

БАГАТОЦІЛЬОВА ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА УСТАНОВКА УЕ-5810

С.В. Ахонін¹, В.О. Березос¹, А.Ю. Северин¹, В.Д. Корнійчук², Ю.Т. Іщук², О.Г. Єрохін²

¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: ewi.nasu@gmail.com

²ДП «НВЦ «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України».

03028, м. Київ, вул. Ракетна, 26. E-mail: titan.paton@gmail.com

Для реалізації технологій електронно-променевої плавки в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України створено багатофункціональну електронно-променеву установку мегаватного класу УЕ-5810, розраховану на виплавку зливків титану та його сплавів вагою до 20 т. Наведено опис багатоцільової універсальної електронно-променевої установки УЕ-5810 і її технічні характеристики. Викладено функціональні особливості вузлів установки, технологічного оснащення, електронних гармат. Електронно-променева установка УЕ-5810 є надійним високопродуктивним агрегатом промислового типу для плавки високореакційних металів і сплавів, а також обробки оплавленням поверхні отриманих зливків. Бібліогр. 12, рис. 8.

Ключові слова: електронно-променева установка, електронно-променева гармата, технологічна оснастка, плавка, оплавлення, зливки

Вступ. Високі вимоги до якості металевих виробів, а також значні досягнення в підвищенні надійності роботи електронно-променевого обладнання та його автоматизації обумовлюють все більш широке застосування технології електронно-променевої плавки (ЕПП) при металургійній переробці титану [1–3]. Прогнозована загальна річна виробнича потужність виготовлення зливків титану і його сплавів саме способом ЕПП найближчим часом може сягнути позначки більше 50 тис. т на рік [4]. Насамперед така тенденція обумовлена тим, що заснована на використанні електронного променя, як незалежного потужного джерела нагріву, технологія ЕПП отримала в останні роки надійну технічну реалізацію у вигляді сучасних високопродуктивних і ефективних електронно-променевих установок конструкції фірм «TIMET» (США), «TyssenKrupp» (Німеччина), «TOHO Titanium» (Японія), «Panzhuhua Steel Titanium Industry Company» (Китай), ДП «НВЦ «Титан» ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України», які

забезпечують отримання високоякісних зливків титану і зниження собівартості металургійної переробки титану [5, 6].

Тому, основною тенденцією у розвитку обладнання для реалізації технологій ЕПП є створення великих багатофункціональних електронно-променевих установок мегаватного класу, розрахованих на виплавку зливків вагою понад 10 т.

В Україні накопичено багатий досвід по створенню таких установок [5–8]. Електронно-променеві установки останнього покоління дозволяють за рахунок досить простої операції заміни технологічної оснастки здійснювати практично всі технологічні схеми ЕПП. В ІЕЗ ім. Є.О. Патона в 2004 р. була спроектована, побудована і запущена в експлуатацію універсальна багатоцільова промислова електронно-променева установка УЕ-5810 з продуктивністю 1,5 тис. т на рік, яка не має аналогів в світі (рис. 1).

Конструкція УЕ-5810 відрізняється від раніше розроблених і експлуатованих в промисло-



Рис. 1. Зовнішній вигляд електронно-променевої установки УЕ-5810

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

А.Ю. Северин — <https://orcid.org/0000-0003-4768-2363>, О.Г. Єрохін — <http://orcid.org/0000-0003-2105-5783>

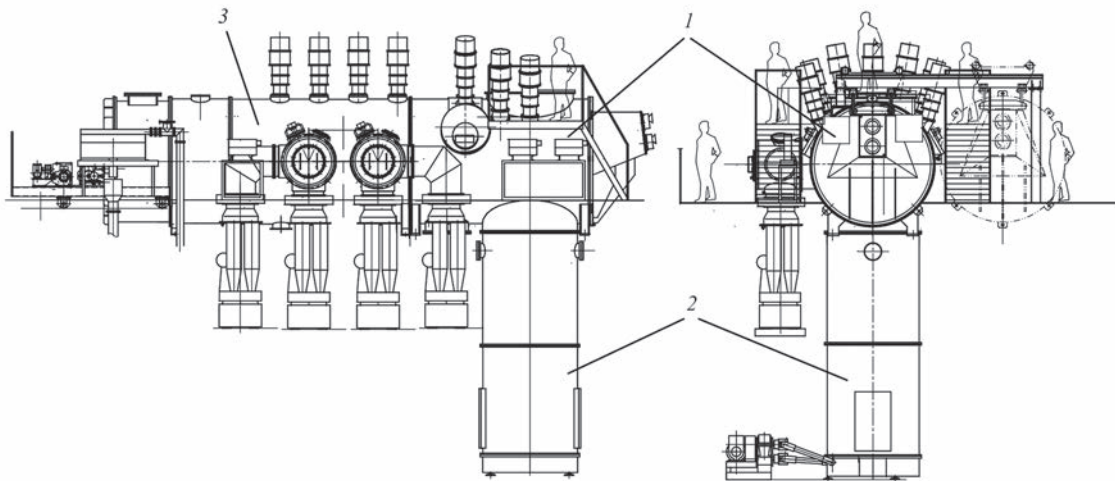


Рис. 2. Конструкція електронно-променевої установки UE-5810: 1 — камера плавки; 2 — камера витягування; 3 — камера заготовки/опалення

вості України установок більш високим рівнем технічних та економічних характеристик [9]. В UE-5810 механізми подачі в зону плавки сировини і витягування зливка виконано ланцюговими. Це дозволяє збільшити вдвічі габарити камер завантаження і зливка у порівнянні зі штоковим виконанням механізмів подачі, значно зменшити монтажний простір та збільшити довжину одержуваних зливків. Крім того, установка відрізняється високою технологічністю при проведенні деяких процесів плавки, яка досягається шляхом нескладної заміни однієї оснастки на іншу, зокрема, дозволяє проводити плавку зливків круглого перетину від 400 до 1200 мм, прямокутного перетину розміром від 155×950 до 410×1310 мм і довжиною до 4 м.

Установка традиційно складається з камер плавки, витягування зливка та його завантаження, яка при необхідності трансформується в камеру для опалення зливка (рис. 2). Всі камери мають примусове водяне охолодження.

Основні технічні характеристики електронно-променевої установки UE-5810 наступні:

встановлена потужність, кВ·А	5100
технологічна потужність, кВт	3700
прискорююча напруга, кВ	30
кількість гармат, шт.	11
найбільші розміри заготовки, м:	
довжина	6
перетин	0,9
найбільші розміри зливків, м:	
довжина	4,0
діаметр	1,2
для прямокутного перетину	1,3×0,4
габарити установки, м	27×10×6

При цьому, враховуючи всі переваги електронно-променевої плавки з проміжною ємністю, крім звичайного титанового брухту, можливе застосування неподрібнених блоків титанової губки (як вихідної шихти), що дозволяє істотно знизити витрати для виробництва титанових зливків діаметром до 1200 мм. Крім того, схема побудови UE-5810 дозволяє поєднати процеси опалення



Рис. 3. ЕПП блоків губчастого титану: а — блок губчастого титану масою 4 т в порівнянні з блоком масою 0,7 т; б — ЕПП одержання зливка діаметром 1100 мм з недроблених блоків губчастого титану

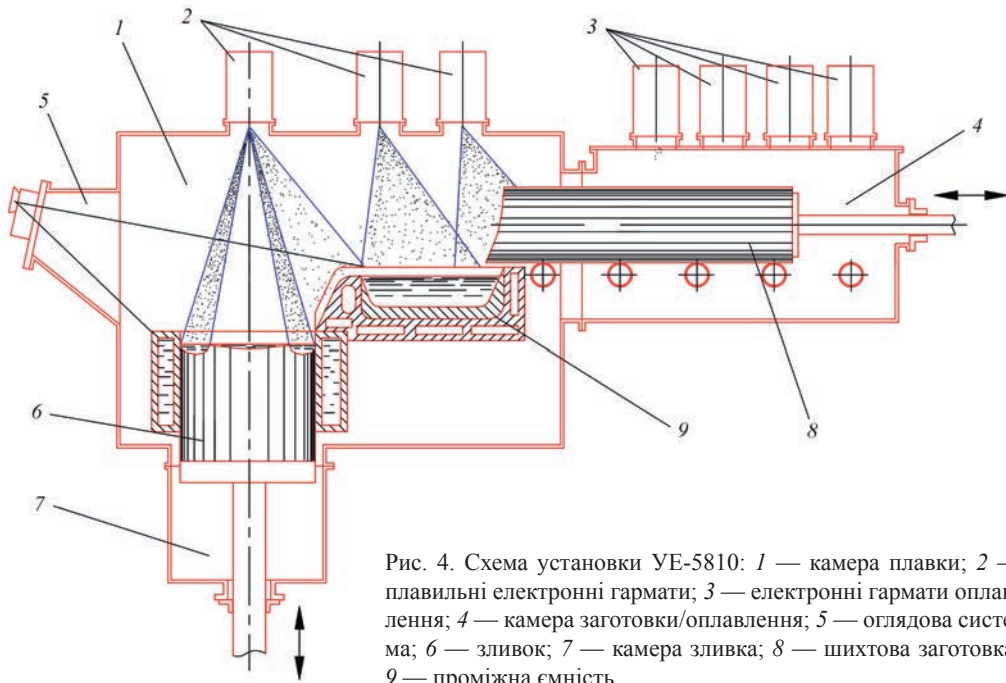


Рис. 4. Схема установки UE-5810: 1 — камера плавки; 2 — плавильні електронні гармати; 3 — електронні гармати опалвлення; 4 — камера заготовки/опалвлення; 5 — оглядова система; 6 — зливок; 7 — камера зливка; 8 — шихтова заготовка; 9 — проміжна ємність

бічної поверхні блоку ще на етапі попереднього підігріву і плавки в одній вакуумній камері. Плавка неподроблених блоків губчастого титану масою 0,7...5,0 т в електронно-променевої установці UE-5810 (рис. 3) дозволяє виключити з технологічного циклу виробництва зливків не тільки етап пресування витратного електрода для подальшого перепау, а й операцію дроблення блоків та сортування губчастого титану на шматки розмірами до 70 мм і залучати до перепау титанову губку низьких сортів [10]. Це, у свою чергу, забезпечує

підвищення техніко-економічних показників на 20 % порівняно з ЕПП губчастого титану фракціями 12...70 мм та істотно знижує витрати на виробництво титанових зливків діаметром до 1200 мм і довжиною до 4000 мм з первинної сировини.

На камері плавлення встановлено шість електронно-променевих гармат для ведення безпосередньо процесу одержання зливка, а на камері заготовки/опалвлення — п'ять електронно-променевих гармат для попереднього підігріву шихти в процесі виплавки зливка або ведення процесу об-

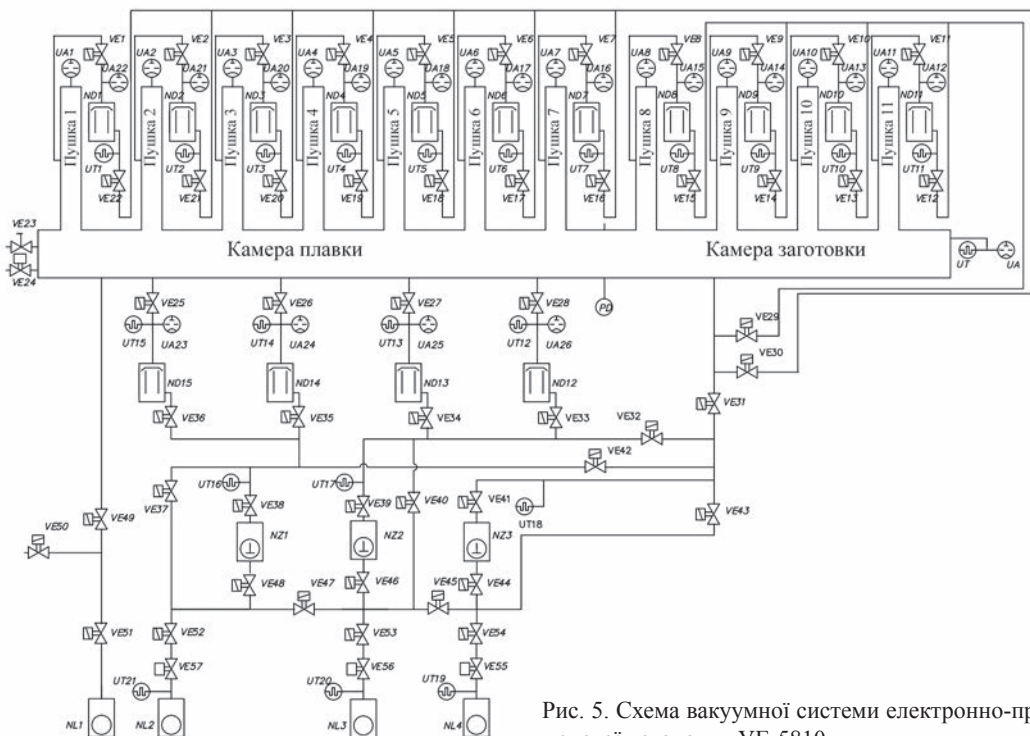


Рис. 5. Схема вакуумної системи електронно-променевої установці UE-5810

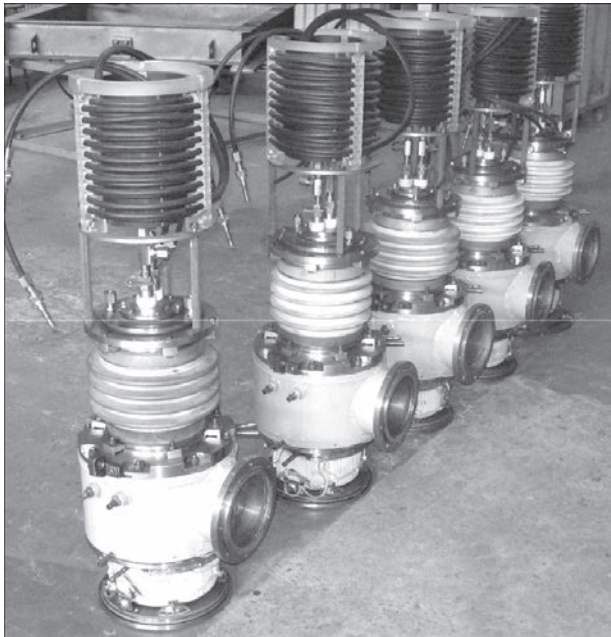


Рис. 6. Електронні гармати «Патон-300»

робки поверхні зливка шляхом опалвлення електронними променями (рис. 4).

Вакуумна система складається з трьох пар форвакуумних механічних насосів типу НВЗ-300 і 2ДВН-1500 та чотирма бустерними паромасляними насосами 2НВБМ-630 (рис. 5). Кожна гармата підсилена індивідуальним дифузійним насосом

Н-160. Вакуумна система установки УЕ-5810 дозволяє створити розрідження в об'ємі плавильної камери (10^{-2} Па) і гарматах (10^{-3} Па), яке забезпечує безперерйну роботу гармат і необхідний ступінь рафінування металу, що переплавляється, впродовж всього технологічного процесу.

Установка УЕ-5810 оснащена електронно-променевими гарматами аксіального типу «Патон-300» [1], загальна кількість яких на установці складає 11 шт. (рис. 6).

Технічні характеристики гармати «Патон-300»

Номинальна потужність, кВт	300
Прискорююча напруга, кВ	30
Максимальна частота розгортки, Гц	1000
Максимальний струм, А	10
Кут відхилення пучка від осі гармати, град	0...35

Завдяки можливості програмного сканування електронного променя по поверхні металевої ванни форма поперечного перетину кристалізатора і, отже, зливка, що формується, може бути різною (кругла, прямокутна, квадратна і, при необхідності, іншої більш складної форми).

В процесі одержання зливок ЕПП їх поверхня може мати дефекти різного ливарного походження. Традиційно зливки з такими дефектами піддаються механічній обробці, при цьому кількість відходів у

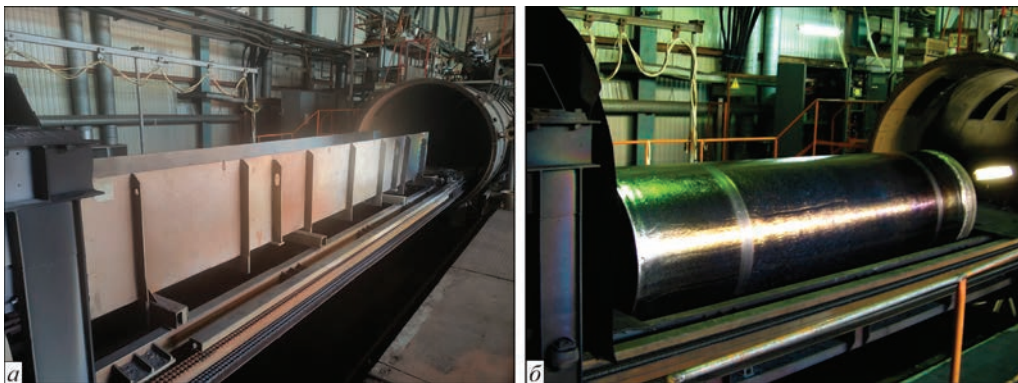


Рис. 7. Камера заготовки/опалвлення: а — з завантаженим коробом для виплавки зливка; б — з завантаженим зливком після опалвлення поверхні

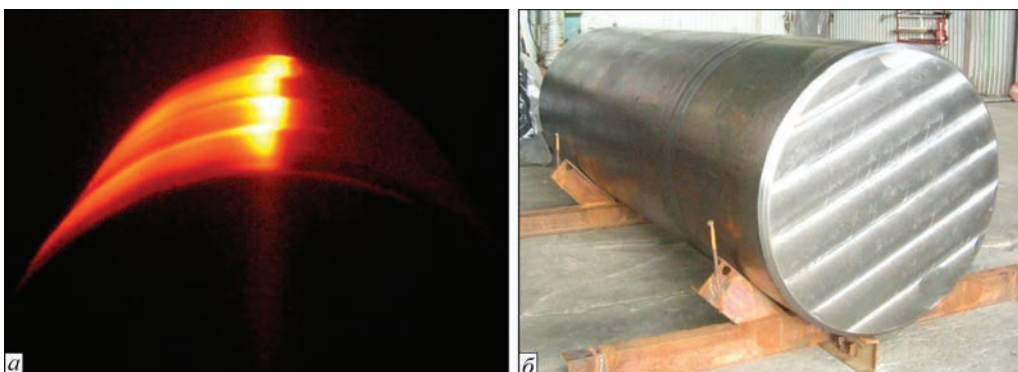


Рис. 8. Процес опалвлення (а) і опалвлений зливков діаметром 1100 мм (б)

вигляді стружки може становити до 15 % в залежності від сортаменту зливків. На цей час розроблена та впроваджена у виробництво технологія електронно-променевого оплавлення бічної поверхні зливків круглого та прямокутного перерізу [11]. При цьому поверхня зливків після електронно-променевого оплавлення рівна, бездефектна і не вимагає подальшої механічної обробки [12].

Тому, з метою уніфікації електронно-променевої установки UE-5810 її було конструктивно спроектовано так, щоб поєднати процеси плавки і оплавлення бічної поверхні зливків. При цьому в камері завантаження змонтовано обертові валки, на які безпосередньо встановлюється невитратний короб з шихтою при процесі плавки зливка, або короб знімається і на обертові валки завантажуються зливки для проведення процесу оплавлення його поверхні (рис. 7).

Конструкція UE-5810 передбачає можливість оплавлення зливків круглого перетину діаметром до 1200 мм (рис. 8) або зливків слябів перетином 410×1310 мм і довжиною до 4 м. Для реалізації цієї особливості у верхній частині камери завантаження встановлені п'ять електронно-променевих гармат аксіального типу. У самій камері завантаження для оплавлення зливка є механізм обертання зливка, що представляє собою два обертових валки, розташованих паралельно. Для контролю технологом процесу оплавлення праворуч від оператора на бічній стінці камери завантаження розташовані чотири оглядові системи.

За весь період експлуатації електронно-променевої установки UE-5810 показала себе надійним високопродуктивним агрегатом промислового типу для плавки високореакційних металів і сплавів, а також обробки оплавленням поверхні отриманих зливків.

Список літератури

1. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В., Жук Г.В. (2006) *Електронно-лучевая плавка титана*. Киев, Наукова думка.
2. Ладохин С.В. (2010) Перспективы создания в Украине электронно-лучевых плавильных установок нового поколения. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*, **3**, 170–173.
3. Xiaojun Wang, Zhanqian Chen, Feng Chen et al. (2007) The electron beam cold hearth melting technology. *Proc. of 11th World Conf. on Titanium (Ti-2007): Science and Technology (3–7 June 2007, Kyoto, Japan)*. Ed. by M. Niinomi, Vol. 2, pp. 185–188.
4. http://www.antares.com.ua/upload/file/3Titanium_Production_Presentation_rus.pdf

5. Тригуб Н.П., Жук Г.В., Корнейчук В.Д. и др. (2007) Промышленная электронно-лучевая установка УЭ-5812. *Современная электрометаллургия*, **1**, 11–14.
6. Собко-Нестерук О.Е., Третьак Н.Г., Чайка Н.В. и др. (2012) Новая печь VT02 для электронно-лучевой плавки титановых сплавов, разработанная в МК «АНТАРЕС». *Современная электрометаллургия*, **3**, 20–25.
7. Ахонин С.В., Пикулин А.Н., Березос В.А. и др. (2019) Лабораторная электронно-лучевая установка УЭ-208М. *Современная электрометаллургия*, **3**, 15–22.
8. Тригуб Н.П., Жук Г.В., Пап П.А. и др. (2003) Электронно-лучевая установка УЭ-121. *Современная электрометаллургия*, **2**, 17–20.
9. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Козлитин Д.А. и др. (1997) *Электронно-лучевая плавка*. Киев, Наукова думка.
10. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. (2005) Получение титановых слитков из недробленых блоков губчатого титана методом электронно-лучевой плавки. *Титан*, **2**, 23–25.
11. Пикулин А.Н., Жук Г.В., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. (2003) Электронно-лучевое оплавление слитков титана. *Современная электрометаллургия*, **4**, 17–19.
12. Пикулин А.Н. (2016) Электронно-лучевое оплавление слитков сложнелегированных титановых сплавов. *Современная электрометаллургия*, **3**, 26–30.

References

1. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V., Zhuk, G.V. (2006) *Electron beam melting of titanium*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
2. Ladokhin, S.V. (2010) Prospects of creation of electron beam melting installations of new generation in Ukraine. *Visnyk DDMA*, **3**, 170–173 [in Russian].
3. Xiaojun Wang, Zhanqian Chen, Feng Chen et al. (2007) The electron beam cold hearth melting technology. In: *Proc. of 11th World Conf. on Titanium (Ti-2007): Science and Technology (3–7 June 2007, Kyoto, Japan)*. Ed. by M. Niinomi, Vol. 2, 185–188.
4. http://www.antares.com.ua/upload/file/3Titanium_Production_Presentation_rus.pdf
5. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Kornejchuk, V.D. et al. (2007) Commercial electron beam installation UE-5812. *Advances in Elektrometallurgy*, **1**, 9–11.
6. Sobko-Nesteruk, O.E., Tretyak, N.G., Chaika, N.V. et al. (2012) New VT02 furnace for electron beam melting of titanium alloys constructed at the Antares company. *Advances in Elektrometallurgy*, **3**, 178–184.
7. Akhonin, S.V., Pikulin, A.N., Berzoz, V.A. et al. (2019) Laboratory electron beam unit UE-208M. *Suchasna Elektrometall.*, **3**, 15–22 [in Russian].
8. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Pap, P.A. et al. (2003) Electron beam installation UE-121. *Advances in Elektrometallurgy*, **2**, 17–20.
9. Paton, B.E., Trigub, N.P., Kozlitin, D.A. et al. (1997) *Electron beam melting*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
10. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (2005) Producing of titanium alloys from uncrushed blocks of spongy titanium by electron beam melting. *Titan*, **2**, 23–25 [in Russian].
11. Pikulin, A.N., Zhuk, G.V., Trigub, N.P., Akhonin, S.V. (2003) Electron beam fusion of titanium ingots. *Advances in Elektrometallurgy*, **4**, 17–19.
12. Pikulin, A.N. (2016) Electron beam fusion of ingots of complexly-alloyed titanium alloys. *Sovrem. Elektrometall.*, **3**, 26–30.

MULTIPURPOSE ELECTRON BEAM UNIT UE-5810

S.V. Akhonin¹, V.O. Berezos¹, A.Iu. Severin¹, V.D. Kornijchuk², Iu.T. Ishchuk², O.G. Erokhin²

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.

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

²SC «SPC «Titan» of the E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine».

26 Raketna Str., Kyiv. E-mail: titan.paton@gmail.com

In order to implement the electron beam melting technologies the E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU developed a multifunctional electron beam unit UE-5810 of megawatt class, designed for producing ingots of titanium and its alloys of up to 20 tons weight. Description of a multi-purpose universal electron beam unit UE-5810 and its specification are given. Functional features of the components of the unit, technological fixtures and electron gun are described. Electron beam unit UE-5810 is a reliable highly efficient installation of industrial type for melting highly reactive metals and alloys, as well as treatment of the produced ingots by surface melting. 12 Ref., 8 Fig.

Keywords: electron beam unit, electron beam gun, technological fixtures, melting, surface melting, ingot

Надійшла до редакції 12.07.2023

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Товариство зварників України
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

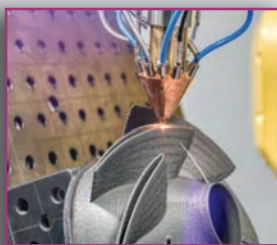
НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Конференція присвячена **105-й** річниці від дня народження академіка Бориса Патона м. Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, 27 листопада 2023 р.

Тематика конференції

- ◆ адитивні технології, що базуються на зварювальних, металургійних та гібридних процесах;
- ◆ електронно-променеві технології в галузі адитивних технологій;
- ◆ 3D друк;
- ◆ селективне лазерне плавлення;
- ◆ плазово-порошкове наплавлення;
- ◆ математичне моделювання фізичних процесів в адитивних технологіях;
- ◆ матеріали для адитивних технологій;
- ◆ адитивні технології при виготовленні деталей із пластмас та виробів медичного призначення;
- ◆ матеріалознавство в галузі адитивних технологій;
- ◆ неруйнівний контроль в галузі адитивних технологій технології.



Робочі мови: українська, англійська.

Контрольні дати

Подання заявок та тез доповідей:
до 07.11.2023

Подання заявок без доповіді:
до 21.11.2023

Розсилка програми:
до 22.11.2023

Оплата організаційного внеску:
до 27.11.2023



Виставка

Під час роботи конференції в корпусі № 4 ІЕЗ ім. Є.О. Патона буде проведена виставка «Зварювання та споріднені технології».

Час роботи виставки:
27 листопада з 10:00 до 16:00.

Умови участі у виставці
оговорюються окремо.

Адреса для листування

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України, вул. Казимира Малевича, 11, м. Київ, 03150,
тел./факс: (38044) 205-23-90 E-mail: journal@paton.kiev.ua, www.pwi-scientists.com/ukr/at2023