



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 10.56197/2786-5827/2024-3-4-6

УДК 673+617.3

Олефір Володимир Костянтинович,
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, NAS of Ukraine”
Panasa Myrnoho str., 26, Kyiv, Ukraine, 01011
email: oksavol@ukr.net
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4180-3435>
Scopus ID: 56529406600

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТАЛЕВОГО ТИТАНУ В МЕДИЦИНІ

PROSPECTS FOR THE USE OF METALLIC TITANIUM IN MEDICINE

Вступ. Україна має унікальні поклади титанових руд, з яких можна виготовляти високоякісні металеві титанові вироби. Не всі країни, які розвивають титанову промисловість, мають природні ресурси такого якісного рівня. Зокрема, Китай вимушений імпортувати титанову руду для виробництва титанової продукції для аерокосмічної індустрії і медичної сфери. Перед вітчизняною добувною промисловістю і кольоровою металургією стоїть актуальне завдання максимально ефективно використати наявні ресурси. Переробка титанових руд на титанові сплави медичного призначення може стати потужним стимулом для розвитку вітчизняної кольорової металургії і збільшення експортного потенціалу. В цьому контексті метою статті було оцінити перспективи використання металевого титану в медицині і спрогнозувати попит на титан і титанові сплави медичного призначення до 2030 р.

Матеріали та методи. Для проведення дослідження використовувались такі методи: економіко-статистичний, монографічний, аналізу і синтезу, системного підходу тощо. Інформаційною базою дослідження були дані UN Comtrade Database та ресурси Інтернету.

Результати і обговорення. Титан та його сплави найбільш імовірно будуть мати великий попит у виробників товарів медичного призначення у середньостроковій перспективі. Про це свідчать три прогнозні сценарії зростання світового ринку титанових

сплавів медичного призначення. Зростання цього ринку передбачено також песимістичним сценарієм, згідно з яким титан буде втрачати свою конкурентоспроможність по відношенню до інших біоматеріалів. Внаслідок науково-технічного прогресу на ринку з'являється багато нових альтернативних біоматеріалів для внутрішнього і зовнішнього протезування. Однак, як свідчать результати дослідження, до 2030 р. найбільш імовірно, що титан та його сплави збережуть свої провідні позиції на ринку медичних біоматеріалів.

Висновки. Аналіз наукових публікацій свідчить про значні перспективи металевого титану і титанових сплавів у медичній сфері. Це стосується як традиційних матеріалів (технічно чистий титан, титановий сплав Ti-6Al-4V), так й інноваційних матеріалів, які вміщують титан (нітинол, аморфний метал тощо). Таким чином, в умовах швидкого науково-технічного прогресу титан продовжує залишатись незамінним елементом при виробництві медичних виробів для внутрішнього і зовнішнього протезування.

Виникнення і швидкий розвиток адитивних технологій спричиняє структурні зміни на ринку біоматеріалів. Зокрема, має місце тенденція заміщення титанових зливків на титанові порошки. Застосування 3D-принтерів при виробництві медичних виробів помітно підвищує ефективність роботи хірургів, зубних техніків, збільшує процент успішних операцій і поліпшує процес видужання хворих.

Серед факторів, які визначають попит на медичний титан слід відзначити такі: вартість виробництва титану, конкуренція з боку інших біоматеріалів, зростання кількості населення, збільшення частки осіб похилого віку, державні програми стимулювання ендопротезування, глобалізація медичних послуг тощо.

Ключові слова: металевий титан, протезування, тенденції світового ринку, титанова промисловість, імплантати

Introduction. Ukraine has unique deposits of titanium ores from which high-quality metal titanium products can be made. Not all countries that develop the titanium industry have natural resources of such a quality level. In particular, China is forced to import titanium ore for the production of titanium products for the aerospace industry and the medical field. The domestic mining industry and non-ferrous metallurgy face the urgent task of using available resources as efficiently as possible. The processing of titanium ores into titanium alloys for medical purposes can become a powerful stimulus for the development of domestic non-ferrous metallurgy and increase the export potential. In this context, the purpose of the article was to assess the prospects for the use of metallic titanium in medicine and to forecast the demand for titanium and titanium alloys for medical purposes until 2030.

Materials and methods. The following methods were used to conduct the research: economic-statistical, monographic, analysis and synthesis, system approach, etc. The information base of the study was the data of the UN Comtrade Database and Internet resources.

Results and discussion. Titanium and its alloys are most likely to be in high demand among manufacturers of medical products in the medium term. This is evidenced by three forecast scenarios for the growth of the world market of medical titanium alloys. The growth of this market is also predicted by a pessimistic scenario, according to which titanium will lose its competitiveness in relation to other biomaterials. As a result of scientific and technical progress, many new alternative biomaterials for internal and external prosthetics appear on the market. However, according to the results of the study, by the 2030 it is most likely that titanium and alloys will retain their position in the market of medical biomaterial.

Conclusions. The analysis of scientific publications shows significant prospects of metal titanium and titanium alloys in the medical field. This applies to both traditional materials (technically pure titanium, Ti-6Al-4V titanium alloy) and innovative materials containing titanium (nitinol, amorphous metal, etc.). Thus, in conditions of rapid scientific and technical progress, titanium continues to remain an indispensable element in the production of medical products for internal and external prosthetics.

The emergence and rapid development of additive technologies causes structural changes in the market of biomaterials. In particular, there is a tendency to replace titanium ingots with titanium powders. The use of 3D printers in the production of medical products significantly increases the efficiency of the work of surgeons and dental technicians, increases the percentage of successful operations and improves the recovery process of patients.

Among the factors that determine the demand for medical titanium, the following should be noted: the cost of titanium production, competition from other biomaterials, population growth, an increase in the proportion of elderly people, state programs to stimulate endoprosthetics, globalization of medical services, etc.

Keywords: metal titanium, prosthesis, world market trends, titanium industry, implants

JEL Classification: F29, I11, L52, L61

Вступ. Після початку повномасштабної агресії у лютому 2022 р. у вітчизняній титановій промисловості і на світовому ринку металевого титану відбулись суттєві зміни. Україна припинила експорт титанової руди і концентратів до країни-агресора. У лютому 2023 р. Апеляційна палата Вищого антикорупційного суду ухвалила рішення про конфіскацію ТОВ “Демурінський гірничо-збагачувальний комбінат”, який належав російському магнату, на якого було накладено санкції. У вересні 2023 р. США запровадили санкції проти російського експортера продукції з титану - компанії “ВСМПО-Ависма”. Модернізація вітчизняної титанової промисловості стала розглядатись в контексті післявоєнної відбудови економіки за підтримки країн Заходу. У зв’язку із цим для створення повного циклу переробки титанової руди і виробництва продукції із великим обсягом доданої вартості важливою є оцінка перспектив попиту на металевий титан на світовому ринку (Венгер, 2024).

Однією із сфер, яка формує попит на титан і титанові сплави є медична галузь. Титанові сплави мають унікальне співвідношення між міцністю і вагою, вони залишаються стійкими в хімічному і біологічному середовищі, надійно зрощуються з кістками хворого, захищають електроніку кардіостимуляторів від сильних зовнішніх електромагнітних хвиль тощо. Медичні вироби з титану успішно застосовуються в медицині впродовж багатьох десятиліть, однак при цьому вони постійно конкурують з іншими матеріалами. Тому для розробки програм розвитку титанової промисловості важливо мати прогнозні оцінки попиту на титан і титанові сплави з боку виробників товарів медичного призначення в контексті науково-технічного прогресу.

Матеріали та методи. Наукові публікації, які оцінюють перспективи застосування металевого титану в медицині, можна умовно розділити на дві групи: 1) статті, які характеризують конкурентоспроможність титану у порівнянні з іншими матеріалами (Barber, 2021), (Sales, 2023), (Haugen, 2022), (Mohanta, 2022), (Zhang, 2019), (Madhukar, 2020), (Markowska-Szczupak, 2020); доводять перспективність інноваційних титанових сплавів (Jorge, 2013), (Aufa, 2022), (Sidhu, 2021), (Correa, 2020), (Niu, 2021), (Yamanoglu, 2018); 2) публікації, які дають кількісні прогнозні оцінки попиту на титанові сплави у середньостроковій перспективі¹.

Титан та його сплави мають безперечні переваги перед іншими біоматеріалами. Зокрема, нержавіюча сталь має гарні біомеханічні властивості, але при цьому спричиняє більше ускладнень в процесі лікування ніж титан (Barber, 2021). Публікація (Sales, 2023) свідчить про те, що цирконієві імплантати в цілому не мають переваг перед титановими. Сплави на основі кобальту у порівнянні з чистим титаном мають гарну гнучкість, радіальну міцність, кращу рентгеноконтрастність, однак є свідчення про їх цитотоксичність (Mohanta,

¹URL: <https://www.skyquestt.com/report/metal-implants-and-medical-alloys-market>

URL: <https://virtuemarketresearch.com/report/medical-grade-titanium-alloy-market>;

URL: https://www.linkedin.com/pulse/medical-titanium-alloy-market-report-2031-iqae?trk=article-ssr-frontend-pulse_more-articles_related-content-card (дата звернення: 01.09.2024)

2022). У науковому дослідженні (Markowska-Szczupak, 2020) обґрунтовується відносно невеликий ризик для здоров'я від титанових імплантатів. Публікація (Correa, 2020) доводить високі характеристики нового перспективного сплаву Ti-15Zr-15Mo, які є вищими у порівнянні з сучасними комерційними біоматеріалами. Бінарні сплави Ti-Fe мають перспективи як зубні імплантати, механічна міцність яких підвищується додаванням заліза (Niu, 2021).

Метою статті є узагальнення оцінки перспектив використання металевого титану в медицині і розробити прогностичні сценарії динаміки попиту на титан і титанові сплави медичного призначення до 2030 р.

Під час проведення дослідження застосовувались економіко-статистичні методи, монографічний метод, метод аналізу і синтезу, метод системного підходу тощо.

Результати і обговорення. Оскільки титан на сьогодні залишається відносно дорогим металом, то він використовується, в першу чергу, в тих медичних товарах, де його унікальні властивості мають вирішальне значення. В медицині використовуються такі основні титанові сплави: Ti-6Al-4V, Ti-6Al-4V-ELI, Ti-6Al-7Nb, Ti-15Mo, Ti-13Nb-13Zr, Ti-5Al-2.5Sn, Ti-5Al-2.5Fe, Ti-12Mo-6Zr-2Fe тощо. Серед титанових сплавів медичного призначення найбільш поширеним на сьогодні є сплав Ti-6Al-4V, який було винайдено у 1950-х роках у США для військових цілей. Технічно чистий титан застосовується у виробництві імплантатів, які не піддаються впливу великих механічних навантажень: кардіологічні пристрої, зубні штифти, фіксуючі гвинти, дроти, пластини тощо.

На сьогодні титан у відносно великих розмірах застосовується також у сплавах, які формально не відносяться до титанових. Зокрема, одним з таких сплавів є нітинол, який на 55% складається з нікелю і на 45% – з титану. Цей сплав відрізняється великою еластичністю і має унікальну властивість відновлювати свою початкову форму, так звану “пам'ять форми”. Ця особливість сплаву робить його придатним для проведення мінімально інвазивних медичних процедур (Alipour, 2022).

Іншим перспективним медичним застосуванням титану є аморфний метал (металеве скло, склоподібний метал, блискучий метал). Це твердий металевий матеріал, який здебільшого є сплавом і який має склоподібну структуру розташування атомів. Аморфний метал отримують методом швидкого охолодження, яке відбувається із швидкістю мільйон градусів Цельсія за секунду. Впродовж швидкого охолодження атоми титану не встигають прийняти високорядкованого розташування, яке притаманне металам, і мають структуру подібну до скла.

Сплав аморфного металу $Ti_{40}Cu_{36}Pd_{14}Zr_{10}$ не є канцерогенним і втричі міцніший за титан. Модуль пружності цього сплаву майже відповідає модулю пружності кісток людини, що значно полегшує остеointegraцію. Крім того цей сплав має високу зносостійкість і не утворює абразивного порошку. На ринку запропоновано інноваційні різновиди аморфного металу, які не тільки в три рази міцніші за титан, а також у три рази міцніші за сталеві сплави.

Титанові сплави використовуються в медичних виробках, які повністю або частково² імплантуються в тіло хворого або застосовуються ззовні. За напрямками використання імплантати поділяються на:

- 1) ортопедичні;
- 2) стоматологічні;
- 3) серцево-судинні;
- 4) неврологічні і сенсорні;
- 5) інші.

До ортопедичних імплантатів відносяться ендопротези плеча, ліктя, зап'ястя, таза, стегна, коліна, щиколотки, грудної клітини, черепа, щелеп, хребта, пальців тощо. Ці

² Прикладами часткової імплантації є зубові штифти, штифти для кріплення протезів рук, ніг та інших екзопротезів

ендопротези фіксуються в тілі хворого титановими шпильками, гвинтами, пластинами, інтрамедулярними цвяхами тощо. На сьогодні для виробництва ортопедичних імплантатів і фіксуючих пристроїв використовується найбільше титанових сплавів. Порівняно з іншими металами титанові сплави достатньо сильно зношуються від тертя в шарнірних компонентах суглобів. Тому їх основне призначення в ортопедії – це утворення нерухомої несучої конструкції.

В стоматології титанові сплави значною мірою використовуються для виробництва зубних штифтів і тримачів для ортодонтичних брекетів. Оскільки стоматологічні імплантати не несуть великих механічних навантажень, то для їх виробництва використовують також технічно чистий титан. Останніми роками в стоматології простежується тенденція зменшення попиту на титанові зливки і збільшення попиту на титанові порошки для автоматизованих систем проєктування і виробництва. Зокрема, це стосується пристроїв CAD/CAM (computer-aided design / computer-aided manufacturing).

Серцево-судинні імплантати підтримують нормальну роботу серцево-судинної системи. Титанові сплави застосовуються при виробництві кардіостимуляторів, кардіовертерів-дефібриляторів, штучних механічних клапанів серця, коронарних та периферичних судинних стентів³ тощо. Із титану роблять корпуси для кардіостимуляторів та кардіовертерів-дефібриляторів. Титановий корпус захищає електроніку цих пристроїв як від хімічно агресивного біологічного середовища, так і від зовнішніх електромагнітних хвиль.

Сенсорні і неврологічні імплантати використовуються для лікування органів чуття і мозку. Зокрема, це стосується таких хвороб як катаракта, глаукома, помірна та глибока сенсоневральна втрата слуху тощо. При лікуванні катаракти застосовується штучний кришталік (інтраокулярна лінза); глаукоми – імплантати Baerveldt, Aurolab, міні шунт Ex-PRESS, склеральний імплантат AJL Esnoper Clip; при лікуванні помірної та глибокої сенсоневральної втрати слуху – кохлеарний імплантат.

Крім імплантатів, які повністю чи частково вкорінюються в тіло хворого, титанові сплави використовуються для виробництва широкого спектру хірургічних інструментів: скальпелі, щипці, ретрактори, затискачі гемостати, ножиці, голкотримачі, пінцети тощо. Крім цього титанові сплави використовуються для протезів рук і ніг, для яких важливе значення має поєднання в титанових сплавах легкості та міцності. Зокрема, в роботизованій рукавиці NeoMano для хворих із паралічем руки використовуються троси, які виготовлені з титанових сплавів.

Для оцінки перспектив зростання світового ринку титанових сплавів медичного призначення необхідно виокремити найбільш вагомі фактори, які формують попит і пропозицію. З боку попиту до таких факторів відносяться кількість населення та його спроможність оплачувати операції ендопротезування. При цьому кількість таких операцій є похідною від загальної кількості населення та його вікової структури. В цьому контексті ринок товарів медичного призначення є суміжним до ринку медичних послуг з ендопротезування. Металургійні компанії постачають титан і титанові сплави виробникам товарів медичного призначення, які в свою чергу забезпечують необхідними матеріалами і виробами клініки та хірургічні центри.

Пропозиція послуг з ортопедичного, стоматологічного, серцево-судинного, неврологічного, сенсорного ендопротезування залежить від розвитку системи охорони здоров'я кожної окремої країни. Чим більш розвинутою є система охорони здоров'я, тим більш доступними є ці послуги. Державні програми поширення використання металевих імплантатів збільшують попит на послуги ендопротезування і сприяють зростанню ринку. Глобалізація медичних послуг, у свою чергу, ще більше збільшує пропозицію. На сьогодні існує багато посередників у сфері “медичного туризму”, які пропонують хворим проведення операцій влюбій країні світу із розвинутою медициною.

³ Судинний стент (stent) – це маленька трубка, які вставляється в судину для її відкриття і відновлення кровотоку

Світовий ринок медичних імплантатів є висококонкурентним. На ньому працює багато відомих компаній США: Johnson & Johnson; Zimmer Biomet Holding, Inc.; Stryker Corporation; DePuy Synthes Companies; NuVasive, Inc.; Globus Medical, Inc.; Dentsply Sirona Inc.; Aescular Implant Systems, LLC; Boston Scientific Corporation; Integra LifeSciences Holdings Corporation; DJO Global, Inc.; Conmed Corporation. Серед провідних компаній інших країн слід відзначити такі: Medtronic plc (Ірландія), Smith & Nephew plc (Велика Британія); B. Broun Melsungen AG (Німеччина); Olympus Corporation (Японія); Straumann Holding AG (Швейцарія); Coloplast A/S (Данія); Wright Medical Group N.V. (Нідерланди); MicroPort Scientific Corporation (КНР).

Найбільшими світовими виробниками титанових сплавів для медицини є: PCC Metal Group (США), VSMPO-AVISMA, ATI Metals (США), Carpenter Technology Corporation (США), АМТЕК Specialty Metal Product (SMP) (США), Baoji Future Titanium Co (КНР) тощо.

Не дивлячись на свої високі якісні характеристики, титан і титанові сплави медичного призначення витримують сильну конкуренцію з боку інших біоматеріалів. Замінниками титану в ортодонтичних брекетах можуть бути: нержавіюча сталь, сплав сталі з нікелем, срібло, золото, пластик, кераміка. Крім титану зубні штифти виготовляють з латуні і скловолокна. Судинні стенти виготовляють з пластику, нержавіючої сталі AISI 316, платино-іридієвих сплавів, танталу, кобальто-хромових сплавів. Ортопедичні протези виготовляють з нержавіючої сталі, сплаву хрому і кобальту.

У червні 2023 р. компанія Johnson & Johnson випустила нову лінійку імплантатів із сплаву хрому і кобальту для ортопедичних операцій. У квітні 2023 р. компанія Zimmer Biomet Holding, Inc. випустила нову лінійку імплантатів із нержавіючої сталі для серцево-судинних операцій. У лютому 2023 р. Dentsply Sirona Inc. випустила нові імплантати з діоксиду цирконію. Таким чином, перспективи застосування титану в медичних цілях значною мірою будуть залежати від того, наскільки зменшиться його вартість. На сьогодні, медичний титан в 15 разів дорожчий за нержавіючу сталь медичного призначення марки AISI 316L (Marin, 2024).

В науковій літературі запропоновано достатньо багато альтернативних до процесу Кролла методів отримання металевого титану. Зокрема, слід відзначити такі: 1) метод поетапної обробки ільменіту сірковуглецем, хлоридом кальцію і сульфідом кальцію (Narushima, 2019); 2) метод кальціотермічного відновлення TiO_2 (calciothermic reduction TiO_2) (Jackson, 2019); 3) метод магнезіотермічного відновлення оксиду титану із очищенням лугом (Bolivar, 2019); TiRO процес (Roux, 2020). Вітчизняні науковці компанії Velta розробили власний метод виробництва титанового порошку без отримання титанової губки⁴.

На думку спеціалістів, серед великої кількості запропонованих методів найбільше шансів замінити процес Кролла мають три методи: процес Армстронга (Armstrong process), Кембриджський процес (FFC Cambridge process) і QIT процес (Quebec Iron and Titane process). Найбільш імовірно, що впродовж декількох наступних років ці методи будуть доведені до рівня промислового застосування і стануть цікавими для бізнесу. Це ще більше посилить конкурентоспроможність титану і титанових сплавів по відношенню до інших медичних біоматеріалів.

Металеві імплантати використовуються для лікування широкого спектру захворювань. Кількість цих захворювань у світі зростає, що пов'язано, зокрема, із старінням населення. У 2019 р. кількість осіб похилого віку в ЄС-27 становила 91 млн осіб, а до 2050 р. вона збільшиться до 130 млн.⁵ Світова статистика свідчить, що щорічно ендопротезування

⁴ URL: <https://ubn.news/a-ukrainian-mining-company-will-build-a-1-5b-factory-to-produce-titanium-powder-in-the-us-and-ukraine/> (дата звернення: 01.09.2024)

⁵ URL: <https://www.graphicalresearch.com/industry-insights/1018/europe-dental-implants-market> (дата звернення: 01.09.2024)

суглобів в середньому потребує 500-1000 хворих та травмованих на 1 млн населення.⁶ Також за вітчизняною статистикою у кожного третього громадянина України у віці 25 років вже відсутні від одного до трьох зубів⁷. Таким чином, зростаюча кількість ортопедичних, зубних і серцево-судинних захворювань, які потребують ендопротезування, є основним чинником зростання попиту на металеві імпланти. Крім того попит на титанові імпланти підвищується внаслідок збільшення кількості операцій з мінімальним втручанням (minimally invasive surgeries).

Щороку у світі проводиться близько 600 тис. операцій по вживленню серцево-судинних імплантів. У 2022 р. найбільше титанових сплавів було використано для заміни кісток і суглобів. Кількість пацієнтів, які проходять повну заміну артриту тазостегнових і колінних суглобів щорічно зростає. У 2022 р. у світі кількість таких пацієнтів оцінювалась в межах мільйона.

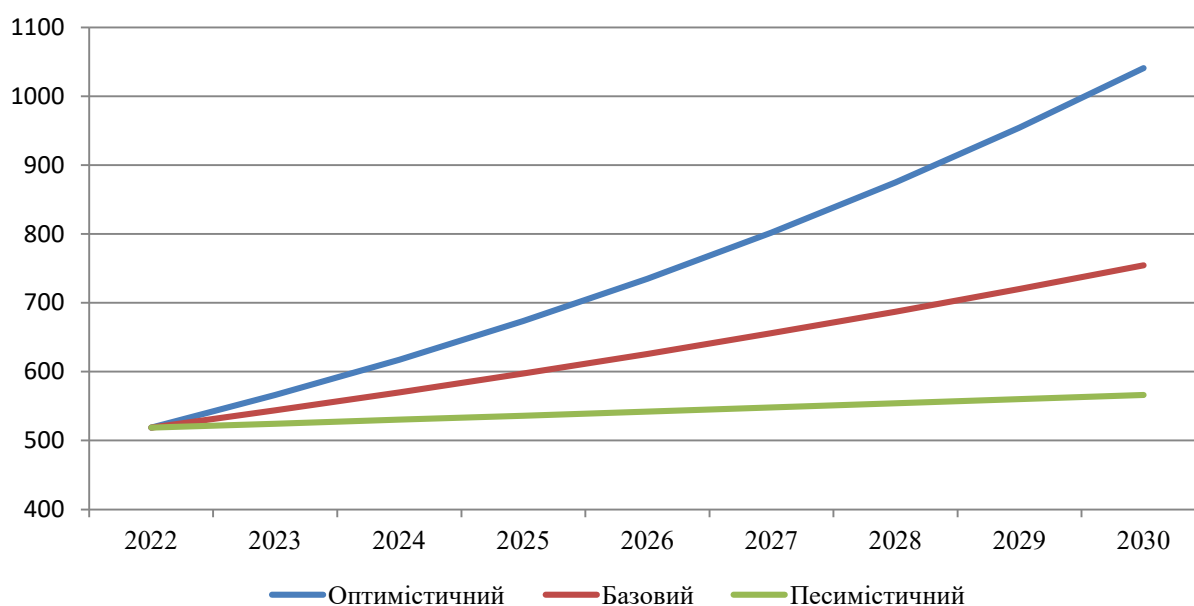


Рис. 1. Сценарії зростання світового ринку титанових сплавів медичного призначення, млн дол.

Джерело: *Medical Grade Titanium Alloy Market* <https://virtuemarketresearch.com/report/medical-grade-titanium-alloy-market>

У 2022 р. зубні імпланти займали найбільшу частку в доходах на глобальному ринку металевих імплантів і медичних сплавів. Згідно із доповіддю The State of Oral Health Europe, яка вийшла у 2022 р. більш як 50% європейців мали різні форми періодонтиту, а більш як 10% мали тяжку форму. Розмір європейського ринку зубних імплантів у 2021 р. перевищив 1,6 млрд дол.⁸ У 2022 р. він був межах 1,9 млрд дол., а у 2028 р. – прогнозується на рівні 3,0 млрд дол. Основними виробниками зубних імплантів на європейському ринку є: Dentspy Sirona, Zimmer Biomet, Envista Holding, Osstem Implant, Glidewell Laboratories, ADIN Dental Implants Systems, CAMLOG Biotechnologies AG, Straumann AG, and Henry Schein тощо. У 2021 р. частка титанових зубних імплантів становила більш як 70 %.

Вітчизняний ринок металевих імплантів можна оцінити за статистикою імпорту. В таблиці наведено імпорт ортопедичних пристроїв, пристроїв для лікування переломів;

⁶ URL: <https://ortho.kiev.ua/publications/rol-respublikanskogo-centru-endoprotezuвання-suglobiv-u-rozvitku-endoprotezuвання-v> (дата звернення: 01.09.2024)

⁷ URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-zubnyh-implantov-ukrainy-2018-god> (дата звернення: 01.09.2024)

⁸ URL: <https://www.graphicalresearch.com/industry-insights/1018/europe-dental-implants-market> (дата звернення: 01.09.2024)

штучних частин тіла; апаратів, які імплантують у тіло, щоб компенсувати недолік органу чи фізичну ваду тощо. Показник імпорту в цілому характеризує обсяг внутрішнього ринку. Для більшої точності до нього необхідно додати внутрішнє виробництво⁹ і відняти вартість пристроїв, які не відносяться до металевих імплантатів.

Ринок металевих імплантатів в Україні є відносно невеликим. У 2022 р. ринок зубних імплантатів в Україні становив 15,6 млн дол. або 0,8% від європейського рівня. Щорічно в Україні виконується в 10 разів менше прогнозованої кількості ендопротезувань суглобів¹⁰. Таким чином, вітчизняний ринок металевих імплантатів має значний потенціал для зростання.

Таблиця

Імпорт в Україну металевих імплантатів і подібних виробів, млн дол.

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Пристрої ортопедичні або пристрої для лікування переломів (HS — 902110)	7,9	11,2	10,8	17,0	16,4	20,0
Штучні зуби (HS —902121)	0,2	0,6	0,2	0,5	0,4	0,6
Інше стоматологічне пристосування (HS —902129)	9,9	13,3	14,6	20,3	15,2	23,8
Штучні частини тіла (HS —902131)	10,6	10,1	11,8	14,4	17,1	26,5
Кардіостимулятори (HS —902150)	6,8	7,2	5,2	2,6	6,7	3,4
Пристрої, які впрошуються в тіло (HS —902190)	18,2	23,3	20,1	17,3	15,8	17,2
Всього	53,6	65,7	62,8	72,0	71,5	91,6

Джерело: UN Comtrade Database. URL: <https://comtrade.org>

Важливим фактором збільшення внутрішньої пропозиції металевих імплантатів є використання адитивних технологій. Використання 3D-принтерів для виробництва металевих імплантатів суттєво підвищує ефективність роботи хірургів і зубних техніків. Імплантати пристосовуються до кожного конкретного пацієнта, що підвищує процент успішних операцій і прискорює процес видужання хворого. При виробництві серійних ортопедичних імплантатів адитивні технології дають можливість створювати пористі поверхневі структури, які полегшують остеоінтеграцію. На сьогодні адитивні технології і виробництво 3D принтерів швидко розвиваються. На світовому ринку присутня велика кількість виробників, які пропонують широкий асортимент продукції. Високий рівень конкуренції і технологічні інновації роблять адитивні технології все більш доступними.

З урахуванням усіх факторів було зроблено сценарні оцінки зростання ринку титану і титанових сплавів медичного призначення впродовж 2022-2030 рр. (рис.1) Оптимістичний сценарій передбачає повну реалізацію усіх сприятливих факторів для запровадження титанових сплавів і нітинолу у практику внутрішнього і зовнішнього протезування при помірному впливі негативних факторів. Песимістичний сценарій навпаки передбачає активізацію несприятливих факторів. Базовий сценарій ґрунтується на найбільш імовірному варіанті зростання ринку.

⁹ В Україні виробляються титанові пластини для ортопедичних операцій і дентальні імплантати (компанія “Вітадент ЛТД” (м.Запоріжжя))

¹⁰ URL: <https://ortho.kiev.ua/publications/rol-respublikanskogo-centru-endoprotezuvannya-suglobiv-u-rozvitku-endoprotezuvannya-v> (дата звернення: 01.09.2024)

Висновки. Ринок титану і титанових сплавів має гарні перспективи зростання до 2030 р., яке передбачається навіть за песимістичним сценарієм (рис.1). Не дивлячись на постійну пропозицію нових матеріалів для внутрішнього і зовнішнього протезування, титан продовжує залишатись і найбільш імовірно залишиться найбільш запитуваним металом. Особливо це стосується ортопедичного лікування, де титан має найкращі перспективи. Найбільш вагомим чинником, який стримує подальше збільшення застосування титану в медицині, залишається його відносно велика вартість.

Титан має перспективи застосування в нікелевих сплавах, зокрема в сплаві нітинол, який має унікальну властивість “пам’ять форми”. Таким чином, металевий титан не має вузького застосування, а характеризується диверсифікованими напрямками використання. Ця його особливість також є аргументом щодо зростання попиту на металевий титан у середньостроковій перспективі.

Інноваційні технології також формують попит на металевий титан. Адитивні технології дають можливість підвищити ефективність внутрішнього протезування, збільшити процент успішних операцій і скоротити період видужання хворих. Унікальні властивості металевого титану зберігають свою цінність та актуальність і при використанні інноваційними технологіями.

Одним з напрямів подальших досліджень є визначення перспектив створення повного циклу переробки титанових руд в Україні, зокрема, що стосується виробництва титанових сплавів медичного призначення для потреб внутрішнього ринку і на експорт.

Список використаних джерел

1. Венгер В., Биконя О., Гахович Н., Кушніренко О., Ципліцька О. Розвиток виробництва металевого титану в Україні: нові перспективи на основі вітчизняних наукових розробок. *Science and Innovation*. 2024. 20(3), 40–52. URL: <https://doi.org/10.15407/scine20.03.040>
2. Barber C. C., Burnham M., Ojameruaye O., McKee M.D. A Systematic Review of the Use of Titanium versus Stainless Steel Implants for Fracture Fixation. *OTA Int*. 2021. Vol. 4, no. 3. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8568430/>
3. Sales P.H.D.H., Barros A.W.P., de Oliveira-Neto O.B., de Lima F.J.C., Carvalho A.D.A.T., Leão J.C. Do Zirconia Dental Implants Present Better Clinical Results than Titanium Dental Implants? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Stomatol. Oral Maxillofac. Surg*. 2023. Vol. 124, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36330865/>
4. Haugen H. J., Chen H. Is There a Better Biomaterial for Dental Implants than Titanium? — A Review and Meta-Study Analysis. *J. Funct. Biomater*. 2022. Vol. 13, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35645254/>
5. Mohanta M., Thirugnanam A. Commercial Pure Titanium – A Potential Candidate for Cardiovascular Stent. *Materwiss. Werksttech*. 2022. Vol. 53, no. 12. P. 1518–1543. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mawe.202100306>
6. Zhang L.-C., Chen L.-Y. A Review on Biomedical Titanium Alloys: Recent Progress and Prospect. *Adv. Eng. Mater*. 2019. Vol. 21, no. 4. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201801215>
7. Madhukar S., Nakshatram S., Naik R.P., Butty P. Review on Use of Titanium and Its Alloys as Implants in Dental Applications. *Int. J. Curr. Eng. Technol*. 2020. Vol. 10, no. 4. URL: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2020/07/Paper3513-517.pdf>
8. Markowska-Szczupak A., Endo-Kimura M., Paszkiewicz O., Kowalska E. Are titania photocatalysts and titanium implants safe? Review on the toxicity of titanium compounds. *Nanomaterials*. 2020. Vol. 10, no. 10. URL: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/10/2065>
9. Jorge J.R.P., Barão V.A., Delben J.A., Faverani L.P., Queiroz T.P., Assunção W.G. Titanium in Dentistry: Historical Development, State of the Art and Future Perspectives. *J. Indian Prosthodont. Soc*. 2013. Vol. 13, no. 2. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3634937/>

10. Aufa A.N., Hassan M.Z., Ismail Z. Recent Advances in Ti-6Al-4V Additively Manufactured by Selective Laser Melting for Biomedical Implants: Prospect Development. *J. Alloys Compd.* 2022. Vol. 896. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838821044820>
11. Sidhu S.S., Singh H., Gepreel M.A.-H. A Review on Alloy Design, Biological Response, and Strengthening of β -Titanium Alloys as Biomaterials. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 2021. Vol. 121. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33579432/>
12. Correa D.R.N., Rocha L.A., Donato T.A.G., Sousa K.S.J., Grandini C.R., Afonso C.R.M., Doi H., Tsutsumi Y., Hanawa T. On the Mechanical Biocompatibility of Ti-15Zr-Based Alloys for Potential Use as Load-Bearing Implants. *J. Mater. Res. Technol.* 2020. Vol. 9, no. 2. P. 1241–1250. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785419309135>
13. Niu J., Guo Y., Li K., Liu W., Dan Z., Sun Z., Chang H., Zhou L. Improved Mechanical, Bio-Corrosion Properties and in Vitro Cell Responses of Ti-Fe Alloys as Candidate Dental Implants. *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.* 2021. Vol. 122. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33641910/>
14. Yamanoglu R., Efendi E., Kolayli F., Uzuner H., Daoud I. Production and mechanical properties of Ti-5Al-2.5Fe-xCu alloy for biomedical applications. *Biomed. Mater.* 2018. Vol. 13, no. 2. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-605X/aa957d>
15. Alipour S., Taromian F., Ghomi E.R., Zare M., Singh S., Ramakrishna S. Nitinol: From Historical Milestones to Functional Properties and Biomedical Applications. *Proc. Inst. Mech. Eng. H.* 2022. Vol. 236, no. 11. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36121059/>
16. Marin E., Lanzutti A. Biomedical Application of Titanium Alloys: A Comprehensive Review. *Materials.* 2024. Vol. 17, no. 1. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/1/114>
17. 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
18. 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.
19. 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>
20. 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>

References

1. Venger, V., Bykonia, O., Gakhovych, N., Kushnirenko, O. and Tsyplitska, O. (2024), “Development of Titanium Production in Ukraine: Evolving Prospects Based on National R&D”, *Science and Innovation*, 20(3), 40–52. URL: <https://doi.org/10.15407/scine20.03.040>
2. Barber, C.C., Burnham, M., Ojameruaye, O. and McKee M.D. (2021), “A Systematic Review of the Use of Titanium versus Stainless Steel Implants for Fracture Fixation”, *OTA Int.*, vol. 4, no. 3. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8568430/>
3. Sales, P.H.D.H., Barros, A.W.P., de Oliveira-Neto, O.B., de Lima, F.J.C., Carvalho, A.D.A.T. and Leão J.C. (2023), “Do Zirconia Dental Implants Present Better Clinical Results than Titanium Dental Implants? A Systematic Review and Meta-Analysis”, *J. Stomatol. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 124, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36330865/>
4. Haugen, H.J. and Chen, H. (2022), “Is There a Better Biomaterial for Dental Implants than Titanium? – A Review and Meta-Study Analysis”, *J. Funct. Biomater.*, vol. 13, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35645254/>

5. Mohanta, M. and Thirugnanam, A. (2022), “Commercial Pure Titanium – A Potential Candidate for Cardiovascular Stent”, *Materwiss. Werksttech.*, vol. 53, no. 12, pp. 1518–1543. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mawe.202100306>
6. Zhang, L.-C. and Chen, L.-Y. (2019), “A Review on Biomedical Titanium Alloys: Recent Progress and Prospect”, *Adv. Eng. Mater.*, vol. 21, no. 4. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adem.201801215>
7. Madhukar, S., Nakshatram, S., Naik, R.P. and Butty, P. (2020), “Review on Use of Titanium and Its Alloys as Implants in Dental Applications”, *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 4. URL: <https://inpressco.com/wp-content/uploads/2020/07/Paper3513-517.pdf>
8. Markowska-Szczupak, A., Endo-Kimura, M., Paszkiewicz, O. and Kowalska, E. (2020), “Are titania photocatalysts and titanium implants safe? Review on the toxicity of titanium compounds”, *Nanomaterials*, vol. 10, no. 10. URL: <https://www.mdpi.com/2079-4991/10/10/2065>
9. Jorge, J.R.P., Barão, V.A., Delben, J.A., Faverani, L.P., Queiroz, T.P. and Assunção, W.G. (2013), “Titanium in Dentistry: Historical Development, State of the Art and Future Perspectives”, *J. Indian Prosthodont. Soc.*, vol. 13, no. 2. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3634937/>
10. Afa, A.N., Hassan, M.Z. and Ismail, Z. (2022), “Recent Advances in Ti-6Al-4V Additively Manufactured by Selective Laser Melting for Biomedical Implants: Prospect Development”, *J. Alloys Compd.*, vol. 896. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925838821044820>
11. Sidhu, S.S., Singh, H. and Gepreel, M.A.-H. (2021), “A Review on Alloy Design, Biological Response, and Strengthening of β -Titanium Alloys as Biomaterials”, *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.*, vol. 121. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33579432/>
12. Correa, D.R.N., Rocha, L.A., Donato, T.A.G., Sousa, K.S.J., Grandini, C.R., Afonso, C.R.M., Doi, H., Tsutsumi, Y. and Hanawa, T. (2020), “On the Mechanical Biocompatibility of Ti-15Zr-Based Alloys for Potential Use as Load-Bearing Implants”, *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 1241–1250. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785419309135>
13. Niu, J., Guo, Y., Li, K., Liu, W., Dan, Z., Sun, Z., Chang, H. and Zhou, L. (2021), “Improved Mechanical, Bio-Corrosion Properties and in Vitro Cell Responses of Ti-Fe Alloys as Candidate Dental Implants”, *Mater. Sci. Eng. C Mater. Biol. Appl.*, vol. 122. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33641910/>
14. Yamanoglu, R., Efendi, E., Kolayli, F., Uzuner, H. and Daoud, I. (2018), “Production and mechanical properties of Ti-5Al-2.5Fe-xCu alloy for biomedical applications”, *Biomed. Mater.*, vol. 13, no. 2. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-605X/aa957d>
15. Alipour, S., Taromian, F., Ghomi, E.R., Zare, M., Singh, S. and Ramakrishna, S. (2022), “Nitinol: From Historical Milestones to Functional Properties and Biomedical Applications”, *Proc. Inst. Mech. Eng. H.*, vol. 236, no. 11. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36121059/>
16. Marin, E. and Lanzutti, A. (2024) “Biomedical Application of Titanium Alloys: A Comprehensive Review”, *Materials*, vol. 17, no. 1. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/1/114>
17. 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. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2020/17/mateconf_ti2019_01004.pdf
18. Jackson, M. (2019), “Titanium Research Development in the United Kingdom”, *14th World Conference of Titanium*, Nantes, France, 10-14 June 2019. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2020/17/mateconf_ti2019_01006/mateconf_ti2019_01006.html
19. 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>

20. 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>

Стаття надійшла до редакції 24.09.2024 р.

Рецензовано 20.11.2024 р.

Опубліковано 30.11.2024 р.

Дослідження виконано за кошти НАН України в рамках виконання наукового проєкту “Інноваційна модернізація перспективних галузей промисловості України у повоєнний період на основі існуючого науково-технічного, виробничого та ресурсного потенціалу” (номер державної реєстрації 0123U102325).