

# 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 (amorfas) 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 Superaleaciones 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

x Contenido

- 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	41	LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	922
35.1	Panorama del procesamiento de CI	799	41.1	Fundamentos de las líneas de producción	922
35.2	Procesamiento del silicio	803	41.2	Líneas de ensamble manual	926
35.3	Litografía	807	41.3	Líneas de producción automatizadas	930
35.4	Procesos de formación de capas en la fabricación de CI	811	<b>Parte XI</b>	<b>Sistemas de apoyo a la manufactura</b>	<b>937</b>
35.5	Integración de los pasos de fabricación	818	42	INGENIERÍA DE MANUFACTURA	937
35.6	Encapsulado de CI	820	42.1	Planeación de procesos	938
35.7	Rendimientos en el procesamiento de CI	825	42.2	Solución de problemas y mejora continua	946
36	ENSAMBLE Y ENCAPSULADO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS	830	42.3	Ingeniería concurrente y diseño para la manufacturabilidad	946
36.1	Encapsulado de dispositivos electrónicos	830	43	PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	953
36.2	Tableros de circuitos impresos	832	43.1	Planeación agregada y el programa maestro de producción	955
36.3	Ensamble de tableros de circuitos impresos	841	43.2	Control de inventarios	956
36.4	Tecnología de montaje superficial	845	43.3	Planeación de requerimientos de materiales y de capacidad	960
36.5	Tecnología de conectores eléctricos	850	43.4	Producción justo a tiempo y ajustada	964
37	TECNOLOGÍAS DE MICROFABRICACIÓN	855	43.5	Control de piso del taller	967
37.1	Productos de microsistemas	855	44	CONTROL DE CALIDAD	972
37.2	Procesos de microfabricación	861	44.1	¿Que es la calidad?	972
38	TECNOLOGÍAS DE NANOFABRICACIÓN	870	44.2	Capacidad del proceso	973
38.1	Introducción a la nanotecnología	872	44.3	Tolerancia estadística	974
38.2	Procesos de nanofabricación	877	44.4	Métodos de Taguchi	977
38.3	La national nanotechnology initiative	884	44.5	Control estadístico de procesos	980
<b>Parte X</b>	<b>Sistemas de manufactura</b>	<b>887</b>	45	MEDICIÓN E INSPECCIÓN	989
39	CONTROL NUMÉRICO Y ROBÓTICA INDUSTRIAL	887	45.1	Metrología	990
39.1	Control numérico	888	45.2	Principios de inspección	993
39.2	Robótica industrial	900	45.3	Instrumentos de medición y calibradores convencionales	995
40	TECNOLOGÍA DE GRUPOS Y SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA	910	45.4	Mediciones de superficies	1002
40.1	Tecnología de grupos	910	45.5	Tecnologías avanzadas de medición e inspección	1004
40.2	Sistemas flexibles de manufactura	915	<b>ÍNDICE</b>	<b>1015</b>	