

ФОРМУВАННЯ ВИТРАТНИХ ЕЛЕКТРОДІВ З БРИКЕТОВАНОГО ГУБЧАСТОГО ТИТАНУ В ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВІЙ УСТАНОВЦІ

С.В. Ахонін¹, О.М. Пікулін¹, В.О. Березос¹, А.Ю. Северин¹, О.Г. Єрохін²¹ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України.

03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

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

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

На спеціалізованій електронно-променевої установці проведено комплекс дослідницьких робіт по оплавленню поверхневого шару витратних електродів з брикетованого губчастого титану марки ТГ110. З метою оцінки підвищення міцності витратного електрода проводили електронно-променево оплавлення як всього його поверхневого шару, так і лише поздовжніх ділянок. За результатами проведених робіт встановлено, що поверхневий шар повністю проплавлений на глибину до 13 мм для електродів з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхнею та до 9 мм для електродів з повністю обробленою розгорнутим електронним променем поверхнею, а метал оплавленого шару характеризується литою структурою з відсутністю порожнин і нещільностей з вмістом газових домішок на рівні вимог стандартів. За експериментальними даними розраховано коефіцієнти запасу міцності оброблених електронним променем витратних електродів з пресованих брикетів губчастого титану. Показано, що частково оброблена сфокусованим електронним променем поверхня витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану з мінімальною глибиною проплавлення 6 мм, забезпечує достатні характеристики міцності електрода, які дозволять запобігти його руйнуванню під час процесу плавки в робочому просторі печі. Повністю оплавлений розгорнутим електронним променем поверхневий шар витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану мінімальною товщиною 4 мм, забезпечить достатні характеристики міцності електрода та буде перешкоджати насиченню внутрішніх шарів губчастого титану електрода вологою при його перебуванні на відкритому повітрі. Бібліогр. 10, табл. 1, рис. 8.

Ключові слова: електронно-променево оплавлення; витратний електрод; електронно-променева гармата; поверхневий шар; глибина проплавлення; коефіцієнт запасу міцності

В даний час зливки сучасних титанових сплавів отримують способами спеціальної електрометалургії. Обов'язковою умовою при виробництві титанових сплавів є обмеження за вмістом газових домішок, таких як кисень, водень і азот. Тому плавка титану повинна проводитися в умовах, що захищають рідкий метал від насичення його газами та іншими шкідливими домішками. Дані умови забезпечуються наявністю в пічному просторі вакууму або захисної атмосфери [1, 2].

На сьогоднішній день використовуються різні методики отримання витратних електродів. Основним способом виготовлення витратних електродів для ВДП є пресування. При цьому конструкції електродів можуть бути різні. Електрод може виготовлятися в прохідній матриці як цілісним пресованим, так і звареним з пресованих порційних частин [3, 4].

При збільшенні розмірів електрода слабкий механічний зв'язок між компонентами шихти призводить до зниження його міцності, руйнуванню при транспортуванні, в процесі приварювання і під час переплаву, що створює аварійні ситуації в вакуумних дугових печах, викликає брак зливок,

знижуючи тим самим вихід придатного металу. Тому застосовуються різні методики для підвищення міцності електродів: армування в процесі пресування суцільних електродів довгомірними стрижнями титану, які запресовуються в електрод переважно в його поверхневому шарі; зварювання різними способами порцій набраних електродів. [3, 5]. Плавка зварних набраних електродів не дозволяє гарантувати збереження цілісності витратного електрода в робочому просторі печі, а недостатня суцільність електрода може провокувати перехід горіння дуги на стінку кристалізатора, що вкрай негативно позначається на якості одержуваного зливка. Описані ризики можуть бути практично повністю виключені, якщо щільність поверхневого шару витратного електрода становить $\geq 0,85$ від розрахункової щільності відповідної композиції сплаву [6].

Кількість домішок в металі зливок титану і його сплавів може зрости при наявності вологи в складі шихтових матеріалів в процесі її дисоціації при плаві. Витратний електрод є гігроскопічним в силу пористості губки, а також через присутність в губчастому титані хлористого магнію.

С.В. Ахонін — <https://orcid.org/0000-0002-7746-2946>; О.М. Пікулін — <https://orcid.org/0000-0001-6327-3848>;В.О. Березос — <https://orcid.org/0000-0002-5026-7366>; А.Ю. Северин — <https://orcid.org/0000-0003-4768-2363>;О.Г. Єрохін — <https://orcid.org/0000-0003-2105-5783>

© С.В. Ахонін, О.М. Пікулін, В.О. Березос, А.Ю. Северин, О.Г. Єрохін, 2019

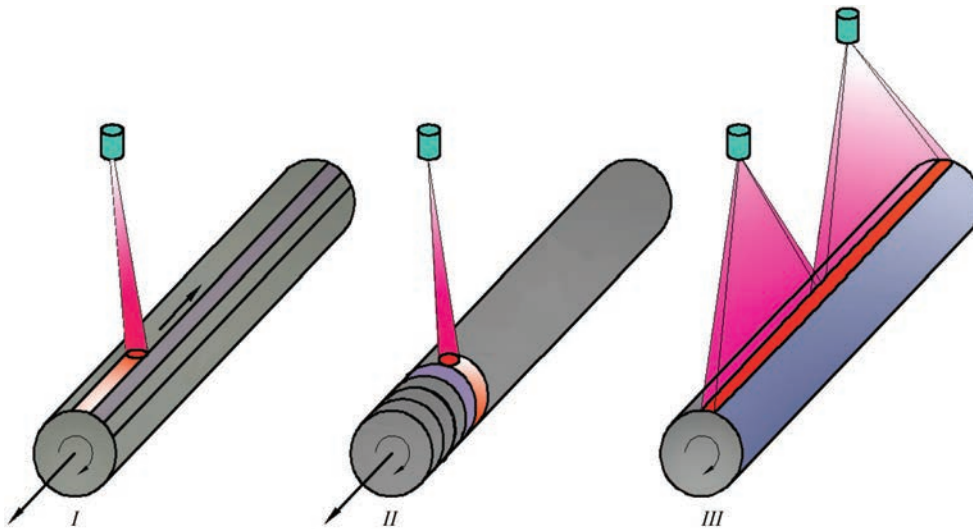


Рис. 1. Схеми оплавлення поверхні заготовок електронним променем: *I* — поздовжнє оплавлення заготовки; *II* — оплавлення по спіралі; *III* — оплавлення плоским розгорнутим променем

Хлористий магній, вільно з'єднуючись з атмосферним повітрям, може зволожуватися, утворюючи солі шестиводного хлористого магнію, в якому вода зв'язана на молекулярному рівні і практично повністю не видаляється найбільш поширеним способом сушіння — нагріванням в печах до температури 200 °С протягом 10 годин. Крім того, волога, яка потрапляє з повітря і не зв'язана солями магнію завдяки гігроскопічності матеріалу пресованого електрода, проникає в його внутрішні шари і також неефективно видаляється сучасними способами сушіння. Для збереження ефекту зневоднення також необхідно регламентування проміжку часу перебування витратного електрода перед плавкою на відкритому повітрі. Підвищення якості електрода за рахунок інтенсифікації процесу зневоднення теоретично можливе в вакуумі, але на практиці вимагає неприйнятно великих витрат часу і коштів [2, 3].

Таким чином, поверхневий шар витратних електродів, підготовлених для отримання зливоків титану і його сплавів, повинен забезпечувати достатні властивості міцності, а також перешкоджати насиченню внутрішніх його шарів вологою з атмосфери. Одним із способів забезпечення наведених вище вимог є обробка поверхневого шару джерелами концентрованої енергії. Так для усунення дефектів поверхні зливоків і заготовок проведено ряд досліджень з плазово-дугової, електрошлакової, електронно-променевої обробки поверхневого шару як литих електродів, так і одержуваних з них зливоків [1, 7, 8].

На виробничих потужностях ІЕЗ ім. Є.О. Патона для обробки поверхневого шару зливоків і заготовок ефективно застосовується технологія електронно-променевого оплавлення (ЕПО) [1].

Сутність технології ЕПО полягає в нагріванні і розплавленні поверхневого шару оброблюваного об'єкта (електрод, зливков) електронними променями [1]. Технологічні схеми ЕПО, які застосовувалися при обробці поверхневого шару заготовок (електродів) з губчастого титану, наведені на рис. 1.

За схемою *I* (рис. 1) оплавлення здійснюється наступним чином: електронний пучок фокусується на поверхні заготовки в точці, створюється рідка ванна, яка пересувається від одного торця заготовки до другого вздовж твірної. Далі заготовка повертається на ширину обробленої ділянки і здійснюється наступний прохід. Таким чином, обробляється вся поверхня заготовки. Така схема прийнятна для заготовок малого діаметра, так як при її реалізації легше уникнути стікання металу, однак основний її недолік — викривлення заготовки.

Схема *II* (рис. 1) реалізується в такий спосіб: електронний пучок фокусується на поверхні заготовки в точці, створюється рідка ванна, а її переміщення здійснюється по спіралі від одного торця заготовки до іншого за рахунок обертання її навколо осі. Ця схема забезпечує безперервний рівномірний нагрів, в результаті якого практично не відбувається викривлення заготовки. Однак, як і для схеми *I*, для схеми *II* характерна низька продуктивність процесу.

Найбільш ефективною і технологічною є схема *III*, при якій оплавлення відбувається при нагріванні плоским лінійно розгорнутим променем, коли фокальна пляма витягнута на всю довжину оброблюваної заготовки. Після попереднього розігріву ванна рідкого металу утворюється по всій довжині заготовки і одним її поворотом закінчується оплавлення всієї бічної поверхні. З метою гарантованого проплавлення оплавлення прово-



Рис. 2. Зовнішній вигляд пресованих брикетів діаметром 150 мм з дробленого губчастого титану

диться за кілька оборотів. Дана схема позбавлена недоліків схем *I*, *II* і має високу продуктивність процесу обробки.

Ціль даної роботи — на основі технології ЕПО на спеціалізованій електронно-променевої установці [9] провести комплекс дослідницьких робіт по електронно-променевому оплавленню поверхневого шару витратних електродів з брикетованого губчастого титану.

Дослідження проводили на заготовках з пресованих брикетів губчастого титану марки ТГ110 (рис. 2).

Для проведення експериментальних робіт з отриманих брикетів збирали електроди довжиною до 1800 мм, при цьому брикети з'єднували між собою по торцях аргонодуговим зварюванням (рис. 3). Надалі передбачалося конструювання та виготовлення механізму, який буде забезпечувати достатню жорсткість набраного з брикетів електрода в робочому просторі електронно-променевої установки для оплавлення без попереднього зварювання брикетів.

Обробку поверхневого шару першого підготовленого електрода проводили за технологіч-

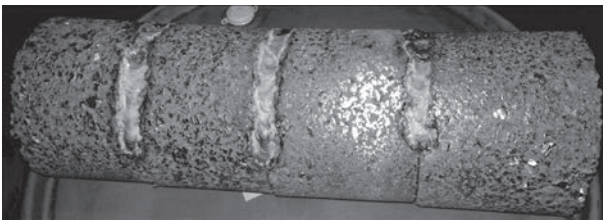


Рис. 3. Зовнішній вигляд електрода, отриманого аргонодуговим зварюванням брикетів



Рис. 4. Зовнішній вигляд електрода, обробленого ділянками електронним променем по схемі *I*



Рис. 5. Зовнішній вигляд електрода з повністю обробленою поверхнею електронним променем по схемі *I*

ною схемою *I* (рис. 1). При цьому з метою оцінки підвищення властивостей міцності конструкції обробляли не весь поверхневий шар електрода, а лише його чотири поздовжні ділянки. Електрод, оброблений за даною схемою, показано на рис. 4.

За технологічною схемою *I* (рис. 1) оплавляли другий підготовлений електрод, але при цьому електронним променем обробляли вже всю бокову поверхню електрода (рис. 5). Третій підготовлений електрод обробляли за технологічною схемою *III* (рис. 1). Електронний промінь розгортали на всю довжину електрода, при цьому за два оберти без рідкої ванни проводили попередній прогрів поверхні електрода і вже за наступні 2–3 обороти проводили повну обробку його поверхні з рідкою ванною. Зовнішній вигляд обробленого електрода представлений на рис. 6.

Від електродів з повністю обробленою поверхнею за схемами *I* і *III* були відрізані на стрічкопильному верстаті поперечні темплеті (рис. 7). Аналіз отриманих темплетів показав, що поверхневий шар електродів, оброблених за схемою *I* повністю проплавлений на глибину від 6 до 13 мм та від 4 до 9 мм — за схемою *III*.

Пресований з губчастого титану електрод досить пористий матеріал. В процесі обробки його поверхневого шару електронним променем з утворенням рідкометалевої ванни відбувається зменшення його об'єму в процесі кристалізації і охолодження рідкої ванни в поверхневому шарі. За результатами аналізу лінійних розмірів темплетів, відібраних від оброблених електродів, були визначені коефіцієнти лінійної та об'ємної усадки. Так, для електродів з

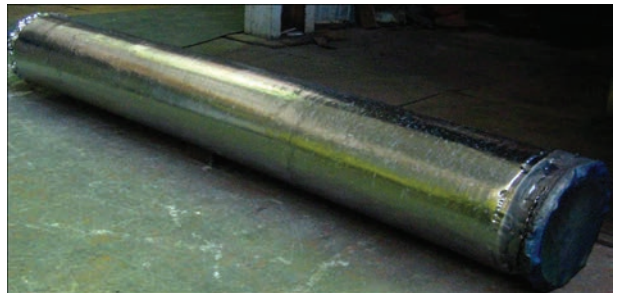


Рис. 6. Зовнішній вигляд електрода з повністю обробленою поверхнею електронним променем за схемою *III*

повністю обробленою електронним променем поверхню за схемою I коефіцієнт лінійної усадки дорівнює 9,5 %, а об'ємної — 4,5 %.

Метал оплавленого шару характеризується щільною литою структурою з відсутністю пор і нещільностей, що має забезпечувати збереження цілісності витратного електрода в робочому просторі печі і відповідно запобігати переходу горіння дуги на стінку кристалізатора в процесі плавки.

З метою оцінки міцності оброблених електронним променем електродів був проведений розрахунок фактичного коефіцієнта запасу міцності електрода при розтягненні — відношення гранично допустимого навантаження (межі міцності) до навантаження, яке діє на електрод під дією сили тяжіння при його вертикальному розташуванні в робочому просторі печі. Коефіцієнт запасу міцності розраховувався для електрода з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхню та електрода з повністю обробленою розгорнутим електронним променем поверхню. Розрахунок проводився при умові, що все навантаження тримає оплавлений поверхневий шар. За результатами розрахунків встановлено, що коефіцієнт запасу міцності для електродів з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхню при кімнатній температурі дорівнює 580, а для електрода з повністю обробленою розгорнутим електронним променем поверхню — 700.

Враховуючи те, що температура витратного електрода під час плавки достатньо висока, проведено розрахунок прогнозованого коефіцієнта запасу міцності при температурі витратного електрода 600 °С. При цьому враховувалася залежність міцності титану від температури (рис. 8).

Так, розрахункові дані коефіцієнта запасу міцності для електрода з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхню при температурі 600 °С склали 140, а для електрода з повністю обробленою розгорнутим електронним променем поверхню — 190. На основі проведених робіт був виконаний розрахунок з прогнозування коефіцієнта запасу міцності для пресованих з титанової губки електродів промислових вакуумно-дугових печей при мінімальній глибині проплавлення поверхневого шару електродів як з частково сфокусованим електронним променем, так і повністю обробленою (розгорнутим електронним променем) поверхню. Розрахований прогнозований коефіцієнт запасу міцності для електрода діаметром 600 мм при мінімальній глибині проплавлення з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхню дорівнює 12 при кімнатній температурі та 3 при 600 °С, а з повністю обробленою розгорнутим електронним



Рис. 7. Поперечний темплет оплавленого електрода променем поверхню — 95 при кімнатній температурі та 25 при 600 °С.

Аналізуючи дані, отримані в результаті розрахунків, можна зробити висновок, що частково оброблена сфокусованим електронним променем поверхня витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану з мінімальною глибиною проплавлення 6 мм, буде забезпечувати достатні характеристики міцності електрода, які дозволять запобігти його руйнуванню під час процесу плавки. Отже найбільш слабкою ланкою в такому випадку буде місце і спосіб кріплення витратного електрода до струмопідвідної голівки печі. Проте лише повністю оплавлений поверхневий розгорнутим електронним променем шар витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану, буде перешкоджати насиченню внутрішніх шарів електрода вологою при його перебуванні на відкритому повітрі.

Від металу оплавленого шару відбирали проби, з яких виготовляли зразки циліндричної форми діаметром і довжиною по 3 мм для проведення газового аналізу, результати якого показали характерне для електронно-променевого переплаву незначне підвищення вмісту кисню та азоту в переплавленому металі. Слід зазначити, що вміст газів

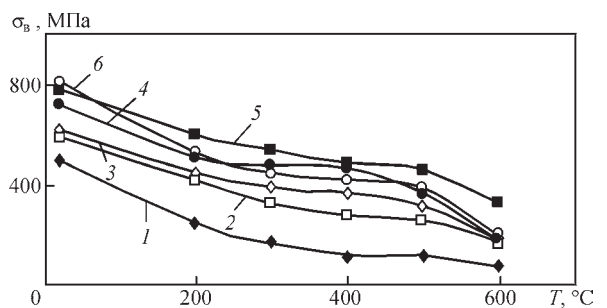


Рис. 8. Температурна залежність міцності титану та його бінарних сплавів [10]: 1 — Ti; 2 — Ti + 3,5 % Al; 3 — Ti + 11 % Zr; 4 — Ti + 21 % Zr; 5 — Ti + 7,2 % Al; 6 — Ti + 13,8 % Sn

Вміст газових домішок в обробленому шарі електродів з брикетів губчастого титану, мас. %

| Матеріал | O | N |
|------------------------|--------|---------|
| ТГ110 | 0,04 | 0,01 |
| Оброблений шар | 0,06 | 0,02 |
| ВТ1-0 за ГОСТ 19807–91 | до 0,2 | до 0,04 |

в оплавленому металі знаходиться в рамках вимог стандарту для сплаву ВТ1-0 (таблиця).

Отримані електроди з поверхневим шаром, обробленим електронним променем, передані для проведення експериментальних плавок в вакуумно-дугових печах.

Таким чином, електронно-променева обробка поверхневого шару витратних електродів з брикетованого губчастого титану дозволяє забезпечувати його цілісність в робочому просторі печі в процесі плавки та мінімізувати ризики браку зливків.

Висновки

1. Встановлено, що поверхневий шар витратних електродів з брикетованого губчастого титану з частково обробленою сфокусованим електронним променем поверхню повністю проплавлений на глибину до 13 мм та до 9 мм з повністю обробленою розгорнутим електронним променем поверхню, а метал оплавленого шару характеризується литою структурою з відсутністю порожнин і нещільностей з вмістом газових домішок на рівні вимог стандартів.

2. На основі розрахунків за експериментальними даними коефіцієнтів запасу міцності оброблених електронним променем витратних електродів з пресованих брикетів губчастого титану показано, що частково оброблена сфокусованим електронним променем поверхня витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану з мінімальною глибиною проплавлення 6 мм, буде забезпечувати достатні характеристики міцності електрода, які дозволять запобігти його руйнуванню під час процесу плавки в робочому просторі печі.

3. Повністю оплавлений розгорнутим електронним променем поверхневий шар витратного електрода, сформованого з брикетованого губчастого титану мінімальною товщиною 4 мм, забезпечить достатні характеристики міцності електрода та буде перешкоджати насиченню внутрішніх шарів губчастого титану електрода вологою при його перебуванні на відкритому повітрі.

Список літератури

1. Патон Б. Е., Тригуб Н. П., Ахонин С. В., Жук Г.В. (2006) *Електронно-лучевая плавка титана*. Киев, Наукова думка.
 2. Белов В.Д., Фадеев А.В., Иващенко А.И., Бельтюкова С.О. (2013) *Технология вакуумной плавки и литья. Вакуумная*

плавка и производство фасонных отливок из титана и титановых сплавов. Москва, Изд. дом МИСиС.
 3. Ивченко З.А., Лунев В.В. (2010) Изготовление и использование пресованных титановых брикетов. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудівництві*, **1**, 90–92.
 4. Медовар Л.Б., Саенко В.Я., Рябинин В.А. (2009) Получение расходоуемых электродов из титановой губки для производства слитков способами ЭСП и ДСП. *Современная электрометаллургия*, **3**, 23–25.
 5. Альтман П.С., Гончаров А.Е. (2008) *Способ получения расходоуемого электрода*. ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». РФ, Пат. 2331679.
 6. Ночовная Н.А., Алексеев Е.Б., Ясинский К.К., Кочетков А.С. (2011) Специфика плавки и способы получения слитков интерметаллидных титановых сплавов с повышенным содержанием ниобия. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение»*, **SP2**, 53–59.
 7. Моделкин Ю.И., Торхов Г.Ф., Латаш Ю.В., Тажер Л.Р. (1981) Исследование плазменно-дугового переплава поверхностного слоя электродов для ВДП из жаропрочного сплава ЭИ698. *Специальная электрометаллургия*, **47**, 106–111.
 8. Латаш Ю.В., Матях В.Н., Воронин А.Е. (1981) Исследование процесса электрошлаковой зачистки поверхности металлических заготовок. *Там же*, **46**, 11–18.
 9. Тригуб Н.П., Жук Г.В., Пикулин А.Н. и др. (2003) Электронно-лучевая установка УЭ-185 для оплавления поверхностного слоя слитков. *Современная электрометаллургия*, **3**, 12–14.
 10. Илларионов А.Г., Попов А.А. (2014) *Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов: учебное пособие*. Екатеринбург, Издательство Уральского университета.

References

1. Paton, B.E., Trigub, N.P., Akhonin, S.V., Zhuk, G.V. (2006) *Electron beam melting of titanium*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
 2. Belov, V.D., Fadeev, A.V., Ivashchenko, A.I., Belyukova, S.O. (2013) *Technology of vacuum melting and casting. Vacuum melting and manufacture of shaped castings of titanium and titanium alloys*. Moscow, MISiS [in Russian].
 3. Ivchenko, Z.A., Lunev, V.V. (2010) Manufacture and application of extruded titanium briquettes. *Novi Materialy i Tekhnologii v Metalurgii ta Mashynobudivnytstvi*, **1**, 90–92 [in Ukrainian].
 4. Medovar, L.B., Saenko, V.Ya., Ryabinin, V.A. (2009) Manufacture of consumable electrodes from spongy titanium for producing ingots using ESR and ASR methods. *Sovrem. Elektrometall.*, **3**, 23–25 [in Russian].
 5. Altman, P.S., Goncharov, A.E. (2008) *Method of manufacture of consumable electrode*. Pat. 2331679 RF [in Russian].
 6. Nochovnaya, N.A., Alekseev, E.B., Yasinsky, K.K., Kochetkov, A.S. (2011) Specifics of melting and methods of producing of intermetallic titanium alloy ingots with higher niobium content. *Vestnik N.E. Baumana MG TU, Ser. Mashinostroenie*, **SP2**, 53–59 [in Russian].
 7. Modelkin, Yu.I., Torkhov, G.F., Latash, Yu.V., Tager, L.R. (1981) Examination of plasma-arc remelting of surface layer of electrodes for VAR from heat-resistant alloy EI698. *Spets. Elektrometall.*, **47**, 106–111 [in Russian].
 8. Latash, Yu.V., Matyakh, V.N., Voronin, A.E. (1981) Examination of electroslag cleaning process of surface of metallic billets. *Ibid.*, **46**, 11–18 [in Russian].

9. Trigub, N.P., Zhuk, G.V., Pikulin, A.N. et al. (2003) Electron beam installation UE-185 for fusion of surface layer of ingots. *Advances in Electrometallurgy*, 3, 10–12.
10. Ilarionov, A.G., Popov, A.A. (2014) *Technological and service properties of titanium alloys*: Manual. Ekaterinburg, Ural. Un-t [in Russian].

ФОРМИРОВАНИЕ РАСХОДУЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ БРИКЕТИРОВАННОГО ГУБЧАТОГО ТИТАНА В ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ УСТАНОВКЕ

С.В. Ахонин¹, А.Н. Пикулин¹, В.А. Березос¹, А.Ю. Северин¹, А.Г. Ерохин²

¹ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины.

03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²ГП «НПЦ «Титан» ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины».

03028, г. Киев, ул. Ракетная 26. E-mail: titan_paton@gmail.com

На специализированной электронно-лучевой установке проведен комплекс исследовательских работ по оплавлению поверхностного слоя расходоуемых электродов из брикетированного губчатого титана марки ТГ110. С целью оценки повышения прочности расходоуемого электрода проводили электронно-лучевое оплавление как всего его поверхностного слоя, так и только продольных участков. По результатам проведенных работ установлено, что поверхностный слой полностью проплавлен на глубину до 13 мм для электродов с частично обработанной сфокусированным электронным лучом поверхностью и до 9 мм для электродов с полностью обработанной развернутым электронным лучом поверхностью, а металл оплавленного слоя характеризуется литой структурой, в которой отсутствуют пустоты и несплошности с содержанием газовых примесей на уровне требований стандартов. По экспериментальным данным рассчитаны коэффициенты запаса прочности обработанных электронным лучом расходоуемых электродов из прессованных брикетов губчатого титана. Показано, что частично обработанная сфокусированным электронным лучом поверхность расходоуемого электрода, сформированного из брикетированного губчатого титана с минимальной глубиной проплавления 6 мм, обеспечивает достаточные прочностные характеристики электрода, которые позволят предотвратить его разрушение в процессе плавки в рабочем пространстве печи. Полностью оплавленный развернутым электронным лучом поверхностный слой расходоуемого электрода, сформированного из брикетированного губчатого титана минимальной толщиной 4 мм, обеспечит достаточные прочностные характеристики электрода и будет препятствовать насыщению внутренних слоев губчатого титана электрода влагой при его нахождении на открытом воздухе. Библиогр. 10, табл. 1, рис. 8.

Ключевые слова: электронно-лучевое оплавление; расходоуемый электрод; электронно-лучевая пушка; поверхностный слой; глубина проплавления; коэффициент запаса прочности

FORMING CONSUMABLE ELECTRODES FROM BRIQUETTED SPONGE TITANIUM IN ELECTRON BEAM UNIT

S.V. Akhonin¹, A.N. Pikulin¹, V.O. Berezos¹, A. Yu. Severin¹, O.G. Erokhin²

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

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

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

26 Raketna Str., 03028, Kyiv, Ukraine. E-mail: titan_paton@gmail.com

A set of research works on electron beam melting of the surface layer of consumable electrodes from briquetted sponge titanium of TG110 grade was performed in a specialized electron beam unit. Electron beam melting of both its entire surface layer and of just the longitudinal sections was conducted, in order to assess the increase of consumable electrode strength properties. The results of the performed work showed that the surface layer is melted-through completely to the depth of up to 13 mm for electrodes with the surface partially treated by a focused electron beam and up to 9 mm for electrodes with the surface completely treated by scanning electron beam, and the melted layer metal is characterized by a cast structure with absence of cavities or discontinuities, with gas impurity content on the level of standard requirements. Experimental data were used to calculate the safety factors of consumable electrodes from compacted briquettes of sponge titanium, treated by the electron beam. It is shown that partially treated by focused electron beam surface of the consumable electrode formed from briquetted sponge titanium with minimum penetration depth of 6 mm, ensures sufficient strength properties of the electrode that will allow preventing its failure during melting in the furnace working space. The completely melted by a scanning electron beam surface layer of a consumable electrode formed from briquetted sponge titanium of minimum thickness of 4 mm, will provide sufficient characteristics of electrode strength and will prevent saturation of inner layers of sponge titanium electrode with moisture, when exposed to open air. Ref. 10, Tabl. 1, Fig. 8.

Key words: electron beam surface melting; consumable electrode; electron beam gun; surface layer; penetration depth; safety factor

Надійшла до редакції 28.11.2019