

# Contenido

---

Prefacio xxv

Acerca de los autores xxix

## VOLUMEN 1

### Introducción general 1

- I.1 ¿Qué es la manufactura? 1
- I.2 Diseño del producto e ingeniería concurrente 6
- I.3 Diseño para manufactura, ensamble, desensamble y servicio 10
- I.4 Diseño y manufactura verdes 11
- I.5 Selección de materiales 13
- I.6 Selección de procesos de manufactura 16
- I.7 Manufactura integrada por computadora 25
- I.8 Aseguramiento de la calidad y administración de la calidad total 28
- I.9 Producción esbelta y manufactura ágil 30
- I.10 Costos de manufactura y competencia global 31
- I.11 Tendencias en la manufactura 32

## Parte I: Fundamentos de los materiales: comportamiento y propiedades de manufactura 35

### 1 Estructura de los metales 38

- 1.1 Introducción 38
  - 1.2 Tipos de enlaces atómicos 39
  - 1.3 Estructura cristalina de los metales 40
  - 1.4 Deformación y resistencia de los monocristales 42
  - 1.5 Granos y límites de grano 45
  - 1.6 Deformación plástica de los metales policristalinos 48
  - 1.7 Recuperación, recristalización y crecimiento del grano 49
  - 1.8 Trabajo en frío, trabajo en tibio y trabajo en caliente 50
- Resumen 51 Términos clave 51 Bibliografía 52*  
*Preguntas de repaso 52 Problemas cualitativos 52*  
*Problemas cuantitativos 53 Síntesis, diseño y proyectos 54*

### 2 Comportamiento mecánico, pruebas y propiedades de manufactura de los materiales 55

- 2.1 Introducción 55
- 2.2 Tensión 56

- 2.3 Compresión 65
  - 2.4 Torsión 66
  - 2.5 Doblado (flexión) 67
  - 2.6 Dureza 67
  - 2.7 Fatiga 73
  - 2.8 Termofluencia 74
  - 2.9 Impacto 74
  - 2.10 Falla y fractura de los materiales 75
  - 2.11 Esfuerzos residuales 80
  - 2.12 Trabajo, calor y temperatura 81
- Resumen* 82 *Términos clave* 83 *Bibliografía* 83  
*Preguntas de repaso* 84 *Problemas cualitativos* 84  
*Problemas cuantitativos* 85 *Síntesis, diseño y proyectos* 86

### 3 Propiedades físicas de los materiales 88

- 3.1 Introducción 88
  - 3.2 Densidad 89
  - 3.3 Punto de fusión 92
  - 3.4 Calor específico 92
  - 3.5 Conductividad térmica 93
  - 3.6 Dilatación térmica 93
  - 3.7 Propiedades eléctricas, magnéticas y ópticas 94
  - 3.8 Resistencia a la corrosión 95
- Resumen* 97 *Términos clave* 98 *Bibliografía* 98  
*Preguntas de repaso* 98 *Problemas cualitativos* 98  
*Problemas cuantitativos* 99 *Síntesis, diseño y proyectos* 99

### 4 Aleaciones metálicas: su estructura y endurecimiento mediante tratamiento térmico 101

- 4.1 Introducción 101
- 4.2 Estructura de las aleaciones 102
- 4.3 Diagramas de fase 104
- 4.4 El sistema hierro-carbono 107
- 4.5 Diagrama de fase hierro-carburo de hierro y desarrollo de microestructuras en los aceros 108
- 4.6 Hierros fundidos 109
- 4.7 Tratamiento térmico de aleaciones ferrosas 111
- 4.8 Templabilidad de aleaciones ferrosas 113
- 4.9 Tratamiento térmico de aleaciones no ferrosas y aceros inoxidables 117
- 4.10 Endurecimiento superficial 119
- 4.11 Recocido 121
- 4.12 Hornos y equipos para el tratamiento térmico 123
- 4.13 Consideraciones de diseño para el tratamiento térmico 124

- Resumen* 125 *Términos clave* 126 *Bibliografía* 126  
*Preguntas de repaso* 126 *Problemas cualitativos* 127  
*Problemas cuantitativos* 127 *Síntesis, diseño y proyectos* 127

### 5 Aleaciones y los metales ferrosos: producción, propiedades generales y aplicaciones 128

- 5.1 Introducción 128
  - 5.2 Producción de hierro y acero 129
  - 5.3 Vaciado de lingotes 132
  - 5.4 Fundición continua 133
  - 5.5 Aceros al carbono y aleados 135
  - 5.6 Aceros inoxidables 142
  - 5.7 Aceros para herramientas y dados 144
- Resumen* 145 *Términos clave* 146 *Bibliografía* 147  
*Preguntas de repaso* 147 *Problemas cualitativos* 147  
*Problemas cuantitativos* 148 *Síntesis, diseño y proyectos* 148

### 6 Metales no ferrosos y sus aleaciones: producción, propiedades generales y aplicaciones 150

- 6.1 Introducción 150
  - 6.2 Aluminio y aleaciones de aluminio 151
  - 6.3 Magnesio y aleaciones de magnesio 155
  - 6.4 Cobre y aleaciones de cobre 156
  - 6.5 Níquel y aleaciones de níquel 158
  - 6.6 Superaleaciones 159
  - 6.7 Titanio y aleaciones 160
  - 6.8 Metales refractarios y sus aleaciones 161
  - 6.9 Berilio 162
  - 6.10 Circonio 162
  - 6.11 Aleaciones de bajo punto de fusión 162
  - 6.12 Metales preciosos 164
  - 6.13 Aleaciones con memoria de forma (materiales inteligentes) 164
  - 6.14 Aleaciones amorfas (vidrios metálicos) 165
  - 6.15 Espumas metálicas 165
- Resumen* 166 *Términos clave* 166 *Bibliografía* 166  
*Preguntas de repaso* 167 *Problemas cualitativos* 167  
*Problemas cuantitativos* 167 *Síntesis, diseño y proyectos* 168

### 7 Polímeros: estructura, propiedades generales y aplicaciones 169

- 7.1 Introducción 169
- 7.2 Estructura de los polímeros 171
- 7.3 Termoplásticos 178

- 7.4 Plásticos termofijos 181
- 7.5 Aditivos en los plásticos 182
- 7.6 Propiedades generales y aplicaciones de los termoplásticos 183
- 7.7 Propiedades generales y aplicaciones de los plásticos termofijos 186
- 7.8 Plásticos biodegradables 187
- 7.9 Elastómeros (hules) 188
- Resumen 189 Términos clave 190 Bibliografía 190*
- Preguntas de repaso 191 Problemas cualitativos 191*
- Problemas cuantitativos 192 Síntesis, diseño y proyectos 193*

## **8** Cerámicos, vidrio, grafito, diamante y nanomateriales: estructura, propiedades generales y aplicaciones 194

- 8.1 Introducción 194
- 8.2 Estructura de los cerámicos 195
- 8.3 Propiedades generales y aplicaciones de los cerámicos 200
- 8.4 Vidrios 204
- 8.5 Vitrocerámicos 206
- 8.6 Grafito 207
- 8.7 Diamante 209
- 8.8 Nanomateriales 210
- Resumen 211 Términos clave 212 Bibliografía 212*
- Preguntas de repaso 212 Problemas cualitativos 213*
- Problemas cuantitativos 213 Síntesis, diseño y proyectos 213*

## **9** Materiales compósitos: estructura, propiedades generales y aplicaciones 215

- 9.1 Introducción 215
- 9.2 Estructura de los plásticos reforzados 216
- 9.3 Propiedades de los plásticos reforzados 221
- 9.4 Aplicaciones de los plásticos reforzados 224
- 9.5 Compósitos de matriz metálica 226
- 9.6 Compósitos de matriz cerámica 228
- 9.7 Otros compósitos 229
- Resumen 230 Términos clave 230 Bibliografía 230*
- Preguntas de repaso 231 Problemas cualitativos 231*
- Problemas cuantitativos 232 Síntesis, diseño y proyectos 232*

## **Parte II: Procesos y equipos para la fundición de metales 235**

### **10** Fundamentos de la fundición de metales 237

- 10.1 Introducción 237
- 10.2 Solidificación de los metales 238
- 10.3 Flujo del fluido 243
- 10.4 Fluidez del metal fundido 246
- 10.5 Transferencia de calor 247
- 10.6 Defectos 249
- Resumen 252 Términos clave 252 Bibliografía 253*
- Preguntas de repaso 253 Problemas cualitativos 253*
- Problemas cuantitativos 254 Síntesis, diseño y proyectos 255*

### **11** Procesos y equipos de fundición de metales 256

- 11.1 Introducción 256
- 11.2 Procesos de fundición de molde desechable y modelo permanente 260
- 11.3 Procesos de fundición de molde y modelo desechables 269
- 11.4 Procesos de fundición de molde permanente 276
- 11.5 Técnicas de fundición para componentes monocristalinos 284
- 11.6 Solidificación rápida 286
- 11.7 Inspección de piezas fundidas 287
- 11.8 Procedimientos y hornos de fusión 287
- 11.9 Fundidoras y automatización de fundidoras 289
- Resumen 289 Términos clave 290 Bibliografía 290*
- Preguntas de repaso 290 Problemas cualitativos 291*
- Problemas cuantitativos 291 Síntesis, diseño y proyectos 292*

### **12** Fundición de metales: diseño, materiales y consideraciones económicas 294

- 12.1 Introducción 294
- 12.2 Consideraciones de diseño en la fundición 294
- 12.3 Aleaciones para las fundiciones 303
- 12.4 Consideraciones económicas en la fundición 308
- Resumen 309 Términos clave 309 Bibliografía 309*
- Preguntas de repaso 310 Problemas cualitativos 310*
- Problemas cuantitativos 310 Síntesis, diseño y proyectos 311*

## Parte III: Procesos y equipos para formado y para dar forma 313

### 13 Procesos y equipos para la laminación de metales 316

- 13.1 Introducción 316
  - 13.2 Proceso de laminación plana 318
  - 13.3 Práctica de la laminación plana 323
  - 13.4 Molinos de laminación 326
  - 13.5 Diversidad de procesos y molinos de laminación 328
- Resumen 333 Términos clave 333 Bibliografía 334*  
*Preguntas de repaso 334 Problemas cualitativos 334*  
*Problemas cuantitativos 335 Síntesis, diseño y proyectos 336*

### 14 Procesos y equipos para el forjado de metales 337

- 14.1 Introducción 337
  - 14.2 Forjado en dado abierto 339
  - 14.3 Forjado con dado impresor y en dado cerrado 342
  - 14.4 Diversas operaciones de forjado 345
  - 14.5 Forjabilidad de los metales; defectos de forjado 349
  - 14.6 Diseño de dados, materiales para dados y lubricación 351
  - 14.7 Métodos para la fabricación de dados y fallas en los dados 354
  - 14.8 Máquinas de forjado 355
  - 14.9 Economía del forjado 358
- Resumen 360 Términos clave 361 Bibliografía 361*  
*Preguntas de repaso 362 Problemas cualitativos 362*  
*Problemas cuantitativos 362 Síntesis, diseño y proyectos 363*

### 15 Procesos y equipos para extrusión y trefilado de metales 364

- 15.1 Introducción 364
  - 15.2 El proceso de extrusión 366
  - 15.3 Extrusión en caliente 368
  - 15.4 Extrusión en frío 372
  - 15.5 Defectos en la extrusión 374
  - 15.6 Consideraciones de diseño 376
  - 15.7 Equipos para extrusión 376
  - 15.8 El proceso de trefilado 377
  - 15.9 Práctica del trefilado 379
  - 15.10 Defectos y esfuerzos residuales en el trefilado 382
  - 15.11 Equipos para trefilado 382
- Resumen 383 Términos clave 384 Bibliografía 384*  
*Preguntas de repaso 384 Problemas cualitativos 384*  
*Problemas cuantitativos 385 Síntesis, diseño y proyectos 385*

### 16 Procesos y equipos para el formado de láminas metálicas 386

- 16.1 Introducción 386
  - 16.2 Cizallamiento 387
  - 16.3 Características y formabilidad de la lámina metálica 397
  - 16.4 Pruebas de formabilidad para láminas metálicas 399
  - 16.5 Doblado de láminas, placas y tubos 402
  - 16.6 Dobladados diversos y operaciones de formado relacionadas 406
  - 16.7 Embutido profundo 411
  - 16.8 Formado de hule e hidroformado 419
  - 16.9 Rechazado 423
  - 16.10 Formado superplástico 426
  - 16.11 Estampado en caliente 427
  - 16.12 Procesos de formado especializados 428
  - 16.13 Manufactura de estructuras metálicas en forma de panal 433
  - 16.14 Consideraciones de diseño en el formado de láminas metálicas 434
  - 16.15 Equipo para el formado de láminas metálicas 437
  - 16.16 Economía de las operaciones para el formado de láminas metálicas 438
- Resumen 439 Términos clave 440 Bibliografía 440*  
*Preguntas de repaso 440 Problemas cualitativos 441*  
*Problemas cuantitativos 441 Síntesis, diseño y proyectos 442*

### 17 Procesos y equipos para los metales en polvo 444

- 17.1 Introducción 444
  - 17.2 Producción de polvos metálicos 445
  - 17.3 Compactación de polvos metálicos 450
  - 17.4 Sinterizado 461
  - 17.5 Operaciones secundarias y de acabado 464
  - 17.6 Consideraciones de diseño 466
  - 17.7 Economía de la metalurgia de polvos 469
- Resumen 471 Términos clave 471 Bibliografía 471*  
*Preguntas de repaso 472 Problemas cualitativos 472*  
*Problemas cuantitativos 473 Síntesis, diseño y proyectos 473*

### 18 Cerámicos, vidrios y superconductores: procesamiento y equipo 475

- 18.1 Introducción 475
- 18.2 Moldeado de cerámicos 476
- 18.3 Formado y moldeado del vidrio 483
- 18.4 Técnicas para reforzar y tratar térmicamente al vidrio 486
- 18.5 Consideraciones de diseño para cerámicos y vidrios 489
- 18.6 Procesamiento de superconductores 489

*Resumen* 491 *Términos clave* 491 *Bibliografía* 492  
*Preguntas de repaso* 492 *Problemas cualitativos* 492  
*Problemas cuantitativos* 493 *Síntesis, diseño y proyectos* 493

## 19 Plásticos y materiales compósitos: formado y otros procesos para dar forma 494

- 19.1 Introducción 494
- 19.2 Extrusión 495
- 19.3 Moldeo por inyección 502
- 19.4 Moldeo por soplado 509
- 19.5 Moldeo rotacional 509
- 19.6 Termoformado 511
- 19.7 Moldeo por compresión 512
- 19.8 Moldeo por transferencia 513
- 19.9 Colado 514
- 19.10 Moldeo de espuma 515
- 19.11 Formado en frío y formado en fase sólida 516
- 19.12 Procesamiento de elastómeros 517
- 19.13 Procesamiento de compósitos de matriz polimérica 518
- 19.14 Procesamiento de compósitos de matriz metálica y cerámica 527
- 19.15 Consideraciones de diseño 528
- 19.16 Economía del procesamiento de plásticos y materiales compósitos 530

*Resumen* 531 *Términos clave* 531 *Bibliografía* 532  
*Preguntas de repaso* 532 *Problemas cualitativos* 532  
*Problemas cuantitativos* 533 *Síntesis, diseño y proyectos* 533

## 20 Procesos y operaciones del prototipado rápido 535

- 20.1 Introducción 535
- 20.2 Procesos sustractivos 538
- 20.3 Procesos aditivos 540
- 20.4 Prototipado virtual 551
- 20.5 Máquinas autorreplicantes 552
- 20.6 Manufactura directa y creación rápida de herramientas 553

*Resumen* 560 *Términos clave* 560 *Bibliografía* 560  
*Preguntas de repaso* 561 *Problemas cualitativos* 561  
*Problemas cuantitativos* 562 *Síntesis, diseño y proyectos* 562

## Volumen 2

### Parte IV: Procesos de maquinado y máquinas herramientas 563

#### 21 Fundamentos de maquinado 566

- 21.1 Introducción 566
  - 21.2 Mecánica de corte 567
  - 21.3 Fuerzas y potencia en el proceso de corte 577
  - 21.4 Temperaturas durante el proceso de corte 580
  - 21.5 Vida de la herramienta: desgaste y falla 582
  - 21.6 Acabado e integridad de la superficie 589
  - 21.7 Maquinabilidad 591
- Resumen* 595 *Términos clave* 596 *Bibliografía* 596  
*Preguntas de repaso* 596 *Problemas cualitativos* 597  
*Problemas cuantitativos* 598 *Síntesis, diseño y proyectos* 599

#### 22 Materiales para la herramienta de corte y fluidos de corte 600

- 22.1 Introducción 600
  - 22.2 Aceros de alta velocidad 604
  - 22.3 Aleaciones fundidas de cobalto 605
  - 22.4 Carburos 605
  - 22.5 Herramientas recubiertas 609
  - 22.6 Cerámicos base alúmina 612
  - 22.7 Nitruro de boro cúbico 613
  - 22.8 Cerámicos con base en nitruro de silicio 614
  - 22.9 Diamante 614
  - 22.10 Materiales y nanomateriales reforzados con triquitas 615
  - 22.11 Costos y reacondicionamiento de herramientas 616
  - 22.12 Fluidos de corte 616
- Resumen* 622 *Términos clave* 622 *Bibliografía* 622  
*Preguntas de repaso* 623 *Problemas cualitativos* 623  
*Problemas cuantitativos* 624 *Síntesis, diseño y proyectos* 624

#### 23 Procesos de maquinado: torneado y producción de orificios 625

- 23.1 Introducción 625
  - 23.2 Torneado 628
  - 23.3 Tornos y operaciones en tornos 636
  - 23.4 Mandrinado y máquinas para mandrinar 651
  - 23.5 Taladrado, brocas y taladros 652
  - 23.6 Rimado y rimas 661
  - 23.7 Machuelado y machuelos 662
- Resumen* 664 *Términos clave* 665 *Bibliografía* 665  
*Preguntas de repaso* 665 *Problemas cualitativos* 666  
*Problemas cuantitativos* 666 *Síntesis, diseño y proyectos* 667

## 24 Procesos de maquinado: fresado, brochado, aserrado, limado y manufactura de engranes 668

- 24.1 Introducción 668
- 24.2 Fresado y fresadoras 669
- 24.3 Cepillado 684
- 24.4 Brochado y brochadoras 684
- 24.5 Aserrado 688
- 24.6 Limado 692
- 24.7 Manufactura de engranes por medio de maquinado 692
- Resumen* 699 *Términos clave* 700 *Bibliografía* 700
- Preguntas de repaso* 700 *Problemas cualitativos* 700
- Problemas cuantitativos* 701 *Síntesis, diseño y proyectos* 702

## 25 Centros de maquinado, estructuras de las máquinas herramienta y economía del maquinado 703

- 25.1 Introducción 703
- 25.2 Centros de maquinado 703
- 25.3 Estructuras de máquinas herramienta 712
- 25.4 Vibración y traqueteo en las operaciones de maquinado 716
- 25.5 Maquinado de alta velocidad 719
- 25.6 Maquinado de alta dureza 720
- 25.7 Maquinado de ultraprecisión 721
- 25.8 Economía del maquinado 722
- Resumen* 726 *Términos clave* 726 *Bibliografía* 727
- Preguntas de repaso* 727 *Problemas cualitativos* 727
- Problemas cuantitativos* 728 *Síntesis, diseño y proyectos* 728

## 26 Operaciones de maquinado y acabado con abrasivos 729

- 26.1 Introducción 729
- 26.2 Abrasivos y abrasivos aglutinados 731
- 26.3 Proceso de rectificado 737
- 26.4 Operaciones de rectificado y rectificadoras 746
- 26.5 Consideraciones de diseño en el rectificado 755
- 26.6 Maquinado ultrasónico 755
- 26.7 Operaciones de acabado 756
- 26.8 Operaciones de desbarbado 761
- 26.9 Economía de las operaciones de maquinado y acabado con abrasivos 764
- Resumen* 765 *Términos clave* 765 *Bibliografía* 766
- Preguntas de repaso* 766 *Problemas cualitativos* 767
- Problemas cuantitativos* 767 *Síntesis, diseño y proyectos* 768

## 27 Procesos de maquinado avanzado y sus equipos 769

- 27.1 Introducción 769
- 27.2 Maquinado químico 770
- 27.3 Maquinado electroquímico 775
- 27.4 Rectificado electroquímico 779
- 27.5 Electroerosión 780
- 27.6 Maquinado con rayo láser 784
- 27.7 Maquinado con haz de electrones 787
- 27.8 Maquinado con chorro de agua 788
- 27.9 Maquinado con chorro abrasivo 790
- 27.10 Sistemas de maquinado híbrido 790
- 27.11 Economía de los procesos de maquinado avanzado 791
- Resumen* 794 *Términos clave* 794 *Bibliografía* 795
- Preguntas de repaso* 795 *Problemas cualitativos* 795
- Problemas cuantitativos* 796 *Síntesis, diseño y proyectos* 796

### NOTA AL LECTOR

El capítulo 28 “Fabrication of Microelectronic Devices” (correspondiente a las páginas 797 a 840) y el capítulo 29 “Fabrication of Microelectro-mechanical Devices and Systems; Nanoscale Manufacturing” (correspondiente a las páginas 841 a 872) se encuentran en formato PDF, en inglés, en la página web de este libro.

## Part V: Micromanufacturing and Fabrication of Microelectronic Devices 797

### 28 Fabrication of Microelectronic Devices 800

- 28.1 Introduction 800
- 28.2 Clean Rooms 803
- 28.3 Semiconductors and Silicon 804
- 28.4 Crystal Growing and Wafer Preparation 805
- 28.5 Film Deposition 807
- 28.6 Oxidation 809
- 28.7 Lithography 810
- 28.8 Etching 818
- 28.9 Diffusion and Ion Implantation 825
- 28.10 Metallization and Testing 827
- 28.11 Wire Bonding and Packaging 830
- 28.12 Yield and Reliability 835
- 28.13 Printed Circuit Boards 835
- Summary* 837 *Key Terms* 838 *Bibliography* 838
- Review Questions* 838 *Qualitative Problems* 839
- Quantitative Problems* 839 *Synthesis, Design, and Projects* 840

## 29 Fabrication of Microelectromechanical Devices and Systems; Nanoscale Manufacturing 841

- 29.1 Introduction 841
- 29.2 Micromachining of MEMS Devices 843
- 29.3 Electroforming-based Processes 854
- 29.4 Solid Free-form Fabrication of Devices 861
- 29.5 Nanoscale Manufacturing 866
- Summary* 869 *Key Terms* 869 *Bibliography* 869
- Review Questions* 870 *Qualitative Problems* 870
- Quantitative Problems* 870 *Synthesis, Design, and Projects* 871

## Parte VI: Procesos y equipos para unir 873

### 30 Procesos de soldadura por fusión 877

- 30.1 Introducción 877
- 30.2 Soldadura con gas oxicomcombustible 877
- 30.3 Procesos de soldadura por arco: electrodo no consumible 882
- 30.4 Procesos de soldadura por arco: electrodo consumible 885
- 30.5 Electrodo para soldadura por arco 890
- 30.6 Soldadura con haz de electrones 892
- 30.7 Soldadura con rayo láser 893
- 30.8 Corte 894
- 30.9 Unión soldada, calidad y prueba de la soldadura 896
- 30.10 Diseño de la unión y selección del proceso 905
- Resumen* 908 *Términos clave* 909 *Bibliografía* 909
- Preguntas de repaso* 909 *Problemas cualitativos* 910
- Problemas cuantitativos* 910 *Síntesis, diseño y proyectos* 911

### 31 Procesos de soldadura de estado sólido 912

- 31.1 Introducción 912
- 31.2 Soldadura en frío y unión por rolado 913
- 31.3 Soldadura ultrasónica 914
- 31.4 Soldadura por fricción 915
- 31.5 Soldadura con resistencia 917
- 31.6 Soldadura por explosión 925
- 31.7 Soldadura por difusión 926
- 31.8 Economía de las operaciones de soldadura 928
- Resumen* 930 *Términos clave* 930 *Bibliografía* 931
- Preguntas de repaso* 931 *Problemas cualitativos* 931
- Problemas cuantitativos* 932 *Síntesis, diseño y proyectos* 932

## 32 Soldadura fuerte, soldadura blanda, unión con adhesivos y procesos de sujeción mecánica 934

- 32.1 Introducción 934
- 32.2 Soldadura fuerte 935
- 32.3 Soldadura blanda 939
- 32.4 Unión adhesiva 943
- 32.5 Sujeción mecánica 949
- 32.6 Unión de plásticos, cerámicos y vidrios 953
- 32.7 Economía de las operaciones de unión 957
- Resumen* 958 *Términos clave* 958 *Bibliografía* 959
- Preguntas de repaso* 959 *Problemas cualitativos* 959
- Problemas cuantitativos* 960 *Síntesis, diseño y proyectos* 960

## Parte VII: Tecnología de superficies 961

### 33 Rugosidad de una superficie y su medición; fricción, desgaste y lubricación 963

- 33.1 Introducción 963
- 33.2 Estructura e integridad de una superficie 964
- 33.3 Textura y rugosidad de una superficie 966
- 33.4 Fricción 969
- 33.5 Desgaste 973
- 33.6 Lubricación 976
- 33.7 Fluidos en el trabajo de metales y su selección 978
- Resumen* 981 *Términos clave* 982 *Bibliografía* 982
- Preguntas de repaso* 983 *Problemas cualitativos* 983
- Problemas cuantitativos* 984 *Síntesis, diseño y proyectos* 984

### 34 Tratamientos, recubrimientos y limpieza de superficies 985

- 34.1 Introducción 985
- 34.2 Tratamientos mecánicos de la superficie 986
- 34.3 Deposición y chapeado mecánicos 987
- 34.4 Endurecimiento superficial y revestimiento duro 988
- 34.5 Rociado térmico 988
- 34.6 Deposición de vapor 989
- 34.7 Implantación iónica y recubrimiento por difusión 993
- 34.8 Tratamientos con láser 993
- 34.9 Electrodeposición, deposición no electrolítica y electroformado 994
- 34.10 Recubrimientos de conversión 998
- 34.11 Inmersión en caliente 998
- 34.12 Porcelanizado; recubrimientos cerámicos y orgánicos 999

- 34.13 Recubrimientos de diamante y de carbono similar al diamante 1000
- 34.14 Texturizado de la superficie 1001
- 34.15 Pintura 1001
- 34.16 Limpieza de las superficies 1002
- Resumen 1004 Términos clave 1004 Bibliografía 1004*
- Preguntas de repaso 1005 Problemas cualitativos 1005*
- Problemas cuantitativos 1005 Síntesis, diseño y proyectos 1005*

## **Parte VIII: Metrología, instrumentación y aseguramiento de la calidad en la ingeniería 1007**

### **35 Metrología e instrumentación en la ingeniería 1008**

- 35.1 Introducción 1008
- 35.2 Patrones de medición 1008
- 35.3 Características geométricas de las partes: mediciones analógicas y digitales 1010
- 35.4 Métodos e instrumentos de medición tradicionales 1010
- 35.5 Instrumentos y máquinas modernos de medición 1017
- 35.6 Medición automatizada 1020
- 35.7 Características generales y selección de los instrumentos de medición 1021
- 35.8 Dimensionamiento geométrico y tolerancias 1021
- Resumen 1027 Términos clave 1027 Bibliografía 1027*
- Preguntas de repaso 1028 Problemas cualitativos 1028*
- Problemas cuantitativos 1029 Síntesis, diseño y proyectos 1029*

### **36 Aseguramiento, prueba e inspección de la calidad 1030**

- 36.1 Introducción 1030
- 36.2 Calidad del producto 1031
- 36.3 Aseguramiento de la calidad 1031
- 36.4 Administración total de la calidad 1032
- 36.5 Métodos Taguchi 1034
- 36.6 Los estándares ISO y QS 1038
- 36.7 Métodos estadísticos de control de calidad 1039
- 36.8 Control estadístico del proceso 1042
- 36.9 Confiabilidad de los productos y procesos 1048
- 36.10 Pruebas no destructivas 1048
- 36.11 Pruebas destructivas 1052
- 36.12 Inspección automatizada 1052

- Resumen 1053 Términos clave 1054 Bibliografía 1054*
- Preguntas de repaso 1054 Problemas cualitativos 1055*
- Problemas cuantitativos 1055 Síntesis, diseño y proyectos 1056*

## **Parte IX: La manufactura en un ambiente competitivo 1057**

### **37 Automatización de los procesos y operaciones de manufactura 1059**

- 37.1 Introducción 1059
- 37.2 Automatización 1061
- 37.3 Control numérico 1068
- 37.4 Control adaptativo 1074
- 37.5 Manejo y movimiento de materiales 1077
- 37.6 Robots industriales 1078
- 37.7 Tecnología de sensores 1085
- 37.8 Sujeción flexible 1089
- 37.9 Sistemas de ensamble 1090
- 37.10 Consideraciones de diseño para la sujeción, el ensamble, desensamble y servicio 1094
- 37.11 Consideraciones económicas 1096
- Resumen 1097 Términos clave 1098 Bibliografía 1098*
- Preguntas de repaso 1098 Problemas cualitativos 1099*
- Problemas cuantitativos 1099 Síntesis, diseño y proyectos 1099*

### **38 Manufactura asistida por computadora 1101**

- 38.1 Introducción 1101
- 38.2 Sistemas de manufactura 1102
- 38.3 Manufactura integrada por computadora 1102
- 38.4 Diseño e ingeniería asistidos por computadora 1105
- 38.5 Manufactura asistida por computadora 1110
- 38.6 Planeación del proceso asistida por computadora 1110
- 38.7 Simulación en computadora de los procesos y sistemas de manufactura 1113
- 38.8 Tecnología de grupos 1114
- Resumen 1122 Términos clave 1122 Bibliografía 1122*
- Preguntas de repaso 1123 Problemas cualitativos 1123*
- Síntesis, diseño y proyectos 1123*

### **39 Sistemas de manufactura integrados por computadora 1124**

- 39.1 Introducción 1124
- 39.2 Manufactura celular 1125



- 39.3 Sistemas de manufactura flexible 1126
- 39.4 Manufactura holónica 1129
- 39.5 Producción justo a tiempo 1131
- 39.6 Manufactura esbelta 1132
- 39.7 Las redes de comunicación en la manufactura 1134
- 39.8 Inteligencia artificial 1135
- 39.9 Consideraciones económicas 1138
- Resumen* 1138 *Términos clave* 1139 *Bibliografía* 1139
- Preguntas de repaso* 1139 *Problemas cualitativos* 1140
- Síntesis, diseño y proyectos* 1140

## 40 Diseño y manufactura del producto en un ambiente competitivo 1141

- 40.1 Introducción 1141
- 40.2 Diseño del producto 1142
- 40.3 Calidad del producto 1145
- 40.4 Evaluación del ciclo de vida y manufactura sustentable 1145
- 40.5 Consumo de energía durante la manufactura 1147
- 40.6 Selección del material para los productos 1149
- 40.7 Sustitución de materiales 1151
- 40.8 Capacidades del proceso de manufactura 1153
- 40.9 Selección del proceso 1155
- 40.10 Costos de manufactura y su reducción 1158
- Resumen* 1162 *Términos clave* 1162 *Bibliografía* 1162
- Preguntas de repaso* 1163 *Problemas cualitativos* 1163
- Síntesis, diseño y proyectos* 1164

## Índice 563

## Casos de estudio

- I.1: Bates de béisbol 15
- I.2: Centavos estadounidenses 16
- I.3: Saleros y pimenteros 24
- I.4: Molde para armazones de lentes para el sol 27
- 3.1: Selección de materiales para acuñar monedas 97
- 5.1: Aceros avanzados de alta resistencia en automóviles 142
- 5.2: Aceros inoxidable en automóviles 144
- 6.1: Un automóvil totalmente de aluminio 154
- 7.1: Cemento óseo dental y médico 175
- 7.2: Uso de los polímeros eléctricamente conductores en baterías recargables 181
- 7.3: Materiales para forro de puertas de refrigerador 187
- 8.1: Cuchillos cerámicos 198
- 8.2: Barril de pistola cerámico 203
- 8.3: Cojinetes de bola y rodillos cerámicos 203
- 9.1: Cascos militares y chalecos antibalas hechos de materiales compósitos 225
- 9.2: Mordazas de frenos de material compósito con matriz de aluminio 227
- 9.3: Compósitos en la industria aeronáutica 229
- 11.1: Fundición de espuma perdida (modelo evaporable o consumible) para monoblocks de motor 270
- 11.2: Componentes superaleados de turbinas de gas fundidos por revestimiento 273
- 11.3: Fundición por revestimiento de prótesis totales de rodilla 274
- 11.4: Fundición en dado de un montaje de faro 281
- 12.1: Ejemplos ilustrativos de fundiciones con diseños pobres y buenos 301
- 14.1: Manufactura de un pasador escalonado mediante las operaciones de cabeceado y penetrado 347
- 14.2: Componentes de la suspensión del automóvil Lotus Elise 359
- 15.1: Manufactura de disipadores de calor de aluminio 371
- 15.2: Pieza extruida en frío 373
- 16.1: Lámina metálica soldada a la medida para aplicaciones automotrices 393
- 16.2: Manufactura de latas para alimentos y bebidas 418
- 16.3: Hidroformado de tubo para el soporte de un radiador automotriz 421
- 16.4: Manufactura de címbalos (platillos) 431
- 17.1: Prensado isostático en caliente de un elevador de válvula 456
- 17.2: Componentes del teléfono móvil fabricados mediante moldeo por inyección de metal 458
- 17.3: Piezas elaboradas por metalurgia de polvos en un quitanieves 470
- 18.1: Producción de cintas superconductoras para altas temperaturas 490
- 19.1: Paneles de polímero para carrocerías automotrices formados mediante diversos procesos 524
- 19.2: Fabricación de raquetas de tenis Head Protector® 525
- 19.3: Rotores de freno y camisas de cilindro hechos de material compósito con matriz metálica 527
- 20.1: Prototipado rápido funcional 536
- 20.2: Diseño de una cafetera 544
- 20.3: Producción de avatares de Second Life 547

20.4:	Accesorios para el fuselaje de helicópteros	548
20.5:	Alineadores ortodóncicos Invisalign®	553
20.6:	Fundición de accesorios de plomería	558
23.1:	Maquinado de frenos de disco	635
23.2:	Retenedor para tornillo en hueso	663
24.1:	Brochado de estrías internas	687
24.2:	Palos <i>putt</i> de golf	690
25.1:	Maquinado de pistas exteriores para rodamientos en un centro de torneado	710
27.1:	Maquinado electroquímico de un implante biomédico	777
27.2:	Manufactura de pequeños satélites	791
31.1:	Soldadura de pistones por fricción	929
32.1:	Curado ligero de adhesivos acrílicos para productos médicos	955
36.1:	Manufactura de equipos de televisión por Sony Corporation	1036
37.1:	Eliminación robotizada de las rebabas en un trineo moldeado por soplado	1084