



MANUAL DEL ALUMINIO

W. Hufnagel

Indice de contenidos (obra completa. 2 vols.)

1. Aluminio

Importancia y obtención

1.1 Producción y consumo de aluminio

1.2 Resumen de las propiedades más importantes

1.3 Obtención del aluminio

1.3.1 Aluminio primario

1.3.1.1 Fundamentos

1.3.1.2 Materia prima

1.3.1.3 Obtención del óxido de aluminio

1.3.1.4 Obtención del aluminio primario

1.3.2 Aluminio purísimo

1.3.3 Aluminio secundario

1.3.3.1 Aleaciones maleables

1.3.3.2 Aleaciones para moldeo

1.3.4 Aleaciones madre de aluminio

1.4. Formas de suministro

1.4.1 Lingotes

1.4.1.1 Lingotes de aluminio no aleado

1.4.1.2 Lingotes de aleaciones de aluminio

1.4.2 Granulados, granalla, polvo

1.4.3 Formatos

1.5 Obtención del material previo al producto semielaborado

1.5.1 Caldo metálico

1.5.1.1 Colada

1.5.1.2 Fundición

1.5.1.3 Medición de temperaturas

1.5.2 Lingotes laminados y prensados (tamaños)

1.5.2.1 Colada continua vertical

1.5.2.2 Colada continua horizontal

1.5.2.3 Mecanizado de los lingotes

1.5.3 Bandas, alambres

1.5.3.1 Laminación de colada

1.5.3.2 Colada entre bandas de acero

1.5.3.3 Colada entre coquillas de oruga sin fin

1.5.3.4 Colada entre rueda o cilindro y banda de acero

Bibliografía

2. Constitución y propiedades de los materiales de aluminio

2.1. Constitución de los materiales de aluminio

2.1.1 Sistemas de aleaciones

2.1.1.1 Importancia del diagrama de estado

2.1.1.2 Sistemas binarios (dos componentes)

2.1.1.3 Sistemas terciarios (tres componentes)

2.1.1.4 Sistema superiores

2.1.2 Constitución de los materiales de aluminio maleable

2.1.2.1 Aluminio purísimo, aluminio puro, AIFeLi

2.1.2.2 Aleaciones de AIMn maleables

2.1.2.3 Aleaciones de AIMg y de AIiMgMn maleables

2.1.2.4 Aleaciones de AIMgLi maleables

2.1.2.5 Aleaciones de AICuMg y de AICuSiMn maleables

2.1.2.6 Aleaciones de AIZnMg maleables

2.1.2.7 Aleaciones de AIZnMgCu maleables

2.1.2.8 Aleaciones de aluminio con Pb maleables

2.1.2.9 Aleaciones de aluminio con Li maleables

2.1.2.10 Otras aleaciones de aluminio maleables

2.1.3 Constitución de los materiales para fundición de aluminio

2.1.3.1 Aleaciones de AISi para fundición

2.1.3.2 Aleaciones de AISiMg para fundición

2.1.3.3 Aleaciones de AISiCu para fundición

2.1.3.4 Aleaciones de AIMg para fundición

2.1.3.5 Aleaciones de AICuTi para fundición

2.1.3.6 Aleaciones de AIZnMg para fundición

2.1.3.7 Otras aleaciones de aluminio para fundición

2.2 Propiedades mecánicas

2.2.1 Dureza

2.2.2 Resistencia al ensayo de tracción

2.2.3 Resistencia a la compresión, a la flexión, al corte y a la torsión

2.2.4 Propiedades resistentes a temperaturas elevadas

2.2.4.1 Resumen

2.2.4.2 Estabilidad de revenido

2.2.4.3 Resistencia al calor en ensayos de corta duración

2.2.4.4 Comportamiento a elevadas temperaturas

2.2.5 Características de resistencia a bajas temperaturas

2.2.6 Resistencia a la fatiga

2.2.6.1 Conceptos fundamentales

2.2.6.2 Influencia del material

2.2.6.3 Influencia de la sollicitación

2.2.6.4 Influencia de los máximos de tensión (efecto de entalladura)

2.2.6.5 Influencia del estado superficial y del ambiente

2.2.6.6 Influencia de la soldadura

2.2.6.7 Influencia de la temperatura

2.2.7 Resistencia en la sollicitación por choque

- 2.3 Comportamiento a la rotura
 - 2.3.1 Mecánica de la rotura
 - 2.3.2 Magnitudes características de la mecánica de la rotura
 - 2.3.3 Otras magnitudes características
- 2.4 Propiedades tecnológicas
 - 2.4.1 Resistencia al desgaste
 - 2.4.2 Conformabilidad de chapas
 - 2.4.3 Conformabilidad para productos extrusionados y embutidos
 - 2.4.4 Facilidad de mecanizado
- 2.5 Propiedades físicas
 - 2.5.1 Resumen
 - 2.5.2 Densidad
 - 2.5.3 Coeficiente de dilatación térmica
 - 2.5.4 Calor específico
 - 2.5.5 Propiedades elásticas
 - 2.5.6 Propiedades amortiguadoras
 - 2.5.7 Conductividad eléctrica
 - 2.5.8 Conductividad calorífica
 - 2.5.9 Comportamiento en el campo magnético

2.5.10 Propiedades radiactivas

2.5.11 Propiedades de rozamiento

2.5.12 Propiedades ópticas

2.6 Influencia de los tratamientos térmicos y mecánicos en las propiedades

2.6.1 Principios básicos

2.6.2 Solidificación

2.6.3 Ablandamiento

2.6.3.1 Regeneración

2.6.3.2 Recristalización

2.6.4 Recocido de ablandamiento, estabilización

2.6.5 Normalizado

2.6.6 Recocido total, homogeneización

2.6.7 Revenido

2.6.7.1 Recocido de disolución

2.6.7.2 Enfriamiento

2.6.7.3 Almacenaje

2.6.7.4 Reconstitución

2.6.8 Influencia de la deformación en el comportamiento al endurecimiento

2.6.8.1 Conformación en frío y endurecimiento en frío

2.6.8.2 Conformación en frío y endurecimiento térmico

2.6.9 Conformación en frío y endurecimiento de diversos materiales para laminación y forja

2.6.9.1 AlCuMg, AlCuSiMn

2.6.9.2 AlMgSi

2.6.9.3 AlZnMg

2.6.9.4 AlZnMgCu

2.6.10 Comportamiento al endurecimiento de diversas aleaciones de fundición

2.7 Materiales compuestos de aluminio

2.7.1 Materiales compuestos de aluminio con refuerzo de fibras

2.7.1.1 Propiedades de los compuestos

2.7.1.2 Compuestos con fibras incrustadas

2.7.1.3 Compuestos de fibra por estirado de inclusiones

2.7.1.4 Materiales compuestos de fibra "naturales" (eutécticos)

2.7.2 Materiales de aluminio endurecidos por dispersión

2.7.3 Tendencias en cuanto al desarrollo de fabricación de materiales compuestos de

aluminio nuevos de mayor resistencia

2.7.3.1 Partículas de solidificación rápida

2.7.3.2 Aleaciones mecánicas

2.7.3.3 Obtención pulvimetalúrgica (PM) de semielaborados y piezas perfiladas

Bibliografía

3. Comportamiento químico del aluminio

3.1 Superficie del aluminio

3.1.1 Formación de películas de óxido y capas protectoras bajo la influencia del ambiente

3.1.1.1 Películas de óxido naturales al aire

3.1.1.2 Capas de recubrimiento de óxido bajo la influencia de la intemperie

3.1.1.3 Capas de recubrimiento por aguas potables o naturales

3.1.2 Reforzamiento de la capa de óxido natural

3.2 Corrosión

3.2.1 Fundamentos

3.2.2 Influencias sobre la corrosión

3.2.2.1 Elementos de aleación, elementos de adición

3.2.2.2 Tratamientos térmicos o mecánicos

3.2.2.3 Condición superficial

3.2.3 Conceptos, tipos de corrosión

3.2.3.1 Conceptos

3.2.3.2 Corrosión sin sollicitación mecánica

3.2.3.3 Corrosión bajo sollicitación mecánica

3.2.4 Protección contra la corrosión

3.2.4.1 Capa de recubrimiento

3.2.4.2 Protección superficial

3.2.4.3 Inhibidores

3.3 Comportamiento químico frente a otras sustancias

3.3.1 Sustancias y comportamiento

3.3.2 Ensayo de la estabilidad química

3.3.2.1 Métodos de ensayo

3.3.2.2 Procedimiento de ensayo

3.3.3 Inocuidad sanitaria

Bibliografía

4. Designaciones y características mecánicas de los materiales

4.1 Designaciones de los materiales

4.1.1 Concepto "aluminio"

4.1.2 Designación según procedencia o pureza

4.1.3 Designación según el tipo de elaboración o la forma de suministro

4.1.4 Designación según la composición química y notaciones

4.1.5 Designación según DIN 17007 P.4 y notaciones utilizadas para indicar su estado

4.1.5.1 Formación de los números correspondientes a los materiales para el aluminio

4.1.5.2 Designación de los estados de los materiales

4.1.6 Designación según la capacidad de endurecimiento

4.1.7 Designación según el uso

4.1.8 Elección del material para fines especiales

4.2 Características mecánicas normalizadas de los materiales

4.2.1 Resumen de las normas

4.2.2 Semielaborado de aluminio para laminación y forja

4.2.3 Fundición de aluminio

5. Semielaborados de aluminio

5.1 Productos laminados

5.1.1 Chapas, bandas

5.1.1.1 Planchas y bandas laminadas en frío

5.1.1.2 Planchas y bandas laminadas en caliente

5.1.1.3 Discos

5.1.1.4 Pastillas

5.1.1.5 Productos laminados especiales

5.1.1.6 Laminación de chapas y bandas

5.1.2 Láminas, bandas finas

5.1.2.1 Láminas de aluminio

5.1.2.2 Banda delgada

5.1.2.3 Tratamiento superficial, refinado de las láminas

5.1.3 Pan de aluminio

5.2 Productos extrusionados, productos trefilados

5.2.1 Materiales, dimensiones de suministro, medidas

5.2.2 Proceso de extrusión

5.2.2.1 Extrusión directa

5.2.2.2 Extrusión indirecta

5.2.2.3 Extrusión hidrostática

5.2.2.4 Extrusión según el procedimiento "Conform"

5.2.2.5 Extrusión de tubos y perfiles huecos

5.2.2.6 Variantes de los procesos de extrusión

5.2.3 Máquinas e hileras para la extrusión

5.2.3.1 Modelos y grupos principales de prensas de extrusión

5.2.3.2 Útiles de extrusión (matrices)

5.2.4 Influencia del material en el proceso de extrusión

5.2.4.1 Flujo de material durante la extrusión

5.2.4.2 Influencia de la resistencia a la conformación

5.2.4.3 Influencia de las condiciones de extrusión

5.2.4.4 Particularidades y defectos en los productos extrusionados

5.2.4.5 Refrigeración y enfriamiento en la prensa

5.2.5 Procesos de trabajo antes y después de la extrusión

5.2.5.1 Homogeneización de los tochos a extruir

5.2.5.2 Preparación y calentamiento de los tochos

5.2.5.3 Estirado, alargamiento, enderezado

5.2.5.4 Endurecimiento de los perfiles extrusionados

5.2.6 Productos estirados

5.2.6.1 Materiales, medidas de suministro, dimensiones

5.2.6.2 Barras, tubos

5.2.6.3 Alambre

5.3 Piezas forjadas

5.3.1 Materiales, medidas de suministro, dimensiones

5.3.2 Proceso de forja, influencia del material

5.4 Piezas sinterizadas de aluminio

5.4.1 Piezas sinterizadas

5.4.1.1 Criterios

5.4.1.2 Materiales

5.4.1.3 Fabricación

5.4.2 Casquillos de cojinete sinterizados

5.5 Piezas fundidas celulares o con carga de materiales

5.5.1 Aluminio celular

5.5.2 Aluminio con carga de materiales

5.6 Semielaborados compuestos, elementos compuestos

5.6.1 Semielaborado compuesto de aluminio con metales

5.6.1.1 Aluminio-aluminio

5.6.1.2 Aluminio-cobre

5.6.1.3 Aluminio-acero

5.6.1.4 Alambres y barras de aluminio placadas con cobre

5.6.1.5 Perfiles extrusionados de aluminio placado con acero

5.6.1.6 Otros semielaborados de aluminio con placado metálico

5.6.2 Elementos compuestos de aluminio y otros metales

5.6.3 Semielaborado compuesto de aluminio y no metales

5.6.3.1 Aluminio-madera, papel-aluminio, cartón-aluminio

5.6.2.2 Productos textiles de aluminio/plástico

5.6.4 Elementos de construcción sándwich

5.6.4.1 Elementos de construcción sándwich para solicitaciones débiles

5.6.4.2 Elementos de construcción sándwich para altas solicitaciones

5.7 Productos especiales similares a semielaborados

5.7.1 Perfiles y tubos a partir de bandas

5.7.2 Productos especiales para intercambiadores de calor

5.7.3 Perfiles compuestos atérmanos

Bibliografía

6. Ensayo de materiales y control de calidad

6.1 Ensayo de la composición química

6.1.1 Métodos analíticos

6.1.1.1 Análisis espectral

6.1.1.2 Análisis químico por vía húmeda

6.1.1.3 Análisis espectral de absorción atómica (AAS)

6.1.2 Toma de muestras

6.1.2.1 Toma de muestras de la colada

6.1.2.2 Toma de muestras de fabricados de aluminio

6.1.2.3 Toma de muestras de chatarra

6.2 Examen de la estructura

6.2.1 Investigaciones macroscópicas

6.2.2 Examen con el microscopio óptico

6.2.3 Ensayos con el microscopio electrónico

6.3 Ensayo de productos metalúrgicos, semielaborados y piezas fundidas

6.3.1 Alcance de los ensayos, toma de muestras

6.3.2 Objetivo de los ensayos, procedimientos

6.3.2.1 Verificación de la superficie

6.3.2.2 Ensayos no destructivos para defectos internos

6.3.2.3 Ensayos destructivos para defectos internos

6.3.2.4 Ensayos del estado del material

6.3.3 Ensayo de las características mecánicas a temperatura ambiente

6.3.3.1 Resistencia a la tracción, límite elástico 0,2%, alargamiento de rotura

6.3.3.2 Dureza

6.3.3.3 Resistencia a la compresión, límite de recalcado 0,2%, recalcado de rotura

6.3.3.4 Ensayo de las demás características mecánicas a temperatura ambiente

6.3.4 Ensayo de fatiga

6.4 Ensayo de uniones soldadas y cordones de soldadura

6.5 Normas de calidad

6.5.1 Calidades para semielaborados y piezas fundidas

6.5.2 Control de calidad en el caso de elaboración posterior

Bibliografía

7. Fundición de aluminio en molde

7.1 Piezas fundidas de aluminio

7.1.1 Procedimientos de fabricación

7.1.2 Aspectos económicos de su utilización

7.1.3 Características de las piezas fundidas

7.1.3.1 Exactitud en las medidas

7.1.3.2 Estado para el suministro

7.2 Materiales de aluminio para moldeo

7.2.1 Grupos y características de los materiales para moldeo

7.2.1.1 Aleaciones para moldeo AISi

7.2.1.2 Aleaciones para moldeo AISiMg

7.2.1.3 Aleaciones para moldeo AISiCu

7.2.1.4 Aleaciones para moldeo AIMg

7.2.1.5 Aleaciones para moldeo AICuTi

7.2.1.6 Aleaciones para moldeo AIZnMg

7.2.2 Materiales para moldeo normalizados y especiales

7.2.2.1 Materiales para moldeo normalizados según DIN

7.2.2.2 Materiales para moldeo no normalizados, según la VDS

7.2.2.3 Materiales para moldeo no normalizados en calidades especiales

7.2.2.4 Aleaciones para moldeo normalizadas por otras normas

7.2.3 Características de la colada

7.2.3.1 Desarrollo de la solidificación

7.2.3.2 Fluidez

7.2.3.3 Capacidad de llenado del molde

7.2.3.4 Comportamiento en la alimentación

7.2.3.5 Tendencia a la formación de rechupes

7.2.3.6 Agrietamiento en estado caliente

7.2.3.7 Contracción

7.3 Preparación del caldo

7.3.1 Fundamentos

7.3.1.1 Oxidación del caldo

7.3.1.2 Absorción de hidrógeno por el caldo

7.3.2 Tecnología de la fusión

7.3.3 Limpieza del caldo

7.3.3.1 Tratamiento con gases

7.3.3.2 Tratamiento con compuestos que provocan desprendimiento de cloro

7.3.3.3 Tratamiento con fundentes

7.3.3.4 Filtrado de caldo

7.3.3.5 Limpieza por depresión

7.3.4 Tratamiento del caldo para mejorar la estructura

7.3.4.1 Afino del grano

7.3.4.2 Afino de las aleaciones AISi

7.4 Hornos de fusión y de conservación del calor, transporte de colada

7.4.1 Hornos de crisol

7.4.1.1 Hornos de crisol calentados por gas y aceite

7.4.1.2 Hornos de crisol calentados por resistencia

7.4.1.3 Crisoles

7.4.2 Hornos sin crisol

7.4.2.1 Hornos de solera

7.4.2.2 Hornos de tambor rotatorio

7.4.2.3 Hornos de inducción con frecuencia de la red

7.4.2.4 Revestimiento de los hornos

7.4.3 Transporte del caldo

7.4.3.1 Transporte externo al servicio

7.4.3.2 Transporte interno al servicio

7.5 Colada en moldes destructibles

7.5.1 Materiales para moldes y machos

7.5.2 Fundición en arena

7.5.2.1 Fabricación de moldes

7.5.2.2 Fabricación de machos

7.5.2.3 Técnica de entrada y alimentadores

7.5.2.4 Colada

7.5.3 Procedimientos especiales para moldeo y colada

7.5.3.1 Fundición de precisión

7.5.3.2 Fundición fina

7.5.3.3 Fundición en molde al vacío

7.5.3.4 Fundición con molde perdido

7.6 Fundición en moldes permanentes

7.6.1 Fundición en coquilla

7.6.1.1 Útiles para la colada (coquillas)

7.6.1.2 Fundición en coquilla por gravedad

7.6.1.3 Fundición en coquilla con crisol basculante

7.6.1.4 Fundición en coquilla a baja presión

7.6.1.5 Fundición en coquilla a contrapresión

7.6.1.6 Técnica de entrada

7.6.1.7 Control de la solidificación

7.6.1.8 Colada, dosificación

7.6.2 Fundición inyectada

7.6.2.1 Principio

7.6.2.2 Útiles para la colada (moldes)

7.6.2.3 Fundición inyectada (cámara fría) con cámara de vertido horizontal y vertical

7.6.2.4 Fundición inyectada al vacío

7.6.2.5 Procedimiento Acurad

7.6.2.6 Fundición inyectada con carga de oxígeno (procedimiento PF)

7.7 Procedimientos especiales de fundición

7.7.1 Fundición combinada

7.7.1.1 Adherencia por contracción

7.7.1.2 Adherencia por dentado

7.7.1.3 Unión metálica

7.7.2 Fundición centrifugada, fundición a presión

7.8 Tratamientos térmicos de las piezas fundidas

7.8.1 Instalaciones para tratamientos térmicos

7.8.2 Endurecimiento

7.8.2.1 Recocido de disolución

7.8.2.2 Enfriamiento

7.8.2.3 Almacenamiento en caliente

7.8.2.4 Endurecimiento parcial

7.8.2.5 Endurecimiento en frío

7.8.2.6 Autoendurecimiento

7.8.2.7 Endurecimiento simplificado por almacenamiento en caliente sin recocido de disolución

7.8.3 Tratamientos térmicos para fines especiales

7.8.3.1 Estabilización

7.8.3.2 Recocido de ablandamiento

7.8.3.3 Recocido de normalización

7.8.3.4 Tratamiento especial para materiales concretos

7.9 Trabajos posteriores en las piezas fundidas

7.9.1 Limpieza

7.9.2 Estanqueidad, retoques

Bibliografía

8. Elaboración ulterior del semielaborado

8.1 Corte a cizalla

8.2 Plegado

8.2.1 Plegado en frío de chapas y bandas

8.2.2 Curvado en frío de tubos y perfiles simples

8.2.3 Plegado en caliente

8.3 Conformación de chapa

8.3.1 Embutición profunda

8.3.1.1 Embutición profunda escalonada

8.3.1.2 Embutición profunda sin pisador

8.3.1.3 Embutición invertida

8.3.1.4 Procedimientos especiales de embutición profunda

8.3.2 Embutición por estirado, embutición por estirado escalonado

8.3.3 Conformación de materiales superplásticos

8.3.4 Repujado al torno (entallado)

8.3.5 Otros procedimientos de trabajo de la chapa

8.4 Conformación de material macizo

8.4.1 Extrusión en frío

8.4.1.1 Materiales, lubricantes

8.4.1.2 Máquinas y herramientas

8.4.1.3 Fuerzas para la extrusión en frío

8.4.1.4 Posibilidades de fabricación

8.4.1.5 Diseño de piezas extruidas en frío

8.4.2 Otras conformaciones macizas en frío

8.4.3 Forja

8.4.3.1 Materiales para la forja

8.4.3.2 Propiedades características de las piezas forjadas

8.4.3.3 Forja de precisión

8.4.3.4 Condiciones de conformación para la forja del aluminio

8.5 Otros procedimientos de conformación en caliente y en frío

8.5.1 Conformación en caliente en la mecanización ulterior

8.5.1.1 Conformación en caliente por debajo de la temperatura de recristalización

8.5.1.2 Conformación en caliente por encima de la temperatura de recristalización

8.5.2 Enderezado con soplete

8.5.3 Conformación en frío para el estado «recién enfriado»

8.5.3.1 Conformación en frío después del recocido de disolución y enfriado

8.5.3.2 Conformación por choque térmico

8.6 Tratamiento térmico en la empresa transformadora

8.6.1 Recocido de ablandamiento

8.6.2 Revenido de materiales no endurecibles

8.6.3 Endurecimiento de aleaciones para forja y laminación

8.6.3.1 Recocidos de disolución

8.6.3.2 Enfriamiento

8.6.3.3 Almacenamiento

8.7 Instalaciones para tratamientos térmicos

8.7.1 Hornos de tratamiento térmico

8.7.2 Baños de enfriamiento

8.8 Compresión isostática

Bibliografía

9. Mecanizado del aluminio con arranque de viruta

- 9.1 Facilidad de mecanizado de los materiales de aluminio
 - 9.1.1 Materiales de aluminio para laminación y forja
 - 9.1.2 Materiales para tornos automáticos
 - 9.1.3 Materiales de fundición de aluminio
- 9.2 Herramientas, máquinas, materiales auxiliares
 - 9.2.1 Materiales de corte
 - 9.2.1.1 Aceros rápidos
 - 9.2.1.2 Metales duros
 - 9.2.1.3 Diamante
 - 9.2.1.4 Materiales de corte no idóneos
 - 9.2.2 Máquinas
 - 9.2.3 Lubricantes-refrigerantes
- 9.3 Procedimientos de mecanizado con arranque de viruta
 - 9.3.1 Torneado
 - 9.3.2 Fresado
 - 9.3.2.1 Fresas
 - 9.3.2.2 Condiciones de corte
 - 9.3.3 Cepillado, mortajado, brochado
 - 9.3.4 Taladrado

9.3.4.1 Brocas

9.3.4.2 Condiciones de corte

9.3.5 Avellanado, escariado, roscado

9.3.5.1 Avellanado

9.3.5.2 Escariado

9.3.5.3 Roscado

9.3.6 Mecanizado con tornos automáticos

9.3.7 Aserrado

9.3.8 Esmerilado

9.3.9 Procedimiento de superacabado

9.3.9.1 Torneado de precisión (torneado brillante)

9.3.9.2 Bruñido

9.3.9.3 Rasqueteado

9.3.9.4 Lapeado

9.3.10 Electroerosión

9.3.10.1 Erosión planetaria

9.3.10.2 Erosión con alambre

Bibliografía

10. Unión del aluminio

10.1 Soldadura por fusión

10.1.1 Particularidades específicas referentes a los materiales

10.1.1.1 Influencia de la capa de óxido

10.1.1.2 Influencia del procedimiento de soldadura

10.1.1.3 Elección del material de aportación

10.1.1.4 Influencia del calor de soldadura sobre las características de los materiales

10.1.1.5 Influencia sobre el aspecto superficial después del anodizado de piezas soldadas por fusión

10.1.1.6 Prescripciones para la soldadura de construcciones obligadas a supervisión

10.1.2 Trabajos previos a la soldadura por fusión

10.1.2.1 Medidas generales de seguridad

10.1.2.2 Preparación de las juntas para costura, limpieza

10.1.2.3 Soldadura ligera de fijación

10.1.2.4 Precaentamiento

10.1.3 Soldadura por arco eléctrico bajo gas protector

10.1.3.1 Procedimiento

10.1.3.2 Gases protectores

10.1.3.3 Medidas de seguridad para el trabajo y salud en la

soldadura del aluminio con atmósfera protectora

10.1.4 Soldadura WIG

10.1.4.1 Soldadura WIG con corriente alterna

10.1.4.2 Soldadura WIG con corriente continua

10.1.4.3 Soldadura por plasma (soldadura de plasma de wolframio)

10.1.4.4 Soldadura WIG mecanizada de tubos

10.1.4.5 Soldadura por puntos WIG

10.1.5 Soldadura MIG

10.1.5.1 Soldadura MIG con arco difuso

10.1.5.2 Soldadura MIG con corriente pulsatoria (pulsed arc, pulsed spray)

10.1.5.3 Soldadura MIG con alambre grueso

10.1.5.4 Soldadura MIG con corriente de alta intensidad

10.1.5.5 Soldadura MIG por plasma

10.1.5.6 Otras variantes MIG para la soldadura de chapa gruesa

10.1.5.7 Soldadura MIG para tubos mecanizada

10.1.5.8 Soldadura MIG por puntos y de botón

10.1.6 Soldadura de fusión utilizando fundentes

10.1.6.1 Fundentes

10.1.6.2 Soldadura por gas

10.1.6.3 Soldadura por arco eléctrico (soldadura manual por arco eléctrico)

10.1.6.4 Soldadura por arco bajo polvo (soldadura UP)

10.1.6.5 Soldadura por arco sumergido en escoria (soldadura ES)

10.1.7 Otros métodos de soldadura por fusión

10.1.7.1 Soldadura por vertido

10.1.7.2 Soldadura aluminotérmica

10.1.7.3 Soldadura por haz de electrones

10.1.8 Separación térmica

10.1.8.1 Corte oxiacetilénico

10.1.8.2 Corte con el aparato de soldadura MIG

10.1.8.3 Corte por rayos de plasma

10.1.8.4 Corte por láser

10.1.9 Fallos en las uniones soldadas por fusión

10.1.9.1 Grietas por soldadura

10.1.9.2 Defectos de unión, defectos de entalla en la penetración, fallos en la forma

del cordón de soldadura

10.1.9.3 Inclusiones

10.1.9.4 Porosidad en la costura

10.1.10 Reparaciones mediante soldadura por fusión

10.1.10.1 Colocación de parches

10.1.10.2 Retoques de piezas de fundición

10.1.10.3 Soldadura de piezas de fundición rotas

10.2 Soldadura a presión

10.2.1 Soldadura a presión por resistencia

10.2.1.1 Soldadura a puntos por resistencia

10.2.1.2 Soldadura por costura a rodillo

10.2.1.3 Soldadura a tope por chispa

10.2.2 Soldadura de espárragos

10.2.2.1 Soldadura de espárragos con pistola con encendido de punta

10.2.2.2 Soldadura de espárragos con pistola con encendido en recorrido

10.2.3 Soldadura por presión en frío y en caliente

10.2.3.1 Soldadura por presión en frío

10.2.3.2 Procedimiento KPS

10.2.3.3 Soldadura por ultrasonido

10.2.3.4 Soldadura por explosión

10.2.3.5 Soldadura por presión en caliente

10.2.4 Soldadura por fricción

10.2.5 Soldadura por alta frecuencia

10.3 Soldadura heterogénea

10.3.1 Procedimientos de soldadura heterogénea

10.3.2 Soldabilidad

10.3.3 Características de las uniones soldadas

10.3.4 Aleaciones para soldadura heterogénea, fundentes

10.3.4.1 Aleaciones para soldadura heterogénea

10.3.4.2 Fundentes

10.3.5 Medidas de seguridad

10.3.6 Soldadura fuerte con fundentes

10.3.6.1 Configuración de las zonas de unión

10.3.6.2 Modo de actuar de los fundentes en la soldadura fuerte

10.3.6.3 Aplicación de los fundentes para soldadura fuerte y de los materiales de soldar

10.3.6.4 Procedimiento de soldadura fuerte con fundente

Práctica de la misma

10.3.7 Soldadura fuerte sin fundente

10.3.7.1 Material de aportación para soldadura fuerte sin fundente

10.3.7.2 Procedimiento de soldadura fuerte sin fundente

10.3.8 Soldadura blanda

10.3.8.1 Características del proceso

10.3.8.2 Procedimiento para la soldadura blanda

10.4 Pegado

10.4.1 Características de las uniones pegadas

10.4.2 Pegamentos

10.4.2.1 Pegamentos para la construcción

10.4.2.2 Otros pegamentos

10.4.2.3 Masillas metálicas

10.4.3 Configuración de las uniones con pegamento

10.4.4 Tratamiento previo de las uniones por pegamento

10.4.5 Ejecución del pegado

10.4.6 Resistencia de las uniones pegadas

10.4.6.1 Resistencia a las solicitaciones estáticas

10.4.6.2 Resistencia a las solicitaciones dinámicas

10.4.6.3 Cambios en la resistencia como consecuencia de influencias ambientales

10.4.7 Cálculo de las uniones con pegamento

10.4.7.1 Determinación de las tensiones admisibles

10.4.7.2 Determinación de la carga admisible

10.4.8 Uniones pegadas entre aluminio y materiales no metálicos

10.5 Roblonado

10.5.1 Remaches macizos

10.5.1.1 Materiales para remaches

10.5.1.2 Formas de los remaches

10.5.1.3 Formas de las segundas cabezas

10.5.1.4 Remaches de alta resistencia

10.5.2 Remaches de macho

10.5.3 Tuercas ciegas

10.5.4 Reparación de las uniones remachadas

10.6 Tornillos

10.6.1 Materiales para los tornillos

10.6.1.1 Aleaciones de aluminio

10.6.1.2 Acero al cromo-níquel

10.6.1.3 Acero Inkrom

10.6.1.4 Acero galvanizado

10.6.1.5 Acero desprotegido

10.6.1.6 Aleaciones de cobre

10.6.2 Tornillos en las piezas de construcción de aluminio

10.6.2.1 Compresión superficial debajo de las cabezas de los tornillos y de las tuercas

10.6.2.2 Roscas en el aluminio

10.6.2.3 Suplementos roscados

10.6.2.4 Tornillos con pivote

10.6.3 Tornillos autorroscantes o con rosca cortante

10.6.3.1 Tornillos para chapa

10.6.3.2 Tornillos autorroscantes

10.6.3.3 Tornillos con rosca cortante

10.6.4 Ejecución y mantenimiento de las uniones atornilladas

10.6.5 Garantía de las uniones atornilladas

10.6.6 Otros elementos de unión de aluminio

10.6.6.1 Tornillos para madera

10.6.6.2 Clavos, grapas

10.7 Otros procedimientos mecánicos de unión

10.7.1 Unión por conformación

10.7.1.1 Conformación de las piezas a unir

10.7.1.2 Conformación de o con elementos de unión

10.7.2 Ensamblado mediante uniones por enchufe, por resorte y por aprieto

Índice analítico

10.8 Unión del aluminio con otros materiales

10.8.1 Uniones por soldadura homogénea

10.8.1.1 Soldadura directa

10.8.1.2 Uniones con piezas de empalme o transición soldadas

10.8.2 Uniones por soldadura heterogénea

10.8.2.1 Soldadura fuerte (con material de aportación de aluminio)

10.8.2.2 Soldadura blanda

Bibliografía

11. Tratamiento superficial del aluminio

11.1 Tratamiento superficial mecánico

11.1.1 Desbarbado, limpieza

11.1.2 Esmerilado

11.1.2.1 Esmerilado grueso

11.1.2.2 Esmerilado fino

11.1.3 Esmerilado deslizante

11.1.4 Esmerilado por inmersión

11.1.5 Esmerilado mate, cepillado mate

11.1.5.1 Esmerilado (o cepillado) mate

11.1.5.2 Cepillado (satinado)

11.1.5.3 Jaspeado

11.1.5.4 Esmerilado a mano, esmerilado por frotamiento

11.1.6 Pulido

11.1.6.1 Pulido con disco de trapo

11.1.6.2 Bruñido

11.1.6.3 Pulido en tambor

11.1.7 Dibujado

11.1.8 Chorreado

11.1.8.1 Chorreado con material de aluminio

11.1.8.2 Chorreado con perlas de vidrio, chorreado con bolas

11.1.8.3 Lapeado por chorreado a presión

11.2 Tratamiento superficial químico

11.2.1 Desengrasado

11.2.1.1 Medios de desengrase

11.2.1.2 Desengrasado electrolítico

11.2.1.3 Materiales para los recipientes

11.2.2 Decapado

11.2.2.1 Soluciones alcalinas

11.2.2.2 Soluciones ácidas

11.2.2.3 Decapados especiales

11.2.2.4 Materiales para los recipientes

11.2.3 Mordentado

11.2.3.1 Aplicación decorativa

11.2.3.2 Aplicaciones industriales

11.2.4 Oxidación química

11.2.4.1 Cromatado ácido

11.2.4.2 Cromatado alcalino

11.2.4.3 Fosfatado ácido

11.2.4.4 Realización del cromatado y del fosfatado

11.2.5 Abrillantado

11.2.5.1 Materiales para abrillantar

11.2.5.3 Abrillantado electrolítico

11.2.6 Normas de seguridad en los tratamientos superficiales químicos

11.3 Oxidación anódica

11.3.1 Fundamentos de oxidación anódica

11.3.1.1 Crecimiento y constitución de las capas de óxido obtenidas anódicamente

11.3.1.2 Elección del material para la oxidación anódica

11.3.2 Características de las capas de óxido obtenidas anódicamente

11.3.2.1 Coloración característica dependiente de la composición del material

11.3.2.2 Aspecto, efecto decorativo

11.3.2.3 Espesor de la capa, acción protectora

11.3.2.4 Dureza, resistencia al desgaste y a la abrasión

11.3.2.5 Resistencia a la temperatura

11.3.2.6 Poder de reflexión y radiación

11.3.2.7 Acción aislante de la electricidad

11.3.3 Realización y proceso a seguir en la oxidación anódica

11.3.3.1 Procesos de anodizado normales para la obtención de capas de óxido no coloreadas

11.3.3.2 Procesos para la obtención de placas de óxido coloreadas

11.3.3.3 Coloración por absorción (colocación por inmersión)

11.3.3.4 Coloración electrolítica (proceso en dos etapas)

11.3.3.5 Coloración anódica (proceso en una etapa)

11.3.3.6 Coloración combinada

11.3.3.7 Procesos especiales de anodizado

11.3.4 Anodizado duro

11.3.4.1 Materiales para el anodizado duro

11.3.4.2 Características de las capas de óxido duras

11.3.5 Compactación de las capas de óxido obtenidas anódicamente

11.3.5.1 Formación de sedimento

11.3.5.2 Envejecimiento de la capa de óxido

11.3.5.3 Ensayo de las capas de óxido compactadas obtenidas anódicamente

11.3.6 Coloración, impresión, impregnación de capas de óxido no compactadas

11.3.6.1 Alucromía

11.3.6.2 Impresión

11.3.6.3 Procedimiento de impregnación Impal

11.3.6.4 Impregnación con materiales fotosensibles

11.3.6.5 Preparación de clichés

11.3.7 Influencia de los procesos de trabajo sobre el anodizado

11.3.8 Causas de defectos en las capas de óxido obtenidas anódicamente

11.3.9 Limpieza de las piezas de construcción anodizadas

11.3.9.1 Exigencias a los medios de limpieza

11.3.9.2 Protección y limpieza durante el montaje

11.4 Recubrimiento del aluminio

11.4.1 Recubrimientos metálicos en los procesos de inmersión y cocción

11.4.2 Niquelado sin corriente (químico)

11.4.3 Galvanizado

- 11.4.3.1 Tratamientos previos (incluida la activación)
- 11.4.3.2 Cobreado
- 11.4.3.3 Niquelado
- 11.4.3.4 Cromado
- 11.4.3.5 Otros recubrimientos galvánicos
- 11.4.3.6 Capas por dispersión
- 11.4.3.7 Deposición galvánica del aluminio
- 11.4.4 Proyección térmica
- 11.4.5 Lacado, pintado
 - 11.4.5.1 Tratamiento previo
 - 11.4.5.2 Recubrimientos con lacas por vía húmeda
 - 11.4.5.3 Recubrimiento con laca en polvo
 - 11.4.5.4 Ensayos del recubrimiento
 - 11.4.5.5 Pinturas de renovación
 - 11.4.5.6 Protección contra el hormigón y tierras sobrepuestos
 - 11.4.5.7 Pintado de barcos
- 11.4.6 Recubrimientos plásticos
- 11.4.7 Esmaltado
- 11.4.8 Otros recubrimientos

Bibliografía

12. Construir con aluminio

12.1 Construcción ligera como principio de construcción

12.1.1 Definiciones

12.1.2 Sistemas de construcción

12.1.2.1 Formas constructivas

12.1.2.2 Aluminio como elemento constructivo

12.2 Formas adecuadas a la sollicitación

12.2.1 Criterios de selección

12.2.1.1 Propuesta de material

12.2.1.2 Resistencia

12.2.1.3 Influencias que modifican la resistencia

12.2.1.4 Comportamiento a la deformación elástica

12.2.1.5 Comportamiento a la deformación plástica y a la rotura

12.2.1.6 Comportamiento frente a la temperatura

12.2.1.7 Comportamiento a la corrosión

12.2.1.8 Desgaste

12.2.2 Combinaciones de materiales

12.2.2.1 Combinaciones aluminio-aluminio

12.2.2.2 Combinaciones de aluminio con otros materiales

12.3 Configuración de elementos y piezas constructivas

12.3.1 Influencia funcional del módulo de elasticidad

12.3.1.1 Dimensionado a base de la resistencia

12.3.1.2 Dimensionado por deformación admisible y estabilidad

12.3.1.3 Capacidad de trabajo elástico y efectos de reacción

12.3.1.4 Cargas de choque sobre pieza de construcción en reposo de aluminio

12.3.1.5 Cargas de choque como consecuencia de éste en construcción móvil de aluminio

12.3.1.6 Amortiguamiento elástico

12.3.1.7 Elasticidad y deformación plástica

12.3.1.8 Módulo de elasticidad en construcciones mixtas

12.3.2 Construcción con perfiles extrusionados

12.3.2.1 Formas fundamentales de los perfiles extrusionados

12.3.2.2 Valoración de diversas formas de secciones transversales

12.3.2.3 Ventajas constructivas

12.3.2.4 Dimensiones de los perfiles extrusionados

12.3.2.5 Ejemplos para perfiles extrusionados, posibilidades de adquisición

12.3.3 Construcción con chapas

12.3.3.1 Planos de superficie útil

12.3.3.2 Planos de chapas perfiladas

12.3.3.3 Combinaciones perfil-chapa

12.3.3.4 Arriostramiento de escotaduras y boquetes

12.3.4 Construcción con piezas de forma, realizadas con materiales para laminación y forja

12.3.4.1 Piezas de forma de chapa

12.3.4.2 Piezas forjadas en estampa

12.3.4.3 Piezas forjadas sin estampa

12.3.4.4 Piezas extrusionadas

12.3.5 Construcción con piezas fundidas

12.3.5.1 Elección del material para piezas fundidas

12.3.5.2 Directrices generales de construcción para piezas fundidas

12.3.5.3 Influencia de la construcción en la distribución de tensiones

12.3.5.4 Particularidades constructivas

12.3.5.5 Diferencias dimensionales y demás de mecanizado para piezas fundidas

12.3.5.6 Paso a la fundición de aluminio

12.3.6 Construcciones combinadas

12.3.6.1 Combinaciones de aluminio con aluminio

- 12.3.6.2 Combinaciones de aluminio con otros materiales

- 12.3.7 Elementos de construcción sándwich
 - 12.3.7.1 Sándwich con núcleo de panales de aluminio

 - 12.3.7.2 Sándwich con núcleo de espuma rígida de plástico

- 12.4 Uniones como detalle constructivo
 - 12.4.1 Uniones de soldadura por fusión
 - 12.4.1.1 Materiales

 - 12.4.1.2 Configuración de las uniones

 - 12.4.2 Uniones por soldadura por puntos

 - 12.4.3 Uniones por soldadura heterogénea

 - 12.4.4 Uniones por pegamento

 - 12.4.5 Uniones por remachado

 - 12.4.6 Uniones por tornillos

 - 12.4.7 Uniones por aprieto

- 12.5 Protección contra la corrosión como cometido constructivo
 - 12.5.1 Modo de evitar la corrosión por agua de condensación

 - 12.5.2 Prevención y protección contra la corrosión por grietas

 - 12.5.3 Medios para evitar la corrosión de contacto

- 12.6 Dimensionado y cálculo de las construcciones

12.6.1 Métodos

12.6.1.1 Hipótesis de cargas, sollicitación

12.6.1.2 Factores de seguridad

12.6.2 Bases para el cálculo

12.6.2.1 Valores característicos del material

12.6.2.2 Influencias de la forma

12.6.2.3 Resistencia a la fatiga de la pieza conformada

12.6.2.4 Tensiones internas

12.6.3 Procedimiento de cálculo

12.6.3.1 Cálculo de la resistencia

12.6.3.2 Cálculo de la rigidez

12.6.3.3 Cálculo de la estabilidad

12.6.3.4 Tensiones térmicas

12.6.3.5 Cálculo de construcciones mixtas

12.6.4 Cálculo de uniones

12.6.4.1 Uniones por soldadura por fusión

12.6.4.2 Uniones por soldadura por puntos

12.6.4.3 Uniones por pegamento

12.6.4.4 Uniones por roblonado

12.6.4.5 Uniones por tornillos

12.7 Prescripciones para hipótesis de cargas y cálculo

12.7.1 Construcciones, con cargas en reposo

12.7.1.1 Materiales, fijaciones

12.7.1.2 Dimensionado

12.7.2 Vehículos sobre carriles

12.7.3 Recipientes a presión

Bibliografía

13. Aplicaciones del aluminio

13.1 Aluminio en el transporte

13.1.1 Desarrollo histórico

13.1.2 Situación de la aplicación del aluminio en el transporte

13.1.2.1 Vehículos de turismo, accesorios

13.1.2.2 Remolques para turismos

13.1.2.3 Vehículos de dos ruedas

13.1.2.4 Vehículos industriales para transporte urbano

13.1.2.5 Vehículos sobre carriles

13.1.2.6 Construcción de barcos y botes

13.1.2.7 Aeronáutica y navegación espacial

13.2 Aluminio en la construcción de máquinas

13.2.1 Aleaciones de aluminio para cojinetes de fricción

13.2.2 Aluminio en la construcción de herramientas, dispositivos y moldes

13.2.3 Cuerpos portantes de herramientas

13.2.4 Productos laminados especiales para campos específicos de la construcción
de maquinaria

13.3 El aluminio en Electrotecnia

13.3.1 Tipos y características de los materiales de aluminio para conductores

13.3.1.1 Materiales normalizados

13.3.1.2 Materiales no normalizados

13.3.1.3 Usos y propiedades

13.3.2 Técnicas de unión para las conexiones conductoras eléctricas

13.3.2.1 Conexiones fijas

13.3.2.2 Conexiones desmontables

13.3.2.3 Uniones de carriles conductores de corriente

13.3.2.4 Comportamiento frente a la corrosión de las zonas de contacto

13.3.3 Carriles conductores de corriente de aluminio

13.3.3.1 Formas de suministro

13.3.3.2 Propiedades, dimensionado

13.3.3.3 Preparación, ajuste

13.3.3.4 Juntas de dilatación

13.3.4 Cables de aluminio

13.3.4.1 Conductores de aluminio en los cables

13.3.4.2 Envolturas de aluminio para cables

13.3.4.3 Tendido

13.3.4.4 Capacidad de carga

13.3.5 Conducciones de aluminio aéreas

13.3.5.1 Tipos de cables, aplicación

13.3.5.2 Normas, condiciones de suministro, prescripciones

13.3.5.3 Dimensionados, carga admisible

13.3.5.4 Tensiones de tracción, vanos de tendido

13.3.5.5 Uniones, sujeciones

13.3.5.6 Protección contra las oscilaciones

13.3.6 Bobinados de aluminio

13.3.6.1 Bobinados de alambre

13.3.6.2 Bobinados de banda

13.3.6.3 Inducidos en cortocircuito

13.3.7 Aluminio para pararrayos

13.3.8 Piezas de aluminio para la técnica de alta frecuencia, Electrónica

13.3.8.1 Conductores para alta frecuencia

13.3.8.2 Condensadores

13.3.8.3 Técnica de semiconductores

13.3.9 Células aluminio-aire

13.4 El aluminio en la construcción

13.4.1 Normas, directrices

13.4.2 Construcción metálica

13.4.2.1 Sistemas de elementos constructivos

13.4.2.2 Construcciones metálicas individuales

13.4.3 Construcción adicional, instalación

13.4.3.1 Cubierta del tejado, bloqueo del vapor y del agua

13.4.3.2 Amortiguamiento térmico con láminas de aluminio

13.4.3.3 Técnicas de calefacción y climatización

13.4.4 Piezas de construcción para el aprovechamiento de energías alternativas

13.4.5 Fundición de aluminio en Arquitectura y Arte

13.4.5.1 Placas de fundición de aluminio como elementos decorativos para fachadas

13.4.5.2 Fundición artística de aluminio

13.5 Envasado con aluminio

13.5.1 Láminas de aluminio como material de envase, banda fina

13.5.1.1 Propiedades

13.5.1.2 Aplicaciones de los envases de láminas de aluminio

13.5.1.3 Cierre de envases de láminas

13.5.1.4 Aplicaciones de los envases de banda fina

13.5.2 Envases extrusionados

13.6 Recipientes y otros equipos de aluminio

13.7 Polvo y granulado de aluminio

13.7.1 Polvo, pasta

13.7.1.1 Fabricación

13.7.1.2 Propiedades

13.7.2 Granulado, grano menudo

13.7.3 Uso de los polvos y granulados

13.7.3.1 Pigmento para colores de aluminio

13.7.3.2 Material de relleno para plásticos

13.7.3.3 Reactivos en aluminotermia

13.7.3.4 Reactivos para la fabricación de hormigón de gas

13.7.3.5 Reactivos en pirotecnia

13.7.3.6 Otras aplicaciones

13.8 Aplicaciones metalúrgicas

13.8.1 Desoxidación del acero con aluminio

13.8.2 Aluminio como componente de aleación

13.8.2.1 Acero, hierro fundido

13.8.2.2 Aleaciones de cobre

13.8.2.3 Aleaciones de cinc

13.8.2.4 Aleaciones de magnesio

13.8.2.5 Aleaciones de titanio

13.8.2.6 Aleaciones de níquel

13.9 Aluminio para la protección del acero

13.9.1 Recubrimiento del acero

13.9.1.1 Metalización a la llama (aluminizado por proyección)

13.9.1.2 Alitado (aluminizado del acero)

13.9.1.3 Aluminizado por inmersión (aluminizado al fuego)

13.9.1.4 Placado por laminación, placado por estirado

13.9.1.5 Aluminizado químico-mecánico

13.9.2 Protección catódica del acero

13.10 Sometimiento a vapor, precipitado

13.10.1 Vaporizado con aluminio

13.10.2 Precipitados para fines especiales

Bibliografía

14. Composiciones y comparación de materiales de aluminio equivalentes

14.1 Materiales según DIN

14.2 Materiales alemanes para fundición no normalizados

14.3 Materiales de las Hojas Técnicas de Materiales

14.4 Materiales del Registro Internacional de Aleaciones y aleaciones de fundición de la lista AA

14.5 Comparación de las designaciones internacionales de materiales

14.6 Comparación de designaciones de estado

14.7 Materiales para la construcción de automóviles

14.8 Materiales para cojinetes y sinterizados

14.9 Comparación de las designaciones de firmas y marcas alemanas

Apéndice

Organismos y asociaciones

Designaciones del Sistema Internacional de unidades

Conversiones

Valores numéricos físicos y químicos

Índice alfabético