

УДК 620.1  
ББК 34.41я73

**Т 67 Триботехническая диагностика : учебник для вузов / А. Ю. Албагачиев, М. Е. Ставровский, М. И. Сидоров [и др.] ; под редакцией М. Е. Ставровского. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 292 с. — Текст : непосредственный.**

**ISBN 978-5-8114-5598-0**

Учебник состоит из двух разделов (6 глав), в которых особое внимание уделено теоретическим основам триботехнической диагностики.

В первом разделе книги (главы 1–3) изложены проблемы теоретического представления процессов трения и изнашивания в приложении к разработке методов диагностики узлов трения. Рассмотрены подходы с различных позиций: координационной химии, электрохимии, структурных методов физикохимии твердого тела, адгезионной, молекулярно-механической и кинетической теорий трения.

Второй раздел книги (главы 4–6) посвящен изучению проблем водородного изнашивания узлов трения. Рассмотрен современный уровень триботехнического и трибохимического экспериментов. Описан прецизионный триботехнический измерительный комплекс, позволяющий измерять параметры трения и изнашивания на базе оптоэлектронных датчиков перемещений. Представлены стенды экстракции и лазерного отбора проб газа, сорбированного в металле. Методы, используемые для научных исследований, при соответствующем их теоретическом представлении в форме различного типа прогностических математических моделей могут быть положены в основу диагностики узлов трения.

Содержание учебника соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования. Книга адресована студентам магистратуры и специалитета, обучающимся по направлению «Машиностроение», а также аспирантам и преподавателям высших технических учебных заведений.

УДК 620.1  
ББК 34.41я73

**Рецензенты:**

**С. В. БОЧКАРЕВ** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского национального исследовательского политехнического университета;

**Л. В. СУДНИК** — доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института импульсных процессов с опытным производством Института порошковой металлургии им. академика О. В. Романа (Республика Беларусь, г. Минск).

**Обложка**  
**П. И. ПОЛЯКОВА**

© Издательство «Лань», 2020  
© Коллектив авторов, 2020  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	6
ВВЕДЕНИЕ .....	15
Раздел 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	19
Глава 1. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ТРИБОЛОГИИ В ПРИЛОЖЕНИИ К ТРИБОТЕХНИКЕ И ТРИБОХИМИИ.....	19
1.1. Причины и закономерности трения и износа.	
Основные положения трибологии.....	19
1.2. Химические аспекты трения и износа. Трибохимические реакции с позиций координационной химии.....	25
1.3. Электрохимические процессы в трибохимии .....	32
1.4. Структурные методы физикохимии твердого тела в триботехнике .....	36
Глава 2. ТЕОРИИ ТРЕНИЯ.....	40
2.1. Анализ теоретических зависимостей трибологии .....	40
2.1.1. Кинетическая характеристика трения.....	41
2.1.2. Статическая характеристика трения .....	45
2.2. Анализ основных положений адгезионной и молекулярно-механической теорий трения .....	50
2.2.1. Адгезионная теория трения.....	50
2.2.2. Молекулярно-механическая теория трения .....	50
2.2.3. Представление фактора времени в молекулярно-механической теории трения.....	57
Глава 3. ТРИБОХИМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТРЕНИЯ.....	71
3.1. Трибохимическая кинетика процессов трения. Топохимическая кинетика адгезионного взаимодействия двух твердых тел в процессе трения скольжения.....	71
3.1.1. Первый кинетический порядок реакции перехода зародышей в активно растущие ядра схватывания .....	73
3.1.2. Второй кинетический порядок реакции перехода зародышей в активно растущие ядра схватывания .....	79
3.1.3. Второй кинетический порядок реакции перехода зародышей в активно растущие ядра схватывания при неравенстве начальных концентраций зародышей на контактирующих поверхностях трения.....	79
3.1.4. Характер топохимических кинетических зависимостей при учете механохимической и тепловой активации.....	80
3.2. Трибохимическая кинетика процессов изнашивания. Формулировка задач при конструировании математических моделей технической диагностики узлов трения.....	86
Раздел 2. ДИАГНОСТИКА ВОДОРОДНОГО ИЗНОСА .....	101
Глава 4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С МЕТАЛЛАМИ И ЕГО СВЯЗЬ С ИЗНОСОМ .....	101
4.1. Термодинамическое обоснование взаимосвязи износа образцов в триботехнических системах с интенсивностью выделения водорода.....	101
4.2. Водородный износ и методы его исследования.....	103

4.2.1. Взаимодействия при фрикционном контакте .....	103
4.2.2. Взаимодействие водорода с металлами.....	108
4.2.3. Водородный износ при фрикционном контакте .....	109
4.2.4. Экспериментальные методы исследования наводороживания .....	115
<b>Глава 5. ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС И МЕТОДЫ ТРИБОХИМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ НА ВОДОРОДНЫЙ ИЗНОС .....</b>	<b>122</b>
5.1. Триботехнический измерительный комплекс и методы исследований и испытаний .....	122
5.1.1. Анализ требований, предъявляемых к методу триботехнических исследований.....	122
5.1.2. Задачи, назначение и состав триботехнического измерительного комплекса .....	124
5.2. Оптоэлектронные датчики перемещений.....	127
5.2.1. Конструктивно-технологические особенности оптоэлектронных транзисторов .....	128
5.2.2. Конструктивные особенности датчиков и их характеристики.....	129
5.2.3. Методика триботехнических испытаний с использованием оптоэлектронного датчика .....	137
5.3. Газоаналитический блок триботехнического комплекса.....	139
5.3.1. Блок-схема отбора проб газа.....	139
5.3.2. Блоки измерения содержания водорода .....	142
5.3.3. Блок термодесорбции диффузионно-подвижного водорода и методики исследования наводороживания .....	158
5.3.4. Метод определения водорода лазерным отбором проб в потоке инертного газа с использованием твердоэлектролитного детектора для исследования триботехнического наводороживания материалов .....	161
<b>Глава 6. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НАВОДОРОЖИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ.....</b>	<b>180</b>
6.1. Исследование триботехнического наводороживания материалов.....	180
6.1.1. Исследование содержания metallургического водорода в стальных образцах .....	180
6.1.2. Исследование перераспределения водорода в процессе технологической обработки материалов .....	183
6.1.3. Определение водорода в газовой фазе машины трения.....	185
6.1.4. Исследование триботехнического наводороживания стальных образцов.....	187
6.2. Исследование локального распределения водорода в стальных образцах при триботехнических испытаниях .....	193
6.2.1. Методика определения локального распределения водорода в сталях.....	193
6.2.2. Исследование локального наводороживания стальных образцов при работе узла трения открытого типа .....	194
6.2.3. Исследование локального наводороживания стальных образцов при работе узла трения закрытого типа .....	199
6.2.4. Исследование процесса наводороживания на «дорожках трения».....	202
6.3. Исследование зависимости между интенсивностью износа и выделением водорода при триботехнических испытаниях .....	203

6.3.1. Влияние технологических параметров на характер зависимости количества выделившегося водорода от интенсивности износа.....	203
6.3.2. Статистическая обработка экспериментальных данных.....	212
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ .....	221
КЛЮЧИ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ .....	278
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	280
Приложение 1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИН ТРЕНИЯ ММТ-1, ММТ-2 .....	280
Приложение 2. МЕТОДИКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИН ТРЕНИЯ ММТ .....	284
Приложение 3. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ .....	286
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	288