

**Висновки.** Отже, дослідження "базового" ступеня осьового вентилятора показало, що при номінальному режимі роботи розподіл параметрів повного тиску  $P^*$  та осьової швидкості  $C_{сер}$  характеризується високочастотними коливаннями, з частотою коливань  $f \cong 125$  [Гц]. Як вже зазначалось раніше, амплітуда розподілу параметрів  $P^*$  та  $C_{сер}$  знаходиться в межах  $P^* = 1,346 \cdot 10^3 \div 1,347 \cdot 10^3$  [Pa] і  $C_{сер} = 36,55 \div 36,56$  [м/с]. Особливою відмінністю роботи ступеня ОВ на номінальному режимі є періодичне формування "М-подібних" піків. При цьому ККД ступеня ОВ  $\eta_{cm.s} = 0,63$ .

Результати дослідження зривного режиму роботи "базового" ступеня осьового вентилятора характеризується появою низькочастотної компоненти розподілу параметрів з частотою, що становить  $f \cong 71,4$  [Гц]. Амплітуда коливань значень повного тиску  $P^*$  та осьової швидкості  $C_{сер}$  знаходиться в межах  $P^* = 0,75 \cdot 10^3 \div 2,001 \cdot 10^3$  [Pa] і  $C_{сер} = 34,91 \div 40,08$  [м/с]. При цьому, зміна режиму роботи, призвела до зміни значення  $\eta_{cm.s} = 0,6$ , що на 4,76 % менше, ніж при номінальному режимі роботи ступеня ОВ.

**Список літератури:** 1. Ших-И, Пай. Введение в теорию течения сжимаемой жидкости [Текст] / Пай Ших-И. - М.: ИЛ, 1962. - 410 с. 2. Белоцерковский, С. М. Аэродинамические силы, действующие на решетку профилей при нестационарном обтекании [Текст] / С. М. Белоцерковский, А. С. Гиневский, Я. Е. Полонский // Промышленная аэродинамика: сб. науч. тр. ЦАГИ. - М.: Оборонгиз, 1961. - № 20. - С. 6 - 36.3. Кукинов, А. Г. Работа лопаточной машины при неравномерном распределении по окружности полного напора во входном сечении [Текст] / А. Г. Кукинов // Труды ЦАГИ. - 1961. - № 827. 4. Кулагина, В. А. Экспериментальное исследование влияния характеристик осевого компрессора и граничных условий на резонансные колебания рабочих лопаток [Текст] / В. А. Кулагина // Проблемы прочности. Институт проблем прочности АН УССР. - К.:

Наук. думка. - 1974. - № 10. - С. 67 - 71. 5. Кулагина, В. А. Экспериментальное исследование колебаний плоской решетки [Текст] / В. А. Кулагина // Лопаточные машины и струйные аппараты: сб. ст. - М.: Машиностроение, 1966. - № 1. - С. 98 - 120. 6. Стечкин, Б. С., Казаджин, П. К., Алексеев, Л. П. Теория реактивных двигателей [Текст]. - М.: Оборониздат, 1956. - 533 с. 7. Терещенко, Ю. М., Бойко, Л. Г., Дмитриев, С. О. Теория тепловых двигателей [Текст]. - К.: Вища шк., 2001. - 382 с. 8. Панин, В. В. Методика определения КПД компрессора в процессе его испытания импульсным способом [Текст]. - В кн.: Диагностирование и прогнозирование технического состояния газотурбинных двигателей: Сборник научных трудов. - Киев: КИИГА., 1985. - с. 130-134. 9. Envia, E. NASA Open Rotor Noise Research [Текст] / E. Envia. - NASA Glenn Research Center U.S.A.: Institute of Aviation, Warsaw, Poland October 7-8, 2010. 10. Julian, F. Snecma veut faire voler un moteur "open rotor" [Текст] / F. Julian // AIR&COSMOS, 2014. - № 2321. - С. 70.

**Bibliography (transliterated):** 1. Shih-I, Pai. (1962). Vvedenie v teoriiu techenija szhimaemoj zhidkosti [Introduction to the theory of compressible flow]. Moscow: IL, 410. 2. Belocerkovskij, S. M. (1961). Aerodinamicheskie sily, dejstvujushhie na reshetku profilej pri nestacionarnom obtekanii [Aerodynamic forces that are influence to blades row during transient flow]. Moscow: Oborongiz, 6-36.3. Kukinov, A. G. (1961). Rabota lopatochnoj mashiny pri neravnomernom raspredelenii po okruzhnosti polnogo napora vo vhodnom sechenii [Operation of a blades machine during uneven total head distribution in the inlet section]. Trudy CAGI, 827. 4. Kulagina, V. A. (1974). Jeksperimental'noe issledovanie vlijanija harakteristik oseвого kompressora i granichnyh uslovij na rezonansnye kolebanija rabochih lopatok [Experimental investigation of axial compressor characteristics and boundary conditions influence for resonance oscillation of an operational blades]. Kyiv: Naukova dumka, 67-71.5. Kulagina, V. A. (1966). Jeksperimental'noe issledovanie kolebanij ploskoj reshetki [Experimental investigation of planar grating oscillation]. Moscow: Lopatochnye mashiny i strujnye apparaty, 98-120. 6. Stechkin, B. S., Kazadzhin, P. K., Alekseev, L. P. (1956). Teorija reaktivnyh dvigatelej [Theory of jet engines]. Moscow: Oborongizdat, 533. 7. Tereshhenko, J. M., Bojko, L. G., Dmitriev, S. O. (2001). Teorija teplovyh dviguniv [Theory of heat engines]. Kyiv: Vishha shkola, 382. 8. Panin, V. V. (1985). Metodika opredelenija KPD kompressora v processe ego ispytaniya impul'snym sposobom [Methodology of compressor efficiency definition during its testing by pulse method]. Kiev: KIIGA, 130 - 134. 9. Envia, E. (2010). NASA Open Rotor Noise Research. NASA Glenn Research Center U.S.A.: Institute of Aviation, 7-8. 10. Julian, F. (2014). Snecma veut faire voler un moteur "open rotor". AIR&COSMOS, 70.

Надійшла (received) 27.05.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Богданов Микола Юрійович** – аспірант, Національний авіаційний університет, кафедра авіаційних двигунів; тел.: 097-985-21-12, e-mail: [BogdanovNY@gmail.com](mailto:BogdanovNY@gmail.com)

**Богданов Николай Юрьевич** – аспірант, Национальный авиационный университет, кафедра авиационных двигателей; тел.: 097-985-21-12, e-mail: [BogdanovNY@gmail.com](mailto:BogdanovNY@gmail.com)

**Bohdanov Mykola** – postgraduate student, National Aviation University, department of aircraft engines; tel.: 097-985-21-12, e-mail: [BogdanovNY@gmail.com](mailto:BogdanovNY@gmail.com)

УДК 669.295

**Т. Б. ЯНКО, О. В. ОВЧИННИКОВ**

#### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГУВАННЯ РІДКІСНИХ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛІВ В ПРОЦЕСІ ВІДНОВЛЕННЯ

Проведений аналіз виробництва та визначені основні проблеми легування сплавів титану та цирконію. Проведено дослідження з розробки технології комплексного легування рідкісних тугоплавких металів титану та цирконію. Проведено термодинамічний аналіз для систем легування титану та цирконію. Визначені основні реакції процесів відновлення. Розроблено конструкції апаратів відновлення тетрахлориду цирконію та суміші тетрахлоридів титану та ванадію.

**Ключові слова:** цирконій, легувальні елементи, титан, алюміній, ванадій, відновлення, сплав, технологія, реакційна маса, апарат

© Т. Б. Янко, О. В. Овчинников, 2015

**Вступ.** У сучасному економічному житті рідкісні тугоплавкі метали (РТМ), такі як титан та цирконій, мають високий попит та непересічний вжиток. І титан і цирконій відіграють значну роль в світовій промисловості та мають стратегічне значення для авіабудування, ядерної промисловості, будівництва, медицини, аерокосмічних технологій, тощо [1-5].

Існує значна кількість способів отримання цих металів металургійними методами, але більшість з них подібні, оскільки ці метали є близьким за своїми властивостями, структурі та взаємодії з іншими елементами [4-9].

Отримання чистих металічних титану та цирконію пов'язано зі суттєвими технологічними складнощами внаслідок значної хімічної активності цих металів. Реакції взаємодії цих РТМ з киснем, азотом, воднем, окисами вуглецю та парами води проходять зі зменшенням енергії Гіббса. Ці домішки значно підвищують твердість та погіршують пластичність металів. Через високу спорідненість до кисню та значну розчинність останнього в титані та цирконії, ці метали переважно отримують відновленням з їх безкисневих сполук – хлоридів та фторидів. Основним промисловим способом отримання титану та цирконію є спосіб магнієтермічного відновлення їх тетрахлоридів [4,5,8, 9].

Актуальною задачею для підприємств-виробників та переробників титану, цирконію та сплавів на їх основі є зниження собівартості продукції та необхідність економії матеріальних ресурсів. Вирішення цих питань можливе шляхом вдосконалення існуючих технологій одержання сплавів, а також впровадження нових високоефективних технологій.

Для підвищення якості, забезпечення необхідних властивостей та механічних характеристик сплавів, на основі титану та цирконію використовують легувальні елементи. Більшість виробників сплавів використовують технологію легування за допомогою лігатур, методом багатократних переплавів з легувальними елементами, що зумовлює проблематику нерівномірності розподілу легувальних елементів. Найчастіше проблема вирішується багаторазовим переплавом, що значно підвищує собівартість продукції. Багатократні переплави використовують для усереднення та рівномірного розповсюдження легувальних елементів, проте це призводить до збільшення газових домішок.

Аналіз виробництва сплавів РТМ показав, що необхідно зменшувати кількість високо витратних операцій, пов'язаних з усередненням хімічного складу та підвищенням однорідності механічних характеристик в обсязі матеріалу. Головною проблемою одержання сплавів РТМ із заданими системами легування є складність керування вмістом легувальних елементів та їх рівномірним розподілом в обсязі матеріалу. Вирішення цих проблем можливе при одержанні сплавів титану на основі губчастого металу із заданим вмістом легувальних елементів.

Отже, перспективним напрямом отримання сплавів є технологія легування титану та цирконію губчастих в процесі магнієтермічного відновлення.

**Мета роботи.** Розробити технологічну схему легування титану та цирконію в процесі магнієтермічного відновлення, а також спосіб введення легувальних елементів та конструкції апаратів для реалізації

процесу відновлення титану та цирконію губчастих із заданим вмістом легувальних елементів.

**Методика, обладнання та результати проведених досліджень.** Принципова схема отримання рідкісних тугоплавких металів титану та цирконію магнієтермічним відновленням їх хлоридів включає отримання очищеного тетрахлориду, відновлення магнієм тетрахлориду, високотемпературну вакуумну обробку реакційної маси, подрібнення блоку губчастого металу, виготовлення брикетів або витратних електродів та отримання зливків методом вакуумнодугової (ВДП) або електронно-променевої плавки (ЕПП).

На основі теоретичних розрахунків та аналізу літературних даних обрано методи ведення легувальних елементів: ванадію – у вигляді тетрахлориду ванадію в суміші з тетрахлоридом титану, а алюмінію – у якості відновника з магнієм.

Для отримання губчастого титану із заданою системою легування Ti-Al-V оптимальним способом введення ванадію визначили метод введення у вигляді суміші тетрахлориду ванадію разом і з тетрахлоридом титану. Алюміній якнайкраще вводити у якості додаткового до магнію відновника.

За допомогою термодинамічних розрахунків визначили рівноважний хімічний та фазовий стан системи магнієтермічного відновлення титану з легувальними елементами алюмінієм та ванадієм.

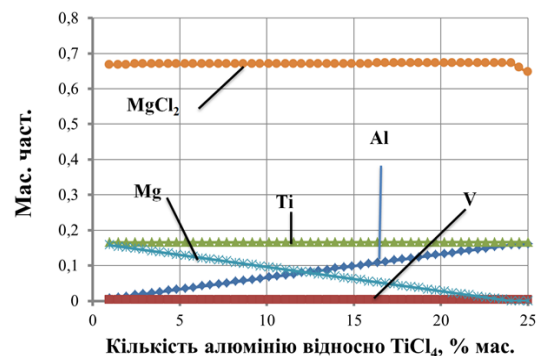
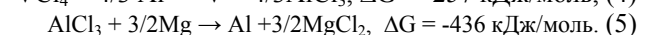
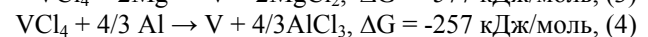
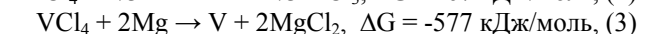
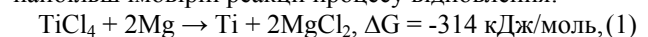


Рис. 1 – Результати термодинамічних розрахунків хімічного складу системи  $TiCl_4$ -V-Mg-Al в залежності від вмісту алюмінію у вихідній сировині

Встановлено, що в діапазоні температур 800...850 °С та тиску в межах 0,05...0,15 МПа, заданий вміст легувальних елементів не матиме істотного впливу на параметри процесу відновлення.

За термодинамічними розрахунками визначили найбільш імовірні реакції процесу відновлення:



Для отримання суміші тетрахлоридів титану та ванадію була розроблена лабораторна установка хлорування (рис. 2)

Для отримання суміші тетрахлоридів титану та ванадію із заданим вмістом ванадію розроблено технологічну схему хлорування вугле-ванадієвих кеків та експериментальне устаткування (рис. 2) для реалізації умов проведення реакцій отримання конденсату  $TiCl_4$ - $VCl_4$ .

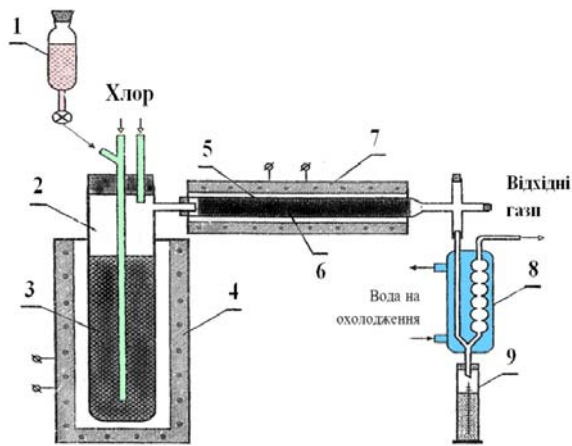


Рис. 2 – Схема експериментальної установки хлорування:  
1 – напірна склянка; 2 – хлоратор; 3 – коксова насадка;  
4 – шахтна електропіч; 5 – вугільний фільтр; 6 – активоване вугілля; 7 – трубчаста електропіч; 8 – холодильник;  
9 – мірний збирач

Технологію легування в процесі відновлення реалізовували в експериментальній установці магнієтермічного відновлення суміші тетрахлоридів титану та ванадію (рис. 3).

Вакуумну та високотемпературну обробку блоку реакційної маси проводили за допомогою лабораторної установки вакуумної сепарації. Для забезпечення високої якості губчастого титану за вмістом газових домішок ці процеси здійснювали у герметичному апараті у вакуумі послідовно: спочатку вакуумну сепарацію для відгонки основної частини магнію та хлориду магнію з одержанням блоку титану губчастого, потім високотемпературну обробку отриманого блоку губчастого титану у вакуумі.

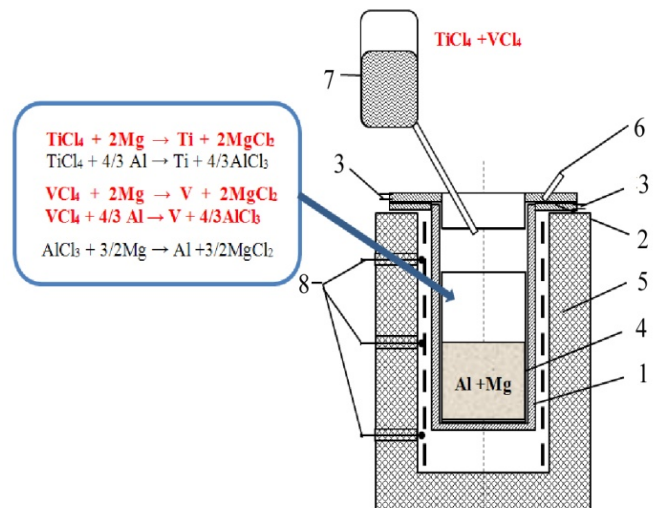


Рис. 3 – Схема експериментальної установки магнієтермічного відновлення суміші тетрахлоридів  $TiCl_4-VCl_4$ : 1 – реторта; 2 – фланець водоохолоджуваний; 3 – патрубки для подачі та відведення води; 4 – реакційний тигель; 5 – піч електрична шахтна; 6 – патрубок для подачі та стравлювання аргону; 7 – витратний бак з  $TiCl_4-VCl_4$ ; 8 – термодатчики

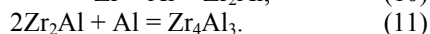
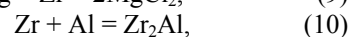
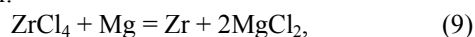
Аналіз хімічного складу зразків, отриманих за допомогою досліджуваної технології легування титану губчастого в процесі відновлення дозволив встановити (табл. 1), що для отримання титану губчастого із вмістом алюмінію в діапазоні 5,3...6,8 % мас. та ванадію – 3,5...5,3 % необхідно вводити ванадій із тетрахлоридом у кількості 1,2...1,6 % мас. від суміші тетрахлоридів, а алюмінію – у кількості 6,0...7,3 %. Процес має деяку гнучкість і можливість реалізації в промислових умовах з незначними змінами у технологічному процесі.

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

№ процесу	V	Al	C	Cl	N	Fe	O
1	-	-	0,024	0,022	0,011	0,19	0,07
2	2,50	-	0,019	0,012	0,008	0,30	0,09
3	2,71	-	0,027	0,037	0,024	0,34	0,09
4	2,86	3,51	0,033	0,065	0,043	0,37	0,10
5	3,42	4,71	0,042	0,069	0,030	0,55	0,13
6	4,01	5,46	0,037	0,072	0,027	0,27	0,14

За допомогою термодинамічних розрахунків підтверджена імовірність легування цирконію губчастого алюмінієм в процесі магнієтермічного відновлення за рахунок утворення інтерметалідних сполук різного типу, в залежності від кількості алюмінію, що вводиться (рис. 4).

За розрахунками термодинаміки процесу відновлення встановлено, що найбільш імовірними реакціями при поступовому збільшенні вмісту алюмінію будуть наступні:



При подальшому збільшенні вмісту алюмінію утворюватимуться інші інтерметаліди цирконію згідно діаграми двокомпонентної системи  $Zr-Al$ .

Зважаючи на те, що такі інтерметаліди мають сталу структуру та чітко визначений хімічний склад, легування алюмінієм буде мати розподіл рівномірного характеру.

Для реалізації процесу магнієтермічного відновлення тетрахлориду цирконію розроблений та запатентований спосіб магнієтермічного отримання губчастого цирконію [10], а також пристрій для магнієтермічного відновлення тетрахлориду цирконію [11] (рис. 5).

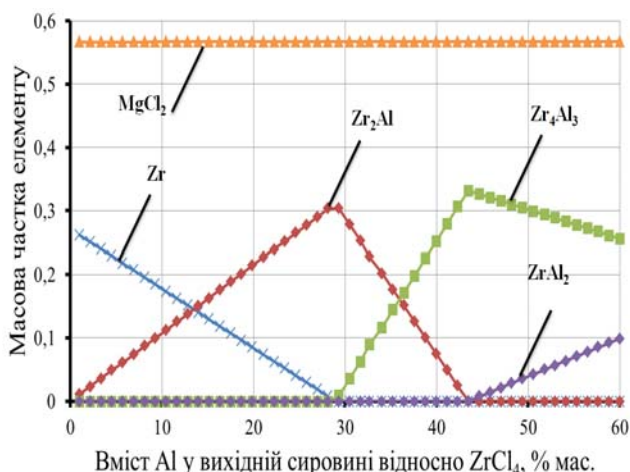


Рис. 4 – Результати термодинамічних розрахунків хімічного складу системи ZrCl<sub>4</sub>-Mg-Al в залежності від вмісту алюмінію у вихідній сировині

Теоретично обґрунтовані, діапазони температур для відновлення та вакуумної сепарації цирконію губчастого, які складають: для процесу відновлення в реакторі – 800...850 °С, у випарнику 320...400°С, для процесу вакуумної сепарації – 930...950°С.

Виявлено, що основними параметрами процесу відновлення, які впливають на ступінь легування цирконію губчастого є вміст алюмінію у вихідній сировині.

Вакуумну та високотемпературну обробку блоку реакційної маси проводили за допомогою лабораторної установки вакуумної сепарації. Для забезпечення високої якості губчастого цирконію за вмістом газових домішок ці процеси здійснювали у герметичному апараті у вакуумі послідовно: спочатку вакуумну сепарацію для відгонки основної частини магнію та хлориду магнію з одержанням блоку цирконію губчастого, потім високотемпературну обробку отриманого блоку губчастого цирконію у вакуумі.

Аналіз хімічного складу зразків, отриманих за допомогою досліджуваної технології легування цирконію губчастого в процесі відновлення (табл. 2) дозволив встановити, що процес має високу гнучкість і простоту реалізації в промислових умовах. Доведено можливість підвищення вмісту алюмінію до 20 %, що відповідає за хімічним складом лігатурі цирконій-алюміній по ТУ 48-4-453-84

Таким чином, загальна технологічна схема отримання легованих титану та цирконію губчастих (рис. 6) має включати наступні стадії: отримання очищеного тетрахлориду металу, підготовку тетрахлориду (змішення або компактування), підготовку відновника з введенням алюмінію, відновлення, вакуумну сепарацію та подрібнення блоку губчастого металу.

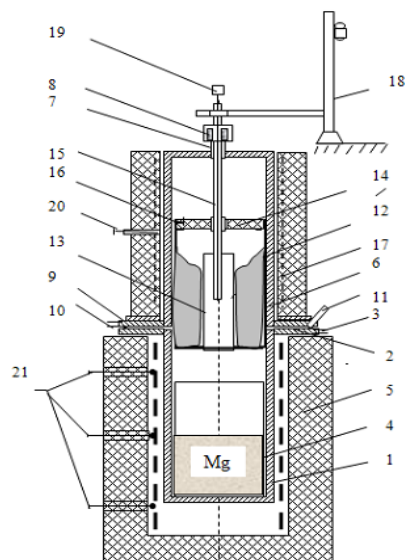


Рис. 5 – Схема експериментальної установки магнітермічного відновлення цирконію губчастого: 1 – реторта; 2 – фланець водоохолоджуваний; 3 – патрубки для подачі та відведення води; 4 – реакційний тигель; 5 – піч електрична шахтна; 6 – реторта-випарник; 7 – патрубок; 8 – сальникове ущільнення; 9 – фланець водоохолоджуваний; 10 – патрубки для подачі та відведення води; 11 – патрубок для вакуумування, подачі та стравлювання аргону; 12 – стакан для очищеного ZrCl<sub>4</sub>; 13 – паропровід; 14 – кришка теплоізолювана; 15 – шток порожнистий; 16 – затискувач гвинтовий; 17 – піч електрична трубчатая; 18 – привод вертикального переміщення штоку; 19-21 – термодатчики

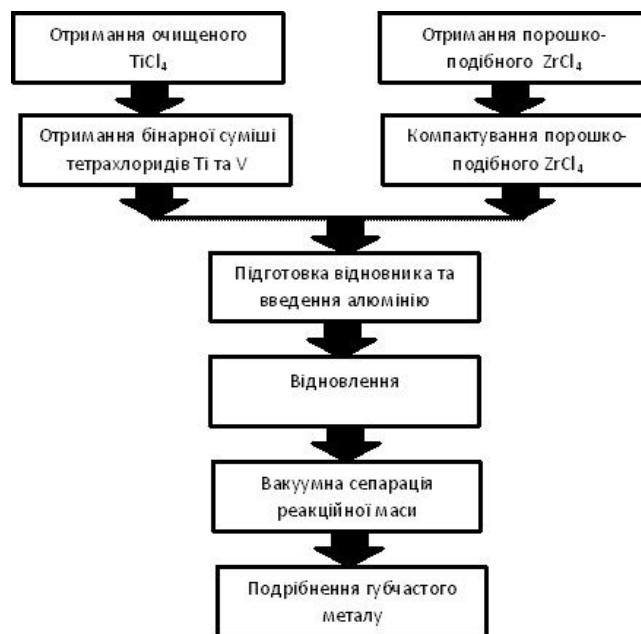


Рис. 6– Технологічна схема отримання легованих цирконію та титану губчастих

Таблиця 2 – Вміст (мас. част., %) домішок та легувальних елементів у пробах блоків цирконію губчастого дослідних процесів

№ процесу	C	Cl	N	Al	Fe	O	Густина г/см <sup>3</sup>
1	0,021	0,023	0,020	-	0,09	0,11	3,82
2	0,020	0,021	0,019	-	0,11	0,13	3,78
3	0,023	0,032	0,037	19,73	0,13	0,16	1,81
4	0,024	0,030	0,025	12,14	0,12	0,12	2,04
5	0,022	0,026	0,024	6,12	0,10	0,13	2,77
6	0,019	0,022	0,021	2,18	0,11	0,11	3,62

**Висновки.** Визначена актуальність технології отримання сплавів на основі цирконію та титану. Показані проблеми легування сплавів, пов'язані зі складністю забезпечення заданого складу та рівномірністю розподілу легувальних елементів. За результатами дослідження розроблено технологічну схему процесу легування рідкісних тугоплавких металів титану та цирконію. Встановлено, що спосіб введення легувального елементу алюмінію в процес магністермічного відновлення РТМ в якості додаткового відновника є оптимальним. Ефективним способом введення ванадію в процес легування можливий при використанні суміші тетрахлоридів ванадію та титану в якості вихідної сировини для процесу відновлення титану губчастого. Розроблено конструкцію апаратів відновлення тетрахлориду цирконію та суміші тетрахлоридів титану та ванадію.

**Список літератури:** 1. Цегельник, Э. Смокинг для урана [Текст] / Э. Цегельник // Атомная энергетика. - 2005. - № 17. - С. 30 – 32. 2. Колачев, Б. А. Основные принципы легирования титановых сплавов [Текст] / Б. А. Колачев // Известия вузов. Цветная металлургия. - 1996. - № 4. - С. 34 – 41. 3. Zirconium industry overview (zirconium, metal, mineral) [Text]: Industry report. 4. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения – обзор [Текст] / В. М. Ажажа, П. Н. Вьюгов, С. Д. Лавриненко и др. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 1997. – 98 с. 5. Металлургия циркония и гафния [Текст] / Н. В. Барышников, В. Э. Гегер, Н. Д. Денисова и др. ; под ред. Л. Г. Нехамкина. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с. 6. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства: Справочник [Текст] / А. А. Ильин, Б. А. Колачев, И. С. Польшин. – М.: ВИЛС-МАТИ, 2009. – 520 с. 7. Титан: Свойства, сырьевая база, физико-химические основы и способы получения [Текст] / [под ред. В.А. Гарматы]. – М: Металлургия, 1983.–

559с. 8. Глазова, В. В. Легирование титана [Текст] / В. В. Глазова. – М.: Металлургия, 1966.– 191с. 9. Тарасов, А. В. Металлургия титана [Текст] / А. В. Тарасов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 328 с. 10. Спосіб магністермічного отримання губчастого цирконію : пат. 90853 Україна: МПК51 С 22 В34/14 [Текст] / О. П. Яценко, О. Д. Сушинський, Т. Б. Янко та інш. / заявник і патентовласник ДП «ДНДП Інститут титану»; заявл. 20.01.2014 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11. 11. Пристрій для магністермічного відновлення тетрахлориду цирконію: пат. 82174 Україна: МПК51 С 22 В34/14 [Текст] / О. П. Яценко, Т. Б. Янко, Р. А. Щербань та інш. / заявник і патентовласник ДП «ДНДП Інститут титану»; заявл. 24.01.2013 ; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tsel'nyk, E. (2005). Smokyng dla urana [Tuxedo for uranium]. Atomnaia enerhetyka, 17, 30 – 32. 2. Kolachev, B. A. (1996). Osnovnye printsypy legirovaniya titanovykh splovov [The basic principles of titanium alloys doping]. Tsvetnaia metallurgija, 4, 34 – 41. 3. Zirconium industry overview (zirconium, metal, mineral): Industry report. 4. Azhazha, V. M., V'iuhov, P. N., Lavrynenko, S. D. (1997). Tsyronij i ego splavy: tekhnologii proizvodstva, oblasti primeneniya [Zirconium and its alloys are: manufacturing technology, application]. Khar'kov: NCS, 98. 5. Baryshnikov, N. V., Heher, V. E., Denisova, N. D. (1979). Metallurgija tsyrkonija i gafnija [Metallurgy of zirconium and hafnium]. In Nekhamkin L.H. (eds.); Moscow: Metallurgija, 208. 6. Il'yn, A. A., Kolachev, B. A., Pol'kun, Y. S. (2009). Titanovyje splavy. Sostav, struktura, svojstva [Titanium alloys. Composition, structure, properties]. Moscow: VILS-MATI, 520. 7. Garmata, V. A. (Eds.). (1983). Titanium: Properties, raw materials, physical and chemical bases and methods for the preparation. Moscow: Metallurgija, 559. 8. Glazova, V. V. (1966). Legirovanie titana [Alloying of titanium]. Moscow: Metallurgija, 191. 9. Tarasov, A. V. (2003). Metallurgija titana [Metallurgy of titanium]. Moscow: Akademkniga, 328. 10. Yatsenko, O. P., Suschyn's'kyj, O. D., Ianko, T. B. (2014). UA. Patent No. 90853. Zaporizhzhia, UA: State Titanium Research and Design Institute. 11. Yatsenko, O. P., Scherban', R. A., Ianko, T. B. (2014). UA. Patent No. 82174. Zaporizhzhia, UA: State Titanium Research and Design Institute.

Надійшла (received) 07.06.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Янко Тарас Богданович** – завідувач лабораторії «Металотермії та порошкової металургії», ДП «ДНДП Інститут титану»; тел.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Янко Тарас Богданович** – заведуючий лабораторією «Металотермії та порошкової металургії», ГП «ГНДП Інститут титану»; тел.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Ianko Taras** - Head of laboratory “Metalothermal processes and powder metallurgy”, State Titanium Research Institute; tel.: 063-400-09-37; e-mail: [titanlab3@rambler.ru](mailto:titanlab3@rambler.ru).

**Овчинников Александр Владимирович** – доктор технічних наук, Запорізький національний технічний університет, професор кафедри механіки, директор НДЦ «Титан Запоріжжя».

**Овчинников Александр Владимирович** – доктор технических наук, Запорожский национальный технический университет, профессор кафедры механики, директор НИЦ «Титан Запоріжжя».

**Ovchinnikov Olexandr** - Doctor of science, Zaporizhzhia National Technical University, Professor Department of “Mechanics”, Head of Science Research Centre “Titanium Zaporizhzhia”.

УДК 622.691.4

**В. М. ІВАСІВ, А. П. ДЖУС, О. В. ІВАСІВ**

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЄМНОСТЕЙ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Розроблено засіб та методика визначення технічного стану ємностей комбінованого типу в процесі їх експлуатації. Запропоновано використовувати для неруйнівного контролю металевих лейнерів конструкцій комбінованого типу спеціальну автоматизовану систему, створену на базі високочастотного індуктивного давача як сенсора втрат металу в кожній точці контролю. Встановлено можливість використання опробованої методики для визначення розривного внутрішнього тиску металевого лейнера за результатами оцінки фактичного стану його поверхні.

**Ключові слова:** ємності комбінованого типу, композитний матеріал, міцність та руйнування ємностей, корозійне пошкодження металевого лейнера.

**Вступ.** За умов небажання компаній вкладати великі інвестиції в газотранспортну інфраструктуру, чи наявності фізичних обмежень, що унеможливають доставку газу на сушу, технологія транспорту

вання природного газу у стиснутому стані є економічно обґрунтованою на ринку «невигідного» газу [1]. Використання при розробленні початкових проектів барж, на яких, для прикладу, можуть бути реалізовані

© В. М. Івасів, А. П. Джус, О. В. Івасів, 2015