



PLAN DE ESTUDIOS 2002

ASIGNATURA: **Pulvimetalurgia**

CÓDIGO: **M644**

ESPECIALIDAD/ES para las que se dicta: **Ingeniería Mecánica,
Ingeniería Electromecánica, Ingeniería en Materiales.**

Contenidos Analíticos:

1.1 FUNDAMENTOS DE LA PULVIMETALURGIA. Procesos pulvimetalúrgicos: Definición. Técnicas: Preparación y acondicionamiento de polvos; procesado; operaciones adicionales; modificaciones; terminación. Aplicaciones industriales: Metales refractarios. Metales compuestos. Combinaciones metal-no metal. Aleaciones de composición inusual. Metales de alta pureza. Cerámicos. Otras aplicaciones. Evaluación crítica: Ventajas. Limitaciones.

1.2 HISTORIA: Primeros desarrollos. Pulvimetalurgia del platino. La pulvimetalurgia en el siglo XIX. Desarrollos modernos.

2.1 PRODUCCIÓN DE POLVOS METÁLICOS. Atomización: Atomización por agua y por gas: Variables de atomización. Electrodo rotante. Disco rotante. Atomización por vacío. Solidificación ultrarrápida. Procesos de conducción. Procesos de convección. Métodos químicos: Reducción de óxidos. Precipitación desde una solución. Descomposición térmica. Precipitación desde soluciones salinas. Precipitación desde un gas. Descomposición de hidruros. Fragilización química. Reacción Termita. Electrodeposición: Polvo esponja. Proceso de cátodo frágil. Molienda: Fundamentos de la molienda. Parámetros de molienda y características de los polvos. Relación de energía. Procesos y mecanismos de molienda. Dispersión de óxidos, partículas duras, y desgaste. Equipos de molienda. Polvos de hierro: Proceso Höganäs. Proceso Pyron. Atomización por agua de hierro de bajo carbono. Proceso QMP. Proceso Domfer. Proceso carbonilo. Electrólisis. Lecho fluidizado. Polvos de acero: Aceros inoxidables. Aceros de baja aleación. Aceros para herramientas. Polvos de cobre: Reducción de óxido de cobre. Proceso Electrolítico. Propiedades de los polvos electrolíticos. Aplicaciones. Atomización de cobre. Proceso hidrometalúrgico. Polvos de aleaciones de cobre: Latones. Bronces. Alpacas. Polvos de estaño: Fusión. Atomización. Propiedades. Polvos de aluminio: Resumen histórico. Proceso de atomización. Boquilla de atomización. Proceso ALCOA. Tamaño y forma de los polvos. Propiedades físicas y químicas. Explosividad. Polvos de magnesio: A partir de magnesio sólido: Torneado. Limado. Molienda. A partir de magnesio líquido: Atomización. Emulsificación. Riesgos potenciales: Incendio. Explosión. Polvos de níquel y aleaciones de níquel: Proceso carbonilo. Carbonilos metálicos. Formación y descomposición de carbonilos. Procesos comerciales. Propiedades y aplicaciones de los polvos. Proceso hidrometalúrgico: Lixiviado. Purificación de la solución. Remoción del cobre. "Oxidrólisis". Recuperación del metal. Atomización de aleaciones de níquel. Polvos de cobalto: Proceso hidrometalúrgico. Descomposición térmica de óxido de cobalto. Atomización. Polvos de metales preciosos: Plata: Procesos químicos. Procesos electroquímicos. Procesos físicos. Reducción térmica. Oro, platino y paladio. Polvos de tungsteno, molibdeno y carburos



metálicos. Otros polvos metálicos: Tantalio y niobio. Titanio. Berilio. Polvos compuestos.
3.1 ACONDICIONAMIENTO DE POLVOS METÁLICOS: Tamizado. Limpieza: Remoción de contaminantes particulados. Remoción de contaminantes gaseosos. Recocido. Mezclado. Lubricación de los polvos. Riesgos asociados a la manipulación de polvos. Explosividad. Piroforocidad. Toxicidad. Agencias reguladoras y normas.

3.2 CARACTERIZACIÓN Y ENSAYO DE POLVOS METÁLICOS: Muestreo: Procedimientos de muestreo. Tamaño y distribución de tamaños de partículas: Análisis por tamizado. Métodos de ensayo normalizados. Análisis por difracción de luz: Principios de difracción. Instrumentación. Análisis por sedimentación: Métodos y equipos. Análisis por pasaje de una solución a través de una zona sensible. Microscopía y análisis de imágenes: Técnicas de medición de tamaño de partícula. Técnicas de muestreo. Microscopio óptico. Microscopio electrónico de transmisión. Microscopio electrónico de barrido. Determinación de superficie específica: Por permeametría. Por adsorción de gas. Forma de las partículas: Examen cualitativo mediante microscopía electrónica de barrido. Análisis químico volumétrico. Ensayo de pérdida de peso por reducción con hidrógeno. Determinación de insolubles en ácido. Otros métodos de análisis. Análisis químico superficial. Densidad aparente y fluabilidad de polvos metálicos: Factores que afectan la densidad aparente. Flujómetro de Hall y embudo de Carney. Densímetro de Scott. Densímetro de Arnold. Determinación de la densidad de polvo vibrado. Ensayos de velocidad de flujo. Variables que afectan la fluabilidad. Ángulo de reposo. Compresibilidad de polvos metálicos: Factores que afectan la compresibilidad. Normas de aplicación. Resistencia en verde de los compactos: Ensayos y normas de aplicación. Variables que afectan la resistencia en verde. Cambios dimensionales de los compactos sinterizados: Métodos de ensayo normalizados. Tolerancias dimensionales.

4. COMPACTACIÓN DE POLVOS.

4.1 FUNDAMENTOS MECÁNICOS: Empaquetamiento de polvos. Comportamiento de polvos metálicos bajo presión: Relación presión-densidad. Distribución de tensión y densidad en compactos. Resistencia en verde. Métodos de compactación para lograr densificación total.

4.2 CONDICIONAMIENTOS DE LA FORMA DEL PRODUCTO: Compactación en matrices rígidas: Diseño y llenado de la matriz: piezas de uno o de múltiples niveles. Capacidad y velocidad de las prensas. Matrices. Punzones. Secuencias de compactación en piezas de múltiples niveles.

4.3 PRENSAS Y HERRAMENTAL: Requerimientos de presión. Prensas mecánicas. Prensas hidráulicas. Comparación entre prensas mecánicas e hidráulicas: Velocidad de producción. Costos operativos. Protección por sobrecarga. Costos de equipamiento. Montaje de matrices. Clasificación de las piezas según su forma. Sistemas de montaje. Tipos de prensas. Diseño de matrices y herramental. Tensiones actuantes sobre los punzones. Materiales para la fabricación del herramental.

4.4 OTROS MÉTODOS DE COMPACTACIÓN EN FRÍO: Compactación isostática en frío. Compactación dinámica. Compactación por laminación de polvos. Método de Emley y Deibel. Extrusión de polvos con un plastificante. Moldeo por inyección.

5. SINTERIZACIÓN.

5.1 EQUIPOS: Hornos continuos. Diseño y métodos de calentamiento. Métodos de transporte. Control de temperatura. Hornos discontinuos. Hornos de sinterización en vacío.

5.2 ATMÓSFERAS: Propósitos de las atmósferas de sinterización. Tipos de atmósferas.



Reacciones de oxidación-reducción. Reacciones de carburación-descarburación.

5.3- SINTERIZACIÓN DE POLVO METÁLICO MONOFÁSICO. OBSERVACIONES EXPERIMENTALES: Densidad y resistencia en verde. Cambios dimensionales y de densidad durante la sinterización: Efecto de las propiedades del polvo y las condiciones de compactación y de sinterización. Efecto de la sinterización sobre las propiedades mecánicas.

5.4 MECANISMO DE SINTERIZACIÓN DE POLVO METÁLICO MONOFÁSICO: Etapa inicial: Fuerzas impulsoras. Mecanismos de transporte de materia. Etapas intermedia y final. Expansión debida a los gases atrapados.

5.5 SINTERIZACIÓN EN FASE SÓLIDA DE COMPACTOS DE MEZCLA DE POLVOS: Comparación entre polvos prealeados y mezcla de polvos elementales. Parámetros que afectan la interdifusión. Análisis cuantitativo de la interdifusión. Sinterización activada.

5.6 SINTERIZACIÓN CON FASE LÍQUIDA: Mecanismo de sinterización con fase líquida transitoria. Mecanismo del metal pesado. Sinterizado de compactos de mezcla hierro-cobre. Sinterizado de compactos de mezcla cobre-estaño.

6.1 OTROS MÉTODOS DE CONSOLIDACIÓN: Sinterización de polvo suelto. "Slip casting". Infiltración.

6.2 CONSOLIDACIÓN EN CALIENTE: Prensado en caliente. Sinterizado por corriente eléctrica bajo presión. Extrusión en caliente. Compactación isostática en caliente. Forjado.

6.3 PULVIMETALURGIA DE METALES REFRACTARIOS Y REACTIVOS: Alambres de tungsteno. Otros productos de tungsteno y aleaciones. Molibdeno. Tantalio. Titanio, circonio y sus aleaciones.

6.4 METALES POROSOS: Cojinetes autolubricados. Filtros. Electroodos. Implantes quirúrgicos. Otras aplicaciones.

6.5 CARBUROS CEMENTADOS: Clasificación de los carburos cementados: Carburos de tungsteno ligados con cobalto. Carburos de tungsteno con titanio y/o tantalio. Carburos de titanio. Carburos de cromo. Producción de carburos cementados. Composición, propiedades y ensayos. Mecanismos de sinterización en carburos cementados.

6.6 "CERMETS": Materiales metálicos de fricción. Dispersión de elementos de combustible nuclear. Herramientas de diamante ligado con metal.

6.7 OTROS PRODUCTOS PULVIMETALÚRGICOS: Praelaborados pulvimetalúrgicos: Berilio. Aleaciones de magnesio. Aleaciones de aluminio. Superaleaciones. Aceros para herramientas. Aleaciones endurecidas por dispersión: Dispersión de óxidos. Materiales endurecidos por dispersión de metales o compuestos intermetálicos. Productos pulvimetalúrgicos para aplicaciones magnéticas y aplicaciones eléctricas.

Bibliografía:

GERMAN, Randall M. "Powder Metallurgy Science" 2nd ed. / Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1994.

GERMAN, Randall M. "Sintering: Theory and Practice" / New York: John Wiley, 1996. -

LENEL, Fritz V. "Powder Metallurgy: Principles and Applications". / Princeton, New Jersey: Metal Powder Industries Federation, 1980.

ASM Metals Handbook: Volume 7, 10th ed., Powder Metallurgy / Ohio: ASM International, 1998.