

ПЕРЕПЛАВ ВІДХОДІВ ТИТАНУ ТА ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ПЛАЗМОВО-ДУГОВОЇ ПЛАВКИ

В.Р. Бурнашев, Ю.О. Никитенко, В.В. Барабаш, В.О. Шаповалов

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

Розглянуто можливості щодо переробки титану та титанових відходів в умовах плазмово-дугового переплаву в наскрізний кристалізатор у вигляді возгонів, що утворилися в електронно-променевих печах, та ливникових систем сплаву типу VT5, отриманих в вакуумно-індукційних печах. Вивчено можливості плазмово-дугової гарнісажної плавки при переробці цих відходів в невеликі зливки та 70%-ний феротитан. Вивчено поведінку водню в атмосфері печі при перепаї зазначених відходів. Показано, що в умовах плазмово-дугового переплаву можливо переробляти відходи титану та титанових сплавів в заготовки для подальшого переплаву, виливки та феротитан. Бібліогр. 9, табл. 3, рис. 7.

Ключові слова: плазмово-дуговий переплав; плазмово-дуговий гарнісажний переплав; титан; феротитан; сплави титану; переплав відходів титану; зливки

Основна задача виробництва титану складається в зниженні його вартості при забезпеченні високої якості металу по всьому технологічному ланцюгу.

Зростання обсягів виробництва титану і його сплавів неминує супроводжується збільшенням відходів, що утворюються. Проблемі ефективного використання відходів титану та сплавів на його основі приділялося достатньо уваги з початку промислового виробництва. Кількість відходів цього металу на різних стадіях виробництва може досягати до 70 % від вихідної шихти.

Значна кількість титанових відходів у вигляді стружки, обрізків утворюються на підприємствах хімічного машинобудування та інших галузей промисловості. Більшість з них є кондиційними матеріалами, хімічний склад яких відповідає марочним. Відповідно відходи можуть залучатися у виробництво злиwkів і литих виробів з титану та титанових сплавів, феротитану і лігатур.

Найбільш ефективним способом утилізації відходів є переплав.

На даний час існує декілька технологічних процесів спеціальної електрометалургії, в яких використовуються відходи титану, що отримані на стадіях його виплавки або механічної обробки. Це гарнісажний вакуумно-дуговий переплав (ВДП) [1, 2] з залученням відходів до 30...35 %. Титанові зливки з недроблених блоків губчастого титану отримують способом електронно-променевої плавки (ЕПП) [3, 4]. Електрошлаковий переплав (ЕШП) з невитратним електродом застосовується для переплаву шихтових матеріалів, утилізації стружки і мірних обрізків титану [5]. Були спроби переробляти відходи титану і титанових сплавів в умовах індукційної плавки в секційному криста-

лізаторі (ІПСК). Важливою особливістю ІПСК є те, що плавлення і кристалізація зливка відбувається в електромагнітному полі великої інтенсивності, що викликає енергійне перемішування металевого розплаву. Інтенсивна циркуляція металу є одною з найважливіших переваг цього процесу, оскільки забезпечується рівномірний обігрів і розподіл елементів в обсязі рідкої ванни. Впроваджено в промисловість і плазмово-дугову технологію виробництва титанових злиwkів [6, 7], яка характеризується наявністю незалежного джерела нагріву — плазмотрона. Це дозволяє регулювати тривалість перебування металу в рідкому стані, глибину і форму металеві ванни. Застосування декількох плазмотронів додає процесу плазмово-дугового переплаву (ПДП) значної технологічної гнучкості.

Технологічні схеми ПДП передбачають перепаи як витратної заготовки, так і некомпактної шихти. Як показали численні дослідження [8, 9], титанова губка дрібної фракції, ливарні відходи титанових сплавів, листові обрізи та стружка можуть бути переплавлені способом ПДП в зливки первинного і вторинного титану і його сплавів.

Методика проведення експериментів. Дана робота присвячена вивченню процесу переплавки відходів титану у вигляді возгонів, що утворилися в електронно-променевих печах, а також ливникових систем сплаву марки VT5-Л.

Експерименти проводили на печі УПП-3 за двома схемами.

Схема 1 — класичний переплав в наскрізний мідний водоохолоджуваний кристалізатор діаметром 100 мм (рис. 1, а).

В.Р. Бурнашев — <https://orcid.org/0000-0001-6807-3810>, Ю.О. Никитенко — <https://orcid.org/0000-0002-3603-2333>,

В.В. Барабаш — <https://orcid.org/0000-0001-8138-3565>, В.О. Шаповалов — <https://orcid.org/0000-0003-1339-3089>

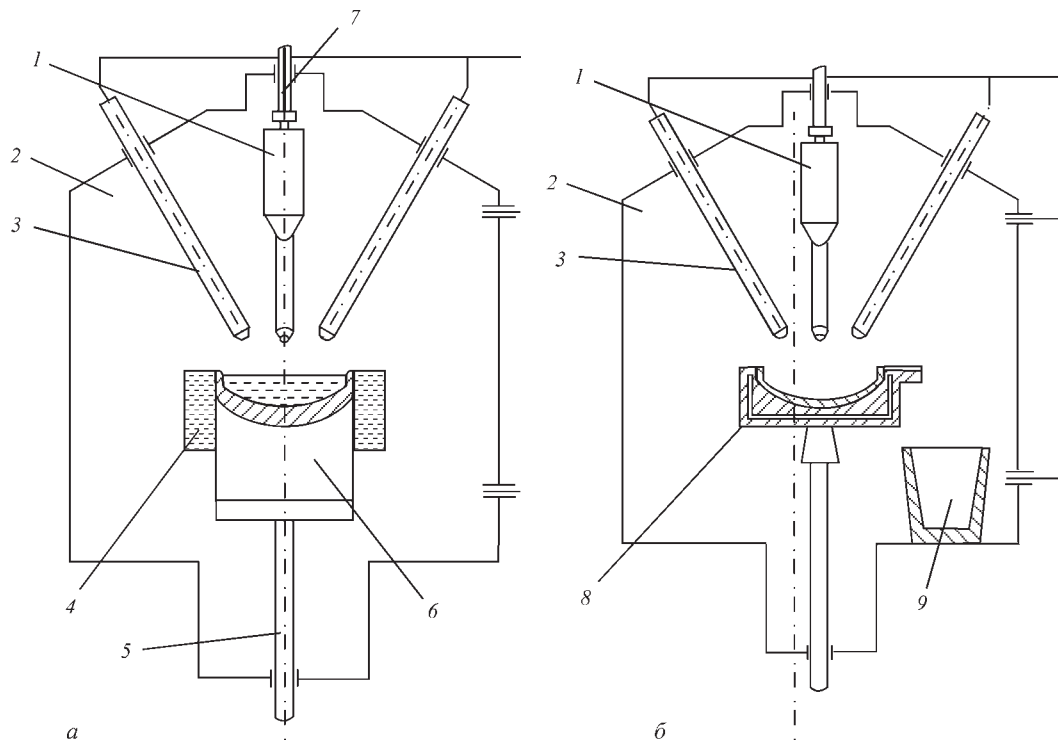


Рис. 1. Схеми переплаву в наскрізний мідний водоохолоджуваній кристалізатор (а) та в мідному водоохолоджуваному тиглі (б): 1 — заготовка; 2 — плавильна камера; 3 — плазмотрон; 4 — кристалізатор; 5 — зливков; 6 — механізм витягування зливка; 7 — механізм подачі заготовки; 8 — тигель; 9 — виливниця

Схема 2 — плавка відходів титану та його сплавів в мідному водоохолоджуваному тиглі ємністю 1000 см³ (рис. 1, б).

Установка обладнана чотирма плазмотронами постійного струму загальною потужністю 120 кВт. Радіально розташовані плазмотрони забезпечують рівномірний обігрів і можливість спрямованого нагрівання в будь-якій точці рідкої ванни.

Для проведення даних досліджень способом аргонного зварювання з конгломератів титанових возгонів (рис. 2, а) і ливників (рис. 2, б) були зварені витратні заготовки, які використовувалися при перепаві на печі УПП-3 в кристалізатор діаметром 100 мм.

Експерименти починали з того, що закріплювали витратні заготовки на механізм подачі. Закривали камеру і проводили вакуумування за допомогою вакуумного насоса ВН-2 до тиску $1 \cdot 10^{-2}$ МПа. Після цього камеру заповнювали аргоном.

При досягненні надлишкового тиску (0,025 МПа) проводили переплаву в наскрізний кристалізатор діаметром 100 мм.

Переробку титанових відходів в феротитан і невеликі зливки проводили в мідному водоохолоджуваному тиглі. Для отримання якісних злиwkів в кінці плавки тиск в камері піднімали до 0,05...0,07 МПа, після цього нахиляли тигель і зливали метал в кокіль.

В якості плазموутворюючого газу використовували аргон (ГОСТ 10157-74). Витрату плазمو-

творюючого газу контролювали: загальну ротаметром РС-5, а на кожному плазмотроні — РС-3.

При цьому змінювали технологічні параметри — витрату газу, тиск газу в камері, швидкість витягування зливка і потужність.

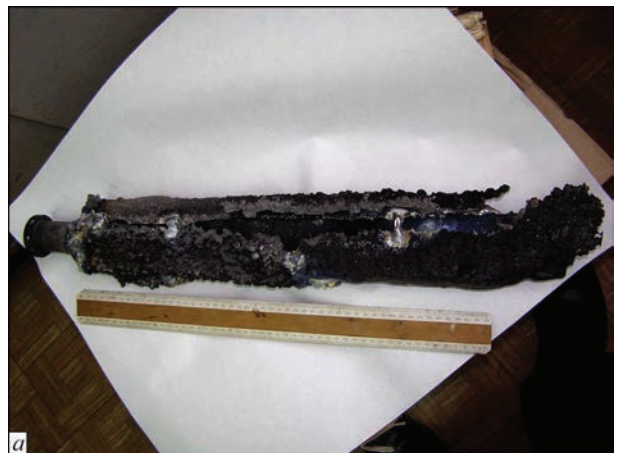


Рис. 2. Витратні заготовки для перепаву: а — конгломерати титанових возгонів; б — ливникові системи

Таблиця 1. Основні технологічні параметри переплаву титану і титанових сплавів

Схема переплаву	Швидкість витягування зливка, мм/хв	Тиск газу в плавильній камері, МПа	Загальна потужність плазмотронів, кВт	Щільність енергії, кВт/см ²	Витрати аргону, л/год
Схема 1	3	0,025	40	0,51	1640
	6	0,04	48	0,61	1680
Схема 2	–	0,05	52	0,26	1920
		0,1	64	0,318	1960

Таблиця 2. Хімічний склад вихідного матеріалу і після переплаву

Матеріал переплаву	Хімічний склад, мас. %						
	Al	Si	Ca	V	Cr	Mn	Fe
Вихідний	0,7	0,59	0,015	0,065	0,23	0,065	0,75
Переплав конгломерату	0,2	–	–	–	0,43	0,018	0,46
Вихідний	5,3	0,21	–	–	0,04	–	0,34
Переплав BT5-J	5,2	0,15	–	–	0,021	–	–>–

Закінчення табл. 2

Матеріал переплаву	Хімічний склад, мас. %				Вміст газових домішок		
	Ni	Cu	Zr	Ti	[O]	[N]	[H]
Вихідний	0,025	0,041	0,32	97,2	0,43	0,011	0,0056
Переплав конгломерату	–	0,023	–	98,7	–>–	–>–	0,0036
Вихідний	–	–	0,116	94,0	0,025	–>–	0,0041
Переплав BT5-J	–	–	0,100	94,4	0,024	0,012	0,0030

Режими проведення експерименту наведені в табл. 1.

Методи та результати досліджень. Для вирішення поставлених завдань і отримання основних результатів даної роботи використовували аналітичні та експериментальні методи досліджень. Склад металу визначали методами хімічного та спектрального аналізу. Вміст газів в металі вимірювали на апараті фірми «LECO», водню в відпрацьованих газах в атмосфері печі — методом хроматографічного аналізу приладом «Газохром 3101».

В результаті проведених експериментів по переплаву конгломерату возгонів титану були отримані заготовки діаметром 98 мм, довжиною

300...320 мм, вагою 8,0...8,5 кг (рис. 3). Хімічний склад злиwkів наведено в табл. 2.

При проведенні експерименту по отриманню феротитану в якості вихідних матеріалів використовували армко-залізо марки Ар-1, а також возгони титану з електронно-променевої печей. Зовнішній вигляд возгонів представлений на рис. 2. Відомо, що при електронно-променевому переплаві 1-ої тонни титану випаровується і осідає на стінках камери близько 20...50 кг металу [1]. Тому переробка таких відходів є перспективною.

Особливістю плазмово-дугової гарнісажної плавки є те, що метал для його очищення можна підтримувати в рідкому стані скільки необхідно без побоювання забруднити його домішками з тигля.

Завантаження компонентів сплаву здійснювали наступним чином: частину возгонів дрібної фракції укладали на дно тигля, зверху завантажували армко-залізо, відсутню частину шихти титану (возгонів) у вигляді довгомірних конгломератів підвішували на механізм подачі заготовки печі УПП-3 (рис. 1). Загальне завантаження зашихтовувалось при витратах титану (возгонів) 70 %, армко-заліза — 30 %.

Після завантаження шихти камеру печі вакуумували до тиску 10⁻² МПа з наступним заповненням аргонном до тиску 0,025 МПа. Потім включали чотири плазмотрони ПДМ-7, доводили потужність до 60 кВт і розплавляли шихту в тиглі.



Рис. 3. Зовнішній вигляд поверхні злиwkів: а — переплавлений конгломерат титанових возгонів; б — переплавлені ливникові системи типу BT5-J

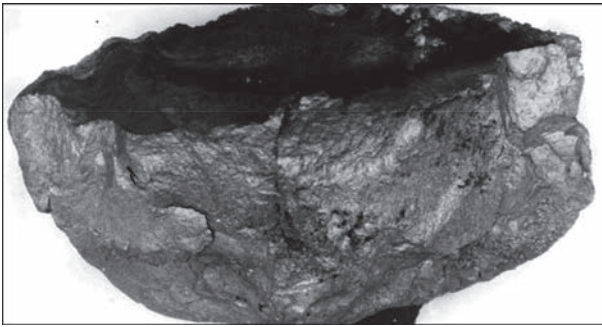


Рис. 4. Зовнішній вигляд відколу зразка феротитану

Надалі в зону дії плазмотронів подавали конгломерат возгонів титану і сплавляли його в рідку ванну. Плазмотрони розташовували в радіальному положенні для більш повного перемішування рідкого металу. Витримка після розплавлення шихти для феротитану становила 15 хв.

В результаті експериментів отримані зразки вагою 4,5 кг кожної плавки. Зовнішній вигляд відколу зразка феротитану показав, що метал щільний, без будь-яких несущільностей (рис. 4).

Також були отримані невеликі зливки з відходів сплаву ВТ5-Л (рис. 5) у вигляді кілець з розмірами, мм: діаметр — 110, товщина — 12, висота — 45 та вагою 0,6 кг.

У даній роботі досліджено хімічний склад феротитану. Порівняння хімічного складу, виплавленого способом плазово-дугової гарнісажної плавки (ПДГП) і феротитану по ГОСТ 4761–91, наведено в табл. 3.

Обговорення результатів. Хімічний склад, наведений у табл. 2, показує, що після переплавки конгломерату возгонів титану підвищується чистота титану майже на 1,5 %. Причому, знижується вміст таких шкідливих домішок, як мідь, нікель, кальцій та ін. Вірогідно, що зниження вмісту цих домішок відбувається за рахунок їх випалювання в процесі плавки. Також знижується вміст водню. При проведенні цих експериментів було вивчено поведінку водню в атмосфері печі (рис. 6).

З наведених даних видно, що в початковий період плавки в атмосфері печі водень відсутній і з'являється при появі крапель з розплавленої заготовки. Причому для конгломерату возгонів титану він становить до 1,25 %, а для ливників — до 0,4 %. При зниженні швидкості подачі заготовки

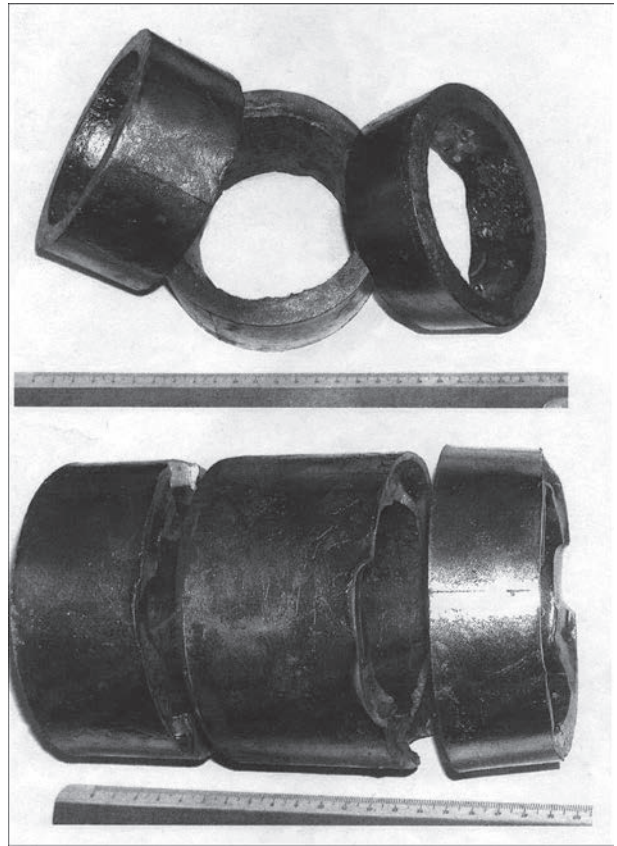


Рис. 5. Зливки, що виплавлені з відходів сплаву ВТ5-Л

в зону плавки знижується вміст водню в атмосфері печі до 0,47 і 0,1 % відповідно. Для того, щоб знизити вміст водню в кінцевому продукті проводили відкачування відпрацьованих газів з камери, доводячи надлишковий тиск до 0,01...0,02 МПа. В результаті такої процедури вміст водню в металі знизився на 50...70 % (табл. 2).

Металографічні дослідження поперечного темплету зливка показали, що отримана структура без помітних металургійних дефектів (рис. 7).

З наведених у табл. 3 даних видно, що в складі феротитану, виплавленого з конгломерату, практично відсутні елементи W, Mo, Zr, Al. Відсутність цих домішок призвело до зниження температури плавлення феротитану. Цей показник, а також чистота по різних включенням є важливим при виплавці та легуванні різних сталей і сплавів відповідального призначення.

При цьому продуктивність виплавки феротитану склала 20 кг/год при питомій витраті електроенергії — 2,5 кВт/кг, аргону — 0,12 м³/кг.

Таблиця 3. Хімічний склад стандартного феротитану, отриманого ПДГП, мас. %

Марка феротитану	Ti	Al	Si	C	P	S	Cu	V	Mo	Zr	Sn
	не менше	не більше									
ФТi70C05	68...75	0,50	0,50	0,20	0,05	0,05	0,20	0,60	0,60	0,60	0,10
ФТi70C1	→→	5,00	1,00	0,40	→→	→→	0,04	3,00	2,50	2,00	0,50
ФТi70 після ПДГП	70,20	—	—	0,15	0,03	0,02	0,07	—	—	—	—

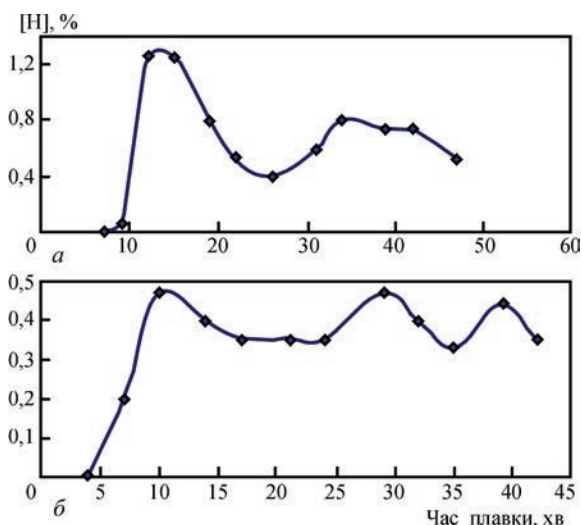


Рис. 6. Поведінка водню в газовій атмосфері печі при переплаві возгонів титану (а) та ливників (б)

Отримані результати досліджень роблять привабливими процес плазово-дугової гарнісажної плавки при отриманні 70%-ного феротитану, а також плазово-дугової плавки для отримання заготовок з конгломератів титанових возгонів і ливників.

Висновки

1. Показано, що після ПДП титанових возгонів і відходів ливників можливо отримати якісні заготовки діаметром 98 мм для подальшого переділу.

2. Визначено, що при переробці титанових відходів необхідно контролювати вміст домішок у вихідному металі та в аргоні.

3. Експериментально встановлено, що при переплаві титану і титанових сплавів необхідно відкачувати відпрацьовані гази з атмосфери печі, що знижує вміст газових домішок.

4. Досліджено поведінку водню при переробці титану і його сплавів та визначено, що для зниження вмісту водню в металі на 50...70 % необхідно вчасно видаляти відпрацьовані гази з атмосфери печі.

5. Показано, що в умовах ПДГП можливе отримання якісного 70%-ного феротитану.

Список літератури

1. Гармата В.Л., Петрунько А.Н., Галицкий Н.В. и др. (1983) *Титан*. Москва, Металлургия.
2. Константинов В.С., Шаповалов В.А., Давыдов С.И. и др. (2009) Получение расходоуемых электродов из губчатого титана для переплава в гарнисажных литейных печах. *Современная электрометаллургия*, **2**, 39–42.
3. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. (2005) Получение титановых слитков из недробленых блоков губчатого титана методом электронно-лучевой плавки. *Титан*, **2**, 23–36.
4. Тригуб Н.П., Ахонин С.В. Жук Г.В. и др. (2006) Электронно-лучевая плавка недробленых блоков губчатого титана. *Там же*, **4**, 6–9.



Рис. 7. Структура отриманого зливка титану

5. Патон Б.Е., Медовар Б.И., Саенко В.Я., Кумыш В.Н. (1995) Получение слитков титана и его сплавов путем переплава непосредственно титановой губки и скрапа. *Проблемы специальной электрометаллургии*, **3**, 14–23.
6. Латаш Ю.В., Константинов В.С., Горбенко В.А. и др. (1989) Промышленное применение низкотемпературной плазмы при выплавке слитков электродов из низкосортного губчатого титана для производства запорной титановой арматуры. *Там же*, **3**, 71–75.
7. Шейко И.В., Шаповалов В.А., Константинов В.С. (2007) Альтернативные технологии переплава промышленных отходов титана и его сплавов. *Современная электрометаллургия*, **3**, 44–53.
8. Должиков В.В., Латаш Ю.В., Шехтер С.Я. и др. (1983) Некоторые исследования выплавки слитков вторичного титана на установке У-599. *Проблемы специальной электрометаллургии*, **18**, 85–88.
9. Жадкевич М.Л., Шаповалов В.А., Теслевич С.М. и др. (2004) Исследование состава газовой фазы при плазменно-дуговой плавке титана из прессованной заготовки. *Современная электрометаллургия*, **4**, 24–28.

References

1. Garmata, V.L., Petrunko, A.N., Galitsky, N.V. et al. (1983) *Titanium*. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
2. Konstantinov, V.S., Shapovalov, V.A., Davydov, S.I. et al. (2009) Production of consumable electrodes from titanium sponge for remelting in skull casting furnaces. *Advances in Electrometallurgy*, **2**, 123–126
3. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (2005) Producing of titanium ingots from whole blocks of sponge titanium by electron beam melting method. *Titan*, **2**, 23–36.
4. Trigub, N.P., Akhonin, S.V., Zhuk, G.V. et al. (2006) Electron beam melting of uncrushed sponge titanium blocks. *Ibid.*, **4**, 5–7.
5. Paton, B.E., Medovar, B.I., Saenko, V.Ya., Kumysh, V.N. (1995) Production of ingots of titanium and its alloys by remelting of titanium sponge and scrap. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **3**, 14–23 [in Russian].
6. Latash, Yu.V., Konstantinov, V.S., Gorbenko, V.A. et al. (1989) Industrial application of low-temperature plasma in smelting of ingots of electrodes from low-grade spongy titanium for production of titanium stop valves. *Ibid.*, **3**, 71–75 [in Russian].
7. Shejko, I.V., Shapovalov, V.A., Konstantinov, V.S. (2007) Alternative technologies of remelting of industrial wastes of titanium and alloys thereof. *Advances in Electrometallurgy*, **3**, 44–50.

8. Dolzhikov, V.V., Latash, Yu.V., Shekhter, S.Ya. et al. (1983) Some investigations of melting of secondary titanium ingots in U-599 unit. *Problemy Spets. Elektrometallurgii*, **18**, 85–88 [in Russian].
9. Zhadkevich, M.L., Shapovalov, V.A., Teslevich, S.M. et al. (2004) Study of gas phase composition in plasma-arc melting of titanium from a pressed billet. *Advances in Electrometallurgy*, **4**, 21–24.

RE MELTING WASTES OF TITANIUM AND TITANIUM ALLOYS UNDER THE CONDITIONS OF PLASMA-ARC MELTING

V.R. Burnashev, Yu.O. Nykytenko, V.V. Barabash, V.O. Shapovalov
E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

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

Possibilities are considered of processing titanium and titanium wastes under the conditions of plasma-arc remelting into a through crucible in the form of sublimates, which formed in electron beam furnaces and gate systems from VT5 type alloy, produced in vacuum induction furnaces. Possibilities of plasma-arc skull melting at processing these wastes into small ingots and 70 % ferrotitanium were studied. Hydrogen behaviour in furnace atmosphere at remelting of the above-mentioned wastes was investigated. It is shown that under the conditions of plasma-arc remelting it is possible to process titanium and titanium alloy wastes into billets for further remelting, castings and ferrotitanium. Ref. 9, Tabl. 3, Fig. 7.

Key words: plasma-arc remelting; plasma-arc skull remelting; titanium; ferrotitanium; titanium alloys; remelting of titanium wastes; ingots

Надійшла до редакції 05.11.2011

РОЗРОБЛЕНО В ІЕЗ ім. Є.О. ПАТОНА

ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ЗНОШЕНИХ ДІЛЯНОК РОБОЧИХ ОРГАНІВ СТАЛЕВИХ І МАТРИЧНИХ КОРПУСІВ БУРОВИХ ДОЛІТ

Область застосування: буровий інструмент для видобутку нафти і газу.

Галузі застосування: нафтогазова та гірничодобувна промисловість.

Основні технічні характеристики та переваги

- ▶ Діаметр обстежуваних бурових доліт від 92 до 450 мм;
- ▶ Відновлення озброєння робочих органів корпусів матричних і сталевих доліт модифіковані полікристалічні алмазні різці PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) з високою ударною, абразивною стійкістю та поліпшеною термостійкістю;
- ▶ Матричні долота PDC із твердосплавним корпусом, що відновлюються композиційні матеріали на основі систем: Ni–Cr, Ni–Cr–Co, Ni–Cr–B–Si з вмістом ультратвердих карбідів вольфраму до 65 %;
- ▶ Сталеві долота PDC із захисним покриттям робочих органів, що відновлюються композиційні матеріали на основі систем: Ni, Ni–Cr, Ni–Cr–Co, Ni–Cr–B–Si з вмістом ультратвердих карбідів вольфраму до 75 %;
- ▶ Стійкість відремонтованих матричних і сталевих бурових доліт підвищує середню проходку на долото, механічну і комерційну швидкість буріння та суттєво зменшує затрати при спуску-підніманні бурових доліт

Особливості застосування

- ▶ Діагностика аномального зношення робочих органів бурових доліт і головок після певного ресурсу роботи для визначення критеріїв ремонтпридатності
- ▶ Буріння нафтогазових свердловин відновленими долотами дозволяє заощадити до 100 % коштів



Матричне 6-ти лопатеве долото



Рестаурація лопати



Відновлене долото