

Indice

| | |
|-----------------------|----|
| ADVERTENCIA | 17 |
|-----------------------|----|

CAPÍTULO 1

DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO DE LAS ALEACIONES

I. Generalidades

| | |
|---|----|
| 1.1. Definición de una aleación | 19 |
| 1.2. Diagrama de equilibrio | 21 |
| 1.3. Ley de las fases | 22 |

II. Líquidos y sólidos de las aleaciones binarias

| | |
|---|----|
| 1.4. Clasificación | 24 |
| A) <i>Metales completamente miscibles en estado líquido</i> | |
| 1.5. Aleaciones de solución sólida única | 24 |
| 1.6. Aleaciones de dos soluciones sólidas con punto eutéctico | 26 |
| 1.7. Aleaciones de dos soluciones sólidas con transformación peritética | 29 |
| 1.8. Aleaciones que presentan más de dos soluciones sólidas | 32 |
| B) <i>Metales parcialmente miscibles en estado líquido</i> | |
| 1.9. Interpretación del diagrama representativo | 33 |

III. Líneas de transformación

| | |
|--|----|
| 1.10. Transformaciones alotrópicas | 35 |
| 1.11. Transformaciones con reacciones | 36 |
| 1.12. Reglas de interpretación de los diagramas de las aleaciones binarias | 37 |
| 1.13. Determinación de los compuestos definidos | 40 |
| 1.14. Interés de los diagramas | 41 |

IV. Aleaciones ternarias

| | |
|--|----|
| 1.15. Principio de los diagramas ternarios | 43 |
| 1.16. Ejemplos de las aleaciones ternarias | 44 |

V. Heterogeneidad de las aleaciones

| | | |
|-------|---|----|
| 1.17. | Mecanismo de la solidificación de una solución sólida | 44 |
| 1.18. | Heterogeneidad menor | 45 |
| 1.19. | Heterogeneidad mayor | 47 |
| 1.20. | Heterogeneidad estructural | 48 |
| 1.21. | Purificación de un metal por el método de la zona fundida | 50 |

CAPÍTULO 2

MÉTODOS DE DETERMINACION DE LOS DIAGRAMAS

| | | |
|------|--|----|
| 2.1. | Principio e interés de la determinación de los diagramas | 53 |
|------|--|----|

I. Análisis térmico

| | | |
|------|--|----|
| 2.2. | Enfriamiento de un cuerpo sin anomalía en un recinto isoterma. | 54 |
| 2.3. | Diferentes formas de las curvas de enfriamiento | 55 |
| 2.4. | Aparatos de análisis térmico | 57 |

II. Análisis dilatométrico

| | | |
|------|--|----|
| 2.5. | Principio del método dilatométrico Chevenard | 59 |
| 2.6. | Marcha de una curva diferencial Chevenard | 60 |
| 2.7. | Aparatos Chevenard | 61 |

III. Otros métodos

| | | |
|-------|--|----|
| 2.8. | Estudio de la resistencia eléctrica | 64 |
| 2.9. | Termoelectricidad | 65 |
| 2.10. | Potencial de disolución | 65 |
| 2.11. | Termomagnetometría | 67 |
| 2.12. | Métodos secundarios | 67 |
| 2.13. | Importancia relativa de los diversos métodos | 67 |

CAPÍTULO 3

MICROGRAFIA Y MACROGRAFIA

I. Técnica de la micrografía

| | | |
|------|--------------------------------------|----|
| 3.1. | Principio de la micrografía. | 69 |
| 3.2. | Toma de la muestra | 69 |
| 3.3. | Pulido | 70 |
| 3.4. | Ataque | 71 |
| 3.5. | Examen al microscopio | 72 |

II. Aplicaciones de la micrografía

| | | |
|------|---|----|
| 3.6. | Relaciones entre la microestructura y el diagrama | 75 |
| 3.7. | Aplicaciones de la micrografía | 78 |

III. Macrografía

| | | |
|------|--|----|
| 3.8. | Técnica de la macrografía | 81 |
| 3.9. | Aplicaciones de la macrografía | 83 |

IV. Microscopio electrónico

| | | |
|-------|-----------------------------------|----|
| 3.10. | Microscopio electrónico | 86 |
|-------|-----------------------------------|----|

CAPÍTULO 4

ESTADO METALICO

I. Estructuras cristalinas metálicas

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1. | Edificios metálicos | 89 |
| 4.2. | Metales puros | 90 |
| 4.3. | Imperfecciones de los cristales reales | 94 |
| 4.4. | Notaciones cristalográficas | 97 |
| 4.5. | Soluciones sólidas | 100 |
| 4.6. | Estudio de las soluciones sólidas de sustitución de las aleaciones binarias | 103 |
| 4.7. | Compuestos definidos | 104 |
| 4.8. | Difusión en estado sólido | 106 |
| 4.9. | Transformaciones con cambio de fase | 110 |
| 4.10. | Constitución y estructura | 111 |

II. Deformaciones mecánicas de los metales

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.11. | Características mecánicas de los metales | 111 |
| 4.12. | Plasticidad del monocristal: estudio geométrico | 114 |
| 4.13. | Plasticidad monocristal: estudio dinámico | 116 |
| 4.14. | Teoría de la plasticidad | 120 |
| 4.15. | Nociones sobre el maclado | 123 |
| 4.16. | Plasticidad de los policristales | 124 |
| 4.17. | Significación de las características mecánicas | 126 |

CAPÍTULO 5

ALEACIONES HIERRO-CARBONO

I. Diagramas de equilibrio

| | | |
|------|--|-----|
| 5.1. | Existencia de dos diagramas de equilibrio | 129 |
| 5.2. | Diagrama con cementita | 130 |
| 5.3. | Diagrama con grafito | 134 |
| 5.4. | Condiciones de validez y de utilización de estos diagramas | 134 |
| 5.5. | Condiciones del establecimiento de los dos equilibrios y del paso de uno al otro | 134 |

II. Aceros ordinarios recocidos

| | | |
|------|--|-----|
| 5.6. | Variedades alotrópicas del hierro puro | 135 |
| 5.7. | Constitución de los aceros recocidos | 135 |
| 5.8. | Puntos de transformación de los aceros | 138 |
| 5.9. | Estructura de los aceros | 140 |

III. Fundiciones ordinarias

| | | |
|-------|-------------------------------|-----|
| 5.10. | Generalidades | 143 |
| 5.11. | Fundiciones blancas | 144 |
| 5.12. | Fundiciones grises | 145 |

IV. Fundición maleable

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.13. | Maleabilización de la fundición | 149 |
| 5.14. | Maleabilización por grafitización | 150 |
| 5.15. | Maleabilización por descarburación | 151 |
| 5.16. | Fundición de grafito esferoidal | 152 |

CAPÍTULO 6

TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS

| | | |
|------|---------------------------------|-----|
| 6.1. | Nociones preliminares | 156 |
|------|---------------------------------|-----|

I. Temple

| | | |
|------|---|-----|
| 6.2. | Estudio del mecanismo del temple | 157 |
| 6.3. | Influencia de la velocidad de enfriamiento | 157 |
| 6.4. | Influencia de la temperatura de temple | 162 |
| 6.5. | Curvas características de temple | 164 |
| 6.6. | Elementos del problema del temple de una pieza. | 165 |
| 6.7. | Templabilidad | 167 |
| 6.8. | Esquema del problema práctico del temple | 170 |

II. Revenido

| | | |
|-------|----------------------------------|-----|
| 6.9. | Definición del revenido. | 172 |
| 6.10. | Proceso del revenido | 172 |
| 6.11. | Factores del revenido | 174 |

III. Recocido

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.12. | Definición y papeles del recocido | 176 |
| 6.13. | Recocido de homogeneización | 177 |
| 6.14. | Recocido de regeneración | 179 |
| 6.15. | Recocido de ablandamiento | 181 |
| 6.16. | Recocido de atenuación | 182 |
| 6.17. | Recocido de recristalización. | 182 |
| 6.18. | El recocido desde el punto de vista industrial | 184 |

CAPÍTULO 7

ACEROS ALEADOS

I. Generalidades

| | | |
|------|--|-----|
| 7.1. | Definición. | 187 |
| 7.2. | Designación convencional de los aceros | 188 |
| 7.3. | Diagramas de equilibrio | 191 |

II. Tratamientos isotermos de los aceros

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.4. | Naturaleza de los productos de la descomposición isoterma de la austenita. | 195 |
| 7.5. | Cinética de la descomposición isoterma de la austenita. | 198 |
| 7.6. | Diagramas de transformaciones isotermas | 199 |
| 7.7. | Nociones sobre el trazado de las curvas <i>TTT</i> | 203 |
| 7.8. | Aplicaciones de las curvas <i>TTT</i> al temple clásico | 204 |
| 7.9. | Tratamientos isotermos | 207 |
| 7.10. | Limitaciones en el empleo de los diagramas <i>TTT</i> | 210 |

III. Tratamientos térmicos clásicos

| | | |
|-----------|--|-----|
| 7.11. | Acción de los elementos aleados sobre los tratamientos térmicos. | 211 |
| 7.12. | Microestructura de los aceros aleados | 213 |
| 7.13. | Nociones sobre la práctica de los tratamientos térmicos de los aceros aleados. | 214 |
| 7.13 bis. | Curvas de transformación en enfriamiento continuo | 218 |
| 7.14. | Clasificación industrial de los aceros | 221 |
| 7.15. | Razones que justifican los principales empleos de los aceros aleados. | 222 |

IV. Principales aceros aleados

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.16. | Aceros al níquel | 226 |
| 7.17. | Aceros al manganeso | 228 |
| 7.18. | Aceros al cromo | 229 |
| 7.19. | Aceros al silicio | 230 |
| 7.20. | Aceros al boro | 231 |
| 7.21. | Otros aceros de un elemento aleado | 231 |
| 7.22. | Aceros al cromoníquel | 232 |
| 7.23. | Aceros de corte rápido | 233 |
| 7.24. | Nociones sobre las fundiciones aleadas | 235 |

CAPÍTULO 8

ENDURECIMIENTO POR MADURACION

| | | |
|------|--|-----|
| 8.1. | Condiciones del endurecimiento por maduración | 236 |
| 8.2. | Mecanismo del temple | 237 |
| 8.3. | Mecanismo de la maduración | 238 |
| 8.4. | Nociones sobre la práctica del tratamiento térmico de las aleaciones ligeras de aluminio | 240 |
| 8.5. | Comparación entre el temple de los aceros y el endurecimiento por maduración | 243 |
| 8.6. | El endurecimiento por el revenido en los aceros | 244 |

CAPÍTULO 9

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES DE LOS ACEROS

| | | |
|------|------------------------------|-----|
| 9.1. | Visión de conjunto | 247 |
| 9.2. | Temple superficial | 249 |
| 9.3. | Cementación | 249 |
| 9.4. | Nitruración | 254 |
| 9.5. | Cianuración | 255 |
| 9.6. | Carbonitruración | 256 |
| 9.7. | Cromado | 257 |

CAPÍTULO 10

LUCHA CONTRA LA CORROSION

| | | |
|-------|---|-----|
| 10.1. | Aspectos diversos de la corrosión | 259 |
| 10.2. | Mecanismo de la corrosión | 260 |
| 10.3. | Causas de la corrosión | 262 |
| 10.4. | Lucha contra la corrosión | 268 |
| 10.5. | Metales y aleaciones resistentes a la corrosión | 268 |
| 10.6. | Protección por revestimientos metálicos | 271 |
| 10.7. | Protección por revestimientos no metálicos | 274 |
| 10.8. | Ensayos de corrosión | 276 |
| 10.9. | Diagramas tensión-pH | 277 |

CAPÍTULO 11

METALES Y ALEACIONES NO FERRICAS

| | | |
|-------|---|-----|
| 11.1. | Razones que justifican el empleo de los metales no férricos | 280 |
| 11.2. | Designación convencional de las aleaciones no férricas | 281 |

I. El cobre y sus aleaciones

| | | |
|-------|--|-----|
| 11.3. | Propiedades del cobre y aplicaciones | 281 |
| 11.4. | Latones | 282 |
| 11.5. | Bronces | 284 |
| 11.6. | Otras aleaciones de cobre | 287 |

II. El aluminio y sus aleaciones

| | | |
|-------|---|-----|
| 11.7. | Propiedades del aluminio y aplicaciones | 288 |
| 11.8. | Principales aleaciones de aluminio | 290 |

III. Otros metales pesados

| | | |
|--------|--------------------------|-----|
| 11.9. | Plomo | 291 |
| 11.10. | Antifricciones | 292 |
| 11.11. | Cinc | 293 |
| 11.12. | Níquel | 293 |
| 11.13. | Estaño | 294 |

IV. Otros metales ligeros

| | |
|---------------------------|-----|
| 11.14. Magnesio | 294 |
| 11.15. Calcio | 295 |
| 11.16. Berilio | 295 |

CAPÍTULO 12

CUADRO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE CONTROL DE LAS PIEZAS METÁLICAS

| | |
|---|-----|
| 12.1. Generalidades | 297 |
| 12.2. Ensayos químicos | 298 |
| 12.3. Ensayos mecánicos | 298 |
| 12.4. Ensayos físico-químicos y de estructura | 299 |
| 12.5. Ensayos no destructivos | 299 |
| 12.6. Ensayos especiales | 300 |

CAPÍTULO 13

APLICACIONES DE LOS RAYOS X

I. Rayos X

| | |
|--|-----|
| 13.1. Producción de los rayos X | 301 |
| 13.2. Estudio sumario de los rayos X | 302 |

II. Radiometalografía

| | |
|--|-----|
| 13.3. Principio de la radiometalografía | 304 |
| 13.4. Técnica de la radiometalografía | 305 |
| 13.5. Aplicaciones de la radiometalografía | 308 |
| 13.6. Radiografía por rayos gamma | 309 |

III. Radiocristalografía

| | |
|--|-----|
| 13.7. Difracción de los rayos X | 312 |
| 13.8. Método de los polvos | 313 |
| 13.9. Aplicaciones industriales de la espectrorradiografía | 315 |
| 13.10. Nociones sobre la difracción de los electrones | 317 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| BIBLIOGRAFÍA BREVE | 318 |
| EJERCICIOS | 320 |
| RESULTADOS NUMÉRICOS | 360 |

PRACTICAS DE METALURGIA

| | |
|---|-----|
| PREÁMBULO | 366 |
| 1. Análisis térmico | 367 |
| 2. Dilatómetro mecánico Chevenard | 367 |
| 3. Primera sesión de micrografía | 368 |
| 4. Macrografía | 369 |
| 5. Determinación del manganeso | 370 |
| 6. Determinación del fósforo | 371 |
| 7. Determinación del silicio | 373 |
| 8. Dosificación del azufre | 373 |
| 9. Dosificación del cromo | 374 |
| 10. Análisis cualitativo de un acero aleado | 375 |
| 11. Disolución del magnesio en el ácido clorhídrico | 376 |
| 12. Ensayos cualitativos de corrosión | 378 |