

Carrera: Doctorado en Física.

Curso: Micromecanismos de deformación plástica en sólidos cristalinos

Docentes: Dra. Silvia Urreta.

Dra. Gabriela Pozo López

Carga horaria total: 120 horas

Modalidad: teórico-práctico

Evaluación: Dos exámenes parciales y un examen final individual y de carácter integrador.

Objetivo: Describir los micromecanismos de deformación plástica, de fatiga y de fractura en materiales cristalinos y su relación con la microestructura de los mismos. Interpretar los contrastes en imágenes de microscopía electrónica de transmisión para caracterizar las diferentes microestructuras. Aplicar los conceptos aprendidos al diseño de materiales con prestaciones específicas.

Conocimientos previos requeridos: Conceptos básicos de la Física de los Materiales.

Contenido curricular

1. Red cristalina

Red cristalina. Enlaces. El potencial de pares. Enlace iónico. Enlace covalente. Enlace metálico. Sólidos amorfos y cristalinos. Cristales iónicos, cristales covalentes y cristales metálicos. Propiedades de los sólidos dependientes del tipo de potencial de interacción: temperatura de fusión, módulo elástico y coeficiente de dilatación térmica.

2. Estructuras cristalinas.

Redes espaciales. Celda unitaria. Celda Primitiva. Redes de Bravais. Principales estructuras cristalinas metálicas. Cristales cúbicos: simples (SC), centrados en las caras (FCC), centrados en el cuerpo (BCC). Estructura Hexagonal (HCP). Otras estructuras cristalinas. Índices de Miller. Índices de planos y direcciones cristalográficas en sistemas cúbicos y hexagonales. Número de coordinación. La red recíproca.

3 Difracción por cristales

Rayos X. Difracción de rayos X. Difracción por un cristal. Ley de Bragg. Amplitud de la onda difractada. Condiciones de difracción. Zonas de Brillouin. Factor de estructura. Difracción de electrones. Difracción de neutrones. Definición

4. Defectos cristalinos

Defectos puntuales simples: vacancias, intersticiales e impurezas. Defectos de Frenkel y Shottky. Impurezas sustitucionales e intersticiales. Energía libre de formación de defectos puntuales. Concentración de equilibrio de defectos puntuales. Defectos lineales en cristales. Dislocaciones. Defectos planos y volumétricos en cristales. Bordos de grano. Policristales. Monocristales. Composites. Poros internos. Cavitación. Interfases. Precipitados estables y metaestables.

5. Microestructuras

Definición de microestructura. Ejemplos. Cristales deformados. Bandas de deslizamiento Superficies de fractura. Subestructuras de fatiga. Láminas delgadas. Materiales nanoestructurados. Nanodots, Nanohilos. Nanotubos, Nanopartículas. Amorfos. Observación de microestructuras y nanoestructuras.

6. Caracterización de microestructuras

Microscopio óptico metalográfico. Difracción de Rayos X. Fórmula de Scherrer. Microscopio electrónico de barrido (MEB). Microsonda de electrones. Análisis de la composición. Microscopio electrónico de transmisión (MET). Microscopio de fuerza atómica (AFM). Microscopio de fuerza magnética (MFM). Microscopio de efecto túnel. Interpretación de los contrastes para las diferentes técnicas.

7. Microscopía electrónica de transmisión

Hardware, principales características y operación de un microscopio electrónico de transmisión. Formación de patrones de difracción e imágenes. Patrón de eje de zona, condición de dos haces, ejemplos e indexación de patrones de difracción. Campo claro y campo oscuro. Contraste de difracción. Bandas de espesor y de doblado. Análisis de defectos cristalinos empleando contraste de difracción: precipitados,

fallas de apilamiento, dislocaciones. Ejemplos. Análisis de microestructuras complejas. Microscopía electrónica de alta resolución (HRTEM), contraste de fase.

8. Propiedades Mecánicas

Elasticidad lineal.

Características y base física del comportamiento elástico. Elasticidad isotrópica. Módulos elásticos. Elasticidad anisotrópica. Viscoelasticidad. Histéresis mecánica. Espectroscopía mecánica.

Fluencia

Tensión de fluencia, Deformación plástica. Micromecanismos de fluencia. Barreras de Peierls. Corte de precipitados. Mecanismo de Orowan.

Plasticidad

El ensayo tensil. Tensión nominal y verdadera. Deformación nominal y verdadera. Diagrama de tensión-deformación nominal. Diagrama de tensión verdadera-deformación verdadera. Deformación plástica de monocristales y policristales. Micromecanismos de deformación plástica y de endurecimiento por deformación. Energía almacenada durante la deformación plástica. Mapa de micromecanismos de deformación. Micromecanismos de acumulación de daño. Inestabilidad plástica. Condición de Considère. Análisis de microestructuras deformadas plásticamente. Ejemplos.

Fractura

Introducción. Mapa de micromecanismos de fractura. Diversos modos de fractura. Tipos de fractura a bajas temperatura. Relación entre microestructura y mecanismos de fractura. Fractura frágil o rápida. Condiciones críticas para la fractura rápida. Micromecanismos de fractura rápida. Tenacidad a la fractura. Fractura dúctil. Superficies de fractura. Concentración de tensiones y tenacidad a la fractura. Filosofía para el diseño. Ensayos de fractura por impacto: técnicas de ensayo por impacto. Transición dúctil-frágil.

Termofluencia o Creep

Propiedades mecánicas de los materiales a alta temperatura. La curva de creep. Estadios de creep: primario, secundario o estacionario y terciario. Micromecanismos de creep. Falla por creep. Fractura intercrystalina. Aplicaciones prácticas de los datos de termofluencia. Materiales resistentes al creep. Ejemplos.

Fatiga

Tensiones cíclicas. La curva tensión-deformación durante el ciclado. La curva S-N. Iniciación y propagación de grietas. Falla por fatiga. Evolución de la microestructura durante el ciclado. Velocidad de propagación de grietas. Factores que afectan a la vida en fatiga. Características de la fractura por fatiga. Evaluación de la resistencia a la fatiga. Fatiga producida por tensiones térmicas cíclicas.

9. Materiales compuestos (composites)

Filosofía del composite. Predicción de propiedades. Propiedades elásticas. Condiciones de Isodeformación e Isocarga. Longitud crítica para la transferencia de carga. Filamentos continuos y discontinuos. Refuerzos Particulados. Laminados. Deformación y fractura de composites. Tenacidad a la fractura. Arranque de fibra. Alta resistencia y tenacidad combinadas.

10. Ejercicios, Problemas de aplicación y seminarios grupales sobre diferentes tópicos.

Bibliografía

J. Verhoeven; *Fundamentals in physical metallurgy*. John Wiley & Sons Inc. New York.

M. Ashby and D. R. H Jones; *Engineering Materials, vol. 1*. Butterworth-Heinemann Oxford.

M. Ashby and D. R. H. Jones; *Engineering Materials, vol. 2. An introduction to Microstructures, Processing and Design* Butterworth-Heinemann Oxford

C. Kittel; *Introduction to Solid State Physics*, John Wiley & Sons, Inc. New York.

R. W. Cahn. *Physical Metallurgy*, North Holland Publishing Company, Amsterdam.

W. D. Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* I y II Reverté ,1997.

D. R. Askeland y P. P. Phulé, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4ª edición, Tompson International, 2004.

John Dorn *Mechanical Behavior of Materials at Elevated Temperatures*, First Edition, Mcgraw Hill; January 1, 1961

D. Hull and T. W. Clyne *An Introduction to Composite Materials*. Sec. Editor. Cambridge Solid State Science Series, Aug 13, 1996.

Publicaciones seleccionadas por el profesor.

Silvia E. Urreta

Gabriela Pozo López