

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

**БАРАНСКИЙ**  
Ольгерд Маркович

**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА, МЕХАНИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА КАРБИДНЫХ ПОКРЫТИЙ Nb, Mo,  
ОСАЖДЁННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ НА  
ТВЁРДЫЙ СПЛАВ.**

Дипломная работа

Научный руководитель  
Заведующий кафедрой  
Доктор физ.-мат. наук  
профессор Углов Владимир Васильевич

Научный консультант  
Заведующий НИЛ  
Кандидат физ.-мат. наук  
Кулешов Андрей Константинович

Допущена к защите

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Зав. кафедрой физики твёрдого тела

доктор физико-математических наук, профессор В.В. Углов

---

Минск, 2020

## **СОДЕРЖАНИЕ**

СОДЕРЖАНИЕ	2
РЕФЕРАТ	3
РЭФЕРАТ	4
ABSTRACT	5
ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ	8
1.1 Методы осаждения износостойких покрытий. Физическая сущность метода КИБ	8
1.2 Результаты исследований покрытий на основе Ti с другими металлами и различными основаниями	13
1.3 Исследования покрытий из карбидов ниобия и молибдена	15
1.4 Постановка задачи исследования	17
Глава 2. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ПОКРЫТИЯ ИЗ КАРБИДОВ Nb И Mo, ОСАЖДЁННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ НА ТВЁРДЫЙ СПЛАВ	19
2.1 Объекты исследования	19
2.2 Методы исследования	21
2.2.1 Микротвёрдость	21
2.2.2 Рентгеноструктурный анализ	22
Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ	27
3.1 ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ ИЗ КАРБИДОВ Nb И Mo, ОСАЖДЁННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ НА ТВЁРДЫЙ СПЛАВ. ОПИСАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	27
3.2 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ ИЗ КАРБИДОВ Nb И Mo, ОСАЖДЁННЫХ ВАКУУМНО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ НА ТВЁРДЫЙ СПЛАВ	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	42
ЛИТЕРАТУРА	43

## Реферат

Дипломная работа 45 с., 19 рисунков, 2 таблиц, 16 источников.

Целью дипломной работы было исследование фазового состава, структуры, механических свойств карбидных покрытий Nb и Mo, осаждённых вакуумно-дуговым методом на твёрдый сплав с применением предварительной длительной интенсивной ионной бомбардировки катодно-дуговыми источниками Nb, Mo.

В результате выполненной работы установлено, что при применении ионного воздействия в течении 1-2 минут вакуумно-дуговых источников Nb, Mo формируются карбидные слои содержащие карбидные фазы на основе Nb, Mo, W и Co.

Твердость этих слоев на твердом сплаве достигает 30 ГПа (Mo) и 40 ГПа (Nb). Формирование этих слоев происходит под воздействием, как потока ионов металлов, так и увеличением температуры поверхности образцов до 1200-1300<sup>0</sup> С. Последующее плазменное осаждение с использованием метана как реактивного газа, формирует покрытия из NbC, MoC толщиной несколько микрон. Твердость сформированной слоистой системы карбидных слоев достигает 55-65 ГПа, объемный износ созданных покрытий уменьшается в 5-10 раз по сравнению с износом исходного твердого сплава.

## Рэферат

Дыпломная праца 45 с., 19 малюнкаў, 2 табліц, 16 крыніц.

Мэтай дыплама працы было даследаванне фазавага складу, структуры, механічных уласцівасцяў карбідных пакрыццяў Nb і Mo, абложаных вакуумна-дугавым метадам на цвёрды сплаў з прымяненнем папярэдняй працяглай інтэнсіўнай іённай бамбардзіроўкі катодна-дугавая крыніцамі Nb, Mo.

У выніку выкананай працы ўстаноўлена, што пры ўжыванні іённага ўздзеяння ў плыні 1-2 хвілін вакуумна-дугавых крыніц Nb, Mo фармуюцца карбідных пласты змяшчаюць карбідных фазы на аснове Nb, Mo, W і Co.

Цвёрдасць гэтых слаёў на цвёрдым сплаве дасягае 30 гПа (Mo) і 40 гПа (Nb). Фарміраванне гэтых слаёў адбываецца пад уздзеяннем, як патоку іёнаў металаў, так і павелічэннем тэмпературы паверхні узораў да 1200-13000 С. Наступнае плазменнае асаджэнне з выкарыстаннем метану як рэактыўнага газу, фармуе пакрыцця з NbC, MoC таўшчынёй некалькі мікрон. Цвёрдасць сфарміраванай слаістай сістэмы карбідных слаёў дасягае 55-65 гПа, аб'ёмны знос створаных пакрыццяў памяншаецца ў 5-10 разоў у параўнанні з зносам зыходнага цвёрдага сплаву.

## Abstract

Thesis 45 pages, 19 figures, 2 tables, 16 sources.

The aim of the diploma work was to study the phase composition, structure, and mechanical properties of Nb and Mo carbide coatings deposited on a hard alloy by the vacuum-arc method using preliminary long-term intensive ion bombardment by cathode-arc sources of Nb, Mo.

As a result of the work performed, it was found that when ion exposure is applied for 1-2 minutes to the vacuum-arc sources of Nb, Mo, carbide layers containing carbide phases based on Nb, Mo, W and Co. are formed

The hardness of these layers on the hard alloy reaches 30 GPa (Mo) and 40 GPa (Nb). The formation of these layers occurs under the influence of both a stream of metal ions and an increase in the surface temperature of the samples to 1200–13000 ° C. Subsequent plasma deposition using methane as a reactive gas forms NbC and MoC coatings several microns thick. The hardness of the formed layered system of carbide layers reaches 55-65 GPa, the volumetric wear of the created coatings is reduced by 5-10 times in comparison with the wear of the initial hard alloy.