

Spis treści

Wstęp	7
1. Obliczanie dwuskładnikowych wykresów równowagi fazowej	11
1.1. Wprowadzenie	11
1.2. Dane do obliczeń wykresu równowagi fazowej	24
1.3. Metodyka obliczania wykresu równowagi fazowej	25
1.4. Ogólny algorytm obliczeń wykresu równowagi fazowej	26
1.5. Przykład obliczeń wykresu równowagi fazowej	28
2. Obliczanie układu równowagi fazowej Fe-Fe₃C	37
2.1. Metoda obliczania wykresu równowagi fazowej Fe-Fe ₃ C	41
2.2. Program komputerowy PhaDiag_Fe_C	42
2.3. Weryfikacja obliczeń	45
3. Analiza procesów wydzielania węglikoazotków w stalach mikrostopowych	48
3.1. Struktura i własności stali mikrostopowych	49
3.2. Rola mikrodotyków	50
3.2.1. Wpływ mikrodotyków na temperaturę rekrytalizacji	51
3.2.2. Umocnienie dyspersyjne ferrytu	52
3.2.3. Wpływ mikrodotyków na wielkość ziarna	53
3.3. Rozpuszczalność węglików i azotków	56
3.4. Model termodynamiczny wydzielania węglikoazotku	63
3.4.1. Dane do obliczeń wydzielania węglikoazotku	66
3.4.2. Przykłady obliczeń	68
3.4.3. Weryfikacja modelu	72
4. Obliczanie pola temperatury przy nagrzewaniu i chłodzeniu stali	76
4.1. Rozwiązania analityczne równania przewodnictwa cieplnego	78
4.1.1. Rozwiązania dla płyty i walca przy warunku brzegowym I rodzaju	78
4.1.2. Rozwiązania dla płyty i walca przy warunku brzegowym III rodzaju	81

4.2. Rozwiązanie równania przewodnictwa cieplnego metodą różnic skończonych	83
4.2.1. Układ współrzędnych prostokątnych	83
4.2.2. Układ współrzędnych walcowych	84
4.3. Algorytm obliczania pola temperatury w procesach obróbki cieplnej	86
4.4. Charakterystyka własności termofizycznych ośrodków chłodzących i wybranych stali	87
4.5. Przykłady obliczeń pola temperatury	92
5. Obliczanie równoważnego wykresu CTP_c na podstawie składu chemicznego stali	97
5.1. Dane do obliczeń	97
5.2. Metodyka obliczeń	98
5.3. Przykład obliczeń	101
6. Obliczanie składu strukturalnego stopu metodą pola fazowego	106
6.1. Wprowadzenie	106
6.2. Model matematyczny	107
6.3. Obliczenia numeryczne	109
6.4. Parametry fizyczne	112
6.5. Przykład obliczeń	114
7. Obliczanie hartowności i odpuszczalności stali	121
7.1. Analiza danych do obliczeń idealnej średnicy krytycznej	121
7.2. Dane do analizy hartowności stali metodą Jominy'ego	122
7.3. Metoda analityczna Grossmanna	130
7.3.1. Dane do obliczania hartowności stali niskowęglowych	131
7.3.2. Dane do obliczania hartowności stali średniowęglowych	133
7.4. Obliczanie krzywej hartowności na podstawie składu chemicznego stali i wielkości ziarna austenitu	139
7.5. Metodyka analizy wpływu mikrodotyków na hartowność stali	141
7.6. Analiza odpuszczalności niskostopowych stali konstrukcyjnych	144
7.7. Przykłady obliczeń twardości stali po hartowaniu i odpuszczaniu	152
DODATEK	161
A. Opis metod numerycznych stosowanych w rozwiązywaniu problemów z zakresu obróbki cieplnej	162
A.1. Analiza błędów	162
A.2. Rozwiązywanie układów równań nieliniowych metodą Newtona–Raphsona	163
A.3. Rozwiązywanie układów równań liniowych metodą eliminacji Gaussa	167

A.4. Aproksymacja wielomianowa	168
A.5. Rozwiązywanie równań różniczkowych metodą różnic skończonych	170
B. Dane termodynamiczne do obliczanie układów równowagi fazowej pierwiastków trudno topliwych	175
C. Własności termodynamiczne układu Fe-C-Mn-Cr-V-Nb-Mo-Si	180
D. Dane do obliczania pola temperatury za pomocą równań analitycznych	188
E. Zestawienie danych do obliczeń hartowności i odpuszczalności stali	191
Literatura	205