



УДК 669.187.526.001.5

## УТИЛИЗАЦИЯ ЛОМА ТАНТАЛА СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

И. Ю. Варич, С. В. Ахонин, Н. П. Тригуб

Представлены результаты экспериментальных исследований по утилизации различных типов лома тантала способом электронно-лучевой плавки. Создана оптимизированная технология получения качественных слитков-слябов тантала при максимальном выходе годного металла. Показано, что электронно-лучевое оплавление поверхности танталовых слитков-слябов позволяет осуществлять их прокатку в ленту без промежуточной операции ковки.

Results of experimental investigations for utilization of different types of tantalum scrap by the method of electron beam melting are presented. Optimized technology of producing quality ingots-slabs at maximum yield of efficient metal was developed. It is shown that the electron beam surface melting of tantalum ingots-slabs allows realizing its rolling into strip without intermediate operation of forging.

**Ключевые слова:** тантал; электронно-лучевая плавка; утилизация отходов; рафинирование; выход годного металла

Развитие современной техники во многом связано с применением новых металлических материалов, имеющих более высокие показатели эксплуатационных характеристик в экстремальных условиях и уникальные физико-механические и химические свойства. К данным металлам относится тантал.

Сочетание таких физико-химических свойств тантала, как высокая температура плавления, низкое парциальное давление паров, коррозионная стойкость, высокие значения теплопроводности и пластичности, делают этот металл уникальным конструкционным материалом для электронной промышленности, а также химического машиностроения [1, 2]. Тантал является биосовместимым материалом и поэтому используется в хирургии.

В связи с большой способностью тантала к поглощению газов при повышенных температурах процесс получения его слитков и сплавов осуществля-

ется в вакууме. Анализ различных способов выплавки танталовых слитков показал [2, 3], что наиболее перспективным способом утилизации лома тантала является электронно-лучевая плавка (ЭЛП), обеспечивающая наибольшую степень его рафинирования при наименьших затратах. При ЭЛП отсутствует необходимость в такой трудоемкой операции, как изготовление компактного расходоуемого электрода.

Поскольку в Украине отсутствуют месторождения танталсодержащих руд и производство танталовых слитков из первичной шихты, то разработка технологии утилизации различных типов лома тантала является актуальной задачей.

Экспериментальные исследования проводили на лабораторной электронно-лучевой установке УЭ-208 [4], на которой из танталового лома выплавляли слитки-слябы прямоугольного сечения.

В качестве шихты использовали лом тантала следующих типов: аноды электролитических конденсаторов, спеченные из танталового порошка; обрезь проволоки и ленты тантала; танталовую стружку.

Размеры кусков лома не превышали 5 × 30 × 100 мм. Поверхность лома всех типов очищали от различных видов загрязнения, а аноды конденсаторов предварительно протравливали в кислоте.

С целью исследования влияния различных типов танталового лома на качество получаемого плоского слитка производили шихтовку исходной заготовки из лома только первого или второго типов, а также с добавлением 50 % танталовой стружки.

Химический состав лома тантала различных типов приведен в табл. 1. Как видно из таблицы, аноды конденсаторов содержат повышенное количество молибдена и ниобия, а обрезь и стружка тантала

Таблица 1. Химический состав лома тантала

Тип шихты	Массовая доля элементов, %						
	Mo	Nb	Ti	Ni	Fe	O	N
1	0,13	0,17	<0,005	<0,005	<0,005	0,84	0,012
2	<0,005	<0,005	0,032	0,31	<0,005	0,03	0,014
3	<0,005	<0,005	0,017	0,41	0,12	–	–

Примечания: 1. Количество химических элементов вычисляли как среднее значение трех измерений. 2. Содержание кислорода и азота в танталовой стружке не определяли из-за ее мелкого фракционного состава. 3. Тантал — основа.



загрязнены титаном и никелем, последняя, кроме того, — еще и железом.

Формирование расходуемого электрода осуществляли в нерасходуемом коробе поперечным сечением 150 × 250 мм. Суть процесса плавки заключается в горизонтальной подаче исходной шихты с определенной скоростью в зону плавки и ее плавлении электронными лучами над изложницей, в которой происходит формирование слитка (рис. 1). Плавку осуществляли непосредственно в глухдонную прямоугольную изложницу 365 × 220 мм глубиной 80 мм.

В процессе плавки жидкую ванну постоянно поддерживали на всей поверхности слитка-сляба, но для уменьшения потерь тантала из-за испарения распределение мощности электронно-лучевого нагрева в изложнице было неравномерным. Более половины мощности вкладывали в зону плавки возле одной из узких граней изложницы, куда из нерасходуемого короба подавали лом тантала и где происходило его плавление пушками 3 и 4 (рис. 1). Нагрев остальной поверхности расплава осуществляли путем сканирования электронного луча пушки 5 для обеспечения равномерного растекания жидкого металла по всей площади изложницы. Электронно-лучевая пушка 6 осуществляла нагрев периферийной зоны контакта жидкого металла с рабочими стенками изложницы для обеспечения качественной боковой поверхности слитка-сляба.

При проведении экспериментальных плавок проводили тщательный контроль стабильности та-

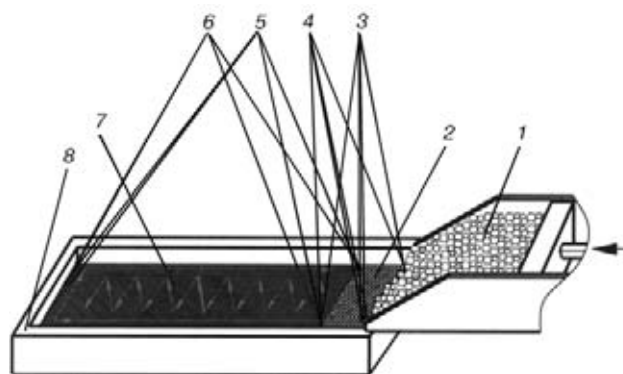


Рис. 1. Схема электронно-лучевой плавки лома тантала в изложницу: 1 — лом тантала; 2 — зона плавки; 3–6 — электронно-лучевые пушки; 7 — наплавленный слиток-сляб; 8 — изложница

ких технологических параметров, как скорость плавки, ускоряющее напряжение и ток луча. Скорость плавки регулировали скоростью подачи исходной шихты в зону плавки, а численные значения ускоряющего напряжения и тока луча измеряли соответствующими приборами. Всего проведено шесть экспериментальных плавок (табл. 2).

Анализ химического состава выплавленных слитков-слябов (табл. 3) показал, что в процессе электронно-лучевой плавки происходит рафинирование тантала от газов и металлических примесей. Содержание ниобия уменьшилась в процессе ЭЛП в 2...3 раза, а молибдена — в 5...6 раз, что обусловлено более высокой упругостью пара молибдена по отношению к ниобию. Так, например, при температуре расплава 3000 °С, согласно данным работы

**Таблица 2. Технологические параметры электронно-лучевой плавки лома тантала**

№ плавки	Доля используемой шихты, %			Скорость плавки, кг/ч	Мощность электронно-лучевого нагрева, кВт	Выход годного металла, %
	Тип 1	Тип 2	Тип 3			
328	100	0	0	25	120	93
330	50	0	50	35	210	90
334	50	0	50	17,5	220	92
338	0	100	0	14	190	92
384	0	100	0	17	300	87
407	100	0	0	26	120	94

Примечание. Площадь изложницы составляет 803 см<sup>2</sup>.

**Таблица 3. Химический состав слитков тантала**

№ плавки	Массовая доля элементов, %						
	Mo	Nb	Ti	Ni	Fe	O	N
328	0,021	0,065	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,038	0,0045
330	0,016	0,008	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,040	0,0072
334	0,011	0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,043	0,0050
338	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,002	0,0032
384	< 0,001	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,0031
407	0,023	0,073	< 0,005	< 0,005	< 0,005	0,041	0,0063

Примечания: 1. Содержание химических элементов определяли как среднее значение трех измерений. 2. Тантал — основа.

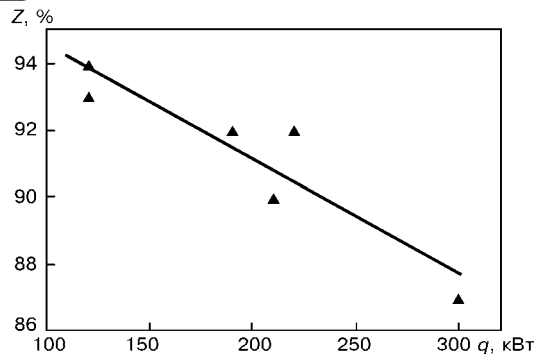


Рис. 2. Зависимость выхода годного металла  $Z$  от мощности  $q$  электронно-лучевого нагрева

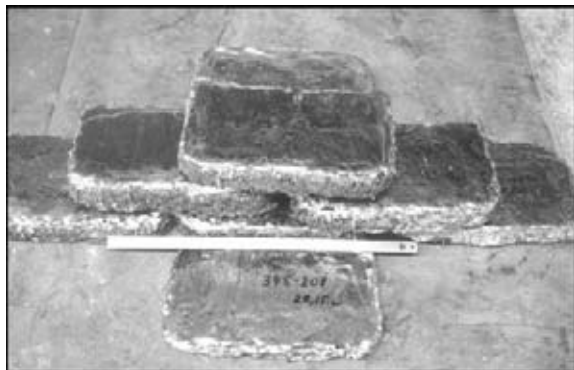


Рис. 3. Внешний вид слитков-слябов тантала с оплавленными большими гранями

[5], упругость пара ниобия составляет 16, а молибдена — 79 Па. Примесные элементы с более высокой упругостью пара (титан, никель, железо) испарялись до менее 0,005 %. Степень рафинирования тантала от кислорода составляла 20... 21, а от азота — 2... 4.

Следует отметить корреляцию между типом используемой шихты и содержанием примесных элементов в слитке-слябе. Слитки-слябы с наименьшим количеством вредных примесей получали при утилизации обрезки проволоки и ленты тантала.

Анализ результатов экспериментальных плавков (табл. 2) показал, что значительное влияние на выход годного металла имеет мощность электронно-лучевого нагрева расплава металла в изложнице (рис. 2).

Для устранения поверхностных дефектов поверхность слитков-слябов тантала оплавливали электронными лучами. Для этого путём сканирования электронного луча на поверхности слитка-сляба форми-

ровали узкую ванну жидкого металла на всю его ширину, затем посредством перемещения этой ванны вдоль слитка-сляба производили оплавление всей его поверхности.

Качество оплавленной поверхности танталовых слитков-слябов высокое (рис. 3). После механической обработки узких граней полученные слитки-слябы прокатывали на лист без промежуточной операции ковки.

Оптимизация технологических параметров ЭЛП лома тантала дала возможность повысить выход годного металла на плавку, что имеет большое значение ввиду высокой стоимости тантала. Выплавка плоских слитков-слябов с оплавленной поверхностью позволила уменьшить количество технологических операций при производстве титановой ленты.

### Выводы

1. Выполненные исследования показали перспективность применения технологии ЭЛП для утилизации лома тантала.

2. Создана технология получения качественных слитков-слябов при максимальном выходе годного металла.

3. Электронно-лучевое оплавление поверхности танталовых слитков-слябов позволяет осуществлять их прокатку в ленту без промежуточной операции ковки, что даст возможность снизить стоимость передела за счет сокращения количества технологических операций.

1. Киффер Р., Браун Х. Ванадий, ниобий, тантал. — М.: Металлургия, 1968. — 311 с.
2. Ниобий и тантал / А. Н. Зеликман, Б. Г. Коршунов, А. В. Елютин, А. М. Захаров. — М.: Металлургия, 1990. — 296 с.
3. Ахонин С. В. Эффективность рафинирования и потери на испарение при электронно-лучевой плавке тантала // Пробл. спец. электрометаллургии. — 2000. — № 3. — С. 33–37.
4. Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин и др. — Киев: Наук. думка, 1997. — 265 с.
5. Свойства неорганических соединений: Справ. / А. И. Ефимов, Л. П. Белорукова, И. В. Василькова, В. П. Чечев. — Л.: Химия, 1983. — 392 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев

Поступила 20.05.2005