

## SPIS TREŚCI

Przedmowa .....	7
<b>MATERIAŁY INŻYNIERSKIE</b>	
<b>WPROWADZENIE – RODZAJE MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH .....</b>	<b>9</b>
<b>1. WIĄZANIA MIĘDZY ATOMAMI .....</b>	<b>11</b>
1.1. WIĄZANIA PIERWOTNE .....	12
1.2. WIĄZANIA WTÓRNE .....	13
<b>2. SPOSOBY ROZMIESZCZENIA ATOMÓW W CIAŁACH STAŁYCH .....</b>	<b>14</b>
2.1. STRUKTURA MATERIAŁÓW INŻYNIERSKICH .....	14
2.2. STRUKTURA NIEKRystalICZNA .....	15
2.3. STRUKTURA KRystalICZNA – ELEMENTY KRystalOGRAFII .....	15
2.3.1. Płaszczyzny krystalograficzne .....	17
2.3.2. Kierunki krystalograficzne .....	18
2.4. DEFEKTY STRUKTURY KRystalICZNEJ .....	19
2.4.1. Defekty punktowe .....	19
2.4.2. Defekty liniowe .....	20
2.4.3. Defekty płaskie – powierzchniowe .....	24
2.4.4. Defekty objętościowe .....	26
<b>3. CHARAKTERYSTYKA PODSTAWOWYCH WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁÓW ..</b>	<b>27</b>
3.1. GĘSTOŚĆ .....	27
3.2. SZTYWNOŚĆ – SPREŻYSTOŚĆ .....	27
3.3. WYTRZYMAŁOŚĆ .....	30
3.3.1. Wytrzymałość statyczna .....	30
3.3.2. Twardość .....	32
3.3.3. Odporność na pękanie – wiązkość .....	33
3.3.4. Wytrzymałość zmęczeniowa .....	35
3.3.5. Wytrzymałość na pełzanie .....	38
3.3.6. Odporność na zużycie wskutek tarcia .....	42
3.3.7. Odporność na korozję .....	43
<b>4. METODY UMACNIANIA MATERIAŁÓW PLASTYCZNYCH .....</b>	<b>45</b>
4.1. UMACNIANIE ODKSZTAŁCENIOWE .....	45
4.2. UMACNIANIE PRZEZ ROZTWÓR .....	48
4.3. UMACNIANIE WYDZIELENIOWE I DYSPERSYJNE .....	49
4.4. UMOCNIE NIE PRZEZ GRANICE ZIAREN .....	51

## METALE I STOPY METALI

<b>5. STRUKTURA METALI I STOPÓW</b> .....	54
5.1. STRUKTURA METALI .....	54
5.2. STRUKTURA STOPÓW .....	56
5.2.1. Roztwory stałe .....	56
5.2.2. Fazy międzywęzłowe i międzymetaliczne .....	59
<b>6. UKŁADY RÓWNOWAGI FAZOWEJ</b> .....	61
6.1. UKŁADY DWUSKŁADNIKOWE .....	62
6.1.1. Układ z nieograniczoną rozpuszczalnością w stanie stałym .....	63
6.1.2. Układ równowagi z mieszaniną eutektyczną .....	64
6.1.3. Układ równowagi z przemianą perytektyczną .....	68
6.1.4. Układ równowagi z fazami międzymetalicznymi .....	71
6.1.5. Układ równowagi żelazo-węgiel .....	72
6.2. UKŁADY TRÓJSKŁADNIKOWE .....	81
6.3. RELACJE MIĘDZY RODZAJEM UKŁADU RÓWNOWAGI A WŁAŚCIWOŚCIAMI STOPU .....	82
<b>7. KRZEPNIĘCIE I KRYSTALIZACJA TWORZYW METALOWYCH</b> .....	84
7.1. ELEMENTY TERMODYNAMIKI .....	84
7.2. KRYSTALIZACJA CZYSTYCH METALI .....	85
7.2.1. Zarodkowanie fazy stałej .....	85
7.2.2. Wzrost kryształów .....	92
7.3. KRYSTALIZACJA STOPÓW .....	92
7.4. STRUKTURA PIERWOTNA .....	94
<b>8. PRZEMIANY FAZOWE W STANIE STAŁYM</b> .....	96
8.1. SIŁA NAPĘDOWA PRZEMIAN FAZOWYCH W STANIE STAŁYM .....	96
8.2. ELEMENTY TEORII DYFUZJI .....	96
8.3. WYKRESY CTP .....	98
8.3.1. Przemiany dyfuzyjne .....	99
8.3.2. Przemiana bainityczna .....	104
8.3.3. Przemiana bezdyfuzyjna – martenzytyczna .....	105
8.4. UMACNIANIE WYDZIELENIOWE I DYSPERSYJNE .....	110
<b>9. ZMIANY STRUKTURY METALI I STOPÓW PODCZAS ODKSZTAŁCENIA. ZDROWIENIE I REKRYSTALIZACJA</b> .....	112
9.1. STRUKTURA MATERIAŁU ODKSZTAŁCONEGO .....	112
9.2. ODBUDOWA STRUKTURY PO ODKSZTAŁCENIU .....	113
9.2.1. Zdrowienie .....	114
9.2.2. Rekrytalizacja .....	115
9.2.3. Rozrost ziaren .....	116
<b>10. STOPY ŻELAZA Z WĘGLEM</b> .....	117
10.1. STAL .....	117
10.1.1. Rola zanieczyszczeń .....	118
10.1.2. Wpływ domieszek .....	118
10.1.3. Wpływ dodatków stopowych .....	119
10.2. STALIWO .....	123
10.3. ŻELIWO .....	124
10.3.1. Wpływ składu chemicznego na grafityzację żelaza .....	125
10.3.2. Wpływ składu chemicznego na rodzaj metalicznej osnowy .....	126

<b>11. METODY ODDZIAŁYWANIA NA STRUKTURĘ I WŁAŚCIWOŚCI STOPÓW Fe-C</b>	128
11.1. OBRÓBKA CIEPLNA STOPÓW Fe-C	128
11.1.1. Przemiana perlityczna	129
11.1.2. Przemiana bainityczna	130
11.1.3. Przemiana martenzytyczna	131
11.1.4. Przemiany podczas odpuszczania	132
11.1.5. Wyżarzanie stopów Fe-C	133
11.2. TECHNICZNE ASPEKTY OBRÓBKI CIEPLNEJ	138
11.3. ZŁOŻONE METODY OBRÓBKI CIEPLNEJ	140
11.3.1. Obróbka cieplno-chemiczna	140
11.3.2. Obróbka cieplno-plastyczna	150
<b>12. PRZEMYSŁOWE STOPY ŻELAZA</b>	152
12.1. STAL	152
12.1.1. Stal konstrukcyjna niestopowa	156
12.1.2. Stal konstrukcyjna stopowa	162
12.1.3. Stal narzędziowa	171
12.1.4. Stal i stopy o specjalnych właściwościach chemicznych i fizycznych	175
12.2. STAL MARAGING	180
<b>13. ODLEWNICZE STOPY ŻELAZA Z WĘGLEM</b>	182
13.1. STALIWO	182
13.1.1. Staliwo niestopowe (węglowe)	183
13.1.2. Staliwo stopowe	184
13.2. ŻELIWO	185
13.2.1. Żeliwo białe	188
13.2.2. Żeliwo szare	188
13.2.3. Żeliwo sferoidalne	193
13.2.4. Żeliwo stopowe	197
13.2.5. Żeliwo ciągliwe	198
13.2.6. Żeliwo z grafitem wermikularnym	200
<b>14. STOPY METALI NIEŻELAZNYCH</b>	202
14.1. METALE LEKKIE I ICH STOPY	202
14.1.1. Aluminium i jego stopy	203
14.1.2. Magnez i jego stopy	216
14.1.3. Tytan i jego stopy	217
14.2. METALE CIĘŻKIE I ICH STOPY	222
14.2.1. Miedź i jej stopy	222
14.2.2. Stopy niklu i kobaltu	228
14.2.3. Cynk i jego stopy	231
<b>MATERIAŁY CERAMICZNE I SZKŁA</b>	
<b>15. WPROWADZENIE</b>	234
15.1. CERAMIKI KRYSZALICZNE – PODZIAŁ I ROLA MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH	234
15.2. SZKŁA – CERAMIKA NIEKRYSZALICZNA	236
15.3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI KONSTRUKCYJNYCH MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH	237

<b>16. STRUKTURA MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH</b> .....	240
16.1. ROZKŁAD ATOMÓW W MATERIAŁACH CERAMICZNYCH .....	241
16.2. MIKROSTRUKTURA MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH .....	243
<b>17. WŁAŚCIWOŚCI CERAMIKI</b> .....	246
17.1. WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE .....	246
17.1.1. Moduł sprężystości materiałów ceramicznych .....	247
17.1.2. Wytrzymałość .....	249
17.1.3. Twardość .....	250
17.1.4. Kruchość materiałów ceramicznych .....	252
17.1.5. Zależność wytrzymałości ceramiki od czasu .....	255
17.2. WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE .....	257
17.2.1. Odporność na gwałtowne zmiany temperatury .....	257
17.2.2. Pełzanie i zmęczenie cieplne .....	258
<b>18. WYTWARZANIE I KSZTAŁTOWANIE CERAMIKI – WAŻNIEJSZE GATUNKI CERAMIKI TECHNICZNEJ</b> .....	260
18.1. WYTWARZANIE CERAMIKI I INFORMACJE PODSTAWOWE .....	260
18.2. WAŻNIEJSZE GATUNKI CERAMIKI TECHNICZNEJ .....	262
18.2.1. Tlenek aluminium $Al_2O_3$ .....	262
18.2.2. Azotek krzemu $Si_3N_4$ .....	263
18.2.3. Ceramika cyrkonowa $ZrO_2$ .....	264
18.2.4. Ceramika karborudowa $SiC$ .....	265
18.3. WŁAŚCIWOŚCI CERAMIKI TECHNICZNEJ .....	266
18.4. MOŻLIWOŚCI PODWYŻSZANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW CERAMICZNYCH .....	270

#### **MATERIAŁY KOMPOZYTOWE**

<b>19. KOMPOZYTY</b> .....	271
19.1. WPROWADZENIE .....	271
19.1.1. Klasyfikacja kompozytów .....	272
19.1.2. Elementy mechaniki kompozytów .....	275
19.2. RODZAJE WZMOCNIENIA ORAZ GRANICA ROZDZIAŁU MIĘDZY WZMOCNIENIEM A OSNOWĄ .....	283
19.2.1. Włókna syntetyczne nieorganiczne .....	284
19.2.2. Elementy wzmacniające w postaci wiskersów oraz cząstek .....	290
19.3. KOMPOZYTY O OSNOWIE METALOWEJ .....	291
19.3.1. Wprowadzenie .....	291
19.3.2. Wytwarzanie kompozytów o osnowie metalowej .....	292
19.3.3. Reakcje na granicy rozdziału wzmocnienie-osnowa .....	297
19.3.4. Właściwości mechaniczne kompozytów .....	297
19.3.5. Zastosowanie kompozytów o osnowie metalowej .....	301
<b>20. KOMPOZYTY O OSNOWIE CERAMICZNEJ</b> .....	304
20.1. WPROWADZENIE .....	304
20.2. WYTWARZANIE KOMPOZYTÓW O OSNOWIE CERAMICZNEJ .....	305
20.3. PRZEGLĄD WAŻNIEJSZYCH KOMPOZYTÓW O OSNOWIE CERAMICZ- NEJ .....	308
20.3.1. Kompozyty o osnowie $Al_2O_3$ .....	308
20.3.2. Kompozyty o osnowie szklisto-ceramicznej .....	310
20.3.3. Kompozyty węglowo-węglowe .....	311
LITERATURA .....	314