

Л.Р. Ботвина

Основы фрактодиагностики

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2022

*Работа подготовлена при финансовой поддержке
Российского научного фонда (проект № 19-19-00674)*

УДК 669.15.620.178.74:669.112.227.1

ББК К206.22

Б86

Рецензент: главный научный сотрудник

Института металлургии и материаловедения РАН,

доктор технических наук, Виктор Михайлович Блинов

Б86 Ботвина Л.Р.

Основы фрактодиагностики

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2022. – 394 с. ISBN 978-5-94836-637-1

Рассмотрены основные виды макро- и микростроения изломов и механизмы разрушения конструкционных материалов при статическом, циклическом и динамическом видах нагружения. Описаны методы фрактодиагностики, позволяющие по параметрам изломов оценивать характеристики разрушения.

Приведены примеры анализа изломов при аварийных разрушениях. Определены некоторые общие закономерности, свойственные различным материалам при разных условиях нагружения.

Для специалистов в области механики и физики разрушения, металлостроения и обработки материалов, студентов и аспирантов, научных и заводских работников, занимающихся экспертизой преждевременного разрушения конструкций.

© Ботвина Л.Р., 2022

© АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление, 2022

Содержание

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Введение. Фрактодиагностика – задачи, методы, объекты исследования..... | 8 |
| Глава 1. Статическое разрушение..... | 13 |
| 1.1. Характеристики механики разрушения, контролирующие процесс формирования рельефа изломов..... | 13 |
| 1.2. Зоны пластической деформации и взаимосвязь размера пластических зон с характеристиками разрушения..... | 16 |
| 1.3. Поврежденность материала в зоне пластической деформации..... | 21 |
| 1.4. Влияние моды нагружения на форму пластической зоны..... | 25 |
| 1.5. Методы оценки размера пластических зон..... | 27 |
| 1.5.1. Метод микротвердости..... | 27 |
| 1.5.2. Рентгеноструктурный метод оценки размера зон..... | 27 |
| 1.5.3. Метод реплик и прямого наблюдения пластических зон..... | 31 |
| 1.5.4. Метод акустической эмиссии..... | 34 |
| 1.5.5. Метод корреляции цифровых изображений..... | 39 |
| 1.6. Стадийность разрушения..... | 44 |
| 1.7. Виды изломов, макро- и микрорельф разрушения, качественные и количественные характеристики..... | 49 |
| 1.7.1. Вязкое разрушение..... | 52 |
| 1.7.2. Вязко-хрупкое разрушение..... | 61 |
| 1.7.3. Хрупкое разрушение..... | 62 |
| 1.7.4. Разрушение в условиях смешанных мод нагружения..... | 68 |
| Литература..... | 71 |
| Глава 2. Динамическое разрушение..... | 76 |
| 2.1. Ударное разрушение..... | 76 |
| 2.1.1. Стадийность разрушения ударных образцов..... | 76 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.1.2. Кинетика пластических зон в интервале вязко-хрупкого перехода..... | 82 |
| 2.1.3. Оценка энергоемкости материалов на различных стадиях развития трещины..... | 83 |
| 2.1.4. Влияние размера образца на микрорельеф изломов..... | 92 |
| 2.1.5. Фрактографический анализ ударного разрушения криогенных сталей..... | 94 |
| 2.2. Фрагментация стальных цилиндров при импульсном нагружении..... | 106 |
| 2.2.1. Зоны разрушения фрагментов, диаграмма динамической фрагментации..... | 106 |
| 2.2.2. Микроструктура и микрорельеф изломов фрагментов..... | 112 |
| 2.2.3. Стадийность фрагментации оболочек..... | 116 |
| 2.2.4. Критерий фрагментации и его взаимосвязь с механическими свойствами и химическим составом материала оболочки..... | 118 |
| Литература..... | 122 |
| Глава 3. Усталостное разрушение..... | 125 |
| 3.1. Зарождение усталостной трещины..... | 125 |
| 3.2. Распространение усталостной трещины..... | 130 |
| 3.2.1. Макрорельеф и стадийность усталостного разрушения..... | 130 |
| 3.2.2. Микрорельеф усталостного разрушения..... | 139 |
| 3.2.2.1. Алюминиевые сплавы..... | 140 |
| 3.2.2.2. Титановые сплавы..... | 146 |
| 3.2.2.3. Стали..... | 161 |
| 3.3. Малые усталостные трещины в алюминиевом сплаве АК4-1Т1..... | 171 |
| 3.4. О зависимости ширины усталостных бороздок от размаха коэффициента интенсивности напряжений..... | 173 |
| 3.5. Диаграммы остаточной прочности..... | 176 |
| 3.6. Фрактальная размерность усталостного разрушения..... | 178 |
| 3.7. Кинетика зон пластической деформации..... | 183 |



| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.7.1. Две пластические зоны при циклическом нагружении..... | 183 |
| 3.7.2. Каскад пластических зон при усталостном разрушении малоуглеродистой стали..... | 190 |
| 3.8. Кинетика трещины при смешанных модах циклического нагружения..... | 199 |
| 3.9. Влияние структуры материала на характеристики и механизмы усталостного разрушения..... | 207 |
| 3.9.1. Три режима усталостного разрушения..... | 207 |
| 3.9.2. Структурные эффекты при усталостном разрушении сплава ВТЗ-1..... | 209 |
| 3.9.3. Связь фазовых превращений в аустенитных сталях с размахом коэффициента интенсивности напряжений..... | 212 |
| 3.9.4. Влияние расслоений на циклическую прочность и механизм разрушения..... | 214 |
| 3.10. Усталостное разрушение при переменной температуре..... | 217 |
| 3.10.1. Термоусталость..... | 218 |
| 3.10.1.1. Разрушение в условиях поверхностного нагрева..... | 218 |
| 3.10.1.2. Разрушение в условиях объемного нагрева: макрорельеф и микрорельеф изломов..... | 227 |
| 3.10.2. Неизотермическая усталость..... | 229 |
| 3.11. О взаимосвязи механизма и вероятности усталостного разрушения..... | 235 |
| Литература..... | 238 |
| Глава 4. Коррозионное разрушение..... | 247 |
| 4.1. Влияние сероводородсодержащей среды на стадийность, механизмы разрушения и механические свойства трубных сталей..... | 247 |
| 4.1.1. Стадийность и механизмы разрушения трубных сталей 30Г2, L80 и стали 20..... | 250 |
| 4.1.2. Изменение зоны пластической деформации в результате наводороживания стали 30Г2..... | 252 |
| 4.1.3. Анализ изломов образцов из стали 30Г2..... | 256 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1.4. Анализ изломов наводороженных образцов из стали 20..... | 261 |
| 4.1.5. Анализ изломов образцов из стали L80..... | 264 |
| 4.1.6. Количественный анализ структуры и параметров изломов стали L80..... | 272 |
| 4.1.7. Оценка зоны пластической деформации после наводороживания стали L80..... | 273 |
| 4.1.8. Стадийность процесса множественного разрушения под воздействием сероводорода в сталях с различной структурой..... | 274 |
| 4.1.9. Локализованное разрушение образцов из стали 30Г2 после выдержки в коррозионной сероводородсодержащей среде..... | 276 |
| 4.2. Влияние сероводородсодержащей среды на механические свойства и механизм разрушения сталей 17Г1С и 09Г2С..... | 281 |
| 4.3. Влияние расслоений на эксплуатационное разрушение трубопроводов..... | 287 |
| Литература..... | 294 |
| Глава 5. Разрушение в условиях трения-износа и контактной усталости..... | 297 |
| 5.1. Механизмы износа углеродистых сталей и влияние износа на механические и акустические свойства при растяжении..... | 297 |
| 5.1.1. Временные изменения потери массы, коэффициента трения, толщины поврежденного слоя и микротвердости..... | 299 |
| 5.1.2. Механизмы трения и износа..... | 302 |
| 5.1.3. Акустическая эмиссия, регистрируемая в процессе фрикционных испытаний..... | 308 |
| 5.1.4. Результаты статических испытаний образцов с регистрацией АЭ после фрикционного воздействия..... | 309 |
| 5.2. Контактная усталость рельсовых перлитных сталей..... | 314 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.1. Исследование поврежденности поверхности и поперечных сечений дорожки трения..... | 317 |
| 5.2.2. Оценка критериев поврежденности и их зависимости от нагрузки и числа циклов..... | 320 |
| 5.2.3. Статистический анализ поврежденности..... | 323 |
| Литература..... | 325 |
| Глава 6. Разрушение горных пород..... | 328 |
| 6.1. Зоны локализации разрушения..... | 328 |
| 6.2. Анализ распределений длин разломов..... | 332 |
| 6.3. Механизмы деформации и разрушения..... | 334 |
| 6.4. Затишье перед критическим событием..... | 340 |
| 6.5. Фрактальная размерность и k -параметр..... | 344 |
| Литература..... | 346 |
| Глава 7. Анализ эксплуатационных разрушений..... | 348 |
| 7.1. Исследование излома пальца растяжки крепления крыши спортивного комплекса в Крылатском..... | 348 |
| 7.2. Фрактографическое исследование механизмов разрушения винтовой пары стабилизатора самолета Як-42..... | 354 |
| 7.3. Гигацикловая усталость зубчатого колеса турбокомпрессора..... | 360 |
| 7.4. Дефекты, вызывающие аварийное разрушение элементов конструкций..... | 377 |
| Литература..... | 389 |
| Заключение..... | 392 |

Производство книг на заказ
Издательство «ТЕХНОСФЕРА»
125319, Москва, а/я 91
тел.: (495) 234-01-10
e-mail: knigi@technosphera.ru

Реклама в книгах:

- модульная
- статьи

Подробная информация о книгах на сайте
<http://www.technosphera.ru>

Ботвина Людмила Рафаиловна **Основы фрактодиагностики**

Компьютерная верстка – ИП Автушенко Р.В.
Дизайн – Н.И. Семячкина
Выпускающий редактор – О.Н. Кулешова
Ответственный за выпуск – С.А. Орлов

Подписано в печать 30.09.2022

Формат 60×90/16

Гарнитура «Ньютон»

Печ. л. 24,5. Тираж 300 экз. Зак. № Т-637

Бумага офсет №1, плотность 65 г/м²

Издательство «ТЕХНОСФЕРА»

Москва, ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного электронного оригинал-макета
в типографии АО «Т 8 Издательские Технологии»
109316, г. Москва, Волгоградский проспект, д. 42