

Nombre del curso: Tribología

Posgrado en Ciencia de Materiales

Código del curso: Tipo de curso: Curso, Taller

Curso: Optativa Ciclo:

Duración total del curso: 128 h

- 64 h de teoría
- 64 h de trabajo individual

Horas semanales:

- 4 horas de curso
- 4 horas de trabajo individual

Créditos. 12 Fecha de actualización: septiembre 2011

Objetivos del curso

El alumno conocerá los antecedentes históricos e importancia actual de la tribología.

Aplicará la caracterización de superficies mediante perfilometría resolverá problemas que impliquen aplicación de conocimientos de contacto superficial y fricción.

Identificará los diferentes modos y mecanismos de desgaste, y será capaz de diseñar experimentos para la cuantificación del desgaste.

Actividades de aprendizaje

La parte teórica se realizará de manera expositiva, y se realizarán caracterizaciones superficiales mediante perfilometría. Se realizará experimentos ilustrativos de desgaste como erosión y abrasión.

Criterios de evaluación y acreditación

La calificación final en el curso se integrará de la siguiente manera:

Exámenes 60%

Tareas y reportes 20%

Temas de exposición 20%

Se tiene previsto la realización de dos exámenes parciales, sobre los contenidos específicos discutidos en clase hasta esa fecha.

Programa

1.- Introducción a la tribología (6horas)

1.1 Antecedentes históricos

1.2 Importancia de la tribología

1.3 Contexto actual de la tribología

2

2.- Topografía y contacto entre superficies (14 horas)

2.1 Medición de topografía superficial

2.2 Rugosidad

2.3 Contacto entre superficies sólidas

2.4 Mecánica de contacto; Teoría Hertziana

3.- Fricción (10 horas)

3.1 Leyes de la fricción

3.2 Teoría de la fricción

3.3 Fricción en diferentes materiales

4.- Desgaste deslizante (10 horas)

4.1 Métodos de prueba

4.2 La ecuación de Archard

4.3 Mecanismos de adhesión

4.4 Desgaste deslizante de metales

4.5 Mecanismos de desgaste deslizante

4.6 desgaste de metales por fretting

5.- Desgaste por partículas duras (14 horas)

5.1 Introducción y terminología

5.2 Propiedades de la partícula

5.3 Desgaste abrasivo. Mecanismos y métodos de prueba

5.4 Desgaste erosivo por partículas sólidas. Mecanismos y efecto de diversas variables.

6.- Lubricación (10 horas)

6.1 Viscosidad

6.2 Aceites y grasas

6.3 Lubricación hidrodinámica

6.4 Lubricación elastohidrodinámica

6.5 Lubricación frontera

6.6 Lubricación sólida

Bibliografía:

*G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor, **Engineering Tribology (Tribology Series, 24)**, ISBN 0444892354, 1993

* ASM Handbook Vol. 18 , **Friction, Lubrication and Wear Technology**, American Society of Metals.

*I.M. Hutchings, **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**, ISBN 0849377641, 1992

*T.A. Stolarsky, **Tribology in Machine Design**, Butterworth Heinemann.

3

* A. Schey John, **Tribology in Metalworking, Friction, Lubrication and Wear**; ASM, 1984 (Friction in metalworking, p11-25)

*Barath Bhushan, B.K. Gupta; **Handbook of Tribology, Materials, Coatings and Surface treatments**; KRIEGER, 1997.

Nombre del curso: **Fundamentos de Tribología**

Duración: **30 horas** Instructor: **Dr. Andrés López Velázquez**

Contenidos

Introducción (2 horas)

- Objetivos técnico-económicos de la tribología
- Ramas de la tribología
- Términos fundamentales
- Sistema tribotécnico y tribológico
- Tribología e ingeniería

Fricción (8 horas)

- Breve evolución histórica de los estudios sobre la fricción
- Naturaleza de la fricción
- Definición y tipos de fricción
- Factores que afectan la fricción seca
- Selección del coeficiente de fricción
- Métodos experimentales para la determinación de las fuerzas y momentos de fricción
- Análisis de los resultados experimentales de ensayos de laboratorio

Mecánica del Contacto (5 horas)

- Características de la microgeometría superficial
- Parámetros de la rugosidad y las ondulaciones
- Criterios para la evaluación de la rugosidad superficial
- Rugosidad de superficies asentadas
- Modelos físicos de contacto
- Contacto elástico
- Contacto plástico
- Tensiones de contacto
- Determinación de las tensiones de contacto para los diferentes modelos de Hertz

Desgaste (5 horas)

- Definición y dinámica del desgaste.
- Mecanismos del desgaste
- Indicadores del desgaste
- Métodos experimentales para la determinación de los valores absolutos del desgaste
- Tipos de desgaste
- Factores que definen el desgaste
- Diagnostico del desgaste
- Métodos para el estudio de los parámetros del desgaste
- Instalaciones experimentales para el estudio del desgaste

Lubricación (10 horas)

- Obtención de los aceites lubricantes
- Propiedades de los aceites lubricantes
- Regímenes de lubricación.
- Lubricación hidrodinámica.
- Lubricación elastohidrodinámica
- Lubricación límite
- Lubricantes. Clasificación, selección y aplicación
- Aceites para motores de combustión interna
- Aceites lubricantes para transmisiones
- Características de los lubricantes para engranajes
- Aceites lubricantes para compresores
- Aceites para sistemas hidráulicos
- Lubricación de cojinetes de rodamientos
- Lubricación de cojinetes de deslizamiento
- Análisis de lubricantes. Ensayos mecánico – dinámicos

Nombre del curso: **Lubricación de Maquinaria**

Duración: **30 horas** Instructor: **Dr. Andrés López Velázquez**

Contenidos

Lubricación de motores de combustión interna (10 horas horas)

- Aceites para motores de combustión.
- Composición de los aceites lubricantes para motores.
- Características de los lubricantes para motores de combustión interna.
- Clasificación API/ASTM/SAE de calidad de los aceites para motor (Gasolina y Diesel).
- Regeneración de los aceites para motores.

Lubricación de engranajes (5 horas)

- Características de los lubricantes para engranajes.
- Requisitos de un lubricante para engranajes.
 - Clasificación de los lubricantes para engranajes.
 - Sistemas de lubricación de los engranajes.
 - Selección de los aceites lubricantes para engranajes.

Lubricación de cojinetes (5 horas)

- Lubricación de rodamientos.
- Lubricación de cojinetes de deslizamiento

Lubricación de compresores (5 horas)

- Aceites lubricantes para compresores.
- Aditivos utilizados en los aceites para compresores.
- Características de los lubricantes para compresores.
- Sistemas de lubricación para compresores.
- Selección de lubricantes para compresores.

Lubricación de turbinas (5 horas)

- Características del aceite para turbinas.
 - Condiciones de operación del lubricante para turbinas
 - Clasificación de los lubricantes para turbinas
 - Selección de lubricantes para turbinas

Nombre del curso: Películas delgadas duras

Código del curso: Tipo de curso: Curso - Taller

Curso: Optativo Ciclo: Segundo semestre

Duración total del curso: 128 hrs

- 28 horas de teoría
- 28 horas taller
- 8 horas de laboratorio
- 64 horas trabajo

individual

Horas semanales:

- 2 curso
- 2 taller
- 4 trabajo individual

Créditos: 8 Fecha de actualización: Marzo/2006

Prerrequisito: Propiedades de materiales I

Objetivos generales

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre el crecimiento y aplicaciones de los recubrimientos duros. Que el estudiante sea capaz de aplicar y evaluar recubrimientos para mejorar la resistencia a la corrosión y al desgaste de aceros.

Objetivos particulares

Que el estudiante conozca los métodos para controlar las propiedades en películas delgadas y recubrimientos. Que el estudiante sea capaz de interpretar los resultados de las caracterizaciones estructurales y de propiedades de los recubrimientos. Que sea capaz de correlacionar la resistencia a la corrosión con la microestructura.

Actividades de aprendizaje

Se impartirá el contenido de los cursos en el aula y algunos temas serán tratados en forma de seminario con la participación de los estudiantes en la exposición. Como parte fundamental del curso el alumno elaborará un reporte de los resultados de la caracterización de los recubrimientos proporcionados por el profesor después de

realizar los depósitos. Se depositaran grupos de muestras a diferentes condiciones como la temperatura del sustrato y su polarización, las muestras se distribuirán entre los alumnos y al final se discutirán las diferencias en la microestructura y en sus propiedades. Para depositar los recubrimientos se realizará una práctica presencialparticipativa. Para caracterizar los recubrimientos el estudiante realizará la práctica con la supervisión del profesor.

Forma de evaluación

40% Examen

40% Reporte escrito de los resultados de la caracterización

20% Exposición del reporte de los resultados de la caracterización

Contenido

1. Recubrimientos metalúrgicos

1.1. Materiales para recubrimientos duros

4.1.1 Recubrimientos metálicos

4.1.2 Recubrimientos cerámicos

4.1.3 Carburos

4.1.4 Nitruros

4.1.5 Recubrimientos de carbono: DLC y diamante

1.2 Tratamientos superficiales

2. Medición de las propiedades de los recubrimientos

2.1 Mecánicas

2.2 Tribológicas

2.3 Electroquímicas

2.4 Composición, Estructura y Morfología

3. Correlación de las propiedades con los parámetros de depósito

3.1 Características del plasma (densidad, temperatura, V_p - V_f)

3.2 Reacciones en el plasma

3.3 Bombardeo de las películas en crecimiento

3.3.1 Energía de los adátomos

3.3.2 Calentamiento atómico

3.3.3 Relación de arribo ión-átomo y energía de las partículas

3.4 Relación entre la microestructura y las propiedades

4. Multicapas

4.1 Características de multicapas respecto a monocapas

4.2 Efectos del periodo y la composición en la deformación y fractura de multicapas

4.3 Depósito de multicapas

4.4 Control de las propiedades de multicapas nanoestructuradas

4.5 Multicapas metal-cerámico

5. Aplicaciones

5.1 Aplicaciones tribológicas

5.2 Resistencia a la corrosión y biomateriales

5.3 Recubrimientos multifuncionales

6. Depósito y Caracterización

- Depósito de recubrimientos, preparación del sustrato, parámetros de depósito por espurreo.

- Identificación de fases, y medición microestructura de recubrimientos de TiN por DRX

- Medición de la resistencia a la corrosión en recubrimientos

- Medición y cálculo de tensiones en películas por DRX

7. Prácticas de laboratorio

1. Depósito de recubrimientos con las condiciones y con la combinación sustrato-película diseñadas por el estudiante.

2. Medición de la corrosión electroquímica, comparación entre las muestras depositadas y el sustrato.

3. Identificación de fases por DRX

4. Cálculo del tamaño de grano y de tensiones por DRX.

Bibliografía.

1. B. Bhushan, B.K. Gupta, Handbook of Tribology Materials, Coatings, and surface Treatments, Krieger Publishing Company, (1997).
2. S. Rossmagel, J. Cuomo y W.D. Westwood, editores, *Handbook of Plasma Processing Technology*, Noyes Publications, (1990).
3. Maissel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)
4. Vossen J.L., Kern W., Eds., *Thin film processes*, Academic Press (1978)
5. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academic Press (1992)
6. B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Wesley, (1978).
7. D. A. Jones, Principles and prevention of corrosion, Macmillan, (1992).

Artículos de revistas

1. G.S. Was and T. Foecke, *Deformation and Fracture in microlaminates*, Thin Solid Films, 286, pp. 1-31, (1996).
2. Stephen J. Lloyd and Jon M. Molina-Aldareguia¹, Multilayered materials: a palette for the materials artist, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* (2003

Nombre del curso: Procesamiento y Caracterización de Películas Delgadas

Código del curso: IP 616 Tipo de curso: Curso - Taller

Curso: Optativo Ciclo: Segundo semestre

Duración total del curso: 128 hrs

- 32 horas de teoría
- 32 horas de taller
- 64 horas trabajo

individual

Horas semanales:

- 2 curso
- 2 taller
- 4 trabajo individual

Créditos: 8 Fecha de actualización: Mar/2006

Prerrequisito: Estructura y caracterización de materiales

Objetivo del curso

Dar una formación especializada a los estudiantes sobre procesamiento por métodos de vacío y caracterización de películas delgadas.

Contenido temático: Ciencia y tecnología del vacío. Métodos físicos de depósito.

Métodos químicos de depósito. Estructura y formación de películas. Caracterización de películas.

CONTENIDO TEMÁTICO SINTÉTICO.

1. Tecnología del vacío (4 HORAS)

- Teoría cinética de gases
- Clasificaciones del vacío y sus características de presión, y camino libre medio.
- Transporte de gases y bombeo
- Bombas mecánicas, difusoras y turbo moleculares
- Medidores de presión y de flujo másico

2. Métodos físicos de depósito de películas (16 HORAS)

- Técnicas PVD, evaporación, chapeado iónico, arco catódico.
- Fundamentos de la descarga gaseosa y conceptos generales de plasmas
- Erosión iónica (sputtering)
- Mecanismos de sputtering
- Eficiencia de sputtering
- Erosión iónica con magnetrón
- El campo magnético del magnetrón
- Tipos de Magnetrones (Cilíndrico, S-gun, Planar)
- Sputtering reactivo y su histéresis
- Haz de iones
- Preparación de superficies para depósito de recubrimientos y películas

3. Métodos químicos de depósito de películas (4 HORAS)

- Depósito por solución
- Fundamentos de depósito por CVD
- Métodos físico – químicos de depósito

4. Crecimiento de películas (12 HORAS)

- Capilaridad
- Procesos de nucleación
- Diagramas de zonas de microestructura
- Técnicas de control del crecimiento
- Morfología de los granos

Capítulo 5. Caracterización de películas (16 horas)

- Espesor
- Rugosidad
- Caracterización de estructura y microestructura
- Caracterización de composición
- Medición de propiedades Mecánicas

- Medición de propiedades electrónicas

6. Temas optativos (8 horas)

- Medición de la densidad por RBS

- Medición del perfil de composición por AES y RBS.

- Medición de tensiones por DRX

Bibliografía.

1. Maisel L., Glang R., *Handbook of thin film technology*, McGraw Hill (1970)

2. Vossen J.L., Kern W., Eds., *Thin film processes*, Academic Press (1978)

3. Ohring M., *The materials science of thin films*, Academic Press (1992)

4. S. Rossnagel, J. Cuomo y W.D. Westwood, editores, *Handbook of Plasma Processing Technology*, Noyes Publications, (1990).

Nombre del curso: Tratamientos termoquímicos de nitruración

Intención del curso en el contexto general del plan de estudios

Presentar un panorama general de tecnologías asistidas por plasmas para la confección de películas finas para diversas aplicaciones funcionales. Explicar los principios de generación de plasmas para diversas aplicaciones tecnológicas.

Objetivo general de la materia

Describir características de tratamientos termoquímicos asistidos por plasmas, describir fenómenos de superficie en tratamientos de superficie. Relacionar microestructuras en aceros nitrurados. Descripción de las principales tecnologías.

1. Introducción al proceso de nitruración

- a. Consideraciones metalúrgicas
- b. Consideraciones de procesos de tratamientos termoquímicos
- c. Formación de capas compactas de nitruros.

2. Microestructuras de nitruros en hierro y aceros.

- a. Influencia del carbono en la zona de compuestos
- b. Control del espesor de la zona de compuestos.
- c. Características de la zona de difusión.

3. Hornos y sistemas de control

- a. Características esenciales en el diseño de un horno
- b. Tipos de hornos de nitruración
- c. Calentamiento de hornos.

4. Nitruración por sales

- a. Comparativo de la nitruración por sales
- b. Tinas en baños de sales
- c. Precauciones y mantenimientos en baños de sales.

5. Características de capas blancas y zonas de compuestos

- a. Reducción de la zona de compuestos
- b. Control de la zona de compuestos
- c. Criterios para determinar profundidades de capa.

6. Nitruración por plasma

- a. Descripción de plasmas en procesos de nitruración.
- b. Instrumentos esenciales de control en procesos asistidos por plasma.
- c. Reacciones de superficie en procesos asistidos por plasma.

7. Operación con procesos asistidos por plasma

- a. Características de reacciones de superficie en variedad de aceros.
- b. Aspectos metalúrgicos para generar propiedades en superficie con tratamientos por plasma.
- c. Características operacionales en procesos asistidos por plasma.

8. Procesos termoquímicos adicionales asistidos por plasma

- a. Carbonitruración
- b. Oxinitruración
- c. Oxi-carbo-nitruración.

9. Características esenciales de equipos de nitruración por plasma

- a. Reactores de paredes frías
- b. Reactores de paredes calientes
- c. Procesos de enfriamiento.

10. Nitruración con procesos de lecho fluidizado

- a. Método de calentamiento
- b. Parámetros para la nitruración
- c. Oxinitrurado.

Metodología de enseñanza y actividades de aprendizaje

Actividades de aprendizaje conducidas por el docente

1. Exposición del profesor de los temas, con cuestionamiento a los alumnos, videos y simulaciones que aclaran los conceptos fundamentales.
2. Desarrollo de ejercicios por parte del profesor para que los estudiantes se familiaricen con el procedimiento.
3. Los alumnos realizan problemas y analizan casos de forma colaborativa supervisados por el profesor.

Actividades de aprendizaje independiente

1. Realización de tareas de problemas, de forma individual y por equipos.
2. Investigación de tópicos relacionados con los temas del curso.

Tiempo estimado de cada tema

Tema 1: 3 horas

Tema 2: 6 horas

Tema 3: 6 horas

Tema 4: 3 horas

Tema 5: 3 horas

Tema 6: 6 horas

Tema 7: 3 horas

Tema 8: 3 horas

Tema 9: 3 horas

Tema 10: 3 horas

Total: 48 horas

Políticas de evaluación sugeridas

Para la evaluación del aprendizaje de los alumnos se cuenta con procedimientos y criterios que permiten dar seguimiento y evaluar los resultados del proceso de aprendizaje. Los procedimientos y la ponderación de cada uno de ellos son los siguientes:

30% --- Examen Medio Término.

15% --- Tareas, ejercicios y actividades.

20% --- Actividades Colaborativas.

5% --- Presentación individual.

30% --- Examen Final.

Bibliografía sugerida

Libro de texto:

* David Pye, Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing, ASM International.

* J. Grosch, Heat Treatment With Gaseous Atmospheres, Steel Heat Treatment Handbook. 1997,

p663-719.

* F.T. Hoffman y P.Mayr, Nitriding and Nitrocarburizing, Friction, Lubrication and Wear Technology. Vol 18, ASM Handbook, ASM International 1992.

* Milton Ohiring, Materials Science of Thin Films, Deposition & Structure, Academic Press, 2002.

Libros de consulta:

* Dororthy M. Hoffman, Bawa Singh, John H. Thomas, Handbook of Vacuum Science and Technology. Academic Press 1998.

* Brian Chapman, Glow Discharge Processes, Sputtering and Plasma Etching. John Wiley & Sons 1980.

* Peter Martin, Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings. Science Applications and Technology. Elsevier 2005.

Nombre del curso: **Tribología Aplicada**

Duración: **30 horas** Instructor: **Dr. Andrés López Velázquez**

Contenidos

Normas ASTM (10 horas horas)

- ☐ ASTM G 99
- ☐ ASTM G 65
- ☐ ASTM G 86
- ☐ ASTM D 5182
- ☐ ASTM D 4170
- ☐ ASTM D 3412
- ☐ ASTM D 2714
- ☐ ASTM D 2047
- ☐ ASTM D 5182
- ☐ ASTM D 1894
- ☐ ASTM G 132

Medición de la Fricción (5 horas)

- Métodos experimentales para la determinación de las fuerzas y momentos de fricción.
- Análisis de los resultados experimentales de ensayos de laboratorio

Medición de la Rugosidad de superficies (5 horas)

- Topografía de superficies
- Parámetros de la rugosidad y las ondulaciones.
- Criterios para la evaluación de la rugosidad superficial
- Rugosidad de superficies asentadas
- Determinación de las tensiones de contacto para los diferentes modelos contacto de Hertz

Desgaste (5 horas)

- Diagnóstico del desgaste
- Métodos para el estudio de los parámetros del desgaste.
- Instalaciones experimentales para el estudio del desgaste.

- Caracterización del tipo de desgaste
- Instalaciones experimentales para el estudio del desgaste

Evaluación del desempeño de lubricantes (5 horas)

☒ Análisis de aceite lubricante

- ☒ Ensayo de Viscosidad
- ☒ Ensayo de grasas lubricantes