

Содержание

Предисловие редактора перевода.....	14
Предисловие.....	17
Предисловие к изданию на русском языке.....	18
Глава 1. Анализ отказов.....	19
1.1. Введение.....	19
1.2. Примеры исследованных случаев разрушений.....	25
1.2.1. Разрушения из-за неучтенных нагрузок и неудачной конструкции.....	25
1.2.1.1. Разрушения, вызванные ветровыми нагрузками.....	25
1.2.1.2. Аварии самолетов Comet.....	26
1.2.1.3. Авария самолета Boeing 707 компании Dan Air [5].....	29
1.2.1.4. Разрушение крыши Центра «Колизей» в Хартфорде.....	31
1.2.1.5. Обрушение подвесных галерей в отеле Hyatt Regency в Канзас-Сити [8].....	31
1.2.2. Разрушения, связанные с проблемами контроля, технического обслуживания и ремонта.....	33
1.2.2.1. Разрушение моста через реку Майанус.....	33
1.2.2.2. Авария самолета Boeing 737-200 Aloha Airlines [10].....	35
1.2.2.3. Авария самолета McDonnell Douglas DC-10-10 в Чикаго [11].....	38
1.2.2.4. Авария самолета Boeing 747SR компании Japan Airlines, 1985 г. [12].....	40
1.2.3. Другие проблемы.....	42
1.2.3.1. Авария самолета Concorde компании Air France 25 июля 2000 г.....	42
1.2.3.2. Авария самолета Boeing 747 компании Transworld Airlines, рейс 800.....	42
1.3. Заключение.....	43
Литература.....	43
Глава 2. Элементы упругой и пластической деформации.....	45
2.1. Введение.....	45
2.2. Определение условных и истинных напряжений и деформаций: коэффициент Пуассона.....	45
2.3. Число независимых компонентов напряжения и деформации.....	48
2.4. Определяющие соотношения для изотропной, однородной и непрерывной среды.....	48
2.5. Главные напряжения.....	49
2.6. Круги Мора.....	50
2.7. Плосконапряженное и плоскодеформированное состояния.....	51
2.8. Соотношения напряжение — деформация в упругой области.....	52
2.9. Пластическая деформация.....	53
2.10. Критерии текучести при многоосном нагружении.....	59
2.10.1. Критерий энергии формоизменения (сдвига).....	59

2.10.2. Критерий максимального напряжения сдвига.....	61
2.11. Напряженное состояние в пластической зоне вблизи надреза в условиях плоской деформации.....	62
2.12. Заключение.....	67
Литература.....	68
Глава 3. Элементы механики разрушения.....	69
3.1. Введение.....	69
3.2. Анализ критического напряжения при хрупком разрушении (анализ Гриффитса).....	69
3.3. Модификация уравнения Гриффитса, предложенная Орованом и Ирвиным.....	72
3.4. Коэффициенты интенсивности напряжения.....	74
3.5. Три типа нагружения.....	76
3.6. Определение размера пластической зоны.....	77
3.7. Влияние толщины образца на трещиностойкость (вязкость разрушения).....	79
3.8. R-кривая.....	80
3.9. Ограничение для коротких трещин.....	82
3.10. Анализ разрушения стволов артиллерийских орудий.....	82
3.11. Трещиностойкость K_{Ia} , соответствующая остановке трещины в ферритных сталях в условиях плоской деформации.....	83
3.12. Механика упругопластического разрушения.....	84
3.13. Диаграммы трещиностойкости (FAD, failure assessment diagrams).....	87
3.14. Заключение.....	89
Литература.....	89
Глава 4. Сплавы и покрытия.....	91
4.1. Введение.....	91
4.2. Фазовые диаграммы и связанные с ними вопросы.....	91
4.2.1. Стали.....	91
4.2.2. Алюминиевые сплавы.....	99
4.2.3. Титановые сплавы.....	101
4.2.4. Суперсплавы на никелевой основе.....	103
4.3. Покрытия [9].....	108
4.4. Заключение.....	110
Литература.....	110
Глава 5. Методология исследования и составление отчета.....	112
5.1. Введение.....	112
5.2. Инструменты для проведения анализа на месте аварии.....	112
5.3. Подготовка поверхностей разрушения для исследования.....	113
5.4. Визуальное исследование.....	114
5.5. Анализ разрушения детали рулевой колонки.....	115
5.6. Исследование с помощью оптических приборов.....	116
5.7. Анализ разрушения рулевого винта вертолета.....	117
5.8. Просвечивающий электронный микроскоп (ТЕМ).....	118
5.9. Растровый электронный микроскоп (SEM).....	120
5.10. Реплики.....	124

5.11. Спектрографическое исследование и другие виды химического анализа.....	126
5.12. Анализ разрушения цинковой отливки, изготовленной методом литья под давлением.....	127
5.13. Специальные аналитические методы.....	128
5.14. Измерение напряжений рентгеновским методом [4].....	130
5.15. Анализ остаточного напряжения в колесе поезда.....	134
5.16. Технический отчет.....	135
5.17. Ведение записей и свидетельские показания.....	136
5.17.1. Обеспечение сохранности доказательств.....	137
5.17.2. Фотографии и другие документы.....	137
5.17.3. Исследования, проведенные в лаборатории эксперта (или в обслуживающей лаборатории).....	137
5.17.4. Хранение.....	138
5.17.5. Показания, данные под присягой.....	138
5.17.6. Подготовка к судебному разбирательству.....	138
5.17.7. Свидетельские показания в суде, рассматривающем дело по существу.....	140
5.17.8. Перекрестный допрос.....	140
5.17.9. Заключительный этап.....	141
5.18. Заключение.....	141
Литература.....	141
Глава 6. Хрупкое и вязкое разрушения.....	142
6.1. Введение.....	142
6.2. Хрупкое разрушение.....	142
6.3. Некоторые примеры хрупкого разрушения стали.....	145
6.4. Разрушение стали в интервале вязко-хрупкого перехода.....	148
6.4.1. Испытание на ударную вязкость по Шарпи.....	148
6.5. Нормы проектирования корпусов реакторов для ядерных силовых установок.....	156
6.5.1. Предотвращение хрупкого разрушения.....	156
6.6. Анализ фрагментов Королевского почтового судна «Титаник» [6].....	160
6.6.1. Химический состав.....	162
6.6.2. Механические свойства при растяжении.....	162
6.6.3. Микроструктура.....	163
6.6.4. Фрактография.....	165
6.6.5. Коррозия.....	165
6.6.6. Заклепки.....	165
6.7. Вязкое разрушение.....	167
6.8. Вязкое разрушение при растяжении, образование шейки.....	167
6.8.1. Условия возникновения шейки в образце.....	167
6.8.2. Локализация деформации.....	170
6.8.3. Осесимметричное напряжение в шейке.....	170
6.8.4. Образование шейки в тонкой полосе при растяжении.....	171
6.9. Фрактографические особенности вязкого отрыва.....	174
6.10. Разрушение при кручении.....	177
6.11. Разрушение вертолетного болта [12].....	177

6.12. Заключение.....	182
Литература.....	183
Глава 7. Термические и остаточные напряжения.....	184
7.1. Введение.....	184
7.2. Термическое напряжение, деформация и термический удар.....	184
7.2.1. Термические напряжения.....	184
7.2.2. Термомеханические циклические деформации.....	186
7.2.3. Термический удар.....	187
7.3. Остаточные напряжения, вызванные неравномерной пластической деформацией.....	188
7.3.1. Пример механически наведенных остаточных напряжений: упругое последствие, обусловленное изгибом в пластической области [2].....	188
7.3.2. Анализ разрушения клюшки для игры в гольф.....	191
7.4. Остаточные напряжения, вызванные закалкой.....	193
7.4.1. Образование закалочных трещин.....	194
7.5. Термическое улучшение (toughening) с помощью остаточных напряжений.....	195
7.6. Остаточные напряжения, возникающие вследствие цементации, азотирования и индукционной закалки.....	196
7.6.1. Цементация.....	196
7.6.2. Азотирование.....	197
7.6.3. Индукционная закалка.....	197
7.7. Остаточные напряжения, развивающиеся при сварке.....	197
7.8. Измерение остаточных напряжений.....	199
7.9. Заключение.....	200
Литература.....	200
Глава 8. Статистические распределения.....	201
8.1. Введение.....	201
8.2. Функции распределения.....	201
8.3. Нормальное распределение.....	202
8.4. Распределение Вейбулла [1].....	205
8.5. Распределение Гумбеля [2].....	207
8.5.1. Пример.....	209
8.6. Заключение.....	211
Литература.....	211
Глава 9. Разрушение при ползучести.....	212
9.1. Введение.....	212
9.2. Основы.....	212
9.3. Характеристики ползучести.....	213
9.4. Параметры ползучести.....	217
9.5. Механизмы разрушения при ползучести.....	220
9.6. Карты механизмов разрушения.....	222
9.7. Разрушение трубопровода с продольным сварным швом.....	223
9.8. Разрушение трубы теплообменника.....	225
9.9. Изменение формы (овализация) трубы [8].....	227

9.10. Разрушения в котлах, работающих на органическом топливе [2].....	228
9.10.1. Труба парового котла, работающего на жидком топливе.....	228
9.10.2. Экранная труба (waterwall tube).....	229
9.10.3. Труба пароперегревателя.....	229
9.11. Оценка остаточной долговечности.....	230
9.12. Релаксация напряжений.....	232
9.13. Заключение.....	233
Литература.....	233
Глава 10. Усталость.....	235
10.1. Введение.....	235
10.2. Усталость: основы.....	235
10.3. Статистические аспекты усталости.....	237
10.3.1. Статистические распределения.....	237
10.3.2. Применение статистического подхода к усталости.....	238
10.4. Принципы проектирования.....	241
10.5. Механизм усталости.....	249
10.6. Факторы, влияющие на зарождение трещины.....	252
10.7. Фреттинг-усталость [13].....	254
10.8. Дробеструйное упрочнение (shot peening).....	255
10.9. Факторы, влияющие на развитие усталостной трещины.....	256
10.10. Анализ усталостного разрушения.....	261
10.10.1. Макроскопический анализ.....	261
10.10.2. Микроскопический анализ.....	262
10.11. Влияние среды.....	265
10.12. Композиционные материалы.....	266
10.13. Исследование случая разрушения силового гидроэлектрического генератора [21].....	267
10.14. Усталость предохранительного штифта самолета Boeing B747.....	268
10.15. Термомеханическая усталость.....	273
10.16. Кавитация.....	273
10.17. Авиационные газовые турбины.....	273
10.18. Заключение.....	279
10.19. Литература для дополнительного чтения.....	279
Литература.....	279
Глава 11. Дефекты.....	282
11.1. Введение.....	282
11.2. Дефекты сварки.....	282
11.2.1. Основные характеристики.....	282
11.2.2. Влияние скорости охлаждения.....	285
11.2.3. Слоистый разрыв.....	286
11.3. Разрушения, связанные с дефектами сварки.....	286
11.3.1. Разрушение платформы Alexander Kielland 27 марта 1980 г. [2].....	286
11.3.2. Расследование инцидента.....	289
11.3.3. Разрушение растяжки D-6.....	291
11.3.4. Выводы.....	293
11.4. Дефекты литья.....	293

11.5. Угловое растрескивание в процессе непрерывной разливки.....	296
11.6. Дефекты формообразования.....	297
11.7. Дефектыковки.....	298
11.7.1. Авария самолета F-111 [3].....	298
11.7.2. Разрушение компонентов реактивного двигателя.....	300
11.8. Разрушение контрафактной детали [4].....	301
11.9. Использование неподходящих сплавов; ошибки при термообработке и прочие.....	302
11.10. Заключение.....	303
Литература.....	303
Глава 12. Влияние среды.....	304
12.1. Введение.....	304
12.2. Определения.....	304
12.3. Основные механизмы коррозионных процессов.....	306
12.4. Влияние среды на процессы растрескивания.....	310
12.5. Исследование разрушений.....	318
12.5.1. Разрушения пружин.....	318
12.5.2. Разрушение ступеньки лестницы.....	320
12.6. Разрушение нефте- и газопроводов.....	321
12.7. Вставки для остановки трещины (crack arresters) и усиления трубопровода.....	324
12.8. Проблемы покрытий.....	325
12.9. Исследование отдельных случаев разрушения.....	325
12.9.1. Сварочные электроды [10].....	325
12.9.2. Коррозия дымовой трубы [11].....	327
12.9.3. Подкладные кольца.....	327
12.10. Питтинговая коррозия медных домашних труб.....	328
12.11. Проблемы с водородом при повышенных температурах.....	328
12.12. Горячая коррозия (сульфидирование).....	329
12.13. Заключение.....	329
Литература.....	330
Глава 13. Дефектоскопия.....	332
13.1. Введение.....	332
13.2. Визуальное исследование (VE — visual examination).....	332
13.3. Капиллярная дефектоскопия (PT — penetrant testing).....	332
13.3.1. Пример.....	333
13.4. Авария самолета DC-10 в Сиу-Сити (Sioux-City).....	335
13.4.1. Краткое описание обстоятельств катастрофы.....	335
13.4.2. Фактическая информация.....	336
13.4.3. История диска 1-й ступени вентилятора.....	337
13.4.4. Исследования диска вентилятора 1-й ступени двигателя №2.....	340
13.4.5. Процесс производства диска вентилятора и твердая α -фаза.....	343
13.4.6. Зарождение и распространение усталостной трещины.....	344
13.5. Тестирование с помощью магнитных частиц (MT — magnetic particle testing).....	344
13.6. Разрушение коленчатого вала самолета.....	346

13.7. Тестирование вихревым током (ET — eddy current testing)	350
13.8. Случай с самолетами Aloha	353
13.9. Ультразвуковое тестирование (UT — ultrasonic testing)	353
13.9.1. Методика нормального пучка	355
13.9.2. Критические углы	355
13.9.3. Методика углового пучка	357
13.9.4. Скорости волны и акустические свойства	358
13.9.5. Другие аспекты	359
13.10. Случай с самолетом B747	359
13.11. Радиографическое тестирование (RT — radiographic testing)	361
13.11.1. Измерители проникновения излучения (Penetrameters)	362
13.12. Тестирование с помощью акустической эмиссии (AET — Acoustic emission testing)	363
13.13. Стоимость инспекций	364
Заключение	366
Литература	366
Глава 14. Крановые крюки, цилиндрические пружины, роликовые подшипники, втулки и зубчатые передачи	367
14.1. Введение	367
14.2. Теория кривого бруса [1]	367
14.3. Крановые крюки [1]	370
14.3.1. Пример	370
14.4. Цилиндрические пружины [2]	371
14.4.1. Пример	373
14.5. Роликовые подшипники	373
14.5.1. Надежность подшипника и системы подшипников	377
14.5.2. Первый пример	378
14.5.3. Второй пример	379
14.5.4. Разрушения подшипников [4]	379
14.6. Разрушение оси железнодорожного вагона	381
14.7. Разрушения зубчатых передач [5, 6]	382
14.7.1. Проблемы, связанные с материалом зубчатых передач	383
14.7.2. Износ	385
14.7.3. Проблемы проектирования и производства	387
14.8. Примеры трения и износа; разрушение втулки	388
14.9. Заключение	389
Литература	389
Заключение	391
Задачи	392
Дополнительная литература на русском языке	403