

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОРОДА НА СВОЙСТВА
СПЕЧЕННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

***С.И. Давыдов, *А.В. Осипенко*, **И.О. Быков,
***к.т.н., доц. В.Г. Шевченко, ***к.т.н., доц. А.В. Овчинников**

** ГП «Запорожский титано-магниевого комбинат»,*

*** ОАО «Мотор Сич»,*

** Запорожский национальный технический университет*

Введение. Основной проблемой, препятствующей широкому применению титановых сплавов в различных отраслях промышленности, является высокая себестоимость получаемых из них полуфабрикатов и готовых изделий. Это обусловлено значительной трудоёмкостью процесса получения титановых сплавов и дороговизной применяемых сырья и материалов.

Наиболее рациональным, для увеличения потребления титановых сплавов в таких отраслях, как: строительство, химическая и нефтеперерабатывающая промышленность, автомобильный и машиностроительный комплексы, является использование, в качестве лигатуры, не дорогих, желателно сопутствующих производству титана (примесных) легирующих элементов [1 - 3].

Целью данной работы являлось исследование влияния способа введения кислорода на свойства экономнолегированного спеченного титанового сплава с использованием в качестве сырья порошка гидрида титана губчатого с заданным содержанием кислорода.

Методика проведения исследований. Химический состав образцов титановых сплавов определяли оптико-эмиссионным методом на спектрометре для анализа металлов «СПЕКТРОМАХх» фирмы «СПЕКТРО». Титан губчатый подвергали процессу гидрирования до ориентировочного содержания водорода в материале 3,87%(масс.), а полученный гидрид титана измельчали до фракционного состава порядка 100 мкм (± 50 мкм). Основываясь на результатах работы [4] усилие прессования выбрано на уровне 590 МПа (± 10 МПа). Процесс спекания образцов проводили при температуре 1310°C ($\pm 5^\circ\text{C}$): нагрев в вакуумной печи со скоростью 20°C/мин, при достижении температуры 500°C производили выдержку.

Плотность образцов определяли методом гидростатического взвешивания. Для анализа структуры образцов использовали оптический микроскоп (НЕОРНОТ32, МЕТАВАЛ) и растровый электронный микроскоп JSM – Т300 фирмы JEOL при ускоряющем напряжении 20 кВ во вторичных электронах. Фрактографические исследования проводили на микроскопе JSM – Т300. Микроанализ образцов осуществляли энергодисперсионным рентгеноспектральным методом в режиме картирования и сканирования по линии. Механические испытания производили по стандартным методикам (ГОСТ 1497-84, ДСТУ 2824-94, ГОСТ 9013-69) при комнатной температуре.

Результаты исследований и их обсуждение. С целью получения экономнолегированного титанового сплава с заданным содержанием кислорода до 0,5% было выбрано два варианта введения кислорода в титан.

По первому варианту (способ № 1) кислород вводили непосредственно в титан губчатый (сырьё для производства титановых сплавов) по способу, описанному в [5] на стадии процесса восстановления титана, посредством аргонно-кислородной смеси. Данный способ впервые реализован на Запорожском титано-магниевом комбинате при участии специалистов ОАО «Мотор Сич», а также НИЦ «Титан Запорожье» ЗНТУ.

По второму варианту (способ № 2) кислород вводился в гидрид титана губчатого на стадии процесса приготовления порошковой смеси, в виде порошка диоксида титана (TiO_2). Образцы, полученные по способу № 2, не прошли последующих механических испытаний т.к. после процесса спекания легко разрушались без образования деформационной шейки, что говорит о наличии дефектов структуры. Это объясняется наличием большого количества включений частиц не распределившегося диоксида титана и их значительными размерами, которые вызвали преждевременное разрушение образцов.

Распределение кислорода в объеме металлической матрицы титана образцов титанового сплава полученных по способу № 1, представлены на рис. 1. Из представленных данных следует, что при введении кислорода по способу № 1 происходит равномерное его распределение в металлической матрице α -титана без видимых неоднородностей и локализаций.

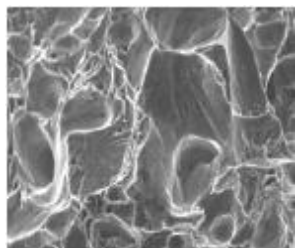


Рисунок 1. Распределение кислорода, введенного по способу № 1, в структуре исследуемого титанового сплава (x4000).

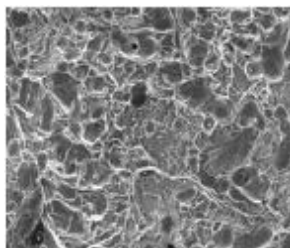
Такое распределение кислорода в образцах титанового сплава полученных по способу № 1 объясняется тем фактом, что он был введен на стадии получения сырья для титанового сплава – титана губчатого и эффективно распределился в металлической матрице титана. Аналогичные результаты получены в работах [6, 7] при получении литого титана из титана губчатого с заданным содержанием кислорода.

Влияние эффективного распределения кислорода на свойства, исследуемого титанового сплава, подтверждают фрактограммы поверхностей разрушения испытательных образцов (рис. 2).

Из анализа данных представленных на рисунке 2 следует, что введение кислорода по способу № 1 имеет место преимущественно вязкий характер разрушения характерный для промышленных спеченных сплавов титана [4].



x350



x1000

Рисунок 2. Фрактограммы поверхности разрушения образцов титанового сплава, с заданным содержанием кислорода введенного по способу № 1.

Плотность образцов исследуемого титанового сплава составила, в среднем 4,49 г/см³ (99,3% от плотности титана в литом состоянии). Предел прочности (σ_b) находился в пределах от 703 МПа до 721 МПа. Значения показателей пластичности находились в интервалах: относительное удлинение (δ) от 5,7% до 6,2% и относительное сужение (ψ) от 7,8% до 8,3%. Твердость (НВ) образцов титанового сплава составила в среднем 2310 МПа.

Полученные результаты механических испытаний образцов исследуемого титанового сплава свидетельствуют о высоких прочностных характеристиках материала полученного по опытной технологии в комплексе с удовлетворительными показателями пластичности. Высокий уровень механических свойств спеченных опытных сплавов достигнут в результате реализации введения кислорода непосредственно в гидриде титана, что обеспечило наличие кислорода в металлической матрице титана и исключило негативное влияние кислородосодержащих включений.

Результаты механических свойств исследуемого спеченного экономнолегированного титанового сплава проанализированы в сравнении со свойствами ряда известных спеченных конструкционных титановых сплавов [4, 8] (табл. 1).

Таблица 1

Свойства исследуемого и известных титановых сплавов полученным методом порошковой металлургии [4, 8]

Титановый сплав	Механические свойства			
	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	НВ, МПа
Исследуемый материал (способ № 1)	716	6	8	2310
Ti (технически чистый, гидрированный)	560	18	27	-
2M2A (на основе порошка ПТ5-1)	730	6	8	1960

Из анализа данных, представленных в таблице 1, установлено, что механические свойства исследуемого материала соответствуют уровню свойств серийного титанового сплава 2M2A. В сравнении с технически чистым титаном, прошедшим процесс гидрирования, спеченный титановый сплав, с заданным содержанием кислорода до 0,5% имеет намного более высокий предел прочности, разница около 150 МПа, при той же плотности материала.

Выводы.

Исследовано влияние способа введения кислорода на свойства спеченного экономнолегированного титанового сплава с повышенным

содержанием кислорода до 0,5%. Показано, что введение кислорода непосредственно в гидрид титана губчатого эффективно влияет на морфологию, микроструктуру и механические свойства исследуемого титанового сплава.

Доказано равномерное распределение легирующего элемента – кислорода в объеме металлической матрицы титана исследуемого материала полученного по опытному способу, что подтвердили результаты микроанализа.

Установлено, что опытные сплавы с содержанием кислорода до 0,5% по уровню механических свойств ($\sigma_{\text{в}} - 716 \text{ МПа}$, $\delta - 6\%$, $\psi - 8\%$) не уступали аналогичным конструкционным материалам. Сделаны выводы о возможности широкого применения исследуемого сплава, в различных отраслях промышленности.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ 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); 12см. – Название с титул. экрана.
2. Александров А.В. Разные грани титана и его сплавов (продолжение) / А.В. Александров, Б.А. Прудковский // Титан. – 2004.– №1.– С.74-79.
3. Ночовная Н.А. Титановые сплавы серии «LOW-COST» и возможности их применения / 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.
4. Быков И.О. Исследование влияния режима спекания на свойства порошкового материала 2М2А / И.О. Быков, А.В. Овчинников // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сборник трудов. Вып. 48, ч. 3, – Дн – вск: ПГАСА, 2009. – 260с.
5. Пат. 46526 Україна, МПК51 С22В34/12. Спосіб отримання губчатого 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.
6. Влияние легирования кислородом титана губчатого на структуру и механические свойства литого титана / А.В. Овчинников, С.И. Давыдов, В.Г. Шевченко, Л.Я. Шварцман // Международная конференция Ti-2007 в СНГ: Сборник трудов.– К.: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины.– С. 170-173.
7. Давыдов С.И. Исследование влияния способа введения кислорода на структуру и свойства литого титана / С.И. Давыдов, В.Г. Шевченко, А.В. Овчинников // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов, вып. 48, ч. 3. – Днепропетровск, ПГАСА, 2009. – С.125-132.
8. Ивасишин О.М. Аprobация порошков гидрированного титана производства КП «ЗТМК» в технологических процессах порошковой металлургии / О.М. Ивасишин, Д.Г. Саввакин, М.В. Магвийчук [и др.] // Международная конференция Ti-2007 в СНГ: Сборник трудов.– К.: РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, 2007. – С.73-77.