Indice

Prefazione alla quarta edizione italiana XIV
Prefazione alla quinta edizione americana XV
Autori, curatori XVI
Esercizi e domande per la piattaforma Connect XVII
Ringraziamenti dell'Editore XVII
Guida alla lettura XVIII

Capitolo 1
Introduzione alla scienza e tecnologia dei materiali 1

1.1 Materiali e tecnologia 2
1.2 Scienza e tecnologia dei materiali 4
1.3 Tipi di materiali 5
1.3.1 Materiali metallici 5
1.3.2 Materiali polimerici (materie plastiche) 7
1.3.3 Materiali ceramici 8
1.3.4 Materiali compositi 9
1.3.5 Materiali per l'elettronica 10
1.4 Competizione tra i materiali 11
1.5 Recenti sviluppi nella scienza e nella tecnologia dei materiali e sviluppi futuri 12
1.5.1 Materiali intelligenti (smart materials) 12
1.5.2 Nanomateriali 13
1.6 Progettazione e selezione 14
1.7 Definizioni 15

Capitolo 2
Struttura e legami degli atomi 17

2.1 Struttura degli atomi 19
2.2 Numeri atomici e masse atomiche 19
2.2.1 Numeri atomici 19
2.2.2 Masse atomiche 19
2.3 Struttura elettronica degli atomi 21
2.3.1 L'atomo di idrogeno 21
2.3.2 Numeri quantici degli elettroni degli atomi 24
2.3.3 Struttura elettronica degli atomi con più elettroni 25
2.3.4 Struttura elettronica e reattività chimica 29
2.4 Tipi di legami atomici e molecolari 31
2.4.1 Legami atomici primari 31
2.4.2 Legami atomici e molecolari secondari 31
2.5 Legame ionico 31
2.5.1 Generalità sul legame ionico 31
2.5.2 Forze interioniche tra due ioni 32
2.5.3 Energie interioniche tra due ioni 34
2.5.4 Disposizione degli ioni nei solidi ionici 35
2.5.5 Energie di legame nei solidi ionici 36
2.6 Legame covalente 37
2.6.1 Legame covalente nella molecola di idrogeno 37
2.6.2 Legame covalente in altre molecole biatomiche 38
2.6.3 Legame covalente tra atomi di carbonio 38
2.6.4 Legame covalente in molecole contenenti carbonio 39
2.6.5 Benzene 40
2.7 Legame metallico 41
2.8 Legami secondari 43
2.8.1 Dipoli fluttuanti 44
2.8.2 Dipoli permanenti 45
2.9 Legami misti 46
2.9.1 Legame misto ionico-covalente 46
2.9.2 Legame misto metallico-covalente 47
2.9.3 Legame misto metallico-ionico 47
2.10 Definizioni 47

Capitolo 3
Struttura cristallina e amorfa dei materiali 49

3.1 Reticolo spaziale e celle elementari 50
3.2 Sistemi cristallini e reticoli di Bravais 50
3.3 Principali strutture cristalline metalliche 51
3.3.1 Struttura cubica a corpo centrato (CCC) 53
3.3.2 Struttura cubica a facce centrate (CFC) 55
3.3.3 Struttura esagonale compatta (EC) 55
3.4 Posizioni degli atomi nelle celle elementari cubiche 57
3.5 Direzioni nelle celle elementari cubiche 57
3.6 Piani nelle celle elementari cubiche 60
3.7 Piani cristallografici e direzioni nella struttura cristallina esagonale 64
3.7.1 Indici per i piani cristallini in una cella unitaria EC 64
3.7.2 Indici delle direzioni nelle celle elementari EC 65

3.8 Confronto tra le strutture cristalline CFC, EC, CCC 66
3.8.1 Strutture cristalline CFC e EC 66
3.8.2 Struttura CCC 67
3.9 Densità volumetrica planare e lineare 68
3.9.1 Densità atomica volumetrica 68
3.9.2 Densità atomica planare 69
3.9.3 Densità atomica lineare 70
3.10 Polimorfismo o allotropia 71
3.11 Analisi della struttura cristallina 72
3.11.1 Sorgenti di raggi X 72
3.11.2 Diffrazione dei raggi X 73
3.11.3 Analisi delle strutture cristalline 75
3.12 Materiali amorfi 79
3.13 Definizioni 80

Capitolo 4
Solidificazione e imperfezioni cristalline 83

4.1 Solidificazione dei metalli 84
4.1.1 Formazione di nuclei stabili nei metalli liquidi 84
4.1.2 Crescita di cristalli e formazione di una struttura a grani 89
4.1.3 Struttura dei grani nei getti industriali 90
4.2 Solidificazione dei monocristalli 91
4.3 Soluzioni solide metalliche 93
4.3.1 Soluzione solide sostituzionali 94
4.3.2 Soluzioni solide interstiziali 95
4.4 Difetti cristallini 97
4.4.1 Difetti di punto 97
4.4.2 Difetti di linea (dislocazioni) 98
4.4.3 Difetti planari 99
4.4.4 Difetti di volume 103
4.5 Tecniche sperimentali per l'identificazione di microstrutture e difetti 103
4.5.1 Metallografia ottica, dimensione del grano ASTM e determinazione del diametro dei grani 103
4.5.2 Il microscopio elettronico a scansione (SEM) 106
4.5.3 Microscopio elettronico a trasmissione (TEM) 107
4.5.4 Microscopio elettronico a trasmissione ad alta risoluzione (HRTEM) 110
4.5.5 Microscopio a scansione di sonda e risoluzione atomica 110
4.6 Definizioni 113

Capitolo 5
Processi attivati termicamente e diffusione nei solidi 117

5.1 Velocità dei processi nei solidi 118
5.2 Diffusione atomica nei solidi 121
5.2.1 Diffusione nei solidi in generale 121
5.2.2 Meccanismi di diffusione 121
5.2.3 Diffusione in condizioni stazionarie 123
5.2.4 Diffusione in condizioni non stazionarie 125
5.3 Applicazioni industriali dei processi di diffusione 127
5.3.1 Cementazione gassosa 127
5.3.2 Drogaggio di wafer di silicio 130
5.4 Effetto della temperatura sulla diffusione dei solidi 132
5.5 Definizioni 135

Capitolo 6
Proprietà meccaniche dei metalli - I 137

6.1 Lavorazioni industriali dei metalli e delle leghe 138
6.1.1 La fusione dei metalli e delle leghe 138
6.1.2 Laminazione a caldo e a freddo 140
6.1.3 Estrusione 142
6.1.4 Forgiatura 143
6.1.5 Altri processi di formatura 144
6.2 Sforzi e deformazioni nei metalli 145
6.2.1 Deformazione elastica e plastica 145
6.2.2 Sforzo nominale e deformazione nominale 146
6.2.3 Modulo di Poisson 148
6.2.4 Sforzo di taglio e deformazione di taglio 149
6.3 Prova di trazione e diagramma sforzo-deformazione 149
6.3.1 Proprietà meccaniche ottenute dalla prova di trazione 150
6.3.2 Confronto dei diagrammi sforzo-deformazione di alcune leghe 155
6.3.3 Sforzo reale e deformazione reale 155
6.4 Durezza e prove di durezza 156
6.5 Deformazione plastica dei metalli monocristallini 158
6.5.1 Bande di scorrimento e linee di scorrimento 158
6.5.2 Deformazione plastica nei cristalli di metalli per meccanismi di scorrimento 160
6.5.3 Sistemi di scorrimento 160

6.5.4 Sforzo critico di taglio nei metalli monocristallini 164
6.5.5 Legge di Schmid 165
6.5.6 Geminazione 166
6.6 Deformazione plastica dei metalli policristallini 168
6.6.1 Effetti dei bordi di grano sulla resistenza dei metalli 168
6.6.2 Effetto della deformazione plastica sulla forma dei grani e sulla disposizione delle dislocazioni 170
6.6.3 Effetto della deformazione plastica a freddo sulla resistenza dei metalli 171
6.7 Rafforzamento dei metalli per soluzione solida 172
6.8 Recupero e ricristallizzazione nei metalli deformati 173
6.8.1 Struttura di un metallo incrudito 174
6.8.2 Recupero 174
6.8.3 Ricristallizzazione 175
6.9 Superplasticità nei metalli 178
6.10 Definizioni 180

Capitolo 7
Proprietà meccaniche dei metalli - II 183

7.1 Frattura dei metalli 184
7.1.1 Frattura duttile 184
7.1.2 Frattura fragile 186
7.1.3 Tenacità e prova di resilienza 188
7.1.4 Temperatura di transizione duttile-fragile 189
7.1.5 Tenacità a frattura 189
7.2 La fatica nei metalli 192
7.2.1 Sollecitazioni cicliche 195
7.2.2 Principali cambiamenti strutturali che avvengono in un metallo duttile nel processo di fatica 196
7.2.3 Principali fattori che influenzano la resistenza a fatica di un metallo 197
7.3 Velocità di propagazione delle cricche di fatica 197
7.3.1 Correlazione tra velocità di propagazione e variazione del fattore di intensità degli sforzi 198
7.3.2 Calcolo della vita a fatica 200
7.4 Creep e creep-rottura dei metalli 202
7.4.1 Creep dei metalli 202
7.4.2 Prova di creep 204
7.4.3 Prova di creep-rottura 204
7.5 Uso del parametro di Larsen-Miller 205
7.6 Un caso di failure analysis di componenti metallici 207
7.7 Recenti sviluppi e direzioni future per migliorare la prestazione meccanica dei metalli 209
7.7.1 Simultaneo miglioramento di duttilità e resistenza meccanica 209
7.7.2 Comportamento a fatica nei metalli nanocristallini 209
7.8 Definizioni 211

Capitolo 8
Diagrammi di stato 213

8.1 Diagrammi di stato di sostanze pure 214
8.2 Regola delle fasi di Gibbs 215
8.3 Curve di raffreddamento 216
8.4 Leghe binarie isomorfe 217
8.5 Regola della leva 220
8.6 Solidificazione delle leghe in condizioni non di equilibrio 224
8.7 Leghe binarie eutettiche 226
8.8 Leghe binarie peritettiche 232
8.9 Sistemi binari monotettici 237
8.10 Trasformazioni invarianti 238
8.11 Diagrammi di stato con fasi e composti intermedi 239
8.12 Diagrammi di stato ternari 242
8.13 Definizioni 244

Capitolo 9
Materiali metallici 247

9.1 Produzione della ghisa e dell'acciaio 248
9.1.1 Produzione della ghisa grezza nell'altoforno 248
9.1.2 Produzione dell'acciaio e ottenimento dei principali semilavorati di acciaio 248
9.2 Diagramma di stato ferro-carbonio 250
9.2.1 Diagramma di stato Fe-Fe_3C 250
9.2.2 Fasi solide nel diagramma di stato Fe-Fe_3C 251
9.2.3 Reazioni invarianti nel diagramma di stato Fe-Fe_3C 251
9.2.4 Raffreddamento lento degli acciai al carbonio 253
9.3 Trattamenti termici degli acciai al carbonio 258
9.3.1 Martensite 258

9.3.2 Trasformazione isotermica dell'austenite 263
9.3.3 Diagramma di trasformazione con raffreddamento continuo per un acciaio al carbonio eutettoidico 267
9.3.4 Ricottura e normalizzazione degli acciai al carbonio 268
9.3.5 Rinvenimento degli acciai al carbonio 270
9.3.6 Classificazione degli acciai al carbonio e tipiche proprietà meccaniche 273
9.4 Acciai basso legati 274
9.4.1 Classificazione degli acciai legati 276
9.4.2 Distribuzione degli elementi di lega negli acciai legati 276
9.4.3 Effetti degli elementi di lega sulla temperatura eutettoidica degli acciai legati 277
9.4.4 Temprabilità 277
9.4.5 Tipiche proprietà meccaniche e applicazioni degli acciai basso legati 280
9.5 Leghe di alluminio 281
9.5.1 Rafforzamento per precipitazione 281
9.5.2 Proprietà generali dell'alluminio e sua produzione 288
9.5.3 Leghe di alluminio per deformazione plastica 289
9.5.4 Leghe di alluminio per getti 294
9.6 Leghe di rame 296
9.6.1 Proprietà generali del rame 296
9.6.2 Produzione del rame 296
9.6.3 Classificazione delle leghe di rame 296
9.6.4 Leghe di rame per deformazione plastica 296
9.7 Acciai inossidabili 300
9.7.1 Acciai inossidabili ferritici 301
9.7.2 Acciai inossidabili martensitici 302
9.7.3 Acciai inossidabili austenitici 304
9.8 Ghise 305
9.8.1 Proprietà generali 305
9.8.2 Tipi di ghise 305
9.8.3 Ghise bianche 306
9.8.4 Ghise grigie 306
9.8.5 Ghise sferoidali 308
9.8.6 Ghisa malleabile 310
9.9 Leghe di magnesio, titanio e nichel 311
9.9.1 Leghe di magnesio 311
9.9.2 Leghe di titanio 313
9.9.3 Leghe di nichel 313
9.10 Leghe per scopi speciali e applicazioni 315
9.10.1 Intermetalli 315
9.10.2 Leghe a memoria di forma 316
9.10.3 Metalli amorfi 319
9.11 Definizioni 321

Capitolo 10
Materiali polimerici 325

10.1 Introduzione 326
10.1.1 Termoplastici 326
10.1.2 Plastiche termoindurenti 326
10.2 Reazioni di polimerizzazione 327
10.2.1 Legame covalente: struttura di una molecola di etilene 328
10.2.2 Legame covalente: struttura di una molecola di etilene attivata 328
10.2.3 Reazione generale per la polimerizzazione del polietilene e grado di polimerizzazione 328
10.2.4 Stadi della polimerizzazione a catena 329
10.2.5 Peso molecolare medio dei termoplastici 331
10.2.6 Funzionalità di un monomero 332
10.2.7 Struttura di polimeri lineari non cristallini 332
10.2.8 Polimeri vinilici e vinilidenici 333
10.2.9 Omopolimeri e copolimeri 334
10.2.10 Altri metodi di polimerizzazione 337
10.3 Metodi industriali di polimerizzazione 338
10.4 Cristallinità e stereoisomerismo in alcuni termoplastici 340
10.4.1 Solidificazione di termoplastici non cristallini 340
10.4.2 Solidificazione di materiali termoplastici parzialmente cristallini 340
10.4.3 Struttura dei materiali termoplastici parzialmente cristallini 340
10.4.4 Stereoisomerismo nei materiali termoplastici 343
10.4.5 Catalizzatori Ziegler-Natta 343
10.5 Lavorazione dei materiali polimerici 344
10.5.1 Processi utilizzati per i materiali termoplastici 344
10.5.2 Processi utilizzati anche per materiali termoindurenti 348
10.6 Materiali termoplastici per uso generale 350
10.6.1 Polietilene 351
10.6.2 Polivinilcloruro e suoi copolimeri 353
10.6.3 Polipropilene 354
10.6.4 Polistirene 355
10.6.5 Poliacrilonitrile 356
10.6.6 Stirene-acrilonitrile (SAN) 356
10.6.7 ABS 357
10.6.8 Polimetil metacrilato (PMMA) 358
10.6.9 Materie plastiche fluorurate 359
10.7 Tecnopolimeri 360
10.7.1 Poliammidi (Nylon) 361

10.7.2 Policarbonato 363
10.7.3 Resine a base di fenilenossido 364
10.7.4 Acetali 365
10.7.5 Poliesteri termoplastici 365
10.7.6 Polifenilensolfuro 367
10.7.7 Polietereimmide 368
10.7.8 Leghe polimeriche 368
10.8 Materiali polimerici termoindurenti 369
10.8.1 Resine fenoliche 370
10.8.2 Resine epossidiche 371
10.8.3 Poliesteri insature 373
10.8.4 Resine amminiche (ureiche e melamminiche) 374
10.9 Elastomeri (gomme) 376
10.9.1 Gomma naturale 376
10.9.2 Gomme sintetiche 379
10.9.3 Proprietà degli elastomeri policloroprene 380
10.9.4 Vulcanizzazione degli elastomeri policloroprene 380
10.10 Deformazione e irrigidimento dei materiali polimerici 383
10.10.1 Meccanismi della deformazione dei termoplastici 383
10.10.2 Rafforzamento dei termoplastici 383
10.10.3 Rafforzamento delle materie plastiche termoindurenti 387
10.10.4 Effetto della temperatura sulla resistenza meccanica delle materie plastiche 388
10.11 Creep e frattura dei materiali polimerici 388
10.11.1 Creep dei materiali polimerici 388
10.11.2 Rilassamento dello sforzo dei materiali polimerici 390
10.11.3 Frattura dei materiali polimerici 391
10.12 Metodi di caratterizzazione dei materiali polimerici 393
10.12.1 Prove meccaniche 393
10.12.2 Analisi termiche 396
10.12.3 Analisi dei pesi molecolari 398
10.13 Definizioni 399

Capitolo 11
Materiali ceramici 403

11.1 Introduzione 404
11.2 Strutture cristalline ceramiche semplici 404
11.2.1 Legame ionico e covalente in composti ceramici semplici 404
11.2.2 Disposizioni ioniche semplici trovate nei solidi con legami ionici 406
11.2.3 Struttura cristallina del cloruro di cesio (CsCl) 408
11.2.4 Struttura cristallina del cloruro di sodio (NaCl) 409
11.2.5 Posizioni interstiziali nei reticoli cristallini CFC e EC 413
11.2.6 Struttura cristallina del solfuro di zinco (ZnS) 414
11.2.7 Struttura cristallina del fluoruro di calcio (CaF_2) 416
11.2.8 Struttura cristallina dell'antifluorite 417
11.2.9 Struttura cristallina del corindone (Al_2O_3) 417
11.2.10 Struttura cristallina dello spinello ($MgAl_2O_4$) 417
11.2.11 Struttura cristallina della perovskite ($CaTiO_3$) 417
11.2.12 Carbonio e le sue forme allotropiche 417
11.3 Strutture dei silicati 421
11.3.1 Unità strutturale di base dei silicati 421
11.3.2 Strutture dei silicati a isola, a catena e ad anello 421
11.3.3 Silicati con struttura a strati 422
11.3.4 Reticoli di silicati 422
11.4 Lavorazione dei materiali ceramici 423
11.4.1 Preparazione dei materiali 424
11.4.2 Formatura 424
11.4.3 Trattamenti termici 427
11.5 Materiali ceramici tradizionali e avanzati 430
11.5.1 Materiali ceramici tradizionali 430
11.5.2 Materiali ceramici avanzati 431
11.6 Proprietà meccaniche dei materiali ceramici 433
11.6.1 Generalità 433
11.6.2 Meccanismi di deformazione dei materiali ceramici 434
11.6.3 Fattori che influenzano la resistenza meccanica dei materiali ceramici 435
11.6.4 Tenacità dei materiali ceramici 435
11.6.5 Aumento per trasformazione della tenacità della zirconia parzialmente stabilizzata (PSZ) 437
11.6.6 Rottura per fatica dei materiali ceramici 437
11.6.7 Materiali ceramici abrasivi 438
11.7 Proprietà termiche dei materiali ceramici 439
11.7.1 Materiali ceramici refrattari 439

11.7.2 Refrattari acidi 440
11.7.3 Refrattari basici 441
11.7.4 Piastrelle isolanti ceramiche per la navetta Space Shuttle 441
11.8 Vetri 442
11.8.1 Definizione di vetro 442
11.8.2 Temperatura di transizione vetrosa 443
11.8.3 Struttura dei vetri 443
11.8.4 Composizione dei vetri 444
11.8.5 Deformazione viscosa dei vetri 445
11.8.6 Metodi di formatura dei vetri 448
11.8.7 Vetro temprato 449
11.8.8 Vetro rafforzato chimicamente 450
11.9 Rivestimenti ceramici e ingegneria di superficie 450
11.9.1 Vetri silicati 450
11.9.2 Ossidi e carburi 451
11.10 Nanotecnologia e materiali ceramici 451
11.11 Definizioni 453

Capitolo 12
Materiali compositi 455

12.1 Introduzione 456
12.2 Fibre per materiali compositi a matrice polimerica 456
12.2.1 Fibre di vetro per rinforzare le resine polimeriche 456
12.2.2 Fibre di carbonio per il rinforzo delle materie plastiche 459
12.2.3 Fibre aramidiche per il rinforzo delle materie plastiche 460
12.2.4 Confronto tra le proprietà meccaniche delle fibre di carbonio, aramidiche e di vetro per il rinforzo dei materiali compositi polimerici 461
12.3 Materiali compositi polimerici rinforzati con fibre 462
12.3.1 Materiali per la matrice di materiali compositi polimerici rinforzati con fibre 462
12.3.2 Materiali compositi polimerici rinforzati con fibre 463
12.3.3 Modulo elastico di un composito laminato a matrice polimerica con fibre continue in condizioni di isodeformazione e isosollecitazione 465
12.4 Processi di fabbricazione in stampo aperto 469
12.4.1 Processo manuale di laminazione 469
12.4.2 Processo di applicazione a spruzzo 469
12.4.3 Processo sacco a vuoto-autoclave 470
12.4.4 Processo per avvolgimento di filamenti (filament winding) 472
12.5 Processi di fabbricazione in stampo chiuso 472
12.5.1 Stampaggio per compressione e iniezione 473
12.5.2 Processo di formatura di composito in foglio da stampaggio (SMC) 473
12.5.3 Processo di poltrusione continua 474
12.6 Calcestruzzo 474
12.6.1 Cemento portland 475
12.6.2 Acqua di miscelazione per calcestruzzo 477
12.6.3 Aggregati per calcestruzzo 477
12.6.4 Additivi aeranti 477
12.6.5 Resistenza a compressione del calcestruzzo 477
12.6.6 Proporzionamento della miscela di calcestruzzo (mix design) 478
12.6.7 Cemento armato 480
12.6.8 Cemento armato precompresso 480
12.7 Asfalto e miscele di asfalto 481
12.8 Legno 482
12.8.1 Macrostruttura del legno 482
12.8.2 Microstruttura del legno dolce 484
12.8.3 Microstruttura del legno duro 484
12.8.4 Struttura delle pareti delle cellule 485
12.8.5 Proprietà del legno 487
12.9 Strutture a sandwich 489
12.9.1 Sandwich con struttura a nido d'ape 489
12.9.2 Strutture metalliche placcate 489
12.10 Compositi a matrice metallica e a matrice ceramica 490
12.10.1 Compositi a matrice metallica (MMC) 490
12.10.2 Compositi a matrice ceramica (CMC) 493
12.10.3 Compositi ceramici e nanotecnologia 495
12.11 Definizioni 496

Capitolo 13
I materiali nanostrutturati 499

13.1 Introduzione 500
13.2 Tecniche di produzione 502
13.2.1 Approccio top-down 502
13.2.2 Approccio bottom-up 503
13.2.3 Produzione di nanostrutture 503
13.3 Proprietà meccaniche 506
13.3.1 Materiali nanocristallini 507
13.3.2 Nanotubi di carbonio 509

13.3.3 Multistrati 509
13.3.4 Nanocompositi 511
13.3.5 Applicazioni 511
13.4 Proprietà elettroniche 512
13.5 Sistemi e applicazioni 517
13.5.1 Elettronica e fotonica 517
13.5.2 Ambiente e energia 517
13.5.3 Nanobiotecnologia e nanomedicina 518
13.6 Definizioni 519

Capitolo 14
Corrosione e protezione dei materiali 521

14.1 Generalità 522
14.2 Corrosione elettrochimica dei metalli 522
14.2.1 Reazioni di ossido-riduzione 522
14.2.2 Potenziali di elettrodo standard dei metalli 524
14.3 Celle galvaniche 525
14.3.1 Celle galvaniche con elettroliti 1 *M* 525
14.3.2 Celle galvaniche con elettroliti non 1 *M* 527
14.3.3 Celle galvaniche con elettroliti senza ioni metallici 528
14.3.4 Corrosione nelle microcelle galvaniche di elettrodi singoli 529
14.3.5 Celle galvaniche di concentrazione 531
14.3.6 Celle galvaniche con differenza di composizione, struttura e sollecitazione 532
14.4 Velocità di corrosione (cinetica) 534
14.4.1 Velocità di corrosione o deposizione di un metallo in soluzione acquosa 535
14.4.2 Reazioni di corrosione e polarizzazione 537
14.4.3 Passivazione 540
14.4.4 Le serie galvaniche 541
14.5 Forme di corrosione 541
14.5.1 Corrosione generalizzata 542
14.5.2 Corrosione (o protezione) per contatto galvanico 543
14.5.3 Corrosione per vaiolatura 544
14.5.4 Corrosione in fessura 546
14.5.5 Corrosione intergranulare 547
14.5.6 Corrosione sotto sforzo 549
14.5.7 Corrosione per erosione 551
14.5.8 Corrosione per cavitazione 552
14.5.9 Corrosione per sfregamento 552
14.5.10 Corrosione selettiva 552
14.5.11 Danneggiamento da idrogeno 553
14.6 Ossidazione dei metalli 554
14.6.1 Strati di ossidi protettivi 554
14.6.2 Meccanismi di ossidazione 555
14.6.3 Velocità di ossidazione (cinetica) 556
14.7 Protezione dalla corrosione 558
14.7.1 Scelta dei materiali 558
14.7.2 Rivestimenti 559
14.7.3 Progettazione 560
14.7.4 Modifica dell'ambiente 561
14.7.5 Protezione catodica e anodica 562
14.8 Definizioni 564

Capitolo 15
Proprietà elettriche dei materiali 567

15.1 Conduzione elettrica nei metalli 569
15.1.1 Modello classico per la conduzione elettrica nei metalli 569
15.1.2 Legge di Ohm 569
15.1.3 Velocità di deriva degli elettroni in un conduttore metallico 572
15.1.4 La resistività elettrica dei metalli 573
15.2 Semiconduttori intrinseci 575
15.2.1 Conduzione elettrica nei semiconduttori intrinseci 575
15.2.2 Trasporto di cariche positive nel reticolo cristallino del silicio puro 576
15.2.3 Diagramma delle bande di energia per i semiconduttori intrinseci elementari 577
15.2.4 Relazione quantitativa per la conduzione elettrica nei semiconduttori intrinseci elementari 578
15.2.5 Effetto della temperatura sulla semiconducibilità intrinseca 579
15.3 Semiconduttori estrinseci 581
15.3.1 Semiconduttori estrinseci di tipo *n* (tipo negativo) 581
15.3.2 Semiconduttori estrinseci di tipo *p* (tipo positivo) 583
15.3.3 Drogaggio dei materiali semiconduttori estrinseci di silicio 584
15.4 Proprietà elettriche dei materiali ceramici 585
15.4.1 Proprietà principali dei dielettrici 585
15.4.2 Materiali isolanti ceramici 587
15.4.3 Materiali ceramici per condensatori 588
15.4.4 Semiconduttori ceramici 589
15.4.5 Ceramici ferroelettrici 589
15.5 Nanoelettronica 592
15.6 Definizioni 593

Proprietà termiche dei materiali sul sito web

Capitolo 16
Proprietà ottiche e materiali superconduttori 597

16.1 Introduzione 598
16.2 Luce e spettro elettromagnetico 598
16.3 Rifrazione della luce 599
16.3.1 Indice di rifrazione 599
16.3.2 Legge di Snell per la rifrazione della luce 600
16.4 Assorbimento, trasmissione e riflessione della luce 601
16.4.1 Metalli 602
16.4.2 Vetri silicei 602
16.4.3 Materie plastiche 603
16.4.4 Semiconduttori 604
16.5 Luminescenza 605
16.5.1 Fotoluminescenza 606
16.5.2 Catodoluminescenza 606
16.6 Emissione stimolata di radiazioni e laser 607
16.6.1 Tipi di laser 609
16.7 Fibre ottiche 611
16.7.1 Dispersione della luce nelle fibre ottiche 611
16.7.2 Fibre ottiche a modo singolo e multimodali 612
16.7.3 Produzione delle fibre ottiche 612
16.7.4 Moderni sistemi di comunicazione a fibre ottiche 614
16.8 Materiali superconduttori 615
16.8.1 Lo stato superconduttore 615
16.8.2 Proprietà magnetiche dei superconduttori 616
16.8.3 Flusso di corrente e campi magnetici nei superconduttori 617
16.8.4 Superconduttori ad alta corrente e alto campo 618
16.8.5 Ossidi superconduttori ad alta temperatura critica (T_c) 618
16.9 Definizioni 620

Capitolo 17
Proprietà magnetiche 623

17.1 Introduzione 624
17.2 Campi e grandezze magnetiche 624
17.2.1 Campi magnetici 624
17.2.2 Induzione magnetica 625
17.2.3 Permeabilità magnetica 626
17.2.4 Suscettibilità magnetica 627
17.3 Tipi di magnetismo 627
17.3.1 Diamagnetismo 628
17.3.2 Paramagnetismo 628
17.3.3 Ferromagnetismo 628
17.3.4 Momento magnetico di un elettrone spaiato 630
17.3.5 Antiferromagnetismo 631
17.3.6 Ferrimagnetismo 631
17.4 Effetto della temperatura sul ferromagnetismo 631
17.5 Domini ferromagnetici 631
17.6 Tipi di energia e struttura dei domini ferromagnetici 634
17.6.1 Energia di scambio 634
17.6.2 Energia magnetostatica 634
17.6.3 Energia di anisotropia magneto-cristallina 634
17.6.4 Energia di bordo del dominio 635
17.6.5 Energia magnetostrittiva 636
17.7 Magnetizzazione e smagnetizzazione di un metallo ferromagnetico 637
17.8 Definizioni 638

Capitolo 18
Materiali biologici e biomateriali 641

18.1 Introduzione 642
18.2 Materiali biologici: l'osso 642
18.2.1 Composizione 642
18.2.2 Macrostruttura 642
18.2.3 Proprietà meccaniche 643
18.2.4 Biomeccanica della frattura ossea 644
18.2.5 Viscoelasticità nell'osso 645
18.2.6 Rimodellamento osseo 645
18.2.7 Un modello di composito per l'osso 646
18.3 Materiali biologici: tendini e legamenti 647
18.3.1 Macrostruttura e composizione 647
18.3.2 Microstruttura 647
18.3.3 Proprietà meccaniche 648
18.3.4 Relazione struttura-proprietà 649
18.3.5 Modello costitutivo e viscoelasticità 650
18.3.6 Lesione di legamenti e tendini 652
18.4 Materiali biologici: cartilagine articolare 653

18.4.1 Composizione e macrostruttura 653
18.4.2 Microstruttura 654
18.4.3 Proprietà meccaniche 654
18.4.4 Degenerazione della cartilagine 655
18.5 Biomateriali: metalli per applicazioni biomediche 655
18.5.1 Acciai inossidabili 656
18.5.2 Leghe a base di cobalto 656
18.5.3 Leghe di titanio 658
18.5.4 Alcune conseguenze relative all'applicazione ortopedica di metalli 659
18.6 Materiali polimerici in applicazioni biomediche 660
18.6.1 Materiali polimerici in applicazioni cardiovascolari 661
18.6.2 Applicazioni oftalmologiche 662
18.6.3 Sistemi di rilascio di farmaci 663
18.6.4 Materiali per suture 663
18.6.5 Applicazioni ortopediche 663
18.7 Materiali ceramici per applicazioni biomediche 664
18.7.1 Allumina in impianti ortopedici 664
18.7.2 Allumina in impianti dentali 665
18.7.3 Impianti ceramici e tessuto connettivo 665
18.7.4 Ceramici nanocristallini 667
18.8 Materiali compositi per applicazioni biomediche 668
18.8.1 Applicazioni ortopediche 668
18.8.2 Applicazioni dentali 669
18.9 Corrosione nei biomateriali 669
18.10 Usura negli impianti biomedici 671
18.11 Ingegneria dei tessuti 674
18.12 Definizioni 674

Appendici sul sito web

Importanti proprietà di materiali selezionati per l'ingegneria

1. Valori di densità a temperatura ambiente
2. Valori di durezza dei materiali a temperatura ambiente
3. Valori di resistenza a rottura a trazione a temperatura ambiente
4. Valori di sforzo di snervamento a temperatura ambiente
5. Valori di modulo di elasticità a temperatura ambiente
6. Valori di rapporto di Poisson a temperatura ambiente
7. Valori di allungamento percentuale a rottura a temperatura ambiente
8. Valori di riduzione percentuale di area a temperatura ambiente
9. Valori di resistenza all'impatto Izod a temperatura ambiente
10. Valori di tenacità a frattura a temperatura ambiente
11. Valori di resistività elettrica a temperatura ambiente
12. Valori di conducibilità termica a temperatura ambiente
13. Valori di coefficiente di espansione termica a temperatura ambiente
14. Valori di capacità di calore specifico a temperatura ambiente

Composizione di leghe selezionate

Costi e costi relativi di alcuni materiali selezionati

Alcune proprietà di elementi selezionati

Raggi ionici degli elementi

Temperatura di transizione vetrosa e temperatura di fusione di polimeri selezionati

Quantità fisiche selezionate e loro unità di misura

Indice analitico I1

Eserciziario E1

Esercizi E3

Soluzioni E53