

**ÚVOD, 9****1 KRYSTALOVÁ STRUKTURA, 11****1.1 Stavba hmoty, 11**

- 1.1.1 Atomy a molekuly, 11
- 1.1.2 Mendělejevova periodická tabulka prvků, 12
- 1.1.3 Hmotnosti, 13
- 1.1.4 Prvky a jejich atomové parametry, 15
- 1.1.5 Vazby mezi atomy, 17

**1.2 Základy krystalografie, 18**

- 1.2.1 Krystalová buňka, 18
- 1.2.2 Krystal, 23
- 1.2.3 Polykrystalická struktura, 23
- 1.2.4 Značení indexů bodů, směrů a rovin v krystalických látkách, 24
  - 1.2.4.1 Indexy bodů, 24
  - 1.2.4.2 Indexy směrů, 24
  - 1.2.4.3 Indexy rovin, 25
- 1.2.5 Poruchy krystalové struktury, 27
  - 1.2.5.1 Bodové poruchy, 28
  - 1.2.5.2 Čárové poruchy, 28
  - 1.2.5.3 Plošné a prostorové poruchy, 31

**1.3 Deformace struktury, 32**

- 1.3.1 Pružná deformace, 32
- 1.3.2 Plastická deformace, 34
  - 1.3.2.1 Plastická deformace kluzem, 34
  - 1.3.2.2 Plastická deformace dvojčatěním, 37
  - 1.3.2.3 Krystalografická textura, 38
- 1.3.3 Zpevnění struktury trvalou deformací zastudena, 39
- 1.3.4 Velikost deformace, 40
  - 1.3.4.1 Poměrná deformace, 40
  - 1.3.4.2 Skutečná deformace, 41
  - 1.3.4.3 Vztahy mezi poměrnou a logaritmickou deformací, 41

**2 ZÁKLADY TERMODYNAMIKY KOVŮ A JEJICH SLITIN, 43****2.1 Termodynamická soustava, 43****2.2 Fáze, 43**

- 2.2.1 Tekutá fáze, 44
- 2.2.2 Pevná fáze, 44
- 2.2.3 Tuhý roztok, 45
  - 2.2.3.1 Substituční tuhý roztok, 45
  - 2.2.3.2 Intersticiální tuhý roztok, 46
- 2.2.3 Zpevnění kovů přísadovými prvky, 46
- 2.2.4 Fázová přeměna, 47

**2.3 Termodynamická rovnováha, 47**

- 2.3.1 Volná a aktivční energie, 47
- 2.3.2 Difúze, 48

**2.4 Krystalizace kovů a jejich slitin, 50**

- 2.4.1 Průběh krystalizace, 50
  - 2.4.1.1 Nukleace, 50
  - 2.4.1.2 Růst krystalů, 51
  - 2.4.1.3 Krystalizace kovů, 54
  - 2.4.1.4 Krystalizace slitin, 54
  - 2.4.1.7 Objemové změny při krystalizaci, 55

**2.5 Rovnováha fází v jednosložkové soustavě, 55**

### 3 ROVNOVÁŽNÉ BINÁRNÍ DIAGRAMY, 56

- 3.1 Použití binárních diagramů, 56
  - 3.1.1 Popis obecného binárního diagramu, 56
  - 3.1.2 Vztah mezi atomovými a hmotnostními procenty, 57
    - 3.1.2.1 Výpočet atomových procent, 87
    - 3.1.2.2 Výpočet hmotnostních procent, 58
  - 3.1.3 Určování množství a chemického složení fází, 58
  - 3.1.4 Gibbsův zákon fází, 59
- 3.2 Soustava s neomezenou rozpustností v tekutém i tuhém stavu, 60
  - 3.2.1 Rovnovážná krystalizace, 60
  - 3.2.2 Nerovnovážná krystalizace, 63
  - 3.2.3 Kongruentní krystalizace, 64
- 3.3 Soustavy s úplnou rozpustností v tekutém a částečnou rozpustností v tuhém stavu, 64
  - 3.3.1 Soustava s eutektickou přeměnou, 65
    - 3.3.1.1 Popis diagramu, 65
    - 3.3.1.2 Eutektická přeměna slitiny o eutektickém složení, 66
    - 3.3.1.3 Podeutektické slitiny, které prošly eutektickou přeměnou, 67
    - 3.3.1.4 Nadeutektické slitiny, které prošly eutektickou přeměnou, 68
    - 3.3.1.5 Určování chemického složení a množství struktury pomocí eutektika, 69
    - 3.3.1.6 Slitiny, které neprošly eutektickou přeměnou, 69
    - 3.3.1.7 Nerovnovážná krystalizace, 70
  - 3.3.2 Soustava s eutektoidní přeměnou, 71
    - 3.3.2.1 Popis diagramu, 71
    - 3.3.2.2 Eutektoidní přeměna slitiny o eutektoidním složení, 72
    - 3.3.2.3 Podeutektoidní slitiny, které prošly eutektoidní přeměnou, 73
    - 3.3.2.4 Nadeutektoidní slitiny, které prošly eutektoidní přeměnou, 73
    - 3.3.2.5 Slitiny, které neprošly eutektoidní přeměnou, 73
  - 3.3.3 Soustava s peritektickou přeměnou, 74
    - 3.3.3.1 Popis diagramu, 74
    - 3.3.3.2 Peritektická přeměna slitiny o peritektickém složení, 75
    - 3.3.3.3 Peritektická přeměna slitiny s přebytkem krystalů oproti tavenině, 76
    - 3.3.3.4 Peritektická přeměna slitiny s přebytkem taveniny oproti krystalům, 77
    - 3.3.3.5 Slitiny, které neprošly peritektickou přeměnou, 77
  - 3.3.4 Soustava s peritektoidní přeměnou, 77
    - 3.3.4.1 Popis diagramu, 77
    - 3.3.4.2 Peritektoidní přeměna slitiny o peritektoidním složení, 78
    - 3.3.4.3 Peritektoidní přeměna slitiny s přebytkem krystalů  $\alpha$  oproti krystalům  $\gamma$ , 78
    - 3.3.4.4 Peritektoidní přeměna slitiny s přebytkem krystalů  $\gamma$  oproti krystalům  $\alpha$ , 79
    - 3.3.4.5 Slitiny, které neprošly peritektoidní přeměnou, 79
  - 3.3.5 Soustava s metatektickou přeměnou, 80
- 3.4 Soustavy s částečnou rozpustností v tekutém i tuhém stavu, 80
  - 3.4.1 Soustava s monotektickou přeměnou, 80
  - 3.4.2 Soustava s monotektoidní přeměnou, 82
  - 3.4.3 Soustava se syntetickou přeměnou, 82
- 3.5 Vliv změny rozpustnosti v tuhém stavu na strukturu při ochlazení, 83
- 3.6 Intermediální fáze, 84

### 4 SLITINY ŽELEZA S UHLÍKEM, 86

- 4.1 Železo, 86
  - 4.1.1 Fyzikální vlastnosti železa, 86
  - 4.1.2 Modifikace železa, 86
- 4.2 Uhlík, 87
  - 4.2.1 Grafit, 88
  - 4.2.2 Karbid železa, 88
  - 4.2.3 Tuhé roztoky uhlíku v železe, 89
- 4.3 Rozdělení slitin železa s uhlíkem, 89
  - 4.3.1 Oceli, 90
  - 4.3.2 Litiny, 90
- 4.4 Objemové změny oceli a litin, 91

## 5 METASTABILNÍ SOUSTAVA $Fe-Fe_3C$ , 92

- 5.1 Rovnovážný diagram  $Fe-Fe_3C$ , 92
  - 5.1.1 Popis diagramu  $Fe-Fe_3C$ , 92
  - 5.1.2 Fáze v diagramu  $Fe-Fe_3C$ , 94
  - 5.1.3 Směsi fází v diagramu  $Fe_3C$ , 94
- 5.2 Ochlazování ocelí v diagramu  $Fe-Fe_3C$ , 95
  - 5.2.1 Ochlazování eutektoidní oceli, 95
  - 5.2.2 Ochlazování nadeutektoidních ocelí, 96
  - 5.2.3 Ochlazování podeutektoidních ocelí, 97
    - 5.2.3.1 Ochlazování podeutektoidních ocelí, které prošly peritektickou přeměnou, 98
    - 5.2.3.2 Ochlazování podeutektoidních ocelí, které neprošly peritektickou přeměnou, 99
- 5.3 Ochlazování bílých litin, 99
  - 5.3.1 Ochlazování eutektické bílé litiny, 99
  - 5.3.2 Ochlazování nadeutektických bílých litin, 100
  - 5.3.3 Ochlazování podeutektických bílých litin, 101
- 5.4 Grafitzace ocelí, 101
- 5.5 Vliv legujících prvků, 102
  - 5.5.1 Vliv prvků na termodynamickou stabilitu feritu a austenitu, 103
  - 5.5.2 Vliv prvků na mechanické a fyzikální vlastnosti feritu a austenitu, 104
  - 5.5.3 Vliv legujících prvků na diagram  $Fe-Fe_3C$ , 104

## 6 STABILNÍ SOUSTAVA $Fe-C$ , 105

- 6.1 Rovnovážný diagram  $Fe-C$ , 105
- 6.2 Ochlazování grafitických litin, 106
  - 6.2.1 Ochlazování eutektické grafitické litiny, 106
  - 6.2.2 Ochlazování nadeutektických grafitických litin, 107
  - 6.2.3 Ochlazování podeutektických grafitických litin, 107
- 6.3 Hodnocení grafitu, 102
  - 6.3.1 Hodnocení tvaru grafitu, 107
  - 6.3.2 Hodnocení velikosti grafitu, 109
  - 6.3.3 Hodnocení rozložení grafitu, 109
  - 6.3.4 Grafitizační očkování a modifikace grafitu, 110
- 6.4 Pseudobinární diagram  $Fe-C-Si$ , 111
- 6.5 Základní kovová hmota (matrice) v grafitických litinách, 112
- 6.6 Srovnání soustavy  $Fe-C$  s  $Fe-Fe_3C$ , 113

## 7 ROZPADY TUHÝCH ROZTOKŮ, 114

- 7.1 Rozpady austenitu u ocelí, 114
  - 7.1.1 Přeměny při rozpadu austenitu, 114
    - 7.1.1.1 Proeutektoidní přeměny, 114
    - 7.1.1.2 Perlitická přeměna, 115
    - 7.1.1.3 Bainitická přeměna, 117
    - 7.1.1.4 Martenzitická přeměna, 118
    - 7.1.1.5 Objemové změny při strukturálních přeměnách, 121
  - 7.1.2 Diagramy rozpadu austenitu, 122
    - 7.1.2.1 Diagramy izotermického rozpadu austenitu, 122
    - 7.1.2.2 Diagramy anizotermického rozpadu austenitu, 122
    - 7.1.2.3 Vytváření diagramů  $IRA$  a  $ARA$ , 122
    - 7.1.2.4 Diagramy  $IRA$  a  $ARA$  podeutektoidních ocelí, 124
    - 7.1.2.5 Diagramy  $IRA$  a  $ARA$  nadeutektoidních ocelí, 124
    - 7.1.2.6 Teploty  $M_s$  a  $M_f$ , 125
    - 7.1.2.7 Zbytkový austenit, 126
    - 7.1.2.8 Srovnání diagramů  $IRA$  a  $ARA$ , 127
    - 7.1.2.9 Vliv přídavných prvků na velikost kritické rychlosti, 128
    - 7.1.2.10 Reálné diagramy  $ARA$ , 129

- 8.1 Cyklus tepelného zpracování, 136
  - 8.1.1 Ohřev a výdrž, 136
  - 8.1.2 Ochlazování, 138
- 8.2 Žhání ocelí, 138
  - 8.2.1 Rekrystalizační žhání, 140
    - 8.2.1.1 Rekrystalizační teplota, 140
    - 8.2.1.2 Mechanismus odpevňování, 141
    - 8.2.1.3 Vlivy působící na statickou rekrystalizaci, 143
    - 8.2.1.4 Rekrystalizační textury, 144
  - 8.2.2 Žhání na odstranění prnutí, 145
  - 8.2.3 Protivločkové žhání, 145
  - 8.2.4 Žhání na odstranění vodíku, 145
  - 8.2.5 Žhání naměkko, 146
  - 8.2.6 Normalizační žhání, 146
  - 8.2.7 Žhání na zhrubnutí zrna, 147
  - 8.2.8 Izotermické žhání, 147
  - 8.2.9 Homogenizační (difúzní) žhání, 148
  - 8.2.10 Termomechanické tváření, 148
- 8.3 Žhání litin, 149
  - 8.3.1 Žhání bílých litin - vznik temperovaných litin, 149
  - 8.3.2 Žhání grafitických litin, 150
  - 8.3.3 Žhání tvrzených litin, 151
- 8.4 Kalení ocelí, 151
  - 8.4.1 Kalicí podmínky, 151
    - 8.4.1.1 Struktury před kalením, 151
    - 8.4.1.2 Kalicí teplota, 151
    - 8.4.1.3 Výdrž na kalicí teplotě, 152
    - 8.4.1.4 Kalicí prostředí, 152
  - 8.4.2 Kalitelnost ocelí, 154
    - 8.4.2.1 Zakalitelnost, 154
    - 8.4.2.2 Prokalitelnost, 155
  - 8.4.3 Kalení na martenzit, 157
    - 8.4.3.1 Přímé kalení, 158
    - 8.4.3.2 Lomené kalení, 159
    - 8.4.3.3 Termální kalení, 159
    - 8.4.3.4 Termomechanické kalení, 160
    - 8.4.3.5 Dílčí kalení na martenzit, 160
  - 8.4.4 Kalení na bainit, 161
- 8.5 Popouštění martenzitu, 161
  - 8.5.1 Průběh popouštění, 161
    - 8.5.1.1 Nízkoteplotní popouštění, 165
    - 8.5.1.2 Vysokoteplotní popouštění, 165,
  - 8.5.2 Popouštěcí křehkost, 166
    - 8.5.2.1 Vysokoteplotní popouštěcí křehkost, 166
    - 8.5.2.2 Nízkoteplotní popouštěcí křehkost, 167
- 8.6 Kalení a popouštění litin, 167
  - 8.6.1 Kalení bílých litin, 167,
  - 8.6.2 Kalení grafitických litin, 167
- 8.7 Chemicko-tepelné zpracování ocelí, 168
  - 8.7.1 Cementování, 168
  - 8.7.2 Nitridování, 170
  - 8.7.3 Nitrocementování a karbonitridování, 171
  - 8.7.4 Sulfonitridování, 171
  - 8.7.5 Ochrana povrchu proti korozi a žáru, 171

Rejstřík, 172

Literatura, 177