Obsah

Předmluva 9

1 Úvod 11

2 Vliv slitinových prvků na vlastnosti ocelí 13

2.1 Vliv slitinových prvků na rovnovážné stavy 13
2.1.1 Vliv přísad na vlastnosti feritu a austenitu 16
2.1.2 Intermetalické fáze v ocelích 19
2.1.2.1 Karbidické fáze v ocelích 19
2.1.2.2 Nitridy ve slitinových ocelích 22
2.1.2.3 σ-fáze ve slitinových ocelích 22
2.1.2.4 Lavesovy fáze ve slitinových ocelích 23
2.2 Transformace nestabilních tuhých roztoků v ocelích 25
2.2.1 Transformace podchlazeného austenitu 25
2.2.1.1 „Vojenské" a „civilní" transformace 25
2.2.1.2 Klasifikace přeměn austenitu pod eutektoidní teplotou 26
2.2.1.3 Perlitická přeměna 28
2.2.1.4 Vylučování proeutektoidních fází z austenitu 31
2.2.1.5 Bainitická přeměna 34
2.2.1.6 Martenzitická přeměna 37
2.2.1.7 Popouštění oceli 42
2.2.2 Rozpad přesyceného feritu 47
2.2.3 Austenit a rozpad přesyceného austenitu 49
2.2.4 Vytvrzování tuhých roztoků 52
2.2.4.1 Mechanismus vytvrzování 52
2.2.4.2 Hrubnutí částic 54
2.3 Vliv slitinových prvků na mechanické vlastnosti ocelí 55
2.3.1 Plastická deformace při zatížení za normální teploty 55
2.3.1.1 Deformační zpevňování v monokrystalech čistých kovů 56
2.3.1.2 Deformační zpevňování polykrystalických kovů 57
2.3.1.3 Deformace tuhých roztoků a vliv vyloučených fází na zpevňování 59
2.3.1.4 Vliv přísad na deformační charakteristiku nízkolegovaných ocelí 60
2.3.2 Lomy 62
2.3.2.1 Křehký lom 62
2.3.2.2 Houževnatý lom 66
2.3.2.3 Hodnocení ocelí z hlediska křehkého porušení 67
2.3.2.4 Únava a únavový lom 72
2.3.2.4.1 Vysokocyklová únava za normálních teplot 73
2.3.2.4.2 Nízkocyklová únava za normálních teplot 80
2.3.2.4.3 Teplotní únava materiálu 81
2.3.2.4.4 Únava materiálu za vyšších teplot 82
2.3.2.4.5 Únava za koroze 84
2.3.2.5 Zbrzděný lom 85
2.3.2.6 Předčasný lom 86
2.3.2.7 Tečení a lom při tečení 86
2.3.2.7.1 Strukturní teorie tečení 87
2.3.2.7.2 Teorie porušování kovů při tečení 88
2.3.2.7.3 Metodika provádění a vyhodnocování zkoušek žáropevnosti 90
2.3.2.7.4 Plastické vlastnosti a stabilita struktury 91
2.3.2.7.5 Vliv slitinových prvků na žáropevnost feritických ocelí 91
2.3.2.7.6 Vliv přísad na krípovou houževnatost feritických ocelí 95

2.3.2.7.7 Vliv složení na žáropevnost austenitických ocelí . . . 97
2.3.3 Odolnost proti relaxaci . . . 98
2.4 Zotavení a rekrystalizace . . . 101
2.4.1 Zotavení . . . 101
2.4.2 Rekrystalizace . . . 102
2.5 Vliv slitinových prvků na povrchové vlastnosti ocelí . . . 104
2.5.1 Odolnost ocelí proti oxidaci . . . 104
2.5.2 Elektrochemická koroze . . . 109
2.5.2.1 Koroze ve vodě . . . 109
2.5.2.2 Mezikrystalová koroze . . . 110
2.5.2.3 Koroze pod napětím . . . 110
2.5.3 Erozní a kavitační odolnost . . . 113
2.5.3.1 Opotřebení erozí . . . 113
2.5.3.2 Opotřebení kavitační erozí . . . 115
2.6 Vliv radiace na vlastnosti slitinových ocelí . . . 117
2.6.1 Změny mechanických vlastností . . . 118
2.6.2 Změny fyzikálních vlastností a mikrostruktury . . . 121
2.7 Vliv slitinových prvků na technologické vlastnosti . . . 122
2.7.1 Slévárenské vlastnosti . . . 122
2.7.1.1 Zkoušky slévárenských vlastností . . . 125
2.7.2 Tvařitelnost za tepla . . . 129
2.7.2.1 Zkoušky tvařitelnosti . . . 131
2.7.2.2 Tvařitelnost slitinových ocelí . . . 134
2.7.3 Svařitelnost oceli . . . 135
2.7.3.1 Struktura svarového spoje . . . 136
2.7.3.2 Vliv slitinových prvků na svařitelnost . . . 137
2.7.3.3 Zkoušení metalurgické svařitelnosti . . . 138

3 Slitinové oceli na součásti parních turbín . . . 141

3.1 Žáropevné oceli na lopatky parních turbín . . . 141
3.1.1 Nízkolegované feritické oceli na žáropevné lopatky . . . 142
3.1.2 Prosté oceli Cr13 na lopatky parních turbín . . . 143
3.1.2.1 Metalografie ocelí Cr13 . . . 143
3.1.2.2 Křehkost ocelí Cr13 . . . 151
3.1.2.3 Struktura a vlastnosti ocelí Cr13 . . . 153
3.1.3 Modifikované vysokochromové oceli na žáropevné lopatky . . . 154
3.1.3.1 Modifikované vysokochromové oceli na žáropevné lopatky vyvinuté a vyráběné v zahraničí . . . 155
3.1.3.2 Československé modifikované oceli Cr12 na žáropevné lopatky . . . 156
3.1.3.3 Metalografie modifikovaných ocelí Cr12 . . . 159
3.1.3.4 Křehkost modifikovaných ocelí Cr12 . . . 164
3.1.3.5 Podstata žáropevnosti modifikovaných ocelí Cr12 . . . 167
3.2 Korozivzdorné oceli na koncové lopatky . . . 168
3.2.1 Prosté vysokochromové oceli . . . 169
3.2.2 Modifikované oceli Cr12 . . . 174
3.2.3 Nekonvenční způsoby tepelného zpracování chromových koncových lopatek . . . 179
3.2.4 Martenzitické disperzně vytvrditelné oceli . . . 185
3.2.5 Aplikace metod lomové mechaniky na hodnocení ocelí pro koncové lopatky . . . 188
3.2.5.1 Hodnocení odolnosti materiálu proti šíření únavových trhlin . . . 188
3.2.5.2 Hodnocení náchylnosti k porušení náhlým lomem . . . 189
3.2.6 Ochrana koncových lopatek proti erozi . . . 190
3.3 Oceli na turbínové rotory . . . 195
3.3.1 Nízkolegované oceli pro turbínové rotory . . . 196
3.3.1.1 Nízkolegované oceli pro turbínové rotory používané v zahraničí . . . 196
3.3.1.2 Československé nízkolegované oceli pro turbínové rotory . . . 200
3.3.1.3 Metalurgickotechnologické problémy velkých turbínových rotorů z nízkolegovaných ocelí . . . 208
3.3.1.4 Provozní poruchy nízkolegovaných turbínových rotorů . . . 210
3.3.2 Modifikované oceli Cr12 pro turbínové rotory . . . 210
3.3.2.1 Zahraniční modifikované oceli Cr12 pro turbínové rotory . . . 211
3.3.2.2 Československé modifikované oceli Cr12 pro turbínové rotory . . . 213
3.3.2.3 Metalurgickotechnologické problémy středních a velkých výkovků z modifikovaných ocelí Cr12 . . . 214
3.4 Oceli na lité skříně . . . 218

3.4.1 Nízkolegované žáropevné oceli na odlitky . . . 218
3.4.1.1 Svařování odlitků z nízkolegovaných ocelí . . . 227
3.4.2 Modifikované oceli Cr12 na lité součásti parních turbín . . . 230
3.4.2.1 Přehled vyvíjených litých modifikací ocelí Cr12 . . . 230
3.4.2.2 Problémy při výrobě litých částí z modifikovaných ocelí Cr12 . . . 234
3.5 Oceli na šrouby . . . 234
3.5.1 Nízkolegované feritické oceli pro šroubová spojení . . . 236
3.5.1.1 Vlastnosti československé oceli 15 320 . . . 237
3.5.1.2 Vývojové směry nízkolegovaných šroubových ocelí . . . 239
3.5.2 Modifikované oceli Cr12 pro šroubová spojení . . . 241

4 Oceli na součásti turbogenerátoru . . . 243

4.1 Oceli pro generátorové rotory . . . 243
4.1.1 Vývoj ocelí pro generátorové rotory . . . 243
4.1.2 Zahraniční a československé oceli pro výrobu rotorů velkých turboalternátorů 245
4.2 Oceli na paramagnetické obruče . . . 250
4.2.1 Paramagnetické oceli zpevněné tvářením za studena . . . 250
4.2.2 Vady při výrobě paramagnetických obručí . . . 255
4.2.3 Poruchy za provozu paramagnetických obručí . . . 261
4.2.4 Nové technologie deformačního zpevňování obručí . . . 265
4.2.5 Paramagnetické oceli zpevňované vytvrzováním . . . 266
4.2.6 Odolnost paramagnetických austenitických ocelí proti korozi pod napětím . . . 273
4.2.7 Aplikace metod lomové mechaniky na hodnocení ocelí pro bandáže . . . 274

5 Slitinové oceli pro přehřívákové trubky a parovody . . . 277

5.1 Nízkolegované oceli . . . 277
5.2 Vysokochromové feritické oceli . . . 282
5.3 Austenitické oceli . . . 283

6 Slitinové oceli na součásti vodních turbín . . . 286

6.1 Nízkolegované oceli pro oběžné lopaty vodních turbín . . . 289
6.2 Oceli Cr13 pro oběžné lopaty . . . 292
6.2.1 Vliv chemického složení na mechanické vlastnosti . . . 295
6.2.2 Vliv tepelného zpracování na mikrostrukturu a mechanické vlastnosti lité oceli 296
6.2.3 Vliv metalurgických činitelů na strukturu a mechanické vlastnosti . . . 298
6.2.4 Oprava odlitků z oceli Cr13 . . . 300
6.3 Oceli typu Cr13Ni4 pro odlitky vodních turbín . . . 300
6.3.1 Metalografie oceli Cr13Ni4 . . . 302
6.3.2 Změny mikrostruktury a mechanických vlastností při popouštění . . . 302
6.3.3 Svařování oceli Cr13Ni4 . . . 307

7 Slitinové oceli pro vybrané komponenty jaderných central . . . 308

7.1 Oceli na tlakové nádoby reaktorů . . . 308
7.1.1 Oceli na tlakové nádoby těžkovodních reaktorů . . . 309
7.1.2 Oceli na tlakové nádoby lehkovodních reaktorů . . . 315
7.1.2.1 Oceli na tlakové nádoby používané v USA . . . 315
7.1.3 Oceli na tlakové nádoby reaktorů voroněžského typu . . . 316
7.2 Oceli na potrubí primárního okruhu jaderných elektráren . . . 317
7.2.1 Ocel na potrubí primárního okruhu československé elektrárny A 1 . . . 317
7.2.2 Oceli na potrubí lehkovodních reaktorů . . . 319
7.3 Oceli pro cirkulační čerpadla lehkovodních reaktorů . . . 320
7.3.1 Těleso oběhového čerpadla . . . 321
7.3.2 Oceli na oběžné kolo a rozváděč cirkulačních čerpadel . . . 321

8 Doslov . . . 322

Literatura . . . 327