

Г.М. Сорокин, В.Н. Малышев

# ОСНОВЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
вузов Российской Федерации  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебного пособия для подготовки бакалавров  
и магистров высших учебных заведений, обучающихся  
по направлению подготовки 150700 «Машиностроение»,  
профилю «Оборудование и технология повышения  
износостойкости и восстановления деталей  
машин и аппаратов»*



Москва • 2014 • Логос

УДК 620.179.112

ББК 34.41

С65

Р е ц е н з е н т ы:

*Д.Е. Бугай*, доктор технических наук, профессор Уфимского государственного  
нефтяного технического университета

Кафедры «Топливообеспечение и газоснабжение» и «Бурение нефтяных  
и газовых скважин» Сибирского федерального университета

## С65 Сорокин Г.М.

Основы механического изнашивания сталей и сплавов:  
учебное пособие / Г.М. Сорокин, В.Н. Малышев. – М.: Логос,  
2014. – 308 с.

ISBN 978-5-98704-661-6

Систематизирована обширная информация о природе и закономерностях механического изнашивания, главным образом при воздействии абразива в условиях трения скольжения, качения, удара, воздушно-абразивного потока, в массе незакрепленного абразива и при контакте металлических поверхностей без абразива и смазки. Основное внимание уделено изучению влияния механических свойств сталей и сплавов при всех видах изнашивания и выявлению критериев оценки износостойкости сталей и сплавов при различных условиях внешнего силового воздействия.

Для бакалавров и магистров высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 150700 «Машиностроение», профилю «Оборудование и технология повышения износостойкости и восстановления деталей машин и аппаратов». Может быть полезна преподавателям, аспирантам, научным работникам, конструкторам, трибологам, металловедам, работающим в области создания износостойких сталей и сплавов.

ISBN 978-5-98704-661-6

УДК 620.179.112

ББК 34.41

© Сорокин Г.М.,  
Малышев В.Н., 2014  
© Логос, 2014

Редактор *Е.В. Комарова*  
Корректурa и верстка *Ю.В. Халфиной*

Формат 60×90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Печ. л. 19,25. Тираж 500 экз.

**Издательская группа «Логос»**  
Тел.: (495) 981-51-12, 955-78-30 [www.logosbook.ru](http://www.logosbook.ru)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
Введение .....	7

<b>Глава 1. Изнашивание сталей и сплавов при взаимодействии с абразивом – как разновидность классического разрушения металлов .....</b>	<b>11</b>
1.1. Общие замечания.....	11
1.2. Трещинообразование.....	13
1.3. Лункообразование.....	15
1.4. Шаржирование поверхности изнашивания .....	18
1.5. Образование «белой фазы».....	19

<b>Глава 2. Виды механического изнашивания оборудования и инструмента .....</b>	<b>22</b>
2.1. Общие замечания.....	22
2.2. Изнашивание в условиях трения скольжения.....	23
2.3. Изнашивание в условиях удара по абразиву.....	25
2.4. Изнашивание в воздушно- или газо-абразивном потоке .....	28
2.5. Изнашивание при движении в массе незакрепленного абразива .....	30
2.6. Роль абразива в природе механического изнашивания.....	31
2.7. Сведения об абразивах .....	35
2.8. Классификация видов изнашивания .....	37

<b>Глава 3. Методы испытаний конструкционных материалов на изнашивание .....</b>	<b>41</b>
3.1. Методы испытаний на абразивное изнашивание .....	41
3.2. Влияние режимов испытания на природу абразивного изнашивания .....	46
3.3. Методы испытаний на изнашивание при ударе.....	48
3.4. Метод испытаний на изнашивание при трении качения по незакрепленному абразиву .....	57

<b>Глава 4. Характеристики механических свойств сталей.....</b>	<b>62</b>
4.1. Механические свойства сталей различных структурных классов.....	62
4.2. Взаимосвязь механических свойств сталей .....	70
4.3. Возможности управления механическими свойствами сталей.....	79
 <b>Глава 5. Экспериментальные исследования абразивного изнашивания сталей различных структурных классов ...</b>	<b>83</b>
5.1. Влияние различных характеристик сталей на их износостойкость .....	83
5.2. Структурная устойчивость сталей и ее роль при абразивном изнашивании .....	93
5.3. Методы поверхностного упрочнения и оценка износостойкости упрочненных поверхностей .....	103
5.4. Влияние содержания углерода в сталях на их износостойкость ...	124
 <b>Глава 6. Изнашивание сталей в воздушно-абразивном и газо-абразивном потоке.....</b>	<b>128</b>
6.1. Особенности изнашивания в воздушно-абразивном потоке .....	128
6.2. Методическая информация.....	130
6.3. Деформация поверхностного слоя при контакте с абразивной частицей .....	135
6.4. Характер изменения объема единичной лунки.....	139
6.5. Изнашивание сталей в потоке абразива .....	143
6.6. О новых критериях оценки износостойкости сталей в потоке абразива .....	150
6.7. Изнашивание сталей при качении по незакрепленному абразиву .....	157
6.8. Особенности изнашивания сталей в гидроабразивном потоке ...	162
 <b>Глава 7. Изнашивание сталей и сплавов при ударе по абразиву</b>	<b>164</b>
7.1. Понятие об ударе .....	164
7.2. Основные закономерности ударно-абразивного изнашивания ...	169
7.3. Влияние механических свойств сталей на их износостойкость при ударе по абразиву и по металлу .....	181
7.4. Ударно-абразивное изнашивание наплавочных сплавов .....	197
7.5. Ударно-абразивное изнашивание твердых спеченных сплавов ..	204
7.6. Ударно-абразивное изнашивание упрочняющих покрытий .....	209
7.7. Влияние содержания углерода в сталях на механизм ударно-абразивного изнашивания.....	211
7.8. Критерии износостойкости сталей при изнашивании в условиях удара .....	215

<b>Глава 8. Комплексные критерии оценки износостойкости сталей и сплавов .....</b>	<b>220</b>
8.1. Исходные предпосылки .....	220
8.2. Роль твердости .....	221
8.3. Прочностная основа критериев механического изнашивания сталей .....	225
8.4. Роль показателей пластичности в оценке износостойкости.....	227
8.5. Практика применения комплексного критерия оценки износостойкости .....	234
<b>Глава 9. Окислительное изнашивание .....</b>	<b>237</b>
9.1. Общая характеристика окислительного изнашивания.....	237
9.2. Механизм формирования окисных пленок .....	240
9.3. Рельеф поверхности при нормальных условиях эксплуатации ..	242
9.4. Этапы окислительного изнашивания.....	251
<b>Глава 10. Общие вопросы трибологии .....</b>	<b>253</b>
10.1. Трение как составная компонента в механизме механического изнашивания.....	253
10.2. Конструкторские аспекты в трибологии .....	255
10.3. Справочные материалы .....	260
<b>Глава 11. Роль металловедения в решении проблем трибологии .....</b>	<b>279</b>
11.1. Тенденции развития металловедения последних лет.....	279
11.2. Перспективы создания высокопрочных сталей .....	284
11.3. Перспективы и возможности повышения долговечности машин различного назначения .....	289
Заключение.....	296
Список литературы.....	298
Об авторах .....	303
Приложение.....	305