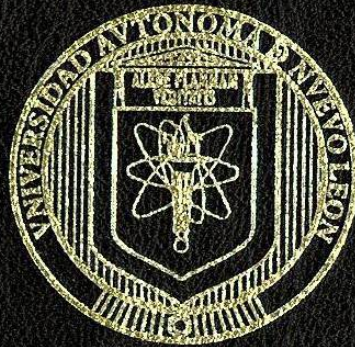


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**INFLUENCIA MICROESTRUCTURAL Y DIMENSIONAL EN EL
DESGASTE DE PROTOTIPOS DE PROTESIS DE CADERA
METAL-METAL FABRICADOS EN Co-Cr-Mo-C**

POR:

MARCO ANTONIO LOUDOVIC HERNANDEZ RODRIGUEZ

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES**

CIUDAD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2004

MALLER

INFLUENCIA MICROESTRUCTURAL Y DIMENSIONAL EN EL
AVANCE DE LA SINTERIZACION Y DISEÑO DE
DESIGASTES DE PROTOTIPOS DE CALDERA
METAL-METAL FABRICADOS EN Co-Cr-Mo-C

2004

TD
Z5853
.M2
FIME
2004
.H465



1020150330

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



INFLUENCIA MICROESTRUCTURAL Y DIMENSIONAL EN EL
DESGASTE DE PROTOTIPOS DE PROTESIS DE CADERA
METAL-METAL FABRICADOS EN Co-Cr-Mo-C

POR:

MARCO ANTONIO LOUDOVIC HERNANDEZ RODRIGUEZ

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERIA DE MATERIALES

CIUDAD UNIVERSITARIA

DICIEMBRE DE 2004

T
...

2001
11 2-



FONDO
TESIS

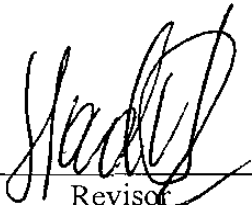
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **“Influencia Microestructural y Dimensional en el Desgaste de Prototipos de Prótesis de Cadera Metal-Metal Fabricados en Co-Cr-Mo-C”** realizada por el alumno Marco Antonio Loudovic Hernández Rodríguez, matrícula 806660 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Doctor en Ingeniería de Materiales.

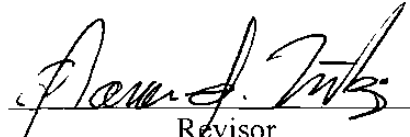
El Comité de Tesis.



Asesor
Dr. Alberto Pérez Unzueta




Revisor
Dr. Zygmunt Haduch Suski



Revisor
Dra. Dora Irma Martínez Delgado



Revisor
Dr. Rafael Mercado Solís



Revisor
Dr. Manuel Delgado Rosas



Vo. Bp.
Dr. Guadalupe Alan Castillo Rodríguez
División de Estudios de Post-grado

DEDICATORIA

A "DIOS" QUIEN SIEMPRE HA ESTADO A MI LADO

A MIS HIJOS ALEJANDRA Y MARCO

A MI ESPOSA GABRIELA

A MIS PADRES Y A MI HERMANO

AGRADECIMIENTOS

A “Dios” por haberme dado salud para la realización de este trabajo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

A la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V por su gran apoyo.

A la empresa Nemark S.A. de C.V

A la empresa APM S.A. de C.V

A mi esposa quien además de su amor y comprensión, participó activamente colaborando con la operación del simulador.

Al Dr. Alberto Pérez Unzueta quien además de transmitir su amplia experiencia como investigador, siempre ha mostrado una gran amistad.

A la Dra. Dora Irma Martínez por sus aportaciones y por su gran amistad.

Al Dr. Rafael Mercado Solís por sus aportaciones y gran amistad.

Al Dr. Zygmunt Haduch Suski, Dr Manuel Delgado Rosas, Dr. Mario Cantú, Ing. Fco Dávila Rodríguez, Sr. Jesús Salinas, a los hermanos Flores Flores, Ing. Fraga, Ing. Raymundo, M.C. Horacio Villarreal, M.C. M. Trejo, Ing. Jesús Castillo, Ing. José Fernández, M.C. Fco Reyna, M.C Gabriel Cerecero, M.C Fernando Morales a Héctor y al M.C. Pedro Pérez quienes aportaron sus conocimientos, experiencias y apoyo para la realización de este trabajo.

A los profesores del DIMAT: Dr. Rafael Colas Ortiz, Dr. Alan Castillo, Dra. Ana María Guzmán, Dra. Martha Guerrero por sus enseñanzas y ánimos durante el desarrollo de mi doctorado.

A mis compañeros del DIMAT. Julián, Rodrigo y Manuel por su amistad y ánimos.

ÍNDICE

Resumen

Capítulo 1	INTRODUCCIÓN	1
Capítulo 2	ANTECEDENTES	6
2.1	La prótesis total de cadera	6
2.2	Aleaciones biocompatibles para implantes quirúrgicos	7
2.3	Aleaciones base cobalto	8
2.3.1	Especificaciones ASTM para aleaciones Co-Cr-Mo-C	10
2.3.2	Elementos microaleantes	14
2.3.3	Transformación alotrópica del cobalto	15
2.3.4	Microestructura	15
2.3.5	Tratamientos térmicos en aleaciones base cobalto para uso quirúrgico	17
2.4	Lubricación	20
2.4.1	Lubricación hidrodinámica	20
2.4.2	Lubricación elastohidrodinámica	21
2.4.3	Lubricación al límite	21
2.4.4	Lubricación sólida	21
2.4.5	Lubricación mixta	22
2.5	Mecanismos de desgaste	22
2.5.1	Desgaste abrasivo	22
2.5.2	Desgaste adhesivo	23
2.5.3	Desgaste por fatiga	24

Capítulo 3	EXPERIMENTACION	26
3.1	Diseño de la experimentación	26
3.1.1	Introducción	26
3.1.2	Diseño experimental	27
3.1.3	Plan experimental	28
3.2	Obtención de muestras	29
3.2.1	Proceso de fabricación de muestras-prototipo	29
3.2.1.1	Diseño de muestras-prototipo	29
3.2.1.2	Diseño de moldes	31
3.2.1.3	Obtención de muestras-prototipo en cera	32
3.2.1.4	Diseño de colada y ensamble	34
3.2.1.5	Preparación de la superficie para recubrimiento cerámico	35
3.2.1.6	Recubrimiento cerámico	36
3.2.1.6.1	Preparación de lodos cerámicos y su acondicionamiento	36
3.2.1.6.2	Recubrimiento cerámico de los árboles en cera	39
3.2.1.7	Proceso de extracción de cera	42
3.2.1.8	Sinterización y precalentamiento	43
3.2.1.9	Fusión y vaciado de la aleación Co-Cr-Mo-C	44
3.2.1.10	Acondicionamiento	49
3.2.1.11	Maquinado de muestras	49
3.2.1.12	Pulido de muestras prototipo	50
3.3	Caracterización de prototipos en colada	52
3.3.1	Metodología	52
3.3.2	Análisis químico	53
3.3.3	Tratamientos térmicos	53

3.3.4	Microscopía óptica	56
3.3.5	Análisis de imágenes	56
3.3.6	Microscopía electrónica de barrido (MEB)	56
3.3.7	Análisis de superficies	57
3.3.8	Medición de esfericidad y huelgo	58
3.4	Diseño y construcción de una máquina de desgaste para las muestras prototipo de cadera	59
3.4.1	Antecedentes	59
3.4.2	Diseño	61
3.4.2.1	Descripción y funcionamiento	62
3.4.3	Procedimiento para la operación de la máquina de desgaste	68
3.4.4	Procedimiento para la medición de la fricción de las muestras prototipo	72
3.5	Pruebas tribológicas	75
3.5.1	Diseño de pruebas	75
3.5.2	Mediciones gravimétricas	75
Capítulo 4	RESULTADOS	77
4.1	Análisis químico	77
4.2	Análisis microestructural	78
4.2.1	Microscopía óptica (MO) de muestras testigo	78
4.2.2	Cuantificación de fases secundarias	86
4.3	Microscopía electrónica de barrido (MEB)	88
4.3.1	MEB para muestras testigo “T” y muestras prototipo “MP” de bajo carbono	88
4.3.2	MEB para muestras testigo “T” y muestras prototipo “MP” de alto carbono	94
4.4	Dureza	98
4.5	Caracterización geométrica de las muestras prototipo (MP)	98

4.5.1	Rugosidad	98
4.5.2	Esfericidad (error de forma) y huelgo	99
4.6	Resultados de pruebas tribológicas	100
4.6.1	Contacto	100
4.6.1.1	Área nominal de contacto	100
4.6.1.2	Torque de fricción	105
4.6.2	Desgaste	106
4.6.2.1	Desgaste total	106
4.6.2.2	Desgaste en cabezas y en las copas de las muestras prototipo	106
4.6.2.3	MEB a 100 mil ciclos	108
4.6.2.4	MEB a 300 mil ciclos	115
4.6.2.5	MEB a 500 mil ciclos	120
Capítulo 5	DISCUSION	129
5.1	Composición química	129
5.2	Análisis microestructural	130
5.2.1	Estructura de colada	130
5.2.2	Tratamiento de solución	131
5.2.3	Tratamiento combinado	132
5.3	Diseño de la máquina de desgaste	134
5.4	Desgaste	135
5.4.1	Contacto	135
5.4.2	Relación del desgaste con el huelgo y con los carburos	138
5.4.3	Mecanismos de desgaste	141
Capítulo 6	CONCLUSIONES	147
	RECOMENDACIONES	149
	REFERENCIAS	

Lista de Figuras

Lista de Tablas

Anexos

- A1** Estudio de factibilidad
- A2** Simuladores de cadera
- A3** Historia de los implantes de cadera total de contacto metal-metal
- A4** Programa CNC utilizado para el maquinado de las muestras prototipo
- A5** Especificaciones técnicas de la MMC EOS
- A6** Fracción de carburos, dureza y rugosidad

Resumen autobiográfico

RESUMEN

Las primeras prótesis de cadera en contacto metal-metal fueron implantadas durante la década de los 60's. Muchos de estos implantes mostraron resultados insatisfactorios debido a diseños pobres y a bajos controles de calidad en su procesamiento. Sin embargo, en los casos donde los implantes duraron más de 20 años, las superficies de contacto permanecían aún con un acabado espejo, con pequeños cambios dimensionales y bajo desgaste. Estos resultados trajeron un renacimiento para los implantes metal-metal que en aquella época eran totalmente desplazados por los pares: metal-polietileno. El presente trabajo evalúa la influencia de los parámetros dimensionales y microestructurales, sobre el comportamiento tribológico de muestras prototipo metal-metal fundidas en aleación Co-Cr-Mo-C. Un total de 12 pares (copa y esfera) fueron fabricados mediante la técnica de "investment casting"; en su procesamiento, se varió el contenido de carbono, la microestructura mediante tratamientos térmicos y el huelgo diametral. Para probar las 12 muestras prototipo, se diseñó y construyó un simulador de cadera el cual es capaz de proporcionar condiciones extremas. Durante los 500 mil ciclos de prueba, el simulador utilizó el movimiento flexión-tensión (+/- 23°) bajo una frecuencia de 1.5 Hz a una carga constante de 2KN. Como lubricante se utilizó suero bovino el cual se intercambiaba cada 100 mil ciclos. Los resultados experimentales después de 500 mil ciclos demuestran que la velocidad de desgaste es influenciada principalmente por el huelgo diametral. En las muestras de alto huelgo el principal mecanismo de desgaste fue el de abrasión, mientras que para las muestras de bajo huelgo el mecanismo de desgaste predominante fue el de fatiga. Por otra parte, las microestructuras con contenidos de carburos cerca del 10% (colada y tratamiento combinado), mostraron una mejor resistencia al desgaste que los ensambles en donde las cabezas femorales, tuvieron menor cantidad de carburos debido al tratamiento de solución. El contenido más alto del carbono incrementa la resistencia al desgaste solamente si se encuentra precipitado como carburos y no como solución dentro de la matriz.