



ТИТАНУ СПЛАВИ — сплави на основі **титану**, що містять легувальні елементи, які додають з метою покращення технологічних, експлуатаційних та ін. характеристик. Нелегований титан ВТ 1-00 має максимальний вміст домішок (0,05C-0,04N-0,1O₂-0,15Fe-0,08Si) та відносно невисоку міцність ($\sigma_b=250\text{—}450$ МПа), високу пластичність ($\delta=50\text{—}60$ %, $\psi=70\text{—}90$ %), зварюваність і технологічність при обробленні тиском. Легування та методи термічного оброблення дозволяють суттєво підвищити механічні характеристики титану, що обумовлює ефективність застосування Т. с. для різного призначення. У зв'язку з невисокою густиною, що для Т. с. змінюється в межах $\rho=4,3\text{—}4,8$ г/см³, вони мають переваги перед більшістю металевих сплавів за характеристиками питомої міцності. Основними перевагами Т. с. є висока питома міцність (відношення міцності до густини), яка є найвищою серед усіх металевих матеріалів, висока корозійна стійкість у багатьох агресивних середовищах. За рівнем міцності Т. с. поділяють на маломіцні ($\sigma_b \leq 650$ МПа), середньої міцності ($\sigma_b=700\text{—}1000$ МПа) та високоміцні ($\sigma_b \geq 1000$ МПа); за технологією виготовлення — на деформовані, ливарні та порошкові; за призначенням — на конструкційні, жароміцні, корозійностійкі, криогенні та функціональні.

Легування титану ґрунтується на його поліморфізмі та здатності хімічних елементів впливати на температуру його $\alpha \rightleftharpoons \beta$ перетворення та утворювати тверді розчини й хімічні сполуки. Відповідно до впливу на поліморфізм титану всі легувальні елементи поділяють на α -стабілізатори, що підвищують температуру поліморфного перетворення титану (Al, Ga, In, C, N, O), β -стабілізатори — знижують температуру поліморфного перетворення (V, Nb, Mo, W, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) і нейтральні зміцнювачі (Zr, Sn, Hf, Ge). Т. с. класифікують за різними ознаками. За фазовим складом Т. с. поділяють на: α -сплави, псевдо- α -сплави, псевдо- β -сплави, β -сплави, сплави на основі інтерметалідів.

Основним легувальним елементом Т. с. є алюміній, який наявний практично в усіх сплавах. Це єдиний широко поширений метал, що стабілізує α -фазу. Він підвищує міцність, жароміцність, модуль пружності та одночасно знижує густину сплаву. Вміст алюмінію в Т. с. переважно в межах 2—6,5 %, оскільки при більш високих концентраціях у сплавах починає виділятися крихка TiAl-фаза. Іншими, найбільш поширеними легувальними елементами Т. с. є ванадій і молібден, що є ізоморфними β -стабілізаторами. Перевагою цих елементів є відсутність інтерметалідних фаз, евтектоїдних та перитектоїдних реакцій, які, за певних

умов, є причинами підвищення крихкості сплавів. Крім цих елементів, в промислових Т. с. як легувальні елементи також застосовують Nb, W, Si та меншою мірою — Cu, Ta, Ru, Pd, Co, B, Ni. Елементи впровадження — вуглець, кисень, азот, водень — є шкідливими домішками, що збільшують крихкість Т. с., однак кисень у невеликій кількості може бути застосований як легувальний елемент. У промислових Т. с. концентрація легувальних елементів переважно не виходить за межі твердих розчинів на основі α -Ti та β -Ti. Це не стосується сплавів на основі інтерметалідів, таких як, наприклад, алюмініди та нікеліди титану, де концентрація Al і Ni значно перевищує межі їх розчинності в титані.

α -сплави складаються з α -фази, стійкої до температури поліморфного перетворення. Вони мало чутливі до структурних змін і термічним обробленням не зміцнюються, тому їх піддають лише відпалу (переважно рекристалізаційному та для зменшення напружень), а зміцнення досягають легуванням твердого розчину і деформацією. Ці сплави мають малу або середню міцність ($\sigma_b=480\text{—}980$ МПа), високу пластичність ($\delta \geq 20\%$), гарну зварюваність і корозійну стійкість, малу схильність до холодноламкості. Псевдо- α -сплави також містять α -фазу, але в їхньому складі може бути невелика кількість елементів, що стабілізують β -фазу (наприклад, V і Mo). Ці сплави можуть загартуватися, але зміцнення металу при цьому є незначним, тому для них також використовують переважно відпал, інколи подвійний. Сплави характеризуються середньою міцністю ($\sigma_b \leq 1000$ МПа), задовільною пластичністю ($\delta \geq 10\%$), добре зварюються й обробляються різанням, піддаються штампуванню в холодному стані, мають високу термічну стабільність і корозійну стійкість у більшості агресивних середовищ. До сплавів цього класу зараховують жароміцні Т. с. Максимальну жароміцність і найвищі робочі температури (500—600 °C) мають складнолеговані псевдо- α -сплави ВТ18У, ВТ20 та ін.

Т. с. ($\alpha+\beta$)-класу у відпаленому стані можуть містити від 5 до 60 % β -фази. Великі можливості регулювання властивостей цих сплавів зумовлені їхньою здатністю до термічного зміцнення шляхом гартування та старіння. Вони добре деформуються в гарячому стані, їх зварюваність гірша, ніж α -сплавів. Механічні властивості сплавів цього класу змінюються в досить широких межах. Їхню міцність підвищують, збільшуючи коефіцієнт β -стабілізації. У термічно зміцненому стані ($\alpha+\beta$)-сплави мають високу міцність, що може становити $\sigma_b=1200\text{—}1400$ МПа при задовільній пластичності $\delta \geq 6\%$. Типовим представником цієї групи є титановий сплав ВТ6 (закордонні аналоги — Ti64, TC4). Його виробництво

становить понад 50 % від усього світового випуску титану. Для нього характерний цілий комплекс механічних, технологічних та службових властивостей високого рівня. Максимальна робоча температура сплаву становить 350—4000 °С. Його використовують у відпаленому (механічні характеристики становлять $\sigma_b=850\text{—}1000$ МПа, $\delta\geq 10\%$) і термічно зміцненому (після гартування і старіння — $\sigma_b=1050\text{—}1250$ МПа, $\delta\geq 6\%$) станах.

Псевдо- β -сплави належать до високолегованих Т. с., в яких сумарний вміст легувальних елементів доходить до 25 % і більше. Для них характерний високий вміст β -стабілізаторів, внаслідок чого структура цих сплавів у відпаленому стані представлена α -фазою і великою кількістю β -фази, а після гартування — винятково β -фазою. До переваг псевдо- β -сплавів належать висока технологічність у загартованому стані, що дає можливість здійснювати деякі операції оброблення тиском при кімнатній температурі; значний ефект термічного зміцнення, що забезпечує можливість підвищення міцності сплавів у 1,5—1,7 рази; висока в'язкість руйнування при високих показниках міцності; високий опір втоми; велика глибина гартування; мала схильність до водневої крихкості. Для отримання високої міцності $\sigma_b=1350\text{—}1500$ МПа використовують гартування і старіння, однак після такого оброблення вони мають доволі низькі характеристики пластичності $\delta\approx 4\%$. До недоліків псевдо- β -сплавів слід віднести невисоку термічну стабільність, через що їх не можна застосовувати при температурах, вищих за 3500 °С, погану зварюваність, схильність до ліквідації, чутливість до домішок впровадження, відносно високу густину і високу вартість.

Титанові β -сплави зі стабільною β -фазою можна отримати лише при великих концентраціях таких компонентів як: V, Mo, Nb, Ta. Але при цьому Т. с. втрачають свою основну перевагу — низьку щільність. Тому титанові сплави зі стабільною β -фазою не отримали широкого промислового застосування.

Серед сплавів на основі інтерметалідів титану найбільш широке застосування отримали алюмініди та нікеліди титану. Їх основою є інтерметалідні сполуки Ti_3Al (α_2 -фаза), $TiAl$ (γ -фаза) і Ti_2AlNb (орто-фаза). Ці сплави мають малу густину, високий модуль пружності, зберігають високу міцність до досить високих температур (до 800—900 °С), стійкі до окислення та займання, характеризуються високим співвідношенням міцність/густина. З алюмінідів титану виготовляють важливі вузли авіакосмічних двигунів нового покоління.

Нікелід титану, також відомий як нітинол, є інтерметалідним сплавом еквіатомного складу — 50Ni-50Ti, ат. %. Це високотехнологічний, функціональний матеріал, який має унікальні властивості — ефект пам'яті форми і надпружність. Ці властивості, у поєднанні з високими характеристиками корозійної стійкості, високою біологічною сумісністю і

низьким модулем пружності, зумовлюють ефективність використання нікеліду титану як медичних імплантатів (для ортопедії, травматології, судинної хірургії, стоматології), термочутливих датчиків, з'єднувальних елементів, різноманітних термомеханічних пристроїв та ін.

У 2000-х рр. фахівці Інституту електрозварювання та інших установ НАНУ розробили нові низьколеговані Т. с., що за своїми механічними характеристиками перевищують, а по зварюваності не поступаються сплавам серії ОТ (Ti-Al-M). Це сплави Т80 (Ti-2Al-1,2Fe-1,2Nb-0,6Zr) і Т90 (Ti-4Al-1,2Fe-1,2Nb-0,6Zr), що замінюють відповідно сплави ОТ4-1 і ОТ4 та перевершують їх за рівнем низьких властивостей та зварюваності, і (Ti-5Al-2,5Fe-3,5Nb-0,6Zr), який є аналогом.

Вихідною сировиною під час виробництва зливок Т. с. є титан губчастий і легувальні компоненти. Оскільки густина й температура плавлення легувальних може суттєво відрізнятись від аналогічних характеристик титану, їх вводять у шихту у вигляді сплавів-лігатур, характеристики яких близькі до титану.

Основним промисловим методом виробництва зливок Т. с. є вакуумно-дуговий переплав. Згідно цього методу з титану губчастого і лігатури, шляхом пресування, виготовляють витратні електроди, що потім переплавляють у зливки у вакуумно-дугових печах. Для досягнення необхідного рівня однорідності Т. с. використовують подвійний (інколи потрійний) переплав. Отримані зливки піддають термомеханічному обробленню з отриманням напівфабрикатів у вигляді поковок, плит, листів, прутків, труб, профілів та ін. Окрім вакуумно-дугового переплаву, зливки Т. с. виплавляють в електронно-променевих, вакуумно-індукційних, електрошлакових і плазмово-дугових печах. Значний вплив на фізико-механічні характеристики виробів із Т. с. мають технології їх виплавлення та зварювання.

Дослідження та розроблення технологій металургійних і зварювальних процесів щодо Т. с. було розпочато в Інституті електрозварювання у 1960-х рр. під загальним керівництвом **Б. Патона**. Різні напрями цих досліджень очолювали **Б. Мовчан**, **С. Гуревич**, **О. Тихоновський**, **Г. Григоренко**, **В. Замков**, **Я. Компан**, **В. Топольський**, **М. Тригуб**. Продовжують дослідження та розроблення нових технологій **С. Ахонін**, **В. Шаповалов**, **В. Нестеренков**, **І. Протоковилів**, **В. Березос**, **В. Белоус** та ін.

Було встановлено закономірності випаровування легувальних елементів із Т. с., фізико-металургійні та технологічні основи отримання та оброблення Т. с. необхідного хімічного складу. Розроблено технології електрошлакового, електронно-променевого та комбінованого переплаву, а у 1980-х рр. — технологію електронно-променевого плавлення з проміжною ємністю титану та сплавів на його основі (**О. Тихоновський**, **М. Тригуб** та ін.). Плавлення здійснюють у вакуумі 0,1—0,01 Па, що практично виключає додаткове

забруднення титану газовими домішками, дозволяє використовувати як вихідну шихту до 100 % титанового брухту, а також губчастий титан і легувальні компоненти без їх попереднього пресування у витратний електрод, забезпечує очищення металу від шкідливих домішок і неметалевих включень.

Електронно-променевий переплав із порційною подачею рідкого металу застосований для виготовлення злитків Т. с. BT1-0, BT1-00, BT3-1, BT6, BT8, BT14, BT20, BT22, ПТ3В, ПТ7М, Grade1, Grade2, Grade5 та ін. максимальним діаметром до 840 мм та довжиною до 3000 мм. Розроблено Т. с. T80 (Ti-2Al-1,2Fe-1,2Nb-0,6Zr) і T90 (Ti-4Al-1,2Fe-1,2Nb-0,6Zr), які замінюють сплави серії ОТ системи Ti-Al-Mn і перевершують їх за рівнем механічних властивостей і зварюваності; СП15 (Ti-4,5Al-2,7Mo-2,7V-3Nb-2Zr), який можуть застосовувати для виробництва високонавантажених виробів, що використовують в агресивних середовищах; ТМ1 (Ti-3,5Al-5Nb-3Zr) та ТМ2 (Ti-5Al-6Nb-2Fe-0,6Zr) — сплави медичного призначення, розраховані на різний рівень міцності; Т110 (Ti-5Al-1Mo-1V-5Nb-1Fe-0,3Zr) — сплав, який за технологічністю, зварюваністю та працездатністю в умовах циклічних навантажень є кращим, ніж сплав BT22, що також використовують в авіації; Т120 (Ti-5Al-2V-2,7Mo-4Nb-2,7Zr-1Fe-1,2Cr) — складнолегований ($\alpha+\beta$)-сплав з високим комплексом механічних і експлуатаційних властивостей і гарною зварюваністю.

Для реалізації розроблених технологічних процесів було сконструйовано та виготовлено промислові електронно-променеві установки. 2004 введено в експлуатацію універсальну багатоцільову установку УЕ-5810 з продуктивністю 1,5 тис. т на рік, що не має аналогів у світі (С. Ахонін, М. Тригуб). Установка дозволяє виплавляти зливки Т. с. круглого (діаметром до 1200 мм) і прямокутного (1300×400 мм) перерізів довжиною до 4000 мм, а також проводити оплавлення поверхні отриманих зливок. На базі цих розробок створено державне підприємство «Науково-виробничий центр "Титан"», виробничі потужності якого дозволяють випускати до 3000 т зливок Т. с. на рік за технологією електронно-променевого плавлення з проміжною ємністю.

Для поверхневого оброблення злитків, уражених дефектами, розроблено технологію оплавлення електронними променями та створено відповідне обладнання для її реалізації, що збільшує вихід придатного металу до 15 % залежно від розмірів зливка.

Уперше у світовій практиці були виготовлені безшовні титанові труби довжиною до 9000 мм з трубної заготовки, отриманої методом ЕЛП, і запропонована технологія виготовлення таких труб безпосередньо з литої заготовки діаметром 200 мм, а також показано високу якість отриманих виробів. Крім виплавки титанових сплавів для подальшого виробництва

прокату або поковок, уперше у світовій практиці розроблено технологію виготовлення з порожнистих зливок великогабаритних титанових труб і кілець безпосередньо з литих трубних заготовок, що впроваджена 1998—2000 на [Нікопольському південнотрубному заводі](#) (Дніпропетровська обл.).

Високу хімічну однорідність та більш дрібну структуру зливок Т. с. забезпечує розроблена технологія магнітокерованої електрошлакової плавки (Я. Компан, І. Протоковілов). Це досягається за рахунок гідродинамічного впливу на розплави шлакової та металевий ванн зовнішнім магнітним полем, що дозволяє отримувати зливки складнолегованих Т. с. з підвищеним комплексом механічних властивостей.

Вироби із Т. с. отримують також технологіями порошкової та гранульної металургії, а також 3D-друку. Ці методи дають можливість більш ефективно, ніж при традиційних технологіях, застосовувати дисперсне зміцнення твердих розчинів Т. с., отримувати метал з гетерогенною структурою та наддрібним кристалічним зерном.

Розроблено екологічно чисту технологію та створено обладнання для отримання злитків титану та його сплавів з первинної шихти та вторинних відходів, а також для утилізації та регенерації кольорових та дорогоцінних металів методом електронно-променевої плавки (В. Шаповалов), електрошлакова та порційна електрошлакова вилівка злитків (зокрема й багатотоннажних, масою до 200 т) з отриманням різноманітних металів, феросплавів та лігатур (Ф. Біктагіров).

Особливості зварювання Т. с. пов'язані зі здатністю титану при температурах, вищих за 400 °С, активно взаємодіяти з киснем, азотом та воднем, що призводить до погіршення механічних властивостей зварного шва. Найпоширенішим способом зварювання Т. с. є аргонодугове, також застосовують лазерне, електронно-променеве, дифузійне зварювання. Для зварювання Т. с. розроблено низку технологічних процесів, що не мають аналогів у світі, зокрема: аргонодугове зварювання з присадковим порошковим дротом по шару активуючого флюсу (В. Замков), аргонодугове зварювання у вузький зазор магнітокерованою дугою (В. Прилуцький), електрошлакове зварювання виробів з Т. с. великих товщин у магнітному полі (Я. Компан). Комбінуючи хімічний склад сплаву і режими термооброблення, можна досягти потрібного балансу між міцністю, пластичністю, вагою, жароміцністю та іншими службовими характеристиками Т. с. 2003 на основі методу попереднього пружного деформування розроблено принципову технологію бездеформаційного зварювання таврових з'єднань у тонколистових ребристих панелях із титанового сплаву BT-20. При цьому забезпечені високі характеристики втоми та міцності з'єднань (Л. Лобанов, В. Павловський). Для отримання алюмінієво-титано-сталевих композитів та з'єднань багатоцільового призначення створено

технологію зварювання вибухом та зварювання з біметалевими вставками (В. Кудінов).

1956 велике промислове виробництво титану розпочато на Дніпровському магнієвому заводі (згодом добудовано та реорганізовано в [Запорізький титаномagneзійовий комбінат](#), до складу якого введено Сіверськодонецький хіміко-металургійний завод). Для промислової реалізації розроблених технологій створено установки електронно-променевого переплаву із проміжною ємністю, які дозволяють отримувати зливки титанових сплавів діаметром до 1100 мм та довжиною до 4000 мм.

У процесі виготовлення виробів із Т. с. кількість відходів у вигляді обрізу та стружки може сягати 70 %. Можливості утилізації цих відходів при вакуумно-дуговому переплаві дуже обмежені та не перевищують 20—30 %. У 1980-х рр. в Інституті електрозварювання (О. Тихоновський, М. Тригуб, А. Дереча, С. Ахонін та ін.) та ЦНДІ «Прометей» (Ленінград; С. Ушков, А. Кудрявцев, В. Леонов, А. Орищенко) створено технології електронно-променевого плавлення (ЕЛП) із проміжною ємністю.

Т. с. застосовують як конструкційний матеріал в авіаційній і космічній техніці, енергетиці, хімічній промисловості, медицині, судно- та автомобілебудуванні, під час виготовлення спортивного інвентаря тощо. Так, у 1980-х рр. близько 60—65 % світового випуску титану використовували в авіаракетобудуванні й космічній промисловості, до 15% — у хімічному машинобудуванні, до 10 % — в енергетиці, до 5 % — у суднобудуванні. На медицину припадає близько 10—15 % Т. с., на вітчизняний BT5-1 і подібний закордонний сплав Ti-SAl-2,5Sn — 20 % всього виробництва Т. с. Із нього виготовляють всі види напівфабрикатів, що отримують обробленням тиском: листи, полоси, плити, штамповки та ін.

Одним з найважливіших споживачів Т. с. в Україні є аерокосмічна промисловість. З Т. с. виготовляють корпуси штучних супутників Землі, конструкції космічних апаратів та орбітальних станцій тощо. Важливі ракетні конструкції з Т. с. добре витримують динамічні навантаження, мають достатню жаростійкість та жароміцність. Фахівцями Інституту електрозварювання, Південного машинобудівного заводу (Дніпропетровськ, нині Дніпро) та низки інших організацій створено технології: зміцнюючого термічного оброблення і зварювання великогабаритних заготовок з титанових сплавів BT3-1 для корпусів соплового блоку, кришок, фланців та ін. вузлів.

У конструкціях пасажирських літаків маса деталей із Т. с. в середньому становить 8—9 % маси планера, у реактивних надзвукових літаках сягає понад 50 %. З Т. с. виготовляють силові конструкції фюзеляжу, підкоси, вилки й циліндри шасі, кронштейни системи управління, деталі механізації крила, диски й лопатки компресорів двигунів, вантажні доріжки настилу, трубопроводи, теплообмінники, компенсатори та інші елементи та

вузли літаків. Наприклад, у літаку «Боїнг-777» (США) близько 67 деталей складається з титанових сплавів.

На підставі досліджень Інституту електрозварювання та Авіаційного науково-технічного комплексу імені О. Антонова (обидва — Київ) розроблено високоміцний Т. с. T-110 (Ti-5Al-1Mo-1V-5Nb-1Fe-0,3Zr), який за технологічністю, зварюваністю й працездатністю в умовах циклічних навантажень має кращі характеристики, ніж сплав BT22, що раніше використовували у літакобудуванні, і впроваджений у виробництво лайнерів Ан-70 і Ан-148. У 2000-х рр. Інститут електрозварювання передав Харбінському інституту зварювання та Пекінському інституту авіаційних технологій (обидва — Китай) документи на виробництво, зварювання, наплавлення та напилення титану та Т. с.

У суднобудуванні Т. с. використовують для створення корпусів підводних апаратів, гребних валів і гвинтів, підводних крил, корпусів яхт і судів малого каботажу, елементів морських платформ та іншого обладнання, що працює у морській воді. Найбільшими у світі зварними конструкціями з Т. с. були міцні корпуси важких підводних ракетних крейсерів стратегічного призначення проєкту 941, шифр «Акула» (водотоннажність 28 500 т, довжина 172,8 м, ширина 23,3 м), що побудовані за технологіями Інституту електрозварювання і ЦНДІ «Прометей». У 1980-х рр. освоєно виробництво біметалевих листів шляхом гарячої прокатки заготовок. Найкращим конструкційним матеріалом є композиція: сталь + титан, тобто сталь, плакована (покрита) титаном. Так, з таких сплавів товщиною 200—250 мм на Феодосійському суднобудівному заводі «Море» (нині АР Крим) були виготовлені крильові пристрої для морських суден на підводних крилах: пасажирських — «Ракета», «Комета», «Восход-2», торпедні катери проєктів 184 і 125.

Близько 1—3 % Т. с. використовують для виробництва спортивного інвентаря (велосипеди, туристичне спорядження, гольф-клуби тощо) і товарів народного споживання (мобільні телефони, годинники тощо). Завдяки високій корозійній стійкості та м'якому сірому кольору титан почали застосовувати в мистецтві, декорації інтер'єрів, будівництві. З Т. с. виготовляють броню легкої техніки й авіаційну броню, щити артилерійських знарядь, бронежилетів та ін. В автомобільній промисловості Т. с. займають відносно невелику частку (біля 1—2 %), але їх використання зростає, що сприяє підвищенню ефективності автомобілів.

З Т. с. виробляють устаткування атомних електростанцій: теплообмінники і трубопроводи, трубопровідну арматуру, корпуси хімічних реакторів, ємності, опріснювальні установки та ін. У хімічній, харчовій промисловостях зі сплавів титану випускають реактори, трубопроводи, насоси, трубопровідну арматуру, опріснювальні установки та ін.

Т. с. використовують в ортопедії (ендопротези),

стоматології (імпланти) та кардіології завдяки біосумісності та стійкості до корозії. З них виготовляють інвалідні візки й медичний інструмент. Для виробництва ендопротезів, потреб стоматології та медичного інструменту розроблені спеціальні титанові сплави системи Ti-Al-Nb-Zr. Нитинол, який має пам'ять форми, застосовують для розширення вен та ін. У харчовій промисловості доцільним є використання титану і його сплавів в апаратурі для перероблення харчових продуктів (автоклавах, реакторах, колонах, центрифугах тощо).

Феротитан (сплав титана з залізом, що містить 18—25 % титана) постачають для потреб чорної металургії для розкислення сталі та видалення розчинених у ній небажаних домішок (сірка, азот, кисень).

Рекомендована література

1. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. К., 1978;
2. Шеленков Г. М., Блащук В. Е., Мелехов Р. К. и др. Изготовление и эксплуатация оборудования из титана. К., 1984;
3. Блащук В. Е., Боева Г. Е., Лангер Н. А. Применение аргонодуговой сварки с электромагнитным перемешиванием при изготовлении химической аппаратуры из титановых сплавов // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. К., 1985;
4. Латаш Ю. В., Константинов В. С., Галкин П. Н. и др. Применение плазменно дуговой технологии при выплавке слитков титана из отходов титанового производства // Пробл. спец. электрометаллургии. 1985. № 3;
5. Гуревич С. М., Замков В. Н., Блащук В. Е. и др. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов. К., 1986;
6. Блащук В. Е., Оноприенко Л. М., Шеленков Г. М. и др. Плазменная сварка титановых сплавов // Автоматическая сварка. 1993. № 3;
7. Замков В. Н., Прилуцкий В. П., Новиков Ю. К. Достижения в области технологии сварки титана // Там само. 1993. № 5;
8. Блащук В. Е., Замков В. Н., Оноприенко Л. М. и др. Влияние технологии изготовления полуфабрикатов из титанового сплава АТЗ на коррозионную стойкость сварных соединений // Там само. 1994. № 1;
9. Titanium 95. Science and Technology // Proc. 8th World Conf. on Titanium. 1995;
10. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. и др. Некоторые тенденции развития металлургического передела титана // Пробл. спец. электрометаллургии. 1996. № 1;
11. Introduction of titanium and its alloys // Metallurgia. 1997. № 3;
12. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Козлитин Д. А., Ахонин С. В. и др. Электронно-лучевая плавка. К., 1997;
13. Titanium 99. Science and Technology // Proc. Ninth Conf. on Titanium. Saint-Peterburg, 1999;
14. H. Fujii, K. Takahashi. Development of high performance Ti Fe Al alloy series // Nippon Steel Technical Report № 85. 2002. № 1;
15. Titanium and Titanium Alloys. Fundamentals and Applications. Wiley VCH Verlag GmbH & Co, 2003;
16. Тур А. А. Металлургия титана. К., 2003;
17. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В. Перспективные технологии электронно-лучевой плавки титана // Титан. 2003. № 2;
18. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Жук Г. В. и др. Получение полых титановых слитков методом ЭЛПЕ // Современная электрометаллургия. 2004. № 3;
19. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В., Давыдов С. В. Получение титановых слитков из недробленых блоков губчатого титана методом электронно-лучевой плавки // Титан. 2005. № 2;
20. Ивасишин О. М., Саввакин Д. Г., Бондарева К. А. и др. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного промышленного применения // Наука та інновації. 2005. Т. 1, № 2;
21. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В., Жук Г. В. Электронно-лучевая плавка титана. К., 2006;
22. Тригуб Н. П., Ахонин С. В., Жук Г. В. и др. Электронно-лучевая плавка недробленых блоков губчатого титана // Современная электрометаллургия. 2006. № 4;
23. Фирстов С. А., Ткаченко С. В., Кузьменко Н. Н. Титановые «чугуны» и титановые «стали» // Металловедение и термическая обработка металлов. 2009. № 1;
24. B. E. Paton, M. P. Trygub, S. V. Akhonin. Electron Beam Melting of Titanium, Zirconium and Their Alloys. Kyiv, 2011;
25. Григоренко С. Г., Григоренко Г. М., Задорожнюк О. М. Интерметаллиды титана. Особенности, свойства, применение // Современная электрометаллургия. 2017. № 3;
26. Протокилов И. В., Назарчук А. Т., Петров Д. А., Порохонько В. Б. Технологические и металлургические особенности выплавки слитков титановых сплавов в электрошлаковых печах камерного типа // Там само. 2018. № 2;
27. Ахонин С. В., Березос В. А., Белоус В. Ю. Новые перспективные сплавы на основе титана // Там само. 2019. № 3;
28. Ковальчук Д. В., Мельник В. Г., Мельник І. В., Тугай Б. А. Технологія xBeam 3D Metal Printing на шляху до промислового виробництва // Сучасна електрометалургія. 2020. № 3;
29. Ворон М. М., Шваб С. Л., Селін Р. В. Сучасні підходи в розробці біосумісних титанових сплавів з підвищеним рівнем експлуатаційних властивостей // Метал та

лиття України. 2022. № 2;

30. Розвиток титанової та алюмінієвої промисловості України на інноваційній основі: перспективи та обмеження. К., 2024;

31. Олефір В. Перспективи застосування металевого

титану в медицині // Наук. вісник Міжнар. асоціації науковців. Сер. Економіка, управління, безпека, технології. 2024. № 3.

І. В. Протоковілов

Бібліографічний опис:

Титану сплави / І. В. Протоковілов // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / Редкол.: І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. — К. : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2025. — Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-891968>

2001-2025 © Ця енциклопедична стаття захищена авторським правом згідно з чинним законодавством України ([докладніше](#)).