

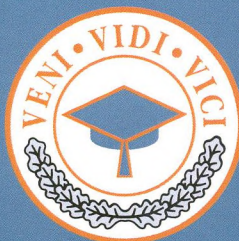
-500428-

МАГИСТРАТУРА

*Г.М. Волков*

# НАНОТЕХНОЛОГИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УЧЕБНИК



Электронно-  
Библиотечная  
Система  
znanium.com



**Г.М. ВОЛКОВ**

# **НАНОТЕХНОЛОГИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**УЧЕБНИК**

*Рекомендовано Межрегиональным учебно-методическим советом профессионального образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по укрупненной группе специальностей и направлений 15.04.00 «Машиностроение» (протокол № 10 от 27.05.2019)*

**znanium.com**

электронно-библиотечная система

Москва  
ИНФРА-М  
2024

УДК 621(075.8)

ББК 34.4я73

В67

Автор:

*Г.М. Волков*, доктор технических наук, профессор Московского политехнического университета

Рецензенты:

*В.С. Панов*, доктор технических наук, профессор Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»;

*М.В. Вартанов*, доктор технических наук, профессор Московского политехнического университета

**Волков Г.М.**

В67 Нанотехнология в машиностроении : учебник / Г.М. Волков. — Москва : ИНФРА-М, 2024. — 307 с. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/textbook\_5cee6a340faa65.16403052.

ISBN 978-5-16-014405-4 (print)

ISBN 978-5-16-106920-2 (online)

В учебнике рассмотрены теоретические основы и технологические приемы реализации уникальных свойств наноразмерного состояния вещества в машиностроении. Представлена классификация производственной продукции нанотехнологии. Приведены примеры реализации уникальных свойств материалов данного класса в машиностроительной продукции с потребительскими свойствами выше мирового уровня. Рассмотрены теоретические основы конструирования и технологии производства метаматериалов, которые являются логическим продолжением и следующим этапом развития традиционного наноматериаловедения.

Соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования последнего поколения.

Для студентов магистратуры вузов машиностроительного профиля. Может быть полезным инженерно-техническим работникам в качестве вводного курса в научно-техническое направление «Нанотехнология» для использования материалов нового поколения в процессе разработки машиностроительной продукции.

The textbook discusses the theoretical foundations and technological methods of implementing the unique properties of the nanoscale state of matter in mechanical engineering. Examples of the implementation of the unique properties of materials of this class in engineering products with consumer properties above world level are given. The theoretical foundations of the design and production technology of metamaterials, which are a logical continuation and the next stage in the development of traditional nanomaterial science, are considered.

Complies with the requirements of the federal state educational standards of higher education of the last generation.

For students of a magistracy of high schools of an engineering profile. It may be useful for engineering and technical workers as an introductory course in the Nanotechnology scientific and technical area for using new generation materials in the development of engineering products.

УДК 621(075.8)

ББК 34.4я73

ISBN 978-5-16-014405-4 (print)

ISBN 978-5-16-106920-2 (online)

© Волков Г.М., 2019

# Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>Foreword.....</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. Нанотехнология.....</b>	<b>8</b>
1.1. Терминология.....	8
1.2. Исторические предпосылки.....	12
1.3. Строение веществ.....	15
1.4. Физико-химические основы нанозффекта.....	23
1.5. Строение и технические свойства углерода.....	26
1.5.1. Химические связи углерода.....	29
1.5.2. Основные аллотропные модификации углерода.....	34
1.6. Производственная продукция нанотехнологии.....	42
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>43</i>
<b>Глава 2. Дискретные молекулы .....</b>	<b>44</b>
2.1. Графен.....	45
2.2. Фуллерены.....	48
2.3. Астралены.....	58
2.4. Нанотрубки.....	61
2.5. Квантовые точки.....	72
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>76</i>
<b>Глава 3. Нанопорошки .....</b>	<b>77</b>
3.1. Получение нанопорошков.....	77
3.2. Визуализация нанопорошков.....	78
3.3. Технический углерод.....	81
3.4. Аэросил.....	85
3.5. Наноалмазы.....	89
3.6. Металлы, их сплавы и химические соединения.....	95
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>99</i>
<b>Глава 4. Нанопокрyтия .....</b>	<b>100</b>
4.1. Эпиламирование.....	100
4.2. Многослойные композиционные нанопокрyтия.....	104
4.3. Алмазоподобные наноструктурированные покрyтия.....	107
4.4. Гидро- и грязезащитные нанопокрyтия.....	112
4.5. Дилатантные нанопокрyтия.....	119
4.6. Оптические нанопокрyтия.....	126
4.7. Цветообразующие нанопокрyтия.....	131
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>135</i>
<b>Глава 5. Критерии оценки объемных материалов .....</b>	<b>137</b>
5.1. Роль объемных материалов в развитии цивилизации.....	137
5.2. Структура.....	140
5.3. Механические свойства.....	146

5.4. Химические свойства.....	157
5.5. Физические свойства.....	159
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>162</i>
<b>Глава 6. Консолидирование наночастиц в объемный материал .....</b>	<b>163</b>
6.1. Технологии консолидирования наночастиц .....	164
6.2. Нанокompозиты.....	171
6.3. Композиты с зернистым наполнителем.....	174
6.4. Композиты с волокнистым наполнителем.....	176
6.5. Армирование .....	181
6.6. Контактное взаимодействие компонентов .....	183
6.7. Матрица нанокompозитов .....	186
6.8. Наполнитель нанокompозитов .....	200
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>205</i>
<b>Глава 7. Объемные материалы, формируемые введением наночастиц извне .....</b>	<b>206</b>
7.1. Объемные наноструктурированные материалы.....	206
7.2. Объемные материалы с нанодобавками.....	210
7.2.1. Наномодифицирование полимеров .....	210
7.2.2. Нанобетон.....	213
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>216</i>
<b>Глава 8. Объемные нанофрагментированные материалы .....</b>	<b>217</b>
8.1. Основы фрагментирования структуры металлов .....	217
8.2. Методы нанофрагментирования структуры металлов.....	226
8.3. Дисперсно-упрочненные композиты.....	230
8.4. Эвтектические сплавы.....	234
8.5. Нанофрагментированные металлы и сплавы .....	236
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>238</i>
<b>Глава 9. Объемный углеродный наноматериал.....</b>	<b>239</b>
9.1. Критический диаметр наночастиц .....	239
9.2. Моностадийная технология производства объемного углеродного наноматериала.....	245
9.3. Машиностроительный потенциал .....	255
9.4. Медико-технический потенциал .....	266
9.5. Технический потенциал моностадийной нанотехнологии .....	269
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>276</i>
<b>Глава 10. Метаматериалы.....</b>	<b>277</b>
10.1. Исторические предпосылки.....	277
10.2. Теоретические основы.....	279
10.3. Технология .....	283
10.4. Классификация.....	287
10.5. Применение.....	288
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>295</i>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>296</b>
<b>Глоссарий.....</b>	<b>298</b>

# Content

<b>Foreword</b> .....	<b>3</b>
<b>Chapter 1. Nanotechnology</b> .....	<b>8</b>
1.1. Terminology .....	8
1.2. Historical background .....	12
1.3. Structure of substances .....	15
1.4. Physico-chemical basis of the nano-effect .....	23
1.5. The structure and technical properties of carbon .....	26
1.5.1. Chemical bonds of carbon .....	29
1.5.2. Basic allotropic modifications of carbon .....	34
1.6. Industrial products of nanotechnology .....	42
<i>Control questions</i> .....	43
<b>Chapter 2. Discrete molecules</b> .....	<b>44</b>
2.1. Graphene .....	45
2.2. Fullerenes .....	48
2.3. Astralens .....	58
2.4. Nanotubes .....	61
2.5. Quantum points .....	72
<i>Control questions</i> .....	76
<b>Chapter 3. Nanopowders</b> .....	<b>77</b>
3.1. Preparation of nanopowders .....	77
3.2. Visualization of nanopowders .....	78
3.3. Carbon black .....	81
3.4. Aerosil .....	85
3.5. Nanodiamonds .....	89
3.6. Metals, their alloys and chemical compounds .....	95
<i>Control questions</i> .....	99
<b>Chapter 4. Nanocoatings</b> .....	<b>100</b>
4.1. Epilamination .....	100
4.2. Multilayer composite nanocoatings .....	104
4.3. Diamond-like nanostructured coatings .....	107
4.4. Hydro-mud protective nanocoatings .....	112
4.5. Dilatant nanocoatings .....	119
4.6. Optical nanocoatings .....	126
4.7. Color-forming nanocoatings .....	131
<i>Control questions</i> .....	135
<b>Chapter 5. Criteria for estimating bulk materials</b> .....	<b>137</b>
5.1. The role of bulk materials in the development of civilization .....	137
5.2. Structure .....	140
5.3. Mechanical properties .....	146

5.4. Chemical properties.....	157
5.5. Physical properties .....	159
<i>Control questions</i> .....	162
<b>Chapter 6. Consolidation of nanoparticles into bulk material .....</b>	<b>163</b>
6.1. Technologies of nanoparticle consolidation .....	164
6.2. Nanocomposites.....	171
6.3. Composites with granular filler .....	174
6.4. Composites with fibrous filler .....	176
6.5. Reinforcement.....	181
6.6. Contact interaction of components .....	183
6.7. Matrix of nanocomposites.....	186
6.8. Filler of nanocomposites.....	200
<i>Control questions</i> .....	205
<b>Chapter 7. Bulk materials formed by the introduction of nanoparticles from outside .....</b>	<b>206</b>
7.1. Bulk nanostructured materials.....	206
7.2. Volumetric materials with nanoadditives.....	210
7.2.1. Nanomodification of polymers .....	210
7.2.2. Nanoconcrete.....	213
<i>Control questions</i> .....	216
<b>Chapter 8. Bulk nanofragmented materials .....</b>	<b>217</b>
8.1. Fundamentals of fragmentation of metals structure.....	217
8.2. Methods of nanofragmenting the structure of metals .....	226
8.3. Disperse-hardened composites.....	230
8.4. Eutectic alloys.....	234
8.5. Nanofragmented metals and alloys.....	236
<i>Control questions</i> .....	238
<b>Chapter 9. Bulk carbon nanomaterial .....</b>	<b>239</b>
9.1. Critical diameter of nanoparticles .....	239
9.2. Monostage technology of bulk carbon nanomaterial.....	245
9.3. Machine-building potential .....	255
9.4. Medico-technical potential .....	266
9.5. Technical potential of monostage nanotechnology.....	269
<i>Control questions</i> .....	276
<b>Chapter 10. Metamaterials.....</b>	<b>277</b>
10.1. Historical background.....	277
10.2. Theoretical basis 279 10.3. Technology .....	283
10.4. Classification .....	287
10.5. Application .....	288
<i>Control questions</i> .....	295
<b>Bibliografic list.....</b>	<b>296</b>
<b>Glossary.....</b>	<b>298</b>

*По вопросам приобретения книг обращайтесь:*  
**Отдел продаж «ИНФРА-М» (оптовая продажа):**

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел. (495) 280-33-86 (доб. 218, 222)

E-mail: bookware@infra-m.ru

•

**Отдел «Книга—почтой»:**

тел. (495) 280-33-86 (доб. 222)

---

ФЗ Издание не подлежит маркировке  
№ 436-ФЗ в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11

*Учебное издание*

**Волков Георгий Михайлович**

# **НАНОТЕХНОЛОГИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

**УЧЕБНИК**

Оригинал-макет подготовлен в НИЦ ИНФРА-М

ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29

E-mail: books@infra-m.ru <http://www.infra-m.ru>

Подписано в печать 18.02.2020.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 19,19.

ИПТЭО. Заказ № 01949

ТК 647235-1088075-310519

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»

127214, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1

Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29