

Д.І.<sup>1</sup> Білоник, Г.М.<sup>1</sup> Лаптева, І.М.<sup>1</sup> Білоник, О.В.<sup>1</sup> Завгородній, Є.Я.<sup>2</sup> Губар

<sup>1</sup> Національний університет “Запорізька політехніка”, Запоріжжя

<sup>2</sup> Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ОТРИМАННЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВИМ ЛИТВОМ ТИТАНОВИХ ВІДЛИВОК СКЛАДУ Тi-95%, Мо-5%

Електрошлакове литво в мідний водоохолоджуваній кристалізатор-високоєфективний технологічний процес отримання литих виробів відповідального призначення, таких як колінчасті вали судових дизелей, запорна арматура для атомних електростанцій, бандажі цементних печей, штампової оснастки та багато інших.

Металургійні та технологічні особливості електрошлакового процесу забезпечують виплавку продукції преміум якості з жаростійких, жароміцних, інструментальних сталей, кольорових металів і титану взагалі.

Приоритет у дослідженні та впровадженні електрошлакового процесу отримання титанових зливок та відливок належить ІЕЗ ім. Є.О.Патона [1, 2]. Розроблені електрошлакові технології забезпечують властивості литого титану, які не поступаються властивостям литого титану подвійного вакуумно-дугового переплаву[3].

Подальший розвиток електрошлакової технології виплавки та лиття титанової продукції пов'язано зі створенням печей камерного типу, розробкою нових флюсів та методів магнітного впливу на процеси плавлення витратного електроду, краплепереносу електродного металу та кристалізацію відливка [4, 5].

В роботах [6, 7] доведена можливість отримання зливок титану електрошлаковою плавкою у відкритому кристалізаторі, з використанням витратних електродів, виготовлених з кондиційних відходів листової обрізи титану ВТ1-0. Для цього застосовували рубку на гільйотині листових відходів на смуги потрібного розміру та їх зварювання у витратний електрод. Механічні властивості електрошлакових зливок діаметрами 55 мм і 85 мм та перерізом 95мм x 95мм  $\sigma_{0,2} = 590$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 560$  МПа,  $\delta = 7,5$  %,  $\psi = 13,5$  % були на рівні властивостей титану ВТ1-Л, ВТЛ-3. Отриманий титан добре оброблявся різанням, тиском та зварювався.

Як відомо, титан-молібденові сплави мають унікальні корозійні властивості в разі застосування їх до конкретних умов експлуатації. Наприклад, легування титану

3 % або 5 % молібдену підвищує його корозійну стійкість відповідно в 23,5 та 117 разів при експлуатації в 5 % розчині сірчаної кислоти при температурі 100 °С. При більш високому вмісті молібдену (28-32 %) сплав майже не руйнується корозією у 85-95 % розчинах сірчаної кислоти при температурі кипіння [8, 9].

Тому, ціль даної роботи - дослідити принципову можливість отримання зливка титан-молібденового сплаву складу Ti-95%, Mo-5% електрошлаковою плавкою у відкритому кристалізаторі з використанням витратних електродів із стрічок титану та молібдену, зварених між собою. Титанову складову виготовляли з відходів листової обрізі титану VT1-0, а для молібденової складової застосовували полоси кондиційного листа марки МЧ.

Для проведення досліджень виготовили витратні електроди складу 94 % титан (VT1-0), 6 % молібден (МЧ) перерізом 20x20 мм, які за технологією [1] переплавили в зливков діаметром 55 мм. Зовнішній вигляд зливка Ti-95%, Mo-5% та його макроструктура наведені на рис.1.



а)



б)

Рис.1 - Зовнішній вигляд зливка (а) та його макроструктура (б)

Зливок мав гладку поверхню, гофри та пережими відсутні, що свідчить про стабільність режиму плавки. Хімічний склад зливка, мас. %: С – 0,028; Fe – 0,09; Si – 0,05; Mo – 4,81; Ti – 95,03. Макроструктура зливка (поперечні темплети) (рис.1 б) однорідна та щільна. Вкраплень молібдену, які не розплавився не виявлено.

Якісну оцінку однорідності розподілу молібдену в зливку визначали за значеннями твердості на невідпалених поперечних темплетах в трьох точках: край зливка (36,1-35,5 HRC), половина радіусу (35,0-34,3 HRC), центр (34,5-34,0 HRC).

Як відомо, при електрошлаковому переплаві витратних електродів, складених із декілька різноманітних за температурою плавлення металів або сплавів, фізико-хімічна однорідність отримуваних зливок суттєво залежить від характеру плавління торця електроду (рис.2). В наших дослідженнях було зроблено продольний шліф частини витратного електроду (торця), яка була занурена в шлак з температурою 1750 – 1800°C. Встановлено, що на торці електроду відбувається реакція взаємодії титан-молібден з формуванням зони предплавління, розмір якої складав: висота 15 – 17 мм, ширина 20 мм. Твердість цієї ділянки електроду була однаковою по всій площині.



Рис.2 - Оплавлені торці електродів.

Тому, при подальшому крапельному плавлінні електродного торця, краплі сплаву Ti-5%Mo мають однаковий хімічний склад. Потрапляючи в металеву ванну, завдяки направленому характеру кристалізації, поступовому наплавленню, електрошлаковий зливок має високу фізико-хімічну однорідність.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення структури, механічних та корозійних властивостей електрошлакового титан-молібденового зливка.

Таким чином, доведена принципова можливість застосування ресурсозберігаючої електрошлакової технології для отримання титан-молібденових сплавів одним переплавом.

### Список літератури

1. Гуревич С.М., Дидковский В.П., Новиков Ю.К. Электрошлаковая выплавка титановых сплавов // Автоматическая сварка. - 1963. - №10. - С.37-42.
2. Гисер Е.Ш., Чекотило Л.В. Электрошлаковая отливка заготовок из высокопрочного титанового сплава BT22 // Проблемы специальной электрометаллургии. - 1977. - №6. - С.21-23.
3. Armantron C.E., Ausmus S.I., Beall R.A. Properties of electroslag and vacuum arc melted titanium // Titanium: Science and Technology. -1999. - №9. - P.109-117.
4. Рябцев А.Д., Троянский А.А. Производство слитков титана, хрома и сплавов на их основе в камерных электрошлаковых печах под «активными» металлосодержащими флюсами // Проблемы специальной электрометаллургии. - 2001. - №4. - С.6-9.
5. Протокилов И.В., Назарчук А.Т., Петров Д.А. Технологические и металлургические особенности выплавки слитков титановых сплавов в электрошлаковых печах камерного типа// Современная электрометаллургия. - 2018. - №2. - С.45-50.
6. Білонік Д.І. Структура і властивості зливків, отриманих з відходів листової обрізі титану BT1-0 електрошлаковим переплавом у відкритому кристалізаторі / Д.І.Білонік, О.Є. Капустян, І.А. Овчинникова, І.М. Білонік, Г.М. Лаптева // Сучасна електрометалургія. – 2023. – №1. – С.25-32.
7. Білонік Д.І. Електрошлакова виплавка у відкритому кристалізаторі зливків з відходів листових обрізків титану BT1-0 / Д.І. Білонік, О.В. Овчинников, І.М. Білонік, О.Є. Капустян, Є.О. Шумікін, Д.В. Распорня, Ю.М. Савонов // Сучасна електрометалургія. – 2022. – №1. – С.34-40.
8. Ильин А.А., Колачев Б.А., Польшин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. - М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. - 520 с.
9. Воробьева Г.Я. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах химических производств. Изд.2-е пер. и доп. М.:Химия, 1975. - 836 с.