

УДК-669.178.58.001.5

ПЛАЗМЕННО-ІНДУКЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОШОВАННЯ ВЕЛИКИХ ПРОФІЛЬОВАНИХ КРИСТАЛІВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ

Ботвинко Д.В. Шаповалов В.О.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

В плазмово-індукційній технології вирощування великих профільованих кристалів тугоплавких металів. Плазмово-індукційна технологія. Вплив потужності нагріву на формування структури монокристалів.

В плазменно -индукционной технология выращивания больших профилируемых кристаллов тугоплавких металлов. Плазменно -индукционная технология. Влияние мощности нагрева на формирование структуры монокристалов.

In to plasma -induction technologies of growing of the large profiled crystals of refractory metals. Induction for Plasma technology. Influence of power of heating is on forming of structure of mokristaliv.

Вступ

Тугоплавкими металами частіше всього вважаються ті метали, які мають температуру плавлення вищу ніж у заліза (1535 °С).

В останні десятиліття монокристали тугоплавких металів, серед яких одне з найбільш вагомих місць займають монокристали вольфраму, знаходять широке використання в наукових дослідженнях, а також в таких передових галузях як приладобудування, електротехніка, електроніка, авіа- та ракетобудування, рентгенотехніка, лазерна техніка та інших.

Підвищений інтерес до монокристалів викликається комплексом присутніх у кристалів унікальних фізико-хімічних та механічних властивостей. До яких в першу чергу можна віднести: анізотропію, достатньо високу ідеальність кристалічної будови, дуже малий вміст присутніх домішок, більш високі у порівнянні з полікристалічними тілами пластичність, значу стабільність властивостей в мовах дії високореакційних середовищ, довготривалих циклічних навантажень і т. п.

Плазмово-індукційна технологія

Вирощування монокристалів тугоплавких металів великих розмірів обумовлено потребами в них передових галузей техніки. Збільшення розмірів монокристалів, отриманих традиційними методами вирощування (електропроменева зонна плавка, плазменно-дуговий метод), приводять до зниження досконалості їхньої структури, пов'язаного з неоднорідністю теплових полів і високими температурними градієнтами, присутніми у процесі формування монокристалів.

Обмеження геометричних розмірів вирощуємих монокристалів здійснюється силами поверхневого натягу, при збільшенні розмірів порушується процес росту кристала і в ньому утворюються структурні дефекти.

1. Плазмово-індукційний спосіб є єдиний, який дозволяє отримувати крупні монокристали тугоплавких металів. Але необхідно змінювати сили струму в процесі плавки. Не вирішені проблеми автоматизації.

2. Необхідно вивчати процес і отримати залежності, насамперед зміни сили струму в процесі плавки.

Як видно із самої назви методу, у процесі формування монокристалу беруть участь два незалежних джерела нагріву: плазмова дуга та високо частотний (ВЧ) індукційний нагрів.

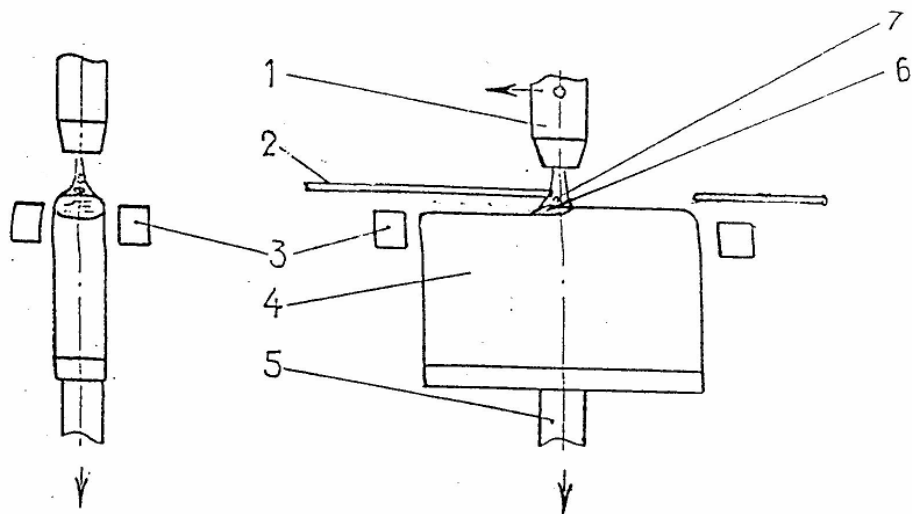
Сутність способу полягає у тому, що ванну рідкого металу утримують з допомогою поля індуктора, який охоплює монокристал. ВЧ-поле дозволяє не тільки утримувати ванну розплаву, а й гнучко керувати температурним полем кристала.

Схема плазменно-індукційного способу вирощування крупних профільованих монокристалів представлена на рис. 1. Затравку циліндричної форми вибирають у відповідності з необхідним кристалографічним направленням. Внутрішні контури індуктора повторюють форму кристала. Формування монокристала відбувається шляхом наплавлення шару металу за рахунок переплаву прутків при зворотньо-поступальному русі плазмотрона.

Таким способом отримали монокристали вольфраму розміром 140*170*20 мм. Вони є ідеальними заготовками для широкоформатного плоского прокату.

При вирощуванні монокристалів тугоплавких металів, як правило використовують плазмоутворюючий газ, який складається із аргону і гелію. Вміст останнього складає 70...90 %.

При збільшенні геометричних розмірів вирощуємого монокристала зростає напруга на індукторі, що при деякій довжині його петлі приводить до виникнення пробоїв між індуктором і кристалом, як наслідок, до порушення формування монокристалу.



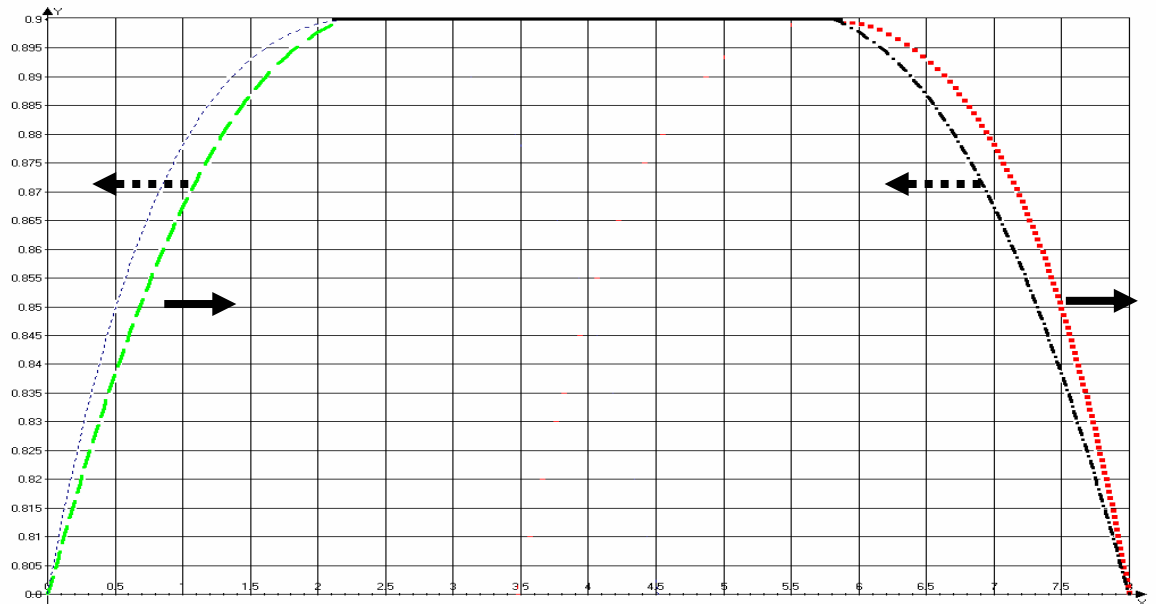
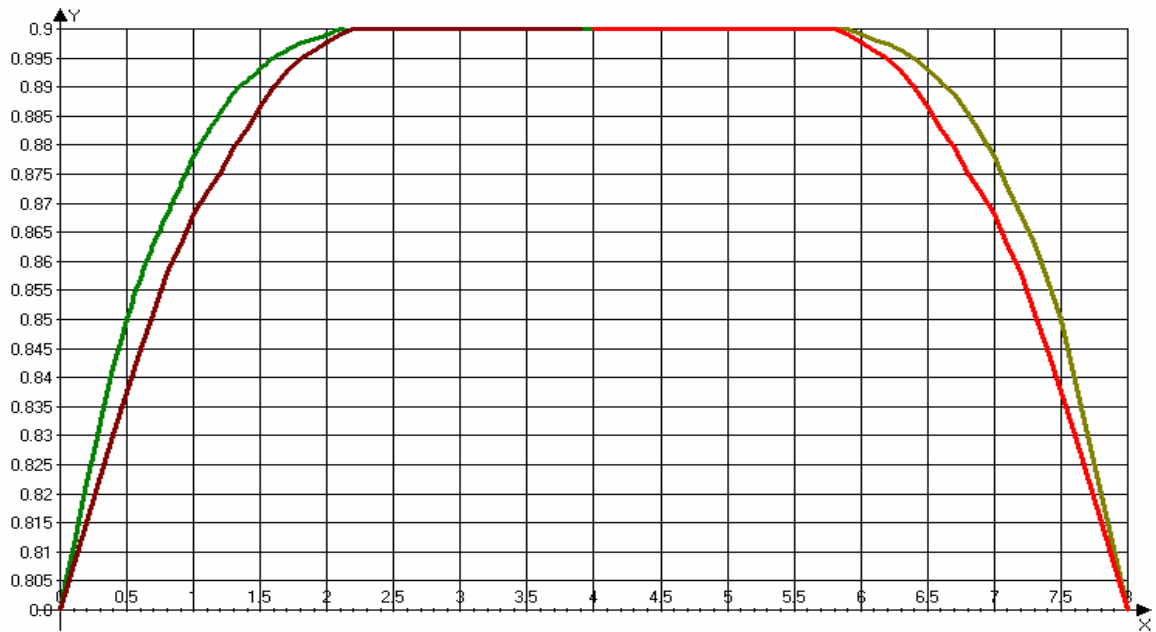
1 - плазмотрон; 2 - пруток; 3 – індуктор; 4 - монокристал; 5 - піддон;
6 -металічна ванна; 7- капля металу.

Рисунок 1 Схема плазмово-індукційного вирощування монокристалів.

Оптимізація сили струму плазмотрона

В установці використаний плазмотрон "чобіткового" типу. Зовнішньо він має вигляд, як кутове з'єднання двох труб діаметром 90 мм, із яких одна закінчується соплом, а друга - струмо- і водопідводами. В установці труба, яка має сопло, знаходиться у вертикальному положенні, а труба з водо- та струмопідводами - в горизонтальному. Більш того частина труби, на якій розміщені струмо- і водопідводи знаходиться зовні установки. Для забезпечення герметичності установки між трубою і камерою встановлено вакуумні ущільнення. До кінця плазмотрону, який знаходиться зовні установки прикріплений електромеханічний привід, який дозволяє переміщати весь плазмотрон в горизонтальній площині вздовж осі довгої труби. Плазмотрон в процесі роботи здійснює зворотньопоступальний рух із заданою швидкістю.

Стабільна ширина грані особливо важлива при подальшому використанні кристала, наприклад, при наступній пластичній деформації. У процесі експериментів було встановлено, що при збільшенні відносно довжини l/b монокристала для підтримання стабільних умов формування зони розплаву і ширини наплавляємої грані, необхідно регулювати потужність плазмового джерела нагріву у крайових зонах кристала, рис. 2.



X-відносна довжина l/b ; Y-відносна сила струму I/b^2 (А/мм²)

- ■ ■ ■ $Y(x) = -0.0015995x^4 + 0.0366844x^3 - 0.3269433x^2 + 1.3376868x - 1.2077848$
- — — $Y(x) = (7.8555244 \cdot 10^{-4})x^4 - 0.0225409x^3 + 0.2230172x^2 - 0.9349804x + 2.3297664$
- — — $Y(x) = (7.8555244 \cdot 10^{-4})x^4 - 0.0025968x^3 - 0.0163116x^2 + 0.0857409x + 0.7997214$
- - - - $Y(x) = -0.0015995x^4 + 0.0145005x^3 - 0.0607361x^2 + 0.1258314x + 0.8000933$
- — — $Y(x) = (5.6910437 \cdot 10^{-19})x + 0.9$

Рисунок 2 Залежність відносної сили струму I/b^2 плазменного джерела нагріву від відносної довжини L/b монокристалу вольфраму

Плазмотрон у процесі росту монокристала здійснює зворотньо-поступальний рух, формуючи при цьому шари наплавленого металу. Зниження швидкості зміни величини l/v пояснюється тепловою інерцією монокристала. При виході із вказаної зони величину відносної сили струму підтримують постійною на рівні 0,9. По мірі росту висоти зливка H збільшується площа його бічної поверхні і витрати теплоти випромінюванням. Для забезпечення заданої ширини наплавленої грані, збереження стаціонарних умов формування монокристалу у процесі його росту (температури підігріву затравки, глибини рідкої ванни) необхідно збільшувати потужність (силу струму) плазмового джерела нагріву.

Вплив потужності нагріву на формування структури монокристалів

Грубими дефектами структури монокристалів є крупні пори, які викликані у монокристалів вольфраму недостатнім нагрівом. Плазмотрон у процесі лише переплавляє прутки і формує монокристал. При збільшенні лінійних розмірів останнього вплив плазмотрона на середню температуру монокристала знижується. При зниженні температури додаткового нагріву для збереження заданої ширини монокристала необхідно збільшувати силу струму плазмотрона. В свою чергу це приводить до збільшення тиску дуги на метал і перегріву поверхневого шару ванни рідкого металу. Переміщуючись вздовж формуємого шару, дуга не встигає прогріти до необхідної температури метал, ванна перегрівається і настає такий момент, коли дуга "продавлює" рідкий метал і її пляма спирається на твердий метал. Із-за низької температури твердої фази і високої температури ванни спостерігається явище незмочуваності. По лінії переміщення плями дуги у закристалізованому шарі з'являються пори. На рис. 3 представлений мікрошліф вольфраму.

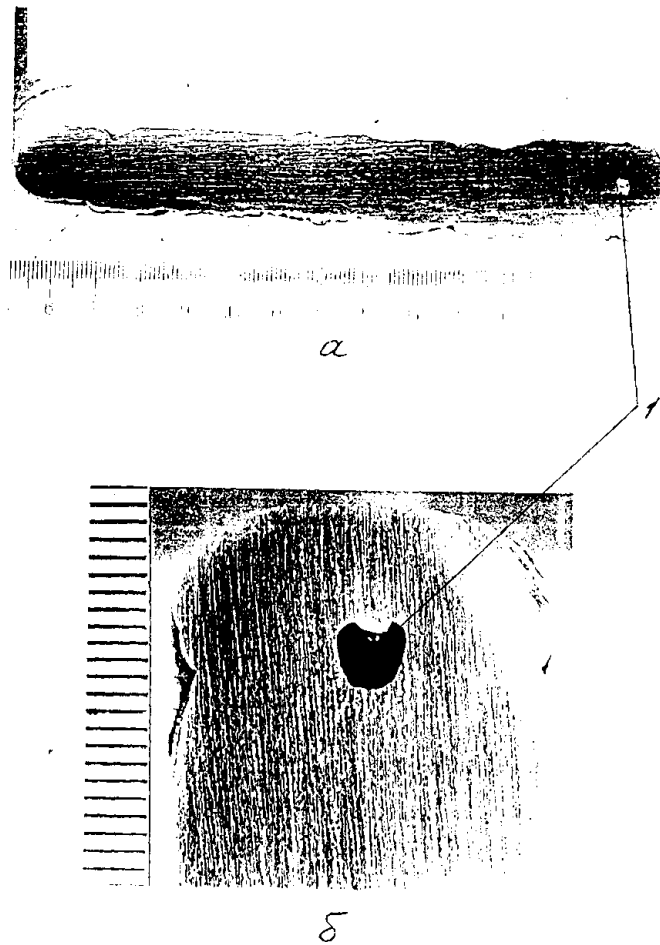
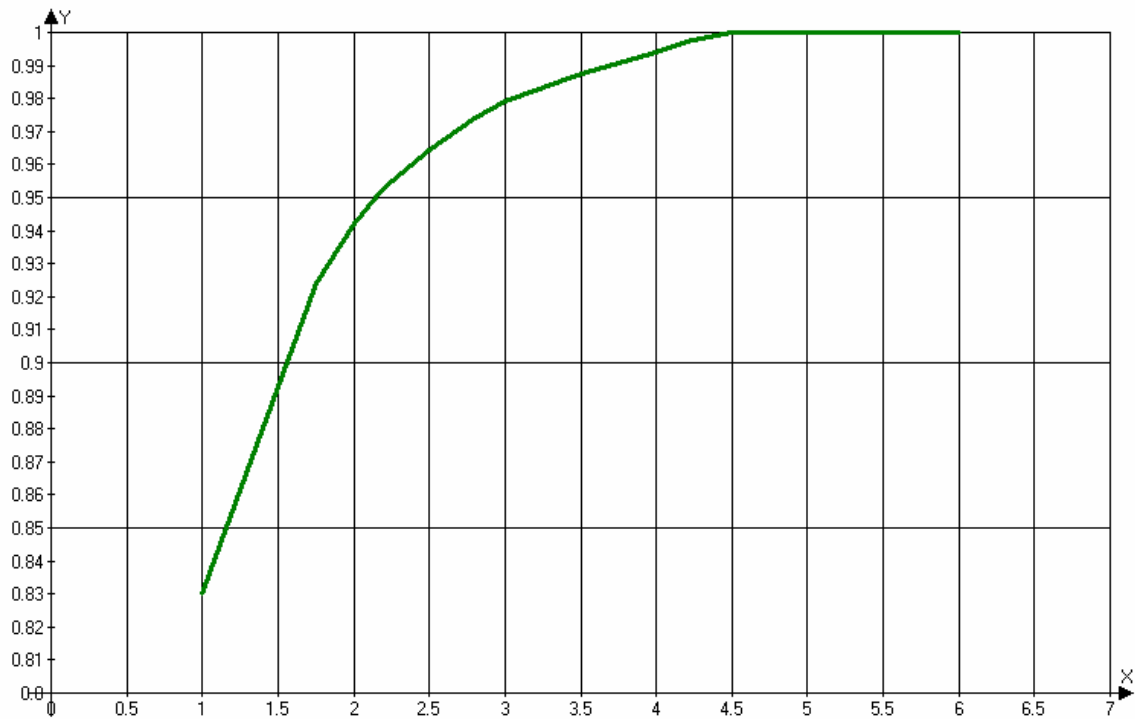


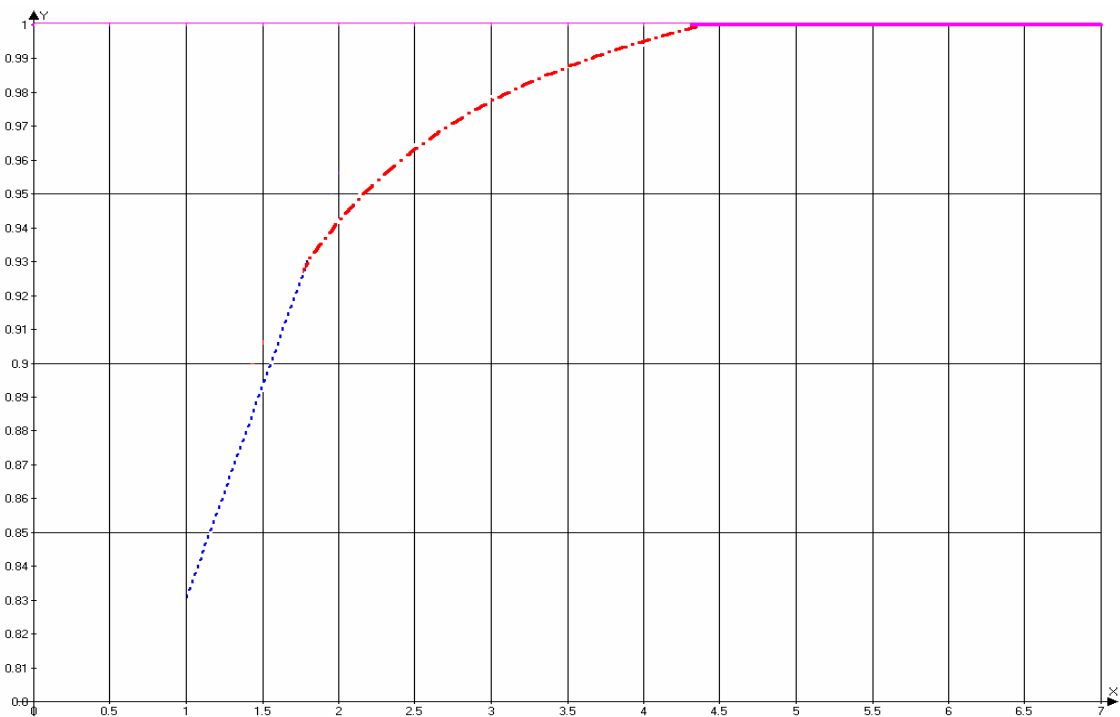
Рисунок 3 - Оптичні знімки мікрошліфа монокристала вольфраму:

а) збільшення $\times 1$; б) збільшення $\times 3$; 1 - дефект типу кратер

Ефективним шляхом боротьби з описаним вище дефектом являється збільшення температури монокристала до значень $0,4 \dots 0,5$ температури плавлення. Підтримка такої температури потребує вибір необхідної потужності підігріву. Потужність підігріву не залишається постійною процесі плавки, вона росте по мірі збільшення висоти монокристала до настання стаціонарного стану, коли збільшення висоти монокристала, практично, не веде до зміни градієнтів температур в зоні формування монокристала при фіксованій потужності підігріву. На рис. 4 приведений графік залежності потужності підігріву від висоти монокристала.



X-відносна висота H/b ; Y-відносна потужність $P_{\text{від}}$



- $Y(x)=0.1253333*x+0.7046667$
- .- $Y(x)=-0.2132925/x+1.0485456$
- $Y(x)=0*x+1$

X-відносна висота H/b ; Y-відносна сила струму I/b^2 (A/мм²)

Рисунок 4 Залежність відносної потужності підігріву від відносної висоти монокристала

Література

1. Бурханов Г.С, Шишин В.М., Кузьмищев В.А., Сергеев Н.Н., Шнырёв Г.Д. Плазменное выращивание тугоплавких монокристаллов. - М.: Металлургия, 1981. - 200 с.
2. Савицкий Е.М., Бурханов Г.С., Поварова К.Б., Йенн Г., Хёрц Г., Ефимов Ю.В., Макаров П.В., Оттенберг Е.В. Тугоплавкие металлы и сплавы. - М.: Металлургия, 1986. - 352 с.
3. Некоторые особенности плазменно-индукционного выращивания плоских монокристаллов и их свойства / Шейко И.В., Каниболоцкий С.А., Иващук В.А., Загрязкин В.Н., Репий В.А. // Проблемы специальной электротехнологии. - Киев, 1989, - Вып. 67. - с. 90 - 94.
4. Савицкий Е.М., Поварова К.Б., Макаров П.В. Металловедение вольфрама. - М.: Металлургия, 1978. - 224 с.
5. Процессы роста и выращивания монокристаллов / под ред. Шефталя Н.Н. - М.: Издательство иностранной литературы, 1963. - 530 с.