

INDICE

Prefazione XI

I revisori XII

1 INTRODUZIONE E PANORAMICA DELLA PRODUZIONE

- 1.1 Che cos'è la produzione? 4
 - 1.1.1 La definizione della produzione 4
 - 1.1.2 Industrie manifatturiere e prodotti 4
 - 1.1.3 Capacità di produzione 6
 - 1.1.4 I materiali impiegati nella produzione 8
- 1.2 I processi di produzione 9
 - 1.2.1 Operazioni di lavorazione 10
 - 1.2.2 Operazioni di assemblaggio 13
 - 1.2.3 Macchinari e attrezzature 14

1.3 Organizzazione del libro 14

Bibliografia 15

Domande di ripasso 16

I Materiali per applicazioni industriali e proprietà dei prodotti

2 MATERIALI PER APPLICAZIONI INDUSTRIALI

- 2.1 Metalli e leghe metalliche 19
 - 2.1.1 Acciai 26
 - 2.1.2 Ghise 32
 - 2.1.3 Metalli non ferrosi 33
 - 2.1.4 Superleghe 38
- 2.2 Ceramiche 39
 - 2.2.1 Ceramiche tradizionali 39
 - 2.2.2 Ceramiche avanzate 41
 - 2.2.3 Vetri 42
- 2.3 Polimeri 45
 - 2.3.1 Polimeri termoplastici 48
 - 2.3.2 Polimeri termoindurenti 49
 - 2.3.3 Elastomeri 51
- 2.4 Compositi 53
 - 2.4.1 Tecniche e classificazioni dei materiali compositi 53
 - 2.4.2 Materiali compositi 55

Bibliografia 58

Bibliografia box 59

Domande di ripasso 59

3 PROPRIETÀ DEI MATERIALI INDUSTRIALI

- 3.1 Stati di sforzo e deformazione 62
 - 3.1.1 Resistenza alla trazione 62
 - 3.1.2 Proprietà di compressione 70
 - 3.1.3 Flessione e prove dei materiali fragili 72
 - 3.1.4 Proprietà di taglio 72
- 3.2 Durezza 74
 - 3.2.1 Prove di durezza 74
 - 3.2.2 Durezza dei materiali 76
- 3.3 Effetti della temperatura sulle proprietà meccaniche 78
- 3.4 Proprietà dei fluidi 79
- 3.5 Comportamento viscoelastico dei polimeri 82
- 3.6 Proprietà volumetriche e di fusione 84
 - 3.6.1 Densità ed espansione termica 85
 - 3.6.2 Caratteristiche di fusione 85
- 3.7 Proprietà termiche 87
 - 3.7.1 Calore specifico e conducibilità termica 87

Bibliografia 88

Domande di ripasso 89

Problemi 89

4 DIMENSIONI, TOLLERANZE E SUPERFICI

- 4.1 Quotatura e tolleranze 91
 - 4.1.1 Quote e tolleranze 91
 - 4.1.2 Altri descrittori geometrici 92
- 4.2 Superfici 93
 - 4.2.1 Caratteristiche delle superfici 93
 - 4.2.2 Finitura superficiale 94
 - 4.2.3 Integrità superficiale 96
- 4.3 Effetti dei processi di produzione 97

Bibliografia 98

Domande di ripasso 99

Appendice A4: Misurazione di dimensioni e superfici

- A4.1 Strumenti di misura convenzionali 100
 - A4.1.1 Blocchetti pianparalleli 100
 - A4.1.2 Strumenti di misura per dimensioni lineari 101
 - A4.1.3 Strumenti di misura mediante comparazione 103
 - A4.1.4 Misurazioni di angoli 104
- A4.2 Misurazione delle superfici 104
 - A4.2.1 Misura della rugosità di una superficie 104
 - A4.2.2 Valutazione dell'integrità superficiale 105

5 CONTROLLO DI QUALITÀ E ISPEZIONE

- 5.1 Qualità del prodotto 107
- 5.2 Capacità di processo e tolleranze 108
- 5.3 Controllo statistico di processo 109
 - 5.3.1 Carte di controllo per variabili 110
 - 5.3.2 Carte di controllo per attributi 112
 - 5.3.3 Interpretazione delle carte 113
- 5.4 Programmi di qualità nella produzione 114
 - 5.4.1 La qualità totale 114
 - 5.4.2 Sei Sigma 115
 - 5.4.3 ISO 9000 118
- 5.5 Principi di ispezione 118
- 5.6 Tecnologie di ispezione moderne 120
 - 5.6.1 Macchine di misura a coordinate 120
 - 5.6.2 Visione artificiale 122
 - 5.6.3 Altre tecniche di ispezione senza contatto 125

Bibliografia 125

Domande di ripasso 126

Problemi 126

II Processi di solidificazione

6 FONDAMENTI DELLA COLATA DEI METALLI

- 6.1 Panoramica dei processi di colata 132
 - 6.1.1 Processo di colata 132
 - 6.1.2 Colata in sabbia 133
- 6.2 Fusione e colata 134
 - 6.2.1 Fusione del metallo 134
 - 6.2.2 Colare il metallo fuso 135
 - 6.2.3 Analisi ingegneristica della colata 135
- 6.3 Solidificazione e raffreddamento 137
 - 6.3.1 Solidificazione dei metalli 138
 - 6.3.2 Tempo di solidificazione 140
 - 6.3.3 Ritiro 140
 - 6.3.4 Solidificazione direzionale 142
 - 6.3.5 Progettazione delle materozze 142

Bibliografia 143

Domande di ripasso 144

Problemi 144

7 PROCESSI DI COLATA

- 7.1 Colata in sabbia 147
 - 7.1.1 Modelli e anime 148
 - 7.1.2 Forme e produzione delle forme 149
 - 7.1.3 Colata 151
- 7.2 Altri processi di colata in forma transitoria 151
 - 7.2.1 Shell molding 151
 - 7.2.2 Colata in polistirolo espanso 152
 - 7.2.3 Microfusione 153
 - 7.2.4 Colata in gesso e in ceramica 155
- 7.3 Colata in forma permanente 156
 - 7.3.1 Processo base della colata in forma permanente 156
 - 7.3.2 Altri processi di colata in forma permanente 157
 - 7.3.3 Pressofusione 158
 - 7.3.4 Squeeze casting e colata di metalli semisolidi 160
 - 7.3.5 Colata centrifuga 161
- 7.4 Pratica di fonderia 163
 - 7.4.1 Forni 163
 - 7.4.2 Colata, finitura e trattamento termico 165
- 7.5 Qualità dei grezzi 166
- 7.6 Metalli da fonderia 169
- 7.7 Considerazioni sulla progettazione dei prodotti 170

Bibliografia 172

Domande di ripasso 172

Problemi 172

8 PROCESSI DI FORMATURA DELLA PLASTICA

- 8.1 Proprietà dei polimeri fusi 176
- 8.2 Estrusione 178
 - 8.2.1 Processo e attrezzatura 178
 - 8.2.2 Analisi dell'estruso 181
 - 8.2.3 Configurazione della matrice e prodotti estrusi 185
 - 8.2.4 Difetti nell'estrusione 186
- 8.3 Produzione di fogli e film 188
- 8.5 Stampaggio a iniezione 191
 - 8.6.1 Processo e attrezzatura 191
 - 8.6.2 Lo stampo 193
 - 8.6.3 Ritiro e difetti nello stampaggio a iniezione 195
 - 8.6.4 Altri processi di stampaggio a iniezione 197
- 8.7 Stampaggio a compressione e per trasferimento 199
 - 8.7.1 Stampaggio a compressione 199
 - 8.7.2 Stampaggio per trasferimento 201
- 8.8 Considerazioni sul design dei prodotti 202

Bibliografia 204

Domande di ripasso 204

Problemi 205

III Lavorazione di polveri di metalli e ceramiche

9 METALLURGIA DELLE POLVERI, CERCAMICHE E CERMETS

- 9.1 Produzione delle polveri metalliche 210
 - 9.1.1 Atomizzazione 211
 - 9.1.2 Altri metodi di produzione 212
- 9.2 Pressatura e sinterizzazione convenzionali 213
 - 9.2.1 Miscelazione e combinazione delle polveri 213
 - 9.2.2 Compattazione 214
 - 9.2.3 Sinterizzazione 216
 - 9.2.4 Operazioni secondarie 218
- 9.3 Tecniche alternative di pressatura e sinterizzazione 219
 - 9.3.1 Pressatura isostatica 219
 - 9.3.2 Stampaggio a iniezione di polveri 219
 - 9.3.3 Laminazione, estrusione e forgiatura delle polveri 220
 - 9.3.4 Pressatura e sinterizzazione combinate 221
 - 9.3.5 Sinterizzazione con fase liquida 222
- 9.4 Materie prime e prodotti della metallurgia delle polveri 222
- 9.5 Linee guida progettuali nella metallurgia delle polveri 223
- 9.6 Lavorazione delle ceramiche e dei cermet 225
- 9.7 Lavorazione delle ceramiche tradizionali 226
 - 9.7.1 Preparazione della materia prima 226
 - 9.7.2 Processi di formatura 228
 - 9.7.3 Essiccazione 230
 - 9.7.4 Cottura (sinterizzazione) 231
- 9.8 Lavorazione delle ceramiche di nuova generazione 231
 - 9.8.1 Preparazione dei materiali iniziali 231
 - 9.8.2 Formatura 232
 - 9.8.3 Sinterizzazione 234
 - 9.8.4 Finitura 234
- 9.9 Lavorazione dei cermet 234
 - 9.9.1 Carburati cementati 234
 - 9.9.2 Altri cermet e compositi a matrice ceramica 236
- 9.10 Considerazioni per la progettazione dei prodotti 236

Bibliografia 237

Domande di ripasso 238

IV Formatura dei metalli e lavorazione della lamiera

10 NOZIONI DI BASE SULLA FORMATURA DEI METALLI

- 10.1 Panoramica sulla formatura dei metalli 241
- 10.2 Comportamento dei materiali nella formatura dei metalli 244
- 10.3 Temperature nella formatura dei metalli 246
- 10.4 Attrito e lubrificazione nella formatura dei metalli 248

Bibliografia 250

Domande di ripasso 250

Problemi 250

11 PROCESSI DI DEFORMAZIONE PLASTICA MASSIVA DEI METALLI

- 11.1 Laminazione 253
 - 11.1.1 Analisi della laminazione piana 255
 - 11.1.2 Calibratura 260
 - 11.1.3 Laminatoi 261
 - 11.1.4 Altri processi relativi alla laminazione 262
- 11.2 Forgiatura 264
 - 11.2.1 Forgiatura a stampi aperti 266
 - 11.2.2 Forgiatura a stampi chiusi con bava 269
 - 11.2.3 Forgiatura senza bava 271
 - 11.2.4 Magli, presse e matrici per la forgiatura 272
 - 11.2.5 Altri processi relativi alla forgiatura 275
- 11.3 Estrusione 277
 - 11.3.1 Tipi di estrusione 277
 - 11.3.2 Analisi dell'estrusione 280
 - 11.3.3 Matrici e presse da estrusione 284
 - 11.3.4 Altri processi di estrusione 285
 - 11.3.5 Difetti dei prodotti estrusi 287
- 11.4 Trafilatura di fili e barre 288
 - 11.4.1 Analisi della trafilatura 289
 - 11.4.2 Consigli pratici sulla trafilatura 291
 - 11.4.3 Macchine e utensili per la trafilatura 292

Bibliografia 294

Domande di ripasso 295

Problemi 295

12 LAVORAZIONE DELLA LAMIERA

- 12.1 Operazioni di tranciatura 300
 - 12.1.1 Cesoiatura, tranciatura e punzonatura 301
 - 12.1.2 Analisi ingegneristica del taglio della lamiera 301
- 12.2 Operazioni di piegatura 304
 - 12.2.1 Piegatura a V e piegatura ad angolo retto 304

- 12.2.2 Analisi ingegneristica della piegatura 305
- 12.2.3 Altre operazioni di piegatura e formatura 307
- 12.3 Imbutitura 308
 - 12.3.1 Meccanica dell'imbutitura 308
 - 12.3.2 Analisi ingegneristica dell'imbutitura 310
 - 12.3.3 Altre operazioni di imbutitura 312
 - 12.3.4 Difetti nell'imbutitura 313
- 12.4 Altre operazioni di lavorazione della lamiera 314
 - 12.4.1 Operazioni eseguite con utensili di metallo 314
 - 12.4.2 Processi di formatura con utensili in gomma 315
- 12.5 Stampi e presse per la lavorazione della lamiera 317
 - 12.5.1 Stampi 317
 - 12.5.2 Presse 318
- 12.6 Operazioni di lavorazione della lamiera non eseguite su presse 322
 - 12.6.1 Piegatura per stiramento 322
 - 12.6.2 Calandratura e rullatura 323
 - 12.6.3 Imbutitura al tornio 324
 - 12.6.4 Formatura ad alta energia 325

Bibliografia 326

Domande di ripasso 326

Problemi 327

V Processi per asportazione di truciolo

13 TEORIA DELLA LAVORAZIONE PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO

- 13.1 Panoramica delle lavorazioni per asportazione di truciolo 332
- 13.2 Teoria della formazione del truciolo nella lavorazione per asportazione di truciolo 336
 - 13.2.1 Il modello di taglio ortogonale 336
 - 13.2.2 Formazione del truciolo 338
- 13.3 Relazioni tra le forze e equazione di Merchant 340
 - 13.3.1 Forze di taglio 340
 - 13.3.2 L'equazione di Merchant 343
- 13.4 Relazioni di potenza ed energia nella lavorazione per asportazione di truciolo 344
- 13.5 Temperatura di taglio 347
 - 13.5.1 Metodi analitici di calcolo delle temperature di taglio 348
 - 13.5.2 Misura della temperatura di taglio 348

Bibliografia 350

Domande di ripasso 350

Problemi 351

14 LAVORAZIONI PER ASPORTAZIONE DI TRUCIOLO E MACCHINE UTENSILI

- 14.1 Forme dei pezzi nelle lavorazioni per asportazione di truciolo 353
- 14.2 Tornitura 356
 - 14.2.1 Condizioni di taglio in tornitura 356
 - 14.2.2 Operazioni legate alla tornitura 357
 - 14.2.3 Il tornio parallelo 359
 - 14.2.4 Altri tipi di torni e macchine da tornitura 361
 - 14.2.5 Macchine da barenatura 363
- 14.3 Foratura 364
 - 14.3.1 Condizioni di taglio in foratura 365
 - 14.3.2 Operazioni legate alla foratura 366
 - 14.3.3 Trapani 367
- 14.4 Fresatura 368
 - 14.4.1 Tipi di fresatura 369
 - 14.4.2 Condizioni di taglio in fresatura 371
 - 14.4.3 Fresatrici 373
- 14.5 Centri di lavoro e centri di tornitura 375
- 14.6 Altre operazioni di lavorazione per asportazione di truciolo 378
 - 14.6.1 Limatura e piallatura 378
 - 14.6.2 Brocciatrice 380
 - 14.6.3 Segatura 381
- 14.7 Lavorazione per asportazione di truciolo ad alta velocità 382
- 14.8 Tolleranze e finitura superficiale 383
 - 14.8.1 Tolleranze nelle lavorazioni per asportazione di truciolo 384
 - 14.8.2 Finitura superficiale nelle lavorazioni per asportazione di truciolo 385
- 14.9 Considerazioni sulla progettazione dei prodotti nelle lavorazioni per asportazione di truciolo 388

Bibliografia 390

Domande di ripasso 391

Problemi 391

15 UTENSILI DA TAGLIO

- 15.1 Vita utile degli utensili 395
 - 15.1.1 Usura dell'utensile 396
 - 15.1.2 Vita dell'utensile e equazione di Taylor 397
- 15.2 Materiali degli utensili 401
 - 15.2.1 Acciaio rapido e suoi predecessori 403
 - 15.2.2 Leghe al cobalto 404
 - 15.2.3 Carburi sintetizzati, cermet e carburi rivestiti 405
 - 15.2.4 Utensili ceramici 408
 - 15.2.5 Diamanti sintetici e nitruro di boro cubico 409

- 15.3 Geometria degli utensili 409
 - 15.3.1 Forma degli utensili a punta singola 409
 - 15.3.2 Utensili a taglienti multipli 413
- 15.4 Fluidi da taglio 416
 - 15.4.1 Tipi di fluidi da taglio 416
 - 15.4.2 Applicazioni dei fluidi da taglio 417
- 15.5 Lavorabilità 418
- 15.6 Economie delle lavorazioni per asportazione 421
 - 15.6.1 Scelta dell'avanzamento e della profondità di taglio 421
 - 15.6.2 Velocità di taglio 421

Bibliografia 427

Domande di ripasso 428

Problemi 428

16 RETTIFICA E ALTRI PROCESSI DI ASPORTAZIONE CON ABRASIVI

- 16.1 Rettifica 431
 - 16.1.1 La mola 432
 - 16.1.2 Analisi del processo di rettifica 436
 - 16.1.3 Considerazioni sull'applicazione della rettifica 441
 - 16.1.4 Operazioni di rettifica e macchine da rettifica 442
- 16.2 Altri processi abrasivi 448
 - 16.2.1 Levigatura (honing) 449
 - 16.2.2 Lappatura (lapping) 450
 - 16.2.3 Superfinitura (superfinishing) 451
 - 16.2.4 Lucidatura (polishing) e pulitura (buffing) 451

Bibliografia 452

Domande di ripasso 452

Problemi 453

17 PROCESSI DI LAVORAZIONE NON CONVENZIONALI

- 17.1 Processi meccanici 456
 - 17.1.1 Lavorazione a ultrasuoni 456
 - 17.1.2 Processi a getto d'acqua 457
 - 17.1.3 Altri processi abrasivi non convenzionali 458
- 17.2 Processi elettrochimici 459
 - 17.2.1 Lavorazione elettrochimica 460
 - 17.2.2 Rimozione di bave e rettifica elettrochimiche 462
- 17.3 Processi termici 464
 - 17.3.1 Processi di elettroerosione 464
 - 17.3.2 Lavorazione a fascio elettronico 467
 - 17.3.3 Lavorazione a fascio laser 467
- 17.4 Processi chimici 469
 - 17.4.1 Meccanica e chimica dei processi chimici 469
 - 17.4.2 Processi CHM 471
- 17.5 Considerazioni sulle applicazioni 475

- 17.6 Tecniche di microfabbricazione 475
- 17.7 Prodotti basati su microsistemi 476
 - 17.7.1 Tipi di dispositivi basati su microsistemi 477
 - 17.7.2 Applicazioni dei microsistemi 478
- 17.8 Processi di microfabbricazione 479
 - 17.8.1 Processi di stratificazione del silicio 480
 - 17.8.2 Processo LIGA 483
 - 17.8.3 Altri processi di microfabbricazione 485

Bibliografia 487

Domande di ripasso 489

Problemi 489

VI Processi di giunzione e assemblaggio

18 CONCETTI DI BASE DELLA SALDATURA E PROCESSI DI SALDATURA

- 18.1 Panoramica della saldatura 496
 - 18.1.1 Tipi di processi di saldatura 496
 - 18.1.2 La saldatura come operazione commerciale 497
- 18.2 Il giunto saldato 498
 - 18.2.1 Tipi di giunti 498
 - 18.2.2 Tipi di saldature 499
- 18.3 Fisica della saldatura 501
 - 18.3.1 Densità di potenza 501
 - 18.3.2 Bilanciamento termico nella saldatura per fusione 503
- 18.4 Caratteristiche di un giunto saldato per fusione 505
- 18.5 Processi di saldatura 506
- 18.6 Saldatura ad arco 507
 - 18.6.1 Tecnologia generale della saldatura ad arco 507
 - 18.6.2 Processi di saldatura ad arco – elettrodi consumabili 510
 - 18.6.3 Elettrodi non consumabili 514
- 18.7 Saldatura a resistenza 516
 - 18.7.1 Sorgente di potenza nella saldatura a resistenza 517
 - 18.7.2 Processi di saldatura a resistenza 518
- 18.8 Saldatura a ossicombustibile 522
 - 18.8.1 Saldatura ossiacetilenica 522
 - 18.8.2 Altri gas nella saldatura a ossicombustibile 523
- 18.9 Altri processi di saldatura per fusione 524
- 18.10 Saldatura allo stato solido 527
 - 18.10.1 Considerazioni generali sulla saldatura allo stato solido 527
 - 18.10.2 Processi di saldatura allo stato solido 528
- 18.11 Qualità dei giunti 533

18.12 Considerazioni sulla progettazione delle saldature 537

Bibliografia 538

Domande di ripasso 538

Problemi 539

19 BRASATURA, BRASATURA DOLCE, INCOLLAGGIO E ASSEMBLAGGIO MECCANICO

19.1 Brasatura 543

19.1.1 Giunti brasati 544

19.1.2 Metalli di apporto e fondenti 546

19.1.3 Metodi di brasatura 546

19.2 Brasatura dolce 548

19.2.1 Progettazione dei giunti nella brasatura dolce 549

19.2.2 Metalli di apporto e fondenti 550

19.2.3 Metodi di brasatura dolce 551

19.3 Incollaggio 553

19.3.1 Progettazione del giunto 554

19.3.2 Tipi di adesivi 555

19.3.3 Tecniche di applicazione degli adesivi 555

19.4 Assemblaggio meccanico 557

19.5 Elementi di fissaggio filettati 557

19.5.1 Viti, bulloni e dadi 557

19.5.2 Altri elementi di fissaggio filettati 559

19.5.3 Tensioni e resistenze dei giunti imbullonati 560

19.5.4 Utensili per gli elementi di fissaggio filettati e loro utilizzo 562

19.6 I rivetti 563

19.7 Metodi di assemblaggio basati sull'interferenza 564

19.8 Altri metodi di fissaggio meccanico 567

19.9 Inerti di stampaggio e fissaggi integrali 568

19.10 Progettazione dell'assemblaggio 570

19.10.1 Principi generali della progettazione dell'assemblaggio 570

19.10.2 Progettazione dell'assemblaggio automatico 571

Bibliografia 572

Domande di ripasso 573

Problemi 574

VII Sistemi di produzione

20 SISTEMI DI PRODUZIONE E PIANIFICAZIONE DEI PROCESSI

20.1 Panoramica dei sistemi di produzione 579

20.1.1 Impianti di produzione 579

20.1.2 Sistemi di supporto alla produzione 582

20.2 Pianificazione di processo 583

20.2.1 Pianificazione di processo tradizionale 584

20.2.2 Scelta di Make or buy 587

20.2.3 Pianificazione di processo computer-aided 589

20.2.4 Problem solving e miglioramento continuo 591

20.3 Concurrent engineering e producibilità 591

20.3.1 Design for manufacturing e Design for assembly 592

20.3.2 Concurrent engineering 593

Bibliografia 595

Domande di ripasso 595

Indice analitico 597