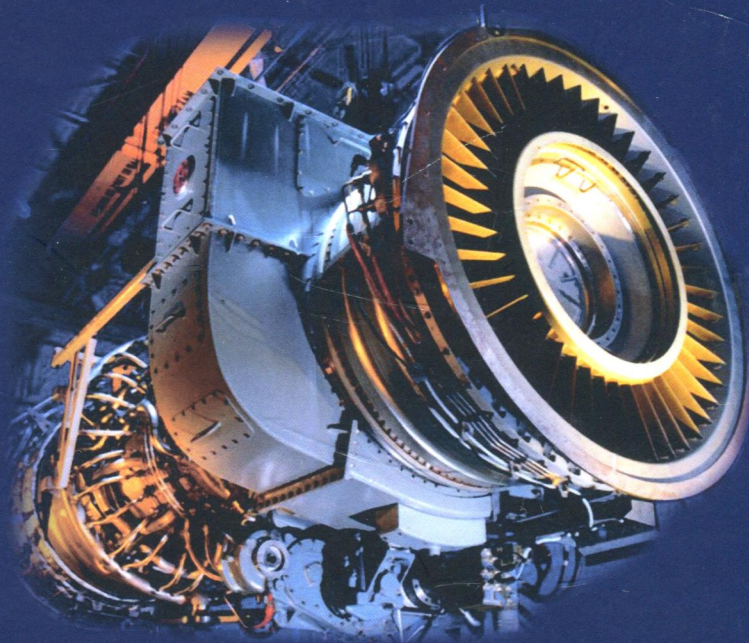


В. Б. ПОРОШИН



**ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ОДНОКРАТНОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ**



«Инфра-Инженерия»

В. Б. Порошин

**ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ОДНОКРАТНОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ
НАГРУЖЕНИИ**

Учебник

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 539.4
ББК 22.251
П59

*Одобрено учебно-методической комиссией
аэрокосмического факультета
Южно-Уральского университета*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры
прикладной механики ЮУрГАУ *В. В. Ерофеев*;
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой
прикладной механики ЮУрГАУ *М. А. Гутров*

Порошин, В. Б.

П59 Прочность элементов конструкций при однократном и циклическом нагружении : учебник / В. Б. Порошин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 360 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0861-5

Рассматриваются деформационные и прочностные свойства сталей и сплавов, а также деталей машин и инженерных сооружений при однократном статическом и повторно-переменном нагружении с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов, в том числе концентрации напряжений. Затрагиваются вопросы оценки прочности элементов конструкций с трещинами.

Для студентов, обучающихся по направлению «Прикладная механика», других механических специальностей, включающих подготовку в области прочности, а также начинающих инженеров-прочнистов, специализирующихся в области обеспечения прочности машин, аппаратов и сооружений.

УДК 539.4
ББК 22.251

ISBN 978-5-9729-0861-5

© Порошин В. Б., 2022
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	8
ВВЕДЕНИЕ	11
Опасные состояния	11
Коэффициент запаса	13
Нормативные коэффициенты запаса и оценка прочности.....	16
Консервативные предельные состояния.....	17
Внешние воздействия	19
Особенности воздействия температурных и других самоуравновешенных напряжений.....	23
Температурные условия и характер разрушения.....	24
Условия работы машин различного назначения и вероятные опасные состояния	25
1. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ ОДНОКРАТНОМ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ.....	30
1.1. Основные механические характеристики конструкционных материалов	30
Об особенностях логарифмической деформации в области больших значений	34
1.2. Построение и аппроксимация диаграммы деформирования.....	37
Аппроксимация кривой деформирования при линейном напряженном состоянии	39
Аппроксимация кривой деформирования при сложном напряженном состоянии	44
1.3. Разрушение конструкционных материалов при произвольном напряженном состоянии	46
Особенности разрушения металлических материалов.....	46
Влияние вида напряженного состояния.....	48
1.4. Критерии разрушения материалов при сложном напряженном состоянии	50
Гипотеза наибольших нормальных напряжений (I теория прочности)	52
Гипотеза наибольших линейных деформаций (II теория прочности)	53
Условия Треска – Сен-Венана и Губера – Мизеса как критерии разрушения	54
Теория предельных напряженных состояний О. Мора	55
Критерий Писаренко – Лебедева	59
Диаграмма механического состояния материала	61
Деформационный критерий разрушения.....	64

Пример определения предельного напряжения при сложном напряженном состоянии с помощью критериев Мора, Писаренко – Лебедева и деформационного критерия Колмогорова	70
1.5. Влияние различных факторов на конструкционную прочность материалов	74
Влияние температуры	74
Влияние скорости деформирования	78
Оценка способности материала к рассеиванию (диссипации) энергии	79
Влияние радиационного облучения и контакта с жидкометаллической средой	80
Влияние термической и механической обработки	83
1.6. Расчеты на прочность при однократном статическом нагружении и основные пути повышения прочности конструкций	86
1.7. Контрольные вопросы и упражнения по теме «Деформационные и прочностные свойства сталей и сплавов при однократном статическом нагружении»	89
2. МЕСТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ НАГРУЖЕНИИ	93
2.1. Распределение напряжений в растянутой пластине вблизи малого отверстия. Коэффициент концентрации напряжений	94
2.2. Концентрация напряжений в выточках. Теория Нейбера о концентрации напряжений	101
Глубокий надрез	103
Мелкий надрез	107
2.3. О предельных значениях теоретического коэффициента концентрации напряжений	109
2.4. Концентрация напряжений и деформаций за пределами упругости	111
2.5. Пример. Определение деформации ε_{\max} в опасной точке ступенчатого стержня с галтельным переходом между участками	118
2.6. Влияния концентрации напряжений на прочность при статическом нагружении	122
Заключение подраздела	126
2.7. Контрольные вопросы и упражнения по теме «Местные напряжения»	126
3. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАГРУЖЕНИИ	129
3.1. Основные понятия и определения	129
3.2. Закономерности упругопластического деформирования при «жестком» нагружении	132

Кривая циклического деформирования	134
Циклическая кривая деформирования	138
Эффект «памяти» материала. Правила запоминания и забывания предыстории.....	142
Связь диаграммы циклического деформирования с циклической кривой	145
3.3. Закономерности упругопластического деформирования при «мягком» нагружении.....	147
3.4. Оценка долговечности конструкционных сталей и сплавов при циклическом упругопластическом деформировании	152
Критерии малоциклового усталости.....	155
Пример 3.1.....	160
Связь кривых малоциклового усталости с циклической кривой.....	161
Приближенное определение предела выносливости σ_1	164
3.5. Влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на сопротивление усталостному разрушению	166
Влияние концентрации напряжений	166
Влияние асимметрии нагружения	171
Пример 3.2.....	178
Кривые усталости при несимметричном нагружении	179
Пример 3.3.....	181
Влияние масштабного фактора (абсолютных размеров изделия).....	183
Влияние состояния поверхности	185
Влияние поверхностного упрочнения.....	186
Влияние коррозионного воздействия среды	187
Влияние температуры	191
Влияние вида напряженного состояния.....	192
Коэффициент запаса усталостной прочности с учетом влияния различных факторов.....	196
Пример 3.4.....	198
Замечание к определению коэффициента запаса прочности n_σ с учетом асимметрии цикла	200
Особенности блочного нагружения	203
Пример 3.5.....	204
3.6. Оценка прочности при малоцикловом нагружении	207
Виды коэффициента запаса	207
Рекомендуемые величины коэффициента запаса усталостной прочности [n_σ]	211
3.7. Контрольные вопросы и задачи по теме «Деформационные и прочностные свойства сталей и сплавов при переменном нагружении»	212

4. ОСНОВЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ	216
4.1. Область применения и задачи, решаемые механикой разрушения.....	216
4.2. Механизмы хрупкого разрушения.....	220
Разрушение сколом	220
Вязкое разрушение.....	221
4.3. Напряженно-деформированное состояние в вершине трещины нормального отрыва.....	221
4.4. Понятие коэффициента интенсивности напряжений	225
4.5. Размер и форма зоны пластической деформации. Поправка Ирвина на пластичность.....	227
4.6. Влияние вида напряженного состояния на несущую способность конструкций.....	232
4.7. Экспериментальное определение вязкости разрушения. Силовой подход к оценке трещиностойкости элементов конструкций.....	234
Оборудование и образцы для определения вязкости разрушения.....	234
Влияние размеров образца и начальной длины трещины.....	237
Эффект туннелирования трещины	242
Ограничения на нелинейность диаграммы «нагрузка ~ раскрытие трещины»	244
Пример 4.1	248
4.8. Применение силового подхода к оценке критического размера трещиноподобного дефекта в элементе трубопровода.....	249
4.9. Элементы нелинейной механики разрушения в силовом подходе. Двухпараметрический критерий Е. М. Морозова.....	252
4.10. Особенности роста трещины при циклическом нагружении	256
Схема роста усталостной трещины	256
Рост усталостной трещины	257
4.11. Рост трещин в условиях коррозии.....	262
4.12. Расчетная оценка трещиностойкости элементов конструкций	263
Критические температуры хрупкости образца и конструкции	263
Расчет критического напряжения.....	267
Запасы прочности при хрупком и квазихрупком разрушении.....	268
4.13. Обеспечение надежности конструкций с трещинами при проектировании, изготовлении и эксплуатации	270
Признаки надежной конструкции	270
Способы обеспечения надежности.....	271
Мероприятия, повышающие трещиностойкость конструкций	275
4.14. Контрольные вопросы по теме «Механика разрушения».....	278
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	287

ПРИЛОЖЕНИЕ. ЗАДАНИЕ, ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ «ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ОДНОКРАТНОМ И ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ»	290
Основные обозначения	292
П.1. ЗАДАНИЕ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	294
П.2. ВЫБОР ИСХОДНЫХ ДАННЫХ	305
П.3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ	307
П.4. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ	311
П.5. АППРОКСИМАЦИЯ КРИВОЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТЕПЕННОЙ ЗАВИСИМОСТЬЮ	316
П.5.1. Аппроксимация диаграммы деформирования при линейном напряженном состоянии	316
П.5.2. Аппроксимация диаграммы деформирования при сложном напряженном состоянии	321
П.6. КРИТЕРИИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНОКРАТНОМ НАГРУЖЕНИИ	324
П.6.1. Критерий разрушения О. Мора	326
П.6.2. Критерий разрушения Писаренко – Лебедева.....	329
П.6.3. Деформационный критерий разрушения	331
П.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ	338
П.7.1. Построение циклической кривой	338
П.7.2. Определение параметров кривой усталости в несимметричном цикле	345
П.7.3. Распространение закономерностей малоциклового усталости на область многоциклового нагружения	348
П.8. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДХОДА НЕЙБЕРА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ В ЗОНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ.....	351
Основные надписи для заглавного и последующих листов текстового документа	356
Образец титульного листа	357