

А. А. Верещака, С. Н. Григорьев,
В. П. Табаков

МНОГОСЛОЙНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА



А. А. Верещака, С. Н. Григорьев, В. П. Табаков

**МНОГОСЛОЙНЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ
ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ
ДЛЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2025

УДК 621.0
ББК 34.4
ВЗ1

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения» *М. Ю. Куликов*;
д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Функциональные наносистемы и высокотемпературные материалы» Московского национального исследовательского технологического университета «МИСИС» *И. В. Блинков*

Верещака, А. А.

ВЗ1 Многослойные наноструктурированные износостойкие покрытия для металлорежущего инструмента: монография / А. А. Верещака, С. Н. Григорьев, В. П. Табаков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 344 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-2104-1

Представлены результаты исследования свойств многослойных наноструктурированных износостойких покрытий для твердосплавного режущего инструмента. Рассмотрены процессы формирования структуры функциональных слоев покрытия, закономерности взаимосвязи структуры функциональных слоев с эксплуатационными свойствами покрытий и износостойкостью твердосплавных режущих инструментов при точении заготовок из материалов различных групп обрабатываемости. Предложен способ выбора программируемых рациональных параметров структуры покрытий различного состава для твердосплавного режущего инструмента. Представлена феноменологическая математическая модель синтеза покрытий и формирования их кластерной структуры с учетом стохастических условий протекания процесса, а также – феноменологическая модель усталостного разрушения покрытий при резании в условиях стохастического нагружения.

Для инженерно-технических работников, аспирантов, занимающихся вопросами разработки, исследования и практического применения методов нанесения износостойких покрытий.

Результаты исследований, вошедшие в монографию, выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30058).

УДК 621.0
ББК 34.4

ISBN 978-5-9729-2104-1

© Верещака А. А., Григорьев С. Н., Табаков В. П., 2025
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

Содержание

Содержание.....	3
Введение	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ	7
1.1. Применение режущих инструментов с износостойкими покрытиями на операциях механической обработки	7
1.1.1. Основные методы получения покрытий для режущих инструментов	7
1.1.2. Процессы химического осаждения покрытий – ХОП (CVD).....	10
1.1.3. Процессы физического осаждения покрытий – ФОП (PVD)	16
1.1.4. Эффективность режущих инструментов с износостойкими покрытиями на операциях механической обработки	26
1.1.5. Влияние условий процесса резания на изнашивание режущих инструментов с покрытием.....	31
1.2. Ключевые направления повышения эксплуатационных свойств износостойких покрытий	37
1.2.1. Основные пути совершенствования оборудования для нанесения покрытия	37
1.2.2. Основные пути совершенствования архитектур и составов покрытий для режущего инструмента.....	46
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ	65
2.1. Факторы, влияющие на прочность многослойных наноструктурированных износостойких покрытий и характер их разрушения.....	65
2.2. Теоретические предпосылки построения механико-математических моделей процессов осаждения, трещинообразования и разрушения функциональных слоев многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	69
2.2.1. Особенности трещинообразования в структуре многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	69
2.2.2. Факторы сдерживания развития трещин в структуре многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	73
2.3. Модели процессов трещинообразования и разрушения функциональных слоев многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	80
2.3.1. Модель синтеза многослойных наноструктурированных износостойких покрытий.....	80
2.3.2. Модель деградации физико-механических свойств многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	92
2.3.3. Модель накопления повреждений в многослойных наноструктурированных износостойких покрытиях при взаимодействии с обрабатываемым материалом.....	99
2.3.4. Модели процессов эволюции структуры повреждений	108
2.3.5. Модель формирования заданных микроскопических свойств многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	116
2.3.6. Влияние нанослойной и нанозернистой структуры на свойства материала многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	122
2.4. Выбор рационального элементного состава многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	125
2.4.1. Требования к кристаллохимическим свойствам многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	125

2.4.2. Оценка элементного состава слоев многослойных наноструктурированных износостойких покрытий на основе метода термодинамического потенциала (энергии Гиббса)	128
2.4.3. Оценка элементного состава слоев многослойных наноструктурированных износостойких покрытий на основе правил Юм-Розери (Hume-Rothery) и построенных на их базе методик	132
2.4.4. Пути повышения температурной стабильности и стойкости к высокотемпературному окислению функциональных слоев многослойных наноструктурированных износостойких покрытий	137
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ	143
3.1. Параметры и условия осаждения многослойных покрытий	143
3.2. Исследование микроструктуры многослойных покрытий	150
3.3. Исследование наноструктуры многослойных покрытий	162
3.4. Исследование элементного и фазового состава многослойных покрытий	177
3.5. Исследование влияния параметров наноструктуры и элементного состава покрытия на микротвердость, прочность адгезии и стойкость к разрушению	185
ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТА С РАЗРАБОТАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	222
4.1. Инструментальные и обрабатываемые материалы, условия проведения экспериментальных исследований	222
4.2. Исследование изнашивания твердосплавного режущего инструмента с МНИП	226
4.3. Исследование кинетики изнашивания твердосплавного инструмента с МНИП	240
4.4. Исследование процессов трещинообразования в МНИП	261
ГЛАВА 5. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФУЗИОННЫХ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ С РАЗРАБОТАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	286
5.1. Исследование окислительных процессов	286
5.2. Исследование диффузионных процессов	291
5.3. Исследование структурных и фазовых изменений в наноструктуре МНИП	300
Заключение	314
Список использованной литературы	316