

- Прочность
- Механика разрушения
- Ресурс
- Безопасность технических систем

# НАНОПОРОШКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

---

---

# **НАНОПОРОШКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

Монография

Ответственный редактор  
член-корреспондент РАН Н. А. Махутов

Красноярск  
СФУ  
2013

УДК 621.762:539.2

ББК 34.7

Н254

**Рецензенты:**

*А. И. Лямкин*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры приборостроения и нанoeлектроники ФГАОУ ВПО СФУ;

*А. М. Лепихин*, доктор технических наук, профессор, зам. директора по научной работе, зав. отделом ФГБУН Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» КНЦ СО РАН

Н254

**Нанопорошковые технологии в машиностроении** : монография / В. В. Москвичёв, Г. Г. Крушенко, А. Е. Буров, И. В. Усков, Е. Н. Фёдорова ; отв. ред. Н. А. Махутов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. – 186 с.

ISBN 978-5-7638-2910-5

Монография посвящена разработке технологий применения нанопорошков тугоплавких соединений (нитриды, карбонитриды, оксиды, бориды и др.), обеспечивающих повышение физико-механических свойств конструкционных материалов и эксплуатационных характеристик изделий машиностроения. Описаны технологии наноструктурного армирования конструкционных сплавов, основанные на модифицировании нанопорошками металлических расплавов, методы разработки модифицирующих композиций и их введения в расплавы. Исследованы влияние состава и фазового состояния исходных материалов на формирование макро- и микроструктуры, на уровень механических, технологических и эксплуатационных характеристик сталей, чугунов, алюминиевых сплавов и конструкционной керамики.

Предназначена для специалистов в области конструкционного материаловедения, преподавателей вузов и аспирантов.

**УДК 621.762:539.2**

**ББК 34.7**

Печатается по решению Ученого совета  
Специального конструкторско-технологического  
бюро «Наука» КНЦ СО РАН

ISBN 978-5-7638-2910-5

© Сибирский федеральный  
университет, 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора.....	5
Введение .....	8
<b>Глава 1. Технологический и структурный факторы конструкционной прочности и ресурса машин .....</b>	<b>18</b>
1.1. Базовые характеристики и предельные состояния в системе обеспечения прочности, ресурса и безопасности машин.....	18
1.2. Требования к конструкционным материалам и технологиям....	23
1.3. Структура и свойства конструкционных сплавов .....	26
1.4. Базовые технологии модифицирования структуры сплавов....	32
<b>Глава 2. Технологии получения и области апробации нанопорошков .....</b>	<b>38</b>
2.1. Нанопорошки и нанотехнологии в технике .....	38
2.2. Получение нанопорошков методом плазмохимического синтеза.....	43
2.3. Получение нанопорошков методом электродугового синтеза	45
2.4. Получение наноразмерных порошков оксида алюминия. Детонационный синтез.....	47
2.5. Области апробации технологий применения нанопорошков ...	51
<b>Глава 3. Многоцелевой алюминиевый композит: технологии получения, применения и модельные расчеты .....</b>	<b>53</b>
3.1. Технология получения и применение многоцелевого алюминиевого композита.....	53
3.2. Параметры геометрии и прочности волокон .....	58
3.3. Модели разрушения волокнистых композиционных материалов .....	60
3.4. Оценка прочности многоцелевого алюминиевого композита на основе вероятностных моделей.....	73
3.5. Имитационное моделирование разрушения многоцелевого алюминиевого композита.....	77
<b>Глава 4. Модифицирование нанопорошками алюминиевых сплавов и чугунов .....</b>	<b>83</b>
4.1. Модифицирование алюминия и алюминиевых деформируемых сплавов при литье слитков полунепрерывным способом .....	83
4.1.1. Дефекты слитков и их модифицирование титаном.....	83

4.1.2. Технология модифицирования с использованием нанопорошков.....	88
4.1.3. Влияние вида модификатора на измельчение зерна и механические свойства.....	91
4.1.4. Модифицирование структуры слитков, предназначенных для поковок.....	96
4.1.5. Фильтрация расплава при литье слитков из сплава АМг6.....	98
4.1.6. Модифицирование структуры крупногабаритных слитков.....	101
4.1.7. Влияние агрегатного состояния шихты на структуру при модифицировании нанопорошками.....	106
4.1.8. Влияние алюминиевой основы модифицирующих прутков и нанопорошка на структуру.....	108
4.2. Модифицирование алюминиевых литейных сплавов.....	112
4.3. Модифицирование чугунов при литье фасонных отливок.....	116
<b>Глава 5. Применение нанопорошков для упрочнения поверхности изделий машиностроения.....</b>	<b>121</b>
5.1. Метод поверхностного легирования.....	121
5.2. Метод электроискрового легирования.....	125
5.3. Упрочнение стальных деталей плазменным силицированием.....	127
<b>Глава 6. Получение наноструктурной керамики на основе оксида алюминия.....</b>	<b>131</b>
6.1. Исходные материалы и методы исследования.....	131
6.2. Взрывное компактирование наноразмерных порошков.....	134
6.3. Низкотемпературное спекание.....	141
<b>Глава 7. Перспективные области и технологии применения нанопорошков.....</b>	<b>146</b>
7.1. Технологии повышения качества поверхности отливок.....	146
7.1.1. Применение нанопорошков в противопригарных покрытиях.....	146
7.1.2. Применение нанопорошков в огнеупорных красках.....	153
7.2. Сварка объемных конструкций электродами, содержащими нанопорошки.....	155
7.3. Повышение долговечности высоконагруженных электротехнических контактов.....	156
7.4. Применение нанопорошков в технических резинах.....	160
<b>Заключение.....</b>	<b>163</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>165</b>