

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОННО-ДУГОВОГО ПЛАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ СИНТЕЗА ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ  $V_{75}Ti_{10}Zr_{7,5}Cr_{7,5}$**

*Е.Д. АНЖИГАТОВА, Р.Р. ЭЛЬМАН*

Томский политехнический университет

E-mail: [eda5@tpu.ru](mailto:eda5@tpu.ru)

В настоящее время рост индустриализации и повышение динамики потребления ресурсов заставляет задуматься об их исчерпаемости, что активно подталкивает человечество для поиска альтернативных источников энергии. Помимо этого, присутствует фактор ухудшения экологической ситуации в мире [1, 2]. Актуальной целью является поиск материалов накопителей водорода, так как с их помощью можно реализовать источник возобновляемой энергии [2]. В связи с этим материалы накопители должны обладать высокой емкостью и устойчивостью к водородному разрушению (после нескольких циклов использования). Такие характеристики можно придать материалу благодаря введения новых добавок [1, 3]. Целью данной работы является синтез сплава  $V_{75}Ti_{10}Zr_{7,5}Cr_{7,5}$  методом электронно-дугового плавления в среде аргона.

Для синтеза материала  $V_{75}Ti_{10}Zr_{7,5}Cr_{7,5}$ , использовались чистые порошки (не менее 99.9 масс. %): ванадия, титана, циркония и хрома. Перед синтезом порошки были предварительно спрессованы холодным статическим одноосным методом в закрытой пресс-форме. Плавку 8 г навесок производили в дуговой печи 5SA Centorr Vacuum Industries с нерасходуемым вольфрамовым электродом на водоохлаждаемом медном поде в атмосфере аргона (содержание Ar не менее 99,998 об. %) при силе тока от 150 до 300 А, время выдержки при максимальной температуре составляло от 15 до 30 сек. С целью придания сплавам однородной структуры и избавления сплавов от примесей производился отжиг образцов при температуре 1100°C в течении 50 часов. Диспергирование образцов проходило в два этапа. Образцы подвергались гидрогенизации под давлением 40 атм и температуре 500 °C с выдержкой около 3 часов, затем следовало механическое измельчение в керамической ступке.

Интерметаллическое соединение  $V_{75}Ti_{10}Zr_{7,5}Cr_{7,5}$  изготавливали с помощью электродуговой печи при трёх режимах спекания, таблица 1, в г.Екатеринбург.

Таблица 1 – Режимы спекания исследуемых образцов

Ток, А	240	220	200
N (Номер образца)	1	2	3

Для сплавления один образец (диаметром 12 мм, высотой 5–7 мм, массой 3 г) помещался в вакуумную камеру. Затем в камеру подавался инертный газ (аргон) под давлением 0,5 атм. На рисунке 1 изображены снимки микроструктуры образца N1.

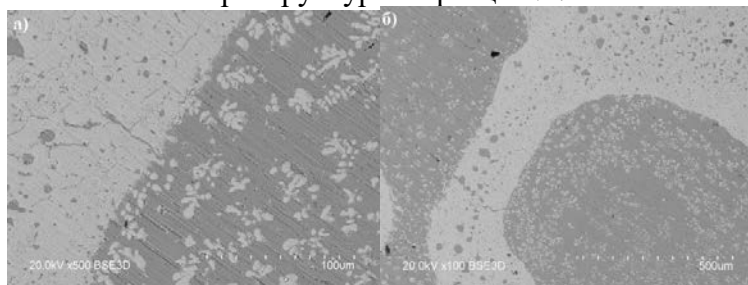


Рисунок 1 – Микроструктура образца N1 при увеличении: а) 100 мкм; б) 500 мкм

На рисунке 1а показана микроструктура сплава при увеличении 100 мкм, на ней можно наблюдать разделение две области. Первая область – это матрица циркония (светло-серый) с вкраплениями ванадия (темно-серый), и вторая область матрица ванадия (темно-серый) с вкраплениями циркония (светло-серый). Рисунок 1б, с увеличением 500 мкм, демонстрирует

## Секция 2. Функциональные материалы

глобулярное включение ванадия (темно-серый), окруженное слоем циркония (светло-серый). Аналогичная картина наблюдается и для образца N2, рисунок 2.

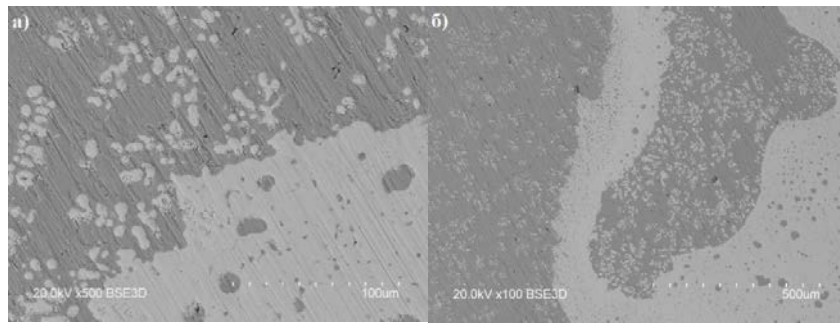


Рисунок 2 – Снимки микроструктуры ИМС N2:  
а) увеличение 100 мкм; б) увеличение 500 мкм

На рисунке 3 изображены снимки микроструктуры образца N3.

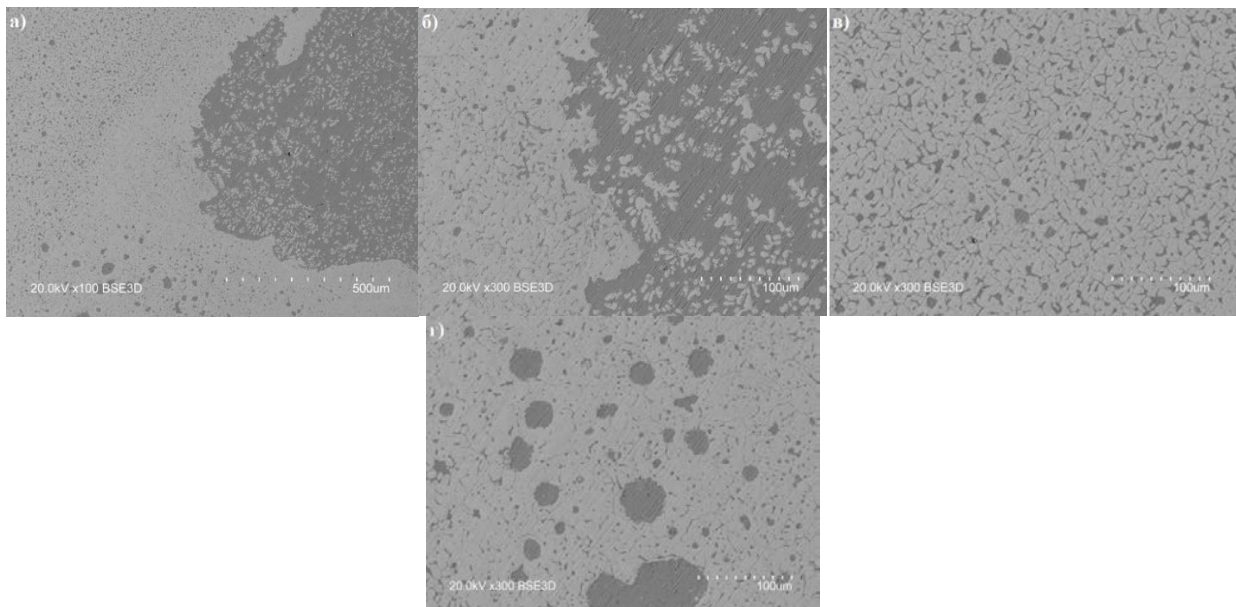


Рисунок 3 - Снимки микроструктуры ИМС: а) увеличение 500 мкм; б) увеличение 100 мкм;  
в) увеличение 100 мкм; г) увеличение 100 мкм

На рисунке 3а изображена микроструктура сплава при увеличении 100 мкм, на ней можно наблюдать глобулярное включение ванадия (темно-серый), окруженное слоем циркония (светло-серый). На рисунке 3б изображена микроструктура сплава при увеличении 100 мкм, на ней можно наблюдать разделение две области первая область – это матрица циркония (светло-серый) с вкраплениями ванадия (темно-серый), и вторая область матрица ванадия (темно-серый) с вкраплениями циркония (светло-серый). На рисунке 3в изображена микроструктура сплава при увеличении 100 мкм, на ней можно наблюдать матрицу циркония и выделившиеся по границам ванадий. Рисунок 3г демонстрирует микроструктуру сплава при увеличении 100 мкм, глобулярные включения ванадия (темно-серый), окруженное слоем циркония (светло-серый).

С целью придания сплавам однородной структуры и избавления сплавов от примесей, было принято решение производить отжиг образцов при температуре 1100 °С в течении 50 часов.

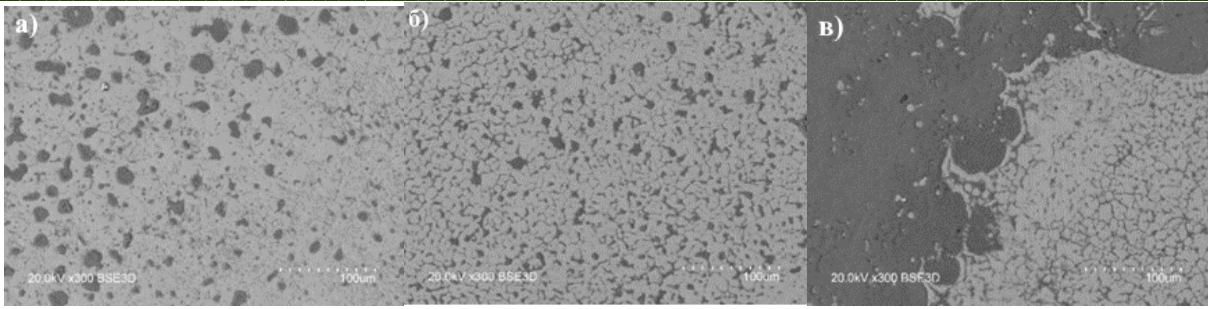


Рисунок 4 - Снимки микроструктуры ИМС

На рисунках 4 а, б изображены микроструктуры сплавов N1 и N2 при увеличении 100 мкм, на ней можно наблюдать глобулярные объемные включения ванадия (темно-серый), в матрице циркония (светло-серый). Структура после отжига стала более однородной. Для образца N3 наблюдаются две области, в первой находится сплошная фаза циркония с неоднородными включениями и вкраплениями, во второй можно заметить выделившуюся сетку из циркония (светло-серая) в матрице ванадия (темно-серая).

Следующим шагом было диспергирование образцов в порошок. На рисунках 5 а, б представлены микрофотографии с распределением по размеру частиц.

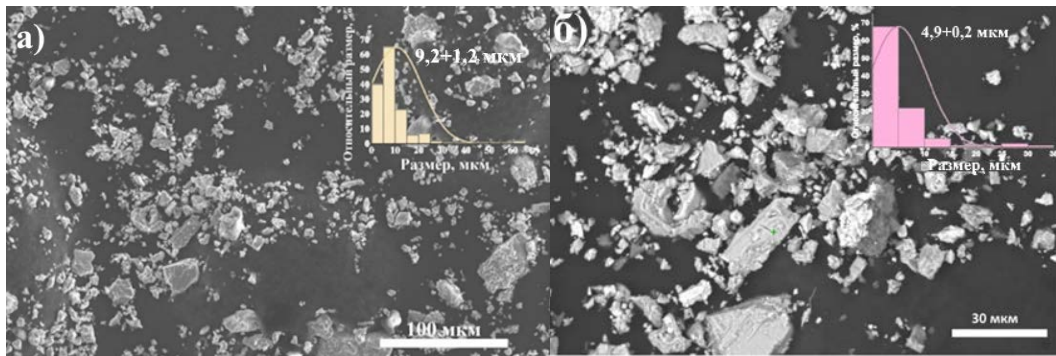


Рисунок 5 – Снимки порошка: а) N3; б)N1

Получившийся порошок для образца N3 имеет неправильную форму, частицы представлены в виде осколков, которые были сформированы в процессе диспергирования. Средний размер частиц составляет  $(9,52 \pm 1,22)$  мкм, также наблюдаются крупные куски, которые не удалось измельчить в ступке механически. В образце N1 частицы получились намного меньше, чем в предыдущем, почти в 2 раза. Частицы представлены в виде осколков, средний размер составляет  $(4,95 \pm 0,21)$  мкм.

По результатам проведенных исследований, в образцах, помимо основных элементов, из которых и были произведены образцы, присутствуют ещё и кислород с углеродом, что свидетельствует о наличии оксидов и карбидов, что в дальнейшем может повлиять на водородную ёмкость сплавов. Анализ микроструктуры показал, что в полученных образцах N1 и N2 нет однородных областей, в глобулярные осадки выпали цирконий и ванадий. В образце N3 существует несколько областей, одна из них более однородная.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Наука № FSWW-2023-0005.*

### Список литературы

1. Viano A.M. et al. Hydrogenation of titanium-based quasicrystals //Physical Review B. – 1995. – Т. 51, №. 17. – С. 12026.
2. Yartys V.A., Burnasheva V.V., Semenenko K.N. et al. // Int. J. Hydrogen Energy 1982. Vol. 7. –Р. 957.
3. Lys A. et al. Enhancing the hydrogen storage properties of  $A_xB_y$  intermetallic compounds by partial substitution: a short review //Hydrogen. – 2020.– Т. 1, №. 1. – С. 38–63.