

# ÍNDICE

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....                                                       | 5         |
| Métodos de unión.....                                                           | 5         |
| Diferencias entre soldaduras fuerte, blanda y de fusión.....                    | 5         |
| Fundamentos y mecanismos de la soldadura fuerte.....                            | 7         |
| <b>CAPÍTULO I LOS PARÁMETROS CLAVE EN LA SOLDADURA FUERTE</b> .....             | <b>11</b> |
| 1.1 Tensión y energía superficial .....                                         | 11        |
| 1.2 Mojado, capilaridad y ángulo de contacto.....                               | 12        |
| 1.3 Flujo del metal de aportación .....                                         | 19        |
| 1.3.1 Características del metal base.....                                       | 20        |
| 1.3.2 Restricciones metalúrgicas y soluciones .....                             | 22        |
| 1.3.2.1 Mojado de metales.....                                                  | 22        |
| 1.3.2.2 Mojado de no metales.....                                               | 23        |
| 1.3.2.3 Erosión .....                                                           | 23        |
| 1.3.2.4 Formación de fases intermetálicas .....                                 | 24        |
| 1.3.3 Restricciones mecánicas y soluciones .....                                | 24        |
| 1.4. Características del metal de aportación.....                               | 26        |
| 1.4.1 Sistemas de aleaciones aportación .....                                   | 27        |
| 1.4.1.1 Plata pura.....                                                         | 27        |
| 1.4.1.2 Cobre puro .....                                                        | 27        |
| 1.4.1.3 Eutéctico plata-cobre .....                                             | 29        |
| 1.4.1.4 Plata-zinc y cobre-zinc.....                                            | 31        |
| 1.4.1.5 Plata-cobre-zinc .....                                                  | 32        |
| 1.4.1.6 Aleaciones plata-cobre-zinc-cadmio .....                                | 35        |
| 1.4.1.7 Plata-cobre-zinc-estaño .....                                           | 36        |
| 1.4.1.8 Metales de aportación base oro.....                                     | 36        |
| 1.4.1.9 Metales de aportación con base paladio .....                            | 41        |
| 1.4.1.10 Materiales de aportación con base níquel.....                          | 41        |
| 1.4.1.11 Aleaciones con base aluminio .....                                     | 43        |
| 1.5 Rugosidad superficial del metal base .....                                  | 45        |
| 1.6 Disolución de los metales base por el material de aportación fundido.....   | 47        |
| 1.7 Importancia de la junta .....                                               | 48        |
| <b>CAPÍTULO II REQUERIMIENTOS DE FUNCIONAMIENTO Y CRITERIOS DE DISEÑO</b> ..... | <b>51</b> |
| 2.1 Estabilidad metalúrgica .....                                               | 51        |
| 2.2 Integridad mecánica .....                                                   | 51        |
| 2.3 Conductividad térmica y eléctrica .....                                     | 52        |
| <b>CAPÍTULO III PROCESOS DE SOLDADURA FUERTE</b> .....                          | <b>53</b> |
| 3.1 Por llama de combustión de gases .....                                      | 53        |
| 3.1.1 Características de la llama.....                                          | 53        |
| 3.1.2 Ventajas y limitaciones.....                                              | 56        |
| 3.1.3 Aplicaciones .....                                                        | 56        |
| 3.1.4 Instalaciones para el soldeo con llama o soplete .....                    | 59        |
| 3.1.5 Técnicas .....                                                            | 60        |
| 3.2 Soldadura por inducción.....                                                | 62        |
| 3.2.1 Ventajas y limitaciones.....                                              | 62        |
| 3.2.2 Equipo de soldeo y fijaciones.....                                        | 65        |
| 3.2.3 Diseño de la unión .....                                                  | 66        |
| 3.3 Soldadura por resistencia.....                                              | 67        |
| 3.3.1 Parámetros del proceso .....                                              | 68        |
| 3.3.2 Equipo y elección de sistemas.....                                        | 70        |
| 3.3.3 Electrodo metálicos .....                                                 | 70        |
| 3.3.4 Electrodo de carbono .....                                                | 71        |
| 3.3.5 Selección del material para electrodos de carbono.....                    | 72        |

|                                                       |                                                                    |            |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.6                                                 | Diseño de electrodos .....                                         | 72         |
| 3.3.7                                                 | Metales de aportación.....                                         | 72         |
| 3.4                                                   | Soldadura en horno.....                                            | 73         |
| 3.4.1                                                 | Tipos de hornos e instrumentación de control.....                  | 75         |
| 3.4.2                                                 | Soldeo fuerte de acero inoxidable.....                             | 78         |
| 3.5                                                   | Soldadura por difusión .....                                       | 92         |
| 3.6                                                   | Soldadura por inmersión .....                                      | 94         |
| 3.6.1                                                 | Construcción de hornos .....                                       | 94         |
| 3.6.2                                                 | Detalles del proceso.....                                          | 96         |
| 3.6.3                                                 | Mantenimiento del equipo .....                                     | 97         |
| 3.6.4                                                 | Aplicaciones .....                                                 | 97         |
| 3.6.5                                                 | Precauciones de seguridad.....                                     | 99         |
| 3.7                                                   | Soldadura por reacción exotérmica .....                            | 99         |
| 3.7.1                                                 | Tipos de compuestos exotérmicos.....                               | 100        |
| 3.7.2                                                 | Equipo .....                                                       | 100        |
| 3.7.3                                                 | Proceso .....                                                      | 101        |
| 3.8                                                   | Soldadura con materiales plaqueados.....                           | 102        |
| 3.8.1                                                 | Materiales plaqueados .....                                        | 103        |
| <b>CAPÍTULO IV ASPECTOS DEL PROCESO .....</b>         |                                                                    | <b>105</b> |
| 4.1                                                   | Componentes de la junta. ....                                      | 105        |
| 4.2                                                   | Formatos del metal de aportación.....                              | 106        |
| 4.3                                                   | Métodos de calentamiento. ....                                     | 108        |
| 4.4                                                   | Control de la temperatura.....                                     | 109        |
| 4.5                                                   | Recubrimientos superficiales de los componentes .....              | 110        |
| 4.6                                                   | Atmósfera de la unión. ....                                        | 110        |
| 4.6.1                                                 | Atmósferas protectoras de la unión .....                           | 111        |
| 4.6.2                                                 | Reducción de películas de óxido .....                              | 112        |
| 4.6.3                                                 | Aspectos termodinámicos de la reducción de óxidos .....            | 113        |
| 4.6.4                                                 | Aplicación práctica del diagrama de Ellingham .....                | 115        |
| 4.7                                                   | Desoxidantes químicos (Fluxes) .....                               | 120        |
| 4.7.1                                                 | Desoxidantes o fluxes para soldeo fuerte.....                      | 122        |
| 4.7.2                                                 | Desoxidantes para aluminio y sus aleaciones .....                  | 124        |
| 4.8                                                   | Aleaciones de aportación autofundentes .....                       | 125        |
| 4.9                                                   | Aleaciones de aportación reactivas .....                           | 126        |
| 4.10                                                  | Procesos de limpieza .....                                         | 131        |
| 4.11                                                  | Ciclo de calor en la operación de soldeo .....                     | 132        |
| 4.12                                                  | Tratamientos post soldeo.....                                      | 133        |
| <b>CAPÍTULO V CALIDAD EN LA SOLDADURA FUERTE.....</b> |                                                                    | <b>135</b> |
| Introducción.....                                     |                                                                    | 135        |
| 5.1                                                   | Procedimiento de soldeo y su cualificación según UNE-EN 13134..... | 135        |
| 5.2                                                   | La cualificación de soldadores según UNE-EN 13133 .....            | 136        |
| <b>CAPÍTULO VI SEGURIDAD E HIGIENE.....</b>           |                                                                    | <b>143</b> |
| 6.1                                                   | Riesgos asociados a las tareas de soldadura.....                   | 143        |
| 6.2                                                   | Medidas preventivas generales.....                                 | 144        |
| 6.3                                                   | Medidas preventivas específicas .....                              | 144        |
| 6.3.1                                                 | Prevención riesgos higiénicos.....                                 | 144        |
| 6.3.2                                                 | Utilización de botellas de gas.....                                | 145        |
| 6.4                                                   | Equipos de protección individual.....                              | 146        |
| 6.4.1                                                 | Filtros de protección para pantallas de soldadura .....            | 147        |
| 6.4.2                                                 | Pantallas de soldadura.....                                        | 147        |
| 6.4.3                                                 | Guantes de protección .....                                        | 148        |
| 6.4.4                                                 | Mascarillas y filtros de protección para vías respiratorias .....  | 149        |
| 6.4.5                                                 | Prendas de protección .....                                        | 150        |
| Bibliografía.....                                     |                                                                    | 153        |