

Índice de Contenido

	Página
Título	i
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	v
Resumen	vii
Resum.....	xi
Summary.....	xv
Índice de Contenido	xix
Nomenclatura	xxvii
Capítulo I Revisión Bibliográfica	1
1.1. Requisitos de Aplicaciones de los Recubrimientos.....	3
1.1.1. Desgaste.....	4
a.) Abrasión.....	5
b.) Desgaste Adhesivo.....	6
c.) Fretting.....	8
d.) Desgaste por Erosión.....	8
e.) Desgaste por Cavitación.....	10
1.1.2. Corrosión.....	11
a.) Corrosión Húmeda.....	12

	Página
b.) Corrosión Seca.....	13
1.1.3. Efectos Decorativos.....	15
1.2. Aplicaciones de Recubrimientos.....	16
a.) Sierra Circular.....	16
b.) Plaquita.....	17
c.) Rodillos.....	18
d.) Tubos.....	19
e.) Fémur.....	19
1.3. Métodos de Recubrimientos.....	20
1.3.1. Preparación de Superficies.....	22
1.3.1.1. Preparación Mecánica.....	23
1.3.1.2. Preparación Química.....	24
a.) Decapado.....	24
b.) Desengrase.....	25
1.3.2. Recubrimientos Metálicos.....	25
1.3.3. Recubrimientos Cerámicos.....	26
1.3.4. Recubrimientos Polímeros.....	26
a.) Termoplásticos.....	27
b.) Termoestables.....	27
1.3.5. Métodos Químicos y Electroquímicos.....	27
1.3.5.1. Métodos Químicos.....	28
a.) Pavonado.....	29
b.) Fosfatado.....	29
c.) Cromatizado.....	30
1.3.5.2. Métodos Electroquímicos.....	31
1.3.5.2.1. Anodizado.....	32
1.3.6. Sol-Gel.....	33
1.3.7. Procesos Termoquímicos.....	34
a.) Cementación.....	34
b.) Nitruración.....	35
c.) Carbonitruración.....	36
1.3.8. Recubrimientos de Inmersión en Caliente.....	36
1.3.8.1. Galvanización.....	37
a.) Galvanizado.....	38
b.) Electrocincado.....	38
1.3.8.2. Aluminizado.....	39
1.3.8.3. Estañado.....	39

	Página
1.3.8.4. Emplomado.....	39
1.3.9. Chapado.....	40
1.3.10. Deposición Física en Fase Vapor.....	40
1.3.10.1. Evaporación Térmica en Vacío.....	41
a.) Calentamiento Resistivo.....	42
b.) Evaporación Mediante Bombardeo de Electrones.....	43
c.) Evaporación de Aleaciones, Mezclas y Compuestos	44
d.) Evaporación por Arco Catódico.....	45
1.3.10.2. Pulverización Catódica.....	46
1.3.10.3. Epitaxia por Haces Moleculares.....	48
1.3.10.4. Deposición Asistida con Iones.....	48
1.3.10.5. Depósito por Láser.....	50
1.3.11. Deposición Química en Fase Vapor.....	51
1.3.11.1. Activación Térmica.....	54
a.) CVD a Presión Atmosférica.....	54
b.) CVD a Presión Reducida.....	55
1.3.11.2. Activación por Plasma.....	56
1.3.11.3. Activación por Fotones.....	57
1.3.11.3.1. Excitación por Radiación Ultravioleta.....	57
1.3.11.3.2. Excitación por Láser.....	58
a.) Pirólisis.....	58
b.) Evaporación.....	59
c.) Fotólisis.....	60
1.3.12. Tratamientos Superficiales.....	60
1.3.12.1. Tratamiento con Láser.....	61
1.3.12.2. Implantación.....	61
1.3.13. Proyección Térmica.....	63
1.3.13.1. Procesos de Combustión.....	66
a.) Proyección por Llama (Flame Spray).....	66
b.) Proyección por Llama a Alta Velocidad.....	68
c.) Proyección por Detonación.....	70
1.3.13.2. Procesos Eléctricos.....	71
a.) Proyección por Arco Eléctrico.....	72
b.) Proyección por Plasma.....	73
1.4. Aplicaciones a Matrices.....	74
1.4.1. Recubrimientos a Matrices.....	78
1.4.1.1. Procesos Especiales de Tratamiento Térmico.....	79

	Página
1.4.1.2. Tratamientos Superficiales.....	79
a.) Nitruración.....	80
b.) Carbonitruración.....	81
1.4.1.3. Deposiciones Superficiales.....	81
1.4.1.4. Técnicas de Recuperación por Desgaste y Fisuras.....	82
1.4.1.4.1. Soldadura.....	82
a.) Soldadura TIG.....	83
b.) Soldadura MIG / MAG.....	83
1.4.1.4.2. Recubrimiento Láser.....	84
1.4.1.4.3. Proyección Térmica.....	84
1.4.2. Requisitos de estas Aplicaciones.....	85
1.4.2.1. Resistencia Mecánica.....	86
a.) Resistencia a la Compresión.....	87
b.) Resistencia a la Flexión.....	87
c.) Resistencia a la Cizalladura.....	87
d.) Dureza.....	88
e.) Tenacidad.....	88
1.4.2.2. Resistencia al Desgaste.....	89
1.4.2.3. Templabilidad.....	90
1.4.2.4. Mínima Variación de Medida.....	90
1.4.2.5 Adhesión.....	91
a.) Mecanismo Interferencial.....	91
b.) Mecanismo Cohesivo	91
1.4.2.6. Adherencia al Sustrato.....	92
a.) Tipo de Enlace de los Átomos en la Interfase.....	93
b.) Estado del Material de la Interfase.....	93
c.) Rugosidad Superficial y Depósito de Capas de Anclaje.....	93
d.) Método de preparación del recubrimiento.....	94
1.5. Enfoque de los Objetivos de la Investigación.....	94
1.5.1. Variables de la Adherencia.....	95
1.5.1.1. Clase de Materiales.....	95
1.5.1.1.1. Sustrato.....	95
1.5.1.1.1.1. Predepósitos de Capas de Anclajes.....	96
1.5.1.1.2. Material de Aporte.....	96
a.) Materiales de la Industria de la Proyección Térmica.....	97
b.) Materiales de Referencias de Investigaciones.....	97
1.5.1.2. Preparación Superficial del Sustrato.....	98

	Página
1.5.1.2.1. Estado de la Superficie del Sustrato.....	98
1.5.1.2.2. Rugosidad.....	98
a.) Paso.....	99
b.) Ángulo de Filete.....	99
c.) Profundidad de la Rosca.....	99
1.5.1.3. Temperatura Superficial del Sustrato.....	99
1.5.2. Variables de la Proyección por Llama.....	100
a.) Distancia de Proyección.....	101
b.) Ángulo de Proyección.....	101
c.) Potencia del Dardo.....	101
d.) Naturaleza de la Llama.....	101
e.) El Tratamiento de Post-Proyección.....	102
1.5.3. Variables de la Resistencia Mecánica.....	102
1.5.4. Variables de la Resistencia al Desgaste.....	103
a.) Coeficiente de Fricción.....	103
b.) Desgaste Abrasivo.....	103
1.6. Proyección Térmica por Llama (Flame Spray).....	104
1.6.1 Parámetros del Proceso.....	106
a.) Llama.....	106
b.) Polvo.....	107
c.) Inyección del Polvo.....	107
d.) Características de la Proyección.....	108
e.) Sustrato.....	108
1.6.2. Características del recubrimiento.....	109
1.6.2.1. Características mecánicas.....	109
1.6.2.1.1. Adherencia al Sustrato.....	110
a.) Rugosidad del Sustrato.....	110
b.) Forma del Sustrato.....	110
c.) Pre calentamiento del Sustrato.....	111
d.) Fuerza de Enlace.....	111
1.6.2.2. Características Microestructurales.....	111
a.) Porosidad.....	112
b.) Óxidos.....	112
c.) Fisuras.....	112
1.6.3. Investigaciones de Flame Spray.....	112
1.6.4 Síntesis de las Investigaciones de Flame Spray.....	126

	Página
1.6.4.1. Temas de Flame Spray en los que se Evidencia Carencia de Investigación.....	130
Capítulo II Objetivos.....	133
Capítulo III Metodología.....	137
3.1. Ensayos para Análisis de Requisitos.....	137
3.1.1. Métodos Metalográficos.....	138
3.1.2. Análisis de Defectos.....	141
3.1.3. Métodos Mecánicos.....	141
3.2. Probetas.....	142
3.2.1. Probetas de los Métodos Metalográficos.....	142
3.2.2. Probetas de los Análisis de Defectos.....	144
3.2.3. Probetas de los Métodos Mecánicos.....	144
3.2.3.1. Probetas de la Medida de la Adherencia por Ensayo de Cizalladura.....	145
3.2.3.1.1. Sustrato.....	145
3.2.3.1.2. Recubrimientos.....	145
3.2.3.2. Probetas del Ensayo de Dureza.....	153
3.2.3.3. Probetas del Ensayo de Desgaste Pin on Disk.....	154
3.3. Planificación de las Pruebas.....	159
3.3.1. Pruebas de los Métodos Metalográficos.....	159
3.3.1.1. Macroscopía Óptica.....	159
3.3.1.2. Microscopía: Óptica y Electrónica de Barrido.....	161
3.3.2. Pruebas de los Análisis de Defectos.....	164
3.3.2.1. Espectroscopia de Energía Dispersiva de Rayos X.....	165
3.3.2.2. Emisión acústica.....	166
3.3.3. Pruebas de los Métodos Mecánicos.....	167
3.3.3.1. Pruebas de la Medida de la Adherencia por Ensayo de Cizalladura.....	168
3.3.3.1.1 Metodología para la Proyección Térmica por Llama.....	174
3.3.3.3. Pruebas del Ensayo de Dureza.....	182
3.3.3.6. Pruebas del Ensayo de Desgaste Pin on Disk.....	186
3.4. Planificación de Experimentos.....	198
3.4.1. Planificación de Experimentos Generales.....	198

	Página
3.4.2. Planificación de Experimentos Específicos.....	198
Capítulo IV Resultados y Análisis.....	213
4.1. Análisis por Diseño Estadístico.....	214
4.1.1. Recubrimiento Total.....	215
4.1.1.1. Macroscopía Óptica.....	216
4.1.1.2. Microscopía Óptica.....	223
4.1.1.3. Análisis del Diagrama Impactos Versus Deformaciones	230
4.1.1.4. Análisis del Diagrama Impactos Acumulados Versus	
Deformaciones.....	231
4.1.1.5. Los Esfuerzos de Cizalladura.....	232
4.1.1.6. Las Rigideces.....	240
4.1.1.7. Las Microdurezas Vickers.....	247
4.1.1.8. Las Porosidades.....	251
4.1.2. Recubrimiento en Cuatro Partes.....	255
4.1.2.1. Los Esfuerzos de Cizalladura.....	260
4.1.2.2. Las Rigideces.....	268
4.1.3. Recubrimiento en Tres Partes.....	275
4.1.3.1. Diseño Estadístico I para WC/Ni (30/70, 40/60).....	278
4.1.3.1.1. Los Esfuerzos de Cizalladura.....	280
4.1.3.1.2. Las Rigideces.....	287
4.1.3.1.3. Las Microdurezas Vickers.....	293
4.1.3.1.4. Las Porosidades.....	298
4.1.3.2. Diseño Estadístico II para Al ₂ O ₃ /TiO ₃ (87/13, 97/3).....	301
4.1.3.2.1. Macroscopía Óptica.....	302
4.1.3.2.2. Microscopía Óptica.....	306
4.1.3.2.3. Los Esfuerzos de Cizalladura.....	309
4.1.1.2.4. Las Rigideces.....	315
4.1.1.2.5. Las Microdurezas Vickers.....	319
4.1.1.2.6. Las Porosidades.....	324
4.2. Análisis Relativos a las Variables Controladoras de la	
Adherencia.....	328
4.2.1. Comparación Recubrimiento de las probetas (1/3, 1/4 y 1)..	328
4.2.2. Comparación de Energías de Ruptura (E _R).....	333
a.) Recubrimiento Total (1).....	333
b.) Recubrimiento en Cuatro Partes (1/4).....	335

	Página
c.) Recubrimiento en Tres Partes (1/3).....	337
4.3. Comportamiento Tribológico.....	346
a.) Indicadores de la Adhesión del Rozamiento entre Recubrimiento y Chapa de Embutición.....	366
4.4. Fractografía y Adhesión del Recubrimiento – Sustrato.....	374
a.) Proceso de Fractura.....	374
b.) Mecanismo de Difusión.....	376
Capítulo V Conclusiones y Aportaciones.....	395
5.1. Conclusiones.....	395
5.1.1. Recubrimiento Total.....	395
5.1.2. Recubrimiento en Cuatro Partes.....	401
5.1.3. Recubrimiento en Tres Partes.....	404
5.1.3.1. Diseño Estadístico I para WC/Ni (30/70, 40/60).	404
5.1.3.2. Diseño Estadístico II para Al ₂ O ₃ /TiO ₃ (87/13, 97/3).....	408
5.1.4. Análisis Relativos a las Variables Controladoras de la Adherencia.....	411
5.1.5. Comportamiento Tribológico.....	414
5.1.6. Fractografía y Adhesión del Recubrimiento – Sustrato.....	416
5.2. Aportaciones.....	417
Capítulo VI Investigaciones Futuras.....	421
Referencias Bibliográfica.....	425
Apéndice.....	451