

Исследование соединений металлокерамических материалов, полученных  
электронно-лучевой сваркой

Ю.С. Евдокимова

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.  
Барнаул, Россия*

**Аннотация:** в электрон-позитронном ускорителе для получения позитронов основную роль играет мишень, которая может выдерживать предельную мощность порядка  $10^{12}$  ГэВ/мм<sup>2</sup> за импульс. В работе рассмотрены требования к материалу мишени, основное назначение которого, выдерживать подаваемую мощность и сохранять механические свойства при высоких температурах, и ее конструкция. В качестве мишени предложено использовать оксидную керамику, а в качестве переходного материала, выполненного методом электронно-лучевой сваркой, к основанию мишени – ковар. Изучены свойства ковара и оксида алюминия. Установлено, что материалы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к материалу мишени и к ее основанию.

**Ключевые слова:** позитронная мишень, ковар, оксид алюминия, электронно-лучевая сварка

Одной из существенных проблем, которые ограничивают получение интенсивных пучков позитронов является устойчивость позитронной мишени к термомеханическим нагрузкам, которые возникают в ней при падении мощного первичного электронного пучка. Предельная пиковая мощность, которая может выдержать твердая мишень составляет величину  $2 \cdot 10^{12}$  ГэВ/мм<sup>2</sup> за импульс. В проектах будущих источников позитронов пиковая мощность первичного электронного пучка превышает эту величину.

Одним из возможных решений данной проблемы является использование мишени из сплава жидкого свинца. Разогретый до  $\sim 300^\circ\text{C}$  сплав прокачивается через мишень с помощью специального насоса.

Мишень представляет собой канал прямоугольного сечения из ковара, с двумя отверстиями диаметром 8 мм. Первое – в месте падения первичного электронного пучка, второе – в месте выхода вторичного пучка из мишени. В эти отверстия впаяны окна из керамики оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) толщиной 1,5 мм. Керамика  $\text{Al}_2\text{O}_3$  способна выдерживать большие механические нагрузки, которые возникают при импульсном нагреве материала мишени. Вся система теплоизолирована и прогревается до температуры  $\sim 300^\circ\text{C}$ . Для того чтобы избежать окисления свинца, весь контур находится в вакууме.

В качестве основного материала мишени был выбран ковар – сплав, в состав которого входит железо, никель и кобальт (табл. 1). В России ковар маркируют 29НК.

Для изготовления мишени необходимо изготовить соединение ковара и оксида алюминия. Одним из наиболее эффективных методов создания таких соединений, является электронно-лучевая сварка.

Таблица 1

Состав ковара в массовых долях, %

Компонент	Fe	Ni	Co	C	Si	Mn
Содержание, %	остальное	29 %	17 %	<0,01 %	0,2 %	0,3 %

Ковар отличается высокой механической прочностью, считается коррозионно стойким материалом, хорошо сваривается с металлами и поддается обработке, а главное, обладает способностью образовывать вакуумноплотные согласованные сварные соединения с жаропрочной коррозионностойкой сталью Х18Н10Т.

В качестве недостатков следует отметить подверженность коррозии, поэтому ковар необходимо покрывать антикоррозионным слоем, обычно никелем. Основные свойства ковара, важные для коваровой мишени, отражены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства ковара

Свойство	Значение
Температура плавления	1450 °С
Коэффициент теплового расширения	$(4,5-5,2) \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ в интервале 20-400 °С
Плотность	8350 кг/м <sup>3</sup>
Модуль упругости	$1,96 \cdot 10^{11} \text{ Па (Н/м}^2\text{)}$
Предел прочности	0,65 ГПа (65 кгс/мм <sup>2</sup> )
Теплопроводность	19 Вт/(м•К)

Как известно, сплав 29НК относится к прецизионным. В процессе выплавки в электропечах добавляются ферросплавы, иными словами легирующие элементы, которые тщательно контролируются [3].

На этапе подготовки ковара к соединению сварного шва используют травление, обезгаживание, обезжиривание.

Деталь травят в смеси 10%-ной соляной и 10%-ной азотной кислот при температуре 70 °С или в соляной кислоте концентрации 1:1, а затем в смеси раствора щавелевой кислоты с перекисью водорода (на 1 л воды берут 25 г щавелевой кислоты и 40 мл 30%-ной перекиси водорода). Обработанную деталь промывают водой и сушат.

Обезгаживание проводят в печах с защитной атмосферой при температуре 900-1100°С в течение 15-30 мин. Затем коваровые детали промывают в этиловом спирте или трихлорэтилене [4].

Как было упомянуто, в отверстия коваровой мишени впаяны окна керамики оксида алюминия.

Оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – это бинарное соединение алюминия и кислорода, представляющее собой бесцветные нерастворимые в воде кристаллы [3]. Основные свойства оксида алюминия отражены в таблице 3.

Таблица 3

Основные свойства оксида алюминия

Свойства	Значения
Температура плавления	2044 °С.
Коэффициент теплового расширения	$5,4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Теплопроводность	37 Вт/(м·К)
Плотность	Зависит от модификации, см. табл. 4

Таблица 4

Плотность оксида алюминия в зависимости от модификации

Модификация	Плотность, г/см <sup>3</sup>
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	3,99
$\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$	3,61
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	3,68
$\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$	3,77

Следует отметить, что единственной термодинамически стабильной формой оксида алюминия является природная  $\alpha$ -модификация ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ). При термообработке гидроксидов алюминия около 400 °С получают кубическую  $\gamma$ -форму. При 1100-1200 °С с  $\gamma$ -модификацией происходит необратимое превращение в  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , но процесс происходит при малой скорости, и при повышении температуры обработки до 1400-1450 °С происходит завершение фазового перехода.

Таким образом, при соблюдении всех условий обработки  $\text{Al}_2\text{O}_3$  керамика на основе оксида алюминия обладает высокой твёрдостью (до 24 ГПа), огнеупорностью и антифрикционными свойствами, является хорошим изолятором [4].

После определения состава мишени, свойств каждого материала и некоторых особенностей их подготовки к соединению электронно-лучевой сваркой необходимо определить режимы сварки и последующей обработки шва. Таким образом, надежность мишени определяется структурой и прочностью металлокерамического соединения ковар -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [1,2].

## Библиографический список

- 1) **Материаловедение** [Текст]: учебник / С.С.Строев [и др.]. - 2-е изд., Изд-во ЛВИКА, 2005. – 520 с.
- 2) **Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки** [Текст]. – СПб.: ООО «Агентство “ВиТ-Принт”», 2008. - 210 с.
- 3) **Ковар.** **Свободная энциклопедия** – 2016. – (<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%80>).
- 4) **Ковар.** **Справочник химика. Химия и химические технологии** – 2015. –(<http://chem21.info/info/80697/>).
- 5) **Алюминия оксид.** **Химик.** **Энциклопедия** – (<http://www.xumuk.ru/encyklopedia/181.html>).
- 6) **Оксид алюминия.** **Свободная энциклопедия** – 2016. – ([https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4\\_%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%8F)).