

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 fázi /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 $Fe-Fe_3C$ /86
 - 4.3.1 Rovnovážný diagram $Fe-Fe_3C$ /86
 - 4.3.1.1 Popis diagramu $Fe-Fe_3C$ /87
 - 4.3.1.2 Fáze v diagramu $Fe-Fe_3C$ /88
 - 4.3.1.3 Směsi fází v diagramu Fe_3C /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 ocelí v diagramu $Fe-Fe_3C$ /91
 - 4.3.2.1 Krystalizace a ochlazování eutektoidní oceli /91
 - 4.3.2.2 Krystalizace a ochlazování nadeutektoidních ocelí /92
 - 4.3.2.3 Krystalizace a ochlazování podeutektoidních ocelí /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 ocelí /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 červikovým 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 ocelí /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 ocelí /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 ocelí po tepelném zpracování /129
 - 5.2.2.5 Stárnutí ocelí 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 oceli /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 Bainitické 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 Nízkoteplotní 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 Nízkoteplotní 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