

SPIS TREŚCI

Wykaz skrótów	9
Przedmowa	11
1. RYS HISTORYCZNY	13
2. WSPÓŁCZESNE METODY WYTWARZANIA STOPÓW ŻELAZA	18
2.1. Otrzymywanie surówki	18
2.2. Konwertory tlenowe	20
2.3. Piece elektryczne	21
2.4. Obróbka pozapiecowa	22
2.5. Odgazowanie próżniowe	24
2.6. Proces odlewania wlewków	25
3. OBRÓBKA STALI	31
3.1. Obróbka plastyczna	31
3.1.1. Odształcenie plastyczne stali	31
3.1.2. Sposoby obróbki plastycznej	34
3.2. Przemiany fazowe w stalach	38
3.2.1. Dyfuzja w przemianach fazowych	38
3.2.2. Przemiany przy chłodzeniu	42
3.2.3. Przemiany przy nagrzewaniu	48
3.3. Obróbka cieplna	51
3.3.1. Cel obróbki cieplnej (o.c.)	51
3.3.2. Klasyfikacja rodzajów obróbki cieplnej	52
3.3.3. Operacje wyżarzania	52
3.3.4. Operacje hartowania	55
3.3.5. Hartowanie powierzchniowe	56
3.3.6. Operacje odpuszczania	56
3.3.7. Inne operacje obróbki cieplnej	56
3.4. Obróbka cieplno-plastyczna	57
3.5. Dynamiczne zdrowienie i dynamiczna rekrytalizacja	58
3.6. Regulowane walcowanie	60
3.7. Naprężenia własne	61
3.7.1. Ogólna charakterystyka naprężeń	61
3.7.2. Naprężenia makroskopowe	62
3.7.3. Naprężenia strukturalne	63
3.7.4. Wpływ odpuszczania na naprężenia własne	65

4. ŻELAZO	66
4.1. Charakterystyka ogólna żelaza	66
4.2. Własności fizyczne żelaza	67
4.3. Krystalografia żelaza	70
4.4. Łuki międzywęzłowe w żelazie	72
4.5. Defekty sieci w kryształach	73
4.5.1. Defekty punktowe	73
4.5.2. Defekty liniowe	74
4.5.3. Defekty powierzchniowe	76
4.6. Umacnianie	79
4.6.1. Umacnianie roztworowe	80
4.6.2. Umacnianie dyslokacyjne	80
4.6.3. Umacnianie fazowe	80
4.6.4. Umacnianie fazą dyspersyjną	81
4.6.5. Umacnianie wywołane rozdrobnieniem ziarna	81
4.6.6. Umacnianie a własności	82
5. FAZY W STOPACH ŻELAZA	83
5.1. Specyfikacja	83
5.2. Roztwory stałe	83
5.2.1. Roztwory międzywęzłowe	83
5.2.2. Roztwory substytucyjne	84
5.3. Węglik	87
5.3.1. Klasyfikacja węglików	87
5.3.2. Cementyt	90
5.3.3. Węglik ϵ	91
5.3.4. Węglik złożony	91
5.4. Azotki	92
5.4.1. Charakterystyka ogólna azotków	92
5.4.2. Rozpuszczalność faz międzywęzłowych w austenicie	94
5.5. Związki międzymetaliczne	95
5.5.1. Fazy sigma	95
5.5.2. Fazy Lavesa	97
5.6. Fazy obce	97
5.7. Wtrącenia niemetaliczne	98
6. PIERWIASTKI MIĘDZYWĘZŁOWE I DOMIESZKI W ŻELAZIE	100
6.1. Wodór w stali	100
6.2. Azot w stali	104
6.3. Tlen w stali	106
6.4. Bor w stali	107

6.5. Węgiel w stali	108
6.5.1. Układ żelazo – węgiel	108
6.5.2. Własności perlitu	110
6.5.3. Grafit	111
6.5.4. Podział stopów według układu Fe-Fe ₃ C	112
6.6. Domieszki w stopach żelaza	114
6.6.1. Siarka	114
6.6.2. Fosfor	116
6.6.3. Cyna, arsen, antymon	117
7. WPŁYW PIERWIASTKÓW STOPOWYCH NA WŁASNOŚCI ŻELAZA	118
7.1. Wpływ pierwiastków stopowych na układ równowagi Fe-C	118
7.2. Wpływ pierwiastków stopowych na kinetykę przemiany przechłodzonego austenitu	123
7.3. Wpływ pierwiastków stopowych na kształt wykresów CTP	126
7.4. Wpływ pierwiastków stopowych na hartowność	129
7.5. Wpływ pierwiastków stopowych na proces odpuszczania	136
8. PIERWIASTKI AUSTENITOTWÓRCZE W STALI	140
8.1. Mangan w stali	140
8.1.1. Układ Fe-Mn	140
8.1.2. Układ Fe-Mn-C	141
8.2. Kobalt w stali	143
8.2.1. Układ Fe-Co	143
8.2.2. Układ Fe-Co-C	145
8.3. Nikiel w stali	145
8.3.1. Układ Fe-Ni	145
8.3.2. Układ Fe-Ni-C	146
9. PIERWIASTKI WĘGLIKOTWÓRCZE W STALI	148
9.1. Chrom w stali	148
9.1.1. Układ Fe-Cr	148
9.1.2. Układ Fe-Cr-C	148
9.1.3. Klasyfikacja stali chromowych	152
9.1.4. Stale chromowo-niklowe	153
9.1.5. Stale chromowo-manganowe	154
9.2. Wolfram w stali	155
9.3. Molibden w stali	159
9.3.1. Charakterystyka molibdenu	159
9.3.2. Układy Fe-Mo-C i Fe-W-C	162

9.4. Wanad w stali	163
9.4.1. Układ Fe-V	163
9.4.2. Układ Fe-V-C	167
9.5. Niob i tantal w stali	168
9.6. Tytan w stali	170
10. INNE PIERWIASTKI W STALI	173
10.1. Miedź w stali	173
10.2. Aluminium w stali	176
10.3. Krzem w stali	178
10.4. Metale ziem rzadkich w stali	180
Stopy żelaza według własności i zastosowania	
11. STALE	182
11.1. Klasyfikacja stali	182
11.2. Zasada znakowania stali wg PN i PN-EN	184
11.3. Stale konstrukcyjne	186
11.3.1. Charakterystyka ogólna	186
11.3.2. Stale niestopowe nie przeznaczone do ulepszania cieplnego	189
11.3.3. Stale niskostopowe o podwyższonej wytrzymałości (NSPW)	191
11.3.4. Drut do spawania	196
11.3.5. Stale z mikrododatkami o średniej zawartości węgla	197
11.3.6. Stale do spęczania i wyciskania na zimno	198
11.3.7. Stale TRIP	199
11.3.8. Stale konstrukcyjne niestopowe do ulepszania cieplnego	199
11.3.9. Stale stopowe do ulepszania cieplnego	202
11.3.10. Stale automatowe	204
11.3.11. Stale do nawęglania	206
11.3.12. Stale do azotowania	208
11.3.13. Stale na łożyska toczne	209
11.3.14. Stale sprężynowe i resorowe	215
11.3.15. Stale do pracy przy obniżonej temperaturze	218
11.3.16. Stale na druty do wytwarzania lin	218
11.3.17. Stale do zbrojenia betonu	220
11.3.18. Stale konstrukcyjne o zwiększonej odporności na korozję	221
11.3.19. Stale dla kolejnictwa	221
11.3.20. Stale na rury i rurociągi	222
11.3.21. Stale spiekane	222
11.4. Stale narzędziowe	223
11.4.1. Charakterystyka ogólna	223
11.4.2. Stale narzędziowe niestopowe	224

11.4.3. Stopowe stale narzędziowe do pracy na zimno	225
11.4.4. Stale narzędziowe do pracy na gorąco	229
11.4.5. Stale szybko tnące	232
11.4.6. Materiały narzędziowe twarde i supertwarde	238
11.5. Stale odporne na korozję (SONK)	240
11.5.1. Charakterystyka ogólna	240
11.5.2. Rodzaje korozji	242
11.5.3. Stale ferrytyczne	244
11.5.4. Stale austenityczne	249
11.5.5. Stale martenzytyczne SONK z martenzytem wytworzonym przez zgniot	254
11.5.6. Stale ferrytyczno-austenityczne	259
11.5.7. Stale do utwardzania wydzieleniowego z regulowaną przemianą	260
11.5.8. Stale maraging	261
11.5.9. Biostale	262
11.6. Stale i stopy żaroodporne, i żarowytrzymałe	263
11.6.1. Żaroodporność	263
11.6.2. Żarowytrzymałość	263
11.6.3. Stale stosowane do pracy przy podwyższonej temperaturze	265
11.6.4. Stale zaworowe	272
11.6.5. Stale stosowane na systemy wydechowe silników	274
11.6.6. Stale i stopy na opory grzewcze	274
11.6.7. Nadstopy	276
11.7. Stale i stopy o szczególnych właściwościach fizycznych	280
11.7.1. Stale i stopy o wymaganych właściwościach magnetycznych	280
11.7.2. Stopy o założonej rozszerzalności cieplnej i właściwościach sprężystych	288
12. STALIWO	290
12.1. Charakterystyka ogólna	290
12.2. Klasyfikacja staliwa	291
12.3. Oznaczanie staliwa	292
12.4. Formowanie odlewów	292
12.4.1. Formy odlewnicze	292
12.4.2. Materiały formierskie	293
12.5. Staliwo odporne na ścieranie	294
12.6. Staliwo odporne na korozję	296
12.6.1. Klasyfikacja staliw	296
12.6.2. Staliwa żaroodporne i żarowytrzymałe	296
12.7. Staliwa narzędziowe	297
12.8. Właściwości staliwa	297

13. ŻELIWO	299
13.1. Charakterystyka ogólna	299
13.2. Wytwarzanie żeliwa	299
13.2.1. Żeliwiak	299
13.2.2. Formowanie żeliwa	300
13.3. Struktura odlewów; klasyfikacja grafitu	301
13.4. Klasyfikacja żeliw	302
13.5. Żeliwa szare	304
13.5.1. Charakterystyka ogólna	304
13.5.2. Czynniki wpływające na tworzenie grafitu	305
13.5.3. Wpływ pierwiastków stopowych na grafityzację	307
13.6. Żeliwa sferoidalne	308
13.7. Żeliwa ciągliwe	311
13.7.1. Wytwarzanie i struktura żeliwa ciągliwego	311
13.7.2. Klasyfikacja i własności żeliwa ciągliwego	313
13.8. Żeliwa stopowe	315
13.8.1. Żeliwo krzemowe	315
13.8.2. Żeliwo aluminiowe	315
13.8.3. Żeliwo chromowe	315
13.8.4. Żeliwo manganowe	316
13.8.5. Żeliwo niklowe	316
13.8.6. Żeliwo antymonowe	316
13.8.7. Żeliwa wieloskładnikowe	316
13.9. Obróbka cieplna żeliwa	318
13.9.1. Wyżarzanie	319
13.9.2. Hartowanie żeliwa	319
DODATEK: Symbole dodatkowe do oznaczania gatunków stali wg PN-EN	320
Literatura źródłowa i uzupełniająca	325
Skorowidz	331