of state influence are: state programs, state purchases, financing of scientific research, support for innovative activities, state loans at low interest rates, protection of new industries with protective methods, etc. According to many researchers, metal titanium is a material of the future, the importance of which for scientific and technical progress and industrial development will constantly increase. Therefore, it is most likely that state supervision of the production of metal titanium and its state stimulation will remain relevant in the future.

Conclusions. The experience of other countries is of great importance for development of domestic production of metallic titanium. First of all, this concerns the experience of Kazakhstan and

Saudi Arabia. The success of these countries in the production of metallic titanium was based on private initiative that had government support. The states has created conditions for the development of national business, provided an investment climate in the country that is favorable for foreign companies. The consequence of this was the creation of joint ventures in which the national producer was on equal terms with the foreign investor. A foreign partner provided access to innovation and the opportunity to integrate into global value added chains. Thus, the components of success were: the presence of a developed national business, a favorable investment climate, cooperation with leading global manufacturers.

In the context of the post-war development of metal titanium production in Ukraine, the tasks of state are: 1) identification of the leading manufacturer of the industry, which will become the “locomotive” of growth; 2) creation of a favorable investment climate, which will make it possible to attract a strategic foreign investor, who will ensure access to modern technologies, the inflow of investments and entry into global chains of added value.

Keywords: state stimulation, titanium metal, titanium industry, comparative analysis, development program, foreign experience

JEL Classification: L50, L61, L72

Вступ. Актуальною проблемою для економіки України є збільшення внутрішнього виробництва. Економічна модель експорту сировини та імпорту готових виробів не сприяє економічному зростанню і зростанню доходів, спричиняє негативне сальдо торговельного балансу, віддаляє економіку від країн “технологічного ядра” у бік світової периферії. На фактичному матеріалі доведено, що чим більше країна спеціалізується у світовій економіці на сировині, тим біднішою вона стає (Райнерт, 2019).

Це відбувається тому, що сировинному сектору притаманна спадна віддача. В країнах, де розвинута обробна промисловість, держава більше збирає податків, ніж в країнах із добувною промисловістю і сільським господарством. Тому країні краще мати неефективний сектор обробної промисловості, аніж не мати його зовсім. Глобалізація протягом останніх двадцяти років призвела до деіндустріалізації багатьох країн, змушуючи їх спеціалізуватися на видах діяльності із спадною віддачею.

Подібні негативні тенденції мають місце і у вітчизняній титановій промисловості. Титанові руди і концентрати вивозяться на експорт, а переробні підприємства або перебувають у стані застою, або зменшують обсяги виробництва. В цьому контексті було прийнято рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.07.2021 р. “Про стимулювання пошуку, видобутку та збагачення корисних копалин, які мають стратегічне значення для сталого розвитку економіки та обороноздатності держави”, яке було введено в дію Указом Президента України № 306/2021 від 23.07.2021 р. Рішення РНБО передбачало: 1) у спеціальних дозволах на користування надрами стратегічно важливих корисних копалин встановлювати вимогу щодо їх збагачення і переробки в Україні; 2) розробку Державної цільової економічної програми розвитку титанової галузі України; 3) створення в Україні повного циклу переробки титану; 4) створення нових видобувних і переробних підприємств. На сьогодні на виконання рішення РНБО відбувається підготовча робота щодо розробки державної програми, метою якої з збільшення обсягів переробки титанової руди на металевий титан.

Матеріали та методи. Україні необхідно змінити модель функціонування титанової галузі, яка склалась за роки незалежності. В першу чергу це передбачає збільшення частки титанових напівфабрикатів і готових виробів вітчизняного виробництва, які реалізуються на внутрішньому і світовому ринках. Крім того, виробництво повинно відбуватись на сучасній технологічній основі із залученням інноваційних, екологічно чистих методів. Це не просте завдання з огляду на те, що світовому ринку металевому титану існує достатньо велика конкуренція, а до кінцевої продукції висувуються жорсткі вимоги. Тому стратегія розвитку вітчизняної титанової галузі повинна передбачати державну підтримку і протекціонізм.

Питанням розвитку світового виробництва металевого титану загалом і, зокрема, державному стимулюванню присвячено низку наукових публікацій. Увагу дослідників привертало особливості розвитку титанових галузей окремих країн, напрями формування світових ланцюгів доданої вартості, технологічні інновації у виробництві металевого титану, тенденції розвитку світового ринку металевого титану, ефективність інструментів державної підтримки і захисту “молодих” галузей тощо.

З точки зору закордонного досвіду для України є цікавим досвід країн, які розв’язують аналогічні проблеми. Однією з таких країн є Південно-Африканська Республіка. Ця країна перебуває на четвертому місці по світових запасах титану (Roux, 2020), але при цьому експортує титанову руду, концентрат, шлак та імпортує готові вироби з титану (порошок, прокат і кінцеві вироби для промисловості, медицини і домогосподарств). ПАР не має потужностей з переробки титанових руд за виключенням виробництва збагаченого титанового шлаку, який також повністю спрямовується на експорт.

Така ситуація не задовольняє Уряд ПАР, який прагне отримати більше доходів від своїх природних запасів шляхом більш глибокої переробки титанової руди. У дослідженні (Roux, 2020) проводиться аналіз країн, які мають неповний і повний цикл переробки титанових руд, визначається місце ПАР у світових ланцюгах доданої вартості і оцінюється можливість створення повного циклу в країні. Відсутність повного циклу автори пов’язують з технологіями, ринками, виробничими витратами і наявними комерційними запасами титанових руд.

Слід відзначити, що для ПАР ця проблема не є новою. Зокрема, вона також досліджувалась в більш ранній публікації на цю тематику (Van Tonder, 2010). Це свідчить про те, що подолання інерції усталених коопераційних зв’язків є непростим завданням. Для його розв’язання необхідна політична воля і концентрація ресурсів.

Однією із форм такої концентрації є розробка державних програм. В рамках державних програм проводяться дослідження по металевому титану в університетах Великої Британії (Jackson, 2019). Прикладом таких програм є “Стратегічне партнерство в структурних металевих системах для газових турбін”¹. Програма виконувалась у 2014-2019 рр. у співпраці між державною Науковою радою з інженерних і фізичних наук (*Engineering and Physical Sciences Research Council*)² і британською багатонаціональною аерокосмічною та оборонною компанією *Rolls-Royce Holding plc*. Головною метою програми було закладення фундаментальних основ для створення нового покоління авіаційних двигунів. До виконання програми залучались університети Бірмінггема, Кембриджа, Манчестера, Оксфорда, Шефільда, Суонсі, Імперський коледж Лондона. Дослідження спрямовувались на розробку нових ефективних сплавів на основі титану, сталі, нікелю, кобальту, ніобію для використання в двигунах.

Важливим напрямом досліджень по титану є розробка методів отримання металевого титану альтернативних до традиційного процесу Кролла (Narushima, 2019) (Jackson, 2019), (Chunxiang, 2011), (Fang, 2018), (Banerjee, 2013), (Khalloufi, 2021), (Zhang, 2015), (Zhang, 2017), (Bolivar, 2019), (Van Tonder, 2010), (Ri, 2019), (Zhu, 2017), (Doblin, 2013). Усі ці публікації свідчать про те, що процес Кролла є застарілим, витратним, енергетично та екологічно неефективним. Процес Кролла застосовується у промислових масштабах з початку 1950-х років. За цей період він постійно удосконалювався і сягнув “стелі” своєї ефективності.

В Японії (Narushima, 2019) запропоновано метод отримання титану з ільменіту ($TiFO_3$) із використанням сірковуглецю (CS_2), хлориду кальцію ($CaCl_2$) і сульфїду кальцію (CaS). На першому етапі реакцією ільменіту із сірковуглецем отримується діоксид титану (TiO_2). На другому етапі діоксид титану повторно обробляється сірковуглецем з отриманням дісульфїду титану (TiS_2). На третьому етапі дісульфїд титану електрохімічним способом перетворюється на титан (Ti) із використанням хлориду кальцію і сульфїду кальцію.

¹ URL: <https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOVViewGrant.aspx?GrantRef=EP/M005607/1> (дата звернення 25.01.2024)

² Наукова рада відповідальна за державне фінансування інженерних і фізичних досліджень, яке надається переважно британським університетам.

Новий метод отримання металевого титану шляхом кальціотермічного відновлення TiO_2 (*calciothermic reduction* TiO_2) запропоновано науковцями Бредфордського університету (Jackson, 2019). Цей метод є більш швидким, дешевим і екологічно безпечнішим у порівнянні з процесом Кролла.

В роботі (Bolivar, 2019) запропоновано метод виробництва металевого титану магнізіотермічним відновленням (*magnesiothermic reduction*) оксиду титану (TiO_2) із очищенням лугом. В результаті процесу отримується титановий порошок з порошинками неправильної і напівсферичної форми розміром від 0,5 до 3,5 мікрон.

В статті (Zhu, 2017) запропоновано метод отримання металевого титану з тетрахлориду титану у розплаві фтористо-хлоридної солі.

Загалом, в науковій літературі запропоновано достатньо багато методів отримання металевого титану, які знаходяться на різних стадіях доведення до комерційного використання. Найбільш перспективними є три методи: процес Армстронга (*Armstrong process*), Кембриджський процес (*FFC Cambridge process*), *Quebec Iron and Titane (QIT) process*. Автори (Banerjee, 2013) відзначають, що в лабораторних умовах ці методи є кращими за процес Кролла, але на рівні промислового виробництва поступаються йому. За окремими оцінками (Khalloufi, 2021) доведення запропонованих методів до комерційного рівня можливо впродовж декількох років, хоча окремі джерела (Roux, 2020) свідчать про те, що вже зараз в США, Великій Британії, Австралії титановий порошок виготовляється промисловістю прямим електрохімічним відновленням, а також із використанням *TiRO* процесу.

Одночасно з розробкою ефективних методів отримання металевого титану ведуться дослідження у напрямі підвищення технічних характеристик титанових сплавів (Narushima, 2018), (Fang, 2018), (Ахонін, 2019), (Banerjee, 2013). В роботі (Banerjee, 2013) відзначається, що наприкінці 20 століття і на початку 21 століття технології виробництва титану та його сплавів розвивались швидше, ніж технології виробництва будь-якого іншого недорогоцінного металу за всю історію металургії. Внаслідок цього титан та його сплави знайшли широке використання як в матеріальному виробництві, так і в соціальній сфері. Для металевого титану були властиві більш жорсткий контроль і вимогливі стандарти на усіх стадіях переробки (вилучення з руди, плавка, механічна обробка), що дало позитивні результати. На сьогодні основною перешкодою для більш широкого застосування титану та його сплавів залишається їх вартість.

Для розроблення ефективних національних програм розвитку титанової галузі необхідне чітке бачення перспектив і напрямів застосування металевого титану. Достатньо великий обсяг публікацій присвячено дослідженню стану і проблемам національних титанових виробництв в контексті світових тенденцій (Narushima, 2019), (Siemers, 2019), (Jackson, 2019), (Ахонін, 2019), (Chang, 2019), (Гахович, 2023), (Qiuand, 2022), (Jia, 2021).

Достатньо перспективним є застосування металевого титану в медицині (Nihei, 2020), (Narushima, 2019), (Chunxiang, 2011). Глобальний ринок металевих імплантатів і медичних сплавів у 2022 р. оцінювався в 14 млрд дол.³ Передбачається, що до 2032 р. він щороку буде зростати на 9,4%. Зростаюча кількість ортопедичних, зубних і серцево-судинних захворювань, зростаючий попит на операції з мінімальним втручанням (*minimally invasive surgeries*), технологічні удосконалення в металевих імплантатах є основними факторами зростання ринку. Зростання глобального ринку також стимулюється державними програмами поширення імплантатів в практиці лікування.

Хоча серед наукових публікацій присутні роботи, які присвячені стану і перспективам розвитку титанового виробництва в окремих країнах, серед них бракує комплексного порівняльного дослідження державного стимулювання розвитку галузі. В цьому контексті **метою дослідження** було вивчення закордонного досвіду державного стимулювання виробництва металевого титану та обґрунтування рекомендацій для вітчизняної галузі.

³ URL: <https://www.emergenresearch.com/industry-report/metal-implants-and-medical-alloys-market> (дата звернення 25.01.2024)

Під час проведення дослідження застосовувались економіко-статистичні методи – для дослідження динаміки і виявлення тенденцій розвитку, метод порівняння – для оцінки невикористаних можливостей державного стимулювання, монографічний метод – для збору і узагальнення інформації, метод аналізу і синтезу – для вивчення літературних джерел і побудови загальної схеми державного стимулювання галузі, метод системного підходу – для врахування усіх взаємопов'язаних факторів, які мають значення для розв'язання проблеми.

Результати і обговорення. Кінцевими продуктами титанової галузі є готові вироби з титану і титанових сплавів (прутки, профілі, дрiт, пластини, листи, стрічки, фольга, труби, диски, кільця, лопаті, штампування, поковки тощо), а також титановий порошок для 3D-принтерів. Проміжними продуктами титанової галузі відповідно до технологічного ланцюга є: титанова руда – титановий шлак – тетрахлорид титану – титанова губка – титанові зливки. Титановий порошок отримують або з титанової губки або безпосередньо з титанової руди.

Світове виробництво металевого титану значною мірою фрагментовано (Roux, 2020). Повний цикл переробки титанової руди в металевий титан із використанням процесу Кролла мають тільки 5 країн (табл.1). Інші спеціалізуються тільки на окремих стадіях, експортуючи чи імпортуючи необхідні проміжні продукти.

Таблиця 1

Найбільші країни-виробники металевого титану за стадіями виробництва

Країна	Шлак	Тетрахлорид титану	Титанова губка	Титанові зливки	Титановий порошок	Готові вироби
КНР	+	+	+	+	+	+
США	+	+	+	+	+	+
рф	+	+	+	+	+	+
Україна	+	+	+	+	+	+
Казахстан	+	+	+	+	+	+
Японія	–	+	+	+	+	+
Австралія	+	+	–	–	+	+
Канада	+	–	–	–	+	+
Велика Британія	–	–	–	–	+	+
Саудівська Аравія	+	+	+	нд	нд	нд
Індія	нд	нд	+	нд	нд	нд

Джерела: (Roux, 2020); Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey. URL: <https://doi.org/10.3133/mcs2023>; Saudi-Japanese venture begins titanium sponge output. URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/1991192-saudi-japanese-venture-begins-titanium-sponge-output> (дата звернення 25.01.2024)

нд – немає даних

Видобувають титанову руду достатньо велика кількість країн: КНР, Мозамбiк, ПАР, Австралія, Сенегал, Канада, Норвегія, Мадагаскар, Україна, США, Індія, Кенія, В'єтнам, Сьєрра-Леоне, Бразилія та інші. Більша частина цієї руди (95 %) iде на виробництво діоксиду титану (пiгментного титану), а менша частина переробляється на металевий титан. На сьогодні переважна частина руди переробляється на метал процесом Кролла (КНР, Японія, рф, США, Україна, Казахстан, Саудівська Аравія, Індія), а мінімальна кількість іншими методами (Велика Британія, Австралія, США). Також велика група країн, зокрема, країни ЄС, Республіка Корея та інші виготовляють готові вироби з титану з імпортою титанової губки, зливок, порошку, а також власного чи імпортного титанового брухту.

На сучасному етапі найбільш потужну титанову промисловість має Китай. У 2022 р. Китай виробив 3400 тис. т титанового концентрату і значно випередив другого за обсягами виробника – Мозамбiк (1208 тис. т)⁴. Крім цього КНР є найбільшим імпортером титанових руд

⁴ URL: <https://doi.org/10.3133/mcs2023> (дата звернення 25.01.2024)

і концентратів (*HS* – 261400). У 2022 р. країна імпортувала 3467 тис. т, помітно випередивши другого за обсягами імпортера – США (883 тис. т)⁵. Китай має найбільші у світі потужності з виробництва титанової губки (181 тис. т на рік) і найбільші обсяги виробництва цього напівфабрикату – 150 тис. т у 2022 р. У додаток до цього у 2022 р. Китай був другим після США найбільшим імпортером титанової губки і порошку (*HS* – 810820), відповідно 13,1 тис. т і 32,8 тис. т. У підсумку, у 2022 р. крім власного великого споживання Китай був найбільшим на світовому ринку експортером готових виробів з титану (*HS* – 810890) – 26,3 тис. т.

Титанова галузь в Китаї виникла у 1954 р., але швидкими темпами почала розвиватись тільки у 2000-х роках. На відміну від інших країн кількість підприємств титанової галузі в КНР обчислюється десятками. У 2016 р. 27 китайський заводів виготовили 66,5 тис. т титанових зливків, а 30 підприємств – 49,5 тис. т титанових сплавів⁶. Продукція підприємств титанової галузі постачається для багатьох галузей промисловості (суднобудівної, нафтової, газової, виробництво споживчих товарів), в т. ч. і для аерокосмічної. Зокрема, компанія *BaoTi Group* виробляє для аерокосмічної індустрії листи титанового сплаву Ti-6Al-4V і болванки великих діаметрів. Ця продукція відповідає вимогам якості провідних світових виробників авіаційної та космічної техніки.

За прикладом Японії китайські підприємства запровадили інновацію, яка може бути корисною і для вітчизняної титанової промисловості. Ця новація стосується виробництва металевого титану на базі сталеливарних підприємств чорної металургії. Зокрема, японські компанії *Sumitomo*, *KOBELCO*, *Nippon Steel* використовують сталеливарне обладнання для виробництва металевого титану. Це пов'язано з тим, що титан і сталь мають однакові точки топлення, схожі фізичні та хімічні властивості, однакові процедури обробки на схожому обладнанні. За таким новим підходом китайська компанія *Yunnan Titanium Industry Co., Ltd* успішно виготовила холоднокатані титанові кільця на вальцювальному стані для сталі.

В Китаї, так само як і в США, ЄС, Японії проводяться дослідження по створенню нових титанових сплавів. Одним із центрів цих досліджень є Національна лабораторія точної термічної обробки металів при Харбінському інституті технологій (*National Key Laboratory for Precision Hot Processing of Metals (Harbin Institute of Technology)*). Перспективним напрямом є розробка сплавів із алюмінієм (Ti₃Al і Ti₂AlNb), які за критерієм стійкості до високих температур не поступаються традиційним сплавам.

Проблемою китайської титанової галузі є відносно невелика частка кінцевої продукції високої якості, зокрема для аерокосмічної промисловості. Для виробництва якісної кінцевої продукції з титану необхідна якісна титанова губка. При цьому в КНР титанової губки якості “90” *grade* виробляється тільки 40% від усього випуску, а якості “95” *grade* – 10% (Qiuan, 2022). Для порівняння в Японії частка титанової губки якості “90” *grade* складає 70%, а якості “95” *grade* – 30%. Таким чином, більшість кінцевої титанової продукції в КНР, на відміну від США, споживається за межами аерокосмічної галузі. Тому якісну титанову продукцію для авіації і космосу КНР вимушений частково імпортувати. У 2022 р. Китай був третім найбільшим імпортером готових виробів з титану (*HS* – 810890) після Франції і Німеччини.

Проблема нестачі якісного титану для аерокосмічної галузі КНР тісно пов'язана з проблемою нестачі якісної сировини. Практично увесь видобуток титанової руди (90%) в Китаї зосереджено в провінції Сичуань. Ільменіт цих родовищ вміщує велику кількість кальцію і магнію, що ускладнює вилучення титану з необхідними якісними показниками. Імовірними шляхами вирішення цієї проблеми можуть бути пошуки нових родовищ титану або розробка нової технології вилучення титану з наявних руд.

Розвиток титанової галузі Китаю стимулюють державні програми дослідження Місяця (*Chang'e project*) і розвитку високотехнологічного виробництва (*Made in China 2025 plan*).

⁵ URL: <https://comtradeplus.un.org/> (дата звернення 25.01.2024)

⁶ URL: https://www.researchgate.net/publication/330546767_Status_of_Titanium_Alloy_Industry_for_Aviation_in_the_World_and_Development_Strategy_of_Chinese_Enterprises (дата звернення 25.01.2024)

Програму *Chang'e project* було започатковано Китайським національним космічним управлінням у 2004 р. терміном до 2030 р. Метою програми було дослідження поверхні Місяця, доставка на Землю зразків місячного ґрунту, астрономічні дослідження з поверхні Місяця, створення місячної дослідницької станції тощо. В рамках виконання програми *Chang'e project* передбачалось виробництво великих обсягів космічної техніки, яка потребує великих обсягів титанових сплавів.

Програму *Made in China 2025 plan* було розпочато у 2015 р. на виконання тринадцятого і чотирнадцятого п'ятирічних планів розвитку економіки. Метою програми є модернізація високотехнологічних галузей промисловості, зменшення імпортової залежності і збільшення експорту високотехнологічної продукції. Серед пріоритетних видів промислової діяльності були такі, які споживають титан: аерокосмічна, суднобудівна, виробництво медичної техніки тощо. Уряд Китаю для стимулювання розвитку титанової галузі застосував такі інструменти: податкові пільги для високотехнологічних компаній, пряме державне фінансування їх інноваційної діяльності, поглинання іноземних високотехнологічних компаній, державні позики під низькі відсотки тощо.

Титанова галузь США займає провідні позиції на світовому ринку в першу чергу завдяки виробництву високоякісних титанових виробів для аерокосмічної індустрії. У 2022 р. США більше за КНР та інші країни отримали валютної виручки від експорту готових виробів з титану. Також США є великим споживачем якісного титану для потреб власної авіаційної, космічної та оборонної галузей. Тому країна має повний цикл переробки титану, а також імпортує як титанові напівфабрикати, так і готові вироби з титану.

США раніше від інших країн почали розвивати свою титанову промисловість. У 1910 р. американський металург і винахідник новозеландського походження Мет'ю Хантер (*Matthew Hunter*) винайшов перший промисловий метод отримання металевого титану. У 1940 р. Вільям Кролл отримав в США патент на власний метод отримання металевого титану. Цей метод (процес Кролла) був більш ефективним за метод Хантера і на сьогодні залишається найбільш поширеним.

До Другої світової війни попит на металевий титан був невеликий і він мало цікавив металургійні компанії. Однак, вже під час Другої світової війни Уряд США усвідомив перспективи цього металу і відкрив у м. Боулдері центр з дослідження титану. Це був перший випадок в історії США, коли кольорова металургія отримала велику фінансову підтримку з боку держави. У 1948 р. хімічний концерн Дюпон де Немур розпочав комерційне виробництво титану за методом Кролла. Низка стимулів з боку Міністерства оборони США посприяла тому, що виробництво металевого титану збільшилось з 2 т у 1947 р. до більш ніж 900 т (2 млн фунтів) у 1953 р.⁷

У 1973 р. Конгрес США розширив поправку Беррі до 10-го розділу Кодексу США (*Berry Amendment (10 U.S.C. 2533a)*), включивши до неї титан і титанові сплави⁸. Це розширення, відоме ще як *Specialty Metal Clause*, зобов'язувало Міністерство оборони США закуповувати для військових потреб титан і титанові сплави, які було зроблено або в США, або в країнах, з якими США має договори про закупівлю товарів військового призначення. Крім того, впродовж 1954-2004 рр. для потреб оборони США підтримували стратегічний запас титанової губки. Цей запас створювався із розрахунку річної потреби в титановій губці в умовах пікового навантаження. За оцінками, у 1994 р. обсяг стратегічного запасу титанової губки становив 23 тис. т⁹. У 1997 р. Конгрес США прийняв рішення не підтримувати стратегічний запас титану і його до 2004 р. було повністю утилізовано.

⁷ URL: <https://www.titaniumprocessingcenter.com/titanium-history-developments-and-applications/> (дата звернення 25.01.2024)

⁸ Поправка Беррі зобов'язує Міністерство оборони США у закупівлях надавати перевагу товарам, які виготовлені на території США. Вона стосується продуктів харчування, одягу, тканин і спеціальних металів. 10-й розділ Кодексу США регламентує діяльність Збройних Сил США.

⁹ URL: <https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/section-232-investigations/2792-titanium-sponge-232-report-and-appendices-7-26-2021-redacted/file> (дата звернення 25.01.2024)

Впродовж XX століття і на початку XXI століття найбільшим споживачем титану в США була аерокосмічна промисловість. Зокрема, у 2006 р. 73% металевого титану використовувалося для авіації і космічної техніки¹⁰. Аерокосмічна промисловість залишалась основним споживачем металевого титану і в 2022 р.¹¹. Крім цього його використовували на підприємствах ВПК, у хімічній промисловості, суднобудуванні, медицині, в енергетиці тощо.

На сьогодні титанова промисловість США є залежною від імпорту титанових концентратів і напівфабрикатів. У 2022 р. на ринку США 95% титанових концентратів були імпортного походження (табл. 2) Основними джерелами імпорту титанових концентратів впродовж 2018-2022 рр. були ПАР, Австралія, Мадагаскар, Канада. У 2022 р. в США ільменіт і рутил видобувала тільки одна компанія на відкритих ділянках в штатах Джорджія і Флорида. Більш ніж 95% від усіх спожитих концентратів було використано для виробництва титанових білил. Іншими напрямками використання концентрату були: виробництво металевого титану, карбідів, хімікатів тощо.

Таблиця 2

Виробництво, експорт, імпорт титанових концентратів в США, тис. тонн

	2018	2019	2020	2021	2022
Виробництво	100	100	100	100	200
Імпорт	1090	1160	807	969	950
Експорт	32	8	18	30	120
Споживання	1200	1300	900	1000	1000

Джерело: Mineral commodity summaries 2023: U.S. Geological Survey. URL: <https://doi.org/10.3133/mcs2023>. (дата звернення 25.01.2024)

У 2022 р. в США вироблялись мінімальні обсяги титанової губки, які є закритою інформацією. Єдиним активним підприємством в США був завод в м. Солт-Лейк-Сіті (штат Юта) потужністю 500 т/рік. В м. Rowley штату Юта знаходився ще один сучасний завод з виробництва титанової губки, який належав компанії *Allegheny Technologies, Inc. (ATI)*. Його було побудовано у 2012 р., але вже у 2016 р. було зупинено, оскільки продукція була неконкурентоспроможною по відношенню до японського імпорту. Також у 2020 р. було зупинено підприємство в м. *Henderson* штату Невада потужністю 12600 т/рік.

У 2022 р. найбільшими імпортерами титанової губки до США були: Японія (82 %), Казахстан (9%) і Саудівська Аравія (7%). Впродовж 2018-2021 рр. Україна входила до трійки найбільших імпортерів титанової губки, але після початку повномасштабної агресії обсяги поставок зменшились. Крім концентратів і титанової губки США імпортували в 2022 р. також 17000 т титанового брухту.

Імпортозалежність по титановій сировині викликає занепокоєння Уряду США. *U.S. Department of Commerce* провело розслідування щодо імпорту титанової губки до США і дійшло висновку, що його обсяги загрожують національним інтересам країни. За такої ситуації США можуть втратити потужності і технології виробництва продукту, який є важливим для оборони і критичної інфраструктури.

Після Другої світової війни Японія почала модернізацію своєї промисловості, з особливим акцентом на металургію¹². Дослідження по титану розпочались наприкінці 1940-х років, а вже у 1952 р. компанія *Osaka Titanium Technologies*, першою в Японії, почала виробництво титанової губки. Через два роки вже п'ять японських компаній мали потужності з виробництва титанової губки загальним обсягом більш як 600 т на рік.

¹⁰ URL: <https://www.titaniumprocessingcenter.com/titanium-history-developments-and-applications/> (дата звернення 25.01.2024)

¹¹ URL: <https://doi.org/10.3133/mcs2023> (дата звернення 25.01.2024)

¹² URL: <https://www.theworldfolio.com/interviews/the-endless-potential/4907/> (дата звернення 25.01.2024)

Таблиця 3

	2013	2014	2015	2016	2017
Всього	34,6	34,9	45,4	42,3	50,5
в т. ч. внутрішнє споживання	17,1	19,1	24,9	24,1	26,4
експорт	17,5	15,8	20,5	18,2	24,1

Джерело: (Narushima, 2019)

У 2022 р. Японія була другою у світі по виробництву і першою по експорту титанової губки, а також третьою за обсягами експорту готової продукції з металевого титану. Японія випускала титанову губку переважно високої якості, яку експортувала до США, Великої Британії, Китаю, ЄС та інших країн (табл.3). Японія також виробляла на експорт і для внутрішнього споживання широкий спектр готових виробів з титану (табл.4).

Таблиця 4

	2014	2015	2016	2017	2018
Всього	14,0	15,5	16,5	18,2	18,9
в т. ч. внутрішнє споживання	4,9	5,4	5,3	6,3	6,9
експорт	9,1	10,1	11,2	11,9	12,0

Джерело: (Narushima, 2019)

Титанові вироби для аерокосмічної галузі виготовляє японська компанія *Nippon Steel & Sumitomo Metal*¹³. Співпраця японської компанії з *Airbus* почалась у 1997 р. коли *Airbus* був лише консорціумом компаній з Німеччини, Франції, Великої Британії та Іспанії. Спочатку компанія постачала листи з чистого титану компаніям *Daimler Chrysler AG* і *Aerospace Corporation*. Після того, як у 2001р. *Airbus* став інтегрованим підприємством, компанія продовжила постачати йому листи з чистого титану (*pure titanium sheets*). Продукція японської компанії відповідала вимогам *Aerospace Quality Management System* і *National Aerospace Defence Contractors Accreditation Program*.

Компанія *Nippon Steel & Sumitomo Metal* впродовж 25 років була постачальником титанових сплавів для виробництва авіаційного двигуна V2500, який використовувався на літаках *Airbus A320*. Це були зливки для кування корпусу вентилятора (*fan case*), лопаті компресора низького тиску (*low-pressure compressor blades*), лопатки статора компресора низького тиску (*low-pressure compressor stator vanes*). Для їх виробництва використовувались сплави Ti-6Al-4V та Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si.

Титанова промисловість Японії має декілька відмінностей від інших країн. Вона працює виключно на імпортній титановій руді, яка надходить головним чином з Південно-Африканської Республіки, а також з десятка інших країн, в т. ч. і з України. Хоча Японія виробляє кінцеву титанову продукцію високої якості, частка аерокосмічної галузі в ній незначна (табл. 5). Найбільше кінцевих титанових виробів витрачається на виробництво пластинчастих теплообмінників, енергетичного та електrolітичного обладнання.

В Японії держава стимулює і координує наукові дослідження з титану. Зокрема, Рада з науки, технології та інновацій при Урядові Японії виконує міжміністерську довготривалу програму сприяння інноваціям (*Strategic Innovation Promotion Program*). Перший етап програми виконувався з жовтня 2014 р. по березень 2019 р. Усього виконувалось одинадцять наукових тем, в т. ч. “Конструкційні матеріали для інновацій”. Ця тема мала 4 напрями досліджень: 1) полімери і пластмаси; 2) жароміцні сплави; 3) кераміка; 4) системи поєднання матеріалів. За напрямом “Жароміцні сплави” для титанових і нікелевих сплавів досліджувались процеси лиття, кування, лиття під тиском, 3D адитивної обробки тощо. Для

¹³ URL: <https://www.nipponsteel.com/en/tech/report/nssmc/pdf/106-05.pdf> (дата звернення 25.01.2024)

проведення досліджень було залучено підприємства чотирьох галузей промисловості, дев'ять університетів, а також національний дослідницький інститут.

Таблиця 5

Використання готової продукції з титану в Японії (2018 р.), тис. т

Напрями використання	Всього	в т. ч.	
		Внутрішнє споживання	Експорт
Пластинчасті теплообмінники	5,6	1,1	4,5
Енергетика	4,2	0,5	3,7
Дистриб'ютори	2,4	1,3	1,1
Електролітичне обладнання	2,2	1,4	0,8
Аерокосмічна галузь	2,0	1,0	1,0
Автомобілі, споживчі товари, медична техніка	2,5	1,6	0,9

Джерело: (Narushima, 2019)

Казахстан, так само як і Японія, є великим виробником та експортером титанової губки. Впродовж 2018-2022 рр. він входив до четвірки найбільших виробників та експортерів цього титанового напівфабрикату. Разом з Японією Казахстан постачав титанову губку на ринок США, оскільки титанова губка казахського виробництва сертифікована для використання в аерокосмічній галузі. Причому станом на 2022 р. таку сертифікацію мали тільки чотири країни: США, Японія, рф і Казахстан¹⁴. Крім титанової губки Казахстан також експортує титанові зливки, сплави і сляби.

Після розпаду Радянського Союзу розвиток титанової промисловості Казахстану відбувався в рамках державних програм. У 1992 р. Кабінетом Міністрів Республіки Казахстан було прийнято Програму розвитку титанової промисловості Казахстану на 1992-1997 рр. У 1996 р. було прийнято нову Програму розвитку титано-магнієвої промисловості республіки Казахстан на 1996-2001 рр. Цю програму було розроблено Міністерством промисловості і торгівлі Республіки Казахстан у співпраці з Усть-Каменогорським титано-магнієвим комбінатом (УКТМК) і Міністерством економіки Республіки Казахстан.

Основні заходи Програми передбачали: 1) проведення геологорозвідувальних робіт в перспективних районах республіки; 2) завершення будівництва цеху плавки ільменітових концентратів УКТМК; 3) продаж частини акцій УКТМК стратегічному інвестору; 4) створення в республіці сучасного виробництва пігментного титану та лакофарбувальної продукції тощо. Проведення геологорозвідувальних робіт планувалось за кошти державного бюджету з наступною компенсацією з боку надрокористувачів.

В результаті реалізації програм було закладено основи вітчизняної сировинної бази шляхом пуску в експлуатацію Сатпаєвського гірничо-збагачувального підприємства. Було введено в експлуатацію рудно-термічний комплекс для отримання титанових шлаків і завод з виробництва титанових зливків і сплавів. У 2000 р. почалось виробництво титанового шлаку. У 2010 р. розпочалось виробництво титанових зливків і сплавів методом подвійного вакуумно-дугового переплаву губчастого титану. У 2019 р. на спільному підприємстві *Posuk Titanium* почалось виробництво продукції з титанового брухту.

Титанова промисловість Казахстану отримала додаткові імпульси до розвитку від кооперації з іноземними компаніями. У 2008 р. з французькою фірмою "*Aubert&Duval*" було створено спільне підприємство (50% на 50%), яке отримало назву "*UKAD*". З 2011 р. це підприємство виробляє ковани напівфабрикати з титану і титанових сплавів, листи, прутки, дріт з казахських титанових зливків і слябів. У 2010 р. було створено спільне підприємство з південнокорейською компанією *POSCO*, яке отримало назву *Posuk Titanium*. Підприємство розміщується в Усть-Каменогорську і виробляє титанові зливки і сляби, які експортуються до

¹⁴ URL: https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/220616_Briefing_Titanium.pdf (дата звернення 25.01.2024)

Південної Кореї. У 2020 р. було укладено угоду УКТМК з індійською компанією *MIDHANI* про створення спільного підприємства з виробництва медичних виробів і біоімплантів.

Європейський Союз і Велика Британія присутні на світовому ринку металевого титану в першу чергу як імпортери як титанових напівфабрикатів, так і готових виробів з титану. Як суб'єкт зовнішньоторговельної діяльності ЄС є найбільшим у світі імпортером готових виробів з титану. Частка імпорту у споживанні готових виробів з титану в ЄС складає щонайменше 60%¹⁵. Найбільшими експортерами готових виробів з титану до ЄС є: США (38%), рф (16%), Велика Британія (16%), Японія (10%).

У 2019 р. в Європі було спожито 30 тис. т готових титанових виробів. Зокрема, в аерокосмічній галузі цивільного призначення – 67%, у виробництві промислового обладнання – 29%, у виробництві військової техніки і спорядження – 2%, у виробництві споживчих товарів – 2%. Великими споживачами готових титанових виробів були: *Airbus, Safran* (Франція), *Aernnova Aerospace* (Іспанія), *Fegeac Aero* (Франція) тощо.

Аерокосмічна промисловість Великої Британії є найбільшою в Європі і другою у світі після США¹⁶. В аерокосмічній галузі країни працює 3000 компаній (*Rolls-Royce Holding plc, Barnes Aerospace* та інші) і 230 тис. працівників. Виробництво газотурбінних двигунів становить приблизно 32% аерокосмічного бізнесу і забезпечує 114 тис. робочих місць.

Частину своєї потреби в кінцевих титанових виробах ЄС задовольняє власним виробництвом. Найбільш розвинуту титанову промисловість в ЄС має Франція. У 2020 р. її частка у загальному виробництві титанової продукції становила 65%. На другому місці була Німеччина – 14%, на третьому місці була Італія – 11%. Головними постачальниками титанової губки і порошку на ринок ЄС були: Японія, Казахстан, Україна, рф, США, а титанового брухту – США і Велика Британія.

Велика кількість компаній в ЄС переробляють титанову губку, зливки і брухт на готові вироби. Зокрема, компанії *UKAD* і *Aubert&Duval* (Франція) переробляють титанові зливки в прокат і ковани вироби. Компанія *EcoTitanium* (Франція) виробляє з брухту високоякісні титанові зливки (ТА6V) для аерокосмічної галузі. У Франції титанові зливки для аерокосмічної галузі виготовляє також компанія *Timet Savoie*, яка є філіалом американської компанії *Titanium Metal Corp.* Компанії *Tifast Titanium* (Італія) і *Zirom Titanium* (Румунія) виготовляють з брухту і титанової губки готові титанові вироби. Компанії *Voestalpine Bohler Aerospace* (Австрія), *Arconic Engines Titan GmbH* (Німеччина), *UAC Cefival* (Франція), *Neotiss* (Франція) виробляють готові титанові вироби: поковки; деталі, отримані методом екструзії; труби; виливки тощо.

Найбільшим російським виробником титану є ПАТ “Корпорація ВСМПО-АВИСМА”. З часу свого заснування у 1930-х роках корпорація практично постійно перебувала під державним управлінням. Виняток складає тільки період з 1989 р. по 2006 р., коли державний контроль було послаблено. З січня 1989 р. корпорація почала працювати в умовах госпрозрахунку, з січня 1990 р. – як орендне підприємство. У 1990-х роках корпорацію було перетворено в акціонерне товариство без державної частки власності. Впродовж 1989-2006 рр. корпорація вийшла на світовий ринок і стала великим постачальником продукції з титану. Однак, у 2006 р. її було знову націоналізовано. На сьогодні ПАТ “Корпорація ВСМПО-АВИСМА” входить до складу Державної корпорації по сприянню розробці, виробництву, експорту високотехнологічної промислової продукції “Ростех” разом з такими компаніями як: ПАТ “Туполев”, ПАТ “Компанія “Сухой””, АТ “РСК “МіГ””, ПАТ “Тульський збройний завод”, ПАТ “КАМАЗ” та інші.

Інших підходів до розвитку титанової промисловості дотримується Уряд Саудівської Аравії. В рамках програми *Saudi Vision 2030* уряд має намір диверсифікувати національну економіку та структуру експорту, зменшити домінування нафтової промисловості. Для цього уряд заохочує підприємництво і створення спільних підприємств з іноземними компаніями. У 2017 р. було завершено будівництво заводу з виробництва титанової губки в м. Янбу

¹⁵ URL: https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/220616_Briefing_Titanium.pdf (дата звернення 25.01.2024)

¹⁶ URL: <https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/M005607/1> (дата звернення 25.01.2024)

потужністю 15,6 тис. т¹⁷. Завод є спільною власністю саудівських компаній *Cristal* (32,5%) і *National Industrialization Company (Tasnee)* (32,5%), а також японської компанії *Toho Titanium* (35,0%). Впродовж 2019-2022 рр. виробництво титанової губки в Саудівській Аравії збільшилось з 0,1 тис. т до 11,0 тис. т¹⁸. На сьогодні ЄС розглядає Саудівську Аравію як одне з альтернативних до країни-агресора джерел імпорту титанової губки. У лютому 2023 р. Міністерство інвестицій Саудівської Аравії підписало інвестиційну угоду з компанією *Tasnee* і компанією *Boeing* про співпрацю у створенні в країні титанових напівфабрикатів для аерокосмічної галузі¹⁹. Саудівська Аравія є прикладом успішного стимулювання титанової галузі із акцентом на розвиток національного бізнесу і створення сприятливого інвестиційного клімату.

Висновки. Промислове виробництво металевого титану почалось на початку 1950-х років з державного замовлення та ініціативи. Держава і надалі тримала під контролем виробництво і обіг металевого титану, враховуючи його важливе значення для військово-промислового комплексу та інноваційного розвитку промисловості. На сьогодні державні структури фінансують і координують наукові дослідження по титану, опікуються надійним постачання титанових виробів для промислових підприємств, розробляють програми розвитку титанової галузі.

Висока ефективність розвитку титанової галузі досягається в умовах приватної власності. Про свідчить як досвід розвинутих країн (США, Японія, Велика Британія), так і Казахстану і Саудівської Аравії. Навіть в рф корпорація ВСМПО-АВІСМА, коли перебувала у приватній власності, змогла сформуватись в інтегровану структуру з повним циклом, вийти на світовий ринок із конкурентоспроможною продукцією, забезпечити довгострокові контракти з провідними аерокосмічними компаніями. При збереженні підприємницької ініціативи держава створює умови для роботи бізнесу, надає підтримку, захищає “молоді” галузі, розробляє програми розвитку тощо.

Для збільшення внутрішнього виробництва і подолання моделі “експорт сировини – імпорт готових виробів” необхідно розвивати національний бізнес і сприяти залученню іноземних інвестицій у переробні галузі. Для цього необхідно підтримувати розвиток національних виробників і забезпечувати їх спроможність здійснювати глибоку переробку сировини, для чого необхідне відповідне технологічне і кадрове забезпечення. Наявність такого потенціалу буде стимулом для транснаціональних корпорацій інвестувати не тільки у добувні галузі, а також і у переробні види діяльності.

Україна має можливості розвивати титанову промисловість за прикладом Казахстану і Саудівської Аравії. Динамічна вітчизняна компанія ТОВ ВКФ “Велта” володіє сучасними методами виробництва металевого титану і комерційним досвідом. Керівництво компанії планує виробляти металевий титан в Україні, коли для цього створяться усі необхідні умови безпеки. Для успішного ведення бізнесу і входження у світові ланцюги доданої вартості компанії доцільно вступити у кооперацію із провідними світовими виробниками титану, які зацікавлені у використанні українських родовищ. При цьому держава повинна створити сприятливий інвестиційний клімат і умови, сприятливі для розбудови інноваційного виробництва металевого титану за повним циклом переробки.

Одним з напрямів **подальших досліджень** є визначення перспектив впровадження альтернативних методів отримання титану і прогнозування структурних змін в титановій промисловості під впливом технологічних інновацій.

¹⁷ URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/1991192-saudi-japanese-venture-begins-titanium-sponge-output> (дата звернення 25.01.2024)

¹⁸ URL: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries> (дата звернення 25.01.2024)

¹⁹ URL: <https://english.aawsat.com/home/article/4184351/saudi-arabia-signs-agreement-develop-aviation-grade-titanium-alloy-value-chains> (дата звернення 25.01.2024)

Список використаних джерел.

1. Райнерт Е. Як багаті країни стали багатими ... і чому бідні країни залишаються бідними. Київ: Саміт-Книга, 2019. 416 с.
2. Roux R. N., Van der Lingen E., Botha A. P., Botes, A. E. The fragmented nature of the titanium metal value chain. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020. Vol. 120, no. 11. P. 633-640. URL: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1126/2020>
3. Van Tonder W. South African titanium: Techno-Economic Evaluation of Alternatives to the Kroll Process: MSc Eng thesis, Stellenbosch University, 2010. 159 p. URL: <https://scholar.sun.ac.za/server/api/core/bitstreams/0536818e-f5d3-49dc-8fdc-7278c1014f81/content>
4. Jackson M. Titanium Research Development in the United Kingdom. *14th World Conference of Titanium*: 10-14 June 2019, Nantes, France, 2019. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2020/17/mateconf_ti2019_01006/mateconf_ti2019_01006.html.
5. Narushima T., Sugizaki Y. Recent activities of titanium research and development in Japan. *14th World Conference of Titanium*: 10-14 June 2019, Nantes, France, 2019. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2020/17/mateconf_ti2019_01004.pdf
6. Chunxiang C., BaoMin H., Lichen Z., Shuangjin L. Titanium alloy production technology, market prospects and industry development. *Materials & Design*. 2011. Vol. 32, no. 3. P. 1684-1694. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.09.011>
7. Fang Z.Z., Paramore J.D., Sun P., Chandran K.S.R., Zhang Y., Xia Y., Cao F., Koopman M., Free M. Powder metallurgy of titanium – past, present, and future. *International Materials Reviews*. 2018. Vol. 63, no. 7. P. 1-53. URL: <https://doi.org/10.1080/09506608.2017.1366003>
8. Banerjee D., Williams J. C. Perspectives on Titanium Science and Technology. *Acta Materialia*. 2013. Vol. 61, no. 3. P. 844-879. URL: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2012.10.043>
9. Khalloufi M. El., Drevelle O., Soucy G. Titanium: An Overview of Resources and Production Methods. *Minerals*. 2021. Vol. 11. no. 12, 1425. URL: <https://doi.org/10.3390/min11121425>
10. Zhang Y., Fang Z. Z., Xia Y., Huang Z., Lefler H., Zhang T., Guo, J. A novel chemical pathway for energy efficient production of Ti metal from upgraded titanium slag. *Chemical Engineering Journal*. 2015. Vol. 286, P. 517–527. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.10.090>
11. Zhang Y., Fang Z. Z., Sun P., Zheng S., Xia Y., Free M. A Perspective on thermochemical and electrochemical processes for titanium metal production. *JOM*. 2017. Vol. 69, no. 10. P. 1861–1868. URL: <https://doi.org/10.1007/s11837-017-2481-9>
12. Bolivar R., Friedrich B. Magnesiothermic reduction from titanium dioxide to produce titanium powder. *Journal Sustainable Metallurgy*. 2019. Vol. 5, no. 2. P. 219–229. URL: <https://doi.org/10.1007/s40831-019-00215-z>
13. Ri V., Nersisyan H., Kwon S. C., Lee J. H., Suh H., Kim J. G. A thermochemical and experimental study for the conversion of ilmenite sand into fine powders of titanium compounds. *Materials Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 221, P. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.09.031>
14. Zhu F., Qiu K., Sun Z. Preparation of titanium from TiCl₄ in a molten fluoride-chloride salt. *Electrochemistry*. 2017. Vol. 85, no. 11. P. 715–720. URL: <https://doi.org/10.5796/electrochemistry.85.715>
15. Doblin C., Freeman D., Richards M. The TiRO™ Process for the Continuous Direct Production of Titanium Powder. *Key Engineering Materials*. 2013. Vol. 551, P. 37-43. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.551.37>
16. Ахонін С.В. Тенденції розвитку спеціальної електрометалургії титану в Україні (за матеріалами наукової доповіді на засіданні Президії НАН України 13 березня 2019 року). *Вісн. НАН України*. 2019. № 6. С. 28-36. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/158196>

17. Siemers C., Stocker C. Developments in Titanium Research and Application in Germany. *14th World Conference of Titanium*: 10-14 June 2019, Nantes, France, 2019. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2020/17/mateconf_ti2019_01003.pdf
18. Chang H., Zhou L. Current Situation of Titanium Research, Development and Application in China. *14th World Conference of Titanium*: 10-14 June 2019, Nantes, France, 2019. URL: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032101001>
19. Гахович Н.Г., Венгер В.В., Кушніренко О.М. Передумови та перспективи розвитку титанової галузі в Україні у повоєнний період. *Науковий вісник Міжнародної асоціації науковців. Серія: економіка, управління, безпека, технології*. 2023. Т. 2, № 3. URL: <https://man.org.ua/nv/index.php/about/article/view/54>
20. 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. P. 599-610. URL: <https://doi.org/10.1007/s12613-022-2455-y>
21. Jia H., Lu F.S., Hao B. Report on China titanium industry progress in 2020. *Titanium Industry Progress*. 2021. Vol. 38, no. 2. P. 34-41. URL: https://caod.oriprobe.com/articles/61455936/Report_on_China_Titanium_Industry_Progress_in_2020.htm
22. Nihei T., Ohashi K., Hattori M., Imazato S. A surveillance study of the demand of titanium and titanium alloys in Japan. *Dental Materials Journal*. 2020. Vol. 39, no. 1. P. 9-11. URL: <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-095>

References.

1. Reinert, E. (2005), *How Rich Countries Got Rich ... and Why Poor Countries Stay Poor*, Constable, London, UK.
2. Roux, R. N., Van der Lingen, E. Botha, A. P. and Botes, A. E. (2020), “The fragmented nature of the titanium metal value chain”, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, vol. 120, no. 11, pp. 633-640. URL: <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1126/2020>
3. Van Tonder, W. (2010), “South African titanium: Techno-Economic Evaluation of Alternatives to the Kroll Process”, MSc Eng thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, Republic of South Africa.
4. Jackson, M. (2019), “Titanium Research Development in the United Kingdom”, *14th World Conference of Titanium*, Nantes, France, 10-14 June 2019.
5. Narushima, T. and Sugizaki, Y. (2019), “Recent activities of titanium research and development in Japan”, *14th World Conference of Titanium*, Nantes, France, 10-14 June 2019.
6. Chunxiang, C. BaoMin, H. Lichen, Z. and Shuangjin, L. (2011) “Titanium alloy production technology, market prospects and industry development”, *Materials & Design*, vol. 32, no. 3, pp. 1684-1694. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.09.011>
7. Fang, Z. Z., Paramore, J. D., Sun, P., Chandran, K. S. R., Zhang, Y. Xia, Y. Cao, F. Koopman, M. and Free, M. (2018), “Powder metallurgy of titanium – past, present, and future”, *International Materials Reviews*, vol. 63, no. 7, pp. 1-53. URL: <https://doi.org/10.1080/09506608.2017.1366003>
8. Banerjee, D. and Williams, J.C. (2013), “Perspectives on Titanium Science and Technology”, *Acta Materialia*, vol. 61, no. 3, pp. 844-879.
9. Khalloufi, M. El. Drevelle, O. and Soucy, G. (2021), “Titanium: An Overview of Resources and Production Methods”, *Minerals*, vol. 11, no. 12, 1425.
10. Zhang, Y. Fang, Z. Z. Xia, Y. Huang, Z. Lefler, H. Zhang, T. and Guo, J. (2015), “A novel chemical pathway for energy efficient production of Ti metal from upgraded titanium slag”, *Chemical Engineering Journal*, vol. 286, pp. 517–527. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.10.090>
11. Zhang, Y., Fang, Z. Z., Sun, P. Zheng, S. Xia, Y. and Free, M. (2017), “A Perspective on thermochemical and electrochemical processes for titanium metal production”, *JOM*, vol. 69, no. 10, pp. 1861–1868. URL: <https://doi.org/10.1007/s11837-017-2481-9>

12. Bolivar, R. and Friedrich, B. (2019), “Magnesiothermic reduction from titanium dioxide to produce titanium powder”, *Journal Sustainable Metallurgy*, vol. 5, no. 2, pp. 219–229. URL: <https://doi.org/10.1007/s40831-019-00215-z>
13. Ri, V., Nersisyan, H., Kwon, S. C., Lee, J. H., Suh, H. and Kim, J.G. (2019), “A thermochemical and experimental study for the conversion of ilmenite sand into fine powders of titanium compounds”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 221, pp. 1–10. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.09.031>
14. Zhu, F., Qiu, K. and Sun, Z. (2017), “Preparation of titanium from TiCl₄ in a molten fluoride-chloride salt”, *Electrochemistry*, vol. 85, no. 11, pp. 715–720. URL: <https://doi.org/10.5796/electrochemistry.85.715>
15. Doblin, C., Freeman, D. and Richards, M. (2013), “The TiRO™ Process for the Continuous Direct Production of Titanium Powder”, *Key Engineering Materials*, vol. 551, pp. 37-43. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.551.37>
16. 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)”, *Visn. Nac. Acad. Nauk. Ukr.*, no. 6, pp. 28-36.
17. Siemers, C. and Stocker, C. (2019), “Developments in Titanium Research and Application in Germany”, *14th World Conference of Titanium*, Nantes, France, 10-14 June 2019.
18. Chang, H. and Zhou, L. (2019), “Current Situation of Titanium Research, Development and Application in China”, *14th World Conference of Titanium*, Nantes, France, 10-14 June 2019.
19. Gakhovych, N.G. Venger, V.V. and Kushnirenko, O.M. (2023), “Prerequisites and prospects for the Ukrainian titanium industry development in the postwar period”, *Scientific bulletin of the International association of scientists, Series: Economy, Management, Security, Technologies*, vol. 2, Is. 3.
20. 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.
21. Jia, H. Lu, F.S. and Hao, B. (2021), “Report on China titanium industry progress in 2020”, *Titanium Industry Progress*, vol. 38, no. 2, pp. 34-41.
22. Nihei, T., Ohashi, K., Hattori, M. and Imazato, S. (2020), “A surveillance study of the demand of titanium and titanium alloys in Japan”, *Dental Materials Journal*, vol. 39, no. 1, p. 9-11. URL: <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-095>

Стаття надійшла до редакції 09.02.2024 р.

Рецензовано 03.05.2024 р.

Опубліковано 30.05.2024 р.

Статтю підготовлено в рамках виконання дослідження наукового проєкту НАН України “Інноваційна модернізація перспективних галузей промисловості України у повоєнний період на основі існуючого науково-технічного, виробничого та ресурсного потенціалу”. Етап II: Перспективи створення в Україні інноваційних промислових майданчиків виробництва продукції з високою доданою вартістю у контексті інтеграції у міжнародні виробничі ланцюги (2024 р.).