OBSAH

1. ÚVOD . . . 6
1.1 Koncepce mezních stavů konstrukcí . . . 6
1.2 Únava materiálu a historie jejího poznávání . . . 7
1.3 Základní pojmy . . . 9
1.3.1 Kmitavé zatížení . . . 9
1.3.2 Wöhlerova křivka a oblasti únavy materiálu . . . 11
1.4 Únavová schemata a filosofie dimenzování na únavu . . . 12
1.4.1 Členění únavového procesu . . . 12
1.4.2 Faktory ovlivňující únavový proces . . . 15
1.4.3 Filosofie dimenzování na únavu . . . 18
2. ÚNAVOVÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU A STROJNÍCH SOUČÁSTÍ . . . 21
2.1 Mechanické vlastnosti materiálu při cyklickém zatěžování . . . 21
2.2 Stadia únavového procesu . . . 25
2.3 Únavové křivky a jejich parametry . . . 26
2.3.1 Základní únavová křivka napětí (Wöhlerova křivka) . . . 27
2.3.2 Korelace meze únavy se statickou pevností materiálu . . . 29
2.3.3 Základní únavová křivka deformace . . . 31
2.3.4 Další parametry únavových křivek . . . 33
2.3.5 Druhotné únavové křivky napětí . . . 33
2.4 Faktory ovlivňující oblast únavové pevnosti . . . 34
2.4.1 Vliv střední složky napětí . . . 34
2.4.2 Vliv koncentrace napětí . . . 39
2.4.3 Vliv absolutní velikosti tělesa . . . 49
2.4.4 Vliv jakosti povrchu a povrchových úprav . . . 52
2.4.5 Vliv frekvence zatěžování a pracovní teploty . . . 56
2.5. Únavové křivky reálných strojních součástí . . . 59
2.6. Únava při kombinovaném zatěžování . . . 60
2.6.1 Aplikace hypotéz statické pevnosti v únavě . . . 61
2.6.2 Kombinace $\sigma - \tau$ . . . 62
2.7 Nízkocyklová únava . . . 63
2.7.1 Koncentrace napětí a koncentrace deformace . . . 63
2.7.2 Výpočet součinitelů α_σ, α_ε . . . 65
2.7.3 Specifické vlivy v nízkocyklové únavě . . . 66
2.8. Únava svařovaných spojů . . . 68
2.8.1 Výpočet namáhání svarů . . . 68
2.8.2 Únavové vlastnosti svarových spojů . . . 70
● Kontrolní otázky a příklady . . . 75

3. VZNIK A ŠÍŘENÍ ÚNAVOVÝCH TRHLIN, KŘEHKÝ LOM . . . 77
3.1 Rozdělení lomů . . . 77
3.2 Křehký lom . . . 79
3.3 Napětí v okolí trhliny . . . 82
3.4 Přehled modelů trhlin . . . 84
3.4.1 Energetický přístup (Griffithův model) . . . 84
3.4.2 Kritérium lomu . . . 87
3.4.3 Korekce na plastickou zónu (Irwinův model) . . . 88
3.4.4 Oblast platnosti lineární lomové mechaniky LEFM . . . 90
3.4.5 COD - koncepce (Dugdaleho model) . . . 91
3.4.6 Metoda R-křivek . . . 95
3.4.7 Koncepce J-integrálu . . . 96
3.5 Únavové trhliny . . . 98
3.5.1 Šíření trhlin při konstantní amplitudě zatížení . . . 101
3.5.2 Stanovení zbytkové životnosti . . . 103
3.5.3 Vliv některých faktorů na šíření trhlin . . . 103
3.5.4 Šíření trhlin při proměnlivé amplitudě zatížení . . . 105
3.6 Posuzování lomových ploch . . . 107
● Kontrolní otázky a příklady . . . 108

4. ZÁKLADY STATISTICKÝCH METOD V ÚNAVĚ . . . 109
4.1 Matematický přístup k výsledkům únavových zkoušek . . . 109
4.2 Základní pojmy . . . 111
4.3 Užívané zákony rozdělení náhodné veličiny . . . 120
4.3.1 Normální rozdělení . . . 120
4.3.2 Logaritmicko-normální rozdělení . . . 124
4.3.3 Weibullovo rozdělení . . . 125
4.3.4 Další užívaná rozdělení . . . 127
4.4 Určování parametrů normálního rozdělení . . . 129
4.5 Testování hypotéz o parametrech normálního rozdělení . . . 134
4.6 Aplikace statistických metod při únavových zkouškách . . . 136
4.6.1 Plánování únavových zkoušek . . . 136
4.6.2 Konstrukce únavových křivek . . . 138
4.6.3 Vyhodnocování meze únavy . . . 142
4.6.4 Testování výsledků zkoušek . . . 145
● Kontrolní otázky a příklady . . . 147

5. KMITAVÁ PROVOZNÍ ZATÍŽENÍ . . . 148
5.1 Klasifikace kmitavých procesů . . . 148
5.2 Vzorkování záznamu náhodného procesu . . . 150
5.3. Vyhodnocení náhodného procesu metodami korelační analýzy . . . 151
5.4 Vyhodnocení náhodného procesu metodami analýzy lokálních extrémů procesu . . . 157
5.4.1 Dekompozice metodou následných rozkmitů . . . 158
5.4.2 Dekompozice metodou maximálních rozkmitů . . . 168

5.4.3 Dekompozice metodou párových rozkmitů . . . 168
5.4.4 Dekompozice metodou stékání deště . . . 169
5.4.5 Zhodnocení metod . . . 172

5.5 Model provozních podmínek . . . 172
5.6 Spektra zatížení . . . 175
5.7 Simulace zatížení na zkušebních strojích . . . 178

6. METODY STANOVENÍ ŽIVOTNOSTI A DIMENZOVÁNÍ NA ÚNAVU . . . 187
6.1 Navrhování částí na trvalou pevnost . . . 187
6.1.1 Jednoduché namáhání (tah-tlak, ohyb, krut) . . . 187
6.1.2 Kombinované namáhání . . . 189
6.1.3 Volba součinitele bezpečnosti . . . 190
6.2 Navrhování částí na omezený únavový život . . . 191
6.2.1 Poškození a jeho kumulace . . . 194
6.2.2 Metody založené na nominálním napětí . . . 195
6.2.3 Metody založené na nominálním napětí a spektrální výkonové hustotě . . . 205
6.2.4 Metody vycházející z lokální napjatosti ve vrubu . . . 206
6.2.5 Zhodnocení metod výpočtu . . . 210

● Kontrolní otázky a příklady . . . 211

7. ZÁKLADY SPOLEHLIVOSTI MECHANICKÝCH SYSTÉMŮ . . . 213
7.1 Výrobek a jakost . . . 213
7.2 Řízení spolehlivosti . . . 214
7.3 Měření spolehlivosti . . . 216
7.4 Zkoušení spolehlivosti . . . 220
7.5 Charakter procesů vedoucích k poruše materiálu . . . 222

PŘÍLOHY . . . 226

P 2.1 Semilogaritmická síť . . . 226
P 2.2 Logaritmicko-logaritmická síť . . . 227
P 2.3 Parametry cyklické deformační křivky a Mansonovy-Coffinovy nízkocyklové odolnosti . . . 228
P 2.4 Zjednodušené Smithovy diagramy ocelí . . . 229
P 2.5 Nomogramy k určení součinitelů tvaru α . . . 230
P 2.6 Nomogramy k určení součinitelů tvaru α . . . 231
P 2.7 Grafy k určení součinitelů tvaru α . . . 232
P 2.8 Součinitelé vrubové citlivosti oceli q . . . 233
P 2.9 Diagramy k určení součinitele vrubu β . . . 234
P 2.10 Diagramy k určení součinitele vrubu β . . . 235
P 2.11 Součinitelé vlivu velikosti ε_v, ε_{vo}, ε_{vk} . . . 236
P 2.12 Součinitele jakosti povrchu a zmírňující činitel sousedních vrubů η_p, γ^* . . . 237

P 3.1 Určení faktoru intenzity napětí pro vybrané tvary a konfigurace trhlin K_I
Orientační hodnoty ΔK_{pa}, K_{IC} . . . 238

P 4.1 Kvantily normálního rozložení u_p . . . 239
P 4.2 Pravděpodobnostní papír pro normální rozložení . . . 240
P 4.3 Pravděpodobnostní papír pro log-normální rozložení . . . 241
P 4.4 Pravděpodobnostní papír pro Weibullovo rozložení . . . 242
P 4.5 Vybrané hodnoty Studentova rozdělení a korekční konstanty k určení výběrové směr.odchylky . . . 243
P 4.6 Vybrané hodnoty distribučních funkcí rozdělení χ^2 a F . . . 244

LITERATURA . . . 245

○ Odpovědi a výsledky kontrolních otázek a příkladů . . . 250

Autorsky se na textu podíleli:

Ing. Milan Růžička, CSc - kap.1, kap. 2, kap. 3, kap. 4.6, kap. 6.1
Ing. Miroslav Hanke,DrSc - kap. 5, kap. 6.2, kap. 7
Ing. Milan Rost - kap. 4.1 až 4.5