

## SADRŽAJ

<b>GREŠKE U REŠETKI</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1. KLASIFIKACIJA GREŠAKA</b> . . . . .	<b>3</b>
1. 1. Tačkaste greške . . . . .	3
1. 2. Linijske greške. . . . .	5
1. 3. Ravanske greške. . . . .	6
<b>2. PRAZNINE</b> . . . . .	<b>9</b>
2. 1. Ravnotežna koncentracija praznina. . . . .	10
2. 2. Izvori i ponori za praznine . . . . .	13
2. 3. Neravnotežna koncentracija praznina. . . . .	14
2. 4. Brzina kretanja praznina . . . . .	14
2. 5. Brzina kretanja atoma . . . . .	16
2. 6. Intersticijali . . . . .	16
2. 7. Dipraznine i nakupine praznina . . . . .	18
<b>3. DISLOKACIJE I KLIZANJE</b> . . . . .	<b>19</b>
3. 1. Plastičnost kristala . . . . .	19
3. 1. 1. Klizanje . . . . .	20
3. 1. 2. Razloženo smicajno naprezanje . . . . .	22
3. 1. 3. Kristalografija klizanja . . . . .	23
3. 1. 4. Kritično razloženo smicajno naprezanje . . . . .	25
3. 1. 5. Kriva ojačavanja kristala . . . . .	26
3. 1. 6. Geometrijsko slabljenje. . . . .	27
3. 1. 7. Primarni sistem klizanja . . . . .	27
3. 1. 8. Višestruko klizanje i sekundarni sistemi klizanja . . . . .	27
3. 1. 9. Rotacija kristala. . . . .	29
3. 1. 10. Uticaj sistema naprezanja na plastičnost . . . . .	31
3. 1. 11. Teorijsko kritično smicajno naprezanje . . . . .	33
3. 2. Geometrija i kretanje dislokacija . . . . .	35
3. 2. 1. Eksperimentalna potvrda dislokacija . . . . .	35
3. 2. 2. Ivična dislokacija . . . . .	37
3. 2. 3. Zavojna dislokacija . . . . .	44
3. 2. 4. Kombinovane dislokacije. . . . .	47
3. 2. 5. Dislokacione petlje . . . . .	50
3. 3. Elastične osobine dislokacija . . . . .	54
3. 3. 1. Naprezanje oko dislokacija. . . . .	54

3. 3. 2.	Energija dislokacija . . . . .	59
3. 3. 3.	Sila koja deluje na dislokaciju . . . . .	61
3. 3. 4.	Savijanje dislokacione linije . . . . .	62
3. 4.	Umnožavanje i pokretljivost dislokacija . . . . .	63
3. 4. 1.	Frank-Readov izvor . . . . .	63
3. 4. 2.	Umnožavanje dislokacija dvostrukim poprečnim klizanjem . . . . .	64
3. 4. 3.	Bardeen-Harringov izvor . . . . .	65
3. 4. 4.	Peierls-Nabarrovo naprezanje . . . . .	66
3. 4. 5.	Uticaj orijentacije na Peierls-Nabarrovo naprezanje . . . . .	68
3. 4. 6.	Uticaj temperature na Peierls-Nabarrovo naprezanje . . . . .	69
3. 4. 7.	Pokretne dislokacije . . . . .	70
3. 4. 8.	Podela dislokacija prema veličini Burgersovog vektora . . . . .	72
3. 4. 9.	Brzina dislokacija . . . . .	73
3. 5.	Reakcije dislokacija . . . . .	75
3. 5. 1.	Reakcije paralelnih dislokacija koje se kreću po paralelnim ravnima . . . . .	77
3. 5. 2.	Reakcije neparalelnih dislokacija koje se seku . . . . .	79
3. 5. 3.	Razlaganje jedinične dislokacije na parcijalne dislokacije u pov-c-k metalima . . . . .	81
3. 5. 4.	Greške u redosledu u pov-c-k metalima. . . . .	84
3. 5. 5.	Energija greške u redosledu . . . . .	86
3. 5. 6.	Pokretljivost parcijalnih dislokacija. . . . .	87
3. 5. 7.	Reakcije paralelnih dislokacija u pov-c-k metalima koje se kreću po ravnima koje se ukrštaju . . . . .	90
3. 5. 8.	Thompsonov referentni tetraedar . . . . .	94
<b>4.</b>	<b>DVOJNICI I DVOJNIKOVANJE . . . . .</b>	<b>97</b>
4. 1.	Deformaciono dvojnিকovanje . . . . .	97
4. 2.	Kristalografija dvojnিকovanja . . . . .	99
4. 3.	Stvaranje dvojnika . . . . .	103
4. 4.	Rast dvojnika . . . . .	104
4. 5.	Uticaj metalurških faktora na dvojnিকovanje. . . . .	106
4. 6.	Sistemi dvojnিকovanja . . . . .	106
4. 7.	Dvojnici žarenja . . . . .	108
<b>5.</b>	<b>GRANIČNE POVRŠINE. . . . .</b>	<b>110</b>
5. 1.	Pet stepeni slobode graničnih površina . . . . .	110
5. 2.	Struktura i geometrija graničnih površina . . . . .	111
5. 2. 1.	Granice dvojnika . . . . .	111
5. 2. 2.	Granice subzrna . . . . .	112
5. 2. 3.	Granice zrna . . . . .	113
5. 2. 4.	Međufazne granice . . . . .	115
5. 2. 5.	Antifazne granice . . . . .	116
5. 3.	Energija i površinski napon graničnih površina . . . . .	117
5. 3. 1.	Energija slobodne površine. . . . .	118
5. 3. 2.	Energija granice dvojnika. . . . .	119
5. 3. 3.	Energija granice subzrna i granice zrna . . . . .	119
5. 3. 4.	Ravnotežni ugao između granica zrna i oblik zrna . . . . .	121
5. 3. 5.	Uticaj energije međufaznih granica na raspored i oblik sekundarnih faza . . . . .	122

5. 1. Kretanje granica zrna . . . . .	125
5. 4. 1. Pokretljivost granica zrna . . . . .	126
5. 4. 2. Uticaj rastvorenih atoma na pokretljivost granica zrna . . . . .	127
5. 4. 3. Uticaj sekundarnih faza na pokretljivost granica zrna. . . . .	128
5. 4. 4. Uticaj temperature na pokretljivost granica zrna . . . . .	129
5. 4. 5. Mehanizam kretanja granica zrna . . . . .	129
<b>DEFORMACIJA I OJAČAVANJE . . . . .</b>	<b>131</b>
<b>6. DEFORMACIONO OJAČAVANJE KRISTALA . . . . .</b>	<b>133</b>
6. 1. Krive ojačavanja kristala . . . . .	133
6. 1. 1. Uticaj orijentacije kristala . . . . .	137
6. 1. 2. Uticaj kristalne rešetke . . . . .	139
6. 1. 3. Uticaj temperature . . . . .	140
6. 1. 4. Uticaj brzine deformacije . . . . .	144
6. 1. 5. Uticaj energije greške u redosledu . . . . .	146
6. 2. Termalne i atermalne komponente naprezanja . . . . .	146
6. 2. 1. Teorijski model . . . . .	147
6. 2. 2. Odnos termalne i atermalne komponente naprezanja. . . . .	148
6. 3. Dislokacioni mehanizam deformacionog ojačavanja . . . . .	150
6. 3. 1. Dislokaciona substruktura . . . . .	151
6. 3. 2. Dislokacioni mehanizam . . . . .	155
6. 4. Zavisnost naprezanja od gustine dislokacija . . . . .	158
6. 4. 1. Teorijski model . . . . .	159
6. 4. 2. Eksperimentalni rezultati . . . . .	159
6. 4. 3. Uticaj rasporeda dislokacija . . . . .	161
<b>7. DEFORMACIJA I OJAČAVANJE POLIKRISTALNIH AGREGATA . . . . .</b>	<b>162</b>
7. 1. Deformacija polikristalnih agregata . . . . .	162
7. 1. 1. Nehomogena deformacija zrna . . . . .	162
7. 1. 2. Deformacija zrna mehanizmom klizanja . . . . .	162
7. 1. 3. Deformacija zrna mehanizmom uspinjanja-spuštanja dislokacija . . . . .	165
7. 1. 4. Određivanje aktivnih sistema klizanja. . . . .	166
7. 1. 4. 1. Taylorov kriterijum . . . . .	166
7. 1. 4. 2. Bishop-Hilov kriterijum . . . . .	166
7. 1. 5. Srednji orijentacioni faktor . . . . .	167
7. 1. 6. Krive ojačavanja polikristalnih agregata . . . . .	169
7. 1. 7. Rotacija zrna pri deformaciji polikristalnih agregata . . . . .	170
7. 2. Ojačavanje granicama zrna . . . . .	171
7. 2. 1. Reakcije dislokacija sa granicama zrna . . . . .	171
7. 2. 2. Hall-Petchova jednačina . . . . .	171
7. 2. 3. Temperaturna zavisnost granice popuštanja . . . . .	176
7. 3. Deformaciono ojačavanje polikristalnih agregata . . . . .	177
7. 3. 1. Uticaj temperature . . . . .	177
7. 3. 2. Uticaj veličine zrna . . . . .	182
7. 4. Dislokaciona substruktura . . . . .	184
<b>8. DEFORMACIJA I OJAČAVANJE ČVRSTIH RASTVORA . . . . .</b>	<b>187</b>
8. 1. Reakcije dislokacija sa rastvorenim atomima . . . . .	187

8. 1. 1.	Cottrellove atmosfere . . . . .	188
8. 1. 2.	Elastična reakcija . . . . .	188
8. 1. 3.	Energija veze . . . . .	190
8. 1. 4.	Kondenzovane i razblažene atmosfere . . . . .	192
8. 1. 5.	Drugi oblici elastične reakcije . . . . .	193
8. 1. 6.	Električna, hemijska i geometrijska reakcija . . . . .	193
8. 1. 7.	Uticao atmosfera na kretanje dislokacija . . . . .	194
8. 2.	Izražena granica popuštanja . . . . .	196
8. 2. 1.	Ludersovo izduženje . . . . .	199
8. 2. 2.	Uticao veličine zrna na izraženu granicu popuštanja . . . . .	201
8. 2. 3.	Deformaciono starenje . . . . .	202
8. 2. 4.	Dinamičko deformaciono starenje . . . . .	202
8. 3.	Rastvarajuće ojačavanje . . . . .	207
8. 3. 1.	Faktor relativne veličine atoma . . . . .	210
8. 3. 2.	Faktor relativne veličine modula elastičnosti . . . . .	211
8. 3. 3.	Faktor relativne valentnosti . . . . .	212
8. 3. 4.	Temperaturna zavisnost granice popuštanja . . . . .	213
8. 3. 5.	Teorije rastvarajućeg ojačavanja . . . . .	214
8. 4.	Deformaciono ojačavanje čvrstih rastvora . . . . .	216
8. 4. 1.	Deformaciono ojačavanje kristala . . . . .	216
8. 4. 2.	Deformaciono ojačavanje polikristalnih agregata . . . . .	217
8. 5.	Dislokaciona substruktura . . . . .	219
<b>9.</b>	<b>TALOŽNO I DISPERZNO OJAČAVANJE . . . . .</b>	<b>223</b>
9. 1.	Reakcije dislokacija sa disperznim fazama . . . . .	224
9. 2.	Početna reakcija dislokacija sa disperznim fazama . . . . .	225
9. 2. 1.	Elastična reakcija . . . . .	225
9. 2. 2.	Hemijska reakcija . . . . .	226
9. 2. 3.	Disperzna reakcija . . . . .	229
9. 3.	Dalja reakcija dislokacija sa disperznim fazama . . . . .	233
9. 3. 1.	Elastična i hemijska reakcija . . . . .	233
9. 3. 2.	Disperzna reakcija . . . . .	233
9. 4.	Taložno i disperzno ojačavanje . . . . .	235
9. 5.	Temperaturna zavisnost granice popuštanja . . . . .	238
9. 6.	Deformaciono ojačavanje legura koje sadrže disperzne faze . . . . .	239
<b>PONAŠANJE DEFORMISANIH METALA PRI ZAGREVANJU . . . . .</b>	<b>243</b>	
<b>10.</b>	<b>PROMENA ENERGIJE PRI DEFORMACIJI . . . . .</b>	<b>245</b>
10. 1.	Promena slobodne energije pri deformaciji . . . . .	245
10. 2.	Mehanizmi promene energije pri deformaciji . . . . .	245
10. 2. 1.	Zaostala elastična deformacija . . . . .	246
10. 2. 2.	Greške u rešetki . . . . .	246
10. 3.	Uticao metalurških faktora na energiju deformacije . . . . .	247
10. 3. 1.	Procesni faktori . . . . .	247
10. 3. 2.	Strukturni faktori . . . . .	248
<b>11.</b>	<b>OPORAVLJANJE . . . . .</b>	<b>249</b>
11. 1.	Ponašanje deformisanog metala pri zagrevanju . . . . .	249

11. 1. 1. Oslobađanje akumulirane energije i promena osobina pri zagrevanju . . . . .	250
11. 2. Mehanizam oporavljanja . . . . .	252
11. 2. 1. Poligonizacija . . . . .	254
11. 3. Promena osobina pri oporavljanju. . . . .	256
11. 4. Brzina oporavljanja . . . . .	257
11. 5. Dinamičko oporavljanje . . . . .	259
<b>12. REKRISTALIZACIJA . . . . .</b>	<b>262</b>
12. 1. Mehanizam rekristalizacije . . . . .	262
12. 2. Brzina rekristalizacije. . . . .	265
12. 2. 1. Uticaj vremena . . . . .	265
12. 2. 2. Uticaj temperature . . . . .	268
12. 2. 3. Uticaj deformacije . . . . .	269
12. 3. Veličina rekristalisanih zrna . . . . .	271
12. 4. Uticaj rastvorenih atoma na rekristalizaciju . . . . .	274
12. 5. Uticaj sekundarnih faza na rekristalizaciju . . . . .	275
12. 6. Dinamička rekristalizacija . . . . .	278
<b>13. RAST ZRNA . . . . .</b>	<b>280</b>
13. 1. Mehanizam rasta zrna. . . . .	280
13. 2. Brzina rasta zrna . . . . .	282
13. 3. Maksimalna veličina zrna. . . . .	284
13. 4. Inhibitori za rast zrna. . . . .	284
13. 4. 1. Uticaj rastvorenih atoma na rast zrna. . . . .	285
13. 4. 2. Uticaj sekundarnih faza na rast zrna . . . . .	285
13. 4. 3. Uticaj usmerene orijentacije na rast zrna. . . . .	286
13. 4. 4. Uticaj slobodne površine na rast zrna. . . . .	286
13. 5. Abnormalni rast zrna . . . . .	287
<b>TEKSTURA . . . . .</b>	<b>291</b>
<b>14. TEKSTURA DEFORMACIJE. . . . .</b>	<b>293</b>
14. 1. Mehaničko usmeravanje . . . . .	294
14. 2. Obrazovanje teksture deformacije. . . . .	297
14. 3. Tekstura žice . . . . .	298
14. 4. Tekstura valjanja . . . . .	300
14. 4. 1. Tekstura valjanja pov-c-k metala . . . . .	300
14. 4. 2. Tekstura valjanja prost-c-k metala. . . . .	304
14. 4. 3. Tekstura valjanja g-s-h metala . . . . .	305
<b>15. TEKSTURA ŽARENJA . . . . .</b>	<b>306</b>
15. 1. Obrazovanje teksture rekristalizacije . . . . .	306
15. 2. Teorija orijentaciono zavisnog rasta zrna. . . . .	307
15. 3. Teorija orijentaciono zavisnog stvaranja klice . . . . .	307
15. 4. Uticaj rastvorenih atoma i disperznih faza na teksturu rekristalizacije . . . . .	308
15. 5. Obrazovanje teksture u procesu rasta zrna i sekundarne rekristalizacije . . . . .	308
15. 6. Tekstura žarenja pov-c-k metala. . . . .	309
15. 6. 1. Tekstura rekristalizacije metala – kubna tekstura. . . . .	309

15. 6. 2. Tekstura rekristalizacije legura . . . . .	310
15. 6. 3. Uticaj rasta zrna, disperznih faza i rastvorenih atoma. . . . .	312
15. 7. Tekstura žarenja prost-c-k metala . . . . .	313
15. 7. 1. Niskougljениčni čelik – karoserijski lim . . . . .	313
15. 7. 2. Legura železa sa silicijumom – transformatorski lim . . . . .	315
<b>16. UTICAJ TEKSTURE NA OSOBINE . . . . .</b>	<b>317</b>
16. 1. Ojačavanje teksturom . . . . .	318
16. 2. Uticaj teksture na sposobnost oblikovanja limova dubokim izvlačenjem . . . . .	319
<b>PRILOZI . . . . .</b>	<b>325</b>
<b>A. NAPREZANJE I DEFORMACIJA PRI JEDNOOSNOM ZATEZANJU . . . . .</b>	<b>327</b>
A. 1. Definicija naprežanja i deformacije . . . . .	327
A. 1. 1. Komponente naprežanja u tački . . . . .	327
A. 1. 2. Mohrov krug. . . . .	330
A. 1. 3. Važniji oblici naprežanja . . . . .	333
A. 1. 4. Razlaganje naprežanja . . . . .	336
A. 1. 5. Komponente deformacije u tački . . . . .	338
A. 1. 6. Važniji oblici deformacije . . . . .	340
A. 2. Ponašanje materijala pod uticajem naprežanja. . . . .	341
A. 2. 1. Linearno elastično ponašanje . . . . .	341
A. 2. 2. Nelinearno elastično ponašanje . . . . .	342
A. 2. 3. Neelastično ponašanje . . . . .	342
A. 2. 4. Viskozno ponašanje. . . . .	343
A. 2. 5. Elastično-plastično ponašanje . . . . .	343
A. 3. Linearno elastično ponašanje . . . . .	343
A. 3. 1. Hookeov zakon . . . . .	343
A. 3. 2. Konstante elastičnosti . . . . .	344
A. 3. 3. Opšti Hookeov zakon. . . . .	345
A. 3. 4. Elastična energija . . . . .	347
A. 4. Elastično-plastično ponašanje . . . . .	348
A. 4. 1. Ispitivanje na zatezanje . . . . .	348
A. 4. 2. Eksperimentalna kriva ojačavanja. . . . .	349
A. 4. 3. Nominalna kriva ojačavanja . . . . .	349
A. 4. 4. Stvarna kriva ojačavanja . . . . .	351
A. 4. 5. Brzina deformacionog ojačavanja . . . . .	354
A. 5. Plastična nestabilnost. . . . .	355
A. 5. 1. Indeks deformacionog ojačavanja. . . . .	357
A. 6. Uticaj brzine deformacije . . . . .	358
A. 6. 1. Nominalna i stvarna brzina deformacije . . . . .	358
A. 6. 2. Uticaj brzine deformacije na naprežanje . . . . .	359
A. 6. 3. Uticaj brzine deformacije na plastičnu nestabilnost. . . . .	359
A. 7. Faktori plastične anizotropije . . . . .	361
<b>B. STEREOGRAFSKA PROJEKCIJA I POLARNA SLIKA . . . . .</b>	<b>364</b>
B. 1. Stereografska projekcija . . . . .	364
B. 1. 1. Sfema projekcija . . . . .	364

B. 1. 2.	Stereografska projekcija . . . . .	366
B. 1. 3.	Wulffova mreža . . . . .	369
B. 1. 4.	Standardna stereografska projekcija . . . . .	370
B. 1. 5.	Standardni stereografski trougao . . . . .	375
B. 1. 6.	Rotacija stereografske projekcije . . . . .	376
B. 2.	Polarna slika . . . . .	377
B. 2. 1.	Statistička orijentacija zrna . . . . .	377
B. 2. 2.	Prikazivanje poznate teksture na polarnoj slici . . . . .	377
B. 2. 3.	Određivanje idealne orijentacije poređenjem polarne slike sa standardnom stereografskom projekcijom . . . . .	382
B. 2. 4.	Određivanje idealne orijentacije merenjem uglova na polarnoj slici . . . . .	383
<b>OPŠTA LITERATURA . . . . .</b>		<b>385</b>
<b>INDEKS . . . . .</b>		<b>389</b>