

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОТЕХНОЛОГИЙ

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА NiCoFeCrMn,
ПОДВЕРГНУТОГО ВОЗДЕЙСТВИЮ КОМПРЕССИОННОГО
ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА**

Дипломная работа
Студента 6 курса
Берната Кирилла Владимировича

Научный руководитель
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры физики твердого тела и нанотехнологий Черенда Н.Н.

Допущен к защите
«___» _____ 20__ г.
Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий
доктор физ.-мат. наук, профессор
Углов Владимир Васильевич

Минск 2025

РЕФЕРАТ

Дипломная работа 51 страница, 3 части, 31 рисунок, 10 источников.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫЙ СПЛАВ, ЦИРКОНИЙ, КОМПРЕССИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ, МИКРОТВЕРДОСТЬ.

Объектом исследования является высокоэнтропийный сплав NiCoFeCrMn и сплав NiCoFeCrMn с нанесённым покрытием из циркония.

Целью данной работы являлось исследование структурно-фазового состояния сплава NiCoFeCrMn, подвергнутого воздействию компрессионного плазменного потока, и изучение влияния воздействия на прочностные характеристики.

Методы исследования: рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, измерение массы, измерение микротвердости.

Установлено, что воздействие КПП с плотностью поглощенной энергии 13-23 Дж/см² приводит к плавлению поверхностного слоя. Толщина модифицированного слоя с дисперсной структурой составляет ~ 15 мкм. Воздействие КПП также приводит к перемешиванию покрытия Zr с материалом сплава. Толщина легированного цирконием слоя составляет 10-12 мкм.

Показано, что воздействие КПП ведет к эрозии поверхности, обусловленной гидродинамическим течением расплава. Нанесение покрытия циркония на сплав уменьшает интенсивность эрозии с 2,218 мг/см² до 0,081 мг/см².

Воздействие КПП на сплав приводит к формированию оксида марганца MnO. После обработки КПП сплава с покрытием циркония происходит формирование ZrO₂ с моноклинной кристаллической решеткой. Формирование этих фаз обусловлено диффузией кислорода из остаточной атмосферы вакуумной камеры в поверхностный слой и формированием тонкой оксидной пленки на поверхности.

После обработки КПП микротвердость сплава уменьшается от 312 до 220 HV (13 Дж/см²). Легирование цирконием приводит к увеличению микротвердости до 485 HV при плотности поглощенной энергии 13 Дж/см².

Полученные результаты могут быть использованы для повышения прочностных характеристик многокомпонентных и высокоэнтропийных сплавов.

РЭФЕРАТ

Дыпломная работа 51 старонка, 3 часці, 31 малюнак, 10 крыніц.

КЛЮЧАВЫЯ СЛОВА: ВЫСКАЭНТРОПІЙНЫ СПЛАЎ, ЦЫРКОНІЙ, КАМПРЭСІЙНЫЯ ПЛАЗМЕННЫЯ ПАТОКІ, СТРУКТУРНА-ФАЗАВЫ СТАН, МІКРАЦВЕРДАСЦЬ.

Аб'ектам даследавання з'яўляецца высокаэнтрапійны сплаў NiCoFeCrMn і сплаў NiCoFeCrMn з нанесеным пакрыццём з цырконія.

Мэтай дадзенай працы з'яўлялася даследаванне структурна-фазавага стану сплаву NiCoFeCrMn , падвергнутага ўздзеянню кампрэсійнага плазменнага струменя, і вывучэнне ўплыў уздзеяння на трывальныя характарыстыкі.

Метады даследавання: рэнтгенаструктурны аналіз, сканавальная электронная мікраскапія, рэнтгенаспектральны мікрааналіз, вымярэнне масы, вымярэнне мікрацвёрдасці.

Устаноўлена, што ўздзеянне КПП са шчыльнасцю паглынутаай энергіі 13-23 Дж/см² прыводзіць да плаўлення павярхоўнага пласта. Таўшчыня мадыфікаванага пласта з дысперснай структурай складае ~15 мкм. Уздзеянне КПП таксама прыводзіць да мяшання пакрыцця Zr з матэрыялам сплава. Таўшчыня легіраванага цырконіем пласта складае 10-12 мкм.

Паказана, што ўздзеянне КПП вядзе да эрозіі паверхні, абумоўленай гідрадынамічным цягам расплаву. Нанясенне пакрыцця цырконія на сплаў памяншае інтэнсіўнасць эрозіі з 2,218 мг/см² да 0,081 мг/см².

Уздзеянне КПП на сплаў прыводзіць да фармавання аксіднага марганцу MnO . Пасля апрацоўкі КПП сплава з пакрыццём цырконія адбываецца фармаванне ZrO_2 з манакліннай крышталічнай рашоткай. Фарміраванне гэтых фаз абумоўлена дыфузіяй кіслароду з рэшткавай атмасферы вакуумнай камеры ў павярхоўны пласт і фармаваннем тонкай аксіднай плёнкі на паверхні.

Пасля апрацоўкі КПП мікрацвёрдасць сплаву памяншаецца ад 312 да 220 HV (13 Дж/см²), Легіраванне цырконіем прыводзіць да павелічэння мікрацвёрдасці да 485 HV пры шчыльнасці паглынутаай энергіі 13 Дж/см².

Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для павышэння трывальных характарыстык шматкампанентных і высокаэнтрапійных сплаваў.

ABSTRACT

Diploma thesis 51 pages, 3 parts, 31 figures, 10 sources.

KEYWORDS: HIGH-ENTROPY ALLOY, ZIRCONIUM, COMPRESSION PLASMA FLOWS, STRUCTURAL-PHASE STATE, MICROHARDNESS.

The object of the study is high-entropy NiCoFeCrMn alloy and NiCoFeCrMn alloy with a zirconium coating.

The purpose of this work was to study the structural-phase state of the NiCoFeCrMn alloy exposed to a compression plasma flow, and to study the effect of exposure on strength characteristics.

Research methods: X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, X-ray spectral microanalysis, mass measurement, microhardness measurement.

It was found that the effect of CPF with the absorbed energy density of 13-23 J/cm² leads to melting of the surface layer. The thickness of the modified layer with a dispersed structure is ~ 15 μm. The effect of CPF also leads to mixing of the Zr coating with the alloy material. The thickness of the zirconium-alloyed layer is 10-12 μm

It was shown that the effect of CPF leads to surface erosion caused by the hydrodynamic flow of the melt. Application of a zirconium coating to the alloy reduces the erosion intensity from 2.218 mg/cm² to 0.081 mg/cm².

The effect of CPF on the alloy leads to the formation of manganese oxide MnO. After CPF treatment of the alloy with a zirconium coating, ZrO₂ with a monoclinic crystal lattice is formed. The formation of these phases is due to the diffusion of oxygen from the residual atmosphere of the vacuum chamber into the surface layer and the formation of a thin oxide film on the surface. After processing the CPF, the microhardness of the alloy decreases from 312 to 220 HV (13 J/cm²). Alloying with zirconium leads to an increase in microhardness to 485 HV with an absorbed energy density of 13 J/cm². The obtained results can be used to improve the strength characteristics of multicomponent and high-entropy alloys.