

УДК 669.295

Т. Б. Янко

ДП «ДНДП Інститут титану», г. Запорозьке

## ВПЛИВ ЛЕГУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ АЛЮМІНІЮ І ВАНАДІЮ НА ХІМІЧНИЙ СКЛАД ТА МІКРОСТРУКТУРУ ТИТАНУ ГУБЧАСТОГО

*Проведено дослідження хімічного складу та мікроструктури титану губчастого, що було отримано за технологією комплексного легування алюмінієм та ванадієм, із заданим вмістом легувальних елементів на рівні хімічного складу сплаву VT-6. На основі хімічного, мікроструктурного та енергодисперсійного аналізу встановлено, що розроблена технологія дозволяє отримувати титан губчастий із вмістом основних легувальних елементів (алюмінію та ванадію), який задовільняє хімічному складу сплаву VT-6.*

**Ключові слова:** мікроструктура, легувальні елементи, титан, алюміній, ванадій, відновлення.

**Актуальність.** Вихідним матеріалом для більшості адитивних технологій є порошкові композиції чистих металів та сплавів. Серед титанових сплавів, що використовуються в технології прототипування, найбільш розповсюдженим є сплав VT-6 (6Al-4V, Grade5, SAT-64, T-A6V, Ti-Al-V) із вмістом алюмінію на рівні 6 % та ванадію – 4 % [1].

Основними способом отримання порошків титанових сплавів типу VT-6 є диспергування розплавів титанових сплавів [1]. Технологія виробництва порошків титанових сплавів включає отримання титану губчастого, змішення його з лігатурами та переплавлення і, зрештою, розпилення розплаву титанового сплаву.

Основною складністю у виробництві порошків титанових сплавів є рівномірність розподілу легувальних елементів у об'ємі матеріалу, оскільки, в іншому випадку, буде мати місце неоднорідність фізичних та хімічних характеристик. На сьогодні проблему рівномірності розповсюдження легувальних компонентів, а також з метою попередження в готових сплавах частинок нерозпавленої лігатури, ліквациї легувальних елементів, неметалевих включень вирішують багаторазовим переплавленням. Проте, це значно підвищує вартість порошків титанових сплавів.

Таким чином, можна зазначити, що така технологія є достатньо складною та високовитратною.

Легування губчастого титану в процесі відновлення може сприяти вирішенню цих проблем. Відомі способи легування титану губчастого киснем, ванадієм, алюмінієм та іншими [2–4]. Однак майже відсутні дані щодо отримання титану губчастого, легованого декількома металами одночасно, що потребує розширення уявлень про легування губчастого титану та розроблення нових технологій його отримання.

Вирішення проблеми великої кількості складних і витратних операцій отримання порошків титанових сплавів, та зниження собівартості можливе за умови використан-

ня губчастого титану комплексно та рівномірно легованого безпосередньо в процесі відновлення.

**Мета роботи** – проведення досліджень хімічного складу та мікроструктури титану губчастого, отриманого за технологією комплексного легування алюмінієм та ванадієм із заданим вмістом легувальних елементів на рівні хімічного складу сплаву VT-6.

### Методика, обладнання та результати проведених досліджень

Для проведення досліджень було використано зразки титану губчастого, що було отримано на лабораторних установках за звичайною технологією магністермічного відновлення тетраклориду титану магнієм, а також титану губчастого, легованого алюмінієм та ванадієм за вдосконаленою технологією магністермічного відновлення суміші тетраклоридів титану та ванадію.

Температура в процесі відновлення становила 800...850 °C.

Тиск в реакторі відновлення – 100...135 кПа

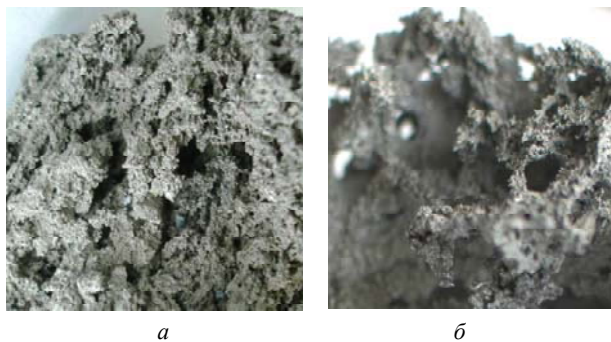
Температура в процесі вакуумної дистиляції становила 900...1010 °C.

Залишковий тиск в апараті при завершенні процесу сепарації – 32 Па.

Вигляд кричної частини блоків титану губчастого, легованого алюмінієм та ванадієм, після очищення вакуумною сепарацією та кричної частини блоків титану губчастого нелегованого представлено на рис. 1.

Як видно з рис. 1 зовнішній вигляд кричної частини блоків титану губчастого, що було отримано на лабораторній установці магністермічного відновлення як легованого алюмінієм та ванадієм, так і нелегованого не має істотних відмінностей, структура – від крупнодисперсної до дрібноволокнистої.

Для визначення якості титану губчастого з кричної частини отриманих блоків титану губчастого відбирались проби для аналізу в них вмісту легувальних елементів та домішок азоту, вуглецю та хлору.



**Рис. 1.** Зовнішній вигляд кричної частини блоку титану губчастого: *а* – нелегованого; *б* – легованого алюмінієм та ванадієм

Аналіз вмісту домішок та легувальних елементів у пробах титану губчастому виконувались у Центрі сертифікаційних випробувань кольорових металів, стандартних зразків та метрологічного забезпечення аналітичного контролю ДП «ДНДП Інститут титану». При цьому аналіз вмісту домішки азоту виконували титрометричним методом (ДСТ 9853.1-96), аналіз вмісту хлору – турбодиметричним методом (ДСТ 9853.4-96), аналіз вмісту вуглецю – кулонометричним методом (ДСТ 9853.3-96). Вміст легувальних елементів алюмінію та ванадію визначали титрометричними методами (ДСТ 19863-91).

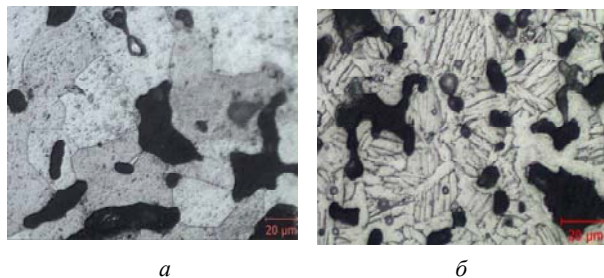
Усереднений вміст домішок та легувальних елементів у пробах блоків титану губчастого дослідних процесів представлений в табл. 1.

Як видно з табл. 1, за результатами хімічного аналізу, було досягнуто вмісту основних легувальних компонентів (V та Al), що задовольняв хімічному складу сплаву ВТ6. Щодо інших домішок, їх збільшений вміст можна пояснити малими розмірами лабораторних установок на яких були отримані дослідні зразки титану губчастого.

Порівняння структур титану губчастого, легованого алюмінієм та ванадієм, із нелегованим губчастим титаном підтвердило факт рівномірного проникнення легувальних елементів у титанову основу, що виявлялося у формуванні мікроструктури, характерної для легованих титанових сплавів. Так, мікроструктура нелегованого титану губчастого складалася із поліедричних

зерен  $\alpha$ - фази, між якими розташовувалися численні пори (рис. 2, *а*). Натомість, мікроструктура легованого губчастого титану мала пластинчасту будову  $\alpha$  - фази, по границях  $\alpha$  - пластинок розміщувались тонкі прошарки  $\beta$ - фази, утвореної ванадієм (рис. 2, *б*).

Таким чином мікроструктурним аналізом встановлено, що титан губчастий, отриманий за технологією комплексного легування, має рівномірне проникнення легувальних елементів (алюмінію та ванадію) в титанову основу, що є характерним для структури двофазових сплавів.



**Рис. 2.** Мікроструктура легованого та нелегованого титану губчастого,  $\times 500$ : *а* – нелегований; *б* – легований алюмінієм та ванадієм

Результати рентгеноспектрального мікроаналізу (РСМА) титану губчастого, легованого алюмінієм та ванадієм, показані на рис. 3. Більшому вмісту елемента відповідає більш інтенсивний колір та піки на кривих інтенсивності відносно лінії сканування.

Отже, енергодисперсійним рентгеноспектральним мікроаналізом розподілу легувальних елементів у титані губчастому, легованому алюмінієм та ванадієм, підтверджено знаходження та рівномірний розподіл легувальних елементів у структурних складових титану губчастого.

## Висновки

За результатами дослідження встановлено, що розроблена технологія дозволяє отримувати титан губчастий із вмістом основних легувальних компонентів (алюмінію та ванадію), який задовільняє хімічному складу сплаву ВТ-6, а структура є характерною для двофазних сплавів.

**Таблиця 1** – Усереднений вміст (мас. част., %) домішок та легувальних елементів у пробах блоків титану губчастого дослідних процесів

	V	Al	C	Cl	N
Титан губчастий нелегований	–	–	0,030	0,054	0,020
Титан губчастий, легований алюмінієм та ванадієм	4,01	5,46	0,037	0,072	0,027
Сплав ВТ-6 [5]	3,5..5,3	5,3..6,8	до 0,1	–	до 0,05

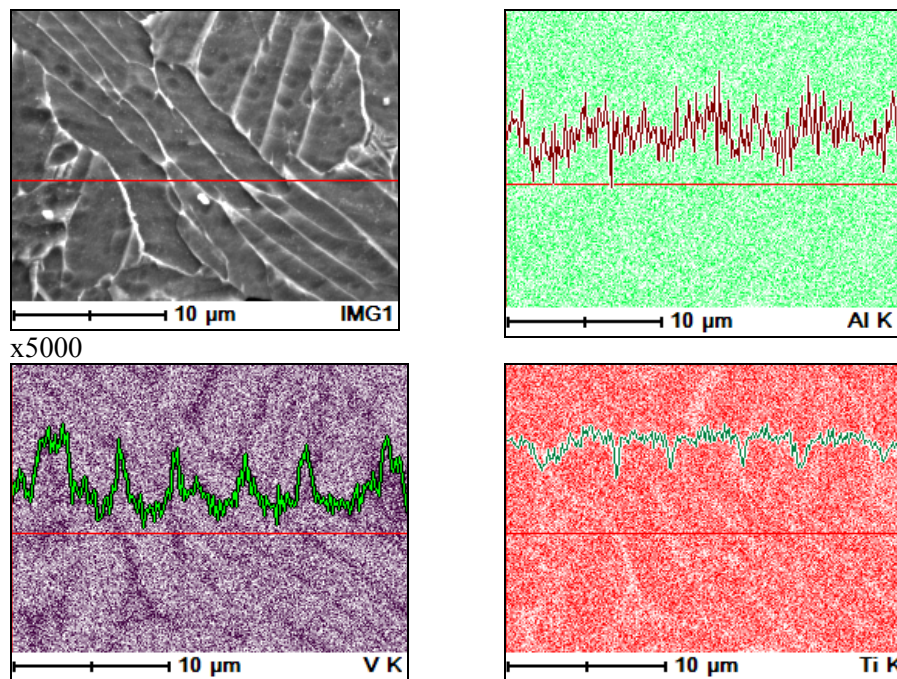


Рис. 3. Энергодисперсионный рентгеноспектральный микроанализ розподілу легувальних елементів у титані губчастому, легованому алюмінієм та ванадієм

Хімічний, мікроструктурний та енергодисперсійний аналіз дають можливість рекомендувати титан губчастий, що був отриманий за технологією комплексного легування алюмінієм та ванадієм, для виробництва титанових сплавів для потреб адитивних технологій.

#### Список літератури

1. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / Довбыш В. М., Забеднов П. В., Зленко М. А. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [nami.ru/upload/AT\\_metall.pdf](http://nami.ru/upload/AT_metall.pdf)
2. Получение титана с заданным содержанием кислорода / С. И. Давыдов, В. Г. Шевченко, А. В. Овчинников и др. //

Теория и практика металлургии. – 2010. – № 5–6. – С. 6–10.

3. Чепрасов А. И. Получение титано-ванадиевых лигатур из ванадий-содержащих полупродуктов титанового производства: Автореф. дис. к.т.н. Спец. 05.16.03 / А.И. Чепрасов. – М. : МИСиС, 1983. – 27 с.
4. А.с. СССР, 448243 / Гамелкин Б. С., Чепрасов И. М. Способ получения сплавов титана ; заявл. 30.03.73 ; опубл. 30.10.74, Бюл. № 40.
5. Марочник стали и сплавов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.splav.kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=1298](http://www.splav.kharkov.com/mat_start.php?name_id=1298)

Одержано 24.12.2014

#### Янко Т.Б. Влияние легирующих элементов алюминия и ванадия на химический состав и микроструктуру титана губчатого

*Проведено исследование химического состава и микроструктуры губчатого титана, полученного по технологии комплексного легирования алюминием и ванадием, с заданным содержанием легирующих элементов на уровне химического состава VT-6. На основании химического, микроструктурного и энергодисперсионного анализа установлено, что разработанная технология позволяет получать губчатый титан с содержанием основных легирующих элементов (алюминия и ванадия), соответствующим химическому составу сплава VT-6.*

**Ключевые слова:** микроструктура, легирующие элементы, титан, алюминий, ванадий, восстановление.

#### Yanko T.B. Effect of the alloying elements aluminum and vanadium on the chemical composition and microstructure of titanium sponge

*The investigation of the chemical composition and microstructure of titanium sponge obtained by the technology complex alloying aluminum and vanadium, with the specified content of alloying elements at the level of the chemical composition of VT-6. On the basis of chemical, microstructural and energodispersion analysis it was found that technology allows to obtain titanium sponge with the content of the main alloying elements (aluminum and vanadium), corresponding to the chemical composition of alloy VT-6.*

**Key words:** microstructure, alloying elements, titanium, aluminum, vanadium, reduction.