

Contenido

Prefacio xix

Acerca de los autores, xxii

Introducción General

I.1	¿Qué es manufactura?	1
I.2	Ejemplos de productos manufacturados	6
I.3	El proceso de diseño y la ingeniería concurrente	9
I.4	Diseño para la manufactura, ensamble, desensamble y servicio	13
I.5	Selección de materiales	14
I.6	Selección de los procesos de manufactura	18
I.7	Manufactura integrada por computadora	24
I.8	Aseguramiento de la calidad y administración total de la calidad	27
I.9	Competitividad global y costos de manufactura	28
I.10	Producción sobria y manufactura ágil	29
I.11	Diseño y manufactura ambiental con conciencia social	30
I.12	Responsabilidad de los productos	31
I.13	Organización para la manufactura	32

Parte I: Fundamentos de los materiales: su comportamiento y propiedades de manufactura 37

1	La estructura de los metales	39
1.1	Introducción	39
1.2	La estructura cristalina de los metales	40
1.3	Deformación y resistencia de monocristales	41
1.4	Granos y fronteras de grano	45
1.5	Deformación plástica de los metales policristalinos	47
1.6	Recuperación, recristalización y crecimiento de granos	49
1.7	Trabajo en frío, trabajo en tibio y trabajo en caliente	50
2	Comportamiento mecánico, prueba y propiedades de manufactura de los materiales	55
2.1	Introducción	55
2.2	Tensión	56
2.3	Compresión	66
2.4	Torsión	67
2.5	Doblado (flexión)	68
2.6	Dureza	68
2.7	Fatiga	73
2.8	Cedencia	73

viii Contenido

2.9	Impacto	75	
2.10	Falla y fractura de los materiales en la manufactura y en el servicio		75
2.11	Esfuerzos residuales	82	
2.12	Trabajo, calor y temperatura	84	
3	Propiedades físicas de los materiales		90
3.1	Introducción	90	
3.2	Densidad	91	
3.3	Punto de fusión	94	
3.4	Calor específico	94	
3.5	Conductividad térmica	94	
3.6	Dilatación térmica	95	
3.7	Propiedades eléctricas, magnéticas y ópticas		95
3.8	Resistencia a la corrosión	97	
4	Aleaciones de metales: su estructura y endurecimiento mediante el tratamiento térmico		102
4.1	Introducción	102	
4.2	Estructura de las aleaciones	103	
4.3	Diagramas de fase	106	
4.4	El sistema hierro-carbono	109	
4.5	El diagrama de fases hierro-carburo de hierro y el desarrollo de microestructuras en los aceros		111
4.6	Hierros fundidos	113	
4.7	Tratamiento térmico de las aleaciones ferrosas	115	
4.8	Templabilidad de aleaciones ferrosas	120	
4.9	Tratamiento térmico de aleaciones no ferrosas y de aceros inoxidables		122
4.10	Endurecimiento superficial	124	
4.11	Recocido	126	
4.12	Hornos y equipo de tratamiento térmico	130	
4.13	Consideraciones de diseño para el tratamiento térmico	132	
5	Metales y aleaciones ferrosas: producción, propiedades generales y aplicaciones		137
5.1	Introducción	137	
5.2	Producción de hierro y acero	138	
5.3	Vaciado de lingotes	141	
5.4	Colada continua	142	
5.5	Aceros al carbono y de aleados	144	
5.6	Aceros inoxidables	148	
5.7	Aceros para herramienta y dados	150	
6	Metales y aleaciones no ferrosas: producción, propiedades generales y aplicaciones		156
6.1	Introducción	156	
6.2	Aluminio y aleaciones de aluminio	157	

6.3	Magnesio y aleaciones de magnesio	161
6.4	Cobre y aleaciones de cobre	163
6.5	Níquel y aleaciones de níquel	164
6.6	Superalaciones	165
6.7	Titanio y aleaciones de titanio	166
6.8	Metales refractarios y sus aleaciones	168
6.9	Berilio	169
6.10	Zirconio	170
6.11	Aleaciones de bajo punto de fusión	170
6.12	Metales preciosos	171
6.13	Aleaciones con memoria de forma	172
6.14	Aleaciones amorfas (vidrios metálicos)	172
6.15	Nanomateriales	172
7	Polímeros: estructura, propiedades generales y aplicaciones	177
7.1	Introducción	177
7.2	La estructura de los polímeros	179
7.3	Termoplásticos	186
7.4	Plásticos termoestables	190
7.5	Aditivos en los plásticos	190
7.6	Propiedades generales y aplicaciones de los termoplásticos	191
7.7	Propiedades generales y aplicaciones de los plásticos termoestables	194
7.8	Plásticos biodegradables	195
7.9	Elastómeros (hules)	197
8	Cerámicos, grafito y diamante: estructura, propiedades generales y aplicaciones	203
8.1	Introducción	203
8.2	La estructura de los cerámicos	204
8.3	Propiedades generales y aplicaciones de los cerámicos	208
8.4	Vidrios	212
8.5	Vitrocerámicos	214
8.6	Grafito	214
8.7	Diamante	216
9	Materiales compuestos: estructura, propiedades generales y aplicaciones	221
9.1	Introducción	221
9.2	La estructura de los plásticos reforzados	222
9.3	Propiedades de los plásticos reforzados	227
9.4	Aplicaciones de los plásticos reforzados	230
9.5	Compositos de matriz metálica (MMC)	232
9.6	Compositos de matriz de cerámica (CMC)	233
9.7	Otros compositos	233

Parte II: Procesos y equipo para la fundición de metales 239

10 Fundamentos de la fundición de metales 241

- 10.1 Introducción 241
- 10.2 Solidificación de los metales 242
- 10.3 Flujo del fluido 246
- 10.4 Fluidez del metal fundido 249
- 10.5 Transferencia de calor 250
- 10.6 Defectos 253

11 Procesos de fundición de metales 261

- 11.1 Introducción 261
- 11.2 Fundición en arena 264
- 11.3 Moldeo en cáscara o en concha 272
- 11.4 Fundición en modelo consumible (poliestireno expandido) 274
- 11.5 Fundición en molde de yeso 276
- 11.6 Fundición en molde cerámico 276
- 11.7 Fundición por revestimiento 278
- 11.8 Fundición al vacío 281
- 11.9 Fundición en molde permanente 281
- 11.10 Fundición en cáscara o hueco 282
- 11.11 Fundición a presión 282
- 11.12 Fundición por inyección en matriz o dados 283
- 11.13 Fundición centrífuga 286
- 11.14 Fundición por dado impresor y formado de metal semisólido 288
- 11.15 Técnicas de colado para componentes monocristalinos 290
- 11.16 Solidificación rápida (aleaciones amorfas) 291
- 11.17 Inspección de las fundiciones 292
- 11.18 Prácticas y hornos de fusión 292
- 11.19 Fundidoras y automatización de las fundidoras 294

12 Fundición de metales: diseño, materiales y consideraciones económicas 301

- 12.1 Introducción 301
- 12.2 Consideraciones de diseño 301
- 12.3 Aleaciones para las fundiciones 306
- 12.4 Consideraciones económicas de la fundición 310

Parte III: Procesos y equipo para el formado y modelado 317

13 Rolado o laminado de metales 320

- 13.1 Introducción 320
- 13.2 Laminado plano 321
- 13.3 Práctica del laminado plano 326
- 13.4 Molinos para laminación 328

13.5	Operaciones de laminado de forma	331	
13.6	Producción de tubos y tuberías sin costura	334	
13.7	Colada y laminado continuos; laminadoras integradas y minilaminadoras		335
14	Forjado de los metales	340	
14.1	Introducción	340	
14.2	Forjado con dado abierto	342	
14.3	Dado impresor y forjado con dado cerrado	344	
14.4	Operaciones relacionadas con el forjado	348	
14.5	Forjado rotatorio	351	
14.6	Diseño del dado de forjado	353	
14.7	Materiales y lubricación de los dados	355	
14.8	Forjabilidad	355	
14.9	Máquinas de forjado	357	
14.10	Práctica del forjado y posibilidades del proceso		360
14.11	Métodos de fabricación de dados	361	
14.12	Fallas en los dados	362	
14.13	La economía del forjado	363	
15	Extrusión y estirado de metales	369	
15.1	Introducción	369	
15.2	El proceso de extrusión	371	
15.3	Práctica de la extrusión	373	
15.4	Extrusión en caliente	374	
15.5	Extrusión en frío	377	
15.6	Extrusión por impacto	379	
15.7	Extrusión hidrostática	380	
15.8	Defectos de las extrusiones	380	
15.9	Equipo para extrusión	381	
15.10	El proceso de estirado	382	
15.11	Práctica del estirado	383	
15.12	Defectos y esfuerzos residuales	386	
15.13	Equipo de estirado	386	
16	Procesos de formado de hojas o láminas metálicas	392	
16.1	Introducción	392	
16.2	Cizallamiento	394	
16.3	Características del metal laminado	402	
16.4	Métodos de prueba para el formado de hojas o láminas metálicas		404
16.5	Doblado de láminas y placas	407	
16.6	Operaciones comunes de doblado	411	
16.7	Doblado y conformación de tubos	414	
16.8	Formado por extensión	416	
16.9	Embutido profundo	417	
16.10	Formado con hule	423	
16.11	Rechazado	424	
16.12	Formado superplástico	427	

16.13	Explosión, impulso magnético, repujado y otros procesos de formado	428
16.14	Fabricación de estructuras de panal	431
16.15	Resistencia de piezas de metal laminado al abollamiento	432
16.16	Equipo para el conformado de hojas o láminas metálicas	432
16.17	Economía de los procesos de formado de metal laminado	434
17	Procesamiento de metales en polvo, cerámicos, vidrio y superconductores	440
17.1	Introducción	440
17.2	Producción de metales en polvo	442
17.3	Compactación de polvos metálicos	446
17.4	Sinterizado	453
17.5	Operaciones secundarias y de acabado	456
17.6	Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos	458
17.7	Posibilidades del proceso	459
17.8	Economía de la metalurgia de polvos	460
17.9	Moldeado de cerámicos	460
17.10	Moldeado y formado del vidrio	466
17.11	Técnicas para reforzar y tratar el vidrio	470
17.12	Consideraciones de diseño para cerámicos y vidrios	471
17.13	Procesamiento de superconductores	472
18	Moldeo y conformación de plásticos y materiales compuestos	480
18.1	Introducción	480
18.2	Extrusión	481
18.3	Moldeo por inyección	485
18.4	Moldeo por soplado	489
18.5	Moldeo rotativo	489
18.6	Termoformado	491
18.7	Moldeo por compresión	492
18.8	Moldeo por transferencia	493
18.9	Colado	494
18.10	Formado en frío y en fase sólida	495
18.11	Procesamiento de elastómeros	495
18.12	Procesamiento de plásticos reforzados	496
18.13	Procesamiento de materiales compósitos con matriz de metal	503
18.14	Procesamiento de materiales compuestos con matriz de cerámico	504
18.15	Consideraciones de diseño y economía para el moldeo y conformación de plásticos	504
19	Operaciones rápidas de construcción de prototipos	512
19.1	Introducción	512
19.2	Procesos sustractivos	514
19.3	Procesos aditivos	514
19.4	Construcción virtual del prototipo	523
19.5	Aplicaciones de la tecnología de prototipo rápido a la fabricación de partes reales	523

Parte IV: Procesos y máquinas para remoción de material 531

20	Fundamentos del corte	534	
20.1	Introducción	534	
20.2	La mecánica de la formación de virutas	537	
20.3	Tipos de viruta producida en el corte de metales	539	
20.4	La mecánica del corte oblicuo	544	
20.5	Fuerzas y potencia de corte	545	
20.6	Temperatura en el corte	549	
20.7	Vida de las herramientas: desgaste y falla	551	
20.8	Acabado e integridad de la superficie	558	
20.9	Maquinabilidad	560	
21	Materiales de herramientas y fluidos de corte	569	
21.1	Introducción	569	
21.2	Aceros al carbono y de media aleación	573	
21.3	Aceros rápidos o de alta velocidad	573	
21.4	Aleaciones de cobalto fundidas	574	
21.5	Carburos	574	
21.6	Herramientas recubiertas	578	
21.7	Cerámicas a base de alúmina	582	
21.8	Nitruro de boro cúbico	583	
21.9	Cerámicas a base de nitruro de silicio	584	
21.10	Diamante	584	
21.11	Materiales de herramienta reforzados con triquitas y nanocristalinos	585	
21.12	Reacondicionamiento de herramientas de corte	585	
21.13	Fluidos de corte	585	
22	Procesos de maquinado para producir formas redondas	594	
22.1	Introducción	594	
22.2	Parámetros del cilindrado	596	
22.3	Tornos y operaciones en el torno	605	
22.4	Maquinado de alta velocidad, ultrapreciso y torneado duro	619	
22.5	Maquinado de roscas	622	
22.6	Mandrinado y mandrinadora	626	
22.7	Taladrado y brocas	627	
22.8	Taladros	635	
22.9	Escariado y escariadores	637	
22.10	Machuelado y machuelos	638	
22.11	Consideraciones de diseño para taladrado, escariado y machuelado	639	
23	Procesos de maquinado para producir formas diversas	646	
23.1	Introducción	646	
23.2	Operaciones de fresado	647	
23.3	Máquinas fresadoras	661	

xiv Contenido

23.4	Cepillado y contorneado	663	
23.5	Brochado y brochadoras	664	
23.6	Aserrado	668	
23.7	Limado y acabado	670	
23.8	Fabricación de engranes por maquinado	671	
24	Centros de maquinado y de torneado, estructuras de máquinas herramientas y economía del maquinado		682
24.1	Introducción	682	
24.2	Centros de maquinado y de torneado	682	
24.3	Estructuras de máquinas herramientas	690	
24.4	Vibración y traqueteo en las operaciones de maquinado	694	
24.5	Economía del maquinado	698	
25	Operaciones de maquinado y acabado con abrasivos		704
25.1	Introducción	704	
25.2	Abrasivos	706	
25.3	Abrasivos aglomerados (piedras abrasivas)	708	
25.4	El proceso de rectificado	712	
25.5	Desgaste de las piedras abrasivas	716	
25.6	Métodos y máquinas de rectificado	721	
25.7	Fluidos de rectificado	729	
25.8	Consideraciones de diseño para el rectificado	729	
25.9	Maquinado ultrasónico	730	
25.10	Operaciones de acabado	731	
25.11	Desbarbado	735	
25.12	Economía de las operaciones de rectificado y acabado	738	
26	Procesos avanzados de maquinado y nanofabricación		744
26.1	Introducción	744	
26.2	Maquinado químico	745	
26.3	Maquinado electroquímico	750	
26.4	Rectificado electroquímico	753	
26.5	Maquinado con descarga eléctrica (electroerosionadora de penetración)	754	
26.6	Maquinado con descarga eléctrica y alambre (electroerosionadora de hilo)	757	
26.7	Maquinado con rayo láser	758	
26.8	Maquinado con haz de electrones y corte con arco de plasma	761	
26.9	Maquinado con chorro de agua	761	
26.10	Maquinado con chorro abrasivo	763	
26.11	Nanofabricación	764	
26.12	Micromaquinado	765	
26.13	Economía de los procesos avanzados de maquinado	766	

Parte V: Procesos y equipos para unir 771

- 27 Procesos de soldadura por fusión 775
 - 27.1 Introducción 775
 - 27.2 Soldadura con oxígeno y combustible gaseosos 775
 - 27.3 Procesos de soldadura con arco: electrodo consumible 779
 - 27.4 Electroodos 786
 - 27.5 Procesos de soldadura con arco: electrodo no consumible 787
 - 27.6 Soldadura con termita 790
 - 27.7 Soldadura con haz de electrones 790
 - 27.8 Soldadura con rayo láser 791
 - 27.9 Corte 792
 - 27.10 Seguridad en la soldadura 794

- 28 Procesos de soldadura en estado sólido 799
 - 28.1 Introducción 799
 - 28.2 Soldadura en frío 799
 - 28.3 Soldadura ultrasónica 800
 - 28.4 Soldadura por fricción 801
 - 28.5 Soldadura por resistencia 803
 - 28.6 Soldadura por explosión 812
 - 28.7 Liga (soldadura) por difusión 812
 - 28.8 Liga por difusión y formado superplástico 814

- 29 La metalurgia de la soldadura; diseño de la soldadura y selección del proceso 819
 - 29.1 Introducción 819
 - 29.2 La unión soldada 820
 - 29.3 Calidad de la soldadura 823
 - 29.4 Soldabilidad 828
 - 29.5 Prueba de las uniones soldadas 830
 - 29.6 Diseño de la soldadura y selección del proceso 833

- 30 Soldadura fuerte, soldadura blanda, adhesión y procesos de sujeción mecánica 839
 - 30.1 Introducción 839
 - 30.2 Soldadura fuerte 840
 - 30.3 Soldadura blanda 844
 - 30.4 Unión adhesiva 850
 - 30.5 Sujeción mecánica 856
 - 30.6 Unión de plásticos 860

Parte VI: Tecnología de superficies 867

31	Superficies, su naturaleza, rugosidad y medición	869
31.1	Introducción	869
31.2	Estructura y propiedades de las superficies	869
31.3	Integridad superficial	871
31.4	Textura superficial	872
31.5	Rugosidad superficial	873
32	Tribología: fricción, desgaste y lubricación	882
32.1	Introducción	882
32.2	Fricción en los metales	883
32.3	Fricción en plásticos y cerámicos	884
32.4	Reducción de la fricción	884
32.5	Medición de la fricción	885
32.6	Desgaste	887
32.7	Desgaste de plásticos y cerámicos	890
32.8	Medición del desgaste	891
32.9	Lubricación	891
32.10	Fluidos para conformado de metales	893
32.11	Lubricantes sólidos	895
32.12	Recubrimientos de conversión	896
32.13	Selección del fluido para conformado de metales	896
33	Tratamientos, recubrimientos y limpieza de superficies	902
33.1	Introducción	902
33.2	Tratamiento mecánico de superficies y revestimientos	903
33.3	Endurecimiento superficial y revestimiento duro	906
33.4	Rociado térmico	906
33.5	Deposición de vapor	908
33.6	Implantación iónica	911
33.7	Revestimiento por difusión	911
33.8	Electrodeposición, deposición sin electricidad y electroformado	911
33.9	Anodizado	913
33.10	Recubrimiento de conversión	914
33.11	Inmersión en caliente	914
33.12	Esmaltado de porcelana, recubrimiento cerámico y recubrimientos orgánicos	915
33.13	Recubrimiento de diamante	916
33.14	Pintura	917
33.15	Texturizado superficial	918
33.16	Limpieza de superficies	919
34	Fabricación de dispositivos microelectrónicos	924
34.1	Introducción	924
34.2	Semiconductores y silicio	925
34.3	Crecimiento de cristal y preparación de oblea (wafer)	928
34.4	Deposición de película	928

34.5	Oxidación	930
34.6	Litografía	931
34.7	Grabado (ataque)	932
34.8	Difusión e implantación de iones	933
34.9	Metalización y prueba	934
34.10	Fijación y empaque	936
34.11	Rendimiento y confiabilidad	938
34.12	Tarjetas de circuito impreso	939

Parte VII: Aspectos comunes en la manufactura 943

35	Metrología e instrumentación industrial	945
35.1	Introducción	945
35.2	Patrones de medición	946
35.3	Instrumentos con graduación	948
35.4	Instrumentos de medición longitudinal comparativa	951
35.5	Propiedades geométricas: medición de rectitud, planicidad, redondez y perfil	953
35.6	Máquinas de medición por coordenadas y máquinas de trazado	956
35.7	Galgas	958
35.8	Instrumentos ópticos	960
35.9	Medición automatizada	960
35.10	Características generales y selección de los instrumentos de medición	961
35.11	Dimensionamiento geométrico y establecimiento de tolerancias	961
36	Aseguramiento, prueba e inspección de la calidad	971
36.1	Introducción	971
36.2	Calidad del producto	972
36.3	Aseguramiento de la calidad	973
36.4	Administración de la calidad total	974
36.5	Métodos de Taguchi	976
36.6	Las normas ISO y QS	980
36.7	Métodos estadísticos de control de calidad	982
36.8	Control estadístico del proceso	985
36.9	Confiabilidad	992
36.10	Pruebas no destructivas	992
36.11	Pruebas destructivas	997
36.12	Inspección automatizada	998
37	Ingeniería de factores humanos, seguridad y responsabilidad por el producto	1004
37.1	Introducción	1004
37.2	Ingeniería de factores humanos	1005
37.3	Seguridad	1006
37.4	Consideraciones ambientales	1009
37.5	Responsabilidad por el producto	1011
37.6	Ejemplos de demandas de responsabilidad por el producto	1014

	Parte VIII: Manufactura en ambiente competitivo	1019
38	Automatización de los procesos de manufactura	1021
38.1	Introducción	1021
38.2	Automatización	1023
38.3	Control numérico (CN)	1029
38.4	Programación del control numérico	1036
38.5	Control adaptable (CA)	1038
38.6	Manejo y movimiento de materiales	1041
38.7	Robots industriales	1043
38.8	Tecnología de sensores	1051
38.9	Soportes flexibles	1054
38.10	Diseño para ensamblar, desarmar y dar servicio	1056
39	Sistemas de manufactura integrados por computadora	1067
39.1	Introducción	1067
39.2	Sistemas de manufactura	1068
39.3	Manufactura integrada por computadora (CIM, computer integrated manufacturing)	1069
39.4	Diseño e ingeniería asistidos por computadora (CAD y CAE, en inglés)	1071
39.5	Manufactura asistida por computadora (CAM)	1075
39.6	Planeación de proceso asistido por computadora (CAPP, computer aided process planning)	1076
39.7	Simulación de los procesos y sistemas de manufactura por computadora	1079
39.8	Tecnología de grupos (TG)	1079
39.9	Manufactura celular	1086
39.10	Sistemas flexibles de manufactura (SFM)	1088
39.11	Producción justo a tiempo (JIT)	1091
39.12	Redes de comunicaciones en la manufactura	1093
39.13	Inteligencia artificial (IA)	1095
39.14	La fábrica del futuro	1099
40	Aspectos competitivos de la manufactura	1106
40.1	Introducción	1106
40.2	Selección de materiales	1107
40.3	Diseño del producto y cantidad de materiales	1110
40.4	Sustitución de materiales	1110
40.5	Selección de los procesos de manufactura	1113
40.6	Posibilidades del proceso	1115
40.7	Costos de manufactura	1119
40.8	Costos de manufactura y volumen de producción	1122
40.9	Ingeniería de valores (del valor intrínseco)	1123
	Índice	1137