
CONTENIDO

Prefacio xiii

Acerca del autor xvii

Sistema de unidades y símbolos usados en este texto xviii

1 INTRODUCCIÓN 1

- 1.1 ¿Qué es manufactura? 3
- 1.2 Los materiales en la manufactura 9
- 1.3 Procesos de manufactura 12
- 1.4 Sistemas de producción 20
- 1.5 Imágenes de la manufactura 24

Parte I Propiedades de los materiales, atributos de los productos y aspectos afines

2 NATURALEZA DE LOS MATERIALES 27

- 2.1 La estructura atómica y los elementos 28
- 2.2 Enlaces entre átomos y moléculas 30
- 2.3 Estructuras cristalinas 32
- 2.4 Estructuras no cristalinas (amorfas) 38
- 2.5 Materiales de ingeniería 40

3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES 43

- 3.1 Relaciones esfuerzo-deformación 44
- 3.2 Dureza 57
- 3.3 Efecto de la temperatura en las propiedades 61
- 3.4 Propiedades de los fluidos 62
- 3.5 Comportamiento viscoelástico de los polímeros 65

4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES 73

- 4.1 Propiedades volumétricas y de fusión 74
- 4.2 Propiedades térmicas 77

- 4.3 Difusión de masa 79
- 4.4 Propiedades eléctricas 80
- 4.5 Procesos electroquímicos 83

5 DIMENSIONES, TOLERANCIAS Y SUPERFICIES 86

- 5.1 Dimensiones, tolerancias y atributos afines 87
- 5.2 Superficies 88
- 5.3 Efecto de los procesos de manufactura 94

6 FRICCIÓN, DESGASTE Y LUBRICACIÓN 99

- 6.1 Fricción 99
- 6.2 Desgaste 102
- 6.3 Lubricación 104

Parte II Materiales de ingeniería

7 METALES 109

- 7.1 Aleaciones y diagramas de fase 110
- 7.2 Metales ferrosos 114
- 7.3 Metales no ferrosos 131
- 7.4 Superaleaciones 143
- 7.5 Guía para el procesamiento de metales 145

8 TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS METALES 149

- 8.1 Recocido 150
- 8.2 Formación de martensita en el acero 150
- 8.3 Endurecimiento por precipitación 154
- 8.4 Endurecimiento superficial 156
- 8.5 Métodos e instalaciones para tratamiento térmico 157

9 MATERIALES CERÁMICO 162

- 9.1 Estructura y propiedades de los materiales cerámicos 164
- 9.2 Cerámicos tradicionales 166
- 9.3 Nuevos materiales cerámicos 169
- 9.4 Vidrio 172
- 9.5 Algunos elementos importantes relacionados con los materiales cerámicos 177
- 9.6 Guía para el procesamiento de los materiales cerámicos 180

10 POLÍMEROS 183

- 10.1 Fundamentos de la ciencia y tecnología de los polímeros 186
- 10.2 Polímeros termoplásticos 196
- 10.3 Polímeros termofijos 204

- 10.4 Elastómeros 208
- 10.5 Guía para el procesamiento de los polímeros 217

11 MATERIALES COMPUESTOS 220

- 11.1 Tecnología y clasificación de los materiales compuestos 221
- 11.2 Compuestos en matriz metálica 230
- 11.3 Compuestos en matriz cerámica 233
- 11.4 Compuestos en matriz polimérica 234
- 11.5 Guía para el procesamiento de los materiales compuestos 237

Parte III Fundición, moldeo y procesos afines

12 FUNDAMENTOS DE LA FUNDICIÓN DE METALES 240

- 12.1 Resumen de la tecnología de fundición 242
- 12.2 Calentamiento y vaciado 244
- 12.3 Solidificación y enfriamiento 248

13 PROCESOS DE FUNDICIÓN DE METALES 260

- 13.1 Fundición en arena 261
- 13.2 Procesos alternativos de fundición en moldes desechables 266
- 13.3 Procesos de fundición en molde permanente 272
- 13.4 Práctica de la fundición 281
- 13.5 Calidad de la fundición 285
- 13.6 Metales para fundición 287
- 13.7 Consideraciones para el diseño de productos 289

14 TRABAJO EN VIDRIO 295

- 14.1 Preparación y fusión de materias primas 296
- 14.2 Procesos para dar forma en el trabajo del vidrio 296
- 14.3 Tratamiento térmico y acabado 303
- 14.4 Consideraciones para el diseño de productos 305

15 PROCESOS DE CONFORMADO PARA PLÁSTICOS 308

- 15.1 Propiedades de los polímeros fundidos 310
- 15.2 Extrusión 313
- 15.3 Producción de láminas y películas 323
- 15.4 Producción de filamentos y fibras (hilandería) 326
- 15.5 Procesos de recubrimiento 327
- 15.6 Moldeo por inyección 328
- 15.7 Moldeo por compresión y transferencia 339
- 15.8 Moldeo por soplado y moldeo rotacional 341
- 15.9 Termoformado 346

- 15.10 Fundición (colado) de plástico 350
- 15.11 Procesamiento y formado de espumas de polímeros 351
- 15.12 Consideraciones para el diseño de productos 353

16 TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE HULE 360

- 16.1 Procesamiento y formado del hule 361
- 16.2 Manufactura de llantas y otros productos de hule 366
- 16.3 Consideraciones para el Diseño de productos 371

17 PROCESOS DE FORMADO PARA MATERIALES COMPUESTOS EN MATRIZ POLIMÉRICA 373

- 17.1 Materias primas para materiales compuestos en matriz polimérica PMC 374
- 17.2 Procesos en molde abierto 378
- 17.3 Procesos en molde cerrado 383
- 17.4 Embobinado de filamentos 386
- 17.5 Procesos de pultrusión 388
- 17.6 Otros procesos de formado para PMC 390

Parte IV **Procesamiento de partículas para metales y cerámicos**

18 METALURGIA DE POLVOS 393

- 18.1 Caracterización de los polvos en ingeniería 396
- 18.2 Producción de polvos metálicos 399
- 18.3 Prensado convencional y sinterizado 402
- 18.4 Alternativas de prensado y técnicas de sinterizado 408
- 18.5 Materiales y productos para metalurgia de polvos 411
- 18.6 Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos 412

19 PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS CERÁMICOS Y CERMETS 419

- 19.1 Procesamiento de productos cerámicos tradicionales 420
- 19.2 Procesamiento de nuevos cerámicos 427
- 19.3 Procesamiento de Cermets 430
- 19.4 Consideraciones para el diseño de productos 432

Parte V **Formado de metal y trabajo de metales**

20 FUNDAMENTOS DEL FORMADO DE METALES 435

- 20.1 Panorama del formado de metales 436
- 20.2 Comportamiento del material en el formado de metales 438
- 20.3 Efecto de la temperatura en el formado de metales 439
- 20.4 Efecto sobre la velocidad de deformación 441
- 20.5 Fricción y lubricación 444

21 DEFORMACIÓN VOLUMÉTRICA (MASIVA) EN EL TRABAJO DE METALES 447

- 21.1 Laminado 448
- 21.2 Forjado 458
- 21.3 Extrusión 475
- 21.4 Estirado de alambres y barras 487

22 TRABAJADO METÁLICO DE LÁMINA 500

- 22.1 Operaciones de corte 501
- 22.2 Operaciones de doblado 508
- 22.3 Embutido 513
- 22.4 Otras operaciones de formado de láminas metálicas 520
- 22.5 Dados y prensas para procesos con láminas metálicas 523
- 22.6 Operaciones de láminas metálicas no realizadas en prensas 530
- 22.7 Doblado de material tubular 536

Parte VI Procesos de remoción de material

23 TEORÍA DEL MAQUINADO DE METALES 543

- 23.1 Panorama general de la tecnología del maquinado 544
- 23.2 Teoría de la formación de viruta en el maquinado de metales 548
- 23.3 Relaciones de fuerza y la ecuación de Merchant 552
- 23.4 Relaciones entre potencia y energía en el maquinado 558
- 23.5 Temperatura de corte 562

24 TECNOLOGÍA DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE 568

- 24.1 Vida de las herramientas 569
- 24.2 Materiales para herramientas 575
- 24.3 Geometría de las herramientas 584
- 24.4 Fluidos para corte 588

25 OPERACIONES DE MAQUINADO Y MÁQUINAS HERRAMIENTA 595

- 25.1 Torneado y operaciones afines 596
- 25.2 Taladrado y operaciones afines 605
- 25.3 Fresado 611
- 25.4 Centros de maquinado y centros de torneado 619
- 25.5 Otras operaciones de maquinado 622
- 25.6 Forma, tolerancia y acabado superficial 629
- 25.7 Maquinabilidad 637
- 25.8 Selección de las condiciones de corte 639
- 25.9 Consideraciones para el diseño del producto en maquinado 645

26 ESMERILADO Y OTROS PROCESOS ABRASIVOS 655

- 26.1 Esmerilado 657
- 26.2 Procesos abrasivos relacionados 674

27 MAQUINADO NO TRADICIONAL Y PROCESOS DE CORTE TÉRMICO 681

- 27.1 Procesos de energía mecánica 682
- 27.2 Procesos electroquímicos de maquinado 686
- 27.3 Procesos de energía térmica 690
- 27.4 Maquinado químico 700
- 27.5 Consideraciones para la aplicación 706

Parte VII Procesos de unión y ensamble

28 FUNDAMENTOS DE SOLDADURA 712

- 28.1 Panorama de la tecnología de la soldadura 713
- 28.2 La unión por soldadura 717
- 28.3 La física de la soldadura 720
- 28.4 Características de una junta soldada por fusión 724

29 PROCESOS DE SOLDADURA 728

- 29.1 Soldadura con arco eléctrico 729
- 29.2 Soldadura por resistencia 739
- 29.3 Soldadura con oxígeno y gas combustible 747
- 29.4 Otros procesos de soldadura por fusión 750
- 29.5 Soldadura en estado sólido 753
- 29.6 Calidad de la soldadura 758
- 29.7 Soldabilidad 763
- 29.8 Consideraciones de diseño en soldadura 764

30 SOLDADURA FUERTE, BLANDA Y PEGADO CON UNIONES ADHESIVAS 770

- 30.1 Soldadura fuerte (soldadura con latón) 771
- 30.2 Soldadura blanda (soldadura con estaño) 777
- 30.3 Uniones adhesivas 781

31 ENSAMBLE MECÁNICO 789

- 31.1 Sujetadores roscados 790
- 31.2 Remaches y ojetes (u ojillos) 796
- 31.3 Otros métodos de ajuste mecánico 798
- 31.4 Otros métodos de ajuste mecánico 801
- 31.5 Insertos de moldeo y sujetadores integrales 802
- 31.6 Diseño para ensamble 803

Parte VIII Operaciones para el procesamiento de superficies**32 LIMPIEZA Y TRATAMIENTOS DE SUPERFICIES 811**

- 32.1 Limpieza química 812
- 32.2 Limpieza mecánica y preparación de superficies 815
- 32.3 Difusión e implantación de iones 817

33 PROCESOS DE RECUBRIMIENTO Y DEPOSICIÓN 821

- 33.1 Chapeado y procesos afines 822
- 33.2 Recubrimientos por conversión 826
- 33.3 Deposición física de vapor 828
- 33.4 Deposición química de vapor 831
- 33.5 Recubrimientos orgánicos 834
- 33.6 Esmaltado en porcelana y otros recubrimientos cerámicos 838
- 33.7 Procesos de recubrimiento térmicos y mecánicos 839

Parte IX Tecnologías de manufactura en electrónica**34 PROCESAMIENTO DE CIRCUITOS INTEGRADOS 844**

- 34.1 Panorama del procesamiento de circuitos integrados 846
- 34.2 Procesamiento del silicio 850
- 34.3 Litografía 854
- 34.4 Procesos de formación de capas utilizados en la fabricación de circuitos integrados 858
- 34.5 Integración de los pasos de fabricación 865
- 34.6 Encapsulado de circuitos integrados 867
- 34.7 Rendimiento en el procesamiento de circuitos integrados 872

35 ENSAMBLE Y ENCAPSULADO DE DISPOSITIVOS ELECTRÓNICO 878

- 35.1 Encapsulado de dispositivos electrónicos 879
- 35.2 Tableros de circuitos impresos 881
- 35.3 Ensamble de tableros de circuitos impresos 890
- 35.4 Tecnología de montaje superficial 894
- 35.5 Tecnología de conectores eléctricos 899

Parte X La automatización y los sistemas de producción**36 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN 907**

- 36.1 Fundamentos de las líneas de producción 908
- 36.2 Líneas de ensamble manual 911
- 36.3 Líneas de producción automatizadas 915

37 AUTOMATIZACIÓN PROGRAMABLE 924

- 37.1 Control numérico 925

- 37.2 Robótica industrial 938
- 37.3 Controladores lógicos programables 944

38 TECNOLOGÍA DE GRUPOS Y SISTEMAS FLEXIBLES DE MANUFACTURA 951

- 38.1 Tecnología de grupos 951
- 38.2 Sistemas flexibles de manufactura 957

Parte XI Funciones de apoyo en la manufactura

39 INGENIERÍA DE MANUFACTURA 966

- 39.1 Planeación de procesos 967
- 39.2 Solución de problemas y mejoramiento continuo 975
- 39.3 Diseño para capacidad de manufactura 976
- 39.4 Elaboración rápida de prototipos 981

40 PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN 985

- 40.1 Planeación de agregados y el programa maestro de producción 987
- 40.2 Control de inventarios 988
- 40.3 Planeación de requerimientos de materiales y de la capacidad 992
- 40.4 Producción justo a tiempo 997
- 40.5 Control de piso de taller 999

41 MEDICIÓN E INSPECCIÓN 1006

- 41.1 Metrología 1007
- 41.2 Principios de inspección 1010
- 41.3 Instrumentos de medición y calibradores convencionales 1013
- 41.4 Mediciones de superficies 1020
- 41.5 Tecnologías avanzadas de medición e inspección 1024

42 CONTROL DE CALIDAD 1033

- 42.1 ¿Qué es calidad? 1034
- 42.2 Capacidad de procesos 1035
- 42.3 Tolerancias estadísticas 1036
- 42.4 Métodos de Taguchi 1039
- 42.5 Control estadístico de procesos 1043

INDICE 1053