

Obsah

1 ÚVOD	1
1.1 Materiály a člověk	1
1.2 Podíl přírodních věd na materiálovém inženýrství	4
1.3 Materiálové inženýrství a technologie	5
Literatura ke kapitole 1	7
2 STAVBA ATOMU	8
2.1 Struktura atomového jádra	8
2.2 Struktura atomového obalu	9
2.2.1 Kvantové stavy atomů (klasická teorie)	9
2.2.2 Kvantové stavy elektronů (aplikace vlnové mechaniky)	10
2.3 Periodická soustava prvků	17
2.4 Vazby mezi atomy	19
2.4.1 Iontová vazba	20
2.4.2 Kovalentní vazba	20
2.4.3 Vazba Van der Waalsova	22
2.4.4 Kovová vazba	22
2.4.4.1 Teorie volných elektronů v kovech	22
2.4.4.2 Zónová teorie pevných látek	26
Příklady ke kapitole 2	31
Literatura ke kapitole 2	33
3 STRUKTURA ATOMOVÝCH KOMPLEXŮ	34
3.1 Uspořádání hmoty v prostoru	34
Uspořádání na krátkou a dlouhou vzdálenost	34
3.2 Základy krystalografie	35
3.2.1 Konstrukce prostorové mřížky	35
3.2.1.1 Konstrukce lineární mřížky	36
3.2.1.2 Konstrukce mřížkové roviny	36
3.2.1.3 Konstrukce základní prostorové mřížky	37
3.2.2 Rovnice mřížkové přímky a roviny, Millerovy indexy	38
3.2.2.1 Poznámka k Millerovým indexům	42
3.2.2.2 Zóny rovin	43

3.2.2.3 Vzdálenost mezi rovinami	43
3.3 Krystalografické soustavy, krystalová symetrie.....	46
3.4 Uspořádání v krystalových strukturách	47
3.4.1 Geometrické podmínky	47
3.4.2 Vliv vazby mezi částicemi na uspořádání	48
3.4.3 Atomové poloměry	49
3.4.4 Uspořádání v kovových krystalech	49
3.4.5 Vztah mezi uspořádáním atomů a Millerovými indexy	52
Příklady ke kapitole 3	53
Literatura ke kapitole 3	56
4 PORUCHY KRYSTALICKÉ MŘÍŽKY	57
4.1 Bodové poruchy	57
4.1.1 Vlastnosti bodových poruch	58
Bodové poruchy v nerovnovážné koncentraci	58
4.1.2 Migrace bodových poruch	59
4.2 Čárové poruchy	59
4.2.1 Definice dislokací	60
4.2.2 Vlastnosti dislokací	62
4.2.2.1 Napětí v okolí dislokace	62
4.2.2.2 Energie dislokace	63
4.2.2.3 Síly působící na dislokace	63
4.2.3 Parciální dislokace a vrstevné chyby	66
4.2.4 Interakce mezi dislokacemi	68
4.2.5 Interakce dislokací s bodovými poruchami	69
4.2.6 Intersekcce dislokací	69
4.2.7 Interakce dislokací s dispersními částicemi	71
4.2.8 Vznik dislokací	72
4.3 Plošné vady	72
4.3.1 Hranice subzrn (malouhlové hranice)	73
4.3.2 Hranice zrn (velkouhlové hranice)	73
Literatura ke kapitole 4	74
5 ÚVOD DO TERMODYNAMIKY MATERIÁLŮ	75
5.1 Předmět termodynamiky	75
5.2 Veličiny a jednotky v termodynamice, důležité konstanty, standardní podmínky	76
5.2.1 Základní veličiny a základní jednotky	76
5.2.2 Veličiny s odvozenými jednotkami	77
5.2.3 Důležité konstanty	80

MP 19 Struktura kompozitních materiálů	434
MP 20 Metalografie slévárenských vad	435

12 ZKOUŠENÍ MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU 436

12.1 Mechanické vlastnosti a mechanické charakteristiky 436

12.2 Rozdělení mechanických zkoušek 438

12.2.1 Základní mechanické zkoušky	439
12.2.1.1 Zkouška tahem, tlakem a ohybem	440
12.2.1.2 Zkoušky tvrdosti	451
12.2.1.3 Zkouška rázem v ohybu	454

12.3 Mechanické zkoušky a mezní stavy materiálu 457

12.3.1 Zkoušení odolnosti materiálu z hlediska křehkého lomu	457
12.3.2 Zkoušení odolnosti materiálu z hlediska únavy	465
12.3.3 Zkoušení vlivu zvýšených teplot na mechanické vlastnosti materiálu	471

12.4 Technologické vlastnosti 474

12.4.1 Zkoušky slévárenských vlastností	474
12.4.1.1 Zkoušky zabíhavosti	474
12.4.1.2 Zkoušky smršťení	475
12.4.2 Zkoušky svařitelnosti	476
12.4.3 Zkoušky tvaritelnosti	478
12.4.3.1 Zkoušky tvaritelnosti za studena	478
12.4.3.2 Zkoušky tvaritelnosti za tepla	480
Literatura ke kapitole 12	481

13 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU A VÝROBKŮ 482

13.1 Úvod 482

13.1.1 Pojem vady a základní dělení vad	482
13.1.2 Přehled používaných metod kontroly	483

13.2 Vizuální kontrola 485

13.3 Kapilární (penetrační) zkoušky 484

13.4 Zkoušky magnetoinduktivní a elektroinduktivní (zkoušky elektromagnetické) 487

13.4.1 Metody rozptylových toků (rozptylových polí)	487
13.4.1.1 Rozptylový tok	487
13.4.1.2 Způsoby magnetizace polotovarů a výrobků při kontrole metodami rozptylových toků	489
13.4.1.3 Metoda magnetického prášku (metoda polévání)	490
13.4.1.4 Jiné způsoby indikací rozptylových toků	491
13.4.2 Metoda vířivých proudů	493

13.4.3 Metody strukturoskopické	493
13.4 Zkoušky ultrazvukem	494
13.4.1 Zdroje ultrazvuku	497
13.4.2 Metody ultrazvukové defektoskopie	499
13.5 Zkoušky pronikavým zářením (zkoušky radiologické)	502
13.5.1 Charakteristika záření	503
13.5.2 Interakce rentgenového a gama záření s látkou	506
13.5.3 Technika prozařování	507
13.5.4 Hodnocení výsledků prozařování	510
Literatura ke kapitole 13	511
REJSTŘÍK	513

13.1 Úvod	414
13.1.1 Pojem vad a základní dělení vad	416
13.1.2 Přehled používaných metod inspekce	418
13.2 Vizualizační kontrola	419
13.2.1 Vizualizační kontrola	421
13.3 Kapitulní (generační) zkoušky	422
13.3.1 Zkoušky magnetoindukční	423
13.3.2 Zkoušky elektromagnetické	425
13.3.3 Zkoušky indukční	426
13.3.4 Zkoušky rozptylové	427
13.3.5 Zkoušky rozptylové	428
13.3.6 Zkoušky rozptylové	429
13.3.7 Zkoušky rozptylové	430
13.3.8 Zkoušky rozptylové	431
13.3.9 Zkoušky rozptylové	432
13.3.10 Zkoušky rozptylové	433

5.2.4 Standardní podmínky	81
5.3 Termodynamická soustava	81
5.3.1 Definice a druhy termodynamických soustav	81
5.3.2 Složky termodynamické soustavy	82
5.3.3 Fáze termodynamické soustavy	82
5.3.3.1 Plynné fáze	83
5.3.3.2 Kapalná fáze	83
5.3.3.3 Tuhé (pevné) fáze	84
5.3.3.4 Existence a přeměna fází v závislosti na teplotě a tlaku	84
5.3.4 Fázové pravidlo	85
5.4 Termodynamický stav látky	87
5.4.1 Stav termodynamické rovnováhy a nerovnováhy	87
5.4.2 Stav stabilní, metastabilní a nestabilní	87
5.4.3 Stavové veličiny a stavové funkce	89
5.5 Termodynamický děj	90
5.5.1 Samovolný děj, nucený děj	90
5.5.2 Popis samovolného děje, děj nevratný a děj vratný	91
5.5.3 Význam a využití vratných dějů v termodynamice	92
5.5.3.1 Vratný a nevratný průběh fázové přeměny (krystalizace a tavení) čistého kovu	93
5.5.3.2 Vratný (rovnovážný) a nevratný (nerovnovážný) průběh krystalizace a tavení tuhého roztoku v binární soustavě	93
5.6 Nultá věta termodynamiky	95
5.7 První věta termodynamiky	96
5.7.1 Vnitřní energie	96
5.7.2 Entalpie	99
5.7.3 Tepelné kapacity kondenzovaných látek	100
5.7.3.1 Definice tepelné kapacity	100
5.7.3.2 Molární tepelná kapacita C_p pevných látek a její závislost na teplotě	102
5.7.3.2.1 Experimentálně zjištěné hodnoty	102
5.7.3.2.2 Výpočtové teorie	102
5.7.3.2.3 Další ovlivňující faktory	106
5.7.3.3 Molární tepelná kapacita C_p pevných látek a její závislost na teplotě, vztah mezi C_p a C_v	107
5.7.4 Termochemie	108
5.7.4.1 Reakční teplo při exotermických a endotermických přeměnách	108
5.7.4.2 Termochemické zákony	110
5.7.4.3 Reakční teplo fázové přeměny	111
5.7.4.4 Směšovací a rozpouštěcí teplo	113
5.7.4.5 Slučovací teplo	114
5.8 Druhá věta termodynamiky	114
5.8.1 Teplo a práce	114
5.8.1.1 Tepelný stroj a tepelná účinnost	115
5.8.1.2 Ideální tepelný stroj, Carnotův cyklus	116
5.8.1.3 Obecný vratný kruhový děj, entropie	117
5.8.1.4 Matematická formulace druhé věty termodynamické	119
5.8.2 Samovolnost termodynamických dějů	120
5.8.2.1 Změna entropie při nevratných a vratných termodynamických dějích	120
5.8.2.1.1 Změna entropie při vratném přenosu tepla mezi soustavou a jejím okolím	121

18	5.8.2.1.2 Změna entropie při nevratném (samovolném) přenosu tepla mezi soustavou a jejím okolím	122
18	5.8.2.2 Vnitřní energie, entropie a samovolné změny	124
18	5.8.2.3 Význam změny entropie při samovolných dějích; fyzikální význam entropie	124
58	5.8.2.4 Změna uspořádanosti a změna entropie při fázových přeměnách	125
58	5.8.3 Statistická podstata entropie – entropie jako míra pravděpodobnosti stavu soustavy	126
58	5.8.4 Helmholtzova energie F a Gibbsova energie G	129
58	5.8.5 Maximální práce a maximální neobjemová práce	131
58	5.9 Třetí věta termodynamiky	133
58	5.10 Spojené formulace první a druhé věty termodynamiky	134
58	5.10.1 Základní rovnice při neproměnném složení soustavy	134
58	5.10.2 Parciální derivace energetických stavových veličin U, H, F, G	135
58	5.11 Ukázky samovolných termodynamických dějů a změna Gibbsovy energie jako kritérium jejich uskutečnitelnosti	136
58	5.11.1 Závislost Gibbsovy energie jednoduchého systému na teplotě a tlaku	136
58	5.11.2 Změna Gibbsovy energie jako kritérium uskutečnitelnosti samovolných termodynamických dějů	137
58	5.11.2.1 Izobarické fázové přeměny čistých látek	138
58	5.11.2.2 Přibližný výpočet termodynamické hnací síly přeměny ΔG u čistých látek	140
58	5.11.2.3 Směšování složek při tvorbě tuhého roztoku	141
58	5.11.2.4 Průběh a rovnováha chemické reakce	143
58	5.11.2.5 Termodynamika vakancí	146
58	5.11.2.6 Termodynamika dislokací	148
58	5.11.2.7 Termodynamika rozhraní	149
58	5.12 Příklady ke kapitole 5	151
58	Příklad P 5.1 Znázornění obsahu složek ve slitinách	151
58	Příklad P 5.2 Vliv složek na vlastnosti soustavy	152
58	Příklad P 5.3 Znázornění fází v jednosložkové, dvusložkové a tříložkové soustavě	152
58	Příklad P 5.4 Gibbsův zákon fází	155
58	Příklad P 5.5 Fáze čisté železa a Gibbsův zákon fází	155
58	Příklad P 5.6 Samovolná expanze plynu	157
58	Příklad P 5.7 Význam a využití vratných dějů v termodynamice	158
58	Příklad P 5.8 Fázové přeměny čistých látek – vztah mezi teoretickou a skutečnou teplotou fázové přeměny a teplotou okolí	159
58	Příklad P 5.9 Izochorický děj [9]	161
58	Příklad P 5.10 Izobarický děj [9]	161
58	Příklad P 5.11 Vliv teploty na charakteristiky kmitavého pohybu atomů kolem jeho uzlové polohy v mřížce [8]	163
58	Příklad P 5.12 Výpočet délky vodorovné prodlevy na křivce krystalizace čisté látky	163
58	Příklad P 5.13 Výpočet prodlevy na křivce krystalizace tuhého roztoku	165
58	Příklad P 5.14 Vztah mezi reakčním teplem tavení a vypařování – Richardsovo a Pietetovo-Troutonovo pravidlo	167
58	Příklad P 5.15 Změna entropie při spontánním ochlazování soustavy odvodem tepla do okolí	168
58	Příklad P 5.16 Změna entropie při spontánním přenosu tepla z teplejší do chladnější soustavy [2]	168
58	Příklad P 5.17 Význam změny entropie při samovolných dějích	170
58	Příklad P 5.18 Změna entropie při nerovnovázném tuhnutí vody [7]	171
58	Příklad P 5.19 Růst entropie při nevratné krystalizaci čistého kovu [10]	171
58	Příklad P 5.20 Boltzmannův zákon – energetický stav krystalu [3]	173
58	Příklad P 5.21 Entropie jako míra neuspořádanosti soustavy [1,2]	175

Příklad P 5.22 Závislost Gibbsovy energie čisté látky na teplotě při konstantním tlaku [5]	176
Dodatek ke kapitole 5.8.3	177
Literatura ke kapitole 5	179
6 DIFUZE	180
6.1 Základní pojmy a význam	180
6.2 Mechanismy difuze	180
6.3 Atomová teorie difuze	182
6.3.1 Náhodné přeskoky a střední kvadratické přemístění atomů	183
6.3.2 Střední kvadratické přemístění a difuzní tok	185
6.3.3 Vliv teploty na rychlost difuze	187
6.3.4 Urychlení difuze mřížkovými poruchami	188
6.4 Fenomenologické pojetí difuze	191
6.4.1 První Fickův zákon	192
6.4.2 Druhý Fickův zákon	194
6.4.3 Stacionární a nestacionární difuze	197
6.4.4 Matematické řešení diferenciálních rovnic difuze; funkce chyby	198
6.4.5 Vybrané případy difuze a jejich řešení	200
6.4.5.1 Difuze prvku v polonekonečném prostředí ($0 < x < \infty$)	200
6.4.5.2 Difuze prvku v nekonečném prostředí ($-\infty < 0 < \infty$)	201
6.4.5.3 Vyrovnávání koncentrace při periodickém rozložení prvku	202
6.4.6 Difuzní toky složek a vakancí ve vícesložkové soustavě	204
6.4.6.1 Binární soustava	204
6.4.6.2 Ternární soustava	206
6.5 Příklady ke kapitole 6	208
Příklad P 6.1 Výpočet středního kvadratického přemístění atomů	208
Příklad P 6.2 Odhad řádu frekvence přeskoků atomů	209
Příklad P 6.3 Odhad hloubky difuzní vrstvy	209
Příklad P 6.4 Výpočet veličin D_0 a ΔH_d při samodifuzi berylia	210
Příklad P 6.5 Výpočet difuzního toku	211
Příklad P 6.6 Gradient termodynamické aktivity jako hybná síla difuze	212
Příklad P 6.7 Výpočet parametrů cementace	213
Příklad P 6.8 Výpočet parametrů oduhlíčení	214
Příklad P 6.9 Řešení difuzního článku	215
Příklad P 6.10 Výpočet parametrů homogenizace	216
Příklad P 6.11 Difuze bóru proti koncentračnímu spádu (up-hill) v soustavě Ni-Cr-B	217
Literatura ke kapitole 6	222
7 KRYSTALICKÁ STAVBA TUHÝCH ROZTOKŮ A INTERMEDIÁLNÍCH FÁZÍ V KOVOVÝCH A KERAMICKÝCH SOUSTAVÁCH	223
7.1 Tuhé roztoky	223

7.1.1 Substituční tuhé roztoky	224
7.1.1.1 Uspořádané substituční tuhé roztoky	224
7.1.1.2 Pravidla pro tvorbu substitučních tuhých roztoků	226
7.1.2 Intersticiální tuhé roztoky	226
7.2 Intermediální fáze	227
7.2.1 Elektrochemické sloučeniny	227
7.2.2 Sloučeniny určené velikostním faktorem	228
7.2.3 Elektronové sloučeniny	230
7.3 Fáze v keramických soustavách	231
7.3.1 Jednosložková keramika	231
7.3.2 Binární keramické struktury	232
7.3.3 Ternární keramické systémy	233
7.3.4 Karbidická a nitridická keramika	234
Literatura ke kapitole 7	234
8 ROVNOVÁHA FÁZÍ A ROVNOVÁŽNÉ DIAGRAMY ...	236
8.1 Úvod - souvislost rovnováhy fází a rovnovážných diagramů s termodynamikou	236
8.2 Interpretace rovnovážných diagramů	237
8.2.1 Křivky chladnutí a tuhnutí	237
8.2.2 Počet stupňů volnosti soustavy	239
8.2.3 Určení rovnovážného chemického složení a rovnovážného množství fází koexistujících při dané teplotě	240
8.2.3.1 Chemické složení koexistujících rovnovážných fází	240
8.2.3.2 Množství koexistujících rovnovážných fází	241
8.2.3.3 Rovnovážné chemické složení a rovnovážné množství koexistujících rovnovážných fází z hlediska zákona o zachování hmoty	242
8.2.4 Sauverovy diagramy	243
8.3 Základní binární rovnovážné diagramy	244
8.3.1 Popis základních rovnovážných diagramů	246
8.3.2 Fázové přeměny v základních rovnovážných diagramech při snižování teploty	246
8.3.2.1 Diagram s úplnou rozpustností (obr. 8.8a, obr. 8.9)	247
8.3.2.2 Diagram s úplnou nerozpustností a s eutektickou přeměnou (obr. 8.8d, obr. 8.10)	247
8.3.2.3 Diagram s částečnou rozpustností a eutektickou přeměnou (obr. 8.8e, obr. 8.11)	249
8.3.2.4 Diagram s částečnou rozpustností a peritektickou přeměnou (obr. 8.8f, obr. 8.12)	251
8.3.3 Tvar výsledných struktur v základních rovnovážných diagramech	252
8.3.4 Uplatnění základních rovnovážných diagramů u skutečných soustav	254
8.4 Binární rovnovážné diagramy se změnou rozpustnosti v tuhém stavu	256
8.4.1 Popis rovnovážných diagramů se změnou rozpustnosti	257

8.4.2 Fázové přeměny při klesající teplotě v diagramech se změnou rozpustnosti	257
8.4.2.1 Diagram s úplnou rozpustností při vyšších teplotách a s jejím poklesem v tuhém stavu při nižších teplotách (obr. 8.18a, obr. 8.19)	257
8.4.2.2 Diagram s eutektickou přeměnou a s oboustrannou částečnou klesající rozpustností (obr. 8.18b, obr. 8.20)	258
8.4.2.3 Diagram s peritektickou přeměnou a s oboustranným poklesem rozpustnosti (obr. 8.18c, obr. 8.21)	260
8.4.2.4 Diagramy s eutektickou nebo s peritektickou přeměnou a s oboustrannou vzrůstající rozpustností (obr. 8.18d,e, obr. 8.22, obr. 8.23)	262
8.4.3 Tvar výsledných struktur	263
8.4.4 Uplatnění obecných rovnovážných diagramů se změnou rozpustnosti u skutečných soustav	264
8.5 Binární rovnovážné diagramy s překrystalizací	264
8.5.1 Popis rovnovážných diagramů s překrystalizací	266
8.5.2 Fázové přeměny v rovnovážných diagramech s překrystalizací	267
8.5.2.1 Diagram s úplnou rozpustností a s úplnou překrystalizací tuhého roztoku b na tuhý roztok a v celém koncentračním rozsahu diagramu (obr. 8.26a)	267
8.5.2.2 Diagram s peritektickou přeměnou a s úplnou překrystalizací tuhého roztoku γ na tuhý roztok β (obr. 8.26b)	267
8.5.2.3 Rovnovážený diagram s otevřenou oblastí γ a s uzavřenou oblastí α (obr. 8.26c)	267
8.5.2.4 Rovnovážený diagram s otevřenou oblastí α a s uzavřenou oblastí γ (obr. 8.26d)	268
8.5.2.5 Rovnovážený diagram s úplnou vzájemnou rozpustností složek v tuhém stavu při vyšších teplotách, s eutektoidní přeměnou a s částečnou oboustrannou rozpustností, která se při poklesu teploty snižuje (obr. 8.26e)	268
8.5.2.6 Rovnovážený diagram s eutektickou a s eutektoidní přeměnou, s částečnou rozpustností B v A β a A α , s úplnou nerozpustností A v B (obr. 8.26f)	270
8.5.3 Tvar výsledných struktur v rovnovážných diagramech s překrystalizací	272
8.5.4 Uplatnění rovnovážných diagramů s překrystalizací u skutečných soustav	272
8.6 Binární rovnovážné diagramy s intermediární fází	273
8.6.1 Rovnovážné diagramy s intermediární fází kongruentního typu	273
8.6.1.1 Rovnovážený diagram s intermediární fází s neproměnným složením	273
8.6.1.2 Rovnovážený diagram s intermediární fází s proměnným složením	274
8.6.2 Rovnovážné diagramy s intermediární fází inkongruentního typu	275
8.7 Vícesložkové soustavy	275
8.7.1 Způsoby zobrazování tříložkových soustav	275
8.7.2 Krystalizace ternárních slitin	276
8.7.2.1 Soustava s dokonalou rozpustností složek v tuhém stavu	276
8.7.2.2 Soustava s úplnou nerozpustností složek v tuhém stavu	277
8.7.2.3 Soustavy s částečnou klesající rozpustností složek v tuhém stavu	278
8.7.3 Řezy ternárními diagramy	278
8.8 Vztah mezi rovnovážnými diagramy a vlastnostmi slitin	279
8.9 Sestrojování rovnovážných diagramů	280
8.10 Příklady ke kapitole 1 [1]	281
Příklad P 8.1 Soustava H ₂ O-NaCl	281

Příklad P 8.2	Soustava $H_2O-C_{12}H_{22}O_{11}$	282
Příklad P 8.3	Soustava Pb-Sn	282
Příklad P 8.4	Soustava Cu-Ni, vlastnosti	283
Příklad P 8.5	Soustava Cu-Ni	284
Příklad P 6.1	Výpočet středního kvadratického přemístění atomů	208
Příklad P 8.6	Srovnání eutektické, peritektické a eutektoidní přeměny	284
Literatura ke kapitole 8		285

9 FÁZOVÉ PŘEMĚNY 286

9.1 Termodynamika a kinetika fázových přeměn 286

9.2 Krystalizace kovů 287

9.2.1	Krystalizace čistých kovů	288
9.2.1.1	Homogenní nukleace	288
9.2.1.2	Heterogenní nukleace	290
9.2.1.3	Růst krystalů	292
9.2.1.4	Možnosti ovlivňování krystalizace	295

9.3 Fázové přeměny v tuhém stavu 295

9.3.1	Fázové přeměny s tepelně aktivovaným růstem	295
9.3.1.1	Polymorfni přeměny kovů	297
9.3.1.2	Rozpad přesycených tuhých roztoků	298
9.3.1.3	Eutektoidní a bainitické transformace	300
9.3.1.3.1	Eutektoidní transformace	301
9.3.1.3.2	Bainitická transformace	303
9.3.1.3.3	Martenzitická transformace	305

9.4 Metody identifikace fází a studia fázových přeměn 309

9.4.1	Metody studia chemického složení kovových a keramických soustav	310
9.4.1.1	Analýza založená na chemické reakci studované látky (klasická chemická analýza)	310
9.4.1.2	Elektrochemické analytické metody	310
9.4.1.3	Optické metody chemické analýzy	310
9.4.1.3.1	Elektromagnetické záření	310
9.4.1.3.2	Rozdělení spektrálních metod	312
9.4.2.1.1	Rentgenová difrakce	317
9.4.2.1.2	Metody rentgenové difraktografie	317
9.4.2	Metody identifikace fází	315
9.4.2.1	Rentgenová fázová (strukturní) analýza	315
9.4.2.2.1	Rentgenová difrakce	317
9.4.2.2.2	Metody rentgenové difraktografie	317
9.4.3	Metody studia fázových přeměn	321
9.4.3.1	Tepelná analýza	322
9.4.3.2	Dilatometrická analýza	323
9.4.3.3	Magnetické a elektrické metody	324
9.4.3.3.1	Magnetometrie	325
9.4.3.3.2	Rezistometrie	325
Literatura ke kapitole 9		326

10 DEFORMAČNÍ A LOMOVÉ CHOVÁNÍ MATERIÁLU, REKRYSALIZACE 328

10.1 Napětí	328
10.2 Deformace	331
10.2.1 Elastická deformace	331
10.2.2 Anelastická deformace	334
10.2.3 Plastická deformace	336
10.2.3.1 Plastická deformace monokrystalu - orientační faktor, kritické skluzové napětí	338
10.2.3.2 Krystalová struktura a plastická deformace	339
10.2.3.2.1 Kovová vazba	339
10.2.3.2.2 Kovalentní a iontová vazba	344
10.2.4 Plastická deformace polykrystalů	344
10.3 Zotavení a rekrystalizace	347
10.4 Rozvoj porušení a lom	348
10.4.1 Energetické kritérium nestabilního lomu	348
10.4.1.1 Nestabilní lom pásu za podmínky konstantního přemístění	349
10.4.1.2 Nestabilní lom pásu za podmínky konstantního zatížení	351
10.4.2 Podmínky vzniku nestabilního lomu	351
10.4.3 Volba materiálu a lomová houževnatost	353
10.4.4 Mechanismy porušování	356
10.4.4.1 Tvárné porušení	356
10.4.4.2 Štěpné porušení	358
10.4.4.3 Křehkost slitin	360
10.4.4.4 Časově závislý růst trhliny	360
10.4.4.4.1 Vznik a růst trhlín způsobený cyklickým zatěžováním	360
10.4.4.4.2 Růst trhlín vlivem korozního prostředí	362
Příklady ke kapitole 10	364
Příklad 10.1	364
Příklad 10.2	364
Příklad 10.3	366
Příklad 10.5	366
Příklad 10.6	367
Literatura ke kapitole 10	369

11 STUDIUM STRUKTURY KOVOVÝCH A KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ 371

11.1 Světelná mikroskopie	371
11.1.1 Faktory charakterizující metodiku světelné mikroskopie	372
11.1.2 Optické metody zviditelnění struktury	374
11.1.2.1 Světlé pole	375
11.1.2.2 Tmavé pole	377
11.1.2.3 Polarizované světlo	377
11.1.2.4 Fázový kontrast a interferenční mikroskopie	377
11.1.3 Příprava metalografických preparátů	378
11.1.3.1 Odběr vzorku	378

11.1.3.2 Označování vzorků	379
11.1.3.3 Hrubé broušení	379
11.1.3.4 Preparování vzorků	379
11.1.3.5 Broušení	379
11.1.3.6 Leštění	380
11.1.3.7 Vyvolání struktury	382
11.1.4 Příprava preparátů z keramických materiálů	384
11.1.4.1 Řezání	384
11.1.4.2 Broušení	385
11.1.4.3 Leštění	385
11.1.4.4 Vyvolání struktury	385
11.1.5 Aplikované metody speciální metalografie	387
11.1.5.1 Teplotní mikroskopie	387
11.1.5.2 Nedestruktivní metalografie	388
11.1.5.3 Měření mikrotvrdosti	388
11.1.6 Kvantitativní metalografie	389
11.1.6.1 Srovnávací metody	388
11.1.6.2 Měřicí metody	389

11.2 Elektronová mikroskopie 392

11.2.1 Elektronové záření, interakce elektronů s látkou	393
11.2.2 Transmisní elektronová mikroskopie	395
11.2.2.1 Elektronový mikroskop	395
11.2.2.2 Preparáty pro transmisní elektronovou mikroskopii	399
11.2.2.3 Vznik kontrastu	400
11.2.2.4 Příprava preparátů pro transmisní elektronovou mikroskopii	401
11.2.3 Elektronová difrakce	402
11.2.4 Rastrovací elektronová mikroskopie	404
11.2.5 Aplikace metod transmisní a rastrovací elektronové mikroskopie	408
11.2.5.1 Chemická analýza v elektronové mikroskopii	408
11.2.5.2 Fraktografie	411
Literatura ke kapitole 11	413

11a OBRAZOVÉ PŘÍLOHY KA KAPITOLE 11

MP 1 Leptání na makrostrukturu	414
MP 2 Leptání na hranice zrn	415
MP 3 Plošné leptání	416
MP 4 Struktura eutektoidu	417
MP 5 Projevy plastické deformace (deformace skluzem)	418
MP 6 Projevy plastické deformace (dvojitěnění)	419
MP 7 Čistota materiálu	420
MP 8 Grafitické litiny	421
MP 8 Grafitické litiny - pokračování	422
MP 9 Zobrazení struktury technického hliníku (různé mikroskopické techniky)	423
MP 10 Struktura keramiky	424
MP 11 Měření mikrotvrdosti	425
MP 12 Kvantitativní metalografie	426
MP 13 Transmisní elektronová mikroskopie (metoda replik)	427
MP 14 Transmisní elektronová mikroskopie (metoda tenkých fólií)	428
MP 15 Rastrovací elektronová mikroskopie (mikrofraktografie)	429
MP 15 Rastrovací elektronová mikroskopie (mikrofraktografie) – pokračování	430
MP 16 Rastrovací elektronová mikroskopie (únarový lom)	431
MP 17 Rastrovací elektronová mikroskopie (chemická mikroanalýza)	432
MP 18 Elektronová difrakografie	433