

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра физики твёрдого тела и нанотехнологий**

**БОНДАРЧУК**  
Дарья Викторовна

**Окислительная стабильность твердого сплава T15K6, легированного  
ниобием при высокоэнергетическом плазменном воздействии**

Дипломная работа

Научный руководитель:  
Доцент кафедры физики твердого тела  
и нанотехнологий, канд.физ.-мат.наук  
Крутилина Евгения Александровна

Допущена к защите

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой физики твердого тела и нанотехнологий  
кандидат физико-математических наук, доцент В.И. Шиманский

Минск, 2026

## РЕФЕРАТ

Дипломная работа 49 с. , 30 рис., 35 источников.

Ключевые слова: ТВЕРДЫЙ СПЛАВ, КОМПРЕССИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, ПОВЕРХНОСТНОЕ ЛЕГИРОВАНИЕ, СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ, МИКРОТВЕРДОСТЬ, ОКИСЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ

Объект исследования – поверхностные слои твердого сплава Т15К6, сформированные воздействием компрессионных плазменных потоков (КПП).

Предмет исследования – структурно-фазовое состояние, микротвердость и окислительная стабильность поверхностного слоя образцов твердого сплава после воздействия компрессионных плазменных потоков.

Цель работы – изучение особенностей изменения микроструктуры, фазового и элементного составов, а также окислительной стабильности поверхностных слоев твердого сплава Т15К6 в результате их легирования ниобием (Nb) путем высокоэнергетического воздействия потоками плазмы.

Методы исследования – рентгеноструктурный анализ, растровая электронная микроскопия, рентгеноспектральный микроанализ, взвешивание.

Воздействие компрессионных плазменных потоков на поверхность образцов твердого сплава, покрытых ниобием (Nb), приводит к плавлению покрытия и поверхностного слоя твердого сплава с их перемешиванием, в результате чего формируется поверхностный слой с однородным распределением элементов по поверхности, фазовый состав которого соответствует твердому раствору (Ti,W)C. При этом сформированный поверхностный слой характеризуется повышенной окислительной стабильностью.

## ABSTRACT

Thesis 49 pages, 30 figures, 35 references.

Keywords: SOLID ALLOY, COMPRESSION PLASMA FLOWS, SURFACE ALLOYING, STRUCTURAL-PHASE STATE, MICROHARDNESS, OXIDATIVE STABILITY

The object of research is the surface layers of T15K6 cemented carbide formed by the influence of compression plasma flows (CPP).

The subject of research is the structural-phase state, microhardness and oxidative stability of the surface layer of hard alloy samples after exposure to compression plasma flows.

The purpose of the work is to study the features of changes in the microstructure, phase and element compositions, as well as the oxidative stability of the surface layers of the hard alloy T15K6 as a result of their doping with niobium (Nb) by high-energy exposure to plasma flows.

Research methods - X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, X-ray spectral microanalysis, weighing.

Action of compression plasma flows on surface of samples of hard alloy coated with niobium (Nb) leads to melting of coating and surface layer of hard alloy with their mixing, as a result of which surface layer is formed with uniform distribution of elements on surface, phase composition of which corresponds to solid solution (Ti, W) C,. The formed surface layer is characterised by high oxidative stability.

## РЭФЕРАТ

Дыпломная работа 49 с. , 30 мал., 35 крыніц.

Ключавыя словы: ТВЕРДЫ СПАЎ, КАМПРЭСІЙНЫЯ ПЛАЗМЕННЫЯ ПАТОЧКІ, ПАВЕРХНЕВАЕ ЛЕГІРАВАННЕ, СТРУКТУРНА-ФАЗАВЫ СТАН, МІКРАЦВЕРДАСЦЬ, АКІСЛЯЛЬНАЯ СТАБІЛЬНАСЦЬ

Аб'ект даследавання - павярхоўныя пласты цвёрдага сплаву Т15К6, сфармаваныя ўздзеяннем кампрэсійныя плазменных патокаў (КПП).

Прадмет даследавання - структурна-фазавы стан, мікрацвёрдасць і акісляльная стабільнасць павярхоўнага пласта узораў цвёрдага сплаву пасля ўздзеяння кампрэсійныя плазменных патокаў.

Мэта працы - вывучэнне асаблівасцяў змены мікраструктуры, фазавага і элементнага складаў, а таксама акісляльнай стабільнасці паверхневых пластоў цвёрдага сплаву Т15К6 у выніку іх легіравання ніёбіем (Nb) шляхам высокаэнергетычнага ўздзеяння патокамі плазмы.

Метады даследавання - рэнтгенаструктурны аналіз, растравая электронная мікраскапія, рэнтгенаспектральны мікрааналіз, узважванне.

Уздзеянне кампрэсійныя плазменных струменяў на паверхню узораў цвёрдага сплава, пакрытых ніёбіем (Nb), прыводзіць да плаўлення пакрыцця і павярхоўнага пласта цвёрдага сплава з іх мяшаннем, у выніку чаго фармуецца павярхоўны пласта з аднастайным размеркаваннем элементаў па паверхні, Т фазавы склад якога адпавядае цвёрдаму раствору. Пры гэтым сфарміраваны павярхоўны пласт характарызуецца падвышанай акісляльнай стабільнасцю.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ.....                                                                                                                          | 6  |
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                    | 7  |
| ГЛАВА 1 ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ.....                                                                                                                      | 9  |
| 1.1 Классификация твердых сплавов и способ их изготовления .....                                                                                 | 9  |
| 1.2 Свойства и области применения сплавов группы ТК .....                                                                                        | 13 |
| 1.3 Взаимодействие компрессионных плазменных потоков с поверхностью .....                                                                        | 14 |
| 1.4 Влияние легирования ниобием на физико-механические свойства твердых сплавов .....                                                            | 15 |
| ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....                                                                                                        | 24 |
| 2.1 Объект исследования.....                                                                                                                     | 24 |
| 2.2 Исследование фазового состава поверхностных слоев твердого сплава (рентгеноструктурный анализ).....                                          | 25 |
| 2.3 Исследование структуры поверхности (Растровая электронная микроскопия).....                                                                  | 26 |
| 2.4 Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА).....                                                                                                 | 28 |
| 2.5. Измерение микротвёрдости .....                                                                                                              | 29 |
| 2.6 Анализ окислительной стабильности твердых сплавов .....                                                                                      | 29 |
| Глава 3 Влияние высокотемпературного отжига на сплав Т15К6, легированный ниобием в результате воздействия компрессионных плазменных потоков..... | 31 |
| 3.1 Структурно-фазовое состояние твердого сплава Т15К6, легированного ниобием при воздействии компрессионных плазменных потоков.....             | 31 |
| 3.2 Структурное состояние сплавов Т15К6 после высокотемпературного отжига.....                                                                   | 36 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                                 | 46 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                                                                                                            | 47 |