



AMANZHOLOV  
UNIVERSITY



**Б.К. Рахадиллов, А.Д. Погребняк**

# НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Монография

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ С. АМАНЖОЛОВА

**Б.К. Рахадилев, А.Д. Погребняк**

**НАНОКОМПОЗИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ  
ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ  
ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

*Монография*

Усть-Каменогорск, 2022

УДК 621.793.14 (035.3)  
ББК 30.3  
Р 27

Рекомендовано к изданию Ученым советом Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова  
(Протокол №13 от 30.06. 2022 г.)

**Рецензенты:**

**Курбанбеков Ш.Р.**, PhD, ассоциированный профессор Международного казахско-турецкого университета имени Ходжа Ахмеда Ясави;  
**Жеєгис Л.И.**, д.ф.м.-н., профессор кафедры физики и технологий ВКУ имени С. Аманжолова

**Рахадиллов Б.К.**

**Р 27 Нанокompозитные покрытия для экстремальных трибологических применений:** монография / Б.К. Рахадиллов, А.Д. Потребняк. – Усть-Каменогорск: издательство «Берел» ВКУ имени С. Аманжолова, 2022. – 112 с.

ISBN 978-601-314-671-3

В монографии представлены результаты экспериментальных исследований особенностей формирования нанокompозитных покрытий многослойной архитектурой. Также были представлены результаты исследования трибологических и механических характеристик нанокompозитных покрытий с многослойной архитектурой, полученных методом вакуумно-дугового осаждения. Показаны возможности применения наноструктурных материалов и покрытий в технике.

Монография рассчитана на инженерно-технических работников машиностроительных предприятий и институтов, которые специализируются в области углубленной обработки изделий.

УДК 621.793.14 (035.3)  
ББК 30.3

© ВКУ имени С. Аманжолова,  
© Рахадиллов Б.К., Потребняк А.Д., 2022

ISBN 978-601-314-671-3

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b>	5
<b>Глава 1. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОРГАНИЗАЦИИ</b>	6
1.1. Терминология уровней наноразмерной организации и их определения	6
1.2. Пути и механизмы формирования наноструктурных объектов	8
1.3. Классификация наноматериалов и особенности нанокристаллического структурного состояния	10
1.4. Структура и функциональные особенности межкуристаллитной границы в наноматериалах	11
1.5. Классификация нанобъектов с учетом их размерности Литература к главе 1.	13 16
<b>Глава 2. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	17
2.1. Классические методы структурного и химического анализа нанобъектов	17
2.2. Позитронная аннигиляционная спектроскопия	25
2.2.1. Позитронная микроскопия	31
2.3. Механические испытания твердых тел на нанотвердость	34
2.4. Триботехнические испытания нанокристаллических материалов	40
2.5. Термоаналитические методы Литература к главе 2.	41 44
<b>Глава 3. ОБЛАСТЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ</b>	46
3.1. Применение наноматериалов в машиностроении, двигателестроении и автомобильной промышленности	49
3.2. Использование наноматериалов в электронике, оптоэлектронике и приборостроении, информатике	51
3.3. Использование наноматериалов в энергетике	52
3.4. Применение наноматериалов в сельском хозяйстве	57
3.5. Применение наноматериалов в медицине и здравоохранении	58
3.6. Использование наноматериалов в военной промышленности	60
3.7. Применение в создании антифрикционных материалов Литература к главе 3.	61 62
<b>Глава 4. ОБЗОР И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПО ПОЛУЧЕНИЮ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО НАПЫЛЕНИЯ</b>	64
4.1. Структура и свойства многослойных покрытий TiAlSiYN/MoN	64
4.2. Структура и свойства многослойных покрытий ZrN/CrN	74
4.3. Структурно-фазовое состояние и элементный состав покрытий на основе (TiAlSiY)N, (TiAlSiY)N/CrN	77
4.4. Исследование влияния ионной имплантации на структуру и субструктуру нанокompозитных покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN	83

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Характерной особенностью развития стран с высоким уровнем промышленного производства является переход к инновационной экономике, внедрение перспективных разработок, принципиально новых высоких технологий во всех сферах деятельности. Одним из приоритетов развития науки и технического прогресса в мире является нанотехнологии. Это обусловлено тем, что, имея структуру с высокой удельной плотностью межкристаллитных границ, наноматериалы проявляют уникальные свойства. На основе использования наноматериалов и нанотехнологий достигнуты впечатляющие результаты в биологии, медицине, оптике, микроэлектронике и др.

Сейчас происходит накопление и теоретическое осмысление экспериментальных результатов и поиск новых подходов к созданию конструктивных наноматериалов. В основу этих подходов ставится задача создания массивных объектов. Из чего следует, что такие материалы должны быть построены по типу поликристаллических, многофазных или композиционных систем с сохранением в наноструктурному состоянию образующих морфологических элементов. Последние, в отличие от морфологических микроэлементов, имеют, прежде всего, особую структуру.

В связи с этим, в ведущих промышленно развитых странах мира приоритетными направлениями развития фундаментальных и прикладных исследований предусмотрена разработка материаловедческих основ наноконструкционных материалов и технологий. Благодаря их уникальным функциональным свойствам во всем мире проводятся интенсивные исследования в области нанотехнологии, физики и химии фуллеренов, атомных кластеров, нанотрубок, квазикристаллов, высокоэнтропийных сплавов и др.

Настоящие исследования финансировались Комитетом Науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08857579).

4.5 Анализ исследования элементного распределения и химического состава многослойных покрытий N/CrN (TiAlSiY)	90
4.6 Исследование влияния параметров осаждения и толщины мульти-слоя на трибологические свойства нанокomпозитных покрытий	96
4.7 Исследование физико-механических свойств нанокomпозитных покрытий, синтезированных вакуумно-дутовым осаждением	101
4.8 Исследование износостойкости нанокomпозитных покрытий в различных условиях трения	104
4.9 Анализ фазового состава и износостойкости нанокomпозитных покрытий при высоких температурах	105
Литература к главе 4.	107

**Б.К. Рахадиллов, А.Д. Погребняк**

**Нанокompозитные покрытия  
для экстремальных трибологических применений**

*Монография*

*Ответственный за выпуск Исламова С.А.*

*Отпечатано методом прямого копирования с оригинала автора  
За содержание Издательство ответственности не несет*

---

Подписано в печать 28.10.2022 г.      Формат 60x84/16  
Объем 6,57 усл.-печ.л.                      8,46 уч.-изд.л.  
Тираж 500 экз.                                      Заказ 882

---

**Издательство «Берел»** Восточно-Казахстанского университета имени С. Аманжолова  
070020, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 42