

# OBSAH

## 1 KRYSTALOVÁ STRUKTURA /9

- 1.1 Stavba hmoty /9
  - 1.1.1 Atomy a molekuly /11
  - 1.1.2 Mendělejevova periodická tabulka prvků /11
  - 1.1.3 Hmotnosti fyzikálních částic /11
  - 1.1.4 Vazby mezi atomy /13
  - 1.1.5 Prvky a jejich atomové parametry /15
- 1.2 Základy krystalografie /17
  - 1.2.1 Krystalová buňka /17
  - 1.2.2 Krystal /22
  - 1.2.3 Polykrystalická struktura /22
  - 1.2.4 Značení indexů bodů, směrů a rovin v krystalických látkách /22
    - 1.2.4.1 Indexy bodů /23
    - 1.2.4.2 Indexy směrů /23
    - 1.2.4.3 Indexy rovin /23
  - 1.2.5 Poruchy krystalové struktury /26
    - 1.2.5.1 Bodové poruchy /26
    - 1.2.5.2 Čárové poruchy /26
    - 1.2.5.3 Plošné a prostorové poruchy /29
- 1.3 Deformace struktury /29
  - 1.3.1 Pružná deformace /30
  - 1.3.2 Plastická deformace /30
    - 1.3.2.1 Plastická deformace kluzem /30
    - 1.3.2.2 Plastická deformace dvojčatěním /33
    - 1.3.2.3 Krystalografická textura /34
  - 1.3.3 Zpevnění struktury trvalou deformací zastudena /35
  - 1.3.4 Velikost deformace /36
    - 1.3.4.1 Poměrná deformace /36
    - 1.3.4.2 Skutečná deformace /37

## 2 ZÁKLADY TERMODYNAMIKY KOVŮ A JEJICH SLITIN /39

- 2.1 Termodynamická soustava /39
- 2.2 Fáze /39
  - 2.2.1 Technicky čistý prvek /40
  - 2.2.2 Chemická sloučenina /40
  - 2.2.3 Tuhý roztok /41
    - 2.2.3.1 Substituční tuhý roztok /41
    - 2.2.3.2 Intersticiální tuhý roztok /42
  - 2.2.4 Zpevňování kovů přísadovými prvky /42
- 2.3 Termodynamická rovnováha /42
  - 2.3.1 Volná a aktivační energie /43
  - 2.3.2 Difúze /44
- 2.4 Krystalizace kovů a jejich slitin /45
  - 2.4.1 Nukleace /45
  - 2.4.2 Růst krystalů /43
  - 2.4.3 Hranice krystalů /47
  - 2.4.4 Licí struktura /48
  - 2.4.5 Průběh ochlazování a ohřevu tekuté a pevné fáze /50
- 2.5 Tepelná rovnováha fází jednosložkové soustavy /51

## 3 ROVNOVÁŽNÉ BINÁRNÍ DIAGRAMY /52

- 3.1 Použití binárních diagramů /52
  - 3.1.1 Gibbsův zákon fází /52
  - 3.1.2 Popis obecného binárního diagramu /54

- 3.1.3 Vztah mezi atomovými a hmotnostními procenty /54
  - 3.1.3.1 Výpočet atomových procent /54
  - 3.1.3.2 Výpočet hmotnostních procent /55
- 3.1.4 Určování množství a chemického složení fází /55
- 3.2 Soustava s neomezenou rozpustností v tekutém i tuhém stavu /56
  - 3.2.1 Rovnovážná krystalizace /56
  - 3.2.2 Nerovnovážná krystalizace /59
- 3.3 Soustavy s úplnou rozpustností v tekutém a částečnou rozpustností v tuhém stavu/60
  - 3.3.1 Soustava s eutektickou přeměnou /60
    - 3.3.1.1 Popis diagramu /60
    - 3.3.1.2 Eutektická přeměna slitiny o eutektickém složení /61
    - 3.3.1.3 Eutektická přeměna slitin o jiném než eutektickém složení /63
    - 3.3.1.4 Určování chemického složení a množství struktury pomocí jedné fáze a eutektika /65
    - 3.3.1.5 Slitiny, které neprošly eutektickou přeměnou /65
    - 3.3.1.6 Nerovnovážná krystalizace slitin s eutektickou přeměnou /66
  - 3.3.2 Soustava s eutektoidní přeměnou /67
    - 3.3.2.1 Popis diagramu /67
    - 3.3.2.2 Eutektoidní přeměna slitiny o eutektoidním složení /67
    - 3.3.2.3 Eutektoidní přeměna slitin o jiném než eutektoidním složení /68
    - 3.3.2.4 Slitiny, které neprošly eutektoidní přeměnou /69
  - 3.3.3 Soustava s peritektickou přeměnou /69
    - 3.3.3.1 Popis diagramu /69
    - 3.3.3.2 Peritektická přeměna slitiny o peritektickém složení /70
    - 3.3.3.3 Peritektická přeměna slitin o jiném než peritektickém složení /71
    - 3.3.3.4 Slitiny, které neprošly peritektickou přeměnou /72
  - 3.3.4 Soustava s peritektoidní přeměnou /73
    - 3.3.4.1 Popis diagramu /73
    - 3.3.4.2 Peritektoidní přeměna slitiny o peritektoidním složení /73
    - 3.3.4.3 Peritektoidní přeměna slitin o jiném než peritektoidním složení /74
    - 3.3.4.4 Slitiny, které neprošly peritektoidní přeměnou /75
  - 3.3.5 Soustava s metatektickou přeměnou /75
- 3.4 Soustavy s částečnou rozpustností v tekutém i tuhém stav /76
  - 3.4.1 Soustava s monotektickou přeměnou /76
  - 3.4.2 Soustava s monotektoidní přeměnou /77
  - 3.4.3 Soustava se syntetickou přeměnou /77
- 3.5 Vliv změny rozpustnosti v tuhém stavu na strukturu při ochlazování /78
- 3.6 Intermetalické fáze /79
- 3.7 Reálný binární diagram /81

## 4 SLITINY ŽELEZA /82

- 4.1 Železo /82
  - 4.1.1 Fyzikální vlastnosti železa /82
  - 4.1.2 Modifikace železa /82
- 4.2 Slitiny železa /83
  - 4.2.1 Slitiny železa s uhlíkem /83
    - 4.2.1.1 Uhlík /83
    - 4.2.1.2 Grafit /84
    - 4.2.1.3 Karbid železa /84
    - 4.2.1.4 Tuhé roztoky uhlíku v železe /84
  - 4.2.2 Slitiny železa s ostatními prvky /85
  - 4.2.3 Rozdělení slitin železa /85
- 4.3 Metastabilní soustava Fe-Fe<sub>3</sub>C /86
  - 4.3.1 Rovnovážný diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C /86
    - 4.3.1.1 Popis diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C /87
    - 4.3.1.2 Fáze v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C /88
    - 4.3.1.3 Směsi fází v diagramu Fe<sub>3</sub>C /89
    - 4.3.1.4 Vliv prvků na termodynamickou stabilitu feritu a austenitu /89
    - 4.3.1.5 Vliv prvků na mechanické a fyzikální vlastnosti feritu a austenitu /91

- 4.3.2 Krystalizace a ochlazování oceli v diagramu  $Fe-Fe_3C$  /91
  - 4.3.2.1 Krystalizace a ochlazování eutektoidní oceli /91
  - 4.3.2.2 Krystalizace a ochlazování nadeutektoidních oceli /92
  - 4.3.2.3 Krystalizace a ochlazování podeutektoidních oceli /93
- 4.3.3 Krystalizace a ochlazování karbidických litin v diagramu  $Fe-Fe_3C$  /94
  - 4.3.3.1 Krystalizace a ochlazování eutektické karbidické litiny /94
  - 4.3.3.2 Krystalizace a ochlazování nadeutektických karbidických litin /95
  - 4.3.3.3 Krystalizace a ochlazování podeutektických karbidických litin /96
- 4.4 Stabilní soustava  $Fe-C$  /97
  - 4.4.1 Rovnovážný diagram  $Fe-C$  /97
  - 4.4.2 Krystalizace a ochlazování grafitických litin /98
    - 4.4.2.1 Krystalizace a ochlazování eutektické grafitické litiny /98
    - 4.4.2.2 Krystalizace a ochlazování nadeutektických grafitických litin /99
    - 4.4.2.3 Krystalizace a ochlazování podeutektických grafitických litin /99
  - 4.4.3 Grafitizace oceli /100
- 4.5 Porovnání soustavy  $Fe-C$  s  $Fe-Fe_3C$  /100
- 4.6 Litiny /102
  - 4.6.1 Ovlivňování krystalizace litin /102
    - 4.6.1.1 Vliv chemického složení na krystalizaci litin /102
    - 4.6.1.2 Vliv rychlosti ochlazování na krystalizaci litin /103
  - 4.6.2 Karbidické litiny /103
  - 4.6.3 Grafitické litiny /104
    - 4.6.3.1 Druhy grafitických litin /104
    - 4.6.3.2 Grafitizační očkování a modifikace grafitu /106
    - 4.6.3.3 Pseudobinární diagram  $Fe-C-Si$  /107
  - 4.6.4 Charakteristické vlastnosti grafitických litin /108
    - 4.6.4.1 Základní kovová hmota (matrice) v grafitických litinách /108
    - 4.6.4.2 Charakteristické vlastnosti grafitických litin s listkovým grafitem /109
    - 4.6.4.3 Charakteristické vlastnosti grafitických litin s kuličkovým grafitem /109
    - 4.6.4.4 Charakteristické vlastnosti grafitických litin s červíkovým grafitem /110
  - 4.6.5 Tvrzené litiny /110
- 4.7 Objemové změny oceli a litin /110

## 5 ROZPADY TUHÝCH ROZTOKŮ /111

- 5.1 Rozpad austenitu u oceli /111
  - 5.1.1 Rozpad austenitu při konstantní teplotě /111
  - 5.1.2 Rozpad austenitu při klesající teplotě /112
  - 5.1.3 Struktury vzniklé rozpadem austenitu /114
    - 5.1.3.1 Perlitická přeměna /114
    - 5.1.3.2 Bainitická přeměna /115
    - 5.1.3.3 Martenzitická přeměna /116
  - 5.1.4 Diagramy IRA a ARA podeutektoidních a nadeutektoidních oceli /119
    - 5.1.4.1 Podeutektoidní oceli /119
    - 5.1.4.2 Nadeutektoidní oceli /120
    - 5.1.4.3 Porovnání diagramů IRA a ARA /120
  - 5.1.5 Teploty  $M_s$  a  $M_f$  /121
  - 5.1.6 Zbytkový austenit /122
  - 5.1.7 Vliv legur na velikost kritické rychlosti ochlazování /123
  - 5.1.8 Objemové změny při strukturních přeměnách /124
- 5.2 Rozpad přesyceného tuhého roztoku /124
  - 5.2.1 Segregace /124
  - 5.2.2 Precipitace /125
    - 5.2.2.1 Vznik přesyceného tuhého roztoku /125
    - 5.2.2.2 Průběh precipitace /126
    - 5.2.2.3 Změny vlastností v průběhu precipitace /128
    - 5.2.2.4 Stárnutí oceli po tepelném zpracování /129
    - 5.2.2.5 Stárnutí oceli po trvalé deformaci zastudena (deformační stárnutí) /130
    - 5.2.2.6 Oddálení počátku stárnutí oceli /131

## 6 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ OCELÍ A LITIN /132

- 6.1 Žihání ocelí /132
  - 6.1.1 Rekrytalizační žihání /133
    - 6.1.1.1 Rekrytalizační teplota /133
    - 6.1.1.2 Mechanismus odpevňování /134
    - 6.1.1.3 Vlivy působící na statickou rekrytalizaci /138
    - 6.1.1.4 Deformace zastudena a zatepla /139
    - 6.1.1.5 Teplota rekrytalizačního žihání /139
    - 6.1.1.6 Rekrytalizační krystalografické textury /140
  - 6.1.2 Žihání na odstranění vnitřního pnutí /140
  - 6.1.3 Žihání na odstranění vodíku /140
    - 6.1.3.1 Protivločkové žihání /140
    - 6.1.3.2 Žihání na odstranění vodíku po chemických reakcích /141
  - 6.1.4 Žihání naměkko /141
  - 6.1.5 Normalizační žihání /142
  - 6.1.6 Žihání na zhrubnutí zrna /142
  - 6.1.7 Izotermické žihání /143
  - 6.1.8 Rozpouštěcí žihání /144
  - 6.1.9 Homogenizační (difúzní) žihání /144
- 6.2 Žihání grafitických litin /144
- 6.3 Kalení a popouštění ocelí /145
  - 6.3.1 Struktury před kalením /145
  - 6.3.2 Kalicí teplota /145
  - 6.3.3 Výdrž na kalicí teplotě /146
  - 6.3.4 Kalicí prostředí /147
  - 6.3.5 Baitické kalení /147
  - 6.3.6 Martenzitické kalení /147
    - 6.3.6.1 Ochlazovací rychlost /147
    - 6.3.6.2 Druhy martenzitického kalení /148
    - 6.3.6.3 Zakalitelnost /151
    - 6.3.6.4 Prokalitelnost /152
    - 6.3.6.5 Vnitřní pnutí po kalení /154
- 6.4 Popouštění martenzitu /155
  - 6.4.1 Nizkoteplotní popouštění /155
  - 6.4.2 Vysokoteplotní popouštění /157
  - 6.4.3 Popouštěcí křehkost /159
    - 6.4.3.1 Vysokoteplotní popouštěcí křehkost /159
    - 6.4.3.2 Nizkoteplotní popouštěcí křehkost /160
- 6.5 Kalení a popouštění litin /160
  - 6.5.1 Kalení karbidických litin /160
  - 6.5.2 Kalení grafitických litin /160
- 6.6 Termomechanické zpracování /161
- 6.7 Chemicko-tepelné zpracování ocelí /161
  - 6.7.1 Cementování /162
  - 6.7.2 Nitridování /163
  - 6.7.3 Nitrocementování a karbonitridování /164
  - 6.7.4 Ostatní chemicko tepelné zpracování /165

## 7 PŘEHLED MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH STRUKTUR /166

Literatura /168