

Obsah

1	STRUKTURA PEVNÝCH LÁTEK	11
1.1	Úvod	11
1.2	Mechanické a strukturní charakteristiky	14
1.2.1	Vlastnosti a jejich charakteristiky	14
1.2.2	Mechanické charakteristiky	15
1.2.3	Strukturní charakteristiky	16
1.3	Vazby v pevných látkách	18
1.3.1	Úvodní poznámky	18
1.3.2	Odpudivé síly	19
1.3.3	Iontová vazba	19
1.3.4	Kovalentní vazba	23
1.3.5	Kovová vazba	27
1.3.6	Van der Waalsova a vodíková vazba	29
1.4	Struktura ideálních krystalů	30
1.4.1	Periodická seskupení atomů	30
1.4.2	Základní krystalové struktury	31
1.4.3	Indexy bodů, přímek a rovin	33
1.4.4	Reciproká mřížka	36
1.5	Poruchy v krystalech	37
1.5.1	Bodové poruchy	38
1.5.1.1	Základní typy bodových poruch	38
1.5.1.2	Koncentrace bodových poruch	38
1.5.2	Dislokace	42
1.5.2.1	Definice dislokace	42
1.5.2.2	Vlastnosti dislokací	45
1.5.2.2.1	Pohyb dislokací	45
1.5.2.2.2	Napěťové pole dislokace	47
1.5.2.2.3	Energie dislokace	49
1.5.2.2.4	Síla působící na dislokaci	51
1.5.2.2.5	Vzájemné působení mezi dislokacemi	52
1.5.2.2.6	Vliv povrchu na dislokaci	54
A)	Obecný postup	54
B)	Šroubová dislokace v poloprostoru	54
C)	Poznámka k dislokacím v tenkých fóliích	55
1.5.2.2.7	Peierlsovo - Nabarrovo napětí	56
1.5.2.3	Neúplné dislokace a vrstevné chyby	57
1.5.2.4	Dvojčatové dislokace	60
1.5.2.5	Dislokace v systémech s uspořádáním	61
1.5.3	Hranice zrn a subzrn	62
1.5.3.1	Malouhlová hranice	63

1.5.3.2	Hranice mezi zrny	64
1.5.3.3	Energie hranice	64
1.5.4	Rozhraní mezi fázemi	68
1.6	Struktura plastů	69
1.6.1	Molekulární struktura	69
1.6.2	Nadmolekulární struktura	73
1.7	Literatura ke kapitole 1.	78
2	KOVY	80
2.1	Deformace	80
2.1.1	Elastická deformace	80
2.1.1.1	Hookův zákon	80
2.1.1.1.1	Izotropní prostředí	80
2.1.1.1.2	Anizotropní prostředí	81
2.1.1.1.3	Polykrystalické agregáty a kompozity	82
2.1.1.2	Teplotní pnutí	83
2.1.1.2.1	Upnuté těleso	84
2.1.1.2.2	Povrchové ochlazení	84
2.1.1.2.3	Mikroskopická pnutí	85
2.1.1.3	Ideální pevnost	85
2.1.1.3.1	Přístup elektronové teorie pevných látek	85
2.1.1.3.2	Zjednodušené modely mřížky	86
A)	Jednosměrný tah	86
B)	Všestranný tah	86
2.1.1.3.3	Fenomenologický přístup	88
2.1.1.3.4	Dokonalé a reálné krystaly	90
2.1.2	Plastická deformace	91
2.1.2.1	Anelastická deformace	91
2.1.2.2	Mechanismy plastické deformace	93
2.1.2.2.1	Dislokační skluz	94
A)	Frankův-Readův zdroj	94
B)	Nakupení dislokací	95
C)	Protínání dislokací	98
D)	Tepelně aktivovaný pohyb dislokací	101
E)	Souvislost rychlosti plastické deformace s rychlostí dislokací	104
2.1.2.2.2	Difúzní tečení	105
A)	Mechanismus difúze	105
B)	Difúze v elasticky napjatém tělese	107
2.1.2.2.3	Dislokační tečení	109
2.1.2.2.4	Pokluzu po hranicích zrn	111
2.1.3	Deformační zpevnění	112
2.1.3.1	Vlastnosti dislokací v reálných mřížkách	113
2.1.3.1.1	Mřížka f.c.c.	113
2.1.3.1.2	Mřížka h.c.p.	115
2.1.3.1.3	Mřížka b.c.c.	115
2.1.3.2	Monokrystaly čistých kovů	120
2.1.3.2.1	Křivky zpevnění	120
A)	Geometrie plastické deformace krystalů	121

B)	Skluzové napětí	121
C)	Experimentální křivky zpevnění	123
D)	Křivky zpevnění monokrystalů f.c.c. a h.c.p. kovů	125
E)	Křivky zpevnění monokrystalů b.c.c. kovů	125
F)	Interpretace teplotní závislosti kritického skluzového napětí	126
2.1.3.2	Teorie zpevnění	127
A)	Zpevnění kovů s f.c.c. strukturou	127
B)	Zpevnění kovů s h.c.p. strukturou	130
C)	Zpevnění kovů s b.c.c. strukturou	131
2.1.3.3	Monokrystaly slitin	131
2.1.3.3.1	Interakce mezi dislokací a cizím atomem	131
A)	Elastická rozměrová interakce	132
B)	Elastická modulová interakce	133
2.1.3.3.2	Kritické skluzové napětí substitučních tuhých roztoků	134
2.1.3.3.3	Skluzové napětí v oblasti vysokých teplot	135
A)	Ostrá mez kluzu	135
B)	Portevinův–Le Chatelierův jev	136
2.1.3.3.4	Zpevnění v materiálech se dvěma fázemi	136
A)	Precipitační zpevnění	136
B)	Zpevnění ve složených materiálech	138
2.1.3.3.5	Zjednodušené odvození deformační křivky	141
2.1.3.4	Polykrystaly	142
2.1.3.4.1	Tahový diagram napětí - deformace	142
2.1.3.4.2	Hallův-Petchův vztah	145
2.1.3.4.3	Von Misesovo kritérium	145
2.1.3.4.4	Tvorba dislokační struktury a deformační zpevnění	147
2.2	Lomy	148
2.2.1	Lomová mechanika	149
2.2.1.1	Griffithovo kritérium	149
2.2.1.2	Lineární lomová mechanika	152
2.2.1.2.1	Součinitel intenzity napětí	152
2.2.1.2.2	Hnací síla trhliny	154
2.2.1.2.3	Plastická zóna na špičce trhliny	156
2.2.1.2.4	R -křivky	157
2.2.1.3	Elasticko-plastická lomová mechanika	160
2.2.1.3.1	Koncepce J -integrálu	161
2.2.1.3.2	Koncepce otevření trhliny (COD)	161
2.2.2	Stadia lomových procesů	162
2.2.3	Tvárný lom	164
2.2.3.1	Nukleace mikroductin	165
2.2.3.2	Růst a koalescence ductin	168
2.2.3.3	Dolom	171
2.2.3.4	Vliv vnějších faktorů na charakteristiku odolnosti vůči tvárnému lomu	174
2.2.3.4.1	Vliv napjatosti	174
2.2.3.4.2	Vliv teploty a rychlosti deformace	175
2.2.4	Křehký lom	175

2.2.4.1	Iniciace trhlin v tělesech bez apriorních defektů	175
2.2.4.2	Šíření trhliny	177
2.2.4.2.1	Křehkost a tvárnost ideálních krystalů	179
2.2.4.2.2	Mikromechanismus šíření štěpné trhliny	182
2.2.4.2.3	Stínění špiče trhliny	184
A)	Štěpná trhlina	185
B)	Klínová trhlina	186
C)	Otupená trhlina	186
2.2.4.3	Lomová houževnatost	188
2.2.4.3.1	Experimentální stanovení lomové houževnatosti	188
A)	Měření K_{Ic} a K_{IJ}	188
B)	Měření J_{Ic} a δ_c	191
2.2.4.3.2	Vliv struktury na lomovou houževnatost	193
A)	Materiály s nižší pevností	193
B)	Vysocepevné oceli a hliníkové slitiny	194
2.2.4.4	Vrubová houževnatost	196
2.2.4.5	Teplota zastavení trhliny	198
2.2.5	Lom korozi pod napětím	201
2.2.5.1	Model diskrétní mřížky	201
2.2.5.2	Dekompoziční teorém	202
2.2.5.3	Mechanismus a termodynamika chemických reakcí na špiči trhliny	205
2.2.5.4	Mechanismus vodíkové křehkosti a koroze	209
2.2.5.5	Lomová houževnatost a rychlost šíření trhliny v korozním prostředí	210
2.2.5.6	Charakteristiky lomu korozi pod napětím	211
2.2.6	Únavový lom	214
2.2.6.1	Stádium změny mechanických vlastností	215
2.2.6.1.1	Makroparametry cyklické plasticity	215
2.2.6.1.2	Změny dislokační struktury	223
A)	Monokrystaly s f.c.c. mřížkou	223
B)	Monokrystaly s b.c.c. mřížkou	226
C)	Polykrystaly	227
2.2.6.2	Stádium iniciace trhlin	229
2.2.6.2.1	Mechanismy iniciace trhlin	229
A)	Jednofázové kovy	229
B)	Vícefázové kovy	231
2.2.6.3	Stádium šíření trhlin	232
2.2.6.3.1	Krátké trhliny	232
2.2.6.3.2	Šíření dlouhých trhlin	237
A)	Prahová oblast	238
B)	Zavírání trhliny	241
C)	Šíření při vyšších amplitudách faktoru intenzity napětí	242
2.2.6.4	Charakteristiky únavové životnosti	249
2.2.6.4.1	Wöhlerova křivka	250
2.2.6.4.2	Mansonova - Coffinova křivka	258
2.2.6.4.3	Vliv vnějších a vnitřních faktorů na křivky životnosti	259
2.2.6.5	Morfologie lomové plochy	262
2.2.6.5.1	Makromorfologické charakteristiky	262

2.2.6.5.2	Mikromorfologické charakteristiky	263
2.2.7	Creepový lom	265
2.2.7.1	Křivka tečení	265
2.2.7.2	Rychlost creepové deformace	267
2.2.7.2.1	Dislokační creep	267
2.2.7.2.2	Přímý přínos šplhání ke creepové deformaci	268
2.2.7.2.3	Difúzní creep	270
2.2.7.2.4	Pokluzový creep	271
2.2.7.2.5	Zpětné napětí	271
2.2.7.2.6	Superplasticita	272
2.2.7.3	Stádia creepového lomu	274
2.2.7.3.1	Nukleace kavit a trhlin	274
2.2.7.3.2	Růst kavit	274
2.2.7.3.3	Koalescence kavit a růst magistrální trhliny	276
2.2.7.4	Charakteristiky creepové životnosti	277
2.2.7.4.1	Vztah mezi dobou do lomu a minimální rychlostí creepu	277
2.2.7.4.2	Diagram životnosti při tečení	278
2.2.7.4.3	Vliv vnějších a vnitřních faktorů na creepové charakteristiky	278
2.2.7.5	Creepové mapy	280
2.2.7.5.1	Deformační mapy	280
2.2.7.5.2	Lomové mapy	280
2.3	Literatura ke kapitole 2.	282
3	KERAMIKA	284
3.1	Deformace	285
3.1.1	Elastická deformace	285
3.1.2	Plastická deformace	286
3.1.2.1	Vlastnosti dislokací v iontových a kovalentních krystalech	286
3.1.2.1.1	Dislokace v iontových krystalech	286
3.1.2.1.2	Dislokace v kovalentních krystalech	288
3.1.2.2	Deformace monokrystalů	288
3.1.2.3	Deformace polykrystalických materiálů	291
3.1.2.3.1	Manévrovatelnost dislokací	291
3.1.2.3.2	Vliv snížené pevnosti hranic zrn na omezení tvárnosti	292
3.1.2.3.3	Příčiny malé plasticity za nízkých teplot	293
3.2	Základní mechanické vlastnosti	294
3.2.1	Pevnost	294
3.2.1.1	Vnitřní faktory snižující pevnost	295
3.2.1.2	Koncentrované a rázové zatížení	298
3.2.1.2.1	Koncentrované zatížení	299
3.2.1.2.2	Rázové zatížení	300
3.2.1.3	Teplotní napětí	301
3.2.1.4	Statistická povaha pevnosti	303
3.2.1.4.1	Dovolené napětí	304
3.2.1.4.2	Vliv rozměrů tělesa	304
3.2.2	Lomová houževnatost	306
3.2.2.1	Měrná povrchová energie	307
3.2.2.2	Stabilita trhlin se složitou geometrií a konfigurací	308

3.2.2.2.1	Trhliny se zakřiveným čelem	308
3.2.2.2.2	Trhliny s rozvětveným čelem	310
3.2.2.2.3	Konfigurace více trhlín	310
3.2.2.3	Měření lomové houževnatosti	312
3.2.2.3.1	Vzorky s makrotrhlinou	312
3.2.2.3.2	Vzorky s mikrotrhlinou	313
3.2.3	Metody zvyšování pevnosti a lomové houževnatosti	315
3.2.3.1	Zvyšování pevnosti	315
3.2.3.1.1	Zmenšování velikostí kritických vad	316
3.2.3.1.2	Snižování vnitřních pnutí	316
3.2.3.1.3	Povrchové ochranné vrstvy	317
A)	Vrstvy vytvářené nanášením	318
B)	Vrstvy vytvářené tepelným nebo chemickým zpracováním	318
C)	Napjatost v tělese s ochrannou povrchovou vrstvou	319
3.2.3.2	Zvyšování lomové houževnatosti	319
3.2.3.2.1	Optimalizace struktury	320
3.2.3.2.2	Transformační zpevnění	321
A)	Fázové přechody v čistém ZrO_2 a vliv příměsí	321
B)	Vliv velikosti zrna na transformaci $t \rightarrow m$	322
C)	Napětově indukovaná fázová přeměna $t \rightarrow m$ na čele trhliny	323
D)	Povrchové zpevnění	324
E)	Stínění špiče trhliny	324
F)	Druhy transformačně zpevněné keramiky	326
3.2.3.2.3	Vytváření kompozitů	327
3.3	Lom po dlouhodobé degradaci	327
3.3.1	Lom korozi pod napětím	328
3.3.2	Únavový lom	330
3.3.3	Creepový lom	333
3.3.4	Morfologie lomové plochy	337
3.4	Literatura ke kapitole 3.	338
4	PLASTY	339
4.1	Fyzikální podstata deformace a porušení	339
4.1.1	Mikromechanismy deformace a porušování	339
4.1.1.1	Deformace	339
4.1.1.2	Porušování	343
4.1.2	Fenomenologický popis deformačních vlastností	345
4.1.2.1	Reologické modely	346
4.1.2.2	Lineární viskoelasticita	347
4.2	Základní mechanické vlastnosti	351
4.2.1	Skelné polymery	351
4.2.1.1	Malé deformace	352
4.2.1.2	Velké deformace	353
4.2.2	Krystalické polymery	358
4.2.2.1	Malé deformace	358
4.2.2.2	Velké deformace	359
4.2.3	Elastomery	359
4.2.3.1	Sesířované elastomery	359

4.2.3.2	Fyzikálně modifikované elastomery	361
4.2.3.3	Nesesíťované elastomery	362
4.3	Mezní stavy	363
4.3.1	Křehký lom	368
4.3.1.1	Podmínky iniciace křehkého lomu	368
4.3.1.2	Lomová houževnatost	371
4.3.1.3	Ostatní křehkolomové charakteristiky	373
4.3.2	Tvárný lom	375
4.3.3	Únavový lom	377
4.3.4	Creepový lom	378
4.3.5	Metody zlepšování lomových charakteristik	379
4.3.5.1	Skelné polymery	380
4.3.5.2	Krystalické plasty	381
4.3.5.3	Orientované polymery	382
4.3.5.4	Elastomery	383
4.3.5.5	Poznámka ke kompozitním materiálům	384
4.4	Literatura ke kapitole 4.	384