

Contenido

Prefacio xiii

Acerca del autor xiv

Agradecimientos xv

Capítulo 1

Introducción y panorama general de la manufactura 1

- 1.1 ¿Qué es la manufactura? 2
 - 1.1.1 Definición de manufactura 2
 - 1.1.2 Las industrias manufactureras y sus productos 3
 - 1.1.3 Capacidad de manufactura 5
 - 1.1.4 Los materiales en la manufactura 6
 - 1.2 Procesos de manufactura 8
 - 1.2.1 Operaciones de proceso 8
 - 1.2.2 Operaciones de ensamble 12
 - 1.2.3 Máquinas de producción y herramientas 12
 - 1.3 Organización del libro 13
- Referencias 14
- Preguntas de repaso 14

Parte I

Materiales en la ingeniería y atributos del producto 15

Capítulo 2

Materiales en la ingeniería 15

- 2.1 Metales y sus aleaciones 16
 - 2.1.1 Aceros 17
 - 2.1.2 Hierros fundidos 22
 - 2.1.3 Metales no ferrosos 23
 - 2.1.4 Superaleaciones 27
 - 2.2 Cerámicos 28
 - 2.2.1 Cerámicos tradicionales 29
 - 2.2.2 Nuevos materiales cerámicos 30
 - 2.2.3 Vidrio 32
 - 2.3 Polímeros 34
 - 2.3.1 Polímeros termoplásticos 37
 - 2.3.2 Polímeros termofijos 38
 - 2.3.3 Elastómeros 39
 - 2.4 Compósitos 41
 - 2.4.1 Tecnología y clasificación de los materiales compósitos 42
 - 2.4.2 Materiales compósitos 44
- Referencias 46
- Preguntas de repaso 46

Capítulo 3

Propiedades de los materiales de ingeniería 48

- 3.1 Relaciones esfuerzo-deformación 49
 - 3.1.1 Propiedades a la tensión 49
 - 3.1.2 Propiedades ante la compresión 56
 - 3.1.3 Doblado y prueba de materiales frágiles 58
 - 3.1.4 Propiedades al cortante 59
 - 3.2 Dureza 61
 - 3.2.1 Pruebas de dureza 61
 - 3.2.2 Dureza de distintos materiales 63
 - 3.3 Efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas 64
 - 3.4 Propiedades de los fluidos 66
 - 3.5 Comportamiento viscoelástico de los polímeros 68
 - 3.6 Propiedades volumétricas y de fusión 70
 - 3.6.1 Densidad y expansión térmica 71
 - 3.6.2 Características de fusión 72
 - 3.7 Propiedades térmicas 73
 - 3.7.1 Calor específico y conductividad térmica 73
 - 3.7.2 Propiedades térmicas en la manufactura 74
- Referencias 75
- Preguntas de repaso 75
- Problemas 76

Capítulo 4

Dimensiones, tolerancias y superficies 78

- 4.1 Dimensiones y tolerancias 78
 - 4.1.1 Dimensiones y tolerancias 79
 - 4.1.2 Otros atributos geométricos 79
 - 4.2 Superficies 79
 - 4.2.1 Características de las superficies 80
 - 4.2.2 Textura de la superficie 81
 - 4.2.3 Integridad de la superficie 83
 - 4.3 Efecto de los procesos de manufactura 84
- Referencias 85
- Preguntas de repaso 86

Apéndice A4:

Medición de dimensiones y superficies 87

- A4.1 Instrumentos de medición y calibradores convencionales 87
 - A4.1.1 Bloques calibradores de precisión 87
 - A4.1.2 Instrumentos de medición para dimensiones lineales 88
 - A4.1.3 Instrumentos comparativos 90
 - A4.1.4 Mediciones angulares 91
- A4.2 Mediciones de superficies 91

- A4.2.1 Medición de la rugosidad de la superficie 91
- A4.2.2 Evaluación de la integridad de la superficie 92

Parte II

Procesos de solidificación 93

Capítulo 5

Fundamentos de la fundición de metales 93

- 5.1 Panorama de la tecnología de fundición 94
 - 5.1.1 Procesos de fundición 94
 - 5.1.2 Moldes para fundición en arena 96
- 5.2 Calentamiento y vertido 96
 - 5.2.1 Calentamiento del metal 97
 - 5.2.2 Vertido del metal fundido 97
 - 5.2.3 Análisis de ingeniería del vertido 98
- 5.3 Solidificación y enfriamiento 99
 - 5.3.1 Solidificación de los metales 99
 - 5.3.2 Tiempo de solidificación 102
 - 5.3.3 Contracción 103
 - 5.3.4 Solidificación direccional 104
 - 5.3.5 Diseño de la mazarota 105

Referencias 106

Preguntas de repaso 106

Problemas 107

Capítulo 6

Procesos de fundición de metales 108

- 6.1 Fundición en arena 108
 - 6.1.1 Modelos y corazones 109
 - 6.1.2 Moldes y su fabricación 110
 - 6.1.3 La operación de fundición 112
- 6.2 Otros procesos de fundición con moldes desechables 112
 - 6.2.1 Moldeo en cáscara 112
 - 6.2.2 Procesos de poliestireno expandido 113
 - 6.2.3 Fundición por revestimiento 114
 - 6.2.4 Fundición con moldes de yeso y material cerámico 116
- 6.3 Procesos de fundición con moldes permanentes 117
 - 6.3.1 El proceso básico con moldes permanentes 117
 - 6.3.2 Variaciones de la fundición con moldes permanentes 117
 - 6.3.3 Fundición en dados 119
 - 6.3.4 Fundición por dado impresor y fundición de metales semisólidos 121
 - 6.3.5 Fundición centrífuga 122
- 6.4 La práctica de la fundición 124
 - 6.4.1 Hornos 124
 - 6.4.2 Vaciado, limpieza y tratamiento térmico 126
- 6.5 Calidad de la fundición 127

- 6.6 Metales para fundición 130
- 6.7 Consideraciones sobre el diseño del producto 131
- Referencias 133
- Preguntas de repaso 133
- Problemas 133

Capítulo 7

Trabajo del vidrio 135

- 7.1 Preparación y fusión de las materias primas 135
- 7.2 Procesos de moldeo durante el trabajado del vidrio 136
 - 7.2.1 Moldeo de artículos de vidrio 136
 - 7.2.2 Moldeo de vidrio plano y tubular 139
 - 7.2.3 Formado de fibras de vidrio 140
- 7.3 Tratamiento térmico y acabado 140
 - 7.3.1 Tratamiento térmico 141
 - 7.3.2 Acabado 142
- 7.4 Consideraciones sobre el diseño del producto 142
- Referencias 143
- Preguntas de repaso 143

Capítulo 8

Procesos para dar forma a los plásticos 144

- 8.1 Propiedades de los polímeros fundidos 145
- 8.2 Extrusión 147
 - 8.2.1 Proceso y equipo 147
 - 8.2.2 Análisis de la extrusión 149
 - 8.2.3 Configuraciones del dado y productos extruidos 153
 - 8.2.4 Defectos de la extrusión 155
- 8.3 Producción de láminas y película 156
- 8.4 Producción de fibras y filamentos (hilado) 159
- 8.5 Procesos de recubrimiento 161
- 8.6 Moldeo por inyección 161
 - 8.6.1 Proceso y equipo 162
 - 8.6.2 El molde 163
 - 8.6.3 Contracción y defectos en el moldeo por inyección 165
 - 8.6.4 Otros procesos del moldeo por inyección 167
- 8.7 Moldeo por compresión y transferencia 168
 - 8.7.1 Moldeo por compresión 169
 - 8.7.2 Moldeo por transferencia 170
- 8.8 Moldeo por soplado y moldeo rotacional 170
 - 8.8.1 Moldeo por soplado 171
 - 8.8.2 Moldeo rotacional 174
- 8.9 Termoformado 176
- 8.10 Fundición 179
- 8.11 Procesamiento y formado de espuma de polímero 179
- 8.12 Consideraciones sobre el diseño del producto 181
- Referencias 183
- Preguntas de repaso 183
- Problemas 184

Capítulo 9**Procesos para dar forma al hule y a los materiales compósitos de matriz polimérica (PMC) 185****9.1 Procesamiento y formado del hule 186**

- 9.1.1 Producción de hule 186
- 9.1.2 Composición 187
- 9.1.3 Mezclado 187
- 9.1.4 Formación y procesos relacionados 188
- 9.1.5 Vulcanización 190

9.2 Manufactura de neumáticos y otros productos de hule 191

- 9.2.1 Neumáticos 191
- 9.2.2 Otros productos de hule 194
- 9.2.3 Procesamiento de elastómeros termoplásticos 194

9.3 Materiales y procesos para dar forma a los PMC 194

- 9.3.1 Materias primas para PMC 195
- 9.3.2 Combinación de la matriz y el refuerzo 196

9.4 Procesos con molde abierto 197

- 9.4.1 Aplicado manual 198
- 9.4.2 Aplicado por aspersión 199
- 9.4.3 Máquinas de aplicación automatizada con cinta 200
- 9.4.4 Curado 200

9.5 Procesos con molde cerrado 201

- 9.5.1 Procesos de moldeo por compresión para PMC 201
- 9.5.2 Procesos de moldeo por transferencia para PMC 202
- 9.5.3 Procesos de moldeo por inyección para PMC 202

9.6 Bobinado de filamentos 203**9.7 Procesos de pultrusión 204**

- 9.7.1 Pultrusión 204
- 9.7.2 Pulformado 205

9.8 Otros procesos de formado para PMC 205**Referencias 207****Preguntas de repaso 207****Parte III****Procesamiento de partículas para metales y cerámicos 209****Capítulo 10****Metalurgia de polvos 209****10.1 Producción de polvos metálicos 211**

- 10.1.1 Atomización 211
- 10.1.2 Otros métodos de producción 211

10.2 Prensado convencional y sinterizado 213

- 10.2.1 Mezclado y mezclado combinado de polvos 213
- 10.2.2 Compactación 214
- 10.2.3 Sinterizado 216
- 10.2.4 Operaciones secundarias 217

10.3 Alternativas de prensado y técnicas de sinterizado 218

- 10.3.1 Prensado isostático 218
- 10.3.2 Moldeo por inyección de polvos 219
- 10.3.3 Laminado, extruido y forjado de polvos 220
- 10.3.4 Combinación de prensado y sinterizado 221
- 10.3.5 Sinterizado en fase líquida 221

10.4 Materiales y productos para metalurgia de polvos 221**10.5 Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos 222****Referencias 225****Preguntas de repaso 225****Problemas 226****Apéndice A10:****Características de los polvos en ingeniería 227****A10.1 Características geométricas 227****A10.2 Otras características 229****Capítulo 11****Procesamiento de cerámicos y cermets 231****11.1 Procesamiento de cerámicos tradicionales 231**

- 11.1.1 Preparación de las materias primas 232
- 11.1.2 Procesos para dar forma 234
- 11.1.3 Secado 237
- 11.1.4 Cocimiento (sinterizado) 238

11.2 Procesamiento de cerámicos nuevos 238

- 11.2.1 Preparación de materiales iniciales 238
- 11.2.2 Formado 239
- 11.2.3 Sinterizado 240
- 11.2.4 Acabado 241

11.3 Procesamiento de cermets 241

- 11.3.1 Carburos cementados 241
- 11.3.2 Otros cermets y compósitos de matriz de cerámico 243

11.4 Consideraciones para el diseño de productos 243**Referencias 244****Preguntas de repaso 244****Parte IV****Formado de metal y conformado de láminas metálicas 245****Capítulo 12****Fundamentos del formado de metales 245****12.1 Panorama del formado de metales 245****12.2 Comportamiento del material en el formado de metales 248****12.3 Temperatura en el formado de metales 249**

12.4 Fricción y lubricación en el formado de metales 251

Referencias 252

Preguntas de repaso 252

Problemas 253

Capítulo 13**Procesos de deformación volumétrica en el trabajo de metales 254****13.1 Laminación 255**

13.1.1 Laminación plana y su análisis 256

13.1.2 Laminación de perfiles 260

13.1.3 Molinos laminadores 261

13.1.4 Otros procesos de deformación relacionados con el laminado 262

13.2 Forjado 264

13.2.1 Forjado en dado abierto 265

13.2.2 Forjado con dado impresor 268

13.2.3 Forjado sin rebaba 269

13.2.4 Dados de forjado, martinets y prensas 270

13.2.5 Otros procesos relacionados con el forjado 273

13.3 Extrusión 276

13.3.1 Tipos de extrusión 276

13.3.2 Análisis de la extrusión 279

13.3.3 Dados y prensas de extrusión 282

13.3.4 Otros procesos de extrusión 284

13.3.5 Defectos en productos extruidos 285

13.4 Trefilado de alambres y barras 286

13.4.1 Análisis del trefilado 287

13.4.2 Práctica del trefilado 289

Referencias 291

Preguntas de repaso 292

Problemas 292

Capítulo 14**Conformado de láminas metálicas 296****14.1 Operaciones de corte 297**

14.1.1 Cizallado, troquelado y punzonado 298

14.1.2 Análisis de ingeniería del corte de láminas metálicas 298

14.1.3 Otras operaciones de corte de láminas metálicas 301

14.2 Operaciones de doblado 302

14.2.1 Doblado en V y doblado de bordes 303

14.2.2 Análisis de la ingeniería del doblado 303

14.2.3 Otras operaciones de doblado y formado 305

14.3 Embutido 306

14.3.1 Mecánica del embutido 306

14.3.2 Análisis de ingeniería del embutido 309

14.3.3 Otras operaciones de embutido 311

14.3.4 Defectos del embutido 312

14.4 Otras operaciones de formado de láminas metálicas 312

14.4.1 Operaciones realizadas con herramientas metálicas 312

14.4.2 Procesos de formado con caucho 314

14.5 Dados y prensas para procesos con láminas metálicas 315

14.5.1 Troqueles y matrices 315

14.5.2 Prensas 317

14.6 Operaciones con láminas metálicas no realizadas en prensas 320

14.6.1 Formado por estirado 320

14.6.2 Doblado y formado con rodillos 321

14.6.3 Rechazado 322

14.6.4 Formado por alta tasa de energía 323

Referencias 324

Preguntas de repaso 325

Problemas 325

Parte V**Procesos de remoción de material 327****Capítulo 15****Teoría del maquinado de metales 327****15.1 Panorama general de la tecnología del maquinado 329****15.2 Teoría de la formación de viruta en el maquinado de metales 332**

15.2.1 Modelo de corte ortogonal 332

15.2.2 Formación real de la viruta 334

15.3 Relaciones de fuerza y la ecuación de Merchant 336

15.3.1 Fuerzas en el corte de metales 336

15.3.2 La ecuación de Merchant 338

15.4 Relaciones entre potencia y energía en el maquinado 341**15.5 Temperatura de corte 343**

15.5.1 Métodos analíticos para el cálculo de la temperatura de corte 343

15.5.2 Medición de la temperatura de corte 344

Referencias 345

Preguntas de repaso 345

Problemas 346

Capítulo 16**Operaciones de maquinado y máquinas herramienta 348****16.1 Maquinado y geometría de las piezas 348****16.2 Torneado y operaciones afines 351**

16.2.1 Condiciones de corte en el torneado 351

- 16.2.2 Operaciones relacionadas con el torneado 352
- 16.2.3 El torno mecánico 354
- 16.2.4 Otros tornos y máquinas de torneado 356
- 16.2.5 Máquinas mandrinadoras 357
- 16.3 Taladrado y operaciones afines 359**
 - 16.3.1 Condiciones de corte en el taladrado 360
 - 16.3.2 Operaciones relacionadas con el taladrado 361
 - 16.3.3 Taladros 362
- 16.4 Fresado 363**
 - 16.4.1 Tipos de operaciones de fresado 363
 - 16.4.2 Condiciones de corte en fresado 366
 - 16.4.3 Fresadoras 368
- 16.5 Centros de maquinado y centros de torneado 370**
- 16.6 Otras operaciones de maquinado 372**
 - 16.6.1 Cepillado 372
 - 16.6.2 Brochado 374
 - 16.6.3 Aserrado 375
- 16.7 Maquinado de alta velocidad 377**
- 16.8 Tolerancias y acabado superficial 378**
 - 16.8.1 Tolerancias en maquinado 378
 - 16.8.2 Acabado superficial en maquinado 379
- 16.9 Consideraciones para el diseño del producto en maquinado 382**
- Referencias 384**
- Preguntas de repaso 384**
- Problemas 385**
- Capítulo 17**
- Tecnología de las herramientas de corte y temas relacionados 387**
- 17.1 Vida de las herramientas 387**
 - 17.1.1 Desgaste de la herramienta 388
 - 17.1.2 Vida de la herramienta y la ecuación de Taylor 389
- 17.2 Materiales para herramientas 393**
 - 17.2.1 Aceros de alta velocidad y sus predecesores 395
 - 17.2.2 Aleaciones fundidas de cobalto 396
 - 17.2.3 Carburos cementados, cermets y carburos recubiertos 397
 - 17.2.4 Cerámicos 399
 - 17.2.5 Diamantes sintéticos y nitruro de boro cúbico 400
- 17.3 Geometría de las herramientas 400**
 - 17.3.1 Geometría de las herramientas de una punta 401
 - 17.3.2 Herramientas de múltiples filos cortantes 404
- 17.4 Fluidos de corte 406**
 - 17.4.1 Tipos de fluidos de corte 407
 - 17.4.2 Aplicación de los fluidos de corte 408
- 17.5 Maquinabilidad 409**
- 17.6 Economía del maquinado 411**
 - 17.6.1 Selección del avance y de la profundidad de corte 411
 - 17.6.2 Velocidad de corte 412
- Referencias 417**
- Preguntas de repaso 418**
- Problemas 418**
- Capítulo 18**
- Rectificado y otros procesos abrasivos 422**
- 18.1 Rectificado 422**
 - 18.1.1 La piedra abrasiva 423
 - 18.1.2 Análisis del proceso de rectificado 426
 - 18.1.3 Consideraciones en la aplicación del rectificado 432
 - 18.1.4 Operaciones de rectificado y rectificadoras 433
- 18.2 Procesos abrasivos relacionados 439**
 - 18.2.1 Asentado 439
 - 18.2.2 Lapeado 440
 - 18.2.3 Superacabado 441
 - 18.2.4 Pulido y abrillantado 441
- Referencias 442**
- Preguntas de repaso 443**
- Problemas 443**
- Capítulo 19**
- Procesos de maquinado no tradicionales 445**
- 19.1 Procesos de energía mecánica 446**
 - 19.1.1 Maquinado ultrasónico 446
 - 19.1.2 Procesos con chorro de agua 447
 - 19.1.3 Otros procesos abrasivos no tradicionales 448
- 19.2 Procesos de maquinado electroquímico 449**
 - 19.2.1 Maquinado electroquímico 449
 - 19.2.2 Desbarbado y rectificado electroquímico 452
- 19.3 Procesos de energía térmica 453**
 - 19.3.1 Procesos con descarga eléctrica (electroerosión) 453
 - 19.3.2 Maquinado con haz de electrones 456
 - 19.3.3 Maquinado con haz láser 457
- 19.4 Maquinado químico 458**
 - 19.4.1 Mecánica y química del maquinado químico 458
 - 19.4.2 Procesos de maquinado químico 460
- 19.5 Consideraciones para la aplicación 463**
- Referencias 464**
- Preguntas de repaso 465**
- Problemas 465**

Parte VI

Operaciones para la mejora de propiedades y el procesamiento superficial 467

Capítulo 20

Tratamiento térmico de metales 467

20.1 Recocido 468

20.2 Formación de martensita en el acero 468

- 20.2.1 Curva tiempo-temperatura-transformación 469
- 20.2.2 Procesos del tratamiento térmico 470
- 20.2.3 Templabilidad 471

20.3 Endurecimiento por precipitación 471

20.4 Endurecimiento superficial 473

Referencias 474

Preguntas de repaso 474

Capítulo 21

Operaciones de procesamiento superficial 475

21.1 Procesos de limpieza industrial 476

- 21.1.1 Limpieza química 476
- 21.1.2 Limpieza mecánica y tratamientos superficiales 477

21.2 Difusión e implantación iónica 479

- 21.2.1 Difusión 479
- 21.2.2 Implantación iónica 479

21.3 Deposición y procesos relacionados 480

- 21.3.1 Electrodeposición 480
- 21.3.2 Electroformado 482
- 21.3.3 Deposición no electrolítica 482
- 21.3.4 Inmersión en caliente 483

21.4 Recubrimientos por conversión 483

- 21.4.1 Recubrimientos por conversión química 484
- 21.4.2 Anodizado 484

21.5 Procesos por deposición de vapor 484

- 21.5.1 Deposición física de vapor 485
- 21.5.2 Deposición química de vapor 487

21.6 Recubrimientos orgánicos 489

- 21.6.1 Métodos de aplicación 490
- 21.6.2 Pulvirrecubrimiento 491

Referencias 492

Preguntas de repaso 492

Problemas 492

Parte VII

Procesos de unión y ensamble 495

Capítulo 22

Fundamentos de soldadura 495

22.1 Perspectiva de la tecnología de la soldadura 496

- 22.1.1 Tipos de procesos de soldadura 496
- 22.1.2 La soldadura como una operación comercial 497

22.2 Unión soldada 498

- 22.2.1 Tipos de uniones 499
- 22.2.2 Tipos de soldaduras 499

22.3 Física de la soldadura 501

- 22.3.1 Densidad de potencia 501
- 22.3.2 Equilibrio de calor en la soldadura por fusión 503

22.4 Características de una junta soldada por fusión 505

Referencias 506

Preguntas de repaso 506

Problemas 506

Capítulo 23

Procesos de soldadura 508

23.1 Soldadura con arco 508

- 23.1.1 Tecnología general de la soldadura con arco 509
- 23.1.2 Procesos de AW, electrodos consumibles 511
- 23.1.3 Procesos de AW, electrodos no consumibles 515

23.2 Soldadura por resistencia 516

- 23.2.1 Fuente de potencia en la soldadura por resistencia 516
- 23.2.2 Procesos de soldadura por resistencia 517

23.3 Soldadura con gas oxcombustible 521

- 23.3.1 Soldadura con oxiacetileno 521
- 23.3.2 Gases alternativos para la soldadura con gas oxcombustible 522

23.4 Otros procesos de soldadura por fusión 523

23.5 Soldadura de estado sólido 525

- 23.5.1 Consideraciones generales en la soldadura de estado sólido 526
- 23.5.2 Procesos de soldadura de estado sólido 526

23.6 Calidad de la soldadura 531

23.7 Consideraciones de diseño en la soldadura 534

Referencias 535

Preguntas de repaso 535

Problemas 536

Capítulo 24

Soldadura fuerte, soldadura blanda y pegado adhesivo 538

24.1 Soldadura fuerte 538

- 24.1.1 Uniones con soldadura fuerte 539
- 24.1.2 Metales de aporte y fundentes 541
- 24.1.3 Métodos de soldadura fuerte 541

24.2 Soldadura blanda 543

- 24.2.1 Diseños de uniones en la soldadura blanda 544
- 24.2.2 Soldantes y fundentes 544
- 24.2.3 Métodos para soldadura blanda 546

24.3 Pegado adhesivo	547
24.3.1 Diseño de uniones	548
24.3.2 Tipos de adhesivos	549
24.3.3 Tecnología de aplicación de los adhesivos	550
Referencias	551
Preguntas de repaso	551
Capítulo 25	
Ensamble mecánico 552	
25.1 Elementos roscados	553
25.1.1 Tornillos, pernos y tuercas	553
25.1.2 Otros elementos roscados y equipo relacionado	554
25.1.3 Esfuerzos y resistencias en las uniones con pernos	555
25.1.4 Herramientas y métodos para ensamblar elementos roscados	557
25.2 Remaches	558
25.3 Métodos de ensamble basados en ajustes por interferencia	559
25.4 Otros métodos de sujeción mecánica	561
25.5 Insertos en moldeado y sujetadores integrales	562
25.6 Diseño para ensambles	563
25.6.1 Principios generales del DFA	563
25.6.2 Diseño para ensamble automatizado	565
Referencias	566
Preguntas de repaso	566
Problemas	566

Parte VIII

Procesamiento especial y tecnologías de ensamble 569

Capítulo 26

Prototipado rápido 569	
26.1 Fundamentos del prototipado rápido	570
26.2 Tecnologías para el prototipado rápido	571
26.2.1 Sistemas de prototipado rápido basados en líquidos	571
26.2.2 Sistemas de prototipado rápido basados en sólidos	574
26.2.3 Sistemas de prototipado rápido basados en polvos	576
26.3 Aspectos de la aplicación en el prototipado rápido	577
Referencias	579
Preguntas de repaso	579

Capítulo 27

Tecnologías de microfabricación y nanofabricación 580	
27.1 Productos de microsistemas	581
27.1.1 Tipos de dispositivos de microsistema	581
27.1.2 Aplicaciones de microsistemas	582

27.2 Procesos de microfabricación	583
27.2.1 Procesos con capas de silicio	584
27.2.2 Proceso LIGA	586
27.2.3 Otros procesos de microfabricación	588
27.3 Productos de nanotecnología	591
27.4 Microscopios de sonda de barrido	593
27.5 Procesos de nanofabricación	594
27.5.1 Enfoques de procesamiento de lo general a lo particular	594
27.5.2 Enfoques de procesamiento de lo particular a lo general	595
Referencias	599
Preguntas de repaso	600

Parte IX

Tópicos de sistemas para la manufactura 601

Capítulo 28

Sistemas de producción y planeación de procesos 601	
28.1 Panorama general de los sistemas de producción	601
28.1.1 Instalaciones de producción	602
28.1.2 Sistemas de soporte para la manufactura	604
28.2 Planeación de procesos 605	
28.2.1 Planeación tradicional de procesos	605
28.2.2 Decisión entre hacer o comprar	609
28.2.3 Planeación de procesos asistida por computadora	610
28.2.4 Solución de problemas y mejora continua	612
28.3 Ingeniería concurrente y diseño para manufactura 612	
28.3.1 Diseño para manufactura y ensamble	613
28.3.2 Ingeniería concurrente	614
Referencias	615
Preguntas de repaso	616

Capítulo 29

Estudio de la automatización y los sistemas de manufactura 617	
29.1 Control numérico computarizado 618	
29.1.1 Tecnología para el control numérico	618
29.1.2 Análisis de los sistemas de posicionamiento para el CN	620
29.1.3 Programación de piezas en CN	625
29.1.4 Aplicaciones del control numérico	626
29.2 Manufactura celular 627	
29.2.1 Familias de partes	627
29.2.2 Celdas de manufactura	628
29.3 Sistemas y celdas flexibles de manufactura 631	
29.3.1 Integración de los componentes de un FMS	631

29.3.2	Aplicaciones de los sistemas flexibles de manufactura	634	30.3.2	Gráficas de control por atributos	646
29.4	Producción esbelta	634	30.3.3	Interpretación de las gráficas	648
29.4.1	Sistemas de producción de justo a tiempo	635	30.4	Programas de calidad en la manufactura	648
29.4.2	Otros enfoques en la producción esbelta	636	30.4.1	Administración de la calidad total	649
29.5	Manufactura integrada por computadora	637	30.4.2	Seis Sigma	649
Referencias		639	30.4.3	ISO 9000	652
Preguntas de repaso		639	30.5	Principios de inspección	652
Problemas		640	30.6	Tecnologías modernas de inspección	654
Capítulo 30			30.6.1	Máquinas de medición de coordenadas	654
Control de calidad e inspección		642	30.6.2	Visión máquina	655
30.1	Calidad del producto	642	30.6.3	Otras técnicas de inspección sin contacto	657
30.2	Capacidad del proceso y tolerancias	643	Referencias		658
30.3	Control estadístico de procesos	644	Preguntas de repaso		658
30.3.1	Gráficas de control por variables	645	Problemas		659