

морожено-размороженні картоплі. Науково обґрунтовано та доведено раціональність та ефективність використання низькотемпературної обробки напівфабрикатів на основі дріжджового тіста для подовження термінів їх зберігання.

**Ключові слова:** заморожування, низькотемпературний калориметр, рослинна сировина, дріжджове тісто, холодильне зберігання.

*Одарченко Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра товароведения, управления качеством и экологи-*

*ческой безопасности, Харьковский государственный университет питания и торговли, Украина, e-mail: laboratory119@mail.ru.*

*Одарченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки, Харківський державний університет харчування та торгівлі, Україна.*

*Odarchenko Andrey, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Ukraine, e-mail: laboratory119@mail.ru*

УДК 669.295;669.187

Осипенко А. В.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА С ЗАДАНЫМ ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

*Выполнено исследование структуры и механических свойств экономнолегированного спеченного титанового сплава с заданным содержанием легирующих элементов O и Fe. Процесс спекания образцов проводили при температуре 1310 °C. Получен титан губчатый с заданным составом легирующих элементов (O – 0,25 % (масс.), Fe – 1,5 % (масс.)).*

**Ключевые слова:** титановый сплав, титан губчатый, легирование, спекание, химический состав, примеси, микроструктура.

### 1. Введение

В виду достаточно высокой стоимости изделий из титана и его сплавов в настоящее время потребление данного материала в основном ограничено аэрокосмической, военной и медицинской отраслями промышленности [1]. В тоже время в химической, нефтеперерабатывающей, автомобиль- и машиностроительной промышленности, там, где востребованы, наряду с прочностными, высокие коррозионные свойства титана, доля применения титановых сплавов сравнительно не велика и, в значительной степени, подвержена колебаниям на рынке титановой продукции [1, 2].

### 2. Анализ исследований и публикаций

Рядом научно-исследовательских организаций в настоящее время ведутся работы по поиску и разработке рациональных и экономичных систем легирования титановых сплавов, в том числе и спеченных материалов, обладающих высоким уровнем свойств [3–6]. В рассматриваемых системах легирования легирующие элементы относятся к не дорогим и широко применяемым материалам. Некоторые используемые элементы, являются примесями в сырье для производства титановых сплавов — титане губчатом, а наиболее востребованные из них — железо и кислород. Также необходимо отметить факт широкого применения в порошковой металлургии гидрида титана, как основы для производства спеченных титановых сплавов, обладающего рядом уникальных особенностей.

Исходя из выше изложенного, возможно сделать вывод о целесообразности и актуальности проведения исследований в области производства экономнолеги-

рованных спеченных титановых сплавов на основе титана губчатого с заданным химическим составом, используя сопутствующим производству титана примесные легирующие элементы, в комплексе с применением гидридной технологии порошковой металлургии титана.

### 3. Формулировка целей и задач

В настоящее время значительное внимание уделяется разработке режимов получения титановых сплавов с заданными характеристиками.

Целью настоящей работы являлось исследование структуры и механических свойств экономнолегированного спеченного титанового сплава Ti-0,25O-1,5Fe, полученного методом гидридной порошковой металлургии титана с использованием в качестве сырья титана губчатого с заданным содержанием легирующих элементов O и Fe.

Исследовательские работы проводились на Запорожском титано-магниево-комбинате при участии специалистов ОАО «Мотор Сич», Запорожского национального технического университета, а также Научно-исследовательского центра «Титан Запорожье» при ЗНТУ.

### 4. Полученные в результате исследования результаты

Получение исследуемого порошка гидрида титана губчатого с заданным составом легирующих элементов O и Fe, проводили на производственных мощностях Запорожского титано-магниевого комбината. Полученный материал компактировали на гидравлическом прессе в образцы 11,5 × 11,5 × 55,5 мм. Основы-

ваясь на результатах работы [7], в которой отмечена способность гидрида титана хорошо уплотняться при относительно невысоких давлениях прессования, в сравнении с традиционными титановыми порошками, а также по результатам собственных исследований [8] усилие прессования выбрано на уровне 580 МПа.

Процесс спекания образцов проводили при температуре 1310 °С, основываясь при работе на результаты собственных исследований, а также на режимах спекания промышленного спеченного титанового сплава 2М2А: нагрев в вакуумной печи со скоростью 20 °С/мин до температуры 1310 °С и выдержке 4 часа. При температуре 500 °С производили выдержку в 1 час для предотвращения растрескивания материала, в результате сильного выделения водорода.

Химический состав исследуемого материала определяли оптико-эмиссионным методом (СТП 140-2005, ГОСТ 9853.5-96, ГОСТ 19863.1-91, ГОСТ 1986.12-91) на спектрометре для анализа металлов «SPECTROMAXx» фирмы «SPECTRO». Для анализа структуры термически обработанных образцов использовали оптический микроскоп NEOPHOT32, METAVAL и растровый электронный микроскоп JSM-T300 фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 20 кВ во вторичных электронах. Фрактографические исследования проводили на микроскопе JSM-T300. Механические испытания производили по стандартным методикам. Предел прочности, относительное удлинение и относительное сужение по ГОСТ 1497-84, ДСТУ 2824-94, а твердость по ГОСТ 9013-69.

Разработанный экономнолегированный спеченный титановый сплав по классификации относится к  $\alpha$ -титановым сплавам. Системой легирования для этого сплава выбрана Ti-O-Fe с составом Ti-0,25O-1,5Fe. Легирующие элементы представленной системы легирования являются основными примесями в титане губчатом. Содержание их в данном материале управляемо, в регламентированном диапазоне, посредством операций специализированного отбора, дробления и отсева (классифицирования) с получением порошков титана губчатого, с заданным химическим составом.

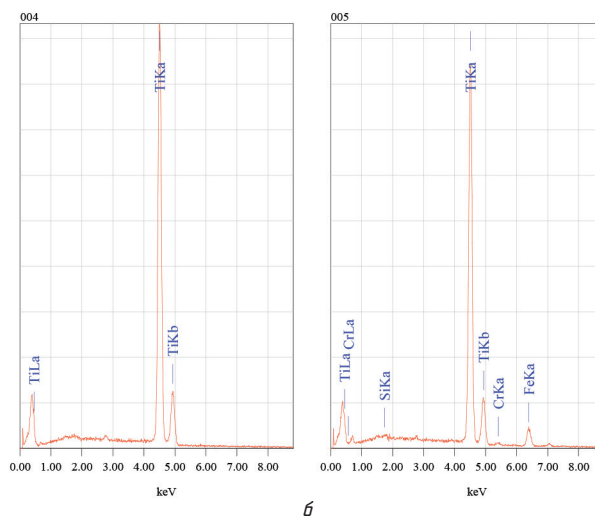
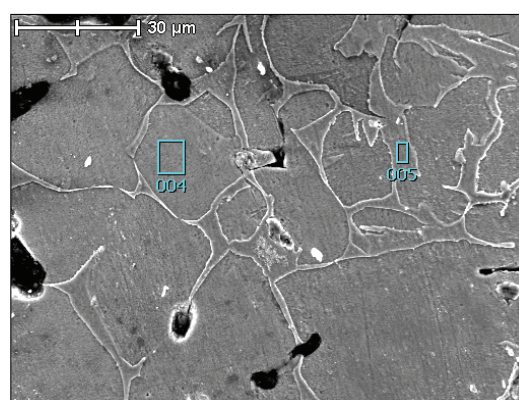
Кислород вводился в титан губчатый по технологии, описанной в [9] на стадии процесса магнито-термического восстановления титана, посредством аргоно-кислородной смеси. Содержание кислорода в титане губчатом достигало 0,25 % (масс.). Отбор и накопление необходимого материала, с повышенным содержанием Fe, происходил в процессе переработки титана губчатого посредством технологических операций послышной резки блока титана губчатого на прессе, дробления кусков на клиновых и дисковых дробилках, отсева полученного титана губчатого и выделение фракции от 0 до 2 мм. В дальнейшем титан губчатый данной фракции подвергался опытному процессу вибрационного грохочения и отсева на экспериментальной установке с получением порошка титана губчатого фракции от 0,08 до 0,45 мм с заданным содержанием кислорода и железа.

Исследуемый порошок титана губчатого, в сравнении с требованиями нормативного документа [10], после его обработки и выделения в отдельную фракцию, содержал легирующие элементы O и Fe на уровне, удовлетворяющем требуемому составу легирования (O — 0,25 % (масс.), Fe — 1,5 % (масс.)), по содержанию остальных примесей соответствовал высшим маркам титана губчатого.

Проводился процесс гидрирования исследуемого титана губчатого в соответствии с установленной на Запорожском титано-магниево-комбинате технологией. Полученный гидрид титана губчатого содержал водород на уровне от 3,5 % (масс.) до 4 % (масс.) и в среднем этот показатель составил 3,87 % (масс.).

Проведенные исследования гранулометрического состава гидрид титана губчатого с заданным химическим составом показали удовлетворяющую, для технологий порошковой металлургии фракцию. Основная масса гидрид титана имела размеры до 50 мкм, что способствовало проведению процесса компактирования исследуемого титанового сплава в образцы для проведения механических испытаний.

Результаты исследования микроструктуры полученных образцов экономнолегированного титанового сплава Ti-0,25O-1,5Fe, показаны на рис. 1.



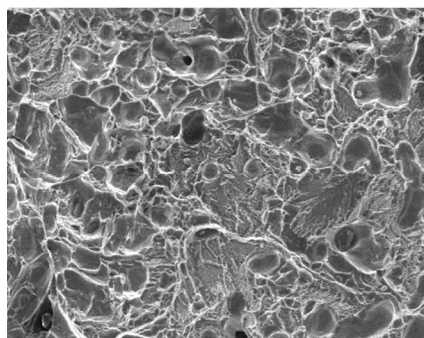
**Рис. 1.** Микроструктура образца спеченного титана:  
а — в темнопольном изображении, полученная на РЭМ, ( $\times 1000$ );  
б — дифрактограмма участков в зерне (004) и в межзеренном пространстве (005)

Как следует из анализа представленных данных, структура исследуемого сплава представляла собой зерна  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ -фазы, морфология которых характерна для промышленных спеченных  $\alpha$ -титановых сплавов. Отмечается, что с ростом температуры спекания до 1310 °С наблюдалось уменьшение площади, занимаемой порами. При этом имело место перераспределение пор по размеру и форме. При достижении температуры

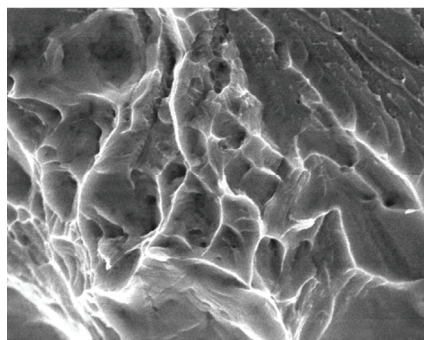
спекания в 1310 °С процесс ликвидации пор оканчивался и происходило лишь усреднение их по размеру, а форма пор становилась равноосной (сферической).

Влияние структуры (концентрация, форма и размер пор, а также размер зерен), на свойства сплава Ti-0,25O-1,5Fe подтверждают исследования фрактограмм поверхности разрушения испытательных образцов (рис. 2).

Из анализа представленных данных следует, что поверхности разрушения образцов имеют характер близкий к квазивязкому разрушению, т. е. наряду с элементами вязкого разрушения наблюдаются, в незначительной степени, «ямки отрыва» по границам зерен.



а



б

Рис. 2. Фрактограммы поверхности разрушения исследуемых образцов экономнолегированного титанового сплава: а —  $\times 350$ ; б —  $\times 3500$

Исследуемые образцы экономнолегированного титанового сплава подвергали механическим испытаниям, в ходе которых получены следующие результаты. Плотность образцов титанового сплава в среднем составила 4,50 г/см<sup>3</sup> (99,3 % от плотности титана в литом состоянии). Предел прочности ( $\sigma_B$ ) для исследуемых образцов находился в пределах от 580 до 660 МПа. Значения показателей пластичности находились в интервалах: относительное удлинение ( $\delta$ ) от 6 % до 10 % и относительное сужение ( $\psi$ ) от 27 % до 32 %. Твердость (НВ) экономнолегированного титанового сплава составила в среднем 2000 МПа.

Полученные результаты механических испытаний образцов исследуемого титанового сплава свидетельствуют о высоких прочностных характеристиках данного материала, в комплексе с удовлетворительными показателями пластичности. Таких результатов, прежде всего, удалось достичь за счет использования в качестве легирующих элементов — железа и введения на стадии восстановления в титан губчатый кислород, что обеспечило наиболее полное распределение лигатуры

в металлической матрице титана и исключило негативное влияние локализации указанных элементов.

На основании полученных данных по механическим свойствам образцов исследуемого титанового сплава проведен сравнительный анализ показателей механических свойств сплава Ti-0,25O-1,5Fe с рядом аналогичных титановых сплавов [5, 6, 8, 11] (табл. 1).

Основываясь на данных представленных в табл. 1 возможно сделать вывод о достаточно высоких прочностных показателях исследуемого сплава по сравнению с аналогичными спеченными титановыми сплавами, при сохранении удовлетворительных значений пластичности.

Таблица 1

Свойства исследуемого и аналогичных спеченных сплавов

Материал	Механические свойства		
	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %
Ti-0,25O-1,5Fe (основа порошок TiH <sub>2</sub> )	630	7	28
2M2A (основа порошок ПТ5-1)	686	6	8
Ti-6Al-4V (основа порошок Ti)	880	3	7
Ti-6Al-4V (основа порошок TiH <sub>2</sub> )	970	12,5	29
Ti-5Al-2,5Fe (основа порошок TiH <sub>2</sub> )	960	9	18
Ti технически чистый (основа порошок TiH <sub>2</sub> )	549	21,8	37,7

Разрабатываемый сплав по основным показателям механических свойств вполне способен конкурировать с существующими и разрабатываемыми аналогичными спеченными сплавами. Способствует этому и низкая себестоимость данного материала, вызванная исключением целого ряда технологических операций, что повышает рентабельность производства из него экономнолегированных спеченных титановых сплавов. Так при производстве титановых сплавов по существующим технологиям порошковой металлургии титана происходит исключение операций измельчения и шихтоподготовки смеси порошков лигатур и основы (порошка титана) для производства спеченного сплава.

## 5. Выводы

Получен титан губчатый, содержащий легирующие элементы (O и Fe) на уровне, удовлетворяющем состав легирования Ti-0,25O-1,5Fe, а по содержанию остальных примесей соответствующий высшим маркам титановой губки, согласно существующих нормативных документов. Из исследуемого титана губчатого с заданным химическим составом, получен порошок гидроксида титана губчатого, основная масса которого имела размеры до 50 мкм и содержала водород в среднем на уровне 3,87 % (масс.). Анализ структуры исследуемого сплава показал, что она представляла собой зерна  $\alpha$ -фазы и  $\beta$ -фазы, морфология которых характерна для промышленных спеченных  $\alpha$ -титановых сплавов. Отмечается, что с ростом температуры спекания до 1310 °С наблюдалось уменьшение площади, занимаемой порами. Поверхности разрушения испытательных образцов имели характер близкий к квазивязкому разрушению, т. е. наряду с элементами вязкого разрушения наблюдались, в незначительной степени, «ямки отрыва» по границам зерен.

Полученный на основе титана губчатого с заданным химическим составом экономнолегированный спеченный

титановый сплав Ti-0,25O-1,5Fe имеет механические свойства по своему уровню не уступающие существующим и разрабатываемым аналогичным титановым сплавам. Предел прочности ( $\sigma_B$ ) 630 МПа, относительное удлинение ( $\delta$ ) 7 % и относительное сужение ( $\psi$ ) 28 %. Твердость (НВ) составила в среднем 2000 МПа.

Использование в качестве сырья для производства экономнолегированных спеченных титанового сплава титана губчатого с заданным составом легирующих элементов, в комплексе с применением методов порошковой металлургии титановых сплавов, является экономически выгодным и рентабельным по причине исключения целого ряда технологических операций и низкой себестоимости, используемых сырья и материалов.

### Литература

1. Kevin, J. Cain. Industrial Titanium Demand Forecast [Электронный ресурс] / Kevin J. Cain // ITA Conference 2009, USA, Hawaii, 13–16 September 2009. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. — Название с титул. экрана.
2. Александров, А. В. Развитие рынка титана в СНГ [Текст] : материалы конференции / А. В. Александров // Международная конференция Ti-2009 в СНГ. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины, 2009. — С. 7–10.
3. Александров, А. В. Разные грани титана и его сплавов (продолжение) [Текст] / А. В. Александров, Б. А. Прудковский // Титан. — 2004. — № 1. — С. 74–79.
4. Александров, А. В. Разные грани титана и его сплавов (продолжение) [Текст] / А. В. Александров, Б. А. Прудковский // Титан. — 2005. — № 1. — С. 64–70.
5. Ночовная, Н. А. Титановые сплавы серии «LOW-COST» и возможности их применения [Текст] / Н. А. Ночовная, В. Г. Анташев // Международная конференция Ti-2007 в СНГ. — Сборник трудов. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украины. — С. 191–192.
6. Ивасишин, О. М. Производство титановых сплавов и деталей экономичным методом порошковой металлургии для широкомасштабного применения [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, К. А. Бондарев [и др.] // Наука та інновації. — 2005. — Т. 1. — № 2. — С. 44–57.
7. Ивасишин, О. М. Порошковая металлургия титановых сплавов с применением гидрированного титана [Текст] / О. М. Ива-

сишин, Д. Г. Саввакин, В. Моксон [и др.] // Международная конференция Ti-2006 в СНГ: Сборник трудов. — К.: Наукова думка, 2006. — С. 32–38.

8. Быков, И. О. Применение гидрированного титана с заданным содержанием кислорода для получения изделий методом порошковой металлургии [Текст] / И. О. Быков, А. В. Овчинников, С. И. Давыдов [и др.] // Теория и практика металлургии. — 2011. — № 1–2. — С. 65–69.
9. Пат. 46526 Україна, МПК51 C22B34/12. 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.
10. ГОСТ 17746-96. Титан губчатый. Технические условия [Текст] — Взамен ГОСТ 17746-79. — Введ. 1998-01-01. — К.: Держстандарт України, 1997. — 10 с.
11. Ивасишин, О. М. Апробация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии [Текст] / О. М. Ивасишин, Д. Г. Саввакин, М. В. Матвийчук [и др.] // Международная конференция Ti-2007 в СНГ: Сборник трудов. — К.: РИО ИМФ им. Г. В. Курдюмова НАН Украина, 2007. — С. 73–77.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМНОЛЕГОВАНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ З ЗАДАНИМ ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ

Виконано дослідження структури і механічних властивостей економнолегованого спеченого титанового сплаву з отриманням заданої кількості легуючих елементів О, Fe. Процес спікання зразків проводили при температурі 1310 °С. Отримано титан губчастий з заданим складом легуючих елементів (О — 0,25 % (мас.), Fe — 1,5 % (мас.)).

**Ключові слова:** титановий сплав, титан губчастий, легування, спікання, хімічний склад, домішки, мікроструктура.

*Осіпенко Александр Викторович, аспірант, Запорозький національний технічний університет, Україна, e-mail: osipenko@ztmc.zp.ua.*

*Осіпенко Олександр Вікторович, аспірант, Запорізький національний технічний університет, Україна.*

*Osipenko Oleksandr, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine, e-mail: osipenko@ztmc.zp.ua*

УДК 921.91.678

Самчук В. В.

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗЦЕНТРОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПКМ

*У статті розглядається конструкція пристрою для безцентрової механічної обробки, при використанні якого можна підвищити ефективність виготовлення циліндричних виробів із ПКМ, особливо в плані продуктивності праці та отримання більш високої якості оброблюваної поверхні, що досягається урівноважуванням сил різання та крутних моментів, діючих на заготовку та великою кількістю ріжучих елементів, у яких різноспрямовані ріжучі кромки.*

**Ключові слова:** циліндричні вироби, полімерний композитний матеріал, безцентрова механічна обробка.

### 1. Вступ

В останнє десятиліття великих обсягів досягло виробництво композитних матеріалів, серед яких особливе місце посідають композити на основі полімерних ма-

теріалів, тому як вироби із полімерних композитних матеріалів (ПКМ) знаходять більш широке застосування в галузях народного господарства у сфері матеріального виробництва а саме в таких галузях промисловості, як хімія, будівництво, транспорт (особливо авіаційний та