



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE POSGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

COMPONENTE: ELECTIVOS PROFUNDIZACIÓN / MECÁNICA DE SÓLIDOS
ASIGNATURA: MECÁNICA DE CONTACTO APLICADA A LA CARACTERIZACIÓN DE SUPERFICIES
CÓDIGO: 780064
CRÉDITOS: 4
HORAS DE TRABAJO: PRESENCIAL:3 - INDIVIDUAL: 9

OBJETIVO GENERAL

Al finalizar el curso los estudiantes estarán en capacidad de explicar, con lenguaje técnico y científico, el comportamiento macroscópico de los materiales más comunes solicitados a esfuerzos de contacto, a partir de los fundamentos de la teoría de la elasticidad y plasticidad, entender el alcance y limitaciones de las técnicas de caracterización con base en mecánica del contacto y llevar a cabo experimentos interpretando correctamente los hallazgos.

CONTENIDOS

1. **Revisión de conceptos fundamentales:** Ecuaciones de compatibilidad. Relaciones Esfuerzo deformación. Ley de Hooke generalizada. Ley de Hooke generalizada en términos de constantes elásticas de Ingeniería. Energía de deformación. Principio de Saint-Venant. Deformación plana. Esfuerzo plano. Funciones esfuerzo de Airy.
2. **Contacto elástico:** Fuerzas concentradas normales y tangenciales, Fuerzas distribuidas normales y tangenciales. Contacto lineal. Contacto puntual. Presión uniforme. Campos de esfuerzo y deformación en contacto. Geometría de superficies suaves en contacto no conforme. Teoría de Hertz de contacto elástico. Contacto normal no-Hertziano. Indentación cónica. El módulo reducido.
3. **Contacto normal elastoplástico:** Inicio del flujo plástico en contacto. Comportamiento plástico idealizado. Teoría de las líneas de deslizamiento. Indentación elastoplástica. Trabajo plástico. Endurecimiento por deformación. Tensión equivalente. Incremento de deformación plástica equivalente. Teoría de la deformación total. Descarga en indentación elastoplástica. Esfuerzos residuales.
4. **Indentación instrumentada:** Principios generales. Tipos de indentadores. Equipo básico instalación y cuidados. Montaje y preparación de los cuerpos de prueba. Curvas de carga vs desplazamiento. Correcciones necesarias: compliance del equipo, profundidad inicial, función de área, thermal Drift. El método de Oliver y Pharr: capacidades y limitaciones, pile-up y sinking-in, cálculo de dureza, cálculo de módulo elástico. Otros algoritmos. Cálculo de esfuerzo de fluencia. Cálculo de coeficiente de endurecimiento.
5. **Técnicas de nanoindentación:** Prueba de indentación dinámica. Caracterización de películas delgadas. Prueba de rayado. Creep. Tenacidad a la fractura. Cálculo de esfuerzos residuales. Pruebas en alta temperatura.



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE POSGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

6. **Tópicos especiales:** Según los intereses y perfil de los participantes del curso se abordarán con base en el estudio de la literatura y la experimentación en laboratorio temas especiales del área como: efecto del tamaño de la indentación y plasticidad cristalina entre otros.

METODOLOGÍA

Se llevarán a cabo clases magistrales con ayudas audiovisuales y se complementarán con la lectura y discusión de los artículos incluidos en las referencias y otros especialmente seleccionados. Se realizarán prácticas de laboratorio de cada una de las técnicas estudiadas. Se realizará un trabajo aplicado con componente de revisión crítica de la literatura en un tema y experimentación usando algunas de las técnicas vistas en el curso.

EVALUACIÓN

- | | |
|------------------------------------|-----|
| 1. Dos exámenes parciales | 30% |
| 2. Tareas y discusión de artículos | 20% |
| 3. Proyecto de curso | 50% |

BIBLIOGRAFÍA

Textos:

1. Cripps A. Introduction to Contact Mechanics. Springer, Segunda edición, 2002
2. Johnson, K. L., "Contact Mechanics," Cambridge University Press. (1985)
3. Mase George E., y Mase George T., Continuum Mechanics for Engineers, CRC PRESS, C1999
4. McColm I. J., "Ceramic hardness," Plenum Pub Corp, (1990)
5. Tabor, D., "The hardness of Metals," Clarendon Press. Oxford, (1951)

Artículos:

1. Hertz, H., "On the Contact of rigid Elastic Solids and on Hardness," J. Reine angew Math. 92, 156 (1881), reimpresso en Hertz's Miscellaneous papers, cap 5 London, Macmillan
2. Harding, J.W. & Sneddon, and I.N - The elastic stresses produced by the indentation of the plane surface of a semi-infinite elastic solid by a rigid punch. In: Proc. Cambridge Philos. Soc., 41, 16-26 (1945).
3. Sneddon, I.N. - Boussinesq's problem for a rigid cone - In: Proc. Cambridge Philos. Soc., 44, 492-507 (1948).
4. Hirst, W., Howse, W., "The indentation of materials by wedges," Proc. Roy. Soc., A311 429-444 (1969)
5. Pharr, G.M, Oliver, W.C. & Brotzen, F.R. - On the generality of the relationship among contact stiffness, contact area, and elastic modulus during indentation. Journal of Materials Research, 7 (3), 613-617 (mar 1992).
6. Hill, R. G., Lee, H." The theory of wedge indentation of ductile materials," Proc. Roy. Soc. Lond., A188, 273-289 (1947)



**FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMAS DE POSGRADO
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA**

7. Hirst, W., Howse, W., "The indentation of materials by wedges," Proc. Roy. Soc., A311 429-444 (1969)
8. Marsh, D. M. "Plastic Flow in Glass," Proc. Roy. Soc. Lond., A279 420-435 (1963)
9. Evans, A. G., Charles, E. E., "Fracture Toughness determination by indentation," J. Amer Ceram. Soc., 59 [7-8] 371-72 (1976)
10. Quinn, J. B., Quinn, G. D., "Indentation Brittleness of Ceramics: a Fresh Approach," J. Mat. Sci., 32 4331-4346 (1997)
11. Lawn, B. R., "Indentation of Ceramics with Spheres: A Century after Hertz," J. Am. Ceram. Soc., 81 [8], 1977-1994, (1998).
12. Meza J. M., Farias C. M., Souza R. M. and Cruz J. Using the ratio: Maximum load over unload stiffness, P_m/S_u^2 , on the evaluation of machine stiffness and area function of blunt indenters on depth-sensing indentation equipment. Materials Research, Vol. 10 - 4, 437-447, 2007.
13. Rodríguez, Alcalá, J, S.A., Souza R. M. (2012) The reduced modulus in the analysis of Sharp instrumented indentation tests, Journal of Materials Research, 27 pp 2148 - 2160
14. Mady, C.E.K.; Rodríguez; S. A.; Gómez, A.; Souza, R. M., (2012) Numerical analysis of different methods to calculate residual stresses in thin films based on instrumented indentation data, Journal of Materials Research, 27 pp 1732-1741
15. Rodríguez, S.A., Souza, R. M. Alcalá, J., 2011. A critical reassessment of the elastic unloading in sharp-instrumented indentation experiments: mechanical properties extraction, Philosophical Magazine, 91 Issue 7 pp 1409 - 1423
16. Rodríguez, S.A.; Souza, R.M.; Alcalá, J., 2011 Effects of elastic indenter deformation on spherical instrumented indentation tests: The reduced elastic modulus, Philosophical Magazine Volume 91 Issue 7, pp 1370 - 1386
17. Rodríguez, S.A.; Farias, M.C.M.; Souza, R.M., Finite element and dimensional analysis algorithm for the prediction of mechanical properties of bulk materials and thin films, Surface and Coatings Technology, 205, 2010 pp 1386-1392
18. Mady, C.E.K.; Rodríguez; S. A.; Gómez, A.; Souza, R. M., Effects of mechanical properties, residual stress and indenter tip geometry on instrumented indentation data in thin films, Surface and Coatings Technology, 205, 2010 pp 1393-1397
19. Alcalá, J.; Esqué-de los Ojos, D.; Rodríguez, S. A., "The role of crystalline anisotropy in mechanical property extractions through Berkovich indentation", Journal of Materials Research, 24, p. 1235-1244, 2009.
20. Rodríguez, S. A.; Farias, M.C.M.; Souza, R.M., "Analysis of the effects of conical indentation variables on the indentation response of elastic plastic materials through factorial design of experiment", Journal of Materials Research, 24, p. 1222-1234, 2009.
21. Rodríguez, S. A.; Farias, M.C.M.; Souza, R.M., "Analysis of the tip roundness effects on the micro- and macroindentation response of elastic plastic materials", Journal of Materials Research, 24, p. 1037-1044, 2009.