

Fundamentos de manufactura moderna

Tercera edición

**Mc
Graw
Hill**

Mikell P. Groover

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN Y PANORAMA DE LA MANUFACTURA 1

- 1.1 ¿Qué es la manufactura? 2
- 1.2 Los materiales en la manufactura 8
- 1.3 Procesos de manufactura 10
- 1.4 Sistemas de producción 17
- 1.5 Organización del libro 20

Parte I Propiedades de los materiales y atributos del producto 23

2 LA NATURALEZA DE LOS MATERIALES 23

- 2.1 Estructura atómica y los elementos 23
- 2.2 Enlaces entre átomos y moléculas 26
- 2.3 Estructuras cristalinas 28
- 2.4 Estructuras no cristalinas (amorfos) 34
- 2.5 Materiales de ingeniería 35

3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES 38

- 3.1 Relaciones esfuerzo-deformación 39
- 3.2 Dureza 51
- 3.3 Efecto de la temperatura sobre las propiedades 55
- 3.4 Propiedades de los fluidos 57
- 3.5 Comportamiento viscoelástico de los polímeros 60

4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES 67

- 4.1 Propiedades volumétricas y de fusión 68
- 4.2 Propiedades térmicas 70
- 4.3 Difusión de masa 72
- 4.4 Propiedades eléctricas 74
- 4.5 Procesos electroquímicos 75

5 DIMENSIONES, TOLERANCIAS Y SUPERFICIES 79

- 5.1 Dimensiones, tolerancias y atributos relacionados 80
- 5.2 Superficies 81
- 5.3 Efecto de los procesos de manufactura 87

Parte II Materiales de la ingeniería 90

6 Metales 90

- 6.1 Aleaciones y diagramas de fase 91
- 6.2 Metales ferrosos 96
- 6.3 Metales no ferrosos 111

- 6.4 Superalaciones 122
- 6.5 Guía para el procesamiento de metales 123

7 CERÁMICOS 127

- 7.1 Estructura y propiedades de los cerámicos 129
- 7.2 Cerámicos tradicionales 131
- 7.3 Nuevos materiales cerámicos 133
- 7.4 Vidrio 136
- 7.5 Algunos elementos importantes relacionados con los cerámicos 139
- 7.6 Guía para el procesamiento de los materiales cerámicos 142

8 POLÍMEROS 144

- 8.1 Fundamentos de la ciencia y tecnología de los polímeros 147
- 8.2 Polímeros termoplásticos 156
- 8.3 Polímeros termofijos 163
- 8.4 Elastómeros 167
- 8.5 Guía para el procesamiento de polímeros 174

9 MATERIALES COMPUESTOS 176

- 9.1 Tecnología y clasificación de los materiales compuestos 177
- 9.2 Compuestos de matriz metálica 185
- 9.3 Compuestos de matriz cerámica 188
- 9.4 Compuestos de matriz de polímero 188
- 9.5 Guía para el procesamiento de los materiales compuestos 191

Parte III Procesos de solidificación 194

10 FUNDAMENTOS DE LA FUNDICIÓN DE METALES 194

- 10.1 Panorama de la tecnología de fundición 197
- 10.2 Calentamiento y vertido 199
- 10.3 Solidificación y enfriamiento 203

11 PROCESOS DE FUNDICIÓN DE METALES 214

- 11.1 Fundición en arena 215
- 11.2 Otros procesos de fundición con moldes desechables 220
- 11.3 Procesos de fundición con moldes permanentes 226
- 11.4 La práctica de la fundición 234
- 11.5 Calidad del fundido 238

- 11.6 Los metales para fundición 240
- 11.7 Consideraciones sobre el diseño del producto 242
- 12 TRABAJO DEL VIDRIO 247**
- 12.1 Preparación y fundición de las materias primas 247
- 12.2 Los procesos de conformación en el trabajo del vidrio 248
- 12.3 Tratamiento térmico y acabado 254
- 12.4 Consideraciones sobre el diseño del producto 255
- 13 PROCESOS DE CONFORMADO PARA PLÁSTICOS 257**
- 13.1 Propiedades de los polímeros fundidos 259
- 13.2 Extrusión 261
- 13.3 Producción de hojas y película 271
- 13.4 Producción de fibras y filamentos (hilado o hilandería) 273
- 13.5 Procesos de recubrimiento 275
- 13.6 Moldeo por inyección 275
- 13.7 Moldeo por compresión y transferencia 286
- 13.8 Moldeo por soplado y moldeo rotacional 288
- 13.9 Termoformado 293
- 13.10 Fundición 297
- 13.11 Procesamiento y formado de espuma de polímero 298
- 13.12 Consideraciones sobre el diseño del producto 300
- 14 TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DEL CAUCHO (HULE) 307**
- 14.1 Procesamiento y formado del caucho 307
- 14.2 Manufactura de llantas y otros productos de caucho 313
- 14.3 Consideraciones sobre el diseño del producto 316
- 15 PROCESOS DE FORMADO PARA MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ POLIMÉRICA 319**
- 15.1 Materias primas para materiales compuestos con matriz polimérica (PMC) 321
- 15.2 Procesos con molde abierto 324
- 15.3 Procesos con molde cerrado 327
- 15.4 Bobinado de filamentos 330
- 15.5 Procesos de pultrusión 332
- 15.6 Otros procesos de formado para PMC 333
- Parte IV Procesamiento de partículas para metales y cerámicos 337**
- 16 METALURGIA DE POLVOS 337**
- 16.1 Características de los polvos en ingeniería 340
- 16.2 Producción de polvos metálicos 343
- 16.3 Prensado convencional y sinterizado 345
- 16.4 Alternativas de prensado y técnicas de sinterizado 351
- 16.5 Materiales y productos para metalurgia de polvos 354
- 16.6 Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos 355
- 17 PROCESAMIENTO DE CERÁMICAS Y CERMETS 362**
- 17.1 Procesamiento de cerámicas tradicionales 363
- 17.2 Procesamiento de cerámicas nuevas 370
- 17.3 Procesamiento de cermets 373
- 17.4 Consideraciones para el diseño de productos 375
- Parte V Formado de metal y trabajo de láminas metálicas 378**
- 18 FUNDAMENTOS DEL FORMADO DE METALES 378**
- 18.1 Panorama del formado de metales 378
- 18.2 Comportamiento del material en el formado de metales 381
- 18.3 Temperatura en el formado de metales 382
- 18.4 Sensibilidad a la velocidad de deformación 384
- 18.5 Fricción y lubricación en el formado de metales 386
- 19 PROCESOS DE DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA EN EL TRABAJO DE METALES 390**
- 19.1 Laminado 391
- 19.2 Otros procesos de deformación relacionados con el laminado 398
- 19.3 Forjado 400
- 19.4 Otros procesos de deformación relacionados con el forjado 412
- 19.5 Extrusión 416
- 19.6 Estirado de alambres y barras 427
- 20 TRABAJADO METÁLICO DE LÁMINAS 440**
- 20.1 Operaciones de corte 441
- 20.2 Operaciones de doblado 448
- 20.3 Embutido 452
- 20.4 Otras operaciones de formado de láminas metálicas 459
- 20.5 Troqueles y prensas para procesos con láminas metálicas 462
- 20.6 Operaciones con láminas metálicas no realizadas en prensas 469
- 20.7 Dobrado de material tubular 474
- Parte VI Procesos de remoción de material 481**
- 21 TEORÍA DE MAQUINADO DE METALES 481**
- 21.1 Panorama general de la tecnología del maquinado 483
- 21.2 Teoría de la formación de viruta en el maquinado de metales 486
- 21.3 Relaciones de fuerza y la ecuación de Merchant 490
- 21.4 Relaciones entre potencia y energía en el maquinado 495
- 21.5 Temperatura de corte 498

- 22 OPERACIONES DE MAQUINADO Y MÁQUINAS HERRAMIENTA 505
- 22.1 Torneado y operaciones afines 508
 - 22.2 Taladrado y operaciones afines 518
 - 22.3 Fresado 522
 - 22.4 Centros de maquinado y centros de torneado 529
 - 22.5 Otras operaciones de maquinado 531
 - 22.6 Maquinado de alta velocidad 536
- 23 TECNOLOGÍA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE 542
- 23.1 Vida de las herramientas 543
 - 23.2 Materiales para herramientas 549
 - 23.3 Configuración geométrica de las herramientas 558
 - 23.4 Fluidos para corte 566
- 24 CONSIDERACIONES ECONÓMICAS Y PARA EL DISEÑO DEL PRODUCTO EN MAQUINADO 574
- 24.1 Maquinabilidad 574
 - 24.2 Tolerancias y acabado superficial 577
 - 24.3 Selección de las condiciones de corte 581
 - 24.4 Consideraciones para el diseño del producto en maquinado 587
- 25 ESMERILADO Y OTROS PROCESOS ABRASIVOS 594
- 25.1 Esmerilado 595
 - 25.2 Procesos abrasivos relacionados 612
- 26 PROCESO DE MAQUINADO NO TRADICIONAL Y DE CORTE TÉRMICO 618
- 26.1 Procesos de energía mecánica 619
 - 26.2 Procesos de maquinado electroquímico 623
 - 26.3 Procesos de energía térmica 627
 - 26.4 Maquinado químico 635
 - 26.5 Consideraciones para la aplicación 641
- Parte VII Operaciones para la mejora de propiedades y el procesamiento superficial 647**
- 27 TRATAMIENTO TÉRMICO DE METALES 647
- 27.1 Recocido 648
 - 27.2 Formación de martensita en el acero 648
 - 27.3 Endurecimiento por precipitación 652
 - 27.4 Endurecimiento superficial 654
 - 27.5 Métodos e instalaciones para el tratamiento térmico 655
- 28 LIMPIEZA Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES 660
- 28.1 Limpieza química 660
 - 28.2 Limpieza mecánica y preparación superficial 663
 - 28.3 Difusión e implantación iónica 665
- 29 PROCESOS DE RECUBRIMIENTO Y DEPOSICIÓN 669
- 29.1 Chapeado y procesos relacionados 670
 - 29.2 Recubrimientos por conversión 674
 - 29.3 Deposición física de vapor 675
 - 29.4 Deposición química de vapor 678
 - 29.5 Recubrimientos orgánicos 681
 - 29.6 Esmaltado en porcelana y otros recubrimientos cerámicos 683
 - 29.7 Procesos de recubrimiento térmicos y mecánicos 684
- Parte VIII Procesos de unión y ensamble 689**
- 30 FUNDAMENTOS DE SOLDADURA 689
- 30.1 Perspectiva de la tecnología de la soldadura 691
 - 30.2 Unión soldada 693
 - 30.3 Física de la soldadura 696
 - 30.4 Características de una junta soldada por fusión 699
- 31 PROCESOS DE SOLDADURA 705
- 31.1 Soldadura con arco 706
 - 31.2 Soldadura por resistencia 716
 - 31.3 Soldadura con oxígeno y gas combustible 723
 - 31.4 Otros procesos de soldadura por fusión 726
 - 31.5 Soldadura de estado sólido 729
 - 31.6 Calidad de la soldadura 734
 - 31.7 Soldabilidad 739
- 32 SOLDADURA DURA, SOLDADURA SUAVE Y PEGADO ADHESIVO 745
- 32.1 Soldadura dura 746
 - 32.2 Soldadura suave 751
 - 32.3 Pegado adhesivo 755
- 33 ENSAMBLE MECÁNICO 763
- 33.1 Sujetadores roscados 764
 - 33.2 Remaches y ojillos 770
 - 33.3 Métodos de ensamble basados en ajustes por interferencia 772
 - 33.4 Otros métodos de sujeción mecánica 775
 - 33.5 Insertos en moldeado y sujetadores integrales 776
 - 33.6 Diseño para ensamblajes 778
- Parte IX Procesamiento especial y tecnologías de ensamble 784**
- 34 CREACIÓN RÁPIDA DE PROTOTIPOS 784
- 34.1 Fundamentos de la creación rápida de prototipos 785
 - 34.2 Tecnologías para la creación rápida de prototipos 786
 - 34.3 Aspectos de aplicación en la creación rápida de prototipos 794

35 PROCESAMIENTO DE CIRCUITOS INTEGRADOS 798

- 35.1 Panorama del procesamiento de CI 799
- 35.2 Procesamiento del silicio 803
- 35.3 Litografía 807
- 35.4 Procesos de formación de capas en la fabricación de CI 811
- 35.5 Integración de los pasos de fabricación 818
- 35.6 Encapsulado de CI 820
- 35.7 Rendimientos en el procesamiento de CI 825

36 ENSAMBLE Y ENCAPSULADO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS 830

- 36.1 Encapsulado de dispositivos electrónicos 830
- 36.2 Tableros de circuitos impresos 832
- 36.3 Ensamble de tableros de circuitos impresos 841
- 36.4 Tecnología de montaje superficial 845
- 36.5 Tecnología de conectores eléctricos 850

37 TECNOLOGÍAS DE MICROFABRICACIÓN 855

- 37.1 Productos de microsistemas 855
- 37.2 Procesos de microfabricación 861

38 TECNOLOGÍAS DE NANOFABRICACIÓN 870

- 38.1 Introducción a la nanotecnología 872
- 38.2 Procesos de nanofabricación 877
- 38.3 La national nanotechnology initiative 884

Parte X Sistemas de manufactura 887

39 CONTROL NUMÉRICO Y ROBÓTICA INDUSTRIAL 887

- 39.1 Control numérico 888
- 39.2 Robótica industrial 900

40 TECNOLOGÍA DE GRUPOS Y SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA 910

- 40.1 Tecnología de grupos 910
- 40.2 Sistemas flexibles de manufactura 915

41 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 922

- 41.1 Fundamentos de las líneas de producción 922
- 41.2 Líneas de ensamble manual 926
- 41.3 Líneas de producción automatizadas 930

Parte XI - Sistemas de apoyo a la manufactura 937

42 INGENIERÍA DE MANUFACTURA 937

- 42.1 Planeación de procesos 938
- 42.2 Solución de problemas y mejora continua 946
- 42.3 Ingeniería concurrente y diseño para la manufacturabilidad 946

43 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN 953

- 43.1 Planeación agregada y el programa maestro de producción 955
- 43.2 Control de inventarios 956
- 43.3 Planeación de requerimientos de materiales y de capacidad 960
- 43.4 Producción justo a tiempo y ajustada 964
- 43.5 Control de piso del taller 967

44 CONTROL DE CALIDAD 972

- 44.1 ¿Que es la calidad? 972
- 44.2 Capacidad del proceso 973
- 44.3 Tolerancia estadística 974
- 44.4 Métodos de Taguchi 977
- 44.5 Control estadístico de procesos 980

45 MEDICIÓN E INSPECCIÓN 989

- 45.1 Metrología 990
- 45.2 Principios de inspección 993
- 45.3 Instrumentos de medición y calibradores convencionales 995
- 45.4 Mediciones de superficies 1002
- 45.5 Tecnologías avanzadas de medición e inspección 1004

ÍNDICE 1015