

Spis treści

	str.
1. Wstęp	13
2. Podstawy nauki o materiałach	17
2.1. Materia i jej składniki	17
2.1.1. Cząstki elementarne materii	17
2.1.2. Budowa atomu	19
2.1.3. Klasyfikacja pierwiastków chemicznych	23
2.1.4. Wiązania pierwotne i wtórne między atomami	26
2.2. Ogólna klasyfikacja materiałów i ich znaczenie w rozwoju cywilizacyjnym ludzkości	29
2.2.1. Podstawowe grupy materiałów i ich historyczny rozwój	29
2.2.2. Przykłady zastosowania nowoczesnych materiałów	32
2.2.3. Ekonomiczne uwarunkowania stosowania materiałów	35
2.3. Podstawy doboru materiałów na produkty i ich elementy	39
2.3.1. Czynniki decydujące o doborze materiałów	39
2.3.2. Porównanie własności mechanicznych materiałów	41
2.3.3. Porównanie własności materiałów w warunkach eksploatacji	49
2.4. Ogólny przegląd głównych grup materiałów inżynierskich	53
2.4.1. Metale i ich stopy	53
2.4.2. Polimery	54
2.4.3. Materiały ceramiczne	66
2.4.4. Materiały kompozytowe	72
2.4.5. Aktualne wykorzystanie różnych grup materiałów	76
3. Struktura i umocnienie metali i stopów	77
3.1. Krystaliczna struktura metali	77
3.1.1. Podstawowe elementy krystalografii	77
3.1.2. Struktury sieciowe metali	82
3.2. Rzeczywista struktura metali	86
3.2.1. Wady budowy krystalicznej i ich wpływ na własności metali	86
3.2.2. Wady punktowe budowy krystalicznej	87
3.2.3. Dyslokacje i ich własności	88
3.2.4. Rozmnażanie dyslokacji	96
3.2.5. Oddziaływanie między dyslokacjami	99
3.2.6. Błędy ułożenia	102

3.2.7. Reakcje i bariery dyslokacyjne	103
3.2.8. Polikrystaliczna struktura metali	109
3.2.9. Szkła metaliczne	112
3.3. Stopy metali i fazy	113
3.3.1. Ogólne wiadomości o stopach metali	113
3.3.2. Roztwory stałe	113
3.3.3. Umocnienie roztworów stałych	117
3.3.4. Fazy międzymetaliczne	118
3.3.5. Fazy międzywęzłowe o strukturach prostych i złożonych	122
3.3.6. Mieszanki faz	126
3.3.7. Umocnienie stopów cząstkami faz wtórnych	127
3.4. Układy równowagi fazowej	130
3.4.1. Równowaga termodynamiczna układu i energia swobodna	130
3.4.2. Wykresy równowagi fazowej i metody ich wyznaczania	134
3.4.3. Dwuskładnikowe układy równowagi fazowej	136
3.4.4. Wieloskładnikowe układy równowagi fazowej	143
3.4.5. Układy metastabilne	146
3.5. Układ równowagi fazowej żelazo-węgiel	150
3.5.1. Żelazo i jego własności	150
3.5.2. Wykresy równowagi układu żelazo-węgiel	151
3.5.3. Przemiany fazowe podczas chłodzenia stopów żelaza z węglem	152
3.5.4. Ogólna klasyfikacja stopów żelaza z węglem	160

4. Kształtowanie struktury i własności metali i stopów

metodami technologicznymi	161
4.1. Mechanizmy i warunki krystalizacji	161
4.1.1. Ciekły i gazowy stan skupienia metali	161
4.1.2. Termodynamiczne warunki krystalizacji	161
4.1.3. Tworzenie zarodków krystalizacji	163
4.1.4. Mechanizmy wzrostu kryształów	165
4.1.5. Kinetyka procesów krystalizacji	166
4.1.6. Krystalizacja czystych metali	167
4.1.7. Krystalizacja stopów metali o strukturze roztworów stałych	169
4.1.8. Krystalizacja stopów metali o strukturze mieszanin	171
4.2. Obróbka plastyczna metali	173
4.2.1. Ogólna charakterystyka obróbki plastycznej metali	173
4.2.2. Mechanizmy odkształcenia plastycznego	175
4.3. Odkształcenie plastyczne metali na zimno	175
4.3.1. Poślizg	175
4.3.2. Bliźniakowanie	177
4.3.3. Odkształcenie plastyczne na zimno metali polikrystalicznych	177

4.4. Procesy aktywowane cieplnie zachodzące podczas wyżarzania metali uprzednio odkształconych plastycznie na zimno	179
4.4.1. Zdrowienie statyczne	179
4.4.2. Rekrytalizacja statyczna	180
4.5. Odształcenie plastyczne metali na gorąco	185
4.5.1. Pełzanie dyslokacyjne oraz dynamiczne mechanizmy aktywowane cieplnie	185
4.5.2. Mechanizmy podczas obróbki plastycznej metali na gorąco	187
4.5.3. Pełzanie dyfuzyjne	188
4.5.4. Poślizg po granicach ziarn	190
4.6. Obróbka cieplna stali	192
4.6.1. Klasyfikacja obróbki cieplnej	192
4.6.2. Operacje i zabiegi obróbki cieplnej	193
4.7. Podstawy teoretyczne zwykłej obróbki cieplnej stali	195
4.7.1. Przemiany w stali podczas nagrzewania	195
4.7.2. Przemiany w stali podczas chłodzenia	198
4.7.3. Wykresy przemian austenitu przechłodzonego podczas chłodzenia izotermicznego i ciągłego	209
4.7.4. Przemiany w stali podczas odpuszczania	211
4.8. Zarys technologii zwykłej obróbki cieplnej	214
4.8.1. Grzanie i ośrodki grzejne	214
4.8.2. Chłodzenie i ośrodki chłodzące	217
4.8.3. Wyżarzanie	218
4.8.4. Hartowanie objętościowe	220
4.8.5. Hartowanie powierzchniowe	223
4.8.6. Odpuszczanie	224
4.8.7. Obróbka podzerowa	225
4.8.8. Utwardzanie wydzieleniowe	225
4.8.9. Naprężenia własne i wady powstające podczas obróbki cieplnej	227
4.9. Hartowność i odpuszczalność stali	231
4.9.1. Hartowność stali	231
4.9.2. Metody obliczania i modelowania hartowności	236
4.9.3. Odpuszczalność	242
4.10. Podstawy teoretyczne obróbki cieplno-chemicznej stali	246
4.10.1. Obróbka cieplno-chemiczna stali i jej klasyfikacja	246
4.10.2. Zjawiska fizykochemiczne zachodzące podczas obróbki cieplno-chemicznej	250
4.11. Dyfuzyjne nasycanie stali niemetalami i metalami	253
4.11.1. Nawęglanie	253
4.11.2. Azotowanie	256
4.11.3. Kompleksowe nasycanie azotem i innymi pierwiastkami	259
4.11.4. Borowanie	261
4.11.5. Dyfuzyjne nasycanie stali pierwiastkami metalicznymi	262

4.11.6. Specjalne metody kompleksowej obróbki cieplno-chemicznej	263
4.12. Obróbka cieplna w atmosferach regulowanych i w próżni	265
4.12.1. Atmosfery ochronne	265
4.12.2. Obróbka cieplna w próżni	266
4.13. Obróbka cieplno-mechaniczna metali	268

5. Zależność warunków pracy oraz mechanizmów zużycia i dekohezji metali i stopów	271
5.1. Własności mechaniczne metali i stopów i ich badania	271
5.2. Własności wytrzymałościowe i plastyczne określane metodami badań statycznych	272
5.2.1. Własności wytrzymałościowe przy rozciąganiu	272
5.2.2. Własności wytrzymałościowe przy ściskaniu	276
5.2.3. Własności wytrzymałościowe przy zginaniu	277
5.2.4. Własności mechaniczne przy skręcaniu	278
5.2.5. Wytrzymałość przy złożonym stanie naprężenia	280
5.3. Twardość	280
5.3.1. Istota i klasyfikacja twardości	280
5.3.2. Statyczne metody pomiaru twardości	281
5.3.3. Mikrotwardość	287
5.4. Własności mechaniczne określane w próbach udarowych	289
5.4.1. Udarowość	289
5.4.2. Udarowe próby rozciągania	290
5.5. Ciągliwość metali badana metodami mechaniki pękania	291
5.5.1. Ogólna charakterystyka mechaniki pękania i jej metod badawczych	291
5.5.2. Podstawowe zależności liniowo-sprężystej mechaniki pękania	294
5.5.3. Podstawowe zależności nieliniowej mechaniki pękania	296
5.6. Zmęczenie metali i stopów	299
5.6.1. Istota zmęczenia i pojęcia ogólne	299
5.6.2. Opracowanie wyników prób zmęzeniowych i wykresy zmęzeniowe	300
5.6.3. Zjawiska zmęzeniowe	304
5.6.4. Złomy zmęzeniowe	310
5.7. Pęzanie metali i stopów	311
5.7.1. Żarowytrzymałość	311
5.7.2. Istota i rodzaje pęzania	313
5.7.3. Wyczerpanie i uszkodzenie w wyniku pęzania	320
5.7.4. Procesy wyczerpania podczas pęzania czystych metali	321
5.7.5. Procesy wyczerpania podczas pęzania stopów jednofazowych	323
5.7.6. Pęzanie stopów z wydzieleniami cząstek drugiej fazy	326
5.7.7. Procesy uszkodzeń wewnętrznych i dekohezji podczas pęzania	328

5.7.8. Międzykrystaliczne pękanie szczelinowe podczas pełzania	330
5.7.9. Międzykrystaliczne pękanie kawitacyjne podczas pełzania	331
5.7.10. Trwałość rozporządzalna i resztkowa elementów konstrukcyjnych pracujących w warunkach pełzania	337
5.8. Korozja metali i stopów	344
5.8.1. Korozja i jej skutki	344
5.8.2. Odmiany zniszczeń korozyjnych	345
5.8.3. Korozja elektrochemiczna i jej mechanizm	346
5.8.4. Czynniki decydujące o przebiegu korozji elektrochemicznej	348
5.8.5. Korozja gazowa	352
5.8.6. Mechanizmy powstawania zgorzeli	354
5.8.7. Czynniki wpływające na korozję gazową	358
5.8.8. Ochrona przed korozją	359
5.9. Zużycie trybologiczne	366
5.9.1. Definicja i podział zużycia trybologicznego	366
5.9.2. Zużycie ściernie	367
5.9.3. Zużycie adhezyjne	367
5.9.4. Scuffing	368
5.9.5. Zużycie z udziałem utleniania	369
5.9.6. Zużycie zmęczeniowe	369
5.9.7. Fretting	370
5.10. Procesy zużycia i niszczenia narzędzi	370
5.10.1. Procesy zużycia narzędzi skrawających	370
5.10.2. Procesy zużycia narzędzi do pracy na gorąco	374
6. Stale i inne stopy żelaza	379
6.1. Ogólna klasyfikacja stali	379
6.1.1. Główne kryteria klasyfikacji stali	379
6.1.2. Klasyfikacja stali według składu chemicznego	379
6.1.3. Klasyfikacja stali niestopowych według własności i zastosowania	381
6.1.4. Klasyfikacja stali stopowych według własności i zastosowania	384
6.2. Stale niestopowe	388
6.2.1. Stale niestopowe i węglowe	388
6.2.2. Struktura i własności stali węglowych	388
6.2.3. Rola domieszek, zanieczyszczeń i wtrąceń niemetalicznych w stalach niestopowych	389
6.2.4. Stale niestopowe konstrukcyjne	390
6.2.5. Stale niestopowe narzędziowe	398
6.3. Rola pierwiastków stopowych w stalach	399
6.3.1. Dodatki stopowe w stalach i innych stopach żelaza	399
6.3.2. Znaczenie pierwiastków stopowych rozpuszczonych w roztworach stałych	400

6.3.3. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w węglkach i azotkach	408
6.3.4. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w fazach międzymetalicznych, wtrąceniach niemetalicznych i fazach obcych	410
6.4. Stale konstrukcyjne stopowe	412
6.4.1. Zasady doboru stali stopowych na elementy konstrukcyjne	412
6.4.2. Ogólna charakterystyka stali konstrukcyjnych stopowych	413
6.4.3. Niskostopowe stale konstrukcyjne spawalne z mikrodotatkami	414
6.4.4. Stale konstrukcyjne stopowe do ulepszania cieplnego	417
6.4.5. Stale konstrukcyjne stopowe sprężynowe	421
6.4.6. Stale konstrukcyjne stopowe na elementy łożysk tocznych	424
6.4.7. Stale konstrukcyjne stopowe do nawęglania	425
6.4.8. Stale konstrukcyjne stopowe do azotowania	425
6.5. Stale narzędziowe stopowe	427
6.5.1. Ogólna charakterystyka stali narzędziowych stopowych	427
6.5.2. Stale szybko tnące	429
6.5.3. Stale narzędziowe stopowe do pracy na gorąco	433
6.5.4. Stale narzędziowe stopowe do pracy na zimno	437
6.6. Stale i stopy żelaza o szczególnych własnościach	439
6.6.1. Stale stopowe do pracy w podwyższonej temperaturze	440
6.6.2. Stale żaroodporne i żarowytrzymałe	444
6.6.3. Stale zaworowe	446
6.6.4. Stale i stopy odporowe	447
6.6.5. Nadstopy i stopy wysokożarowytrzymałe	448
6.6.6. Stale odporne na korozję	450
6.6.7. Stale do pracy w obniżonej temperaturze	457
6.6.8. Stale odporne na ścieranie	459
6.6.9. Stale i stopy o szczególnych własnościach magnetycznych	460
6.6.10. Wysokowytrzymałe niskowęglowe stale martenzytyczne utwardzane wydzieleniowo typu "maraging"	462
6.7. Odlewnicze stopy żelaza	464
6.7.1. Staliwa węglowe	464
6.7.2. Staliwa stopowe	466
6.7.3. Żeliwa węglowe	470
6.7.4. Żeliwa stopowe	477
7. Metale nieżelazne i ich stopy	487
7.1. Aluminium i jego stopy	487
7.1.1. Aluminium	487
7.1.2. Ogólna klasyfikacja stopów aluminium	488
7.1.3. Stopy aluminium z krzemem	489
7.1.4. Stopy aluminium z magnezem	492
7.1.5. Stopy aluminium z miedzią	493

7.1.6. Wieloskładnikowe stopy aluminium z cynkiem	497
7.1.7. Stopy aluminium z manganem	498
7.2. Miedź i jej stopy	499
7.2.1. Miedź	499
7.2.2. Ogólna klasyfikacja stopów miedzi	500
7.2.3. Mosiądze	501
7.2.4. Miedzionikle	505
7.2.5. Brązy cynowe	505
7.2.6. Brązy aluminiowe	509
7.2.7. Brązy berylowe	511
7.2.8. Brązy krzemowe	511
7.2.9. Brązy manganowe	513
7.3. Pozostałe metale nieżelazne i ich stopy	514
7.3.1. Nikiel	514
7.3.2. Stopy niklu	515
7.3.3. Metale trudno topliwe i ich stopy	516
7.3.4. Kobalt i jego stopy	517
7.3.5. Cynk i jego stopy	518
7.3.6. Magnez i jego stopy	519
7.3.7. Cyna i ołów oraz ich stopy	521
7.3.8. Metale szlachetne i ich stopy	523
7.3.9. Stopy metali nieżelaznych z pamięcią kształtu	525

8. Materiały spiekane 529

8.1. Ogólna charakterystyka metod wytwarzania proszków i otrzymywania materiałów spiekanych	529
8.1.1. Metalurgia proszków jako technologia materiałów i gotowych produktów	529
8.1.2. Metody wytwarzania i przygotowywania proszków	530
8.1.3. Formowanie proszków na zimno	533
8.1.4. Spiekanie	534
8.1.5. Obróbka wykończająca spieków	536
8.2. Przegląd materiałów oraz produktów konstrukcyjnych i specjalnych spiekanych z proszków	536
8.2.1. Masowe produkty spiekane ze stali i stopów metali nieżelaznych	536
8.2.2. Łożyska i filtry spiekane	537
8.2.3. Spiekane styki i przewody elektryczne	538
8.2.4. Spiekane materiały magnetycznie twarde i magnetycznie miękkie	539
8.2.5. Spiekane materiały odporne na korozję, żaroodporne i żarowytrzymałe	540
8.3. Spiekane materiały narzędziowe	541
8.3.1. Ogólna charakterystyka spiekanych materiałów narzędziowych	541
8.3.2. Spiekane stale szybkotnące	543

8.3.3. Węglikostale spiekane	549
8.3.4. Węglik spiekane	551
8.3.5. Węglik spiekane pokrywane twardymi warstwami powierzchniowymi	559
8.3.6. Spiekane materiały narzędziowe ceramiczne i ceramiczno-węglkowe	562
8.3.7. Supertwarde materiały narzędziowe	568

Literatura uzupełniająca	571
--------------------------------	-----