

3D ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ МОНОКРИСТАЛІЧНИХ ЗЛИТКІВ У ВИГЛЯДІ ПОРОЖНИСТИХ ЦИЛІНДРІВ ІЗ ВОЛЬФРАМУ

Ю.О. Никитенко, В.О. Шаповалов, В.В. Якуша, О.М. Гніздило, О.В. Карускевич

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: nikyu80@gmail.com

Наведено результати подальшого розвитку технології вирощування супервеликих монокристалів тугоплавких металів, що розроблено в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. На основі відпрацьованої технології та набутих навиків створено обладнання нового покоління, що дозволяє вирощувати монокристали тугоплавких сплавів у вигляді тіла, що обертається. Проведено експерименти з вирощування монокристала вольфраму у вигляді порожнистого циліндра, з якого можливо виготовити такий виріб як тигель. Встановлено технологічні параметри та енергетичні режими, які дозволили контролювати товщину стінки, що наплавляється. В результаті експериментів вирощено злиток з висотою напавленої стінки 68 мм, товщиною 20...22 мм та зовнішнім діаметром 85 мм. Бібліогр. 9, табл. 1, рис. 9.

Ключові слова: вольфрам; вирощування монокристала; порожнисте тіло, що обертається; тигель; плазмово-індукційна зонна плавка

Вступ. Сьогодні в Україні та за кордоном існує потреба у монокристалах тугоплавких сполук ($YAlO_3$, $Y_2Al_3O_3$, $LiCaF$, $YLiF_4$ та ін.), легованих рідкісноземельними елементами (Nd, Ce та ін.), для виробництва потужних твердотільних лазерів і надчутливих скінтіляторів. Стрімко розвивається світлодіодна промисловість, зокрема, виробництво ультрафіолетових світлодіодів, що потребує розширення виробництва монокристалів нітриду алюмінію. Більшість вищезазначених кристалів вирощують із рідкої фази з використанням тиглів [1, 2], що мінімізують забруднення розплаву, забезпечують високі робочі температури та ін. Для виготовлення тиглів переважно використовують кварц, алунд, графіт, платину, молібден, тантал або вольфрам. Ураховуючи сукупність фізико-хімічних властивостей наведеного ряду матеріалів, вольфрам найбільш повно відповідає вимогам для високотемпературного застосування при вирощуванні оксидів та нітридів певних металів з температурою плавлення вище за 1800 °С. Крім того, вольфрам має найнижчий коефіцієнт лінійного теплового розширення, що дуже важливо при використанні тиглів у нестационарних теплових умовах [3, 4].

Традиційно промислове виготовлення тиглів із вольфраму пов'язане з технологією порошкової металургії. Суттєвий недолік таких виробів — низька щільність металокерамічного вольфраму (18,0...18,5 г/см³) у порівнянні зі щільністю вольфраму в переплавленому стані (19,20...19,25 г/см³). Щільність матеріалу тигля визначає його стійкість

(кількість теплосмін). Більш значущим у порівнянні зі щільністю фактором, що впливає на стійкість тигля, є структурний. Під час технологічного процесу в полікристалічній структурі стінок вольфрамового тигля, внаслідок циклічних процесів нагрівання (охолодження), набувають суттєвого розвитку рекристалізаційні процеси, які спричиняють появу та розвиток шпарин, що призводить до руйнування внутрішньої частини тигля, особливо на границі розплав–атмосфера. Ще більшою проблемою у спеченого металокерамічного вольфраму є проникнення розплаву у шпарини. Розплав, що потрапляє до шпарин порошкового металу, призводить до руйнування внутрішньої поверхні тигля. Цей процес носить неконтрольований лавиноподібний характер, після руйнування першого шару виникає тріщина, яка швидко поширюється в стінці тигля. Крім механічного руйнування є і хімічна взаємодія високореакційних елементів розплаву з матеріалом тигля, що призводить до забруднення розплаву та швидкому зносу тигля.

Вирішення питання підвищення стійкості вольфрамових тиглів лежить у напрямку створення бездефектної, щільної та однорідної структури.

Відомо, що монокристалічний вольфрам при термоциклічних навантаженнях має високу стабільність структури і супроводжується значно меншою зміною форми, ніж полікристалічний. Порівняно з полікристалічними зразками в монокристалі гальмуються процеси високотемпературної зернограничної дифузії дефектів кристалічної структури.

Ю.О. Никитенко — <https://orcid.org/0000-0002-3603-2333>, В.О. Шаповалов — <https://orcid.org/0000-0003-1339-3089>, В.В. Якуша — <https://orcid.org/0000-0001-5962-9194>, О.М. Гніздило — <https://orcid.org/0000-0001-7537-6481>, О.В. Карускевич — <https://orcid.org/0000-0002-7037-5903>

© Ю.О. Никитенко, В.О. Шаповалов, В.В. Якуша, О.М. Гніздило, О.В. Карускевич, 2023

Стійкість геометричної форми монокристалічних деталей пов'язана з більш досконалою структурою, високою чистотою та щільністю, що впливає на стабільність теплового поля та градієнта температури на фронті кристалізації розплаву.

Монокристали вольфраму, що виробляються за плазово-дуговою технологією мають у перетині розміри до 40 мм у діаметрі та великі внутрішні напруження, що іноді призводять до утворення шпарин [5]. Це унеможливило виготовлення з них великогабаритних виробів, насамперед порожнистих циліндрів.

Принципово проблема вирощування великогабаритних монокристалів вольфраму успішно вирішена в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (ІЕЗ). Запропоновано унікальний плазово-індукційний спосіб вирощування надвеликих монокристалів тугоплавких металів (W, Mo). Розроблено новітнє технологічне обладнання та відпрацьовано технологію вирощування найбільших у світі плоских монокристалів вольфраму розміром 170×160×20 мм [6, 7].

Напрацьований багаторічний досвід став підґрунтям для створення новітньої 3D плазово-індукційної установки для вирощування монокристалів вольфраму у вигляді тіл, що обертаються (рис. 1) [8]. Але технологія вирощування монокристалів у вигляді тіл, що обертаються, особливо порожнистих, має суттєві відмінності від технології вирощування профільованих монокристалів у вигляді пластин. При вирощуванні монокристала у вигляді пластини індуктор охоплює монокристал з певним проміжком і здійснює підігрів поверхні монокристала по всьому периметру. Крім підігріву ще однією важливою функцією індуктора є утримання металеві ванни від витікання, тобто забезпечення її просторової стабілізації. У випадку з вирощування монокристалів у вигляді порожнистих тіл індуктор підігріває тільки зовнішню бокову поверхню тигля. Внутрішня поверхня тигля не підігрівається індуктором, а металева ванна утримується силами поверхневого натягу. Це накладає певні ускладнення в розробленні технології. Тому вирощування монокристалічних тиглів з використанням 3D плазово-індукційної технології потребує всебічного вивчення.

У цьому сенсі мета роботи — створення технологічних засад виробництва монокристалічних тиглів із вольфраму, є актуальною.

Технологічне обладнання, матеріали та методика проведення експериментів. Створене в ІЕЗ обладнання є наступним поколінням устаткування, що відрізняється комп'ютеризованою системою керування механізмами, датчиками пере-

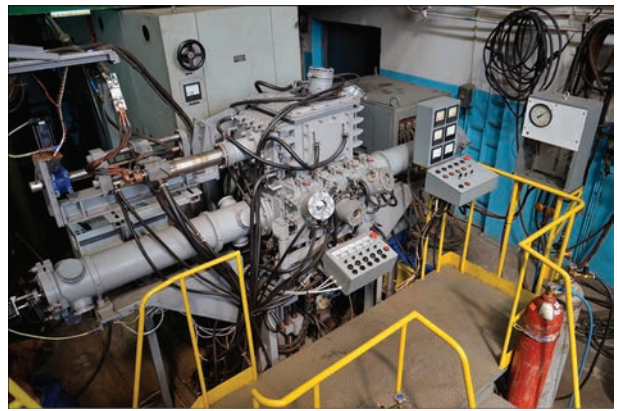


Рис. 1. Обладнання для вирощування монокристалів вольфраму у вигляді тіл, що обертаються

міщення крокових двигунів та контролем процесу росту монокристала. При проектуванні передбачено можливість вирощування монокристалів у вигляді тіл, що обертаються: злиток або порожнистий циліндр зовнішнім діаметром до 100 мм (4 дюйми). Щодо розроблення технологічних основ, то відпрацювання технології вирощування монокристалів вольфраму буде відбуватися для тиглів діаметром 85 мм. З одного боку, у теплофізичному аспекті технологія практично не відрізняється від тигля діаметром 100 мм і більше, а з іншого боку, відбувається економія ресурсів у вигляді витратних матеріалів (вольфрам, чисті інертні гази тощо), енергоресурсів та часу.

Принципово 3D технологія вирощування порожнистих монокристалів у вигляді тіл, що обертаються, враховує основні технологічні підходи до процесу вирощування профільованих монокристалів у вигляді пластин: пошарове формоутворення виробу на монокристалічному зародковому кристалі. Відмінністю є наступне. При вирощуванні монокристалічних пластин шари нарощуються шляхом поступового переміщення плазмотрона. Кристал опускається донизу періодично після завершення формування шару, при цьому для формоутворення наступного шару витратні прутки подають почергово з кожної касети. Відмінністю в роботі нової установки при формоутворенні тигля є те, що тигель безперервно обертається навколо вертикальної осі, плазмотрон не рухається, а витратний прутки безперервно подається в зону металеві ванни. Так здійснюється поступове 3D наплавлення локальною ванною шарів на зародковий кристал. Пошарове формоутворення монокристала за рахунок переміщення локальної ванни має певні переваги. Постійна швидкість та напрямки добудови нівелює можливі відхилення заданої кристалографічної осі росту кристала, яке зазвичай спостерігається при вирощуванні осесиметричних кристалів, коли ванна не є локальною, а охоплює весь горизонтальний переріз кристала. Причиною

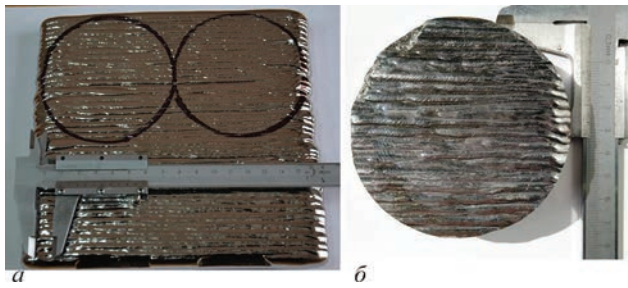


Рис. 2. Монокристал вольфраму (а) та зародковий кристал, що з нього вирізаний, для вирощування кристалів у вигляді тіл, що обертаються, діаметром 85 мм (б)

відхилення осі циліндричних кристалів може стати неповна симетрія теплового потоку джерела нагріву і умов тепловіддачі поверхні монокристала.

При використанні 3D технології кристал формується контрольовано. Температурне поле в зоні формування кристала при плазмово-індукційному способі вирощування визначається сумарною дією

теплових потоків від плазмотрона та високочастотного індуктора. Картина температурного поля в тілі кристала залежить від співвідношення енергетичних параметрів джерел нагріву і їх просторового положення відносно вирощуваного монокристала.

Одним із визначальних чинників отримання якісних монокристалів, що не мають грубих відхилень від заданої геометричної форми, є незмінність геометрії ванни рідкого металу в процесі вирощування. Виходячи із цих технологічних передумов, у якості критерію, що визначає співвідношення потужностей, які вкладаються плазмово-дуговим і індукційним джерелами нагріву в тіло монокристала, було прийнято незмінність діаметра металевої ванни.

У якості зародкового кристала використовувався плоский кристал із заданою орієнтацією кристалічних площин, вирощений в ІЕЗ. З нього вирізали диски (рис. 2). Один з дисків закріплюва-

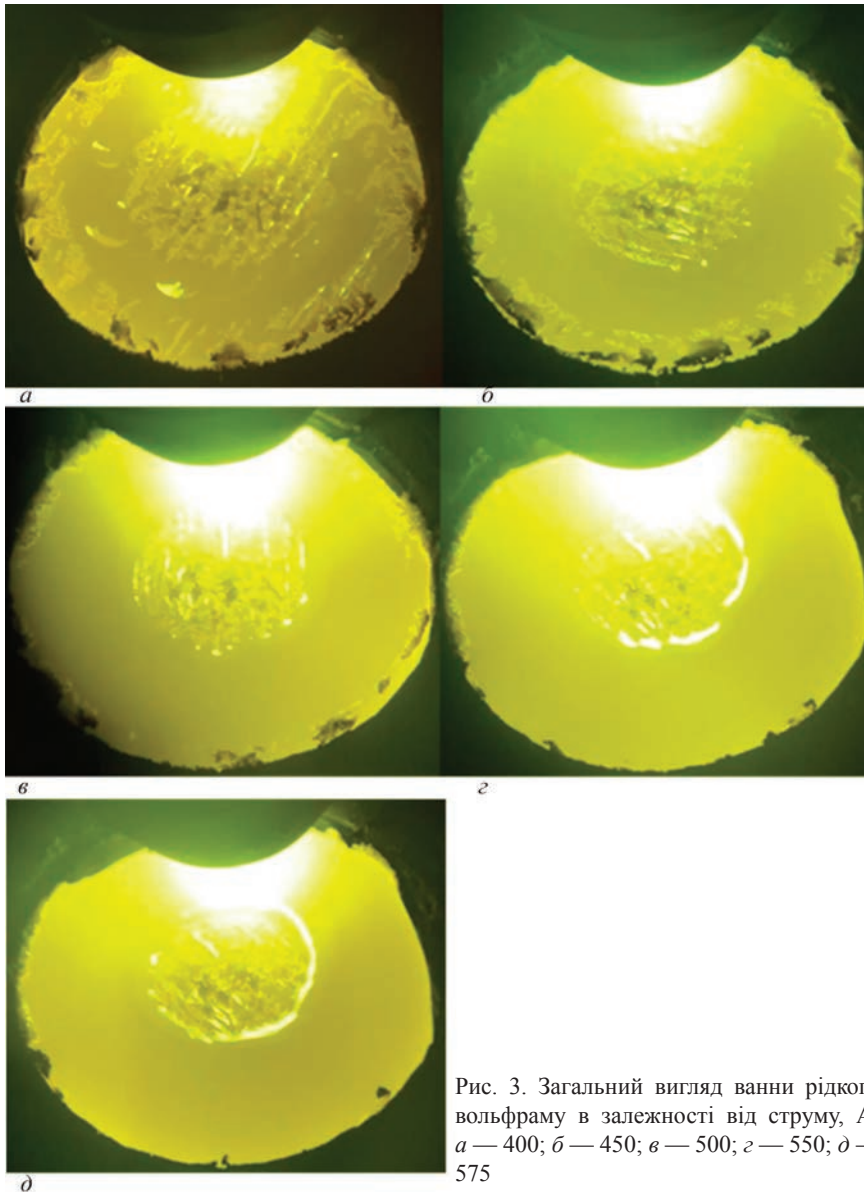


Рис. 3. Загальний вигляд ванни рідкого вольфраму в залежності від струму, А: а — 400; б — 450; в — 500; г — 550; д — 575

ли на піддоні та центрували його відносно індуктора з певним проміжком.

Результати експериментів та їх аналіз. Першим завданням при вирощуванні монокристалів вольфраму у вигляді порожнистих тіл, що обертаються, було встановлення залежності впливу технологічних параметрів на діаметр рідкої ванни, тобто товщину стінки, яку буде сформовано. При проведенні експериментів з визначенням параметрів роботи плазмотрона було досліджено вплив струму на ширину ванни, що мала утворювати стінку тигля при безперервному обертанні зародкового кристала (рис. 3).

Змінюючи потужність плазмово-дугового джерела нагріву, візуально фіксували діаметр металевої ванни на зародковому кристалі, який безперервно обертася в горизонтальній площині. За допомогою фотозйомки фіксували усі етапи формування концентричних кіл. Після повного обороту змінювали струм, що дозволило чітко виміряти ширину ванни. Швидкість обертання зародкового кристала склала 30 град/хв, що приблизно становила лінійну швидкість центру ванни 14 мм/хв. Енергетичні параметри експерименту: зміна струму від 300 до 600 А, напруга на дузі — 38...42 В, потужність додаткового індукційного нагрівання — 105...110 кВт (потужність на аноді ВЧ лампи). Як показали експерименти, ванна почала утворюватися при струмі плазмотрона лише 400 А. Зміщення плазмотрона від осі обертання зародкового кристала склало 24 мм. Досліджено вплив струму на ширину рідкої ванни на зародковому кристалі, у результаті було отримано залежність (рис. 4). Але при подальшому нарощуванні стінки порожнистого циліндра та збільшенні висоти злитка енергетичні параметри (струм дуги та індукційний підігрів) мають зростати. Це пов'язано зі збільшенням маси кристала, який потрібно підтримувати у розігрітому стані, і зростанням поверхні випромінювання та тепловтрат.

Кінцевий вигляд поверхні зародкового кристала після експериментів та оплавлення центральної частини для вирівнювання усієї верхньої частини наведено на рис. 5.

Спираючись на досвід вирощування плоских та циліндричних монокристалів вольфраму, діаметр локальної ванни підтримували на рівні 22 мм. Формування монокристалічного тигля здійснювали внаслідок сканування локальною ванною уздовж концентричних траєкторій у площині нарощування середнім радіусом 30...31 мм. Для підживлення ванни використовували калібровані прутки вольфраму діаметром 8 та довжиною 800 мм (переплавляється приблизно 650 мм), чистотою 99,95 мас. % (табли-

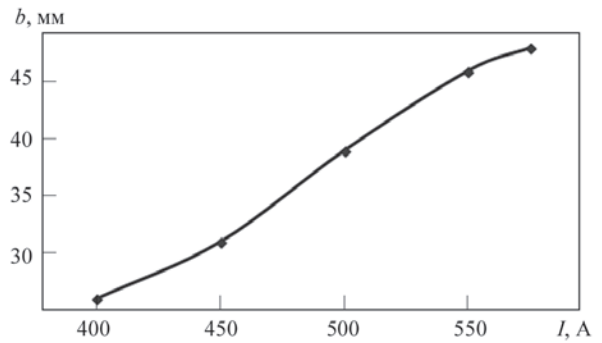


Рис. 4. Вплив струму плазмотрона на ширину металевих ванн (ця). Як показали попередні дослідження, рафінування та забруднення при плазмово-індукційній зонній плавці вольфраму не відбувається. Режими плавки відпрацьовували за умови стабільності співвідношення лінійної швидкості руху локальної ванни та швидкості подачі прутка.

Процес вирощування злитків у вигляді порожнистих циліндрів виконували уперше, тому його вивчення було поділено на три етапи. На кожному етапі нарощували задану кількість шарів монокристала. Після виконання завдання етапу процес зупиняли, кристал досліджували, потім встановлювали на піддон і продовжували нарощування наступних шарів. Такий підхід дозволив детально вивчити процеси формоутворення окремих шарів, відпрацювати технологію позиціонування злитка та плазмотрона при зупинках, дослідити спадковість кристалічної структури та зародження дефектів. Між плавками кристал виймали, здійснювали травлення хімічними реагентами верхньої, зовнішньої та внутрішньої поверхонь.

Після перших випробувань було переплавлено два витратних прутка, що склало приблизно шість циліндричних шарів. У результаті при відпрацю-



Рис. 5. Зовнішня поверхня зародкового кристала перед експериментами з нарощування стінок порожнистого циліндра монокристала

Хімічний склад прутків вольфраму діаметром 8 мм, мас. %

Si	Mg	Sn	Ni	Al	Mo	N	C
<0,001	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0002	0,017	0,002	0,001
As	Sb	Pb	Fe	Bi	Ca	P	O
<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0013	<0,0001	<0,001	<0,001	0,0046

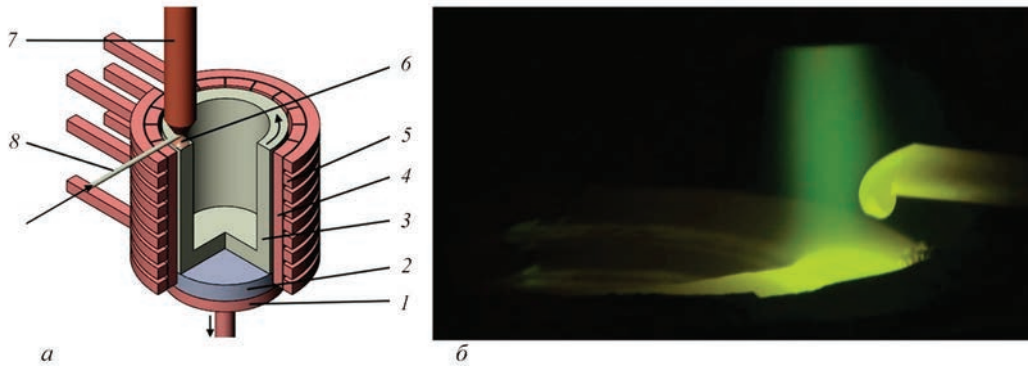


Рис. 6. Схема (а) і процес переплаву витратного прутка (б) при вирощуванні злитка у формі порожнистого циліндра: 1 — піддон; 2 — підставка; 3 — монокристал; 4 — секційна стінка; 5 — індуктор; 6 — тепловий потік від плазмотрона; 7 — витратний пруток; 8 — плазмотрон

ванні процесу вирощування порожнистого циліндра було отримано стінку товщиною 20...22 мм і висотою приблизно 13...15 мм. Технологічна схема та процес крапельного переносу розплаву наведено на рис. 6.

Особливістю новітньої технології є те, що при вирощуванні зовнішня сторона тигля, що формується із рідкого стану в полі високочастотного електромагнітного поля, піддається сильному впливу поля, яке підтримує металеву ванну та формує, практично, досконалу циліндричну форму. А металева ванна з внутрішньої сторони тигля не має підтримки електромагнітного поля, що може призвести до проливу розплаву. Тому при вирощуванні кристала у вигляді порожнистого циліндра застосовується схема формоутворення шару, коли плазмове джерело нагріву зміщене з середини ванни ближче до індуктора. Ванна набуває досить складний фронт кристалізації, який утворюється за певних факторів — відсутності підігріву внутрішньої сторони стінки тигля при значному перегріві зовнішньої. Внаслідок цього виникають дещо різні умови росту кристала у вертикальній площині, яка проходить через вісь та радіус. У зв'язку з такою особливістю теплового поля внутрішня поверхня тигля буде більш холодна по відношенню до зовнішньої. Це створить різні умови твердіння вольфраму і утворення дислокацій у різних частинах тигля. На наш погляд за таких обставин на внутрішній поверхні тигля будуть більш помітні субграніці, субзерна та виходи граней кристалічної решітки.

Після виплавки зразок кристала було протравлено хімічним розчином $H_2SO_4:HNO_3:H_2O$ у співвідношенні 2:2:4, що дозволило виявити границі субзерен та особистості формування структури та її орієнтації. У залежності від орієнтації кристалічної решітки швидкість витравлення металу різна, тому можливо провести спостереження за формуванням та спадковістю монокристалічної структури. У результаті травлення зразок набуває матового відтінку (рис. 7, а).

На другому етапі було проведено подальші дослідження процесу переплаву та формоутворення при вирощуванні монокристала вольфраму у вигляді порожнистого тіла, що обертається. При встановленні тих же режимів, що і при першому експерименті, було наплавлено дев'ять горизонтальних шарів. Експеримент показав, що процес протікає стабільно, товщина стінки не змінюється, проливів з зовнішньої та внутрішньої сторін не відбувається. З зовнішньої сторони затверділі шари утворювали деякі хвилі, що пов'язано з гідродинамікою ванни рідкого металу у електромагнітному полі високочастотного індуктора. Але до великого витоку металу це не приводило, також не було і електричних замикань. Загальна висота наплавленої стінки складала приблизно 35...37 мм, вага зразка — 5,23 кг (рис. 7, б).

На третьому етапі підтверджено стабільність та закономірності обраних параметрів для вирощування кристала у вигляді 3D об'єкта. Загальна висота стінки наплавленого кристала складала приблизно 68 мм, вага — 7,635 кг при зовнішньому діаметрі 85 мм і товщині стінки 20...22 мм



Рис. 7. Монокристал вольфраму: *a* — після першого етапу наплавлення 6-ти шарів та травлення поверхні; *б* — після другого етапу нарощування, висота стінки — 35...37 мм



Рис. 8. Загальний вигляд монокристала вольфраму у вигляді порожнистого тіла, що обертається, діаметром 85 мм

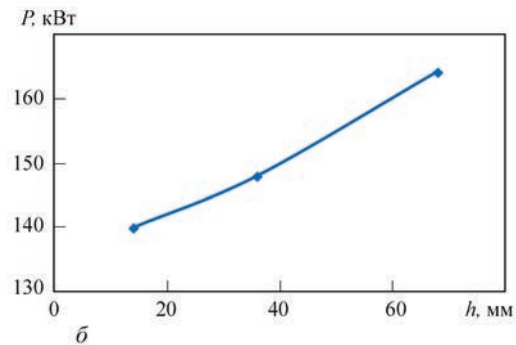
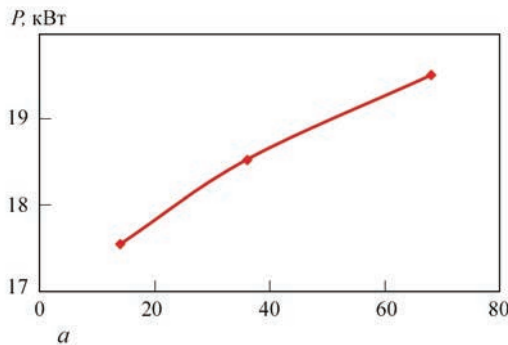


Рис. 9. Залежності зміни енергетичних параметрів від збільшення висоти при вирощуванні порожнистого монокристала вольфраму діаметром 85 мм: *a* — зміна потужності плазмової дуги; *б* — зміна загальної потужності височастотного генератора

(рис. 8). Кінцевий режим вирощування кристала: струм плазмової дуги — 475...550 А, загальна потужність височастотного генератора — 170 кВт, залежність наведена на рис. 9. Ураховуючи ККД генератора, конструкції теплового вузла, завантаженість індуктора кристалом, ефективна потужність, що передається кристалу, може складати 60...70 % [9]. При швидкості переміщення ванни в межах 15...16 мм/хв маса крапель, що формуються та переходять до локальної ванни, складає від 1,3 до 1,4 г. При цьому масова швидкість вирощування — 14...15 г/хв. Для поверхні монокристала характерна незначна ребристість, яка пов'язана з пошаровим формуванням. Товщина нарощеного моношару складає 2,3...2,4 мм.

При візуальному огляді на поверхні злитка можна побачити вертикальні смуги, що відрізняються за відбивною здатністю світла. Ці смуги відповідають будові елементарної кристалічної решітки (ОЦК) вольфраму, що спадково розповсюджена у всьому злитку, утворюючи монокристалічну структуру. У сусідніх смугах відбивна здатність змінюється, це відповідає площинам чи граням кристалічної решітки, що свідчить про спадковість монокристалічної структури у всьому об'ємі. До того ж ці смуги відповідають частині зародкового кристала, що не зазнала оплавлення.

Висновки

Уперше в світі за новітньою технологією, розробленою в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, вироблено злиток вольфраму у вигляді порожнистого циліндра на суцільному монокристалічному зародковому кристалі діаметром 85 мм. Вирощений кристал має 68 мм наплавленої стінки товщиною 20...22 мм. Поверхневий огляд після травлення хімічними реагентами злитка показав спадковість структури від монокристалічного зародкового кристала та всі ознаки монокристалічної структури у всьому кристалі.

Ця робота була підтримана та виконана за сприяння Міністерства освіти і науки України. Наказ від 02.02.2021 № 134 «Про фінансування у 2021 р. науково-технічних робіт в рамках виконання державного замовлення на науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію», згідно договору № ДЗ/103-2021 від 09.03.2021 року: «Розроблення інноваційної 3D-технології вирощування монокристалічних тиглів із вольфраму».

Список літератури/References

1. Wunsch, I.O., Kyle, M.L., Pierce, R.D., Burriss, Jr.L. (1967) Tungsten crucibles in pyrochemical processing of nuclear

- fuels. *Nuclear Applications*, 3(4), 245–251. DOI: <https://doi.org/10.13182/NT67-A27764>.
2. Junhyuk Jang, Seungyoub Han, Tack-Jin Kim et al. (2019) Stability of tungsten crucible against uranium, rare earth, cadmium, and chlorides for cathode process in pyroprocessing. *Sci. and Technol. of Nuclear Installations*, **31 July**, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2019/4121285>.
 3. Kofanov, D., Gerasymov, Ia., Sidletskiy, O. et al. (2022) LuAG:Ce and LuYAG:Ce scintillation crystals grown under reducing conditions from W crucibles. *Optical Materials*, **134**, Pt A, 113176.
 4. Takahiro Suda, Yuui Yokota, Takahiko Horiai et al. (2022) Crystal growth of La₂Hf₂O₇ by micro-pulling-down method using W crucible. *J. of Crystal Growth*, 583(1), 126547.
 5. Savitsky, E., Burkhanov, G., Kirillova, V. (1982) *Single crystals of refractory and rare metals, alloys, and compounds. Analytical methods high-melting metals*. Springer-Verlag, 107–148. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-68731-0>
 6. Shapovalov, V.A., Yakusha, V.V., Gnizdylo, A.N., Nikitenko, Yu.A. (2016) Application of additivetechnologies for growing large profiled single crystals of tungsten and molybdenum. *The Paton Welding J.*, **5–6**, 134–136.
 7. Shapovalov, V.O., Gnizdylo, O.M., Yakusha, V.V. et al. (2022) Intensification of the process of plasma-induction growing of large profiled tungsten single crystals. *PAST*, 137(1), 40–45.
 8. Shapovalov, V.O., Nikitenko, Yu.O., Yakusha, V.V. et al. (2020) Manufacture of super large tungsten single crystals in the form of rotation bodies. *Ibid.*, 125(1), 60–63.
 9. Shapovalov, V.O., Nykytenko, Yu.O., Gnizdylo, O.M. et al. (2022) Investigation of energy balance in the system of the crystal-high-frequency heating module at plasma-induction growing of refractory metal single-crystals. *Suchasna Elektrometal.*, **4**, 27–33 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.37434/sem2022.04.05>

3D TECHNOLOGY OF GROWING SINGLE-CRYSTAL INGOTS IN THE FORM OF HOLLOW TUNGSTEN CYLINDERS

Yu.O. Nykytenko, V.O. Shapovalov, V.V. Yakusha, O.M. Gnizdylo, O.V. Karuskevych
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: nikyu80@gmail.com

The paper presents the results of further development of the technology of growing superlarge single-crystals of refractory metals, developed at PWI of the NAS of Ukraine. Proceeding from the optimized technology and acquired experience, new generation equipment was manufactured, which allows growing single-crystals of refractory alloys in the form of the body of revolution. Experiments were performed on growing tungsten single-crystals in the form of a hollow cylinder, which can be used to manufacture such a product as a crucible. Technological parameters and energy modes were established, which allowed controlling the thickness of the wall being deposited. An ingot with the deposited wall height of 68 mm, thickness of 20...22 mm and outer diameter of 85 mm was grown as a result of the experiments. 9 Ref., 1 Table, 9 Figures.

Keywords: tungsten, single-crystal growing, hollow body of revolution, crucible, plasma-induction zone melting

Надійшла до редакції 01.03.2023

WORLD TRADE FAIR FOR WELDING ENGINEERING —
JOINING, CUTTING, SURFACING

LET'S JOIN
THE WORLD!

11. – 15. September, 2023

REGISTER NOW!

SCHWEISSEN
& SCHNEIDEN
No. 1
IN THE WORLD

DVS GERMAN WELDING SOCIETY

MESSE
ESSEN

www.schweissen-schneiden.com