

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>O Autorze</b> ..... | 6 |
|------------------------|---|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>Spis treści</b> ..... | 11 |
|--------------------------|----|



|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>1. Wprowadzenie</b> ..... | 23 |
|------------------------------|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>Treść i forma książki</b> ..... | 24 |
|------------------------------------|----|

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Znaczenie nauki o materiałach w realizacji zadań środowiska inżynierskiego ..... | 24 |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Celowość przekazywania wiedzy o materiałach inżynierskich ..... | 25 |
|-----------------------------------------------------------------|----|

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| Przesłanki wydania książki ..... | 27 |
|----------------------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| Układ książki ..... | 29 |
|---------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| Forma książki ..... | 32 |
|---------------------|----|

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>Podziękowania</b> ..... | 34 |
|----------------------------|----|



|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| <b>2. Podstawy nauki o materiałach</b> ..... | 37 |
|----------------------------------------------|----|

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| <b>2.1. Materia i jej składniki</b> ..... | 38 |
|-------------------------------------------|----|

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 2.1.1. Częstki elementarne materii ..... | 38 |
|------------------------------------------|----|

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 2.1.2. Budowa atomu ..... | 40 |
|---------------------------|----|

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 2.1.3. Klasyfikacja pierwiastków chemicznych ..... | 43 |
|----------------------------------------------------|----|

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 2.1.4. Wiązania pierwotne i wtórne między atomami ..... | 46 |
|---------------------------------------------------------|----|

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2.2. Ogólny przegląd głównych grup materiałów inżynierskich</b> ..... | 54 |
|--------------------------------------------------------------------------|----|

|                                          |    |
|------------------------------------------|----|
| 2.2.1. Podstawowe grupy materiałów ..... | 54 |
|------------------------------------------|----|

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2.2.2. Metale i ich stopy ..... | 54 |
|---------------------------------|----|

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 2.2.3. Polimery ..... | 56 |
|-----------------------|----|

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 2.2.4. Materiały ceramiczne ..... | 57 |
|-----------------------------------|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 2.2.5. Materiały kompozytowe ..... | 58 |
|------------------------------------|----|

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>2.3. Znaczenie materiałów inżynierskich w rozwoju cywilizacyjnym ludzkości</b> ..... | 59 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1. Współczesne zastosowania materiałów inżynierskich ..... | 59 |
|----------------------------------------------------------------|----|

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2. Historyczny rozwój materiałów inżynierskich ..... | 76 |
|----------------------------------------------------------|----|

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3. Prognoza rozwoju materiałów inżynierskich ..... | 79 |
|--------------------------------------------------------|----|

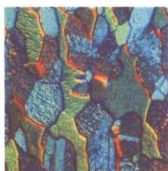
|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>2.4. Podstawy doboru materiałów na produkty i ich elementy</b> ..... | 100 |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|

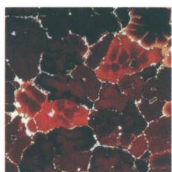
|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.1. Czynniki decydujące o doborze materiałów inżynierskich ..... | 100 |
|---------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.2. Porównanie podstawowych własności mechanicznych, technologicznych<br>i eksploatacyjnych materiałów inżynierskich ..... | 101 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.4.3. Ekonomiczne uwarunkowania stosowania materiałów inżynierskich ..... | 117 |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|

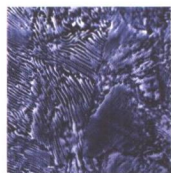
|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>2.5. Współczesne znaczenie i tendencje rozwojowe nauki o materiałach</b>                                                       | 128 |
| 2.5.1. Definicja i zakres nauki o materiałach i inżynierii materiałowej                                                           | 128 |
| 2.5.2. Najistotniejsze zadania do osiągnięcia przez naukę o materiałach i inżynierię materiałową w najbliższych dziesięcioleciach | 138 |
| <b>3. Struktura i umocnienie metali i stopów</b>                                                                                  | 147 |
| <b>3.1. Krystaliczna struktura metali</b>                                                                                         | 148 |
| 3.1.1. Podstawowe elementy krystalografii                                                                                         | 148 |
| 3.1.2. Struktury sieciowe metali                                                                                                  | 154 |
| <b>3.2. Rzeczywista struktura metali</b>                                                                                          | 160 |
| 3.2.1. Wady budowy krystalicznej i ich wpływ na własności metali                                                                  | 160 |
| 3.2.2. Wady punktowe budowy krystalicznej                                                                                         | 161 |
| 3.2.3. Dyslokacje i ich własności                                                                                                 | 162 |
| 3.2.4. Rozmnażanie dyslokacji                                                                                                     | 171 |
| 3.2.5. Oddziaływanie między dyslokacjami                                                                                          | 176 |
| 3.2.6. Błędy ułożenia                                                                                                             | 179 |
| 3.2.7. Reakcje i bariery dyslokacyjne                                                                                             | 180 |
| 3.2.8. Polikrystaliczna struktura metali                                                                                          | 187 |
| 3.2.9. Szkła metaliczne                                                                                                           | 190 |
| <b>3.3. Stopy metali i fazy</b>                                                                                                   | 194 |
| 3.3.1. Ogólne wiadomości o stopach metali                                                                                         | 194 |
| 3.3.2. Roztwory stałe                                                                                                             | 194 |
| 3.3.3. Umocnienie roztworów stałych                                                                                               | 198 |
| 3.3.4. Fazy międzymetaliczne                                                                                                      | 199 |
| 3.3.5. Fazy międzywęzłowe o strukturach prostych i złożonych                                                                      | 203 |
| 3.3.6. Mieszaniny faz                                                                                                             | 207 |
| 3.3.7. Umacnianie stopów cząstkami faz wtórnych                                                                                   | 207 |
| <b>3.4. Układy równowagi fazowej</b>                                                                                              | 211 |
| 3.4.1. Równowaga termodynamiczna układu i energia swobodna                                                                        | 211 |
| 3.4.2. Wykresy równowagi fazowej i metody ich wyznaczania                                                                         | 214 |
| 3.4.3. Dwuskładnikowe układy równowagi fazowej                                                                                    | 218 |
| 3.4.4. Wieloskładnikowe układy równowagi fazowej                                                                                  | 227 |
| 3.4.5. Układy metastabilne                                                                                                        | 230 |
| <b>3.5. Układ równowagi fazowej żelazo-węgiel</b>                                                                                 | 234 |
| 3.5.1. Wykresy równowagi układu żelazo-węgiel                                                                                     | 234 |
| 3.5.2. Ogólna klasyfikacja stopów żelaza z węglem                                                                                 | 237 |





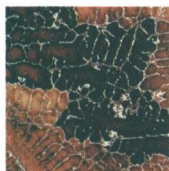
|                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4. Kształtowanie struktury i własności metali i stopów</b>                                                                  | 241 |
| <b>4.1. Mechanizmy i warunki krystalizacji</b>                                                                                 | 242 |
| 4.1.1. Ciekły i gazowy stan skupienia metali                                                                                   | 242 |
| 4.1.2. Termodynamiczne warunki krystalizacji                                                                                   | 243 |
| 4.1.3. Tworzenie zarodków krystalizacji                                                                                        | 244 |
| 4.1.4. Mechanizmy wzrostu kryształów                                                                                           | 246 |
| 4.1.5. Kinetyka procesów krystalizacji                                                                                         | 248 |
| 4.1.6. Krystalizacja czystych metali                                                                                           | 248 |
| 4.1.7. Krystalizacja stopów metali o strukturze roztworów stałych                                                              | 250 |
| 4.1.8. Krystalizacja stopów metali o strukturze mieszanin                                                                      | 252 |
| <b>4.2. Obróbka plastyczna metali</b>                                                                                          | 255 |
| 4.2.1. Ogólna charakterystyka obróbki plastycznej metali                                                                       | 255 |
| 4.2.2. Mechanizmy odkształcenia plastycznego                                                                                   | 256 |
| <b>4.3. Odkształcenie plastyczne metali na zimno</b>                                                                           | 260 |
| 4.3.1. Poślizg                                                                                                                 | 260 |
| 4.3.2. Bliźniakowanie                                                                                                          | 261 |
| 4.3.3. Odkształcenie plastyczne na zimno metali polikrystalicznych                                                             | 262 |
| <b>4.4. Procesy aktywowane cieplnie zachodzące podczas wyżarzania metali<br/>uprzednio odkształconych plastycznie na zimno</b> | 265 |
| 4.4.1. Zdrowienie statyczne                                                                                                    | 265 |
| 4.4.2. Rekrytalizacja statyczna                                                                                                | 266 |
| <b>4.5. Odkształcenie plastyczne metali na gorąco</b>                                                                          | 274 |
| 4.5.1. Pełzanie dyslokacyjne oraz dynamiczne mechanizmy aktywowane cieplnie                                                    | 274 |
| 4.5.2. Mechanizmy podczas obróbki plastycznej metali na gorąco                                                                 | 276 |
| 4.5.3. Pełzanie dyfuzyjne                                                                                                      | 277 |
| 4.5.4. Poślizg po granicach ziarn                                                                                              | 279 |
| <b>4.6. Obróbka cieplna stali</b>                                                                                              | 284 |
| 4.6.1. Klasyfikacja obróbki cieplnej                                                                                           | 284 |
| 4.6.2. Operacje i zabiegi obróbki cieplnej                                                                                     | 286 |
| <b>4.7. Podstawy teoretyczne zwykłej obróbki cieplnej stali</b>                                                                | 287 |
| 4.7.1. Przemiany w stali podczas nagrzewania                                                                                   | 287 |
| 4.7.2. Przemiany w stali podczas chłodzenia                                                                                    | 290 |
| 4.7.3. Wykresy przemian austenitu przechłodzonego podczas chłodzenia<br>izotermicznego i ciągłego                              | 305 |
| 4.7.4. Przemiany w stali podczas odpuszczania                                                                                  | 307 |
| 4.7.5. Rola przemian fazowych w procesach technologicznych obróbki cieplnej<br>metalowych materiałów inżynierskich             | 309 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>4.8. Zarys technologii zwykłej obróbki cieplnej</b>                               | 315 |
| 4.8.1. Grzanie i ośrodki grzejne                                                     | 315 |
| 4.8.2. Chłodzenie i ośrodki chłodzące                                                | 319 |
| 4.8.3. Wyżarzanie                                                                    | 320 |
| 4.8.4. Hartowanie objętościowe                                                       | 323 |
| 4.8.5. Hartowanie powierzchniowe                                                     | 326 |
| 4.8.6. Odpuszczanie                                                                  | 327 |
| 4.8.7. Obróbka podzerowa                                                             | 329 |
| 4.8.8. Utwardzanie wydzieleniowe                                                     | 329 |
| 4.8.9. Naprężenia własne i wady powstające podczas obróbki cieplnej                  | 331 |
| <b>4.9. Hartowność i odpuszczalność stali</b>                                        | 341 |
| 4.9.1. Hartowność stali                                                              | 341 |
| 4.9.2. Metody obliczania i modelowania hartowności                                   | 346 |
| 4.9.3. Odpuszczalność                                                                | 354 |
| <b>4.10. Obróbka cieplno-mechaniczna metali</b>                                      | 360 |
| 4.10.1. Rodzaje obróbki cieplno-mechanicznej                                         | 360 |
| 4.10.2. Walcowanie regulowane i ze sterowaną rekrytalizacją                          | 361 |
| <b>4.11. Kształtowanie struktury i własności warstw powierzchniowych</b>             | 364 |
| 4.11.1. Ogólna klasyfikacja warstw powierzchniowych i procesów ich wytwarzania       | 364 |
| 4.11.2. Obróbka cieplno-chemiczna stali                                              | 366 |
| 4.11.3. Nawęglanie                                                                   | 377 |
| 4.11.4. Azotowanie                                                                   | 380 |
| 4.11.5. Kompleksowe nasycanie azotem i innymi pierwiastkami                          | 384 |
| 4.11.6. Borowanie                                                                    | 386 |
| 4.11.7. Dyfuzyjne nasycanie stali pierwiastkami metalicznymi                         | 388 |
| 4.11.8. Atmosfery ochronne i obróbka cieplna w próżni                                | 389 |
| 4.11.9. Procesy nanoszenia powłok z fazy gazowej                                     | 391 |
| 4.11.10. Warstwy powierzchniowe kształtowane z wykorzystaniem technologii laserowych | 407 |
| 4.11.11. Warstwy powierzchniowe nanoszone metodami spawalniczymi                     | 414 |
| 4.11.12. Powierzchniowe warstwy ceramiczne                                           | 418 |
| <b>5. Stale i inne stopy żelaza</b>                                                  | 421 |
| <b>5.1. Żelazo i jego własności</b>                                                  | 422 |
| 5.1.1. Ogólna charakterystyka żelaza                                                 | 422 |
| 5.1.2. Przemiany fazowe podczas chłodzenia stopów żelaza z węglem                    | 424 |
| <b>5.2. Stale i ich klasyfikacja</b>                                                 | 428 |
| 5.2.1. Główne kryteria klasyfikacji stali                                            | 428 |
| 5.2.2. Klasyfikacja stali według składu chemicznego                                  | 428 |

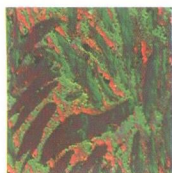


|                                                                                                                                      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.2.3. Klasyfikacja stali niestopowych według jakości, własności i zastosowania .....                                                | 430        |
| 5.2.4. Klasyfikacja stali stopowych według jakości, własności i zastosowania .....                                                   | 434        |
| 5.2.5. Oznaczanie stali .....                                                                                                        | 435        |
| <b>5.3. Stale niestopowe .....</b>                                                                                                   | <b>439</b> |
| 5.3.1. Stale niestopowe i węglowe .....                                                                                              | 439        |
| 5.3.2. Struktura i własności stali węglowych .....                                                                                   | 439        |
| 5.3.3. Rola domieszek, zanieczyszczeń i wtrąceń niemetalicznych w stalach niestopowych .....                                         | 440        |
| 5.3.4. Stale niestopowe konstrukcyjne, maszynowe i na urządzenia ciśnieniowe .....                                                   | 441        |
| 5.3.5. Stale niestopowe niskowęglowe do obróbki plastycznej na zimno .....                                                           | 460        |
| 5.3.6. Stale niestopowe narzędziowe .....                                                                                            | 468        |
| <b>5.4. Rola pierwiastków stopowych w stalach .....</b>                                                                              | <b>470</b> |
| 5.4.1. Dodatki stopowe w stalach i innych stopach żelaza .....                                                                       | 470        |
| 5.4.2. Znaczenie pierwiastków stopowych rozpuszczonych w roztworach stałych .....                                                    | 471        |
| 5.4.3. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w węglkach i azotkach .....                                                       | 478        |
| 5.4.4. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w fazach międzymetalicznych,<br>wtrąceniach niemetalicznych i fazach obcych ..... | 481        |
| <b>5.5. Stale stopowe konstrukcyjne, maszynowe i na urządzenia ciśnieniowe .....</b>                                                 | <b>486</b> |
| 5.5.1. Kryteria doboru stali stopowych na elementy konstrukcyjne i elementy maszyn .....                                             | 486        |
| 5.5.2. Ogólna charakterystyka stali stopowych konstrukcyjnych, maszynowych<br>i na urządzenia ciśnieniowe .....                      | 487        |
| 5.5.3. Stale konstrukcyjne o podwyższonej granicy plastyczności przeznaczone<br>do obróbki plastycznej na zimno .....                | 488        |
| 5.5.4. Niskostopowe stale konstrukcyjne i na urządzenia ciśnieniowe, spawalne,<br>z mikrododatkami .....                             | 491        |
| 5.5.5. Stale maszynowe z mikrododatkami .....                                                                                        | 502        |
| 5.5.6. Stale konstrukcyjne trudno rdzewiejące .....                                                                                  | 504        |
| 5.5.7. Stale stopowe konstrukcyjne i maszynowe do ulepszania cieplnego .....                                                         | 508        |
| 5.5.8. Stale stopowe sprężynowe .....                                                                                                | 512        |
| 5.5.9. Stale stopowe maszynowe do nawęglania .....                                                                                   | 515        |
| 5.5.10. Stale stopowe do azotowania .....                                                                                            | 517        |
| <b>5.6. Stale stopowe na elementy łożysk tocznych .....</b>                                                                          | <b>519</b> |
| 5.6.1. Ogólna charakterystyka stali na elementy łożysk tocznych .....                                                                | 519        |
| 5.6.2. Obróbka cieplna stali na elementy łożysk tocznych .....                                                                       | 521        |
| <b>5.7. Stale stopowe stosowane na narzędzia .....</b>                                                                               | <b>525</b> |
| 5.7.1. Ogólna charakterystyka stali stopowych stosowanych na narzędzia .....                                                         | 525        |
| 5.7.2. Stale szybko tnące .....                                                                                                      | 526        |
| 5.7.3. Stale narzędziowe stopowe do pracy na gorąco .....                                                                            | 532        |
| 5.7.4. Stale narzędziowe stopowe do pracy na zimno .....                                                                             | 533        |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>5.8. Stale i stopy żelaza o szczególnych właściwościach</b>                                         | 539 |
| 5.8.1. Stale stopowe do pracy w podwyższonej temperaturze                                              | 539 |
| 5.8.2. Stale żaroodporne i żarowytrzymałe                                                              | 543 |
| 5.8.3. Stale zaworowe                                                                                  | 549 |
| 5.8.4. Stale i stopy oporowe                                                                           | 550 |
| 5.8.5. Nadstopy i stopy wysokożarowytrzymałe                                                           | 551 |
| 5.8.6. Stale odporne na korozję                                                                        | 553 |
| 5.8.7. Stale do pracy w obniżonej temperaturze                                                         | 567 |
| 5.8.8. Stale odporne na ścieranie                                                                      | 571 |
| 5.8.9. Stale o szczególnych właściwościach magnetycznych                                               | 571 |
| 5.8.10. Wysokowytrzymałe niskowęglowe stale martenzytyczne utwardzane wydzieleniowo<br>typu "maraging" | 579 |
| <b>5.9. Odlewnicze stopy żelaza</b>                                                                    | 582 |
| 5.9.1. Staliwa niestopowe                                                                              | 582 |
| 5.9.2. Staliwa stopowe                                                                                 | 585 |
| 5.9.3. Żeliwa niestopowe                                                                               | 597 |
| 5.9.4. Żeliwa stopowe                                                                                  | 608 |
| <b>6. Metale nieżelazne i ich stopy</b>                                                                | 621 |
| <b>6.1. Ogólna charakterystyka metali nieżelaznych i ich stopów</b>                                    | 622 |
| 6.1.1. Własności i zużycie metali nieżelaznych                                                         | 622 |
| 6.1.2. Klasyfikacja metali nieżelaznych i ich stopów                                                   | 636 |
| <b>6.2. Metale lekkie i ich stopy</b>                                                                  | 641 |
| 6.2.1. Ogólna charakterystyka metali lekkich                                                           | 641 |
| 6.2.2. Aluminium i jego stopy                                                                          | 642 |
| 6.2.3. Tytan i jego stopy                                                                              | 669 |
| 6.2.4. Beryl i jego stopy                                                                              | 680 |
| 6.2.5. Magnez i jego stopy                                                                             | 683 |
| <b>6.3. Metale ciężkie i ich stopy</b>                                                                 | 688 |
| 6.3.1. Ogólna charakterystyka metali ciężkich                                                          | 688 |
| 6.3.2. Miedź i jej stopy                                                                               | 688 |
| 6.3.3. Cynk i jego stopy                                                                               | 723 |
| 6.3.4. Ołów i cyna oraz ich stopy                                                                      | 726 |
| 6.3.5. Nikiel i jego stopy                                                                             | 731 |
| 6.3.6. Kobalt i jego stopy                                                                             | 746 |
| 6.3.7. Cyrkon i hafn oraz ich stopy                                                                    | 750 |
| 6.3.8. Kadm i jego stopy                                                                               | 759 |
| 6.3.9. Ind i bizmut oraz ich stopy                                                                     | 760 |



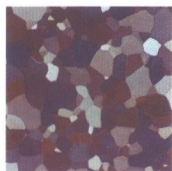
|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>6.4. Metale trudno topliwe i ich stopy</b>                         | 772 |
| 6.4.1. Ogólna charakterystyka metali trudno topliwych                 | 772 |
| 6.4.2. Niob i jego stopy                                              | 778 |
| 6.4.3. Tantal i jego stopy                                            | 779 |
| 6.4.4. Molibden i jego stopy                                          | 781 |
| 6.4.5. Wolfram i jego stopy                                           | 781 |
| 6.4.6. Ren i jego stopy                                               | 782 |
| <b>6.5. Metale szlachetne i ich stopy</b>                             | 783 |
| 6.5.1. Własności i zastosowanie metali szlachetnych i ich stopów      | 783 |
| 6.5.2. Złoto i jego stopy                                             | 788 |
| 6.5.3. Srebro i jego stopy                                            | 793 |
| 6.5.4. Platyna i jej stopy                                            | 799 |
| 6.5.5. Pallad i jego stopy                                            | 801 |
| 6.5.6. Pozostałe metale szlachetne                                    | 805 |
| <b>6.6. Metale alkaliczne i ziem alkalicznych</b>                     | 807 |
| 6.6.1. Ogólna charakterystyka metali alkalicznych i ziem alkalicznych | 807 |
| 6.6.2. Metale alkaliczne                                              | 807 |
| 6.6.3. Metale ziem alkalicznych                                       | 811 |
| <b>6.7. Metale rzadkie</b>                                            | 816 |
| 6.7.1. Ogólna charakterystyka metali rzadkich                         | 816 |
| 6.7.2. Metale ziem rzadkich                                           | 816 |
| 6.7.3. Aktynowce naturalne                                            | 820 |
| 6.7.4. Uran i jego stopy                                              | 824 |
| 6.7.5. Aktynowce transplutonowe niewystępujące w przyrodzie           | 832 |
| <b>6.8. Pozostałe metale nieżelazne i niektóre półmetale</b>          | 837 |
| 6.8.1. Ogólna charakterystyka pozostałych metali nieżelaznych         | 837 |
| 6.8.2. Przegląd pozostałych metali nieżelaznych i wybranych półmetali | 837 |



|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| <b>7. Materiały niemetalowe, funkcjonalne i specjalne</b> | 847 |
| <b>7.1. Materiały ceramiczne</b>                          | 848 |
| 7.1.1. Klasyfikacja i struktura materiałów ceramicznych   | 848 |
| 7.1.2. Ceramika inżynierska                               | 867 |
| 7.1.3. Cermetale inżynierskie                             | 874 |
| 7.1.4. Ceramika porowata                                  | 876 |
| 7.1.5. Materiały ceramiczne o specjalnych zastosowaniach  | 882 |
| 7.1.6. Szkła i ceramika szklana                           | 886 |
| <b>7.2. Materiały węglowe</b>                             | 892 |
| 7.2.1. Węgiel i jego odmiany alotropowe                   | 892 |

|                                                                                         |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| 7.2.2. Fullereny .....                                                                  | 896         |
| 7.2.3. Nanorurki węglowe .....                                                          | 901         |
| <b>7.3. Materiały spiekane i wytwarzane metodami metalurgii proszków .....</b>          | <b>906</b>  |
| 7.3.1. Metalurgia proszków jako technologia materiałów i gotowych produktów .....       | 906         |
| 7.3.2. Wybrane materiały oraz produkty spiekane z proszków .....                        | 914         |
| 7.3.3. Spiekane materiały narzędziowe .....                                             | 918         |
| 7.3.4. Spiekane stale szybkotnące .....                                                 | 921         |
| 7.3.5. Węglikostale spiekane .....                                                      | 929         |
| 7.3.6. Węglik spiekane .....                                                            | 934         |
| 7.3.7. Cermetale narzędziowe .....                                                      | 950         |
| 7.3.8. Spiekane materiały narzędziowe ceramiczne i ceramiczno-węglkowe .....            | 954         |
| 7.3.9. Supertwarde materiały narzędziowe .....                                          | 964         |
| <b>7.4. Materiały polimerowe .....</b>                                                  | <b>974</b>  |
| 7.4.1. Ogólna charakterystyka materiałów polimerowych .....                             | 974         |
| 7.4.2. Budowa chemiczna materiałów polimerowych .....                                   | 986         |
| 7.4.3. Struktury łańcuchów w materiałach polimerowych .....                             | 1006        |
| 7.4.4. Techniczne znaczenie materiałów polimerowych .....                               | 1022        |
| <b>7.5. Materiały kompozytowe .....</b>                                                 | <b>1062</b> |
| 7.5.1. Definicja i kryteria klasyfikacji materiałów kompozytowych .....                 | 1062        |
| 7.5.2. Materiały kompozytowe wzmacniane cząstkami faz .....                             | 1065        |
| 7.5.3. Beton i asfalt jako materiały kompozytowe .....                                  | 1070        |
| 7.5.4. Włókna wzmacniające materiały kompozytowe .....                                  | 1073        |
| 7.5.5. Materiały kompozytowe o osnowie polimerowej wzmacniane włóknami .....            | 1080        |
| 7.5.6. Materiały kompozytowe o osnowie metalowej wzmacniane włóknami .....              | 1098        |
| 7.5.7. Materiały kompozytowe o osnowie metalowej wzmacniane "in situ" .....             | 1106        |
| 7.5.8. Materiały kompozytowe o osnowie ceramicznej i węglowej wzmacniane włóknami ..... | 1110        |
| 7.5.9. Drewno jako naturalny materiał kompozytowy wzmacniany włóknami .....             | 1118        |
| 7.5.10. Materiały kompozytowe warstwowe (laminarne) .....                               | 1128        |
| 7.5.11. Naprawy uszkodzeń materiałów kompozytowych .....                                | 1136        |
| <b>7.6. Materiały dla elektrotechniki, elektroniki, optyki i optoelektroniki .....</b>  | <b>1141</b> |
| 7.6.1. Elektronowa teoria metali .....                                                  | 1141        |
| 7.6.2. Materiały przewodzące prąd elektryczny .....                                     | 1150        |
| 7.6.3. Materiały dielektryczne .....                                                    | 1169        |
| 7.6.4. Materiały półprzewodnikowe .....                                                 | 1180        |
| 7.6.5. Materiały nadprzewodzące .....                                                   | 1207        |
| 7.6.6. Materiały inżynierskie o szczególnych własnościach magnetycznych .....           | 1236        |
| 7.6.7. Materiały stosowane w optyce, optoelektronice i fotonice .....                   | 1251        |
| <b>7.7. Specjalne materiały metalowe .....</b>                                          | <b>1272</b> |
| 7.7.1. Intermetaliki - stopy metali o składzie faz międzymetalicznych .....             | 1272        |
| 7.7.2. Stopy metali o małej rozszerzalności cieplnej .....                              | 1275        |

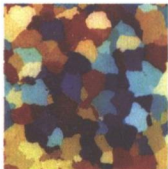
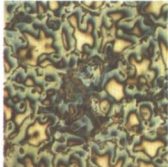
|                                                                                              |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <b>7.8. Materiały amorficzne i nanostrukturalne</b>                                          | 1282 |
| 7.8.1. Stopy o strukturze szkieł metalicznych                                                | 1282 |
| 7.8.2. Masywne metalowe materiały amorficzne                                                 | 1289 |
| 7.8.3. Inżynierskie materiały nanostrukturalne                                               | 1293 |
| <b>7.9. Inżynierskie materiały porowate</b>                                                  | 1306 |
| 7.9.1. Ogólna charakterystyka wysokoporowatych materiałów komórkowych i pianek               | 1306 |
| 7.9.2. Wysokoporowate metalowe materiały komórkowe                                           | 1311 |
| 7.9.3. Polimerowe i ceramiczne materiały porowate                                            | 1315 |
| 7.9.4. Materiały kompozytowe z udziałem materiałów porowatych                                | 1318 |
| <b>7.10. Inżynierskie materiały inteligentne</b>                                             | 1328 |
| 7.10.1. Ogólna charakterystyka inżynierskich materiałów inteligentnych                       | 1328 |
| 7.10.2. Materiały inteligentne z pamięcią kształtu                                           | 1329 |
| 7.10.3. Materiały inteligentne z udziałem metali                                             | 1338 |
| 7.10.4. Inteligentne materiały ceramiczne                                                    | 1342 |
| 7.10.5. Materiały polimerowe inteligentne, przewodzące prąd elektryczny i półprzewodnikowe   | 1344 |
| 7.10.6. Polimery ciekłokrystaliczne                                                          | 1354 |
| 7.10.7. Zastosowanie materiałów inteligentnych w systemach mikro- i nanoelektromechanicznych | 1356 |
| <b>7.11. Materiały biomedyczne i biomimetyczne</b>                                           | 1361 |
| 7.11.1. Materiały biomedyczne                                                                | 1361 |
| 7.11.2. Biomateriały metalowe                                                                | 1363 |
| 7.11.3. Biomateriały ceramiczne                                                              | 1365 |
| 7.11.4. Biomateriały węglowe                                                                 | 1371 |
| 7.11.5. Biomateriały polimerowe                                                              | 1373 |
| 7.11.6. Biomateriały stosowane jako powłoki                                                  | 1374 |
| 7.11.7. Biomateriały stomatologiczne                                                         | 1376 |
| 7.11.8. Biomateriały stosowane w kardiologii interwencyjnej                                  | 1378 |
| 7.11.9. Materiały biomimetyczne                                                              | 1380 |



## **8. Podstawy metodologii projektowania materiałowego** ..... 1385

### **8.1. Rola projektowania materiałowego w projektowaniu inżynierskim produktów i procesów ich wytwarzania** ..... 1386

|                                                                                       |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 8.1.1. Elementy i fazy projektowania inżynierskiego produktów                         | 1386 |
| 8.1.2. Czynniki funkcjonalne w projektowaniu inżynierskim                             | 1395 |
| 8.1.3. Zagadnienia jakości wytwarzania i produktów w projektowaniu inżynierskim       | 1400 |
| 8.1.4. Problematyka zrównoważonego rozwoju w projektowaniu inżynierskim               | 1412 |
| 8.1.5. Czynniki socjologiczne, ekologiczne i ekonomiczne w projektowaniu inżynierskim | 1426 |

|                                                                                                           |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>8.2. Podstawowe zasady projektowania materiałowego .....</b>                                           | <b>1431</b> |
| 8.2.1. Czynniki uwzględniane w projektowaniu materiałowym .....                                           | 1431        |
| 8.2.2. Metodyka projektowania materiałowego .....                                                         | 1437        |
| 8.2.3. Komputerowe wspomaganie projektowania materiałowego .....                                          | 1444        |
| <b>8.3. Zależność projektowania materiałowego i technologicznego produktów<br/>i ich elementów .....</b>  | <b>1463</b> |
| 8.3.1. Podstawowe czynniki uwzględniane podczas projektowania technologicznego .....                      | 1463        |
| 8.3.2. Projektowanie technologiczne produktów z różnych grup materiałów inżynierskich .....               | 1476        |
|  <b>Literatura .....</b>  | <b>1525</b> |
| <b>Literatura uzupełniająca .....</b>                                                                     | <b>1526</b> |
|  <b>Załączniki .....</b>  | <b>1535</b> |
| Legalne jednostki miar .....                                                                              | 1536        |
| Wybrane dane fizykochemiczne metali .....                                                                 | 1543        |
| Systemy oznaczania stopów żelaza, aluminium, miedzi i metali szlachetnych .....                           | 1545        |
|  <b>Skorowidze .....</b> | <b>1561</b> |
| Skorowidz wkładek materiałograficznych .....                                                              | 1562        |
| Skorowidz wkładek tematycznych .....                                                                      | 1563        |
| Skorowidz norm europejskich .....                                                                         | 1564        |
| Skorowidz norm międzynarodowych .....                                                                     | 1572        |
| Skorowidz norm krajowych .....                                                                            | 1573        |
| Skorowidz nazwisk .....                                                                                   | 1574        |
| Skorowidz rzeczowy .....                                                                                  | 1584        |