

ÍNDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Página

1. TRIBOLOGÍA	2
1.1. Introducción	2
1.2. Distintas disciplinas en el campo de la tribología	3
1.3. Desarrollo histórico	4
1.4. Nuevas tendencias en tribología	7
1.4.1. Tendencias científicas	8
1.4.2. Tendencias en materiales	8
1.4.3. Tendencias en ingeniería	8
1.4.4. Otra tendencias	8
2. FRICCIÓN	10
2.1. Introducción	10
2.2. Mecanismos de fricción	11
2.3. Ensayos de fricción normalizados en sólidos	11
2.4. Fricción en metales	14
2.4.1. Limpieza de materiales en alto vacío	14
2.4.2. Metales iguales en el aire	15
2.4.3. Metales disimilares y aleaciones	18
2.4.4. Efecto de la temperatura	19
2.5. Fenómeno stick-slip	22
3. DAÑO SUPERFICIAL	25
3.1. Introducción	25
3.2. Tipos de daño superficial	25
3.2.1. Daño superficial con cambio de material	25
3.2.2. Daño superficial con pérdida de material.	
3.2.3. Daño superficial con ganancia de material	27
3.3. Interacción entre varios tipos de daño superficial	27
3.4. Diagnósis del daño superficial	28
3.4.1. Propiedades de la capa superficial	28
3.4.2. Efectos del daño superficial	29
3.4.3. Importancia de los mecanismos de desgastes simultaneo	30
4. DESGASTE	31
4.1. Introducción	31
4.2. Procedimiento de ensayo	33
4.2.1. Fricción y desgaste por deslizamiento en seco	35
4.3. Ensayos de desgaste normalizados	36
4.4. Mecanismos de desgaste	37
4.4.1. Desgaste por adherencia	37
4.4.2. Desgaste por abrasión	39
4.4.3. Desgaste por fatiga	40
4.4.4. Desgaste por oxidación	41
4.5. Relación entre fricción y desgaste	43

Página

	<i>Página</i>
5. MATERIALES NANOESTRUCTURADOS	45
5.1. Introducción	45
5.2. ¿Por qué interesan tanto?	46
5.3. ¿Cómo se obtienen?	47
5.4. Proceso de mecanizado	49
5.4.1. Introducción	49
5.4.2. Variables del mecanizado con deformación plana.	49
5.4.3. Deformación plana para la obtención de materiales más resistentes	51
5.5 Mecanizado con extrusión bajo gran deformación (LSEM)	51
5.6 Materiales empleados	53
6. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES NANOESTRUCTURADOS DE COBRE	54
6.1 Introducción	54
6.2 Aplicaciones tribológicas del cobre nanoestructurado	56
6.2.1 Reducción de la fricción en motores de explosión mediante adición de nanocompuestos de cobre al aceite motor	56
6.2.2 Comportamiento frente al desgaste por deslizamiento de hilos de aleaciones de cobre en tendidos eléctricos de trenes de alta velocidad	58
6.2.3 Utilización del cobre en sistemas micro eléctrico-mecánicos con el fin de construir interruptores eléctricos de bajo coste	60

CAPÍTULO II. OBJETIVOS 63

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

1. MATERIALES UTILIZADOS EN LA EXPERIMENTACIÓN	65
1.1. Cobre	65
1.1.1. Introducción	65
1.1.2. Propiedades del Cobre microestructurado	67
1.1.3. Propiedades del Cobre nanoestructurado	69
1.2. Punzón de acero	70
2. EQUIPOS UTILIZADOS	71
2.1. Empastilladora	71
2.2. Pulidora metalográfica	71
2.3. Rugosímetro	72
2.4. Tribómetro	72
2.5. Microscopio óptico	73
2.6. Analizador de imagen	74
2.7. Perfilómetro	74
2.8. Microscopio electrónico de barrido	75
3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	76
3.1. Preparación de las probetas	77
3.2. Medida de la rugosidad	77
3.3. Ensayo de fricción y desgaste	77

	<i>Página</i>
3.4. Medida del coeficiente de fricción	78
3.5. Medida del volumen de desgaste	78
3.6. Observación y análisis microscópico	81
CAPITULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
1 FRICCIÓN	83
2 DESGASTE	85
2.1 Desgaste según la norma ASTM-G133-05	85
2.2 Desgaste según datos obtenidos en el perfilómetro	88
3 COMPARACIÓN ENTRE TRIBÓMETROS	90
4 MECANISMOS DE DESGASTE	91
4.1 Análisis de las huellas	91
4.2 Análisis de las bolas de acero	94
5 CONCLUSIONES	97
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	
ANEXO I. Gráficas de fricción	101
ANEXO II.a. Desgaste según Norma ASTM G133-05	105
ANEXO II.b. Desgaste según Perfilómetro	114
ANEXO III. Medidas de rugosidad	123
ANEXO IV. Determinación de rugosidad. Norma DIN 4768	125
ANEXO V. Norma ASTM G133-05	138
ANEXO VI. Certificado de calibración de las bolas de acero	148
ANEXO VII. Condiciones ambientales	151
ANEXO VIII. Tribómetro y software asociado	153
ANEXO IX. Micrografías	158