

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра физики твердого тела**

УДК 538.91

**ФЛЁРКО**  
Владимир Сергеевич

**Термическая стабильность фазового  
состояния сплава TiNbC обработанного  
высокоэнергетическими компрессионными  
плазменными потоками**

Дипломная работа

Научный руководитель  
Доцент кафедры физики  
твердого тела, к.ф.-м.н.  
Шиманский Виталий Игоревич

Рецензент  
Доцент кафедры ядерной  
физики, к.т.н.  
Шляхтин Владимир  
Васильевич

«ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ»

«    » \_\_\_\_\_ 2021г.

Зав. кафедрой физики твердого тела

Д. ф.-м. н., профессор В.В. Углов

---

МИНСК 2021

## Содержание

Реферат .....	3
Рэферат .....	4
Abstract.....	5
Введение .....	6
Глава 1 Теоретические основы окисления металлов .....	7
1.1 Механизмы окисления металлов .....	7
1.2 Кинетика окисления титана в кислороде .....	10
1.3 Окисление титана на воздухе .....	11
1.4 Диаграмма состояния системы Ti-O .....	11
1.5 Анализ современных методов снижения оксидообразования в титановых сплавах .....	12
1.6 Компрессионные плазменные потоки .....	17
Глава 2 Объект и методы исследования .....	19
2.1 Объект исследования .....	19
2.2 Методы исследования .....	20
2.2.1 Рентгеноструктурный анализ .....	20
Глава 3 Структура и фазовый состав титана и сплава Ti-Nb после высокотемпературного окисления .....	23
3.1 Структурно-фазовый состав немодифицированного титана .....	23
3.2 Структурно-фазовый состав сплава Ti-Nb, сформированного воздействием компрессионными плазменными потоками .....	27
3.3 Прирост массы.....	34
Заключение .....	36
Список использованных источников .....	37

## Реферат

Дипломная работа 37 с., 19 рис., 2 табл., 11 источников.

Титан; ниобий; плазменное легирование поверхности; окисление.

Цель работы – выявление особенностей структурно-фазовых изменений в титане обусловленных легированием ниобия при воздействии компрессионных плазменных потоков влияющих на процесс окисления.

Методы исследования – рентгеноструктурный анализ, теоретические расчеты параметров решетки, измерение массы образцов.

В ходе проведенного эксперимента были установлены особенности структурных превращений в сплавах при изотермическом отжиге при температуре 600С в течение 10 часов, выявлено влияние легирующих элементов на изменение фазового состава. Изменения, произошедшие в фазовом составе исходного титана, показывают образование фазы оксида титана  $TiO_2$  модификации рутил. Со временем отжига происходит увеличение данной фазы. Выявлено, что особенностью воздействия КПП является насыщение поверхностного слоя атомами плазмообразующего вещества, в данном случае — азотом, с последующим формированием нитрида титана  $TiN$ . При добавлении в поверхностный слой Nbниобия, происходит образование  $\beta$ -фазы и образование оксидной фазы титана  $TiO_2$  модификации рутил. В сплавах  $\beta$ -фаза не распадается на всем протяжении времени отжига образцов. Так же повышается доля оксидной фазы со временем отжига. Было установлено что для повышения стабильности фазового состава титана рекомендовано осуществить его легирование атомами из группы  $\beta$ -стабилизаторов, обеспечив тем самым постоянство фазового состава. Ниобий положительно влияет на стойкость к окислению.

## Рэферат

Дыпломная праца 37 с., 19 мал., 2 табл., 11 крыніц.

Тытан; ніёбій; плазменная легіраванне паверхні; акісленне.

Мэта работы – выяўленне асаблівасцяў структурна-фазавых змяненняў у тытане, абумоўленых легіраваннем ніёбіем пры ўздзеянні кампрэсійнымі плазменымі патокамі, якія ўплываюць на працэс акіслення.

Метады даследавання - рэнтгенаструктурны аналіз, тэарэтычныя разлікі параметраў рашоткі, вымярэнне масы узораў.

У ходзе праведзенага эксперыменту былі ўстаноўлены асаблівасці структурных пераўтварэнняў у сплавах пры ізатэрмічным адпале пры тэмпературы 600°C на працягу 10 гадзін, выяўлен ўплыў ніёбія на змяненне фазовага складу. Змены, якія адбыліся ў фазавым складзе зыходнага тытана, паказваюць фарміраванне фазы аксід тытана  $TiO_2$  мадыфікацыі рутыл. З часам адпалу адбываецца павелічэнне дадзенай фазы. Выяўлена, што асаблівасцю ўздзеяння КПП з'яўляецца насычэнне паверхневага слою атамамі плазмавытворнага газу (азоту), з наступным фарміраваннем нітрыду тытана  $TiN$ . Пры даданні ў паверхневы слой ніёбія адбываецца фарміраванне  $\beta$ -фазы і аксіднай фазы тытана  $TiO_2$  мадыфікацыі рутыл. У сплавах  $\beta$ -фаза не распадаецца на ўсім працягу часу адпалу узораў. Гэта кжа павышаецца доля аксіднай фазы з часам адпалу. Было ўстаноўлена, што для павышэння стабільнасці фазовага складу тытана рэкамендавана ажыццявіць яго легіраванне атамамі з групы  $\beta$ -стабілізатараў, забяспечыўшы тым самым сталасць фазовага складу. Ніёбій станоўча ўплывае на ўстойлівасць да акіслення.

## Abstract

Thesis 37 p., 19fig., 2 tab., 11 sources.

Titanium; niobium; plasma surface alloying; oxidation

The aim of the work is to identify the features of structural and phase changes in titanium due to the doping of niobium under the influence of compression plasma flows affecting the oxidation process.

Research methods – X-ray diffraction analysis, theoretical calculations of lattice parameters, measurement of sample mass.

In the course of the experiment, the features of structural transformations in alloys during isothermal annealing at a temperature of 600C for 10 hours were established, and the influence of alloying elements on the change in the phase composition was revealed. The changes that occurred in the phase composition of the initial titanium show the formation of the titanium oxide phase  $TiO_2$  of the rutile modification. With the time of annealing is an increase in this phase. It is revealed that the peculiarity of the CPF effect is the saturation of the surface layer with atoms of the plasma-forming substance, in this case — nitrogen, followed by the formation of titanium nitride tin. When niobium is added to the surface layer of Nb, the formation of the  $\beta$ -phase and the formation of the titanium oxide phase  $TiO_2$  of the rutile modification occurs. In alloys, the  $\beta$ -phase does not decay throughout the annealing time of the samples. The proportion of the oxide phase also increases with the annealing time. It was found that in order to increase the stability of the phase composition of titanium, it was recommended to dope it with atoms from the group of  $\beta$ -stabilizers, thereby ensuring the constancy of the phase composition. Niobiumhas a positive effecton oxidation resistance.