

# Obsah

- Předmluva /9
- Poděkování /10
- Úvod /11

## 1 Krystalová struktura /13

### 1.1 Struktura pevných látek /13

- 1.1.1 Stavba atomů /13
- 1.1.2 Stavba hmoty /16
- 1.1.3 Vazby mezi atomy /17
- 1.1.4 Základy krystalografie /18

#### 1.1.4.1 Krystalická buňka /18

#### 1.1.4.2 Krystal /23

### 1.2 Značení indexů bodů, směrů a rovin v krystalických látkách /24

- 1.2.1 Indexy bodů /24
- 1.2.2 Indexy směrů /24
- 1.2.3 Indexy rovin /25

### 1.3 Poruchy krystalové struktury /26

- 1.3.1 Bodové poruchy /27
- 1.3.2 Čárové poruchy /27
- 1.3.3 Plošné a prostorové poruchy /30

### 1.4 Přehled a význam nových pojmů /31

## 2 Základy termodynamiky kovů a jejich slitin /32

### 2.1 Termomechanická soustava a složka /32

### 2.2 Fáze /32

- 2.2.1 Tekutá kovová fáze /32
- 2.2.2 Pevná kovová fáze /33
- 2.2.3 Fázové přeměny /34

### 2.3 Termodynamická rovnováha /35

- 2.3.1 Gibbsův zákon fází /36
- 2.3.2 Difuze /36

### 2.4 Krystalizace kovů a jejich slitin /37

#### 2.4.1 Obecné znaky krystalizace /37

- 2.4.1.1 Nukleace /37
- 2.4.1.2 Růst krystalů /38
- 2.4.1.3 Polykrystalická struktura /39
- 2.4.1.4 Krystalizace čistých kovů /42
- 2.4.1.5 Krystalizace slitin /42

### 2.5 Přehled a význam nových pojmů /43

### 3 Rovnovážné binární diagramy /45

#### 3.1 Práce s binárními diagramy /45

##### 3.1.1 Popis binárního diagramu /45

##### 3.1.2 Vztah mezi atomovými a hmotnostními procenty /46

##### 3.1.3 Určování množství a chemického složení fází /46

##### 3.1.4 Fázové přeměny na izotermách nonvariantních bodů /47

#### 3.2 Soustava s neomezenou rozpustností v tuhém stavu /48

##### 3.2.1 Rovnovážná krystalizace /48

##### 3.2.2 Nerovnovážná krystalizace /51

##### 3.2.3 Kongruentní krystalizace /51

#### 3.3 Soustava s částečnou rozpustností v tuhém stavu /52

##### 3.3.1 Soustava s eutektickou přeměnou /52

###### 3.3.1.1 Popis diagramu /52

###### 3.3.1.2 Eutektická přeměna slitiny o eutektickém složení /53

###### 3.3.1.2 Struktury podeutektických slitin, které prošly eutektickou přeměnou /54

###### 3.3.1.4 Struktury nadeutektických slitin, které prošly eutektickou přeměnou /56

##### 3.3.2 Soustava s eutektoidní přeměnou /57

###### 3.3.2.1 Popis diagramu /57

###### 3.3.2.2 Eutektoidní přeměna slitiny o eutektoidním složení /57

###### 3.3.2.3 Struktury podeutektoidních slitin, které prošly eutektoidní přeměnou /58

###### 3.3.2.4 Struktury nadeutektoidních slitin, které prošly eutektoidní přeměnou /58

##### 3.3.3 Vliv rozpustnosti v tuhém stavu na strukturu při ochlazování /58

##### 3.3.4 Struktury slitin, které nevykazují eutektickou ani eutektoidní přeměnu /59

##### 3.3.5 Soustava s peritektickou přeměnou /60

###### 3.3.5.1 Popis diagramu /60

###### 3.3.5.2 Peritektická přeměna slitiny o peritektickém složení /61

###### 3.3.5.3 Struktury slitin s přebytkem krystalů oproti tavenině /62

###### 3.3.5.4 Struktury slitin s přebytkem taveniny oproti krystalům /62

##### 3.3.6 Soustava s peritektoidní přeměnou /63

###### 3.3.6.1 Popis diagramu /63

###### 3.3.6.2 Peritektoidní přeměna slitiny o peritektoidním složení /63

###### 3.3.6.3 Struktury slitiny s přebytkem krystalů $\alpha$ oproti krystalům $\gamma$ /64

###### 3.3.6.4 Struktury slitiny s přebytkem krystalů $\gamma$ oproti krystalům $\alpha$ /64

##### 3.3.7 Struktury slitin, které neprošly peritektickou nebo peritektoidní přeměnou /64

#### 3.4 Intermediární fáze /65

#### 3.5 Přehled a význam nových pojmů /67

### 4 Rovnovážný diagram železo - uhlík /69

#### 4.1 Složky diagramu /69

##### 4.1.1 Železo /69

##### 4.1.2 Uhlík /70

- 4.2 Metastabilní soustava  $Fe-Fe_3C$  /72
  - 4.2.1 Diagram  $Fe-Fe_3C$  /72
  - 4.2.2 Ochlazování litin v diagramu  $Fe-Fe_3C$  /74
    - 4.2.2.1 Ochlazování eutektické bílé litiny /74
    - 4.2.2.2 Ochlazování nadeutektických bílých litin /74
    - 4.2.2.3 Ochlazování podeutektických bílých litin /75
  - 4.2.3 Ochlazování ocelí /75
    - 4.2.3.1 Ochlazování eutektoidní oceli /75
    - 4.2.3.2 Ochlazování nadeutektoidních ocelí /76
    - 4.2.3.3 Ochlazování podeutektoidních ocelí /77
    - 4.2.3.4 Krystalizace ocelí v oblasti peritektické přeměny /78
    - 4.2.3.5 Widmannstättenova struktura /78
  - 4.2.4 Vliv legujících prvků na diagram  $Fe-Fe_3C$  /80
- 4.3 Stabilní soustava  $Fe-C$  /81 *Grafik*
  - 4.3.1 Ochlazování eutektické grafitické litiny /82
  - 4.3.2 Ochlazování nadeutektických grafitických litin /82
  - 4.3.3 Ochlazování podeutektických grafitických litin /82
- 4.4 Srovnání soustavy  $Fe-Fe_3C$  a  $Fe-C$  /83
- 4.5 Přehled a význam nových pojmů /85

## 5 Rozpady tuhých roztoků /86

- 5.1 Rozpad austenitu u ocelí /86
  - 5.1.1 Vliv rychlosti ochlazování na strukturu materiálu /86
  - 5.1.2 Izotermický rozpad austenitu - diagramy IRA /86
    - 5.1.2.1 Perlitická přeměna /87
    - 5.1.2.2 Bainitická přeměna /89
    - 5.1.2.3 Martenzitická přeměna /90
    - 5.1.2.4 Diagram IRA uhlíkové eutektoidní oceli /94
    - 5.1.2.5 Diagram IRA uhlíkové podeutektoidní oceli /94
    - 5.1.2.6 Diagram IRA uhlíkové nadeutektoidní oceli /95
  - 5.1.3 Anizotermický rozpad austenitu - diagramy ARA /95
  - 5.1.4 Vliv legujících prvků na křivky IRA a ARA /98
- 5.2 Rozpad přesyceného tuhého roztoku při změně rozpustnosti /99
  - 5.2.1 Segregace /99
  - 5.2.2 Precipitace /100
    - 5.2.2.1 Charakteristika precipitace /100
    - 5.2.2.2 Průběh precipitace /100
    - 5.2.2.3 Vlastnosti slitiny v průběhu precipitace /102
    - 5.2.2.4 Stárnutí ocelí /104
    - 5.2.2.5 Zvýšení odolnosti ocelí proti stárnutí /107
  - 5.2.3 Porovnání segregace a precipitace /108
- 5.3 Přehled a význam nových pojmů /108

6.1 Žihání ocelí /110

- 6.1.1 Žihání ocelí bez překrytalizace /111
  - 6.1.1.1 Žihání na odstranění křehkosti po moření /111
  - 6.1.1.2 Žihání na odstranění pnutí /111
  - 6.1.1.3 Protivločkové žihání /111
  - 6.1.1.4 Rekrytalizační žihání /112
- 6.1.2 Žihání ocelí s úplnou překrytalizací /113
  - 6.1.2.1 Žihání naměkko /113
  - 6.1.2.2 Normalizační žihání /114
  - 6.1.2.3 Žihání na zhrubnutí zrna /115
  - 6.1.2.4 Izotermické žihání /115
  - 6.1.2.5 Patentování /116
  - 6.1.2.6 Homogenizační (difuzní) žihání /117
  - 6.1.2.7 Termomechanické tváření /117

6.2 Kalení a popouštění ocelí /118

- 6.2.1 Kalicí podmínky /118
  - 6.2.1.1 Kalicí teplota /118
  - 6.2.1.2 Ochlazovací prostředí /119
- 6.2.2 Kalitelnost ocelí /122
  - 6.2.2.1 Zakalitelnost /122
  - 6.2.2.2 Prokalitelnost /122
- 6.2.3 Kalení na martenzit /124
  - 6.2.3.1 Přímé kalení do studené lázně /124
  - 6.2.3.2 Lomené kalení /126
  - 6.2.3.3 Termální kalení /126
  - 6.2.3.4 Termomechanické kalení /127
- 6.2.4 Kalení na bainit /127
- 6.2.5 Popouštění /128
  - 6.2.5.1 Nízkoteplotní popouštění /128
  - 6.2.5.2 Vysokoteplotní popouštění /129
- 6.2.6 Popouštěcí křehkost /131
  - 6.2.6.1 Vysokoteplotní popouštěcí křehkost /132
  - 6.2.6.2 Nízkoteplotní popouštěcí křehkost /132

6.3 Chemicko-tepelné zpracování ocelí /133

- 6.3.1 Cementování /133
- 6.3.2 Nitridování /134
- 6.3.3 Ochrana povrchu proti korozi a žáru /134

6.4 Ochranné atmosféry /135

- 6.4.1 Exotermické atmosféry /135
- 6.4.2 Endotermické atmosféry /136
- 6.4.3 Dusíko-vodíkové atmosféry /136
- 6.4.4 Směrná složení ochranných atmosfér a ostatní atmosféry /137

6.5 Přehled a význam nových pojmů /138

- 7.1 Podmínky krystalizace pro vznik litiny /140
  - 7.1.1 Vliv chemického složení na krystalizaci litiny /140
  - 7.1.2 Vliv rychlosti ochlazování na krystalizaci litiny /141
- 7.2 Bílé litiny /141
- 7.3 Grafitické litiny /142
  - 7.3.1 Podmínky pro vznik grafitické litiny /142
  - 7.3.2 Vliv prvků na vznik grafitické litiny /143
  - 7.3.3 Šedá litina /144
    - 7.3.3.1 Vlastnosti šedé litiny /144
    - 7.3.3.2 Struktura šedé litiny /145
  - 7.3.4 Tvárná litina /147
- 7.4 Tvrzené litiny /149
- 7.5 Legované litiny /149
- 7.6 Tepelné zpracování litin /150
  - 7.6.1 Žihání litin /150
    - 7.6.1.1 Temperování bílých litin /150
    - 7.6.1.2 Žihání grafitických litin /151
    - 7.6.1.3 Žihání tvrzených litin /152
  - 7.6.2 Kalení a popouštění litin /153

## 8 Zpevňování a odpevňování /154

- 8.1 Zpevňování kovů legováním /154
- 8.2 Zpevňování struktury působením vnějších sil /155
  - 8.2.1 Pružná deformace /155
  - 8.2.2 Trvalá deformace /156
    - 8.2.2.1 Trvalá deformace kluzem /156
    - 8.2.2.2 Trvalá deformace dvojčatěním /159
  - 8.2.3 Zpevňování trvalou deformací zastudena /160
  - 8.2.4 Velikost deformace /161
- 8.3 Odpevňování kovu po trvalé deformaci zastudena /162
  - 8.3.1 Změny deformovaného stavu při ohřevu /162
  - 8.3.2 Vlivy působící na rekrystalizaci /164
- 8.4 Krystalografická textura /165
  - 8.4.1 Deformační textury /166
  - 8.4.2 Rekrystalizační textury /166
    - 8.4.2.1 Rekrystalizační textury hlubokotažných pásových ocelí /166
    - 8.4.2.2 Rekrystalizační textury pásových ocelí určených pro elektrotechniku /167

9.1 Statické zkoušky/168

9.1.1 Statická zkouška tahem/168

9.1.1.1 Zkušební tyče a měřená délka /168

9.1.1.2 Napětí a prodloužení při tahové zkoušce /169

9.1.1.3 Pracovní diagram /170

9.1.1.4 Vyhodnocení pracovního diagramu /173

9.1.1.5 Výpočet základních normovaných smluvních parametrů /175

9.1.2 Zkoušky tvrdosti /179

9.1.2.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella /179

9.1.2.2 Zkouška tvrdosti podle Rockwella /180

9.1.2.3 Zkouška tvrdosti podle Vickerse /181

9.1.2.4 Zkouška tvrdosti odrazem /182

9.1.2.5 Zhodnocení různých metod měření tvrdosti /183

9.1.3 Dlouhodobé statické zkoušky /184

9.1.3.1 Tečení /184

9.1.3.2 Relaxace /185

9.2 Dynamické zkoušky /187

9.2.1 Rázové zkoušky /187

9.2.1.1 Vrubová houževnatost a křehký lom /187

9.2.1.2 Rázová zkouška v ohybu /187

9.2.1.3 Vliv teploty na vrubovou houževnatost /189

9.2.1.4 Zhodnocení zkoušky vrubové houževnatosti /190

9.2.2 Únavové zkoušky /191

9.2.2.1 Únavové lomy /192

9.2.2.2 Vliv statického předpětí na mez únavy /194

9.2.2.3 Ostatní vlivy na hodnotu meze únavy /197

9.3 Přehled a význam nových pojmů /200

Rejstřík /201

Literatura /207