

# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1.1</b>
1.1. Justificación.....	1.1
1.2. Objetivos.....	1.3
1.3. Aportaciones de la tesis.....	1.4
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>2.1</b>
2.1. Introducción a los materiales compuestos de matriz metálica (MMCs).....	2.1
2.1.1. Introducción.....	2.1
2.1.2. Tipos de materiales empleados como matrices.....	2.3
2.1.3. Métodos de fabricación.....	2.6
2.1.3.1. Procesos en estado líquido o semilíquido.....	2.7
2.1.3.2. Procesos en estado sólido.....	2.12
2.1.3.2.1. Procesos pulvimetalúrgicos (PM).....	2.12
2.1.3.2.2. Consolidación por difusión o “difusión bonding”.....	2.20
2.1.4. Aplicaciones de los MMCs.....	2.21
2.2. Materiales compuestos de matriz de titanio (Ti-MMCS) reforzados con partículas.....	2.24
2.2.1. El titanio como matriz para MMCS.....	2.24
2.2.1.1. Propiedades del titanio.....	2.25
2.2.1.2. Estructura del titanio.....	2.28
2.2.1.3. Efectos de las impurezas en la matriz de titanio.....	2.31
2.2.2. Compuesto de titanio como partículas de refuerzo para Ti-MMCS.....	2.33
2.2.2.1. Carburo de titanio.....	2.33
2.2.2.2. Nitruro de titanio.....	2.37
2.2.2.3. Disiliciuro de titanio.....	2.41
2.2.3. Propiedades de los materiales compuestos base titanio reforzados con partículas.....	2.44
2.2.3.1. Influencia de la cantidad de partículas.....	2.45
2.2.3.2. Influencia de la morfología de las partículas.....	2.45
2.2.3.3. Influencia del tamaño de las partículas.....	2.46
2.2.3.4. Influencia de la distribución de las partículas.....	2.46
2.2.3.5. La interfase matriz/refuerzo.....	2.46
2.2.3.6. Influencia del refuerzo en la estructura.....	2.48
2.2.4. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos base titanio reforzados con partículas.....	2.49
2.2.4.1. Mecanismo de endurecimiento.....	2.49
2.2.4.2. Módulo de elasticidad.....	2.50
2.2.4.3. Límite elástico.....	2.51
2.2.4.4. Resistencia mecánica.....	2.51

2.2.4.5. Alargamiento . . . . .	2.52
2.2.5. Aplicaciones de los Ti-MMCs. . . . .	2.53
2.3. Proceso pulvimetalúrgico para la obtención de Ti-MMCs. . . . .	2.58
2.3.1. Ventajas limitaciones de los procesos pulvimetalúrgicos. . .	2.60
2.3.2. Etapa de los procesos pulvimetalúrgicos . . . . .	2.62
2.3.3. Obtención de polvo de titanio . . . . .	2.62
2.3.4. Mezcla de polvos. . . . .	2.69
2.3.5. Compactación de polvos. . . . .	2.72
2.3.5. Sinterización . . . . .	2.78
<b>3. PLANIFICACIÓN. . . . .</b>	<b>3.1</b>
<b>4. DESARROLLO EXPERIMENTAL. . . . .</b>	<b>4.1</b>
4.1. Selección del material utilizado como matriz. . . . .	4.1
4.2. Selección de los materiales de adición utilizados. . . . .	4.3
4.3. Selección de parámetros del proceso de fabricación . . . . .	4.5
4.3.1. Mezcla de los polvos. . . . .	4.7
4.3.2. Compactación de los polvos. . . . .	4.8
4.3.3. Sinterización de los compactos. . . . .	4.9
4.4. Caracterización de los polvos . . . . .	4.10
4.4.1. Caracterización de la forma y tamaño de las partículas. . . .	4.10
4.4.2. Caracterización de la densidad aparente . . . . .	4.11
4.4.3. Caracterización de la fluidez. . . . .	4.12
4.4.4. Caracterización de la compresibilidad. . . . .	4.12
4.5. Caracterización física y geométrica. . . . .	4.13
4.5.1. Caracterización de la contracción, densificación . . . . .	4.13
4.5.2. Caracterización de densidad por Arquímedes. . . . .	4.13
4.5.3. Caracterización de la porosidad . . . . .	4.14
4.6. Caracterización mecánica y tribológica. . . . .	4.15
4.6.1. Ensayo de resistencia a flexión. . . . .	4.15
4.6.2. Determinación del módulo elástico por ultrasonidos. . . . .	4.16
4.6.3. Determinación del módulo de Young a partir de la porosidad y el factor de forma . . . . .	4.19
4.6.4. Ensayo de dureza. . . . .	4.19
4.6.5. Ensayo de microdureza. . . . .	4.20
4.6.6. Ensayo de nanoindentación . . . . .	4.20
4.6.7. Caracterización tribológica. . . . .	4.25
4.7. Caracterización microestructural. . . . .	4.27
4.7.1. Microscopía óptica . . . . .	4.27
4.7.2. Microscopía electrónica. . . . .	4.29
4.7.2.1. Microscopía electrónica de barrido (SEM) . . . . .	4.29
4.7.2.2. Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM). EBSD . . . . .	4.31
4.7.3. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TG).. . . . .	4.36

<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>5.1</b>
5.1. Caracterización física y geométrica. ....	5.1
5.1.1. Densificación. ....	5.1
5.1.2. Contracción. ....	5.4
5.1.3. Porosidad .....	5.6
5.2. Caracterización mecánica y tribológica. ....	5.10
5.2.1. Ensayos de resistencia a de flexión .....	5.10
5.2.1.1. Análisis fractográfico. ....	5.18
5.2.2. Módulo elástico por ultrasonidos. ....	5.21
5.2.3. Módulo de young a partir de la porosidad y el factor de forma. ....	5.24
5.2.4. Ensayo de dureza. ....	5.25
5.2.5. Ensayo de microdureza. ....	5.26
5.2.6. Caracterización mediante nanoindentación. ....	5.27
5.2.7. Caracterización tribológica. ....	5.33
5.2.7.1. Coeficiente de rozamiento. ....	5.34
5.2.7.2. Tasa de desgaste. ....	5.36
5.2.7.3. Estudio superficial de las pistas de desgaste .....	5.38
5.3. Caracterización microestructural. ....	5.43
5.3.1. Materiales reforzados con TiC .....	5.43
5.3.2. Materiales reforzados con TiN. ....	5.58
5.3.3. Materiales reforzados con TiSi <sub>2</sub> . ....	5.70
5.3.4. Análisis mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) y termogravimetría (TG). ....	5.81
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>6.1</b>
6.1. Conclusiones generales. ....	6.1
6.2. Conclusiones particulares .....	6.2
6.2.1. Materiales obtenidos por adición de partículas de TiC. .	6.2
6.2.2. Materiales obtenidos por adición de partículas de TiN. .	6.4
6.2.3. Materiales obtenidos por adición de partículas de TiSi <sub>2</sub> . .	6.5
<b>7. FUTURAS INVESTIGACIONES</b> .....	<b>7.1</b>
<b>8. PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS</b> .....	<b>8.1</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>9.1</b>