

УДК 669.295

**ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ ЗІ
СПЕЧЕНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ
ПОРОШКУ ТИТАНУ, ЛЕГОВАНОГО КИСНЕМ**

Т. Б. Янко, О. В. Овчинников*, Т. О. Коваленко*

ДП «ДНДП Інститут титану»,

** Запорізький національний технічний університет*

Актуальність та мета роботи

Зниження вартості титанових сплавів та виробів з них в першу чергу можливе при вдосконаленні технології їх отримання. Методи порошкової металургії якнайкраще відповідають цим вимогам, оскільки коефіцієнт використання матеріалу може досягати 95 % [1].

Для виготовлення виробів з титанових сплавів методами порошкової металургії використовують чисті порошки титану та порошки титанових сплавів. Легувальні елементи для отримання більшості титанових сплавів, мають достатньо високу вартість, а технології отримання легованих сплавів мають ряд недоліків. Сучасні тенденції розвитку технологій потребують зниження собівартості готової продукції. Одним із способів зниження собівартості та забезпечення заданого рівня механічних властивостей є використання легувальних елементів невеликої вартості [2]. Такий підхід широко використовується для отримання економнолегованих титанових сплавів [3].

Одним із таких елементів є кисень, котрий зменшує параметри кристалічної ґратки α -титану, тим самим підвищуючи модуль нормальної пружності. Відповідно до зростання міцності внаслідок збільшення вмісту кисню в титановому сплаві знижуються пластичність та в'язкість. Проте концентраційні залежності механічних властивостей мають плавний характер, відтак, піддаються в обмежених рамках прораховуванню та регулюванню. З точки зору корозійної стійкості кисень є економічно та технічно найбільш вигідним елементом для легування, оскільки на відміну від алюмінію одночасно підвищує механічні властивості титану та не знижує його корозійні властивості [4].

Отже, кисень можливо розглядати як перспективний легувальний елемент, що забезпечує певний рівень міцності технічного титану та всіх промислових титанових сплавів. Проте підвищення концентрації кисню у спечених титанових сплавах шляхом легування кисневмісними лігатурами, характерне для виплавлених титанових сплавів, не забезпечує рівномірного розподілу кисню та однорідності властивостей у всьому об'ємі матеріалу. Тому кисень у необхідній концентрації має знаходитися саме в основі сплаву, тобто в титані. Для легування титанових сплавів киснем використовують двоокис титану, відходи титану, нижчі окисли TiO або TiO_2 , спеціально виготовлені лігатури [4–9]. Проте, ці технології не забезпечують концентраційної однорідності кисню і відсутність кисневмісних включень [10], викликають необхідність додаткових переплавів, що призводить до погіршення якості титану, збільшує витрати на виробництво. До того ж, кінцевим продуктом мають зливи титану, легованого киснем, а не порошок.

З огляду на всі недоліки отримання порошку титану, легованого киснем, традиційним способом (на стадії виплавлення зливків з подальшим виготовленням порошку) на сьогодні існує потреба в удешевленні циклу виробництва легованих титанових сплавів методами порошкової металургії. Перспективним в цьому напрямку є використання титану губчастого, попередньо легованого киснем на стадії виготовлення титанової губки в реторті. Це дозволить отримувати готові порошки титану, легованого киснем, одразу після процесу відновлення та сепарації губчастого титану простим подрібненням блоку титану губчастого.

Отже, мета роботи полягала у визначенні ефективного способу легування титанового порошку киснем для підвищення механічних властивостей виробів зі спечених титанових сплавів.

Методика та обладнання проведених досліджень

Титан губчастий одержували в спеціально розробленій експериментальній установці магністермічного відновлення і вакуумної сепарації. Температура в процесі відновлення підтримувалася автоматично в межах 800...850 °С. Після закінчення процесу відновлення в реакторі проводили вакуумну сепарацію маси титану губчастого. Блок титану губчастого, що було отримано після сепарації реакційної маси, подрібнювали.

За першою технологією порошок титану губчастого змішували з діоксидом титану (TiO_2) механічним способом. Отриману суміш піддавали пресуванню, а потім спіканню з наступним визначенням механічних характеристик.

За другою технологією [11], використовували процес магністермічного відновлення з дозованим введенням збагаченого киснем аргону, з наступною вакуумною сепарацією реакційної маси. Схема експериментального апарату відновлення титану губчастого легованого киснем представлена на рисунку 1.

Після проведення процесу вакуумної сепарації виймали блок титану губчастого та подрібнювали його в шаровому млині.

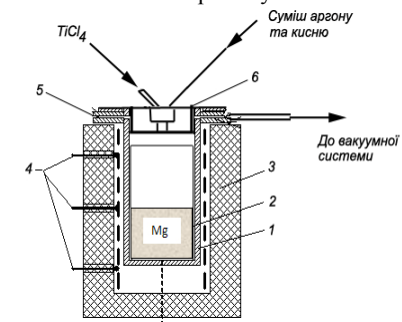


Рис. 1. Схема експериментального апарату відновлення титану губчастого, легованого киснем: 1 – реторта; 2 – реакційний тигель з магнієм; 3 – піч електрична шахтна; 4 – термодатчики для контролю та регулювання температури; 5 – водоохолоджуваний фланець; 6 – кришка ізольована

Легований киснем порошок титану губчастого пресували у зразки та спікали з наступним визначенням механічних характеристик [12].

Визначали вміст кисню та інших регламентованих домішок за допомогою рентгеноспектрального аналізу. В обох випадках за використання різних технологій отримували зразки з титану із збільшеним вмістом кисню (0,28...0,30 % мас.).

Структури досліджували за допомогою оптичної мікроскопії із застосуванням інвертованого мікроскопу відбитого світла. Механічні властивості визначали за стандартними методиками на зразках із робочою частиною \varnothing 5 мм по ГОСТ 1497-84.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати випробувань механічних властивостей показали, що легування титану киснем в процесі відновлення підвищувало границю міцності у 2 рази, а пластичність до 1,3 раз, в порівнянні з методом легування TiO_2 . Крім цього зменшено розкид їх значень, що забезпечувало рівномірність властивостей у зразках (табл.).

Таблиця

Механічні властивості спечених зразків із порошку титану губчастого, легованого киснем за різними технологіями

Спосіб отримання	Механічні властивості		
	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
в процесі відновлення	430...470	5...7	10
механічна суміш із порошком TiO_2	255...358	3...5	8

Мікроструктура титану, легованого киснем за допомогою TiO_2 , після спікання істотно не відрізнялась від структури легованого киснем титану, що було отримано в процесі відновлення тетраклориду титану зі збагаченою киснем газовою сумішшю (рис. 2).

Незначно збільшену пористість та збільшену кількість включень у титані, легованому киснем за допомогою TiO_2 (рис. 2 а), можна пояснити тим, що частки діоксиду титану в механічній суміші не повністю розчинюються, а під час спікання стають центрами пороутворення.

Мікроструктура спеченого титану, що було отримано з порошку титану легованого киснем в процесі відновлення складалася з пластин α -фази, зібраних у розорієнтовані пачки, по тілу і на межах котрих розташовувалися дрібні пори (діаметром до 20 мкм, рис. 2 б).

Як видно з фрактограм зразків, випробуваних при одноісному розтягненні (рис. 3), поверхня руйнування мала в'язкий характер з наявністю характерних ямок в'язкого руйнування. Проте, в титані, легованому за допомогою TiO_2 , відмічена наявність фасеток крихкого руйнування (рис. 3а). Області крихкого руйнування не мали прив'язки до основних структурних складових і, швидше за все, були наслідком руйнування неметалевих включень, які слугували концентраторами напружень.

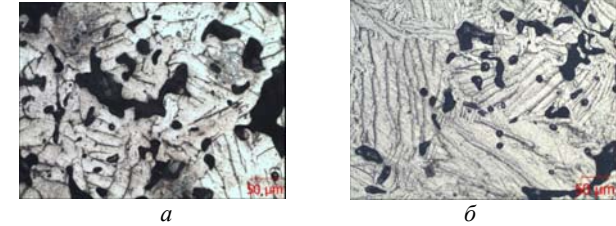


Рис. 2. Мікроструктура зразків з титану легованого киснем, $\times 500$: *a* – за допомогою TiO_2 ; *б* – в процесі відновлення

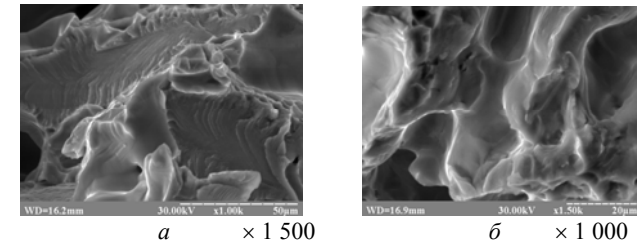


Рис. 3. Фрактограми поверхневого руйнування зразків титану легованого киснем: *a* – титан, легованого TiO_2 ; *б* – титан, легований киснем в процесі відновлення

ВИСНОВКИ

На основі аналізу способів введення кисню в титан за допомогою TiO_2 та в процесі відновлення губчастого титану киснем із газової суміші встановлено відсутність суттєвих відмінностей у структурі зразків зі спечених порошків дослідженого титану.

Встановлено підвищення механічних характеристик до 2-х разів у зразків з порошку, легованого киснем у процесі відновлення, що можна пояснити якісно кращим зв'язком титану та кисню, здійсненому на хімічному рівні в процесі відновлення.

Механічні властивості дослідного титану, легованого киснем в процесі відновлення, мали більш стабільний рівень – спостерігали скорочення їх розкиду, що в свою чергу, можна пояснити більш рівномірним розподілом кисню в структурі титану.

Література

1. Олесов Ю. Г. Производство и применение порошков титана / Ю. Г. Олесов, В. С. Устинов, В. А. Дрозденко. – УкрНИИИТИ, 1971.
2. Ночовная Н. А. Титановые сплавы серии «LOW-COST» и возможности их применения / Н. А. Ночовная, В. Г. Анташев // Сб. тр. междунар. конф. «Ti-2007 в СНГ». – К. : РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины. – С. 191–192.
3. Давыдов С. И. Исследования влияния способа введения кислорода на структуру и свойства литого титана / С. И. Давыдов, В. Г. Шевченко,

- А. В. Овчинников [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Вып. 48, ч. 3. – Д. : ПГАСА, 2009. – С. 125–132.
4. Чечулин Б. Б. и др. Титановые сплавы в машиностроении. – Л. : Машиностроение, 1977. – 248 с.
5. Гармата В. А. Титан / В. А. Гармата, А. Н. Петрунько, Н. В. Галицкий и др. – М. : Metallurgiya, 1983. – 559 с.
6. Береславский А. Л. Обеспечение прочностных характеристик промышленных сплавов при использовании высших сортов губчатого титана / А. Л. Береславский, Э. А. Карасев, А. С. Кудрявцев и др. // Титан. – № 1(14). К. – С. 30–33.
7. Амелин А. И. Сегрегация кислорода при затвердевании слитков титана / А. И. Амелин, В. И. Костенко, М. П. Кругленко и др. // Сб. тр. междунар. конф. «Ti-2009 в СНГ». – 2009. – С.92–96.
8. Donachie M. J. Titanium: a technical guide / Matthew J. Donachie. Materials Park, Ohio: ASM Int., 1988. – 381 p.
9. Способ производства слитков титановых сплавов: пат. 2031174 РФ, С 22 С 14/00, С 22 В 9/20 / А. Д. Чучурюкин; В. А. Фролов; А. И. Крашенинин и др. Опубл. 20.03.1995, Бюл. № 8.
10. Давыдов С. И. 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.
11. Пат. 46526 Україна, МПК51 С22В34/12. Спосіб отримання губчастого титану, легованого киснем / Яценко О. П., Дрозденко В. А., Щербань Р. А., Давидов С. І., Шварцман Л. Я., Феофанов К. Л.; заявник і патентовласник Яценко О.П. – № 200907021; заявл. 06.07.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
12. Гайворонский И. В. Структура и свойства поверхностных слоев спеченного порошкового титана VT1-0 после лазерной обработки / И. В. Гайворонский, В. В. Гиржон, А. А. Скребцов, А. В. Овчинников // МіТОМ. – Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. – № 1(703). – С.53–56.

УДК 669.295

Підвищення механічних властивостей виробів зі спечених титанових сплавів шляхом використання порошку титану, легованого киснем / Т. Б. Янко, О. В. Овчинников, Т. О. Коваленко // *Металознавство та термічна обробка металів : науков. та інформ. журнал.* – Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. – № 4. – С. – . – Табл. 1. – Рис. 3. – *Бібліогр. : (12 назв.)*

Встановлено підвищення механічних характеристик до 2-х разів у зразків з порошку, легованого киснем у процесі відновлення, що можна пояснити якісно кращим зв'язком титану та кисню, здійсненому на хімічному рівні в процесі відновлення.

Установлено повышение механических характеристик до 2-х раз у образцов, легированных кислородом в процессе восстановления, что можно объяснить качественно лучшей связью титана и кислорода, осуществляемой на химическом уровне в процессе восстановления.

Elevated mechanical properties up to 2 times in the samples doped with oxygen in the recovery process, which can be explained qualitatively better communication titanium and oxygen, carried out at a chemical level in the recovery process.