

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физики твёрдого тела и нанотехнологий**

ПЕТУХ
Александра Борисовна

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ZrN И TiN,
ОСАЖДЕННЫХ НА СПЛАВ Ti-6Al-4V**

Дипломная работа

Научный руководитель:
Доцент кафедры физики твёрдого тела и
нанотехнологий, кандидат физико-
математических наук, доцент
Черенда Николай Николаевич

Рецензент:
кандидат физико-математических наук,
доцент
Мечинский Виталий Александрович

Допущен к защите

«__» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой физики твёрдого тела и нанотехнологий
доктор физ.-мат. наук, профессор
Углов Владимир Васильевич

Минск 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	4
РЭФЕРАТ	5
ABSTRACT	6
ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ЦИРКОНИЯ И НИТРИДА ТИТАНА.....	8
1.1 Использование титанового сплава Ti-6Al-4V в медицине	8
1.2 Основные причины создания биосовместимых покрытий.....	9
1.3 Использование нитрида циркония и нитрида титана в медицине	11
1.4 Влияние на организм покрытий на основе нитрида циркония и нитрида титана.....	11
1.5 Механические свойства покрытий на основе нитрида титана и циркония.....	20
1.6 Адгезионная прочность покрытий на основе нитрида титана и циркония и параметры, влияющие на нее	28
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ, РЕЖИМЫ ОБРАБОТКИ	37
2.1 Объект исследования	37
2.2 Рентгеноструктурный анализ.....	38
2.3 Сканирующая электронная микроскопия покрытия	39
2.4 Измерение микротвердости	40
2.5 Измерение адгезионной прочности покрытия	41
2.6. Измерение коэффициента трения.....	42
2.7. Измерение шероховатости и волнистости поверхности.....	42
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	43
3.1 Элементный и фазовый состав	43
3.2 Морфология и элементный состав поверхностного слоя	46
3.3 Шероховатость поверхности.....	51
3.4 Значения микротвердости	52
3.5 Значения коэффициента трения.....	53

3.6 Адгезионная прочность покрытий	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	58

РЕФЕРАТ

Дипломная работа 63 с., 3 ч., 43 рис., 4 табл., 66 источников

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СПЛАВ Ti-6Al-4V, НИТРИД ЦИРКОНИЯ, НИТРИД ТИТАНА, ПОКРЫТИЕ, АДГЕЗИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ, МИКРОТВЕРДОСТЬ, СКАНИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ.

Объектом исследования является титановый сплав Ti-6Al-4V с покрытиями ZrN, ZrN-TiN, (Zr,Nb)N, (Zr,Hf)N, (Zr,Hf)N-TiN, (Zr,Nb)N-TiN.

Цель работы – исследование структуры и механических свойств покрытий на основе нитрида циркония и нитрида титана, нанесенных методом вакуумно-дугового осаждения на титановый сплав Ti-6Al-4V.

Методы исследования: рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия, измерение микротвердости, коэффициента трения, определение параметров шероховатости поверхности, измерение адгезионной прочности.

Установлено, что при использовании одного Zr-содержащего катода наблюдается формирование однофазного покрытия на базе твердого раствора ZrN с кубической кристаллической решеткой. При использовании двух катодов (Zr-содержащий катод и катод титана) происходит формирование двухфазного покрытия, содержащего твердые растворы на основе ZrN и TiN.

Использование катода Zr-Nb приводит к резкому уменьшению параметра решетки твердого раствора (Zr,Nb)N в покрытиях (Zr,Nb)N и (Zr,Nb,Ti)N. Причиной уменьшения параметра решетки является меньший радиус атомов Nb, по сравнению с атомами Zr. Аналогичные эффекты наблюдаются и для твердого раствора на основе TiN.

Максимальное значение шероховатости характерно для покрытия (Zr,Hf)N, что объясняется наличием капельной фазы размером до 15 мкм, в то время как капельная фаза на остальных покрытиях имеет размеры до 8 мкм.

Наибольшие значения адгезионной прочности были получены для покрытий, имеющих в своем составе гафний.

Полученные результаты могут быть использованы в выборе покрытия с высокой адгезионной прочностью для использования в медицинских целях.

РЭФЕРАТ

Дыпломная праца 63 с., 3 г., 43 мал., 4 табл., 66 крыніц

КЛЮЧАВЫЯ СЛОВЫ: СПЛАЎ Ti-6Al-4V , НІТРЫД ЦЫРКОНІЯ, НІТРЫД ТЫТАНА, ПАКРЫЦЦЁ, АДГЕЗІЙНАЯ ТРЫВАЛАСЦЬ, МІКРАЦВЁРДАСЦЬ, СКАНІРУЮЧАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МІКРАСКАПІЯ.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца тытанавы сплаў Ti-6Al-4V з пакрыццямі ZrN , ZrN-TiN , $(\text{Zr,Nb})\text{N}$, $(\text{Zr,Hf})\text{N}$, $(\text{Zr,Hf})\text{N-TiN}$, $(\text{Zr,Nb})\text{N-TiN}$.

Мэта працы - даследаванне структуры і механічных уласцівасцей пакрыццяў на аснове нітрыду цырконія і нітрыду тытана, нанесеных метадам вакуумна-дугавога асаджэння на тытанавы сплаў Ti-6Al-4V .

Метады даследавання: рэнтгенаструктурны аналіз, сканіруючая электронная мікраскапія, вымярэнне мікрацвёрдасці, каэфіцыента трэння, вызначэнне параметраў шурпатасці паверхні, вымярэнне адгезійнай трываласці.

Устаноўлена, што пры выкарыстанні аднаго Zr -змяшчальнага катода назіраецца фарміраванне аднафазнага пакрыцця на базе цвёрдага раствора ZrN з кубічнай крышталічнай рашоткай. Пры выкарыстанні двух катодаў (Zr -змяшчальны катод і катод тытана) адбываецца фарміраванне двухфазнага пакрыцця, якое змяшчае цвёрдыя растворы на аснове ZrN і TiN .

Выкарыстанне катода Zr-Nb прыводзіць да рэзкага памяншэння параметру рашоткі цвёрдага раствора $(\text{Zr,Nb})\text{N}$ у пакрыццях $(\text{Zr,Nb})\text{N}$ і $(\text{Zr,Nb,Ti})\text{N}$. Прычынай памяншэння параметру рашоткі з'яўляецца меншы радыус атамаў Nb , у параўнанні з атамамі Zr . Аналагічныя эфекты назіраюцца і для цвёрдага раствора на аснове TiN .

Максімальнае значэнне шурпатасці характэрна для пакрыцця $(\text{Zr,Hf})\text{N}$, што тлумачыцца наяўнасцю капельнай фазы памерам да 15 мкм, у той час як капельная фаза на астатніх пакрыццях мае памеры да 8 мкм.

Найбольшыя значэнні адгезійнай трываласці былі атрыманы для пакрыццяў, якія маюць у сваім складзе гафній.

Атрыманыя вынікі могуць быць скарыстаны ў выбары пакрыцця з высокай адгезійнай трываласцю для выкарыстання ў медыцынскіх мэтах.

ABSTRACT

Graduate work 63 pp., 3 hours, 43 figures, 4 tables, 66 sources

KEY WORDS: TI-6AL-4V ALLOY, ZIRCONIUM NITRIDE, TITANIUM NITRIDE, COATING, ADHESIVE STRENGTH, MICROHARDNESS, SCANNING ELECTRON MICROSCOPY.

The object of study is titanium alloy Ti-6Al-4V with ZrN, ZrN-TiN, (Zr,Nb)N, (Zr,Hf)N, (Zr,Hf)N-TiN, (Zr,Nb)N-TiN coatings.

The purpose of the work is to study the structure and mechanical properties of coatings based on zirconium nitride and titanium nitride deposited by vacuum-arc deposition on titanium alloy Ti-6Al-4V.

Research methods: X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, measurement of microhardness, coefficient of friction, determination of surface roughness parameters, measurement of adhesive strength.

It has been established that when using one Zr-containing cathode, the formation of a single-phase coating based on a ZrN solid solution with a cubic crystal lattice is observed. When using two cathodes (Zr-containing cathode and titanium cathode), a two-phase coating is formed containing solid solutions based on ZrN and TiN.

The use of a Zr-Nb cathode leads to a sharp decrease in the lattice parameter of the (Zr,Nb)N solid solution in (Zr,Nb)N and (Zr,Nb,Ti)N coatings. The reason for the decrease in the lattice parameter is the smaller radius of Nb atoms compared to Zr atoms. Similar effects are observed for the TiN-based solid solution.

The maximum roughness value is typical for the (Zr,Hf)N coating, which is explained by the presence of a droplet phase with a size of up to 15 μm , while the droplet phase on other coatings has a size of up to 8 μm .

The highest values of adhesive strength were obtained for coatings containing hafnium.

The results obtained can be used in selecting coatings with high adhesive strength for use in medical applications.