

М. А. Филиппов, А. В. Макаров,
О. Ю. Шешуков

ИЗНОС И ВЫБОР ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ

М. А. Филиппов, А. В. Макаров, О. Ю. Шешуков

ИЗНОС И ВЫБОР ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2025

УДК 621.891
ББК 34.41
Ф53

Рецензенты:

кафедра материаловедения, контроля в машиностроении и методики профессионального образования Российского государственного профессионально-педагогического университета (РГППУ)
(зав. кафедрой проф., д-р техн. наук *Б. Н. Гузанов*);
проф., д-р техн. наук *Б. А. Потехин*
(Уральский государственный лесотехнический университет)

Научный редактор:
проф., д-р техн. наук *В. П. Швейкин*

Филиппов, М. А.

Ф53 Износ и выбор износостойких материалов : учебное пособие / М. А. Филиппов, А. В. Макаров, О. Ю. Шешуков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 316 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-2103-4

Рассмотрены основные виды и механизмы изнашивания. С позиций современных представлений описаны физико-химические свойства поверхностей трения деталей, условия их контактного взаимодействия. Проанализированы виды трения, основные виды повреждений рабочих поверхностей и обусловленные ими механизмы изнашивания. Обоснованы требования, предъявляемые к износостойким материалам, и описаны научные основы выбора износостойких материалов.

Для студентов и аспирантов металлургических и машиностроительных специальностей вузов. Может быть полезно инженерно-техническим работниками предприятий и научно-исследовательских институтов.

УДК 621.891
ББК 34.41

ISBN 978-5-9729-2103-4 © Филиппов М. А., Макаров А. В., Шешуков О. Ю., 2025
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ	10
1.1. Внешнее трение твердых тел	10
1.1.1. Виды трения	11
1.2. Изнашивание металлов при трении	15
1.2.1. Методы измерения износа	17
Глава 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ВИДОВ И МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ	29
2.1. Классификация видов изнашивания	29
2.1.1. Абразивное изнашивание	32
2.1.2. Эрозионное изнашивание	44
2.1.3. Кавитационное изнашивание	47
2.1.4. Усталостное изнашивание	64
2.1.5. Изнашивание при схватывании и заедании	70
2.1.6. Окислительное изнашивание	73
2.1.7. Водородное изнашивание	81
2.1.8. Изнашивание при фреттинг-коррозии	83
Глава 3. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕНИЯ, И МЕХАНИЗМЫ ИЗНАШИВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ	87
3.1. Кинетика процессов изнашивания	87
3.2. Структурные превращения и наноструктурирование металлов при трении	90
3.3. Виды нарушения фрикционных связей поверхностей трения	118
3.4. Механизмы изнашивания и разрушения при трении	120
3.5. Эффект безызносности (избирательный перенос при трении)	125
3.5.1. Сущность эффекта безызносности	125
3.5.2. Реализация эффекта безызносности	134
Глава 4. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ И ТРЕБОВАНИЯ К НИМ	137
4.1. Требования к структуре и свойствам износостойких материалов	137
4.2. Принципы выбора износостойких материалов	144

4.2.1. Стали перлитного класса	148
4.2.1.1. Легированные перлитные стали	151
4.2.1.2. Термическая обработка и структура сталей перлитного класса	155
4.2.1.3. Физико-механические свойства сталей	167
4.2.1.4. Конструктивная прочность сталей	173
4.2.1.5. Технологические свойства сталей перлитного класса	183
4.2.1.6. Износостойкость перлитных сталей	186
4.2.1.7. Применение износостойких сталей перлитного класса	193
4.2.2. Шарикоподшипниковые стали	197
4.2.2.1. Требования и классификация	197
4.2.2.2. Легирование и термическая обработка	199
4.2.3. Высокомарганцевая аустенитная сталь	203
4.2.3.1. Химический состав и служебные свойства высокомарганцевых сталей	203
4.2.3.2. Технологические свойства высокомарганцевых сталей	207
4.2.3.3. Формирование структуры высокомарганцевых аустенитных сталей в процессе кристаллизации	209
4.2.3.4. Термическая обработка отливок из стали 110Г13Л	210
4.2.3.5. Влияние углерода на структуру и свойства высокомарганцевых сталей	218
4.2.3.6. Влияние марганца на структуру и свойства высокомарганцевых сталей	222
4.2.3.7. Влияние отношения Mn : C на структуру и свойства высокомарганцевых сталей	226
4.2.3.8. Влияние кремния на структуру и свойства высокомарганцевых сталей	227
4.2.3.9. Влияние фосфора и серы на структуру и свойства высокомарганцевых сталей	230
4.2.3.10. Дополнительное легирование стали 110Г13Л	231
4.2.3.11. Изменение тонкой структуры высокомарганцевых аустенитных сталей в процессе деформации	240
4.2.3.12. Механические свойства стали 110Г13Л	242
4.2.3.13. Физические свойства стали 110Г13Л	246
4.2.3.14. Повышение износостойкости стали 110Г13Л	247

4.2.4. Метастабильные аустенитные стали	249
4.2.4.1. Роль деформационных мартенситных превращений (ДМП) в формировании механических и служебных свойств сталей с метастабильным аустенитом.....	249
4.2.4.2. Метастабильные аустенитные хромомарганцевые стали для работы в условиях абразивного изнашивания и циклического контактно-ударного нагружения	266
4.2.4.3. Термическая стабильность аустенита и ее влияние на абразивную износостойкость сталей системы Fe – Mn – C	269
4.2.4.4. Изменение тонкой структуры и упрочнение хромомарганцевых МАС при деформации.....	275
4.2.4.5. Влияние углерода и легирующих элементов на стабильность аустенита и механические свойства МАС системы Fe – Cr – Mn – C	280
4.2.4.6. Выбор состава хромомарганцевых МАС для изготовления отливок, работающих в условиях циклического контактно-ударного нагружения и ударно-абразивного изнашивания	287
4.2.5. Белые износостойкие чугуны	288
4.2.5.1. Классификация белых износостойких чугунов по структуре.....	288
4.2.5.2. Формирование структуры металлической основы белых износостойких чугунов.....	293
4.2.5.3. Влияние нормализации и закалки на фазовый состав, структуру и абразивную износостойкость чугунов	300
4.2.5.4. Влияние отпуска на фазовый состав, структуру, твердость и абразивную износостойкость чугунов.....	305
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	311
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	314