

## INDICE

CONTENIDO	Pág
<b>1 INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 <b>Antecedentes</b>	1
1.2 <b>Justificación</b> (Planteamiento del problema)	3
1.3 <b>Objetivos</b>	6
1.3.1 Objetivo general	6
1.3.2 Objetivos específicos	6
1.4 <b>Aportaciones de la tesis</b>	7
1.5 <b>Limitaciones</b>	8
<b>2 PANORAMA CIENTIFICO</b>	<b>11</b>
2.1 <b>Conceptos generales de estructura y propiedades del Ti y el TiB<sub>2</sub></b>	13
2.1.1 Propiedades físicas del titanio	13
2.1.2 Microestructura del titanio	14
2.1.3 Compuestos de titanio y boro	19
2.2 <b>El proceso láser</b>	28
2.2.1 Proceso <i>Laser Cladding</i>	29
2.2.1.1 Parámetros del proceso	31
2.2.1.2 Relación entre la geometría del cordón y los parámetros del proceso <i>laser Cladding</i>	36
2.2.1.3 Interacción metalúrgica del polvo y el sustrato	42
<b>3 PLANIFICACION DE LA INVESTIGACION</b>	<b>49</b>
3.1 <b>Fase I. Materia Prima</b>	51
3.1.1 Etapa 1. Selección y caracterización del material de sustrato	51
3.1.2 Etapa 2. Selección y caracterización del material de recubrimiento	54
3.2 <b>Fase II. Realización y caracterización de los cordones</b>	57
3.2.1 Etapa 1. Realización de los cordones	58
3.2.2 Etapa 2. Caracterización de los cordones	63

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
3.3 <b>Fase III. Realización y caracterización de recubrimientos</b>	66
3.3.1 Etapa 1. Realización de los recubrimientos	66
3.3.2 Etapa 2. Caracterización de los recubrimientos	70
<b>4 DESARROLLO EXPERIMENTAL</b>	<b>75</b>
4.1 <b>Materia Prima</b>	75
4.1.1. Material de sustrato	75
4.1.2. Obtención del material de recubrimiento	86
4.2 <b>Realización y caracterización de los cordones</b>	96
4.2.1. Realización de los cordones	96
4.2.2. Caracterización de los cordones	99
4.3 <b>Realización y caracterización de los recubrimientos</b>	108
4.3.1. Realización de los recubrimientos	109
4.3.2. Caracterización de los recubrimientos	110
<b>5 RESULTADOS</b>	
5.1 <b>Optimización del material de recubrimiento</b>	121
5.1.1. Morfología del material de recubrimiento	121
5.1.2. Composición del material de recubrimiento	125
5.2 <b>Caracterización de los cordones</b>	126
5.2.1. Efecto del laser en el sustrato de titanio	127
5.2.2. Efecto del láser en el conjunto del sustrato de Ti y aporte de polvos de Ti sin boro	128
5.2.3. Efecto del láser en el conjunto del sustrato de Ti y aporte de polvos de Ti + 60% de TiB <sub>2</sub>	133
5.2.4. Efecto del láser en el conjunto del sustrato de Ti y aporte de polvos de Ti + 40% de TiB <sub>2</sub>	137

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
5.2.5. Efecto del láser en el conjunto del sustrato de Ti y aporte de polvos de Ti + 20% de TiB <sub>2</sub>	149
5.2.6. Influencia de los elementos de aleación sobre el conjunto de sustrato de Ti6Al4V y aporte de polvos de Ti + 20% de TiB <sub>2</sub>	163
<b>5.3 Caracterización de los recubrimientos</b>	<b>174</b>
5.3.1. Geometría de los recubrimientos	176
5.3.2. Microestructura de los recubrimientos	178
5.3.3. Pruebas de dureza a los recubrimientos	186
5.3.4. Evaluación de composición mediante la técnica de WDS para los recubrimientos	192
5.3.5. Análisis de difracción de los recubrimientos	197
5.3.6. Estudio de EBSD para los recubrimientos	200
5.3.7. Estudio exploratorio de desgaste para Los recubrimientos	213
<b>6 DISCUSION</b>	
<b>6.1 Relación de las variables del proceso láser Las características del cordón</b>	<b>215</b>
6.1.1. Eficiencia	
6.1.2. Variación de la altura y el ancho del cordón	215
6.1.3. Dilución	217
6.1.4. Microestructura y dureza de los cordones	218
<b>6.2 Caracterización de los compuestos de Ti y B</b>	<b>224</b>
<b>6.3 Caracterización de los recubrimientos</b>	<b>229</b>
<b>6.4 Efecto de la adición de B al Ti en el material recubrimiento de los cordones</b>	<b>238</b>
<b>6.5 Efecto de los elementos de aleación en las características de los cordones</b>	<b>242</b>
<b>6.6 Efecto del tipo de polvo sobre la zona afectada por el calor (ZAC)</b>	<b>248</b>

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
<b>7 CONCLUSIONES</b>	255
7.1 Generales	255
7.2 Específicas	256
7.2.1 Relación de las variables del proceso Láser con las características del cordón	256
7.2.2 Caracterización de los compuestos de Titanio y Boro	257
7.2.3 Caracterización de los recubrimientos	258
7.2.4 Efecto de la adición de boro al titanio en el material de recubrimiento de los cordones	259
7.2.5 Efecto de los elementos de aleación en las características de los cordones	259
7.2.6 Efecto energético del láser sobre la zona afectada por el calor (ZAC) en el titanio	260
<b>8 INVESTIGACIONES FUTURAS</b>	261
<b>9 DIFUSION DE RESULTADOS DERIVADOS DE LA TESIS</b>	263
<b>ANEXOS</b>	265
<b>A. Diagramas de granulometría de los polvos en el proceso de aleado mecánico</b>	265
<b>B. Imágenes de la morfología de los polvos en el proceso de aleado mecánico</b>	267
B.1 Microscopia Electrónica	267
B.2 Microscopia Óptica	268
<b>C. Barridos de microdureza</b>	269
<b>D. Estudio de la distribución de las fases Mediante análisis de imágenes</b>	276
<b>E. Publicaciones derivadas de la presente tesis</b>	288

