

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра физики твердого тела и нанотехнологий

ЛИПСКАЯ

Карина Николаевна

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ТИТАНОВЫХ СПЛАВАХ
Ti-Cr И Ti-Cr-Cu ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОТЖИГЕ**

Дипломная работа

Научный руководитель:
кандидат физ.-мат. наук,
доцент, Шиманский В.И.

«Допустить к защите»

« ____ » _____ 20 ____ г.

Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий,
Доктор физ.-мат. наук, профессор В.В. Углов

Минск, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1 ТИТАН И ЕГО МОДИФИКАЦИЯ	7
1.1 Титан и его сплавы.....	7
1.2 Окисление титана.....	10
1.3 Методы повышения окислительной стойкости	12
1.4 Модификация материалов компрессионными плазменными потоками.....	14
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ	16
2.1 Объект исследования.....	16
2.2 Вакуумно-дуговое осаждение.....	16
2.3 Модификация компрессионными плазменными потоками.....	17
2.4 Рентгеноструктурный анализ.....	18
2.5 Рентгеноспектральный микроанализ	20
2.6 Растровая электронная микроскопия	21
2.7 Измерение микротвердости	21
ГЛАВА 3 ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА СПЛАВЫ Ti-Cr И Ti-Cr-Cu.....	23
3.1 Структурно-фазовое состояние сплавов Ti-Cr и Ti-Cr-Cu после обработки компрессионными плазменными потоками	23
3.2 Структурно-фазовое состояние сплавов Ti-Cr и Ti-Cr-Cu после обработки компрессионными плазменными потоками и отжига.....	28
3.3 Механические свойства сплавов Ti-Cr и Ti-Cr-Cu	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	39
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	40

РЕФЕРАТ

Дипломная работа: 41 с., 24 рис., 2 табл., 24 источника.

Ключевые слова: ТИТАН, ХРОМ, МЕДЬ, КОМПРЕССИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, ТВЁРДЫЙ РАСТВОРЫ, ОТЖИГ.

Объект исследования: титан с нанесёнными покрытиями Cr, Cr-Cu, модифицированный компрессионными плазменными потоками (КПП), после отожжённый при 600°C.

Предмет исследования: структурно-фазовое состояние титана, модифицированного компрессионными плазменными потоками.

Цель исследования: формирование и изучение структурно-фазового состояния сплавов Ti-Cr и Ti-Cr-Cu после отжигов.

Полученные результаты: в результате воздействия компрессионных плазменных потоков $Q=25$ Дж/см² были сформированы сплавы Ti-Cr и Ti-Cr-Cu, которые являются результатом плавления поверхностного слоя титана и соответствующих покрытий, предварительно нанесённых при помощи вакуумно-дугового осаждения.

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, образуются твёрдые растворы α -Ti(Cr) и α -Ti(Cr,Cu). В сплаве Ti-Cr после воздействия КПП стабилизировалась β -фаза титана. Наблюдается образование рутила TiO₂ и нитридной фазы TiN.

По результатам трибологических исследований после окисления поверхности при 600°C коэффициент трения снизился для сплава Ti-Cr с 0,55 до 0,2 и для сплава Ti-Cr-Cu с 0,8 до 0,17.

Воздействие ионно-плазменных потоков и дальнейшие отжиги привели к увеличению микротвёрдости поверхностного слоя до 8 ГПа.

Практическое применение: область радиационного материаловедения, связанная с повышением коррозионной и эрозийной стойкости лопаток турбин из сплавов титана при высоких температурах.

РЭФЕРАТ

Дыпломная праца: __41 с., __24 мал. , _2_ табл., _24_ крыніцы

Ключавыя словы: ТЫТАН, ХРОМ, МЕДЗЬ, КАМПРЭССІЙННЫЯ ПЛАЗМЕННЫЯ ПАТОКІ, ЦВЁРДЫЯ РАСТВОРЫ, АДПАЛ.

Аб'ект даследавання: тытан з нанесенымі пакрыццямі Cr, Cr-Cu, мадыфікаваныя кампрэсійнымі плазменнымі патокамі (КПП), пасля адпаленыя пры 600°C.

Прадмет даследавання: структурна-фазавы стан тытана, мадыфікаванага кампрэсійнымі плазменнымі патокамі.

Цэль даследавання:-фарміраванне і даследаванне структурна-фазавога стану сплаваў Ti-Cr і Ti-Cr-Cu пасля адпалаў.

Атрыманыя вынікі: у выніку ўздзеяння кампрэсійных плазменных патокаў $Q = 25 \text{ Дж/см}^2$ былі сфармаваныя сплавы Ti-Cr і Ti-Cr-Cu, якія з'яўляюцца вынікам плаўлення павярхоўнага пласта тытана і адпаведных пакрыццяў, папярэдне нанесеных пры дапамозе вакуумна-дугавога асаджэння.

Згодна з вынікамі рэнтгенаструктурнага аналізу, утвараюцца цвёрдыя растворы Ti(Cr) і Ti (Cr,Cu). Назіраецца утварэнне аксіднай і нітрыднай фазы TiO_2 і TiN.

Паводле вынікаў рэнтгенаструктурнага аналізу, утвараюцца цвёрдыя растворы $\alpha\text{-Ti(Cr)}$ і $\alpha\text{-Ti (Cr,Cu)}$. У сплаве Ti-Cr пасля ўздзеяння КПП стабілізавалася β -фаза тытана. Назіраецца утварэнне рутила TiO_2 і нітрыднай фазы TiN.

Па выніках трыбалагічных даследаванняў пасля акіслення паверхні пры 600°C каэфіцыент трэння знізіўся для сплаву Ti-Cr з 0,55 да 0,2 і для сплаву Ti-Cr-Cu з 0,8 да 0,17. Ўздзеянне іённа-плазменных патокаў і далейшыя адпалы прывялі да павелічэння мікрацвёрдасці павярхоўнага пласта да 8 ГПа.

Практычнае прымяненне: вобласць радыяцыйнага матэрыялазнаўства, звязаная з павышэннем каразійнай і эразійнай стойкасці лапатак турбіны з сплаваў тытана пры высокіх тэмпературах.

ABSTRACT

Degree paper: __41 p., _24_ ill., _2_ tab., _24_ sources.

Key words: TITANIUM, CHROMIUM, COPPER, COMPRESSION PLASMA FLOWS, SOLID SOLUTIONS, ANNEALING.

Object of research is titanium coated with Cr, Cr-Cu, modified by compression plasma flows (CPF), and then annealed at 600 °C.

The subject of research is the structural and phase state of titanium modified by compression plasma flow.

The purpose of the work is to form and study the structural and phase state of Ti-Cr and Ti-Cr-Cu alloys after annealing.

Obtained results. The action of compression plasma flows with $Q = 25 \text{ J/cm}^2$ allowed to form Ti-Cr and Ti-Cr-Cu alloys as a result of melting of the surface layer of titanium and the corresponding coatings previously deposited using vacuum-arc method.

According to the results of X-ray diffraction analysis, solid solutions of α -Ti(Cr) and α -Ti(Cr,Cu) are formed. In the Ti-Cr alloy, the β -phase of titanium stabilized after exposure to the CPF. The formation of rutile TiO_2 and the nitride phase TiN is observed.

According to the results of tribological studies after surface oxidation at 600 °C the coefficient of friction decreased for the Ti-Cr alloy from 0.55 to 0.2 and for the Ti-Cr-Cu alloy from 0.8 to 0.17. Exposure to ion plasma fluxes and further annealing led to an increase in the microhardness of the surface layer to 8 GPa.

Practical application is the field of radiation materials science related to increasing the corrosion and erosion resistance of turbine blades made of titanium alloys at high temperatures.