

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