



**АХОНІН**

**Сергій Володимирович** — член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу металургії та зварювання титанових сплавів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ТИТАНУ В УКРАЇНІ

За матеріалами наукової доповіді на засіданні  
Президії НАН України 13 березня 2019 року

*У доповіді наведено огляд розвитку металургії титану в Україні, яка є однією з п'яти країн світу, що мають повний цикл виробництва титану: від видобутку руди до виготовлення напівфабрикатів. Металургійне виробництво зливків титану в Україні засновано на вітчизняній технології електронно-променевої плавки, яка гарантує високу якість зливків масою до 20 т та забезпечує високі техніко-економічні показники процесу плавки. Наведено результати досліджень зі створення нових титанових сплавів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Розглянуто основні напрями подальшого розвитку титанової промисловості, пов'язані з організацією на підприємствах України конкурентоспроможного на світових ринках виробництва напівфабрикатів титанових сплавів: поковок, прутків, труб, а також титанових порошків і дротів, які є вихідними матеріалами для перспективних адитивних технологій 3D-друку.*

**Ключові слова:** титан, електронно-променева плавка, виробництво, напівфабрикати титанових сплавів, якість.

Прогрес сучасної техніки значною мірою залежить від застосування конструкційних матеріалів з більш високими експлуатаційними властивостями. До таких металевих матеріалів належить титан та сплави на його основі.

Завдяки високій питомій міцності сплави на основі титану широко застосовують в авіа- і ракетобудуванні, виробництві військової техніки. При цьому, наприклад, у планері сучасних літаків масова частка титанових сплавів постійно зростає. Так, якщо в літаках Airbus серії A320 частка титану становила лише 3% загальної маси літака, то в перспективному літаку A350 частка титану зросла до 13%. Це зумовлено широким використанням у літаках нового покоління композиційних матеріалів замість алюмінієвих сплавів, а титан за високої питомої міцності не взаємодіє з вуглепластиками. Загалом для виробництва всіх замовлених на сьогодні літаків фірм Boeing і Airbus протягом найближчих 10 років потрібно понад 430 тис. т титанових напівфабрикатів.

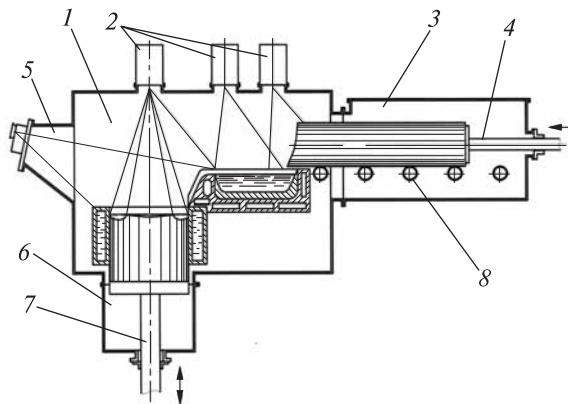
Корозійна стійкість титану зумовлює також його широке використання в хімічному та енергетичному машинобудуванні, у виготовленні морської техніки. Перспективним є застосування титану в теплообмінній апаратурі опріснювальних і атомних енергетичних установок, а також при видобутку нафти і газу на шельфах морів та океанів. Відмінна сумісність титану з біологічними тканинами визначає широке коло його застосувань у виробництві ендопротезів та імплантатів. Отже, останніми роками ринок титану характеризується стійким зростанням попиту на 6–8% щороку.

Україна є однією з п'яти країн світу, які мають повний цикл виробництва титану: від видобутку титановмісних руд, їх збагачення і виробництва губчастого титану до виплавки зливоків титанових сплавів і виробництва широкого спектру титанових напівфабрикатів: відливок, поковок, прутків та труб.

Основні родовища титановмісних руд сконцентровані в Дніпропетровській та Житомирській областях. Їх збагачення здійснюють на Вільногірському гірничо-металургійному комбінаті та Іршанському гірничо-збагачувальному комбінаті відповідно. Ці комбінати не лише повністю забезпечують сировиною українських виробників губчастого титану та пігментного діоксиду титану, а й поставляють титанові концентрати на експорт.

Металевий губчастий титан в Україні виробляють на Запорізькому титаномагнієвому комбінаті (ЗТМК) з використанням технології плавки ільменітових концентратів в електродугових печах з отриманням титанових шлаків з вмістом  $TiO_2$  як у рутилових концентратах, причому вартість таких шлаків приблизно в 1,5 раза нижча, ніж вартість рутилу.

Наступний процес хлорування шлаків у розплаві солей, який не має аналогів у світовій практиці, дозволяє достатньо повно і швидко перевести титан зі стійкої оксидної форми у хлориди та відокремити більшу частину шкідливих домішок. Основним етапом виробництва губчастого титану є відновлення тетрахлориду титану ( $TiCl_4$ ) магнієм з подальшою вакуумною сепарацією отриманого блока



**Рис. 1.** Схема електронно-променевої установки: 1 – камера плавки; 2 – електронні гармати; 3 – камера заготовки; 4 – механізм подачі заготовки; 5 – система спостереження; 6 – камера зливка; 7 – механізм витягування зливка; 8 – рольганг

губчастого титану від залишків магнію і хлористого магнію. На сьогодні на ЗТМК освоєно виробництво блоків губчастого титану масою 0,7 і 3,8 т за цикл і виплавку зливоків титану на електронно-променевої установці, розробленій в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

В електронно-променевих установках процес плавлення титану відбувається у високому вакуумі (тиск залишкових газів підтримують у діапазоні 0,01–1,00 Па) під дією прискорених до швидкостей понад 100 км/с електронів, потоки яких генеруються спеціальними приладами, так званими «електронними гарматами» (рис. 1). Губчастий титан подається до проміжної ємності, де відбуваються процеси плавлення, усереднення хімічного складу та рафінування титану від шкідливих домішок. Накопичений розплавлений титан зливається до мідного водоохолоджуваного прохідного кристалізатора круглого або прямокутного перетину, де формується зливок потрібної форми (рис. 2).

Хоча технологія вакуумно-дугового переплаву (ВДП) титану є традиційним і найпоширенішим у промисловості способом отримання зливоків титану і сплавів на його основі, останнім часом у металургії титану все більше засто-



**Рис. 2.** Процес плавлення з губчастого титану зливка діаметром 600 мм

совують технологію електронно-променевої плавки з проміжною ємністю (ЕПП). У Китаї сьогодні експлуатуються 12 промислових електронно-променевих установок потужністю понад 1 МВт кожна (ще дві перебувають на стадії будівництва), у США — 8, в Україні — 8 (ще одна зараз будується), в Японії — 3, по одній електронно-променевої установці мегаватного класу є в Євросоюзі та Казахстані.

Така поширеність технології електронно-променевої плавки з проміжною ємністю зумовлена, з одного боку, хорошою якістю отриманого металу, а з другого — високими техніко-економічними показниками процесу, особливо в разі виплавки зливків-слябів прямокутного перетину. Використання зливків-слябів дозволяє виключити з технологічного ланцюжка отримання титанового прокату капіталомістку та енерговитратну операцію перековування циліндричних зливків на сляби.

Важливою проблемою у виробництві титанових зливків і напівфабрикатів є видалення

з металу тугоплавких включень з підвищеним вмістом стабілізуючих  $\alpha$ -фази домішок втілення: азоту, кисню і вуглецю, які складаються з твердих частинок  $\alpha$ -титану, насичених цими домішками, а також з хімічних сполук цих елементів з титаном: нітридів, оксидів і карбідів [1]. Крім того, серйозну проблему у зливках титану становлять включення, утворені хімічними сполуками з великою густиною та високою температурою плавлення. Джерелами їх утворення, як правило, є уламки різального інструменту, які містять карбіди тугоплавких металів (WC, MoC та ін.) і потрапляють до металу разом із шихтовими компонентами, найчастіше зі стружкою [2]. Такі включення дуже тверді й крихкі, а тому є концентраторами напружень та джерелами виникнення втомних тріщин, які можуть призводити до руйнування титанових деталей відповідального призначення з катастрофічними наслідками.

Одним з основних механізмів видалення тугоплавких включень із титану є їх гравітаційне осадження: в процесі плавлення рідкий метал у проміжній ємності тече горизонтально, тоді як включення з більшою густиною, ніж у рідкого титану, під дією сили тяжіння опускаються вниз, осідають на поверхню гарнісажу і вмерзають у нього, тобто практично всі тугоплавкі включення, за винятком діоксиду титану, осідають на дно проміжної ємності і видаляються з розплаву.

Проведені експериментальні [3] і теоретичні [4] дослідження процесів осадження тугоплавких неметалевих включень з розчину титану під час ЕПП дали змогу визначити особливості руху таких включень у течії рідкого титану вздовж проміжної ємності та відстежити їх шлях аж до остаточного осадження (рис. 3). Слід зазначити, що ця відстань залежить від хімічного складу включення і обернено пропорційна розміру включення.

Хоча температура плавлення діоксиду титану, як і інших тугоплавких включень, істотно перевищує температуру плавлення титану, при потраплянні таких включень у розплав титану починається процес їх розчинення. Цей механізм розчинення було вивчено як експеримен-

тально [5], так і теоретично [6, 7], і встановлено, що він зумовлений процесами дифузії домішок втілення (азот, кисень, вуглець) з об'єму включення до розплаву.

Дослідження показали, що характер розчинення тугоплавких включень істотно залежить від температури розплаву. Наприклад, при перегріванні розплаву титану на  $59^\circ\text{C}$  вище від температури плавлення титану частинка  $\alpha$ -титану розчиняється практично зі сталою швидкістю (швидкість переміщення міжфазної поверхні становить близько  $28\text{ мкм/с}$ ), тоді як при перегріванні на  $9^\circ\text{C}$  швидкість розчинення такої частинки є нелінійною: на початковому етапі розміри включення залишаються практично незмінними, але потім починають зменшуватися з наростаючою швидкістю аж до повного розчинення (рис. 4). Було визначено також час повного розчинення включень для твердих частинок різного хімічного складу і розмірів.

Отже, дослідження процесів розчинення тугоплавких включень (частинки  $\alpha$ -титану, нітриду, карбіду або оксиду титану) в рідкому титані дозволило розрахувати швидкість їх розчинення і визначити час повного розчинення таких включень залежно від хімічного складу і початкових розмірів. Встановлені закономірності руху тугоплавких частинок та їх розчинення в рідкому титані дають змогу визначити оптимальні габарити проміжної ємності та розрахувати швидкість плавки, що гарантує видалення тугоплавких включень з розплаву титану під час ЕПП.

Технологія ЕПП забезпечує не тільки високий ступінь очищення від шкідливих домішок і неметалевих включень, а й значне поліпшення структури зливка. Це зумовлено розділенням процесів плавлення і рафінування металу в проміжній ємності та твердіння металу в кристалізаторі.

Як свідчать результати розрахунків за математичними моделями теплових процесів у зливку титану при ЕПП [8], змінюючи потужність електронно-променевого нагріву вільної поверхні розплаву в кристалізаторі і швидкість плавки, можна змінювати об'єм ванни рідкого

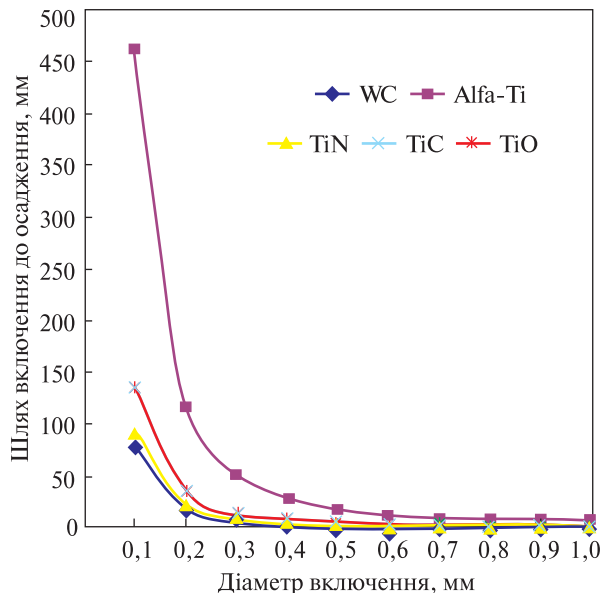


Рис. 3. Залежність відстані, яку долають частинки тугоплавких включень до осадження на поверхню гарнісажу, від їх розмірів

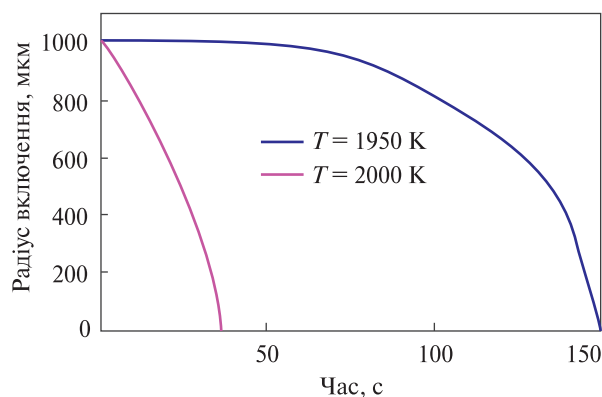
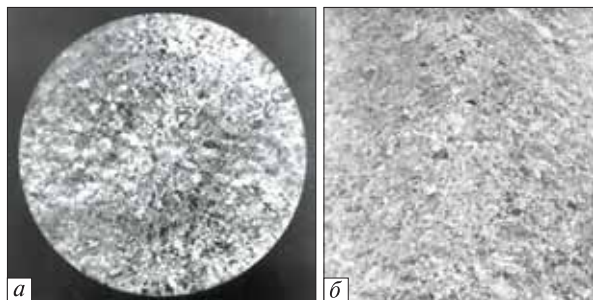
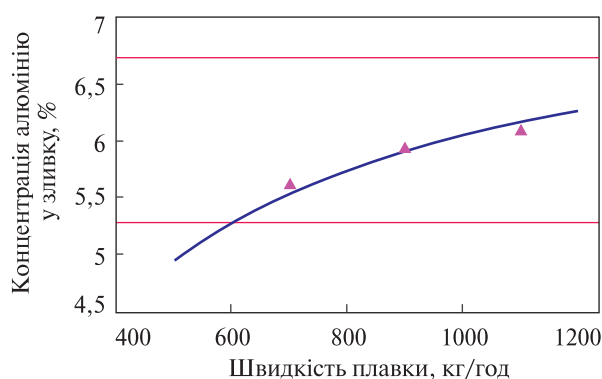


Рис. 4. Залежність радіуса включення  $\alpha$ -титану від часу перебування в розпаві

металу і форму фронту кристалізації, керуючи в такий спосіб формуванням структури зливка. Проведені натурні експерименти з виплавки зливок титану на різних технологічних режимах показали високий ступінь адекватності побудованих моделей і підтвердили можливість отримання зливок титану та його сплавів з дрібнодисперсною рівноважною структурою



**Рис. 5.** Макроструктура зливка титанового сплаву ВТ6 у поперечному (а) і поздовжньому (б) перерізах



**Рис. 6.** Залежність вмісту алюмінію в зливку ЕПП сплаву ВТ6 від швидкості плавки (суцільна лінія — розрахунок, точки — експеримент)

у плавках з оптимальними технологічними параметрами (рис. 5).

Під час виплавляння зливків титанових сплавів методом ЕПП постає проблема забезпечення заданого хімічного складу металу. Це спричинено тим, що при ЕПП легуючі елементи з пружністю пари, що перевищує пружність пари титану, випаровуються інтенсивніше, ніж при ВДП. До таких елементів належать алюміній, хром, марганець та ін. Однак насамперед ця проблема стосується алюмінію, оскільки він є легуючим елементом практично всіх титанових сплавів.

Проведені в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона фундаментальні дослідження процесів випаровування компонентів сплавів з розплаву у вакуумі в умовах нагрівання поверхні електронним променем дозволили

побудувати математичні моделі процесів випаровування компонентів сплавів при ЕПП [8, 9], які встановлюють залежність концентрації легуючих елементів у титановому зливку від технологічних параметрів плавки і концентрації цих елементів у витратній заготовці.

Використання цих моделей дає змогу прогнозувати хімічний склад зливків титанових сплавів, що виплавляються, і забезпечити отримання зливків з гарантованим хімічним складом. Компенсація втрат компонентів сплавів з високою пружністю пари при ЕПП здійснюється додатковим легуванням цими елементами вихідної шихтової заготовки.

На прикладі випаровування алюмінію з розплаву титанового сплаву Ti-6Al-4V (ваг. %) у вакуумі з використанням математичної моделі було визначено залежність вмісту алюмінію в зливку від швидкості плавки. Порівняння даних експериментальних плавок зливків титанового сплаву Ti-6Al-4V з одержаними залежностями показали високу точність побудованої математичної моделі для реального процесу випаровування алюмінію при ЕПП (рис. 6).

Ґрунтуючись на результатах досліджень, проведених в Інституті, було розроблено технологію електронно-променевого плавлення титанових сплавів, яка забезпечує гарантоване видалення тугоплавких включень, дрібнозернисту структуру зливка, однорідність розподілу легуючих елементів в об'ємі зливка. За розробленою технологією як вихідну шихту можна використовувати до 100 % брухту титану та губчастий титан без його попереднього пресування у витратний електрод.

Розроблена технологія дозволяє отримувати не лише традиційні промислові титанові сплави, відомі з минулого століття, а й нові складнолеговані високоміцні титанові сплави конструкційного призначення та жароміцні титанові сплави з дисперсійним зміцненням силіцидами та інтерметалідами, які створюють учені НАН України [10, 11].

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона розроблено високоміцний титановий сплав Т110 (Ti-5Al-1Mo-1V-4Nb-2Fe-0,5Zr), який має межу міцності не менш як 1100 МПа

і за своїми механічними характеристиками, в тому числі втомними, перевищує показники одного з найкращих радянських титанових сплавів авіаційного призначення BT22 (Ti-5Al-5Mo-5V-1Fe-1Cr). На листи зі сплаву T110 оформлено технічні умови України ТУУ 27.4.05416923.071. Цей сплав використовують на практиці для бронезахисних елементів у конструкціях літальних апаратів.

Серед останніх розробок Інституту слід відзначити новий високоміцний двофазний ( $\alpha+\beta$ )-титановий сплав на основі 8-компонентної системи легування Ti-5Al-3Mo-2V-4Nb-1Cr-1Fe-2,5Zr (умовна марка T120) з межею міцності, не меншою за 1200 МПа, та відносним подовженням не менш як 12%. На цей сплав у 2016 р. отримано патент України. Характерною його особливістю є те, що він добре зварюється.

Для високоміцних титанових сплавів нового покоління, отриманих методом електронно-променевого плавлення, було відпрацьовано технологічні процеси гарячої деформаційної обробки, що дозволило встановити оптимальні технологічні параметри кування і прокатування, які забезпечують високу якість отриманих прутків та пластин. Макро- і мікроструктура деформованого за розробленими технологіями металу повністю відповідає галузевим вимогам промисловості до напівфабрикатів. Дослідження механічних властивостей заготовок з нових титанових сплавів показало, що їх експлуатаційні характеристики перевищують показники традиційних титанових сплавів на 10–20%.

За результатами проведеної роботи було встановлено, що електронно-променево плавлення є ефективним методом отримання якісних зливок високоміцних сплавів титану, а якість виготовлених з них напівфабрикатів відповідає всім вимогам стандартів.

Для реалізації розроблених технологій ЕПП титану та сплавів на його основі в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона було створено лінійку промислових електронно-променевих установок продуктивністю від 180 до 1500 т титанових зливок на рік. Усі ці уста-



Рис. 7. Промислова електронно-променева установка UE5810



Рис. 8. Зливки-сляби: а – титанового сплаву морського призначення ПТ7М; б – жароміцного титанового сплаву BT3-1 діаметром 840 мм та довжиною 3000 мм

новки оснащено вітчизняними термокатодними електронними гарматами «Патон-300» потужністю 300 кВт і прискорювальною напругою 30 кВ. Промислову електронно-променеву установку UE5810 загальною потужністю 2,5 МВт оснащено 7 електронними гарматами «Патон-300» і призначено для виплавлення зливок титану діаметром до 1100 мм та масою до 20 т (рис. 7).

Для практичної реалізації розроблених технологій на ДП «Науково-виробничий центр «Титан» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України» було організовано промислове виробництво зливок титанових сплавів у складі п'яти електронно-променевих установок власної конструкції. Продукція підприємства у вигляді зливок титану та сплавів на його основі діаметром від



**Рис. 9.** Напівфабрикати з титанових сплавів, виготовлених зі зливків, отриманих методом електронно-променевої плавки: *a* – поковка 1950×160 мм з жароміцного титанового сплаву ВТЗ-1; *б* – ковани прутки з титанового сплаву ВТ14; *в* – холоднокатані труби з титанового сплаву ПТ7М різного сортаменту

100 до 1100 мм і довжиною до 4 м постачається як вітчизняним заводам, так і за кордон. Крім зливків круглого перерізу, на цьому підприємстві освоєно виробництво зливків-слябів роз-

мірами 160×950×2000 мм з титанових сплавів морського призначення (рис. 8а).

Слід зазначити, що ДП «НВЦ «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона» є єдиним в Україні виробником великогабаритних зливків складнолегованих титанових сплавів, зокрема жароміцних (рис. 8б). Дослідження якості отриманих зливків показало, що структура литого металу щільна, кристалічна неоднорідність і зональна ліквіація відсутні. Розподіл легуючих елементів і по довжині, і по поперечному перерізу зливків рівномірний, а вміст домішкових елементів перебуває в межах стандартів. Дослідження якості напівфабрикатів у вигляді поковок, виготовлених із цих зливків, показали, що їх механічні властивості відповідають всім вимогам, які промисловість висуває до якості виробів із жароміцних титанових сплавів, у тому числі вимогам щодо ізотропності механічних характеристик поковок.

На металургійних та машинобудівних підприємствах України, які мають спеціалізоване обладнання, зі зливків титанових сплавів, отриманих методом ЕПП, організовано виробництво поковок, пресованих, кованих та катаних прутків, а також пресованих і холоднотягнутих труб, якість яких повністю відповідає вимогам вітчизняних та міжнародних стандартів (рис. 9). Дослідження структури і механічних характеристик цієї продукції показали, що вона відзначається підвищеною пластичністю порівняно з металом, отриманим за традиційною технологією ВДП. Це дозволило вирішити питання щодо імпортозаміщення напівфабрикатів з титану і сплавів на його основі для потреб підприємств України й організувати експортні поставки продукції до Європейського Союзу та інших країн світу.

В останні роки швидкими темпами розвивається виробництво деталей, зокрема з титанових сплавів, із застосуванням адитивних технологій (технологій 3D-друку), які полягають в отриманні виробів пошаровим наплавленням деталей під дією електронно-променевого, електродугового або лазерного нагріву за заданою цифровою тривимірною моделлю [12]. Ці технології дають змогу отримувати деталі, близькі

за формою до кінцевих виробів, при цьому в рази скорочуються час і витрати на отримання виробів. Як вихідні матеріали в адитивних технологіях використовують порошок, як правило, сферичної форми, або дріт [13]. Тому одним з напрямів подальшого розвитку металургії титану в Україні, поряд з виробництвом напівфабрикатів з титанових сплавів, є розроблення економічно ефективних технологій отримання титанових порошків і дротів, а також організація їх промислового виробництва.

Отже, виконані в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України фундаментальні та прикладні дослідження дозволили створити технологію електронно-променевого плавлення зливків титанових сплавів та обладнання для її реалізації й організувати в Україні конкурентоспроможне на світових ринках виробництво високоякісних зливків і напівфабрикатів з титану та сплавів на його основі, що вирішило питання імпортозаміщення виробів з високоміцних титанових сплавів.

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

- Henry J.L., Hill S.D., Schaller J.L., Campbell T.T. Nitride inclusions in titanium ingots. *Metal. Trans.* 1973. 4(8): 1859. <https://doi.org/10.1007/BF02665413>
- Mitchel A. The production of high-quality materials by special melting processes. *J. Vacuum Sci. Technol.* 1987. 5(4): 2672. <https://doi.org/10.1116/1.574716>
- Paton B.E., Trygub M.P., Akhonin S.V. *Electron Beam Melting of Titanium, Zirconium and their Alloys*. (Kyiv: Paton Electric Welding Institute, 2011).
- Paton B.E., Akhonin S.V., Berezos V.A. Production of Titanium Alloys Ingots by EBCHM Technology. In: *Proc. 13<sup>th</sup> World Conf. on Titanium* (August 16-20, 2015, San Diego, California, USA). (TMS, 2015). P. 359–364.
- Bewley B.P., Gigliotti M.F.X. Dissolution rate measurements of TiN in Ti-6242. *Acta Mater.* 1977. 45(1): 357. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(96\)00098-5](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(96)00098-5)
- Bellot J.P., Mitchell A. Hard-alpha particle behavior in a titanium alloy liquid pool-light metals. *Proc. TMS Annual Meeting, San Francisco: Min. Mat. Mater. Soc.* 1994. (2): 1187.
- Akhonin S.V., Kruglenko M.P., Kostenko V.I. Mathematical modeling of the process of dissolution of oxygen-containing refractory inclusion in titanium melt. *Sovremennaya Elektrometallurgiya*. 2011. (1): 17. [Ахонин С.В., Кругленко М.П., Костенко В.И. Математическое моделирование процесса растворения кислородсодержащих тугоплавких включений в расплаве титана. *Современная электрометаллургия*. 2011. № 1. С. 17–21.]
- Paton B.E., Trygub N.P., Akhonin S.V., Zhuk H.V. *Electron Beam Melting of Titanium*. (Kyiv: Naukova dumka. 2006). [Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В., Жук Г.В. *Электронно-лучевая плавка титана*. К.: Наукова думка. 2006.]
- Akhonin S.V., Trigub N.P., Zamkov V.N., Semiatin S.L. Mathematical Modeling of Aluminum Evaporation During Electron-Beam Cold-Hearth Melting of Ti-6Al-4V Ingots. *Metallurgy and Materials Transactions B*. 2003. 34(4): 447. <https://doi.org/10.1007/s11663-003-0071-4>
- Firstov S.A. The main tendencies in elaboration of materials with high specific strength. In: *Metallic materials with high structural efficiency*. (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2004). P. 33–44.
- Akhonin S.V., Bilous V.Yu., Severin A.Yu., Berezos V.A., Pikulin A.N., Erokhin A.G. Structure and properties of new high-strength titanium alloy T120 produced by the method of EBM after deformation and heat treatment. *Sovremennaya Elektrometallurgiya*. 2017. (2): 11. <https://doi.org/10.15407/sem2017.02.02> [Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Северин А.Ю., Березос В.А., Пикулин А.Н., Ерохин А.Г. Структура и свойства нового высокопрочного титанового сплава Т120, полученного методом ЭЛП после деформационной и термической обработки. *Современная электрометаллургия*. 2017. № 2. С. 11–16.]
- Hsiang Loh G., Pei E., Harrison D., Monzon M.D. An overview of functionally graded additive manufacturing. *Additive Manufacturing*. 2018. 23: 34. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.06.023>



13. P. Mohammed Rizwan Ali, C. Reddy Hara Theja, Syed Mahammad Syed Saheb, C. Yuvaraj. Review on diverse materials applied for additive manufacturing. *Int. J. for Research in Applied Science & Engineering Technology*. 2015. 3(VII): 16. <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=2945>

*S.V. Akhonin*

Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv)

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

The paper presents a review of development of titanium metallurgy in Ukraine, which is one of five countries of the world that has a full production cycle of titanium, namely from ore excavation to manufacture of semi-finished products. Metallurgical production of titanium ingots in Ukraine is based on domestic technology of electron beam melting. It provides high quality of ingots of up to 20 t and high technical-economical indices of the melting process. The results of investigations on development of new titanium alloys with improved service characteristics are given. The main directions of further development of titanium industry are considered. It is proposed to organize at Ukrainian enterprises a competitive on the world market production of titanium semi-finished products, namely forgings, bars, pipes as well as titanium powders and wires, which are the source materials for perspective additive 3D printing technologies.

**Keywords:** titanium, electron beam melting, production, semi-finished products of titanium alloys, quality.