

РАФІНУВАННЯ НІОБІЮ СПОСОБОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОЇ ПЛАВКИ З ПРОМІЖНОЮ ЄМНІСТЮ

С.В. Ахонін, В.О. Березос, О.М. Пікулін, О.О. Котенко, Ю.Т. Іщук

ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

На основі технології електронно-променевої плавки з проміжною ємністю був проведений комплекс дослідницьких робіт по отриманню якісних зливків металічного ніобію високої чистоти з підвищеними техніко-економічними показниками процесу. По результатам проведених робіт встановлено, що серед домішок впровадження з ніобію під час електронно-променевої плавки з проміжною ємністю найбільш погано видаляється азот, який є домішкою, що лімітує процес рафінування. Експериментальні дані, отримані в ході роботи, показали, що запропоновані режими двократного електронно-променевого переплаву ніобію з проміжною ємністю забезпечують досить однорідний розподіл домішкових елементів в об'ємі зливка, а величини їх вмісту при цьому не перевищують показники, визначені вимогами стандарту. Встановлено, що застосування технології електронно-променевого оплавлення поверхні зливків забезпечує видалення дефектів поверхневого шару зливків ніобію, при цьому шорсткість поверхні знаходиться в межах Rz20...Rz80 при хвилястості рельєфу поверхні відповідно рівній 0,2...0,6 мм. Бібліогр. 20, табл. 1, рис. 6.

Ключові слова: ніобій; електронно-променева плавка; проміжна ємність; зливки; хімічний склад

Вступ. Ніобій має температуру плавлення 2468 °С, низьку густину у порівнянні з іншими тугоплавкими металами, високу корозійну стійкість. Сплави ніобію при відносно високих температурах проявляють властивості надпровідності. Все це привертає увагу науковців та інженерів до ніобію як до матеріалу, що застосовується у передових технологіях різних областей науки та техніки. Майже всі ці властивості сильно залежать від ступеня чистоти ніобію, що обумовлює необхідність рафінування його від шкідливих домішок шляхом переплаву в вакуумі. Тому, беручи до уваги достатню потребу сучасної індустрії у використанні чистого металічного ніобію, дослідження та розвиток технологій його рафінування на теперішній час є актуальним завданням.

Аналіз літературних даних та постановка задачі. Висока температура плавлення ніобію обумовлює його використання в конструктивних елементах реактивних двигунів та ракет [1, 2]. Корозійна стійкість ніобію в кислотах та інших середовищах у поєднанні з високою теплопровідністю та пластичністю робить його цінним конструкційним матеріалом для працюючої в агресивних середовищах апаратури у хімічному та металургійному виробництвях, нафтових вишок, нафто- і газопроводів [3]. Значні обсяги металевого ніобію використовуються для виготовлення електrolітичних конденсаторів та випрямлячів струму. Ніобієві конденсатори з твердим електролітом

відрізняються високою ємністю при малих розмірах. Вони працюють у широкому інтервалі температур — від –80 до 200 °С і широко використовуються у передавальних радіостанціях, радарних установках та іншому спеціальному обладнанні [4]. Деякі сплави та сполуки ніобію відрізняються відносно високою температурою переходу в стан надпровідності, тому з них виготовляють обмотки надпровідних потужних електромагнітів, в тому числі для апаратів магнітно-резонансної томографії та прискорювачів елементарних частинок [5, 6]. До 900 °С ніобій слабо взаємодіє з ураном, тому він є перспективним матеріалом для виготовлення захисних оболонок установок тепловиділяючих елементів енергетичних реакторів [7, 8].

Чистий ніобій має високу міцність та пластичність, хорошу стійкість у багатьох агресивних середовищах, добре піддається гарячій та холодній деформації, а також механічній обробці. Але лише кілька сотень частинок на мільйон (ppm) кисню, азоту, водню та/або залишки вуглецю можуть перетворити ніобій на твердий і крихкий матеріал [9, 10]. Крім того, для застосування у напівпровідниках допустимо лише кілька частинок на мільйон більшості домішок у його складі [10].

При кімнатній температурі металічний ніобій практично не взаємодіє із газовою фазою. Однак характерною його властивістю є здатність поглинати гази (водень, азот і кисень) при підвищених температурах, помітне окиснення спостерігається

С.В. Ахонін — <https://orcid.org/0000-0002-7746-2946>, В.О. Березос — <https://orcid.org/0000-0002-5026-7366>,

О.М. Пікулін — <https://orcid.org/0000-0001-6327-3848>, О.О. Котенко — <https://orcid.org/0000-0002-0930-9536>

при нагріванні ніобію до температури 200 °С [11]. При низькій температурі водень поглинається повільно, але вже за 300 °С швидкість поглинання водню велика, причому відбувається як абсорбція, так і утворюються хімічні сполуки — гідриди [12]. Азот інтенсивно взаємодіє з ніобієм, починаючи з 500...600 °С, з утворенням твердих розчинів та низьких нітридних фаз [11, 12].

Вихідні шихтові матеріали для виробництва зливок ніобію отримують шляхом алюмотермічного відновлення Nb_2O_5 [13, 14] у вигляді зливок, які мають підвищений вміст алюмінію та газових домішок.

Рафінування ніобію від шкідливих домішок та газів здійснюють шляхом його плавлення у вакуумі за технологією вакуумно-дугового (ВДП) або електронно-променевого (ЕПП) переплавів. В процесі плавки у вакуумі відбувається видалення газів та інших домішок втілення з розплаву. Досягнуті при цьому результати показують, що рівень рафінування металу від домішок при ЕПП вище ніж при ВДП, що зумовлено конструктивними та технологічними особливостями цих процесів [15].

Недоліком технології ВДП є екранування поверхні ванни рідкого металу в кристалізаторі торцем електрода. У цих умовах видалення домішок можливе тільки через вузький кільцевий зазор між витратним електродом і стінками глухонного кристалізатора, ширина якого зазвичай не перевищує 30...50 мм. Це ускладнює видалення газоподібних домішок із зони горіння дуги, де загальний тиск може підніматися до 100 Па [16]. При цьому значна кількість домішок випаровується з поверхні розплаву та конденсується на поверхні витратного електрода та стінках кристалізатора, розташованих вище розплаву. У міру плавлення електрода та заповнення розплавом кристалізатора домішкові елементи знову потрапляють в розплав. Крім того, час витримки рідкого металу у



Рис. 1. Електронно-променева установка UE-121

вакуумі при ВДП обмежено його технологічними особливостями, що також перешкоджає повному протіканню реакцій дегазації металу.

Більш ефективним способом рафінування ніобію є прямий електронно-променевий переплав витратного електрода безпосередньо в кристалізатор. Висока щільність потужності нагріву, захисна дія високого або навіть надвисокого вакуумного середовища разом із гнучкістю керування часом перебування металу в розплавленому стані є дуже важливими факторами, що забезпечують високий ступінь очищення, які навряд чи можуть бути реалізовані будь-яким іншим вакуумним металургійним процесом [17].

Висока концентрація енергії електронного променя дозволяє забезпечити суттєвий перегрів поверхні металеві ванни вище за температуру плавлення металу. Це сприятливо позначається на кінетиці реакцій рафінування — збільшуються коефіцієнти дифузії домішок у ньому та константи швидкостей поверхневих хімічних реакцій. Високе розрідження газової фази над розплавом також покращує кінетичні умови гетерогенних процесів дегазації, оскільки сприяє швидкому відведенню молекул, що утворилися, від міжфазної поверхні [17, 18].

Для досягнення необхідного очищення ніобію від газів та інших домішок переплав витратного електрода необхідно здійснювати послідовно декілька разів. Як показали результати раніше проведених досліджень, для вихідної шихти у вигляді алюмотермічного ніобію оптимальною є технологія чотирикратного прямого електронно-променевого переплаву ніобію безпосередньо в кристалізатор [17].

З метою підвищення техніко-економічних показників процесу ЕПП ніобію шляхом зменшення кількості переплавів та враховуючи те, що проміжна ємність при ЕПП суттєво підвищує ефективність рафінування розплаву за рахунок збільшення часу та площі взаємодії розплаву з паровою фазою, було запропоновано отримувати зливки ніобію способом електронно-променевої плавки з проміжною ємністю.

Мета та задачі дослідження. Проведені дослідження ставили за мету отримання якісних зливок металічного ніобію високої чистоти шляхом електронно-променевої плавки з проміжною ємністю (ЕППЄ) з підвищеними техніко-економічними показниками процесу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: відпрацювання техніки ЕППЄ ніобію; визначення технологічних режимів ЕППЄ ніобію, що забезпечують високі якості зливок та

техніко-економічні показники процесу плавлення; дослідження якості отриманих зливків ніобію.

Матеріали, обладнання та методи досліджень. В якості витратної заготовки при проведенні дослідних плавок використовували електроди прямокутного перерізу 150×150 мм з алюмотермічного ніобію масою до 300 кг.

Дослідні плавки проводили на електронно-променевій установці УЕ-121 (рис. 1), обладнаною трьома електронно-променевими гарматами «Патон 300» потужністю 300 кВт кожна та технологічним оснащенням у вигляді прохідного кристалізатора діаметром 200 мм та проміжної ємності [19].

Установка УЕ-121 дозволяє виплавити зливки діаметром від 100 до 400 мм і довжиною до 2200 мм. Процес плавки здійснювали у вакуумі $0,1 \dots 0,01$ Па, що створювало найбільш сприятливі умови для рафінування металу та унеможливило його забруднення газами атмосфери.

Для точного аналізу вмісту легуючих елементів в одержаних зливках ніобію використовували метод з оптичної емісійної спектрометрії індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-ОЕС) на ІСП-спектрометрі ICAP 6500 DUO виробництва фірми «Thermo Electron Corporation». Для визначення вмісту кисню, азоту та водню виготовляли зразки циліндричної форми діаметром 3 мм і довжиною 3 мм. Вміст визначали на приладах RO-316, TN-114 фірми «LECO» (США).

Слід зауважити, що при точному визначенні хімічного складу у межах декількох ppm необхідно ретельну увагу приділяти процедурі відбору зразків. Для дослідження хімічного складу зливків ніобію та оцінки їхньої гомогенності на верстаті відбираються проби у вигляді стружки за схемою, представленою на рис. 2.

Вміст елементів у зливках приймаються рівні середньоарифметичного значення результатів вимірювань шести зразків, узятих з бокової поверхні зливка в трьох місцях: верх, середина, низ. Причому з верхньої та нижньої частин зливка проби відбираються на відстані $30 \dots 50$ мм від його торців, щоб уникнути впливу нестационарних режимів плавки. Вага кожної проби має бути не менше $20 \dots 30$ г.

Відбір проб проводиться з бокової поверхні зливка при його механічній обробці наступним чином: проводиться попередня проточка на глибину $2 \dots 3$ мм, при цьому стружка відкидається. Проба відбирається при наступній проточці на глибину $3 \dots 7$ мм. Перегрівання стружки та застосування мастильно-охолодних рідин при відборі проб не допускається.

Для визначення вмісту кисню, азоту, водню зразки виготовляють циліндричної форми діаме-

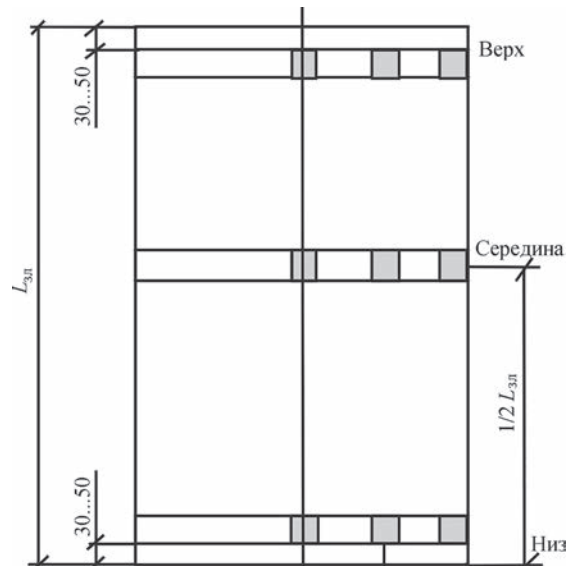


Рис. 2. Схема відбору проб для хімічного аналізу зливка ніобію тром та довжиною 3 мм з металу, що відбирають з кільця при знятті фаски з торців зливка.

Результати досліджень та їх обговорення. Технологія електронно-променевої плавки з проміжною ємністю дослідних зливків включала наступні етапи: визначення хімічного складу вихідної шихти; підготовка обладнання та технологічного оснащення до плавки; формування витратної заготовки; процес плавки; відбір проб для хімічного та газового аналізу виплавленого зливка; проведення хімічного та газового аналізу відібраних проб.

Перед проведенням дослідних плавок здійснювали очищення плити гармат, проміжної ємності, кристалізатора, піддону та променеводів електронних гармат від конденсату, пилу та бризок металу. При виплавці експериментальних зливків ніобію в якості витратної заготовки використовували електроди алюмотермічного ніобію масою до 300 кг.

Після завантаження витратної заготовки і розміщення затравки з переплавленого металу на піддон в кристалізаторі установку герметизували і вакуумували до досягнення залишкового тиску в камері плавки $0,06$ Па. При цьому допустиме значення натікання не перевищувало 30 лмкм/с.

Експериментальні плавки ніобію здійснювали з боковою подачею витратної заготовки безпосередньо в проміжну ємність, де відбувалося її плавлення та подальша витримка металу в рідкому стані. Після витримки металу в проміжній ємності метал зливали в кристалізатор.

Під час електронно-променевої плавки з проміжною ємністю ніобію поверхня ванни рідкого металу підтримується на оптимальній відстані ($20 \dots 25$ мм) від верхнього краю кристалізатора. Процес витягування зливка — напівбезперерв-

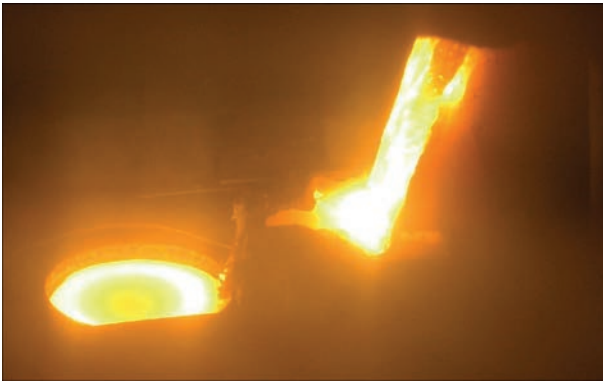


Рис. 3. Процес одержання зливка ніобію способом електронно-променевої плавки з проміжною ємністю

ний. Після підвищення рівня рідкого металу в кристалізаторі на 10...15 мм зливки починають поступово витягувати доки ванна рідкого металу не опуститься до початкового оптимального рівня. Потім відбувається заповнення кристалізатора новою порцією рідкого металу і витягування зливка повторюють. Плавлення витратної заготовки може здійснюватися як безперервно, так і періодично.

Двократний переплавлення зливок ніобію способом електронно-променевої плавки з проміжною ємністю в електронно-променевої установці УЕ-121 проводили на наступних режимах: швидкість плавки — 60...70 кг/год; потужність нагріву в кристалізаторі — 110 кВт; потужність нагріву в проміжній ємності — 325 кВт. Процес плавлення шихтової заготовки проходив стабільно, розбрикування ніобію було відсутнє (рис. 3).

Невисока швидкість плавлення дозволяла витримувати розплав в проміжній ємності до повного протікання процесу рафінування ніобію від шкідливих домішок.

В кінці процесу для усунення виникнення дефектів усадкового характеру було проведено виведення усадкової раковини за режимом, наведеним на рис. 4.

В результаті проведення дослідних плавок отримані зливки діаметром 200 мм та довжиною до 1800 мм (рис. 5). Заготовки зливок ніобію використовуються для подальшого прокату на лист,

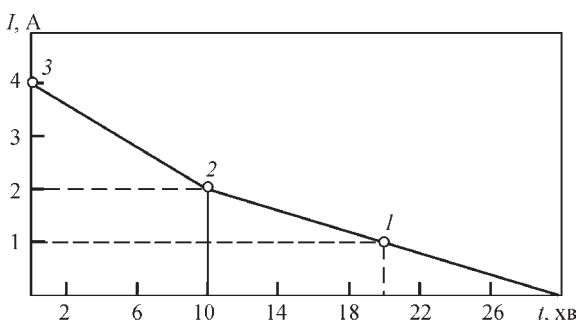


Рис. 4. Графік виведення усадкової раковини зливка діаметром 200 мм при звуженні: 1 — 50; 2 — 100; 3 — 150

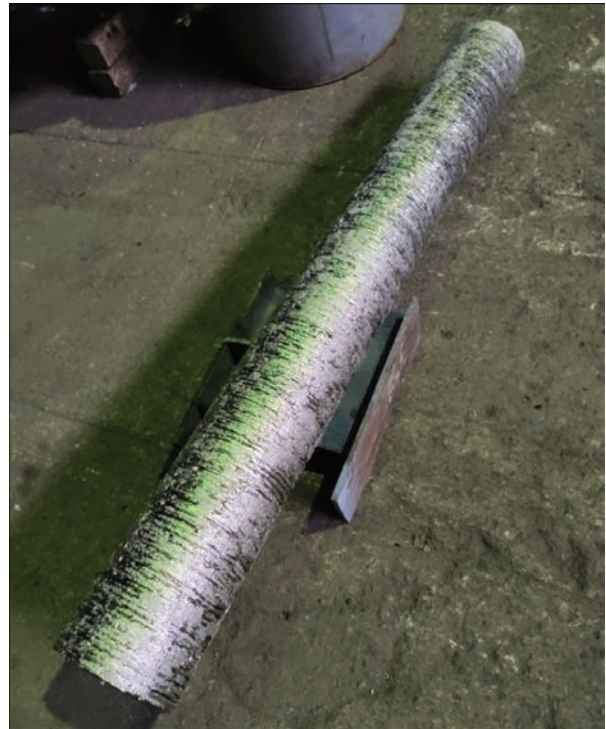


Рис. 5. Злинок ніобію електронно-променевої плавки

фольгу, дріт, тому велике значення має їх структура і відсутність усередині зливка та на його поверхні дефектів у вигляді порожнин, несучільностей, неметалевих включень. Одним із видів поверхневих дефектів зливок ніобію є кільцеві нерівності та напливи на боковій поверхні зливка (гофри), глибина яких не перевищує 1...2 мм.

Видалення цих дефектів поверхневого шару проводили за технологією електронно-променевого оплавлення поверхні зливок [20], яка полягає в нагріванні та розплавленні поверхневого шару зливка електронними променями вздовж його осі. При нагріванні зливка електронними променями на його поверхні утворюється рідка ванна металу. Шляхом сканування виявили, що довжина ванни рідкого металу для однієї гармати становила 0,3...0,4 м, тоді як її ширина не перевищувала 0,02 м. В процесі оплавлення зливок обертається навколо своєї осі і наведена на поверхні зливка



Рис. 6. Злинок ніобію з фрагментом поверхні, оплавленої електронним променем

Хімічний склад сировини та ніобію, рафінованого подвійним електронно-променевим переплавом з проміжною ємністю, мас. %

Досліджуваний матеріал	Al	Si	Hf	Ta	Zr	Fe	Ni	Ti	C	O	N	H
Вхідна витратна заготовка	3,044	0,079	0,130	0,007	0,065	0,146	0,043	0,231	0,066	0,725	0,101	0,0072
Перший переплав	0,079	0,014	0,010	<0,001	0,042	0,079	0,006	0,170	0,0006	0,056	0,016	0,0003
Другий переплав	0,001	0,005	0,004	—>—	0,001	0,003	0,002	0,041	<0,0005	0,012	0,010	0,0001

ванна рідкого металу переміщується по всій його боковій поверхні.

Після оплавлення поверхня зливків ніобію рівна, без видимих дефектів, шорсткість поверхні знаходиться в межах Rz20...Rz80 при хвилястості рельєфу поверхні рівній 0,2...0,6 мм відповідно (рис. 6).

Якість зливків ніобію характеризується вмістом шкідливих домішок, а також однорідністю їх розподілу в об'ємі зливка. У ході експериментів контролювали зміну вмісту в металі зливків домішок алюмінію, азоту, вольфраму, водню, кисню, кремнію та ін. (таблиця).

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що серед домішок впровадження з ніобію найбільш погано видаляється азот, який лімітує процес рафінування. Залізо та вуглець у процесі ЕПП видаляються добре, кремній та кисень — дещо гірше. Слід зазначити, що у будь-якій точці зливка вміст цих домішок не перевищує вимог стандартів (ГОСТ 16099–80). Отже, запропоновані режими двократного електронно-променевого переплаву з проміжною ємністю ніобію забезпечують досить однорідний розподіл домішкових елементів в об'ємі зливка.

Висновки

1. Встановлено, що серед домішок впровадження з ніобію під час електронно-променевої плавки з проміжною ємністю найбільш погано видаляється азот, який лімітує процес рафінування.

2. Показано, що запропоновані режими двократного електронно-променевого переплаву ніобію з проміжною ємністю забезпечують досить однорідний розподіл домішкових елементів в об'ємі зливка, а їх вміст при цьому не перевищує величини, визначені вимогами стандарту.

3. Показано, що застосування технології електронно-променевого оплавлення поверхні зливків забезпечує видалення дефектів поверхневого шару зливків ніобію, при цьому шорсткість поверхні знаходиться в межах Rz20...Rz80 при хвилястості рельєфу поверхні на рівні 0,2...0,6 мм відповідно.

Список літератури/References

- Inshewat, Yazan (2020) *ECM and EDM of tantalum and niobium alloys for use in the space industry*. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11005.59366>
- Hebda, John (2001) Niobium alloys and high temperature applications. *Niobium Science & Technology: Proc. of Inter. Sym. Niobium, Orlando, Florida, USA*.
- Paul Aimone, Mei Yang (2018) Niobium alloys for the chemical process industry. *Inter. J. of Refractory Metals and Hard Materials*, **71**, 335–339. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2017.11.036>
- Ciovati, Gianluigi, Dhakal, Pashupati, Kneisel, P., Myneeni, Ganapati (2015) Summary of performance of superconducting radio-frequency cavities built from CBMM niobium ingots. *AIP Conf. Proc.*, **1687**, 030001. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.4935322>
- Patel, D., Kim, SH., Qiu, W. et al. (2019) Niobium-titanium (Nb–Ti) superconducting joints for persistent-mode operation. *Sci.*, **9**, 14287. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50549-7>
- Banno, N., Kobayashi, K., Uchida, A. et al. (2021) High-temperature-tolerable superconducting Nb-alloy and its application to Pb- and Cd-free superconducting joints between NbTi and Nb₃Sn wires. *J. Mater. Sci.*, **56**, 20197–20207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-021-06585-8>
- Om Pal Singh, Umasankari K. (2021) Chapter 12: Nuclear reactors of the future. Ed. by P. Mohanakrishnan. *Physics of Nuclear Reactors*. Academic Press, 695–746. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822441-0.00006-6>
- Nikulina, A.V. (2003) Zirconium-niobium alloys for core elements of pressurized water reactors. *Metal Sci. and Heat Treatment*, **45**, 287–292. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1027388503837>
- Pink, Erwin, Eck, Ralf. (2006) *Refractory metals and their alloys*. DOI: <https://doi.org/10.1002/9783527603978.mst0088>
- Lance L. Snead, David T. Hoelzer, Michael Rieth, Andre A.N. Nemith (2019) Chapter 13: Refractory Alloys: Vanadium, niobium, molybdenum, tungsten. Eds by G. Robert Odette, Steven J. Zinkle. *Structural Alloys for Nuclear Energy Applications*. Elsevier, 585–640. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397046-6.00013-7>
- Zelikman, A.N., Korshunov, B.G. (1991) *Metallurgy of rare metals*. Moscow, Metallurgy.
- Zinoviev, V.E. (1984) Kinetic properties of metals at high temperatures: Refer. book. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
- Greenwood, N.N., Earnshaw, A. (1997) *Vanadium, niobium and tantalum. Chemistry of the elements*. Second Edition. Butterworth-Heinemann, 976–1001. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-3365-9.50028-6>
- Juneja, J.M. (2005) Preparation of niobium-aluminium alloys by aluminothermic reduction of Nb₂O₅. *High Temperature Materials and Processes*, **24(1)**, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1515/HTMP.2005.24.1.1>

15. Mitchell, A., Wang, T. (2000) Electron beam melting. Technology review. *Proc. of Conf. on Electron Beam Melting and Refining — State of the Art 2000. Millennium Conf., Englewood, September 23–25, 2000, N.-J.* Bakish Materials Corporation, 2–11.
16. Nakajima, T., Morimoto, Y., Takaki, S., Abiko, K. (1998) Preparation of ultra-pure Ti–Al alloys. *Phys. Status Solidi. A*, **2**, 411–418.
17. Paton, B.E., Trigub, M.P., Akhonin, S.V. (2008) Electron beam melting of refractory and highly reactive metals. Kyiv, Naukova Dumka [in Ukrainian].
18. Akhonin, S.V., Berezos, V.O., Pikulin, O.M. et al. (2022) Producing high-temperature titanium alloys of Ti–Al–Zr–Si–Mo–Nb–Sn system by electron beam melting. *The Paton Welding J.*, **7**, 39–45. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2022.07.07>
19. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Kalinyuk, A.N. et al. (2003) Electron beam installation UE-121. *Advances in Electrometallurgy*, **2**, 15–17.
20. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Pikulin, A.N. et al. (2003) Electron beam installation UE-185 for fusion of surface layer of ingots. *Ibid.*, **3**, 10–12.

NIOBIUM REFINING BY THE METHOD OF COLD-HEARTH ELECTRON BEAM MELTING

S.V. Akhonin, V.O. Beresos, O.M. Pikulin, O.O. Kotenko, Yu.T. Ishchuk

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The technology of cold-hearth electron beam melting was used to perform a package of research work to produce quality ingots of high-purity metallic niobium with improved technical and economic parameters of the process. Proceeding from the results of the performed work, it was established that of all the interstitial impurities nitrogen is removed the worst from niobium during cold-hearth electron beam melting. This is the impurity which limits the refining process. Experimental data, obtained during operation, showed that the proposed modes of cold-hearth double electron beam remelting of niobium ensure rather uniform distribution of impurity elements in the ingot volume, whereas their content does not exceed the values specified by the standard requirements. It is found that application of the technology of electron beam melting of the ingot surface ensures removal of defects from the surface layer of niobium ingots, surface roughness being in the range of Rz20...Rz80 at surface relief waviness equal to 0.2...0.6 mm, respectively. Ref. 20, Tabl. 1, Fig. 6.

Key words: niobium; electron beam melting; cold hearth; ingot; chemical composition

Надійшла до редакції 26.09.2022

ПЕРЕДПЛАТА 2023

Журнали	Вартість передплати на друковані версії журналів*, грн.			
	місяць	квартал	півроку	рік
«Автоматичне зварювання», видається з 1948 р., 12 випусків на рік. ISSN 0005-111X. Передплатний індекс 70031.	280	840	1680	3360
«Сучасна електрометалургія», видається з 1985 р., 4 випуски на рік. ISSN 2415-8445. Передплатний індекс 70693.	–	280	560	1120
«Технічна діагностика та неруйнівний контроль», видається з 1989 р., 4 випуски на рік. ISSN 0235-3474. Передплатний індекс 74475.	–	280	560	1120
«The Paton Welding Journal»**, видається з 2000 р., 12 випусків на рік. ISSN 0957-798X. Передплатний індекс 21971.	560	1680	3360	6720

*Вартість з урахуванням доставки рекомендованою банделроллю.

** Журнал «The Paton Welding Journal» містить статті, отримані від авторів з усього світу і вибірково переклади на англійську мову статей з журналів «Автоматичне зварювання», «Сучасна електрометалургія», «Технічна діагностика та неруйнівний контроль».

Передплату на журнали можна оформити по каталогах передплатних агенцій «УКРПОШТА», «Преса», «Прес Центр», «АС Медіа» та у видавництві. Передплата через видавництво з любого місяця на любой термін, в т.ч. на попередні періоди та окремі статті, починаючи з першого року видання.

Передплата на електронну версію журналів.

Вартість передплати на електронну версію журналів дорівнює вартості передплати на друковану версію. Випуски журналу надсилаються електронною поштою у форматі pdf або для IP-адреси комп'ютера передплатника надається доступ до відповідних архівів журналу.

Передплата через сайт видавництва:

<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/as/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/sem/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/ukr/journals/tdnk/subscription>
<https://patonpublishinghouse.com/eng/journals/tpwj/subscription>

На сайті видавництва у 2023 р. доступні для вільного копіювання випуски журналів з 2007 по 2021 рр.