

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN INGENIERÍA

VOLUMEN 1

**METALES Y ALEACIONES, POLÍMEROS,
MATERIALES COMPUESTOS, CERÁMICAS
Y TÉCNICAS DE CONFORMADO**



Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de la propiedad intelectual. La infracción de los

derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (arts. 270 y sigs. Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (www.cedro.org) vela por el respeto de los citados derechos.

TECNOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN INGENIERÍA

VOLUMEN 1

**METALES Y ALEACIONES, POLÍMEROS,
MATERIALES COMPUESTOS, CERÁMICAS
Y TÉCNICAS DE CONFORMADO**

José Antonio Puértolas Ráfales (catedrático)

Ricardo Ríos Jordana (profesor titular)

Miguel Castro Corella (profesor titular)

(Profesores del área de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.
Escuela de Ingeniería y Arquitectura-EINA. Universidad de Zaragoza)



EDITORIAL
SÍNTESIS

Consulte nuestra página web: **www.sintesis.com**
En ella encontrará el catálogo completo y comentado

Imagen de cubierta:
Máquina híbrida ATL/AFP de encintado de las alas del A350XWB en la planta de Airbus Stade
(Alemania), diseñada por M. Torres Diseños Industriales S. A. U., Torres de Elorz (Navarra)

© José Antonio Puértolas Ráfales
Ricardo Ríos Jordana
Miguel Castro Corella

© EDITORIAL SÍNTESIS, S. A.
Vallehermoso, 34. 28015 Madrid
Teléfono 91 593 20 98
www.sintesis.com

ISBN: 978-84-9077-387-1
ISBN obra completa: 978-84-9077-405-2
Depósito Legal: M-33.079-2016

Impreso en España - Printed in Spain

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquier otro, sin la autorización previa por escrito de Editorial Síntesis, S. A.

ÍNDICE

PRÓLOGO	13
1. LOS MATERIALES METÁLICOS.....	15
1.1. Introducción	15
1.2. Metalurgia extractiva.....	15
1.2.1. <i>Procesos físicos preliminares</i>	16
1.2.2. <i>Vía seca: procesos pirometalúrgicos</i>	17
1.2.3. <i>Fabricación del acero</i>	18
1.2.4. <i>Vía húmeda: procesos hidrometalúrgicos y electrometalúrgicos</i>	21
1.2.5. <i>Fabricación del aluminio</i>	21
1.2.6. <i>Fabricación del cobre</i>	22
1.3. Los aceros.....	23
1.3.1. <i>Aceros al carbono</i>	27
1.3.2. <i>Aceros de alta resistencia y baja aleación</i>	29
1.3.3. <i>Aceros de resistencia ultraelevada</i>	35
1.3.4. <i>Aceros de herramientas</i>	37
1.3.5. <i>Aceros inoxidable</i>	39
1.3.6. <i>Aceros resistentes a la termofluencia</i>	44
1.3.7. <i>Aceros resistentes a temperaturas subcero</i>	45
1.4. Las fundiciones férreas.....	45
1.4.1. <i>Tipos de fundiciones</i>	47
1.5. Aleaciones ligeras.....	51
1.5.1. <i>Aleaciones de aluminio</i>	52
1.5.2. <i>Aleaciones ligeras de magnesio</i>	56
1.5.3. <i>Aleaciones ligeras de Ti</i>	57

1.6.	El cobre y sus aleaciones.....	62
1.6.1.	<i>Cobre no aleado</i>	62
1.6.2.	<i>Latones</i>	63
1.6.3.	<i>Bronces</i>	66
1.6.4.	<i>Aleaciones Cu-Ni, Cu-Ni-Zn y Cu-Ni-Al</i>	67
1.6.5.	<i>Aleaciones Cu-Be</i>	68
1.7.	Superalcaciones	69
1.7.1.	<i>Fases, estructura y fabricación de superaleaciones</i>	70
1.7.2.	<i>Superalcaciones de base Ni y Ni-Fe</i>	72
1.7.3.	<i>Superalcaciones de base cobalto</i>	73
1.8.	Aleaciones especiales.....	75
1.8.1.	<i>Aleaciones superplásticas</i>	75
1.8.2.	<i>Aleaciones de memoria de forma y de comportamiento superelástico</i>	76
	Preguntas de autoevaluación.....	77
2.	SOLIDIFICACIÓN Y MOLDEO	79
2.1.	Introducción	79
2.2.	Solidificación.....	80
2.2.1.	<i>Solidificación de un metal puro</i>	80
2.2.2.	<i>Solidificación de una aleación monofásica</i>	83
2.2.3.	<i>Solidificación de una aleación eutéctica</i>	86
2.3.	Moldeos tradicionales.....	87
2.3.1.	<i>Moldeo en arena en verde</i>	87
2.3.2.	<i>Moldeo químico</i>	89
2.3.3.	<i>Moldeo en vacío: proceso V</i>	90
2.4.	Procesos con molde desechable.....	90
2.4.1.	<i>Moldeo en cáscara</i>	90
2.4.2.	<i>Microfusión o moldeo a la cera perdida o en barbotina</i>	91
2.4.3.	<i>Moldeo con poliestireno expandido</i>	92
2.5.	Procesos con molde permanente.....	93
2.5.1.	<i>Proceso básico o moldeo en coquilla (die gravity casting)</i>	93
2.5.2.	<i>Moldeo por centrifugación</i>	94
2.5.3.	<i>Moldeo por inyección (pressure die casting)</i>	94
2.5.4.	<i>Moldeo por inyección bajo vacío</i>	95
2.6.	Defectos en las piezas moldeadas.....	95
2.6.1.	<i>Heterogeneidad del tamaño de grano</i>	96
2.6.2.	<i>Segregación</i>	97
2.6.3.	<i>Contracción. Rechupe</i>	98
2.6.4.	<i>Gases ocluidos, porosidad y sopladuras</i>	99
2.6.5.	<i>Inclusiones</i>	100
2.6.6.	<i>Otros defectos</i>	101
2.7.	Métodos avanzados de moldeo	101
2.7.1.	<i>Moldeo squeeze o moldeo por forja</i>	102
2.7.2.	<i>Conformado con metales semisólidos</i>	103

2.8. Estructuras direccionadas y monocristalinas.....	104
2.9. Obtención de metales de alta pureza a partir de aleaciones	105
Problemas resueltos.....	107
Problemas propuestos.....	110
Preguntas de autoevaluación.....	110
3. METALURGIA DE POLVOS.....	113
3.1. Introducción.....	113
3.2. Ventajas y limitaciones de la metalurgia de polvos.....	114
3.3. Materia prima: polvos.....	115
3.3.1. <i>Fabricación del polvo</i>	115
3.3.2. <i>Procedimientos de aleación</i>	117
3.3.3. <i>Caracterización del polvo</i>	118
3.4. Mezcla de polvos y llenado.....	119
3.5. Compactación en frío de los polvos.....	120
3.5.1. <i>Sistemas de compactación</i>	122
3.5.2. <i>Resistencia del compacto en verde</i>	122
3.6. Sinterización.....	122
3.6.1. <i>Fuerza impulsora y etapas de la sinterización</i>	123
3.6.2. <i>Mecanismos de transporte de materia en el sinterizado</i>	124
3.6.3. <i>Caracterización del grado de sinterizado y de la porosidad</i>	125
3.6.4. <i>Hornos de sinterización</i>	126
3.6.5. <i>Temperatura de sinterización</i>	127
3.7. Propiedades mecánicas de los productos sinterizados.....	127
3.8. Variantes del proceso de la metalurgia de polvos.....	128
3.8.1. <i>Prensado en caliente (hot pressing)</i>	128
3.8.2. <i>Prensado isostático en caliente (HIP, hot isostatic pressing)</i>	128
3.8.3. <i>Forja de polvos (sinter forging, powder forging)</i>	128
3.8.4. <i>Moldeo por inyección de polvos metálicos</i> (MIM, metal injection molding).....	129
3.8.5. <i>Infiltración</i>	130
3.8.6. <i>Laminación y extrusión de polvos</i>	131
3.9. Operaciones de acabado.....	131
3.10. Diseño, materiales y aplicaciones pulvimetalúrgicas.....	131
3.10.1. <i>Diseño de componentes sinterizados</i>	132
3.10.2. <i>Metal duro</i>	132
3.10.3. <i>Materiales compuestos de matriz metálica</i>	133
3.10.4. <i>Superalaciones</i>	134
3.10.5. <i>Aceros rápidos</i>	134
3.10.6. <i>Metales y aleaciones refractarias</i>	134
3.10.7. <i>Materiales porosos</i>	135
Problemas resueltos.....	136
Problemas propuestos.....	141
Preguntas de autoevaluación.....	143

4.	CONFORMADO METÁLICO POR DEFORMACIÓN PLÁSTICA	145
4.1.	Introducción	145
4.2.	Conformado en caliente	146
4.2.1.	<i>Relaciones tensión-deformación a temperaturas elevadas</i>	148
4.2.2.	<i>Cambios estructurales</i>	149
4.2.3.	<i>Otros aspectos estructurales</i>	151
4.3.	Laminación controlada de los aceros	152
4.3.1.	<i>Laminación controlada de aceros microaleados</i>	154
4.3.2.	<i>Nuevas tendencias</i>	155
4.4.	Conformado en frío	155
4.4.1.	<i>Curvas tensión-deformación</i>	155
4.4.2.	<i>Cambios estructurales</i>	156
4.4.3.	<i>Conformabilidad de la chapa para embutición</i>	157
4.4.4.	<i>Hidroconformado</i>	159
4.5.	Conformado superplástico	159
4.5.1.	<i>Características de la superplasticidad</i>	160
4.5.2.	<i>Obtención de materiales superplásticos</i>	161
4.5.3.	<i>Procesos de conformado superplástico y aleaciones superplásticas</i>	162
	Problemas resueltos	164
	Problemas propuestos	166
	Preguntas de autoevaluación	168
5.	POLÍMEROS Y MATERIALES COMPUESTOS	171
5.1.	Introducción a los polímeros	171
5.2.	Clasificación y conceptos básicos de los polímeros	172
5.2.1.	<i>Clasificación</i>	172
5.2.2.	<i>Conceptos básicos de los polímeros</i>	174
5.2.3.	<i>Características generales de los polímeros</i>	179
5.3.	Polímeros termoplásticos	181
5.3.1.	<i>Características generales de los polímeros termoplásticos</i>	181
5.3.2.	<i>Polímeros de ingeniería</i>	185
5.4.	Polímeros termoestables	187
5.5.	Elastómeros	188
5.5.1.	<i>Elastómeros diénicos</i>	189
5.5.2.	<i>Elastómeros no diénicos</i>	189
5.5.3.	<i>Elastómeros termoplásticos</i>	190
5.6.	Bioplásticos	191
5.7.	Aditivos	192
5.8.	Mezclas de polímeros	197
5.9.	Introducción a los materiales compuestos de matriz polimérica	200
5.10.	Constituyentes del material compuesto	201
5.10.1.	<i>Matrices</i>	202
5.10.2.	<i>Fase dispersa: cargas o rellenos</i>	203

5.10.3. Fase dispersa: fibras orgánicas.....	204
5.10.4. El PRF y sus prestaciones.....	206
5.11. La industria del plástico y los materiales compuestos de matriz polimérica...	207
Preguntas de autoevaluación.....	209
6. CONFORMADO DE POLÍMEROS	211
6.1. Introducción.....	211
6.2. Reología.....	212
6.2.1. Viscosidad del fundido.....	212
6.2.2. Elasticidad del fundido.....	216
6.2.3. Reometría.....	217
6.3. Extrusión.....	219
6.3.1. Línea de extrusión y sus componentes.....	219
6.3.2. Parámetros del proceso.....	222
6.3.3. Análisis reológico de la extrusión.....	223
6.3.4. Defectos.....	225
6.4. Moldeo por inyección.....	227
6.4.1. Maquina de inyección.....	227
6.4.2. Moldes.....	228
6.4.3. Ciclo de moldeo: fases.....	228
6.4.4. Curvas PvT.....	230
6.4.5. Simulación del proceso.....	231
6.4.6. Defectos.....	233
6.4.7. Variantes del moldeo por inyección.....	234
6.5. Moldeo por soplado.....	236
6.5.1. Moldeo por extrusión y soplado.....	236
6.5.2. Moldeo por inyección y soplado.....	238
6.5.3. Moldeo por soplado biorientado.....	238
6.6. Termoconformado.....	239
6.7. Moldeos específicos de termoestables.....	241
6.8. Otros procesos de conformado de termoplásticos y termoestables.....	242
6.8.1. Calandrado.....	242
6.8.2. Colada o fundición.....	243
6.8.3. Espumado.....	244
6.9. Procesado de fibras poliméricas.....	247
Problemas resueltos.....	248
Problemas propuestos.....	253
Preguntas de autoevaluación.....	254
7. CONFORMADO DE MATERIALES COMPUESTOS.....	257
7.1. Introducción.....	257
7.2. Configuraciones de refuerzo.....	259

7.3.	Procesos en molde abierto	259
7.3.1.	<i>Método por contacto manual</i>	260
7.3.2.	<i>Aplicación por proyección</i>	261
7.3.3.	<i>Aplicación automatizada</i>	262
7.3.4.	<i>Moldeo por vacío o presión</i>	263
7.3.5.	<i>Moldeo por vacío con autoclave (preimpregnados)</i>	264
7.3.6.	<i>Enrollamiento filamentario (filament winding) o bobinado</i>	264
7.3.7.	<i>Centrifugación</i>	266
7.3.8.	<i>Procesos de infusión</i>	266
7.3.9.	<i>SCRIMP</i>	268
7.4.	Procesos en molde cerrado	268
7.4.1.	<i>Moldeo por inyección</i>	269
7.4.2.	<i>Moldeo por transferencia de resina</i>	269
7.4.3.	<i>Pultrusión</i>	269
7.4.4.	<i>Estampación o prensado en frío</i>	271
7.4.5.	<i>Termoconformado</i>	272
7.4.6.	<i>Semiproductos: compuestos de moldeo</i>	273
7.4.7.	<i>Moldeo por reacción reactiva reforzada</i>	276
7.5.	Tendencias.....	278
	Preguntas de autoevaluación.....	278
8.	CERÁMICAS	281
8.1.	Introducción.....	281
8.2.	Cerámica tradicional.....	282
8.2.1.	<i>Refractarios</i>	283
8.2.2.	<i>Cemento y hormigón</i>	283
8.2.3.	<i>Revestimiento y pavimento</i>	283
8.3.	Cerámicas avanzadas o técnicas	285
8.3.1.	<i>Óxidos: Al_2O_3, ZrO_2</i>	286
8.3.2.	<i>Nitruros: Si_3N_4, BN, AlN</i>	288
8.3.3.	<i>Carburos: SiC, B_4C</i>	289
8.3.4.	<i>Materiales compuestos: cermets y CMC</i>	290
8.3.5.	<i>Fosfatos de calcio</i>	292
8.3.6.	<i>Zeolitas y materiales mesoporosos</i>	293
8.4.	Materiales de base carbono.....	294
8.4.1.	<i>Redes tridimensionales: diamante y DLC</i>	295
8.4.2.	<i>Redes bidimensionales: materiales grafiticos</i>	295
8.4.3.	<i>Fullerenos, nanotubos de carbono y grafeno</i>	295
8.4.4.	<i>Fibras de carbono</i>	297
8.5.	Vidrios y fibras de vidrio	298
8.5.1.	<i>Vidrios industriales</i>	299
8.5.2.	<i>Fibras de vidrio</i>	302
8.6.	Vitrocerámicas	302
	Preguntas de autoevaluación.....	304

9. CONFORMADO DE CERÁMICA Y VIDRIO.....	307
9.1. Introducción.....	307
9.2. Procesado de cerámicas avanzadas.....	308
9.2.1. <i>Beneficiado</i>	309
9.2.2. <i>Conformado</i>	310
9.2.3. <i>Sinterización</i>	312
9.3. Procesado de cerámica tradicional.....	317
9.3.1. <i>Procesos de preparación y formado</i>	318
9.3.2. <i>Secado y sinterizado</i>	320
9.4. Procesado y tratamiento del vidrio.....	321
9.4.1. <i>Materias primas y fusión</i>	321
9.4.2. <i>Procesos de conformado</i>	322
9.4.3. <i>Tratamientos</i>	325
9.5. Procesado de vitrocerámicas.....	326
9.6. Procesado de fibras cerámicas.....	327
9.6.1. <i>Fibras de vidrio</i>	328
9.6.2. <i>Fibras de carbono</i>	329
9.7. Tendencias.....	331
Preguntas de autoevaluación.....	331
 SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS PROPUESTOS.....	 333
 RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN.....	 335
 SIGNIFICADO DE LAS SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	 339