

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра физики твердого тела

УДК 539.21

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Структура и свойства многокомпонентных сплавов на основе титана,
синтезированных импульсным плазменным воздействием**

студента 1 курса магистратуры

Специальности «Физика»

Есипенко Дениса Викторовича

Научный руководитель

Профессор, доктор физ.-мат. наук

Углов Владимир Васильевич

«ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ»

«__» _____ 2022 г.

Зав. кафедрой физики твердого тела

доктор физико-математических наук, профессор В.В. Углов

МИНСК 2022

Оглавление

Реферат	3
Рэферат	4
Abstract.....	5
Введение	6
Глава 1 Модифицирование титановых сплавов с помощью легирования (аналитический обзор)	7
1.1 Титан и его сплавы.....	7
1.2 Высокоэнтропийные сплавы	12
1.3 Условия образования высокоэнтропийных сплавов	12
1.4 ВЭС на основе гранецентрированных кристаллических решеток	20
1.5 Способы получения высокоэнтропийных сплавов	20
1.6 Применение титановых сплавов легированных цирконием и ниобием	21
Глава 2 Объект и методы исследования	22
2.1 Объект исследования	22
2.2 Формирование образцов системы Ti-Zr-Nb.....	22
2.3 Методы исследования	23
2.3.1 Рентгеноструктурный анализ	23
2.4.2 Рентгеноспектральный микроанализ	25
2.4.3 Растровая электронная микроскопия	25
2.4.3 Измерение микротвёрдости	26
Глава 3 Структурно-фазовое состояние сплава Ti-Zr-Nb, сформированного воздействием компрессионных плазменных потоков.....	28
3.1 Моделирование теплового воздействия компрессионных плазменных потоков на систему Ti-Zr-Nb	28
3.2. Элементный состав и морфология поверхности	30
3.2.1 Фазовый состав.....	38
3.3 Элементный состав отожжённых образцов	41
3.4 Фазовый состав отожжённых образцов	46
3.5 Твёрдость образцов	52
Заключение	54
Список используемых источников.....	56

Реферат

Магистерская диссертация 58 с., 37 рис., 4 табл., 33 источников.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ ТИТАНА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСНЫМИ ПЛАЗМЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Цель работы – Изучить влияние плазменного воздействия на формирование покрытия из легирующих элементов, таких как цирконий и ниобий, на подложке титана. Провести исследование фазового состава сплава на основе титана с легирующими элементами. Провести исследование физико-механических свойств данного сплава. Установить закономерности изменения фазового состава и физико-механических свойств сплава после изотермического отжига. Методы исследования – рентгеноструктурный анализ, теоретические расчеты параметров решетки, измерение твердости методом Виккерса. В ходе проведенного эксперимента были установлены особенности структурных превращений в сплаве Ti-Zr-Nb при изотермическом отжиге при температуре 600°C в течении 8 часов, выявлено влияние легирующих элементов на изменение фазового состава. Изменения, произошедшие в фазовом составе не легированного титана, показывают образование фазы оксида титана TiO_2 модификации рутил. После нанесения легирующих элементов на титан и обработкой КПП, поверхностный слой был хорошо перемешен. Так как энергия обработки КПП варьировалась от 30-45 Дж/см² это способствует образованию поверхностей с различной концентраций легирующих элементов. В фазовом составе образцов после воздействия КПП образуются фазы α -Ti и β -Ti. Фаза β -Ti образуется в образцах с энергией обработки 35-30 Дж/см². Так как обработка происходила в атмосфере азота происходит образование нитридной фазы TiN у всех образцов. Со временем отжига происходит образование фазы Nb и распад фазы нитрида титана TiN. Распад фазы TiN зависит от концентрации легирующих элементов, чем их концентрация меньше, тем быстрее распадается фаза. На всем протяжении отжига не происходит формирования оксидных фаз титана. Твердость образцов сплава Ti-Zr-Nb увеличивается со временем отжига. За исключением образца, обработанного КПП с энергией 45 Дж/см², у данного образца твердость увеличивается после первого часа отжига, а после падает на протяжении всего времени отжига. Было установлено что для повышения стойкости к окислению рекомендовано осуществить его легирование атомами из группы β -стабилизаторов, такими как цирконий и ниобий.

Рэферат

Магістарская дысертацыя 58 с., 37 мал., 4 табл., 33 крыніц.

СТРУКТУРА І ЎЛАСЦІВАСЦІ ШМАТКАМПАНЕНТНЫХ СЛАВАЎ ТЫТАНА, СІНТЭЗАВАННЫХ ІМПУЛЬСНЫМІ ПЛАЗМЕННЫМ УЗДЗЕЯМ

Мэта працы - Вывучыць уплыў плазменнага ўздзеяння на фарміраванне пакрыцця з легуючых элементаў, такіх як цырконій і ніёбія, на падкладцы тытана. Правесці даследаванне фазавага складу сплаву на аснове тытана з легіруючымі элементамі. Правесці даследаванне фізіка-механічных уласцівасцей дадзенага сплаву. Устаноўці заканамернасці змены фазавага складу і фізіка-механічных уласцівасцяў сплаву пасля ізатэрмічнага адпалу. Метады даследавання - рэнтгенаструктурны аналіз, тэрэтычныя разлікі параметраў рашоткі, вымярэнне цвёрдасці метадам Віккера. У ходзе праведзенага эксперыменту былі ўстаноўлены асаблівасці структурных ператварэнняў у сплаве Ti-Zr-Nb пры ізатэрмічным адпале пры тэмпературы 600°C на працягу 8 гадзін, выяўлены ўплыў легіруючых элементаў на змяненне фазавага складу. Змены, якія адбыліся ў фазавым складзе не легіраваных тытана, паказваюць адукацыю фазы аксиду тытана TiO₂ мадыфікацыі руціл. Пасля нанясення якія легуюць элементаў на тытан і апрацоўкай КПП, павярхоўны пласт быў добра перамешаны. Бо энергія апрацоўкі КПП вар'іравалася ад 30-45 Дж/см² гэта спрыяе адукацыі паверхняў з рознай канцэнтрацыяй легавальных элементаў. У фазавым складзе узораў пасля ўздзеяння КПП утвараюцца фазы α-Ti і β-Ti. Фаза β-Ti утвараецца ва ўзорах з энергіяй апрацоўкі 35-30 Дж/см². Бо апрацоўка адбывалася ў атмасферы азоту адбываецца адукацыя нітрыднай фазы TiN ва ўсіх узораў. З часам адпалу адбываецца адукацыя фазы Nb і распад фазы нітрыду тытана TiN. Распад фаза TiN залежыць ад канцэнтрацыі якія легуюць элементаў, чым іх канцэнтрацыя менш, тым хутчэй распадаецца фаза. На ўсім працягу адпалу не адбываецца фармаванні аксідных фаз тытана. Цвёрдасць узораў сплава Ti-Zr-Nb павялічваецца з часам адпалу. За выключэннем узору, апрацаванага КПП з энергіяй 45 Дж/см², у дадзенага ўзору цвёрдасць павялічваецца пасля першай гадзіны адпалу, а пасля падае на працягу ўсяго часу адпалу. Было ўстаноўлена, што для павышэння ўстойлівасці да акіслення рэкамендавана ажыццявіць яго легаванне атамамі з групы β-стабілізатараў, такімі як цырконій і ніёбія.

Abstract

Master's thesis 58 pages, 37 figures, 4 tables, 33 sources.

STRUCTURE AND PROPERTIES OF MULTICOMPONENT TITANIUM ALLOYS SYNTHESIS BY PULSED PLASMA EXPOSURE

The purpose of the work is to study the effect of plasma exposure on the formation of a coating of alloying elements, such as zirconium and niobium, on a titanium substrate. Conduct a study of the phase composition of an alloy based on titanium with alloying elements. Conduct a study of the physical and mechanical properties of this alloy. Establish patterns of changes in the phase composition and physical and mechanical properties of the alloy after isothermal annealing. Research methods - X-ray diffraction analysis, theoretical calculations of lattice parameters, hardness measurement by the Vickers method. In the course of the experiment, the features of structural transformations in the Ti-Zr-Nb alloy during isothermal annealing at a temperature of 600 °C for 8 hours were established, and the influence of alloying elements on the change in the phase composition was revealed. Changes in the phase composition of unalloyed titanium show the formation of the titanium oxide TiO_2 phase of the rutile modification. After deposition of alloying elements on titanium and CPF processing, the surface layer was well mixed. Since the CPF processing energy varied from 30-45 J/cm², this contributes to the formation of surfaces with different concentrations of alloying elements. The α -Ti and β -Ti phases are formed in the phase composition of the samples after exposure to CPF. The β -Ti phase is formed in samples with treatment energies of 35–30 J/cm². Since the treatment took place in a nitrogen atmosphere, the formation of the TiN nitride phase occurs in all samples. With the annealing time, the formation of the Nb phase and the decomposition of the titanium nitride TiN phase occur. The decomposition of the TiN phase depends on the concentration of alloying elements, the lower their concentration, the faster the phase decomposes. Throughout the annealing, the formation of titanium oxide phases does not occur. The hardness of the Ti-Zr-Nb alloy samples increases with the annealing time. With the exception of the sample treated with CPF with an energy of 45 J/cm², the hardness of this sample increases after the first hour of annealing, and then decreases throughout the entire annealing time. It was found that in order to increase the resistance to oxidation, it is recommended to dope it with atoms from the group of β -stabilizers, such as zirconium and niobium.