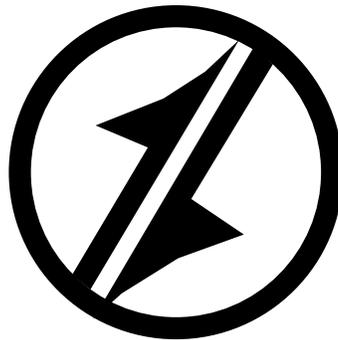


CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**ALTERNATIVAS DE MATERIALES DE APORTE LIBRES DE CADMIO EN
PROCESOS DE SOLDADURA BRAZING.**

POR

FERNANDO MACÍAS LÓPEZ

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO COAHUILA. DICIEMBRE 2006.

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST - GRADO



**ALTERNATIVAS DE MATERIALES DE APORTE LIBRES DE CADMIO, EN
PROCESOS DE SOLDADURA BRAZING.**

POR

FERNANDO MACÍAS LÓPEZ

MONOGRAFÍA

**EN OPCIÓN COMO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA
DE LA SOLDADURA INDUSTRIAL**

SALTILLO COAHUILA. DICIEMBRE 2006

INDICE

1. Síntesis.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Justificación.....	4
4. Introducción.....	5

Capítulo 5 – Revisión de la literatura

5.1 El cadmio.....	7
5.2 Propiedades del cadmio.....	8
5.3 Situaciones de exposición al cadmio.....	9
5.4 Efectos adicionales del cadmio en la salud.....	10
5.5 Precauciones de reducción de riesgo de exposición al cadmio.....	10
5.6 Límites de exposición laboral.....	10

Capítulo 6 – Fundamentos del Brazing

6.1 Brazing.....	12
6.2 Ventajas del proceso brazing.....	12
6.3 Limitaciones del proceso brazing.....	13
6.4 Principio del proceso.....	13
6.5 Fusión y fluidez.....	14
6.6 Licuación.....	15
6.7 Mojado y adhesión.....	16

Capítulo 7 – Procesos de Brazing

7.1	Brazing manual con antorcha.....	19
7.2	Brazing en horno.....	21
7.3	Brazing por inducción.....	22
7.4	Brazing por inmersión.....	24
7.5	Brazing por infrarrojo.....	25
7.6	Brazing Exotérmico.....	26
7.7	Brazing por resistencia.....	26

Capítulo 8 – Procedimientos de soldadura brazing

8.1	Seis pasos básicos.....	28
8.2	Buen ensamble y separación apropiada.....	29
8.3	Limpieza de los metales.....	33
8.4	Aplicación de fundente en las partes.....	35
8.5	Ensamble para el brazing.....	39
8.6	Soldadura brazing del ensamble.....	42
8.7	Limpieza de la union soldada.....	44
8.8	Formato de procedimiento de soldadura brazing (BPS).....	47

Capítulo 9 - Inspección y pruebas

9.1	Métodos de pruebas no destructivos.....	48
9.2	Métodos de pruebas destructivos.....	49
9.3	Discontinuidades.....	49

Capítulo 10 - Propiedades de los metales de aporte

10.1	Propiedades de los metales de aporte.....	51
10.2	Metales de aporte de Aluminio - Silicio.....	54

10.3	Metales de Aporte de Magnesio.	54
10.4	Metales de Aporte de Cobre Y Cobre-Cinc.	55
10.5	Metales de Aporte de Cobre - Fósforo.	55
10.6	Metales de Aporte de Plata.	56
10.7	Metales de Aporte de Oro.	57
10.8	Metales de Aporte de Níquel.	58
10.9	Metal de Aporte de Cobalto.	58
10.10	Metales de Aporte para Metales Refractarios.....	59
10.11	Metales de aporte libres de cadmio.....	60
11	Casos de estudio.....	64
12	Conclusiones.....	70
13	Recomendaciones.....	71
14	Listado de figuras.....	72
15	Listado de tablas.....	74
16	Bibliografía.....	75
17	Resumen autobiográfico.....	76

1.

SINTESIS

El metal, los compuestos y las aleaciones se usan a menudo en lugares de trabajo en operaciones denominadas “en caliente” que incluye, pero no se limita a procesos de soldadura como pueden ser el Brazing y el Soldering, debido a las altas temperaturas alcanzadas en estas operaciones, los metales forman humos metálicos, los cuales tienen efectos en la salud. La generación de estos vapores requiere controles especializados debido a que existen normas que regulan la exposición. Evidentemente el riesgo que se toma al estar en contacto con estos gases es diferente cuando se trata solamente de calentar el metal o el compuesto metálico original. Las partículas del humo se forman de la vaporización del metal que se funde. Los efectos adversos en la salud se deben a la sobre exposición a los gases y humos de soldadura que incluyen el envenenamiento del sistema crónico o agudo. Adicionalmente la exposición puede causar neumoconiosis (enfermedad del pulmón debido a la acumulación de partículas mineral o metálica) irritación de la zona respiratoria y afectación en los órganos reproductores entre otros.

Los humos de soldadura producidos en estas operaciones dependen tanto de la composición química de los metales base que son unidos como por los metales de aporte empleados en la soldadura. Por ejemplo al soldar los metales

galvanizados con materiales de aporte conteniendo plata se pueden generar humos que contienen cadmio.

Por otra parte cuando el metal base es hierro o acero y el metal de aporte tiene composición química similar el humo principal será oxido de hierro. Al soldar con acero inoxidable se producirán humos con alto contenido de cromo y níquel.

En resumen en los procesos brazing, la utilización de materiales de aporte puede generar diversos humos de metal u otros componentes que no están regulados. Es importante que los peligros de una operación de soldadura estén evaluados correctamente con la normatividad nacional e internacional aplicable para salvaguardar la integridad del recurso humano y mejorar su calidad de vida.

2.

OBJETIVOS

Este trabajo tiene como objetivos principales:

- Conceptualizar los tópicos de sustancias peligrosas y cuales son cancerígenas conforme a la normatividad nacional e internacional.
- Identificar los riesgos ocasionados por el manejo de materiales de aporte con contenido de cadmio.
- Contar con los conocimientos necesarios para realizar operaciones de soldadura brazing en materiales de aporte con cadmio.
- Conocer la normatividad de seguridad en materia de riesgos tóxicos en sustancias químicas para prevenir efectos en la salud.
- Analizar los efectos metalúrgicos de las soldaduras sin cadmio en relación a las que contienen cadmio.
- Identificar los diferentes procesos de brazing y sus métodos de calentamiento que involucran humos cancerígenos.

3.

JUSTIFICACION

La justificación principal del desarrollo del presente trabajo es debido a que respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la **muerte**.

Lesiones en los pulmones y fragilidad de los huesos son otros efectos posibles causados por exposición al Cd de larga duración.

El cadmio es una sustancia química que se encuentra en la lista especial de sustancias peligrosas para la salud (Special health hazard substance list, OSHA 1910-1027) porque es **CANCERIGENO**.

4.

INTRODUCCION

El conocer que el cadmio es una sustancia química que se encuentra en la lista especial de sustancias peligrosas para la salud porque es cancerígeno, es la principal razón por la que se deben analizar las alternativas de metales de aporte libres de cadmio en los procesos de soldadura brazing.

Por lo tanto es necesario comprender el principio de operación de cada uno de los diferentes métodos de fuentes de calor en estos procesos como son: antorcha, horno, inducción, inmersión, resistencia, difusión, exotérmico. Así mismo conocer los metales de aporte, fluxes y atmósferas protectoras con los riesgos asociados en estos procesos.

Es de gran utilidad comprender los efectos en la salud de las sustancias químicas peligrosas debido a los humos que generan las atmósferas, fundentes y metales de aporte, en donde intervienen algunos con alto contenido de cadmio. El relacionarse con los peligros asociados en este tipo de procesos, permite establecer los límites de exposición durante los trabajos de soldadura brazing conforme a los estándares de seguridad y salud (OSHA ⁽¹⁾, ANSI/Z49.1 ⁽²⁾, NOM-027-STPS ⁽³⁾, etc.), además de determinar las medidas adecuadas para el personal expuesto a largas jornadas.

Los riesgos asociados en corte y soldadura en los efectos de la salud es la principal razón para considerar las alternativas en el mercado de los diferentes metales de aporte libres de cadmio sin demeritar la calidad en las uniones por el método de soldadura Brazing.

El análisis metalúrgico de las uniones libres de cadmio con respecto a los aportes con cadmio nos permitirá establecer claramente las ventajas y desventajas en el uso de estas nuevas alternativas disponibles en el mercado.

-
- (1) Occupational Safety & Health Administration 200 Constitution Avenue , NW Washington, DC 20210
 - (2) American welding Society 550 N.W. LeJune Road, P.O. Box 351040, Miami, Florida 33135
 - (3) Secretaria del Trabajo y Previsión Social Félix Cuevas no. 301, 7 piso colonia del valle delegación Benito Juárez, C. P. 03100 México, D.F.

5.

REVISION DE LA LITERATURA

5.1. El cadmio.

El cadmio es una sustancia natural en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otras sustancias tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio), o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio).

Todo tipo de terrenos y rocas, incluso minerales de carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio. La mayor parte del cadmio que se usa en los EE.UU. es extraído durante la producción de otros metales como zinc, plomo y cobre. El cadmio no se oxida fácilmente, y tiene muchos usos incluyendo baterías, pigmentos, revestimientos para metales y plásticos.

En el pasado, un uso comercial importante del cadmio fue como cubierta electro-depositada sobre hierro o acero para protegerlos contra la corrosión. La segunda aplicación es en baterías de níquel-cadmio y la tercera como reactivo químico y pigmento. Se recurre a cantidades apreciables en aleaciones de bajo punto de fusión semejantes a las del metal de Wood, en rociadoras automáticas contra el fuego y en cantidad menor, en aleaciones de latón soldaduras y cojinetes. Los compuestos de cadmio se emplean como estabilizadores de plásticos y en la producción de cadmio fosforado.

Por su gran capacidad de absorber neutrones, en especial el isótopo 113, se usa en barras de control y recubrimiento de reactores nucleares.

En el presente trabajo el enfoque en alternativas de materiales de aporte libres de cadmio es debido a que:

- El cadmio esta en la lista de sustancias peligrosas (hazardous substance list) porque esta reglamentado por la OSHA y porque ha sido citado por las normas: STPS, ACGIH, el DOT, NIOSH, el NTP, el DEP, la IARC, el HHAG y la EPA.
- Esta sustancia química se encuentra en la lista especial de sustancias peligrosas para la salud (Special health hazard substance list) porque es CANCERIGENO

5.2. Propiedades del cadmio

En la Tabla 5.1 se muestran algunas propiedades del cadmio.

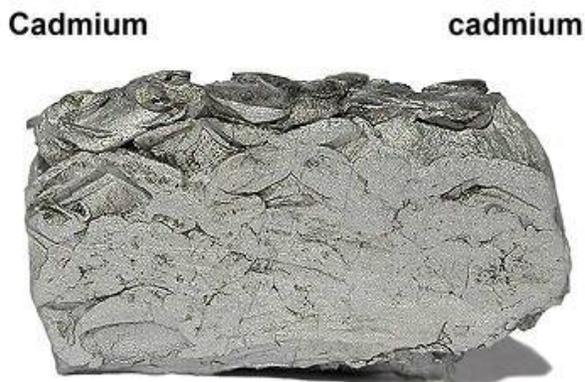


Figura No. 5.1 Cadmio

Nombre	Cadmio
Número atómico	48
Valencia	2
Estado de oxidación	+2
Electronegatividad	1,7
Radio covalente (Å)	1,48
Radio iónico (Å)	0,97
Radio atómico (Å)	1,54
Configuración electrónica	[Kr]4d105s2
Primer potencial de ionización (eV)	9,03
Masa atómica (g/mol)	112,40
Densidad (g/ml)	8,65
Punto de ebullición (°C)	765
Punto de fusión (°C)	320,9
Descubridor	Fredrich Stromeyer en 1817

Tabla No 5.1 Propiedades del cadmio.

5.3. Situaciones de exposición al cadmio

- Al respirar aire contaminado en el trabajo (fábrica de baterías, soldadura de metales).
- Al ingerir alimentos que contienen cadmio; todo alimento tiene cadmio en bajos niveles (los niveles más altos se encuentran en mariscos, hígado y riñones).
- Al respirar humo de cigarrillos (duplica la ingestión diaria de cadmio).
- Al tomar agua contaminada.
- Al respirar aire contaminado cerca de donde se queman combustibles fósiles o desechos municipales.

5.4. Efectos adicionales del cadmio en la salud

- Respirar altos niveles de cadmio produce graves lesiones en los pulmones y puede producir la muerte. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy elevados produce seria irritación al estómago e induce vómitos y diarrea.
- El cadmio puede acumularse en los riñones a raíz de exposición por largo tiempo a bajos niveles de cadmio en el aire puede producir enfermedades renales.

5.5. Precauciones de reducción de riesgo de exposición al cadmio

- Encierre las operaciones y use ventilación por extracción localizada en el lugar de las emisiones químicas. Si no se usa ventilación por extracción localizada ni se encierran las operaciones, deben usarse respiradores.
- Debe establecerse una área regulada y marcada donde se usa, manipula o almacena el Cadmio, según exige la norma de la OSHA: 29 CFR 1910.1027
- Verificar las áreas peligrosas conforme al procedimiento NOM-STPS 071: Determinación de cadmio en el aire-método espectrofotométrico de absorción atómica con flama.
- Utilice Metal de aporte sin Cadmio.

5.6. Límites de exposición laboral

OSHA: El límite legal de exposición permitido en el aire (PEL) es de 0,005 mg/m³ de cadmio en forma de polvo o humo, como promedio durante un turno laboral de 8 horas. La OSHA a reconocido la posibilidad de que algunos procesos en ciertas industrias no pueden lograr el límite de 0,005 mg/m³ por medio de medidas de ingeniería y prácticas laborales. Estas

industrias deben cumplir con los límites SECAL (límites en el aire por medidas separadas de control de ingeniería) 0,015 o 0,05 mg/m³.

NIOSH ⁽⁴⁾: Se recomienda que la exposición a cancerígenos ocupacionales se limite a la más baja concentración factible.

ACGIH ⁽⁵⁾: El límite recomendado de exposición en el aire es de 0,01 mg/m³ en forma de cadmio elemental y de 0,02 mg/m³ en forma de compuestos de cadmio (fracción respirable). Como promedio durante un turno laboral de 8 horas.

(4) National Institute for Occupational Safety and Health. www.cdc.gov/niosh/homepage.html

(5) © 2006 American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1330 Kemper Meadow Drive, Cincinnati, Ohio 45240, 513-742-2020. www.acgih.org/

6.

FUNDAMENTOS DEL BRAZING

6.1. Brazing

La soldadura brazing une materiales calentándolos en presencia de un metal de aporte que tiene un cambio a fase líquida (liquidus) por encima de 450 °C pero por debajo del cambio a fase sólida (solidus) del metal base.

Se calienta el área de la unión hasta que el fundente se derrite y limpia los metales base quedando protegidos contra la oxidación. El metal de aporte se funde en algún punto de la superficie de la unión, la atracción capilar del metal base y el metal de aporte es mayor que la atracción entre el metal base y el fundente por lo tanto el metal base desplaza al fundente.

Al enfriarse la unión quedará llena de metal de aporte sólido y el fundente se encontrará en la periferia de la unión. En ocasiones la soldadura brazing se realiza mediante un gas activo como el hidrógeno, un gas inerte o en vacío.

6.2. Ventajas del proceso brazing

Las principales ventajas de la soldadura brazing son:

- 1.- Es económica para ensambles complejos
- 2.- Es sencilla para ensambles grandes
- 3.- La distribución térmica y de esfuerzos es excelente
- 4.- Conserva los recubrimientos y revestimientos
- 5.- Puede unir metales disímiles
- 6.- Permite unir metales y no metales
- 7.- Puede unir metales muy diferentes
- 8.- Permite unir piezas de precisión
- 9.- Las uniones requieren poco acabado
- 10.- Se pueden unir muchas piezas al mismo tiempo.

6.3. Limitaciones del proceso brazing

Las principales desventajas de la soldadura brazing son:

- 1.- Posibilidad de interacciones desfavorables del metal líquido con la pieza.
- 2.- Erosión del metal base
- 3.- Formación de fases quebradizas intermetálicas que reducen la ductilidad
- 4.- Requiere personal altamente capacitado

6.4. Principio del proceso

El flujo capilar es el principio básico en donde el metal de aporte fundido moja ambas superficies del ensamble. La unión deberá espaciarse de modo que permita una acción capilar eficiente.

La capilaridad es el resultado de la tensión superficial entre el metal base y el metal de aporte que es promovido por el ángulo de contacto entre ambos.

En el flujo del metal de aporte influyen consideraciones dinámicas como la viscosidad, la presión de vapor, la gravedad y las reacciones metalúrgicas entre el metal base y la soldadura. En la aplicación de soldadura brazing las superficies que se van a unir se limpian para eliminar contaminantes y óxidos, luego se cubren con fundente que es capaz de disolver los óxidos metálicos sólidos y evitar una nueva oxidación.

Se calienta el área de la unión hasta que el fundente se derrite y limpia los metales base quedando protegidos contra la oxidación.

6.5. Fusión y fluidez

Los metales puros se funden a una temperatura constante y generalmente son muy fluidos. Las composiciones binarias tienen diferentes características, dependiendo de las proporciones de los dos metales. La Figura 6.1 muestra el diagrama de equilibrio del sistema binario plata-cobre. Durante el calentamiento la línea de cambio a fase sólida (solidus), ADCEB, indica la temperatura de comienzo de la fusión de las aleaciones, en tanto que la línea de cambio a fase líquida (liquidus), ACB, indica las temperaturas a las que las aleaciones se vuelven completamente líquidas. En el punto C las dos líneas se unen (72% en peso plata-28% cobre), lo que indica que esa aleación se funde a esa temperatura específica (la temperatura eutéctica). Esta aleación tiene la composición eutéctica; es tan fluida como un metal puro, en tanto que las demás combinaciones de aleación son pastosas entre sus temperaturas de solidus y de liquidus. Cuanto mayor sea la separación entre estas dos temperaturas, más trabajo costará que la aleación fluya al interior de una unión capilar.

La región α es una solución sólida de cobre en plata, y la región β es una solución sólida de plata en cobre. La zona sólida central consiste en una mezcla homogénea íntima de soluciones sólidas α y β . Por encima de la

línea de liquidus, los átomos de plata y de cobre están distribuidos en forma totalmente homogénea en una solución líquida.

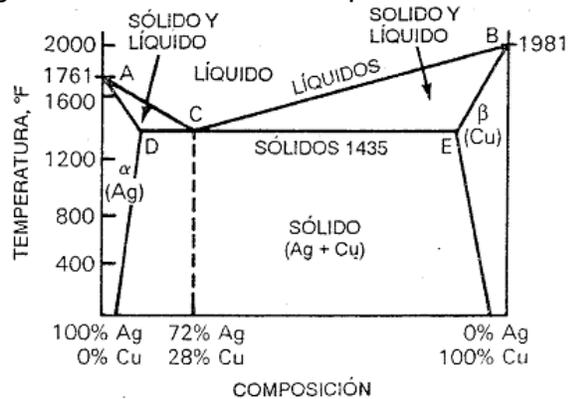


Fig. No. 6.1 Diagrama de equilibrio del sistema binario plata-cobre.

6.6. Licuación

Como las fases de aleación sólida y líquida de un metal de aporte para soldadura brazing generalmente no son iguales, la composición del metal fundido cambiará gradualmente conforme se incremente la temperatura desde el solidus hasta el liquidus. Si se permite que la porción que se funde primero fluya hacia fuera, es posible que el sólido restante no se funda y permanezca como un residuo o “calavera”.

Los metales de aporte con intervalos de fusión estrechos no tienden a separarse, de modo que fluyen libremente al interior de uniones con separaciones extremadamente angostas. Los metales de aporte con intervalos de fusión amplios deben calentarse rápidamente o colocarse en la unión después de que el metal base haya alcanzado la temperatura de soldadura brazing, a fin de minimizar la separación, que se denomina licuación.

Los metales de aporte propensos a la licuación fluyen lentamente, sólo penetran en uniones bastante separadas y forman filetes grandes en las extremidades de las uniones.

6.7. Mojado y adhesión

Para ser efectivo, un metal de aporte de soldadura brazing debe alearse con la superficie del metal base sin (1) difundirse de manera indeseable al interior del metal base, (2) diluir el metal base, (3) erosionar el metal base ni (4) formar compuestos quebradizos. Los efectos (1), (2) y (3) dependen de la solubilidad mutua entre el metal de aporte y el metal de la cantidad de metal de aporte presente y de la temperatura y duración del ciclo de soldadura brazing. Ver Figura 6.2.

Algunos metales de aporte se difunden excesivamente y alteran las propiedades del metal base. Si se desea controlar la difusión se debe escoger un metal de aporte apropiado, aplicar la mínima cantidad posible y seguir el ciclo de soldadura brazing correcto. Si el metal de aporte moja el metal base, mejorará el flujo capilar. Si los capilares entre las piezas metálicas son largos, la solubilidad mutua puede modificar la composición del metal de aporte por aleación. Por lo regular esto elevará su temperatura de liquidus y hará que solidifique antes de llenar por completo la unión.

La erosión del metal base (3) ocurre cuando el metal base y el metal de aporte de soldadura brazing son mutuamente solubles. Hay ocasiones en tal aleación produce compuestos intermetálicos quebradizos (4) que reducen la ductibilidad de la unión.

La composición de los metales de aporte se ajusta con el fin de controlar los factores anteriores y conferir características deseables, como resistencia a la corrosión en medios específicos, temperaturas de soldadura brazing favorables o ahorro de materiales. Así por ejemplo, para sobreponerse a la

capacidad de aleación (humectabilidad) limitada de las aleaciones plata-cobre que se usan para soldar en hierro y acero, esos metales de aporte contienen cinc o cadmio, o ambos, que bajan las temperaturas de liquidus y solidus. Se añade estaño en lugar de cinc o cadmio en los casos en que son indeseables los constituyentes con presión de vapor alta.

De manera similar, se usa silicio para bajar las temperaturas de liquidus y solidus de los metales de aporte para soldadura de aluminio y con base de níquel. Otros metales de aporte contienen elementos como litio, fósforo o boro, que reducen los óxidos superficiales del metal base y forman compuestos con punto de fusión por debajo de la temperatura de soldadura brazing; esos óxidos fundidos pueden entonces fluir y salir de la unión dejando una superficie metálica limpia para la soldadura brazing. En esencia, estos metales de aporte son autofundentes.

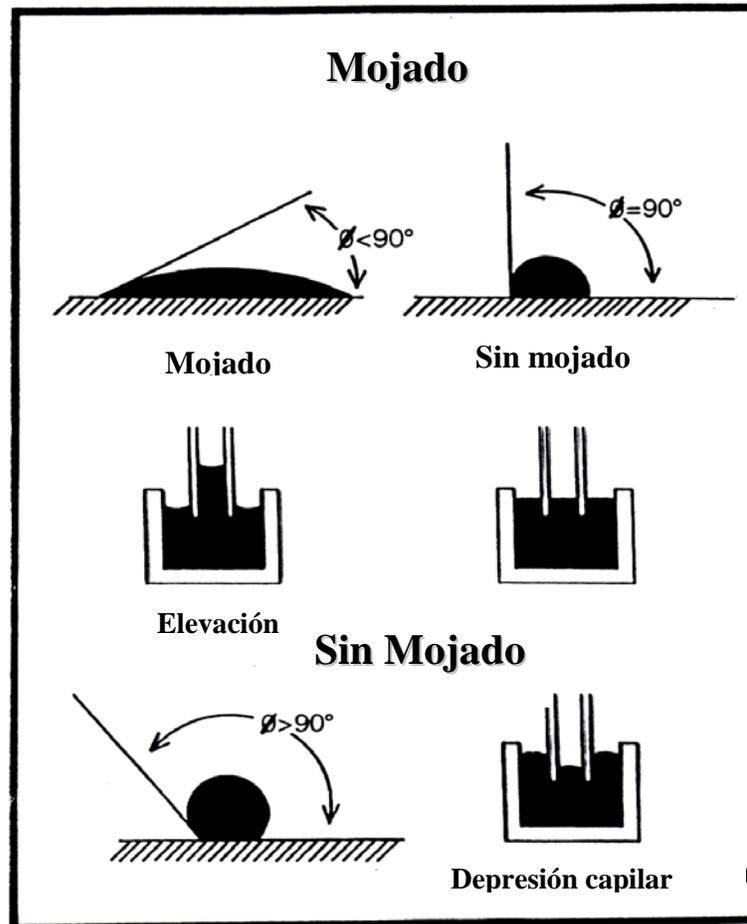


Fig. No. 6.2 Ángulos de Mojado Capilar

7.

PROCESOS DE BRAZING

7.1. Brazing manual con antorcha

Este proceso, se lleva a cabo calentando uno o más sopletes de gas. Dependiendo de la temperatura y de la cantidad de calor requerida, el gas combustible (acetileno, propano, gas natural, etc.) se puede quemar con aire, aire comprimido u oxígeno. Los sopletes de aire-gas natural son los que producen la temperatura de flama más baja y también el mínimo de calor. El acetileno a presión se usa en el soplete de aire-acetileno con aire a presión atmosférica. Se pueden usar con sopletes de aire-gas natural como de aire - acetileno para soldar piezas pequeñas y secciones delgadas. Los sopletes que usan oxihidrógeno se usan mucho para la soldadura brazing de aluminio y aleaciones no ferrosas. Lo bajo de la temperatura reduce la posibilidad de sobrecalentar el ensamble durante la soldadura. Un exceso de hidrógeno ayuda a limpiar y proteger la unión. Se pueden usar con provecho sopletes de diseño especial con múltiples puntas o múltiples flamas a fin de incrementar la tasa de aporte de calor. Hay que evitar el sobrecalentamiento local teniendo cuidado de mover constantemente el soplete sobre el trabajo.

Para la soldadura brazing manual con soplete, éste puede equiparse con una sola punta, que puede ser de una o varias flamas. La soldadura brazing

manual con soplete resulta especialmente útil para unir ensambles con secciones de masa desigual.

Es posible configurar operaciones mecanizadas, si la tasa de producción lo justifica, empleando uno o más sopletes equipados con puntas de una o varias flamas. La máquina puede diseñarse de modo que mueva el trabajo o bien los sopletes, o ambas cosas. Si se emplean flamas de gas municipal y aire premezclados, se utiliza un mechero del tipo refractario.

El calentamiento con soplete para soldadura brazing sólo puede usarse con metales de aporte acompañados de fundente o con autofundente. Esta lista incluye aluminio-silicio, plata, cobre-fósforo y todos requieren fundente. En ciertas aplicaciones incluso los metales de aporte de cobre fósforo auto fundentes requieren fundente adicional.

El metal de aporte puede colocarse previamente en la unión y cubrirse con fundente antes del calentamiento, o alimentarse en el punto de aplicación de la flama. Primero se aplica calor a la unión y se derrite el fundente, seguido por el metal de aporte que entonces fluye al interior de la unión. Es preciso evitar el sobrecalentamiento del metal base y del metal de aporte, ya que este último podría difundirse con rapidez y salir de la unión bajo la acción de la gravedad. El gas natural es adecuado para la soldadura brazing con soplete porque la temperatura relativamente baja de su flama reduce el peligro del sobrecalentamiento.

El metal de aporte para soldadura brazing puede colocarse previamente en la unión de forma de anillos, rondanas, tiras, cilindros o polvos, o puede alimentarse a mano, generalmente en forma de alambre o varilla. En todos los casos, la limpieza y el uso del fundente correcto son esenciales.

Las técnicas de soldadura brazing con soplete difieren de las que se usan en la soldadura con gas oxcombustible. Los operadores que sólo tiene experiencia con la soldadura autógena tal vez requieran capacitación en técnicas de soldadura brazing. Por ejemplo, es práctica recomendable evitar que el cono interior de la flama entre en contacto con la unión excepto durante el precalentamiento, ya que la fusión del metal base y la dilución del metal de aporte puede elevar la temperatura de cambio a fase líquida (liquidus) y hacer más viscoso el flujo. Además, existe la posibilidad de sobrecalentar el fundente y nulificar su capacidad para promover el flujo capilar, y de que se evaporen algunos constituyentes de bajo punto de fusión del metal de aporte.

7.2. Brazing en horno

La soldadura brazing en horno, se usa mucho cuando (1) las piezas que se van a soldar pueden preensamblarse o sostenerse en la posición correcta por medio de guías, (2) el metal de aporte puede colocarse en contacto con la unión, (3) se van a formar simultáneamente varias uniones por soldadura brazing, (4) se van a unir muchos ensambles similares y (5) hay necesidad de calentar de manera uniforme piezas complejas a fin de evitar la distorsión que resultaría de un calentamiento local del área de unión.

Las piezas que se van a soldar se deben ensamblar con el metal de aporte y el fundente, si se usa colocado dentro de la unión o junto a ella. El metal de aporte precolocado puede venir en forma de alambre, papel metálico, limaduras, cilindros, polvo, pasta o cinta. El ensamble se calienta en el horno hasta que las piezas alcanzan la temperatura de soldadura brazing y se efectúa la unión. A continuación se retira el ensamble. Se obtienen resultados satisfactorios si se rocía fundente seco en polvo a lo largo de la unión. En la mayor parte de los casos la pasta de fundente es adecuada, pero en algunos retarda el flujo de la aleación de aporte.

El tiempo de soldadura dependerá hasta cierto punto del espesor de las piezas y de la masa de las fijaciones que se necesiten para posicionarlas. El tiempo de soldadura deberá ser el mínimo necesario para que el metal de aporte fluya al interior de la unión, a fin de evitar una interacción excesiva entre el metal de aporte y el metal base. Normalmente bastan uno o dos minutos a la temperatura de soldadura brazing para formar la unión. Un tiempo más largo a la temperatura puede resultar benéfico en los casos en que es preciso elevar el punto de refusión del metal de aporte, o en los que la difusión mejora la ductilidad y la resistencia mecánica de la unión. Es frecuente usar tiempos a la temperatura de soldadura brazing de 30 a 60 minutos cuando se desea elevar el punto de refusión de la unión soldada.

Los hornos que se emplean para soldadura brazing se clasifican como (1) de lotes, ya sea con aire o atmósfera controlada, (2) continuos, ya sea con aire o atmósfera controlada (3) de retorta con atmósfera controlada o (4) de vacío.

7.3. Brazing por inducción

El calor para soldar por este proceso se obtiene de una corriente eléctrica inducida en las piezas que se van a unir; de ahí su nombre. En este tipo de soldadura brazing, las piezas se colocan dentro o cerca de una bobina enfriada por agua que transporta corriente alterna. Las piezas por calentar no forman parte del circuito eléctrico, sino que actúan como secundario en cortocircuito de un transformador del cual la bobina del trabajo, que está conectada a la fuente de potencia, es el primario. Tanto en las piezas magnéticas como en las no magnéticas, el calentamiento se debe a la resistencia de las piezas a las corrientes que la acción de transformador induce en ellas.

El metal de aporte se coloca previamente en la unión. Se requiere un diseño cuidadoso de la unión y de la configuración de la bobina para asegurar que las superficies de todos los miembros de la unión alcancen la temperatura de soldadura brazing al mismo tiempo. Se utiliza fundente excepto cuando se introduce una atmósfera especial que desempeña la misma función.

Las frecuencias para la soldadura brazing por inducción generalmente varían entre 10 y 450 kHz. Las frecuencias más bajas se obtienen con generadores de estado sólido, y las más altas, con osciladores de tubos de vacío. Los generadores de inducción se fabrican con capacidades desde un kilowatt hasta varios cientos de kilowatts de salida. Un generador puede usarse para energizar varias estaciones de trabajo individuales en secuencia, empleando un interruptor de transferencia, o bien los ensambles retenidos con fijaciones se puede indicar o procesar secuencialmente por una bobina tipo transportador y así calentarse hasta la temperatura de soldadura brazing.

La soldadura brazing por inducción se emplea cuando se requiere un calentamiento muy rápido. El tiempo de procesamiento por lo regular es del orden de segundos cuando se manejan grandes cantidades de piezas en forma automática. Este tipo de soldadura se ha utilizado ampliamente para fabricar productos industriales y de consumo; ensambles estructurales; productos eléctricos y electrónicos; herramientas de minería, máquinas, herramientas manuales; equipo militar, armamentos, y ensambles aeroespacial de la soldadura brazing por inducción al vacío.

Los ensambles pueden unir mediante soldadura brazing por inducción en una atmósfera controlada colocando los componentes y la bobina en una cámara no metálica, o colocando la cámara y el trabajo dentro de la bobina. La cámara puede ser de cuarzo o de vidrio templado.

7.4. Brazing por inmersión

Dos métodos de soldadura brazing por inmersión son la soldadura brazing por inmersión en baño de metal fundido y la soldadura brazing por inmersión en baño de químico (fundente) fundido.

Método de baño de metal fundido

Este método por lo regular está limitado a la soldadura brazing de ensambles pequeños, como las conexiones de alambres o tiras metálicas. Un crisol, generalmente de grafito, se calienta externamente hasta la temperatura requerida para mantener el metal de aporte de la soldadura brazing en estado fluido. Una capa de fundente cubre el metal de aporte fundido. El tamaño del baño fundido (crisol) y el método de calentamiento deben de ser tales que la inmersión de las piezas en el baño no baje la temperatura de este último por debajo de la temperatura de soldadura brazing. Las piezas deberán ser limpias y protegidas con fundente antes de introducirse en el baño. Los extremos de los alambres o las piezas deberán mantenerse firmemente juntos desde que se saquen del baño hasta que el metal de aporte se haya solidificado por completo.

Método de baño químico (fundente) fundido.

Este método de soldadura brazing requiere un recipiente metálico o de cerámica para el fundente y un mecanismo para calentar el fundente hasta la temperatura de soldadura brazing. El calor puede aplicarse externamente con un soplete o internamente con un elemento de calefacción por resistencia eléctrica. Un tercer método implica el calentamiento por resistencia eléctrica del fundente mismo; en este caso, el fundente debe derretirse primero mediante calentamiento externo. Se dispone de controles apropiados para mantener el fundente dentro del intervalo de temperaturas

de soldadura brazing. El tamaño debe ser tal que la inmersión de las piezas que se van a soldar no enfríe el fundente por debajo de la temperatura de la soldadura brazing.

Las piezas deberán limpiarse, ensamblarse y de preferencia sujetarse con guías antes de sumergirlas en el baño. El metal de aporte de soldadura brazing se coloca previamente en forma de anillos, rondanas, barras, pasta o como revestimiento sobre el metal base. Puede requerirse precalentamiento para asegurar que las piezas estén secas y evitar la congelación de fundente en las piezas, lo que podría causar una fusión selectiva del fundente y el metal de aporte de soldadura brazing. Las temperaturas de precalentamiento por lo regular son cercanas al punto de fusión del fundente. Una cierta cantidad de fundente queda adherida al ensamble soldado. El fundente derretido debe escurrir de las piezas mientras éstas están calientes. El fundente que permanezca en las piezas frías deberá eliminarse con agua o agentes químicos.

7.5. Brazing por infrarrojo (cuarzo)

La soldadura brazing al infrarrojo puede considerarse como una variación de la soldadura brazing en horno en la que el calor se suministra por radiación invisible de lámparas de cuarzo de alta intensidad capaces de proporcionar hasta 5000 watts de energía radiante. El aporte de calor varía en proporción inversa con el cuadrado de la distancia de la fuente, pero no es usual que las lámparas se moldeen a modo que sigan el contorno de las piezas que se van a calentar. Se usan reflectores concentradores para enfocar la radiación sobre las piezas.

Si es preciso soldar al vacío o con protección de gas inerte, el ensamble y las lámparas se colocan en una campana de cristal o retorta que puede evacuarse o llenarse con gas inerte. En seguida se calienta la unidad hasta

una temperatura controlada, indicada por termopares. La pieza se lleva a las platinas de enfriamiento una vez soldada.

7.6. Brazing exotérmico

La soldadura brazing exotérmica es un proceso especial que calienta un metal de aporte comercial mediante una reacción química exotérmica en estado sólido. Dicha reacción genera calor por la energía libre que liberan los reactivos. La naturaleza ofrece un sinnúmero de reacciones exotérmicas metal-óxido de metal en estado sólido o semisólido que pueden servir para unir piezas por soldadura brazing exotérmica.

En la soldadura brazing exotérmica se emplea un herramental y equipo simplificado. El calor de la reacción lleva las zonas de unión de los metales adyacentes hasta una temperatura en la que el metal de aporte previamente colocado se funde y moja las superficies del metal base. Varios metales de aporte comerciales para soldadura brazing poseen una temperatura de flujo apropiada. El proceso sólo está limitado por el espesor del metal base y el efecto del calor de soldadura brazing o de cualquier tratamiento térmico previo sobre las propiedades del metal.

7.7. Brazing por resistencia

El calor necesario para la soldadura brazing por resistencia se obtiene del flujo de una corriente eléctrica a través de los electrodos y de la unión que se va a soldar. Las piezas que forman la unión se convierten en parte del circuito eléctrico. El metal de aporte de soldadura brazing, en alguna forma que resulte conveniente, se coloca previamente en la unión o se alimenta durante la soldadura. La aplicación de fundente se hace con la debida consideración de la conductividad de los fundentes. (La mayor parte de los fundentes son aislantes cuando están secos). Se utiliza fundente

siempre que no se introduzca específicamente una atmósfera que realice la misma función. Las partes por soldar se sostienen entre dos electrodos y se aplica una presión y una corriente adecuada. El metal de aporte de soldadura brazing se aplica previamente en forma de alambre, calzas, rondanas, anillo, polvo o pasta. No se usan fundentes secos porque son aislantes y no permiten el paso de suficiente corriente. Las piezas por soldar deben estar limpias. Éstas junto con el metal de aporte y el fundente, se ensamblan y colocan en la fijación, y se aplica presión. Conforme fluye la corriente, los electrodos se calientan, a menudo hasta la incandescencia, y el fundente y el metal de aporte se derriten y fluyen.

El equipo consiste en tenazas o abrazaderas con los electrodos sujetos en el extremo de cada brazo. De preferencia, las tenazas deberán estar enfriadas por agua, a fin de evitar el sobrecalentamiento. Los brazos son conductores portadores de corriente que se conectan mediante cables a un transformador. Una fuente de corriente común para soldadura brazing por resistencia es un transformador reductor cuyo circuito secundario puede proporcionar suficiente corriente a un voltaje bajo (2 a 25 V). La corriente variará entre 50 A en el caso de trabajos pequeños y delicados hasta varios miles de amperes para trabajos más grandes. El equipo para soldadura brazing de resistencia está disponible comercialmente.

8.

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA BRAZING

8.1. Seis pasos básicos

Se ha mencionado que en una soldadura brazing la acción capilar, más que la habilidad del operador, asegura la distribución del metal de aporte en la junta. La habilidad real mas bien esta en el diseño y la ingeniería de la junta. Pero incluso una junta diseñada apropiadamente puede servir de poco, si los procedimientos de brazing correctos no se siguen. Estos procedimientos consisten de **seis pasos básicos**. Son generalmente simples para realizarse (algunos pueden tomar solamente algunos segundos), pero ningunos de ellos se deben omitir como una operación del proceso brazing, si se desea una soldadura sana, fuerte, y de buena apariencia. Por simplicidad, discutiremos estos seis pasos principalmente en términos de “soldadura manual,” es decir, soldando con la antorcha con una mano y con la otra alimentamos el metal de aporte. Por supuesto los pasos para soldar manualmente se aplican también a la soldadura de producción en una línea de ensamble. Las mismas medidas deben ser tomadas, aunque pueden ser realizadas en una manera diversa.

8.2. Buen ensamblaje y separación apropiada.

El brazing, como hemos visto, utiliza el principio de la acción capilar para distribuir el metal de aporte fundido entre las superficies de los metales base. Por lo tanto, durante la operación de brazing, se debe tener cuidado para mantener una separación entre los metales base para permitir que la acción capilar trabaje lo más eficaz posible. Esto significa que en casi todos los casos se requiere una separación lo mas cerrada posible. La grafica de la Figura 8.1 se basa en juntas a tope soldadas con brazing de acero inoxidable, usando un metal de aporte especifico. En esta figura se puede observar cómo la resistencia a la tensión varía con la cantidad de separación entre las piezas que son unidas.

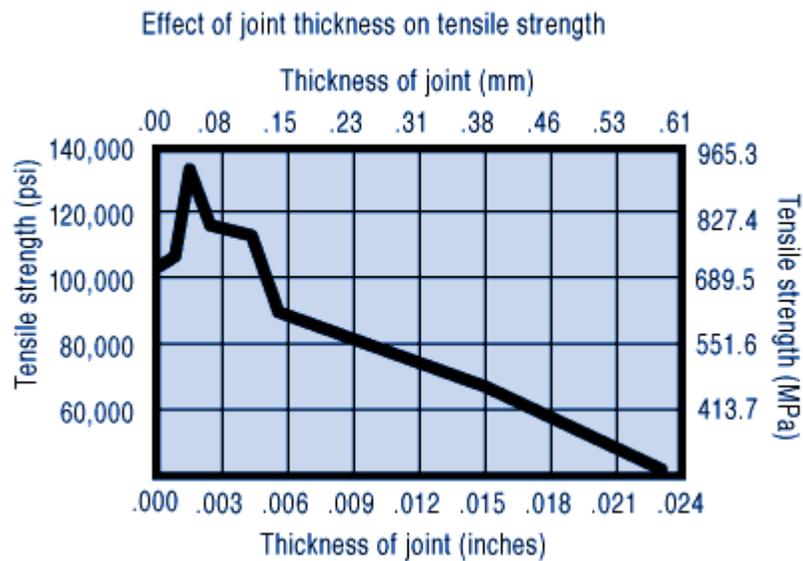


Figura No. 8.1 Efecto del espesor de la unión sobre la resistencia a la tensión.

Se puede notar que la unión más resistente (135.000 psi/930.8 MPa) se alcanza cuando la separación es de .0015" (.038mm). Cuando la separación es más estrecha, el metal de aporte es más difícil de fluir o distribirse a través de toda la junta y por lo tanto se reduce la resistencia de la unión.

Inversamente, si la separación es más ancha de lo necesario, la resistencia de la soldadura será reducida considerablemente. También bajando la resistencia de la soldadura se reduce la acción capilar, así que el metal de aporte puede no poder llenar completamente la unión. La separación ideal de una junta para unirse por brazing del ejemplo anterior es cercana a .0015" (.038mm). Pero ordinariamente en una soldadura brazing, no se logra tener en forma precisa esta distancia, para conseguir una soldadura con esa resistencia. La acción capilar funciona sobre un rango de apertura, por lo que tendríamos un buen margen de separación. Si observamos nuevamente la figura anterior se ve que para rangos de separación de .001" a .005" (.025 mm a .127 mm) todavía se producen uniones de 100 psi (689.5 MPa) de resistencia a la tensión.

Traducido a la práctica de taller diaria, es fácil ajustar la separación y obtener una soldadura perfecta en una unión tubular. Si nosotros unimos dos partes planas, simplemente podemos empalmar una encima de la otra. El contacto metal sobre metal es toda la separación que se necesitará generalmente, puesto que el "acabado de fabricación" de metales proporciona la rugosidad de la superficie suficiente para las "trayectorias capilares" para el flujo del metal de aporte fundido. (Las superficies altamente pulidas, tienden a restringir el flujo del metal de aporte). Sin embargo, hay un factor especial que se debe considerar cuidadosamente en la preparación de las separaciones. Las uniones con brazing se realizan a temperaturas apropiadas para el brazing, no a temperatura ambiente, se debe tomar en cuenta el coeficiente de expansión térmica de los metales que son unidos. Esto es particularmente verdad de las uniones de ensambles tubulares de materiales disímiles. Como ejemplo, supongamos que se esta soldando un buje de bronce dentro de una manga de acero, como se muestra en la Figura 8.2. El bronce cuando se calienta, se expande más que el acero. Si se maquinan las piezas y tenemos una separación a temperatura ambiente de .002"-.003" (.051 mm - .076 mm), para el momento

en que se hayan calentado las piezas a la temperatura necesaria de brazing esta separación pudo haberse cerrado totalmente!. La solución es que se debe permitir una separación inicial mayor, de modo que cuando se alcance la temperatura este sea de alrededor .002"- .003" (.051mm- .076 mm).

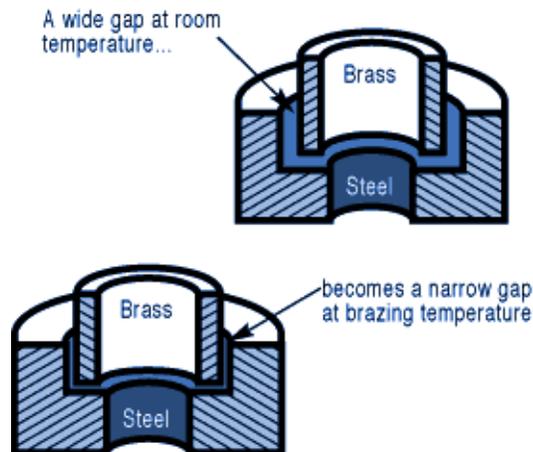


Figura No. 8.2 Separación estrecha en uniones por brazing.

Por supuesto, el mismo principio puede ser al inverso. Si la parte externa es de bronce y la interna de acero en una unión, como se muestra en la Figura 8.3 se puede ensamblar aplicando una pequeña fuerza a temperatura ambiente durante el tiempo en que se alcanza la temperatura de soldadura, la expansión rápida del bronce crea una separación adecuada.

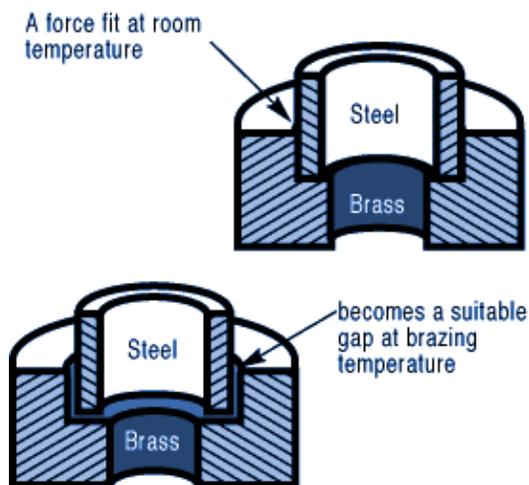


Figura No. 8.3 Separación holgada en uniones por brazing.

La expansión o contracción permisible depende de la naturaleza y tamaño de los metales que son unidos y de la configuración de la junta. Aunque hay muchas variables involucradas en las tolerancias exactas de las separaciones, se debe tener en mente el siguiente principio: los metales se expanden a diferentes velocidades cuando son calentados. Como una ayuda para determinar la separación apropiada para metales disímiles, es importante analizar la carta de comparación del coeficiente de expansión térmica (COE) que proporciona una variedad de metales y de aleaciones. Ver Tabla 8.1.

Material	10 ⁻⁶ in./in./°F		10 ⁻⁶ in./in./°C		Material	10 ⁻⁶ in./in./°F		10 ⁻⁶ in./in./°C	
	High	Low	High	Low		High	Low	High	Low
Zinc & its Alloys ^a	19.3	10.8	3.5	1.9	Martensitic Stainless Steels ^a	6.5	5.5	1.2	1.0
Lead & its Alloys ^a	16.3	14.4	2.9	2.6	Nitriding Steels ^d	6.5	—	1.2	—
Magnesium Alloys ^b	16	14	2.8	2.5	Palladium ^b	6.5	—	1.2	—
Aluminum & its Alloys ^c	13.7	11.7	2.5	2.1	Beryllium ^b	6.4	—	1.1	—
Tin & its Alloys ^c	13	—	2.3	—	Chromium Carbide Cermet ^a	6.3	5.8	1.1	1.0
Tin & Aluminum Brasses ^c	11.8	10.3	2.1	1.8	Thorium ^b	6.2	—	1.1	—
Plain & Leaded Brasses ^c	11.6	10 ^e	2.1	1.8	Ferritic Stainless Steels ^a	6	5.8	1.1	1.0
Silver ^c	10.9	—	2.0	—	Gray Irons (cast) ^b	6	—	1.1	—
Cr-Ni-Fe Superalloys ^d	10.5	9.2	1.9	1.7	Beryllium Carbide ^d	5.8	—	1.0	—
Heat Resistant Alloys (cast) ^a	10.5	6.4	1.9	1.1	Low Expansion Nickel Alloys ^e	5.5	1.5	1.0	3
Nodular or Ductile Irons (cast) ^b	10.4	6.6	1.9	1.2	Beryllia & Thoria ^a	5.3	—	9	—
Stainless Steels (cast) ^d	10.4	6.4	1.9	1.1	Alumina Cermets ^d	5.2	4.7	9	.8
Tin Bronzes (cast) ^c	10.3	10	1.8	1.8	Molybdenum Disilicide ^e	5.1	—	9	—
Austenitic Stainless Steels ^c	10.2	9	1.8	1.6	Ruthenium ^b	5.1	—	9	—
Phosphor Silicon Bronzes ^c	10.2	9.6	1.8	1.7	Platinum ^b	4.9	—	9	—
Coppers ^c	9.8	—	1.8	—	Vanadium ^b	4.8	—	9	—
Nickel-Base Superalloys ^d	9.8	7.7	1.8	1.4	Rhodium ^b	4.6	—	.8	—
Aluminum Bronzes (cast) ^c	9.5	9	1.7	1.6	Tantalum Carbide ^d	4.6	—	.8	—
Cobalt-Base Superalloys ^d	9.4	6.8	1.7	1.2	Boron Nitride ^d	4.3	—	.8	—
Beryllium Copper ^c	9.3	—	1.7	—	Columbium & its Alloys	4.1	3.8	.7	.68
Cupro-Nickels & Nickel Silvers ^c	9.5	9	1.7	1.6	Titanium Carbide ^d	4.1	—	.7	—
Nickel & its Alloys ^d	9.2	6.8	1.7	1.2	Sialite ^c	4	3.3	.7	.6
Cr-Ni-Co-Fe Superalloys ^d	9.1	8	1.6	1.4	Tungsten Carbide Cermet ^a	3.9	2.5	.7	.4
Alloy Steels ^a	8.6	6.3	1.5	1.1	Iridium ^b	3.8	—	.7	—
Carbon Free-Cutting Steels ^a	8.4	8.1	1.5	1.5	Alumina Ceramics	3.7	3.1	.7	.6
Alloy Steels (cast) ^d	8.3	8	1.5	1.4	Zirconium Carbide ^d	3.7	—	.7	—
Age Hardenable Stainless Steels ^c	8.2	5.5	1.5	1.0	Osmium and Tantalum ^b	3.6	—	.6	—
Gold ^c	7.9	—	1.4	—	Zirconium & its Alloys ^b	3.6	3.1	.6	.55
High Temperature Steels ^d	7.9	6.3	1.4	1.1	Hafnium ^b	3.4	—	.6	—
Ultra High Strength Steels ^d	7.6	5.7	1.4	1.0	Zirconia ^a	3.1	—	.6	—
Malleable Irons ^c	7.5	5.9	1.3	1.1	Molybdenum & its Alloys	3.1	2.7	.6	.5
Titanium Carbide Cermet ^d	7.5	4.3	1.3	.8	Silicon Carbide ^c	2.4	2.2	.4	.39
Wrought Irons ^c	7.4	—	1.3	—	Tungsten ^b	2.2	—	.4	—
Titanium & its Alloys ^d	7.1	4.9	1.3	.9	Electrical Ceramics ^c	2	—	.4	—
Cobalt ^a	6.8	—	1.2	—	Zircon ^c	1.8	1.3	.3	.2
					Boron Carbide ^b	1.7	—	.3	—
					Carbon and Graphite ^c	1.5	1.3	.3	.2

^a Values represent high and low sides of a range of typical values.
^b Value at room temperature only.
^c Value for a temperature range between room temperature and 212-750° F/100-390° C.
^d Value for a temperature range between room temperature and 1000-1800° F/540-980° C.
^e Value for a temperature range between room temperature and 2200-2875° F/1205-1580° C.

Tabla No. 8.1 Coeficientes de expansión térmica de metales, materiales y aleaciones

8.3. Limpieza de los metales.

La acción capilar trabajará correctamente solamente cuando las superficies de los metales están limpias. Si se contaminan con aceite, grasa, moho, cascarilla o suciedad, esos contaminantes tienen que ser eliminados. Si permanecen, formarán una barrera entre las superficies del metal base y el brazing. Un metal base aceitoso, por ejemplo, repelerá el fundente, formando puntos de óxido formados por el calor y el resultado serán huecos en la soldadura. El aceite y la grasa se carbonizarán cuando se calienta, formando una película la cual no permitirá al metal de aporte fluir. Y el metal de aporte no se adhiere a superficies con moho. La limpieza de las partes algunas veces es un trabajo complicado, pero tiene que realizarse forzosamente. El aceite y la grasa se deben quitar primero, debido a que la solución de ácido cítrico evita la remoción de moho y cascarilla. (Si se intenta quitar moho o cascarilla por la limpieza abrasiva, antes de estar libre de aceite, se adherirá más el aceite, así como el polvo fino del abrasivo más profundamente en la superficie). Se debe eliminar el aceite y la grasa. En la mayoría de los casos puede hacerse muy fácilmente sumergiendo las piezas en un solvente desengrasante, mediante desengrase a vapor, o por limpieza alcalina o acuosa. Si las superficies del metal están cubiertas con óxido o cascarilla, se puede quitar esos contaminantes químicamente o mecánicamente. Para la remoción química, se utiliza un tratamiento ácido pícrico, cerciorándose de que los productos químicos son compatibles con los metales base que son limpiados, y que no permanecerán trazas de este ácido en hendiduras o cavidades. La remoción mecánica se conoce como limpieza abrasiva. Particularmente en la reparación, donde las partes pueden estar muy sucias o enmohecidas, se puede utilizar un método rápido de limpieza usando un esmeril de paño o un disco abrasivo, un lima o limpieza con arena, seguida por una operación de enjuague. Una vez que las partes estén completamente limpias, es una buena idea aplicar el fundente y soldar cuanto antes. Haciendo esto será mínima la posibilidad de

recontaminación de las superficies por polvo de taller o manos grasosas depositadas durante el manejo. En la Figura 8.4 se muestra una inspección de limpieza a través de una lámpara de luz negra (ultravioleta) en un cuarto oscuro.

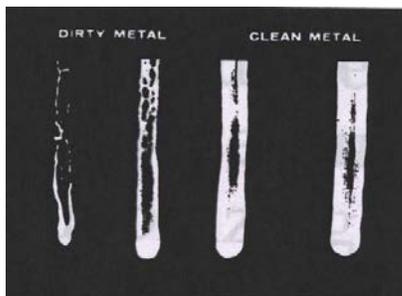


Figura No. 8.4 Inspecciones de limpieza con luz negra.

Es indispensable que las superficies estén limpias y libres de óxidos para asegurar uniones soldadas en brazing íntegras y de calidad uniforme. (Ver Tabla 8.2).

Las grasas, los aceites, la suciedad y los óxidos evitan que el metal de aporte fluya y se adhiera de manera uniforme, e interfieren con la acción del fundente con la formación de huecos e inclusiones.

El desengrasado generalmente se efectúa primero, los métodos más comunes son:

- Limpieza con disolventes
- Desengrasado con vapor
- Limpieza alcalina
- Limpieza con emulsión
- Limpieza electrolítica

Cleaning methods			
Method	Bath Composition	Suitability for Removing	
		Mineral Oil Cutting Fluids	Water-Soluble Oils
Emulsion Cleaning	A mixture of insoluble hydrocarbons and water	Good	Good
Alkaline Cleaning	Water-base containing alkaline cleaners and other additives	Good	Good
Solvent Cleaning	- Mineral spirits - Alcohol - Acetone - Toluol - Chlorinated hydrocarbons	Good	Poor
Vapor Degreasing	Chlorinated hydrocarbons - Methylchloride - Perchlorethylene - Trichlorethylene - Trichloroethane	Excellent	Poor

Note: Do not use chlorinated hydrocarbons for cleaning titanium and zirconium alloys.

Tabla No. 8.2 Métodos de limpieza como etapa previa para realizar la unión.

8.4. Aplicación de fundente en las partes.

El fundente es un compuesto químico aplicado a las superficies de la junta antes de soldar. Su uso es esencial en el proceso brazing (con algunas excepciones que se verán más adelante). La razón es que durante el calentamiento de la superficie del metal se acelera la formación de óxidos, debido a la combinación química entre el metal caliente y el oxígeno en el aire. Estos óxidos deben ser prevenidos o inhibidos para que el metal de aporte moje y pegue en la superficie. Una capa de fundente en el área de la junta, protegerá la superficie del aire, previniendo la formación del óxido. El

fundente también disolverá y absorberá cualquier óxido que se forme durante el calentamiento o que no fue completamente removido en el proceso de la limpieza. El fundente en la junta se debe aplicar de cualquier manera, mientras se cubra las superficies totalmente. Puesto que el fundente convencional está hecho de una pasta consistente, lo más usual es utilizar una brocha. Pero en una línea de producción las cantidades aumentan, puede ser más eficiente aplicar el fundente sumergiendo las piezas en un depósito de fundente de alta viscosidad o con un aplicador de fundente tipo pistola. Muchas compañías han encontrado que un tamaño de depósito repetible mejora la consistencia de la junta y se disminuye la cantidad de fundente usado.

El fundente se aplica generalmente justo antes de soldar, si es posible de este modo el fundente tiene menos posibilidad de secarse y desquebrarse por golpeteos durante el manejo. El fundente que se debe utilizar es el que está formulado específicamente para los metales, temperaturas y condiciones de aplicación deseadas. Hay fundentes formulados para prácticamente todas las necesidades. Por ejemplo, fundentes para brazing a muy altas temperaturas en el rango 1093°C, los fundentes para metales con óxidos refractarios, fundentes para largos ciclos de calentamiento y fundentes para aplicación automatizada.

La cantidad de fundente que se debe utilizar es suficiente para cubrir totalmente el ciclo de calentamiento. En piezas de tamaño y peso grande el ciclo de calentamiento es mayor, por lo cual es necesario utilizar más fundente (en piezas más ligeras, el calentamiento es más rápido y se requiere menos fundente). Como regla general, no se debe escatimar o economizar el fundente. Es nuestro seguro contra la oxidación. En una cantidad insuficiente de fundente rápidamente se saturará y perderá su efectividad. Un fundente que absorbe menos cantidad de óxido no asegura

una buena unión, solo sería mas fácil de enjuagarse cuando se haya terminado la soldadura.

El fundente puede también actuar como un indicador de temperatura, minimizando la posibilidad de sobrecalentamiento de las partes a soldar, por ejemplo un fundente típico se vuelve completamente claro y activo a 593 °C, a esta temperatura se observa como agua y revela el brillo metálico de la superficie inferior, entonces podemos decir que el metal base esta listo con el calor suficiente para fundir el metal de aporte para el brazing.

En la Tabla 8.3 se muestran la apariencia del fundente a diversas temperaturas.

Temperatura	Apariencia del fundente
212°F (100°C)	Termina la ebullición.
600°F (315° C)	El fundente se vuelve blanco y levemente grumoso, y comienza "a trabajar."
800°F (425°C)	El fundente se impregna en la superficie y presenta una apariencia lechosa.
1100°F (593°C)	El fundente es completamente claro y activo, parece agua. La superficie del metal es brillante y visible en este punto, Si el metal de aporte se derrite, está en la temperatura apropiada para soldar

Tabla No. 8.3 Apariencia del fundente a diferentes temperaturas

El fundente es un paso esencial en la operación de brazing. Ciertamente hay algunas excepciones a la regla, se puede unir cobre - cobre sin fundente, usando un metal de aporte formulado especialmente para el trabajo, conocido como materiales de aporte cobre-fósforo. (El fósforo en estas aleaciones actúa como agente fundente en el cobre), aparte se puede omitir el uso de fundente si se va a soldar en una atmósfera controlada.

Una atmósfera controlada es una mezcla de gases contenida en un espacio cerrado, generalmente en un horno para brazing. La atmósfera (tal como hidrógeno, nitrógeno o amoníaco disociado) envuelve totalmente el ensamble excluyendo el oxígeno, previniendo la oxidación. Incluso en atmósfera controlada, se puede usar una pequeña cantidad de fundente para mejorar la acción de la adherencia del metal de aporte en la junta. Como los metales son calentados, estos tienen una tendencia a reaccionar con oxígeno en el aire. Este proceso es llamado oxidación.

Para prevenir la oxidación que sucede durante el ciclo de brazing, una atmósfera de protección gaseosa o un flux o ambos, es usado para “proteger” las piezas, de esta manera la superficie no reacciona rápidamente con el oxígeno a altas temperaturas de brazing. Además las atmósferas de protección y los fundentes nos auxilian en:

- 1.- Prevenir la oxidación durante el ciclo de calentamiento.
- 2.- Disocia los oxidantes que se forman.
- 3.- Mantiene las partes limpias durante el ciclo de brazing (el fundente o atmósfera de protección no es diseñado para la limpieza de las partes a unir sino para mantenerlas limpias).
- 4.- El proceso de brazing por horno con atmósfera controlada puede eliminar la necesidad de fundente (Ver Tabla 8.4).

AWS Classification*	Form	Filler Metal Type	Activity Temperature Range	
			°F	°C
FB1-A	Powder	BAISi	1080–1140	580–615
FB1-B	Powder	BAISi	1040–1140	560–615
FB1-C	Powder	BAISi	1000–1140	540–615
FB2-A	Powder	BMg	900–1150	480–620
FB3-A	Paste	B _{Ag} and B _{CuP}	1050–1600	565–870
FB3-C	Paste	B _{Ag} and B _{CuP}	1050–1700	565–925
FB3-D	Paste	B _{Ag} , B _{Cu} , B _{Ni} , B _{Au} & B _{R_{Cu}Zn}	1400–2200	760–1205
FB3-E	Liquid	B _{Ag} and B _{CuP}	1050–1600	565–870
FB3-F	Powder	B _{Ag} and B _{CuP}	1200–1600	650–870
FB3-G	Slurry	B _{Ag} and B _{CuP}	1050–1600	565–870
FB3-H	Slurry	B _{Ag}	1050–1700	565–925
FB3-I	Slurry	B _{Ag} , B _{Cu} , B _{Ni} , B _{Au} & B _{R_{Cu}Zn}	1400–2200	760–1205
FB3-J	Powder	B _{Ag} , B _{Cu} , B _{Ni} , B _{Au} & B _{R_{Cu}Zn}	1400–2200	760–1205
FB3-K	Liquid	B _{Ag} & B _{R_{Cu}Zn}	1400–2200	760–1205
FB4-A	Paste	B _{Ag} and B _{CuP}	1100–1600	595–870

* Flux 3B in the Brazing Manual, 3rd Edition, 1976 has been discontinued. Type 3B has been divided into types FB3-C and FB3-D.

Notes:

- The selection of a flux designation for a specific type of work may be based on the form, the filler metal type, and the classification above, but the information here is generally not adequate for flux selection. Refer to Section A6 and the latest issue of the Brazing Handbook for further assistance.
- See 11.2 and 11.3 for the difference between paste flux and slurry flux.

Tabla No. 8.4 Clasificación de fundentes con metales de aporte.

8.5. Ensamble para el brazing.

Ya se menciona anteriormente que las piezas a soldar se limpian y se les aplica fundente. Ahora se tiene que tener una posición adecuada para soldar. Así mismo se debe asegurar que esta posición permanecerá en la alineación correcta durante los ciclos de enfriamiento y calentamiento del brazing y que la acción capilar hará su trabajo. Si la forma y el peso de las piezas lo permiten, la manera más simple de mantenerlas juntas es por gravedad. (Ver Figura 8.5).

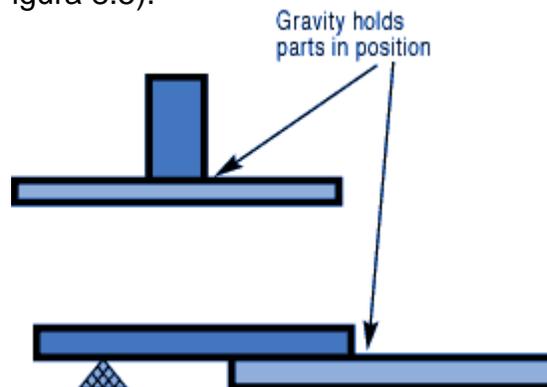


Figura No. 8.5 Sujetadores en ensambles para brazing.

Si se tiene un número de ensambles a soldar y su configuración es demasiado compleja para sujetarla por si sola, puede ser una buena idea utilizar un sujetador de ayuda para aplicar el brazing. Cuando se diseñe el sujetador se debe considerar que no sea de una gran masa y minimizar el contacto con las partes a unir. (Un sujetador en contacto con las partes a soldar conduce y extrae el calor de esa zona a través de si mismo.) El uso de pernos y cuchillas en los bordes reducen el contacto al mínimo.(Ver Figura 8.6).

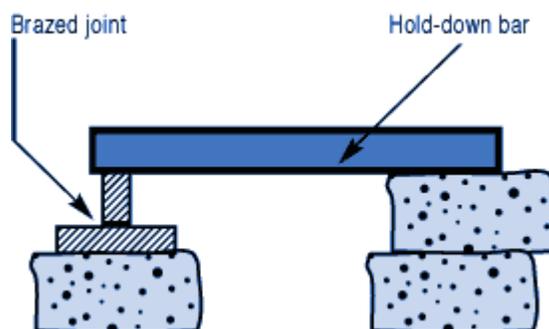


Figura No. 8.6 Sujetadores con pernos o cuchillas.

De preferencia se deben utilizar los materiales en los sujetadores con baja conductividad térmica, tales como acero inoxidable, inconel o cerámica. Puesto que éstos materiales son de baja conductividad térmica, extraen menos calor de la junta. Se deben elegir los materiales compatibles en cuanto a su velocidad de expansión para no alterar la alineación del ensamble durante el ciclo térmico. Sin embargo, si se está planeando soldar a centenares de juntas idénticas, debe diseñar los sujetadores adecuados e iguales para el proceso brazing. En la etapa de planeación inicial, se diseñan los dispositivos mecánicos que lograrán este propósito, y que se puedan incorporar en la operación de la línea de ensamble. Los dispositivos típicos incluyen prensas, costuras que se enclavijan o estampan (Ver Figura 8.7). Las esquinas puntiagudas se deben reducir al mínimo en estos ensambles mecánicos. Tales esquinas pueden impedir la acción capilar. Las

esquinas se deben redondear levemente para ayudar al flujo del metal de aporte.

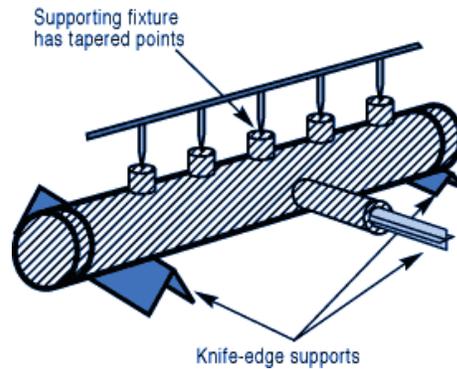


Figura No. 8.7 Sujetadores con soportes.

El dispositivo mecánico más simple es el mejor, puesto que solamente su función es juntar las piezas mientras que la unión se esta soldando. En la Figura 8 se muestran algunos de estos ejemplos.

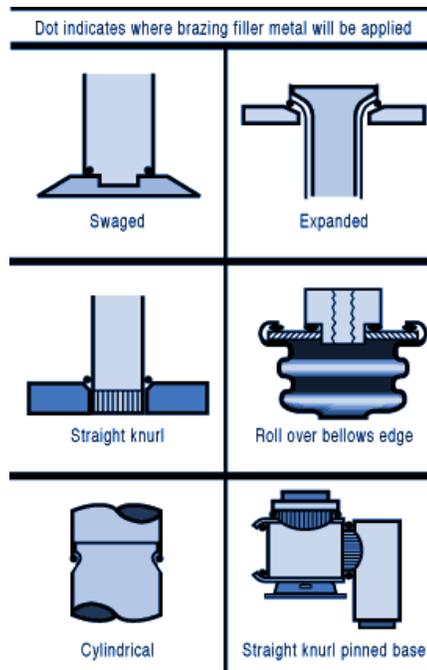


Figura No. 8.8 Ejemplos de sujetadores.

8.6. Soldadura (Brazing) del ensamble.

El quinto paso es la realización de la soldadura. Esto implica calentar el ensamble a soldar a la temperatura de brazing, y que el metal de aporte fluya a través de la unión.

Primero, el proceso de calentamiento. Como se ha visto en el brazing, el calor se aplica ampliamente al metal base. Si se está soldando un ensamble pequeño se puede calentar el ensamble completo y alcanzar el punto en el que el metal fluya, si se está soldando un ensamble grande se deberá calentar una amplia área alrededor de la unión. El método de calentamiento más utilizado en el proceso brazing es con flama sosteniendo la antorcha con una mano y el aporte con la otra. Hay gran variedad de combustibles disponibles: gas natural, acetileno, propano, propileno, etc., a combinarse con oxígeno o aire. (La más común sigue siendo la mezcla oxy-acetileno.)

Se tiene que tener presente que ambos metales de la unión se deben calentar lo más uniformemente posible y alcanzar la temperatura de brazing al mismo tiempo.

Cuando unimos secciones gruesas a una sección delgada la “pluma” de la flama puede ser suficiente para calentar la parte delgada. Se debe mantener la antorcha en movimiento y no calentar directamente la zona de brazing. Al ensamblar secciones pesadas, el fundente puede llegar a ser transparente - hasta 593°C antes de que el ensamble este completo y lo suficientemente caliente previo a recibir el metal de aporte. Algunos metales son buenos conductores y por lo tanto transportan el calor más rápidamente a áreas más frías. Otros son conductores pobres y tienden a conservar el calor y sobrecalentamiento fácilmente. Los buenos conductores necesitarán más calor que los conductores pobres, simplemente porque disipan el calor más rápidamente.

En todos los casos, para prevenir un calentamiento desigual se debe vigilar cuidadosamente el fundente. Si el fundente cambia en aspecto uniformemente, las piezas se están calentando de la misma manera, sin considerar la diferencia en masa o conductividad. Una vez calentado la junta a la temperatura de brazing, esta todo listo para depositar el metal de aporte.

En la soldadura brazing manual, todo esto implica un manejo cuidadoso de la varilla o alambre en la zona donde se esta soldando. El ensamble caliente fundirá la porción del metal de aporte la cual inmediatamente fluirá por la acción capilar a través del área de la junta. Se puede agregar algo de fundente a la punta del alambre o varilla de aporte, alrededor 2" a 3" (51 mm a 76 mm) para mejorar el flujo, utilizando una brocha o sumergiendo el alambre en el fundente. Las piezas más grandes requieren mayor tiempo de calentamiento o donde el fundente haya sido saturado con más óxido lograda cepillando encendido o sumergiendo la barra en flujo. En piezas más grandes que requiere un tiempo de calentamiento más largo, cuando el fundente se ha saturado con mucho óxido, la adición de fundente nuevo en la varilla de porte mejora el flujo y la penetración del metal de aporte en toda el área a unir. Sin embargo, hay una precaución pequeña a observar. El metal de aporte líquido tiende para fluir hacia áreas de una temperatura más alta. En el ensamble calentado la superficie del metal base exterior puede estar ligeramente mas caliente que la superficie interior de la junta. Hay que tener cuidado en depositar el metal de aporte en la parte adyacente a la junta, si se deposita lejos, tiende cubrir las superficies calientes en lugar de que fluya a la unión. Además, es mejor calentar al lado del ensamble del lado opuesto donde se va a alimentar el metal de aporte.

En el ejemplo anterior se calienta la superficie inferior de la placa más grande, de modo que el calor del metal de aporte baje completamente dentro de la unión es muy importante que el metal de aporte fluya hacia la fuente del calor (Ver Figura 8.9).

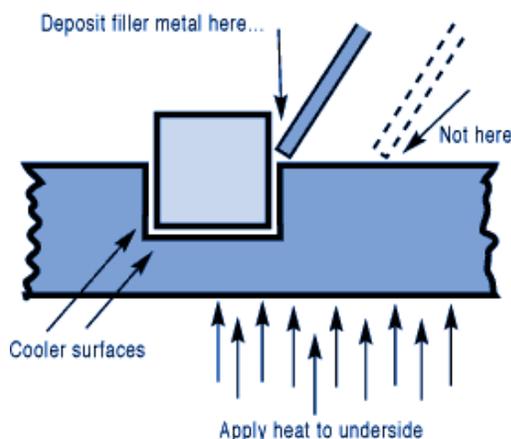


Figura No. 8.9 Ejemplo de fluidez del metal de aporte.

8.7. Limpieza de la unión soldada.

El sexto paso es la realización de la soldadura. Esto implica calentar el ensamble a soldar a la temperatura de brazing, y que el metal de aporte fluya a través de la unión.

Primero, después de haber soldado el ensamble, este tiene que limpiarse. La limpieza es generalmente una operación de dos etapas:

- 1.- Se retiran los residuos del fundente.
- 2.- Se quita cualquier cascarilla del óxido formado durante el proceso brazing con ácido pícrico.

El retiro del fundente es una operación simple, pero esencial. (Los residuos del fundente son químicamente corrosivos y, si no se retiran, podrían debilitar ciertas juntas.) Puesto que la mayoría de los fundentes para soldar son solubles en agua, la manera más fácil de quitarlos es enfriar el ensamble en agua caliente (50°C o más caliente). La mejor opción es sumergir las piezas mientras siguen estando calientes, asegurándose que el metal de aporte ha solidificado totalmente antes de enfriarse. Los residuos cristalinos del fundente se agrietarán y formarán escamas generalmente cuando la unión ya este fría. Si se dificulta su remoción, espíllelos ligeramente con un cepillo de alambre mientras que el ensamble todavía está en agua caliente. Se pueden utilizar métodos sofisticados para eliminar los residuos de fundente, por ejemplo un tanque de limpieza ultrasónica para apresurar la acción del agua caliente, o un flujo de vapor.

Cuando no se utiliza el fundente necesario o las piezas se han recalentado, el fundente se satura totalmente con los óxidos, se observa de un tono verde a negro. En este caso, el fundente tiene que ser eliminado utilizando una solución ácida suave. Un baño de ácido hidroc্লórico del 25% (calentado a 60-70°C) disolverá generalmente los residuos más obstinados del fundente. Simplemente se agita el ensamble soldado en esta solución por un lapso de tiempo de 30 segundos a 2 minutos. No es necesario cepillar. No obstante se debe tener precaución en las soluciones ácidas usadas en piezas o ensambles grandes, así que al enfriar en agua caliente en un baño ácido, se deben usar guantes y equipo de protección para la cara.

Después de que se haya conseguido eliminar el fundente, se utiliza una solución de ácido pícrico para quitar cualquier óxido que quede en las áreas desprotegidas de fundente durante el proceso de brazing. Las soluciones de ácido pícrico altamente oxidantes, y que contengan ácido nítrico, deben ser evitadas si es posible, pues atacan el metal de aporte de plata. Si es

necesario se utiliza un tiempo de acción muy corto. Una vez que el fundente y los óxidos se quiten del ensamble soldado, las operaciones de acabado final son rara vez necesarias. En los pocos casos donde se necesita una ultra limpieza final se puede conseguir puliendo el ensamble con un esmeril de paño fino. Si los ensambles van a ser almacenadas para el uso posterior, se debe aplicar una capa protectora de una sustancia soluble en agua, resistente al moho.

8.8. Formatos (BPS).

Para procesos y operaciones de brazing se debe elaborar un procedimiento conforme lo es requerido en el estándar ANSI/AWS B2.2-91 "Standard for Brazing Procedure and Performance Qualification", donde se muestra una forma estándar en la cual se registran todos los parámetros utilizados durante el proceso como se puede observar en la Figura 8.10.

Form A1	
BRAZING PROCEDURE SPECIFICATION (BPS)	
BPS No. _____	Date _____ B PQR NO. _____
Company _____	
Brazing Process _____	Manual <input type="checkbox"/> Mechanized <input type="checkbox"/> Automatic <input type="checkbox"/>
Brazing Equipment _____	
BRAZING CONDITIONS	
BASE METAL:	
Identification _____	BM No. _____
Thickness _____	Preparation _____
Other _____	
FILLER METAL:	
FM No. _____	AWS Classification _____
Form _____	Method of Application _____
FLUX: AWS Type _____	Other _____
ATMOSPHERE: AWS Type _____	Other _____
TEMPERATURE: _____	TEST POSITION: _____
TIME: _____	CURRENT: _____
FUEL GAS: _____	TIP SIZE: _____
POSTBRAZE CLEANING: _____	
POSTBRAZE HEAT TREATMENT: _____	
OTHER: _____	
JOINT:	
Type _____	
Clearance _____	
UTS _____	
Other _____	
Approved for production by _____	
Employer	JOINT SKETCH

Figura No. 8.10 Formato Brazing Procedure Specification

9.

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA BRAZING

La inspección después del proceso brazing puede realizarse con especímenes de prueba o probando el ensamble ya terminado. Las pruebas pueden ser destructivas o no destructivas. En general las discontinuidades de soldadura brazing pertenecen a tres clases generales:

- 1.- Las asociadas a requisitos dimensionales
- 2.- Las asociadas a discontinuidades estructurales de la unión soldada por brazing.
- 3.- Las asociadas al metal de soldadura brazing o a la unión soldada.

9.1. Métodos de pruebas no destructivos

Los objetivos de la inspección no destructiva de uniones soldadas en brazing son:

- 1.- Detectar discontinuidades definidas en normas de calidad o códigos
- 2.- Obtener indicios que permitan determinar la causa de irregularidades en el proceso de fabricación.

Los métodos de prueba no destructivos que se pueden utilizar son:

- 1.- Inspección visual
- 2.- Prueba en servicio
- 3.- Prueba de fuga
- 4.- Inspección con líquidos penetrantes
- 5.- Inspección radiográfica
- 6.- Inspección ultrasónica

9.2. Métodos de pruebas destructivos

Los métodos de prueba destructivos utilizados son:

- 1.- Inspección metalográfica
- 2.- Prueba de pelado
- 3.- Prueba de tensión y corte
- 4.- Pruebas de torsión

9.3. Discontinuidades

Las inspecciones destructivas y no destructivas identifican los siguientes tipos de discontinuidades de las soldaduras brazing, las cuales se mencionan a continuación:

- 1.- Falta de llenado
- 2.- Fundente atrapado
- 3.- Filetes discontinuos
- 4.- Erosión del metal base
- 5.- Aspecto superficial insatisfactorio
- 6.- Grietas.

Nota: Las grietas se consideran directamente como un defecto debido a que reducen la resistencia mecánica como la vida de servicio. Actúan como elevadores de esfuerzos, disminuyendo la resistencia mecánica del ensamble soldado y causando falla prematura por fatiga.

10.

PROPIEDADES DE LOS METALES DE APORTE

10.1. Propiedades de los metales de aporte

Los metales de aporte para soldadura brazing deben tener las siguientes propiedades:

- (1) Compatibilidad con el metal base y el diseño de la unión.
- (2) Requisitos de servicio del ensamble soldado. La composición elegida debe satisfacer los requisitos de operación, como temperatura de servicio (alta o criogénica), ciclaje térmico, vida útil, esfuerzos de carga, condiciones corrosivas, estabilidad ante radiaciones y operación en vacío.
- (3) Temperatura de soldadura brazing requerida. En general se prefieren las temperaturas de soldadura brazing bajas a fin de economizar energía calorífica, minimizar los efectos térmicos sobre el metal base (recocido, crecimiento de granos, deformación), minimizar la interacción metal base-metal de aporte y prolongar la vida útil de las

fijaciones y otras herramientas. Se usan temperaturas de soldadura brazing altas cuando se desea: utilizar un metal de aporte, con punto de fusión más alto pero que resulta más económico; combinar con la soldadura brazing el recocido, la liberación de tensiones o el tratamiento térmico del metal base; realizar un procesamiento subsecuente a temperatura elevada, promover las interacciones metal base-metal de aporte a fin de elevar la temperatura de refusión de la unión; o promover la eliminación de ciertos óxidos refractarios al vacío o con una atmósfera especial.

- (4) Método de calentamiento. Los metales de aporte con intervalos de fusión angostos de menos de 28°C entre solidus y liquidus pueden usarse con cualquier método de calentamiento, y el metal de aporte de soldadura brazing se puede colocar previamente en el área de la unión en forma de anillos, rondanas, alambre moldeados, calzas, polvo o pasta.

Como alternativa, este tipo de aleaciones se pueden alimentar en forma manual o automática a la unión una vez que se ha calentado el metal base. Los metales de aporte que tienden a la licuación sólo deben usarse con métodos de calentamiento que lleven la unión a la temperatura de soldadura brazing con mucha rapidez, o bien introducirse después de que el metal base haya alcanzado dicha temperatura.

Los metales de aporte están divididos en siete categorías y en varias clasificaciones dentro de cada categoría. Con objeto de simplificar la selección del metal de aporte, en la Tabla 10.1 se muestra la clasificación ANSI/AWS A5.8, Especificación para metales de aporte de soldadura brazing. En la Tabla 10.2 se muestra la composición química y temperaturas de brazing de metales de aporte.

(Especificación AWS A5.8)

BAISi	-	Aleaciones de Aluminio - Silicio
BMg	-	Aleaciones de Magnesio
BCu	-	Aleaciones de Cobre
BCuZn	-	Cobre – Zinc
BCuP	-	Aleaciones de Cobre – Fósforo
BAG	-	Aleaciones de Plata
BAu	-	Aleaciones de Oro
BNi	-	Aleaciones de Níquel
BCo	-	Aleaciones de Cobalto

Tabla No. 10.1 Clasificación AWS de metales de aporte.

Filler Metal Groups														
FM No.	AWS Classification	UNS No.	Approximate Chemical Composition, Weight Percent								Solidus °F	Liquidus °F	Brazing Temperature °F	
			Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Sn	Li	Mn				Other
100	BAG-1	P07450	45	15	16	24	—	—	—	—	—	1125	1145	1145–1400
	BAG-1A	P07500	50	15	16	18	—	—	—	—	1160	1175	1175–1400	
	BAG-8	P07720	72	Rem.	—	—	—	—	—	—	1435	1435	1435–1650	
	BAG-8a	P07723	72	Rem.	—	—	—	—	0.4	—	1410	1410	1410–1600	
	BAG-22	P07490	49	16	23	—	4.5	—	—	7.5	1260	1290	1290–1525	
	BAG-23	P07850	85	—	—	—	—	—	—	Rem.	1760	1780	1780–1900	
	BVAg-0	P07017	100	—	—	—	—	—	—	—	1761	1761	1761–1900	
	BVAg-8	P07727	72	Rem.	—	—	—	—	—	—	1435	1435	1435–1650	
	BVAg-8b	P07728	72	Rem.	—	—	0.5	—	—	—	1435	1463	1470–1650	
	BVAg-30	P07687	68	Rem.	—	—	0.5	—	—	—	1485	1490	1490–1700	
	110	BAG-2	P07350	35	26	21	18	—	—	—	—	1125	1295	1295–1550
BAG-2a		P07300	30	27	23	20	—	—	—	—	1125	1310	1310–1550	
BAG-3		P07501	50	15	15	16	3.0	—	—	—	1170	1270	1270–1500	
BAG-4		P07400	40	30	28	—	2.0	—	—	—	1240	1435	1435–1650	
BAG-5		P07453	45	30	25	—	—	—	—	—	1225	1370	1370–1550	
BAG-6		P07503	50	34	16	—	—	—	—	—	1270	1425	1425–1600	
BAG-7		P07563	56	22	17	—	—	5	—	—	1145	1205	1205–1400	
BAG-9		P07650	65	20	15	—	—	—	—	—	1240	1325	1325–1550	
BAG-10		P07700	70	20	10	—	—	—	—	—	1275	1360	1360–1550	
BAG-13		P07540	54	Rem.	5	—	1.0	—	—	—	1325	1575	1575–1775	
BAG-13a		P07560	56	Rem.	—	—	2.0	—	—	—	1420	1640	1600–1800	
BAG-18		P07600	60	Rem.	10	—	—	10	—	—	1115	1325	1325–1550	
BAG-19		P07925	92	Rem.	—	—	—	—	0.2	—	1400	1635	1610–1800	
BAG-20		P07301	30	38	32	—	—	—	—	—	1250	1410	1410–1600	
BAG-21		P07630	63	28	—	—	2.5	6	—	—	1275	1475	1475–1650	
BAG-24		P07505	50	20	28	—	2.0	—	—	—	1220	1305	1305–1550	
BAG-26		P07250	25	38	33	—	2.0	—	—	—	1305	1475	1475–1600	
BAG-27		P07251	25	35	26	14	—	—	—	—	1125	1375	1375–1575	
BAG-28		P07401	40	30	28	—	—	2	—	—	1200	1310	1310–1550	
BAG-33		P07252	25	30	28	18	—	—	—	—	1125	1260	1260–1400	
BAG-34		P07380	38	32	28	—	—	2	—	—	1200	1330	1330–1550	
BVAg-6b		P07507	50	Rem.	—	—	—	—	—	—	1435	1602	1600–1800	
BVAg-18		P07607	60	Rem.	—	—	—	—	10	—	1115	1325	1325–1550	
BVAg-29		P07627	62	Rem.	—	—	—	—	—	14 In	1155	1305	1305–1450	
BVAg-31		P07587	58	32	—	—	—	—	—	Rem. Pd	1515	1565	1565–1625	
BVAg-32	P07547	54	21	—	—	—	—	—	Rem. Pd	1650	1740	1740–1800		

(Continued)

Tabla No. 10.2 composiciones químicas de metales de aporte y sus temperaturas de fusión de acuerdo a la clasificación AWS.

10.2. Metales de aporte de Aluminio-Silicio.

Este grupo se usa para unir aluminio de los grados 1060, 1100, 1350, 3003, 3004, 3005, 5005, 5050, 6053, 6061, 6951 y las aleaciones coladas A712.0 y C711.0. Todos estos tipos se prestan a la soldadura brazing en horno y por inmersión, y algunos de ellos también pueden soldarse en brazing con soplete empleando uniones traslapadas en lugar de uniones a tope.

Las láminas o tubos para soldadura brazing son fuentes útiles de metal de aporte de aluminio y un recubrimiento de metal de aporte con más bajo punto de fusión. Los recubrimientos son aleaciones aluminio-silicio, aplicadas a uno o ambos lados de la lámina. Con frecuencia se utiliza lámina para soldadura brazing como uno de los miembros de un ensamble; el otro miembro se fabrica con una aleación soldable en brazing sin revestimiento. El recubrimiento de la lámina o tubo para soldadura brazing se funde a la temperatura de soldadura brazing y fluye por atracción capilar y la acción de la gravedad hasta llenar las uniones.

10.3. Metales de Aporte de Magnesio.

Se usa metal de aporte de magnesio (BMg-1) para unir las aleaciones de magnesio, como la AZ10A, K1A y M1A empleando procesos de soldadura brazing con soplete, por inmersión o en horno. El calentamiento se debe controlar con precisión para evitar la fusión del metal base. La separación óptima de las uniones para la mayor parte de las aplicaciones está entre 0.10 y 0.25 mm (0.004 y 0.010 pulg). La resistencia a la corrosión es buena si el fundente se elimina por completo después de la soldadura. Los ensambles soldados en brazing generalmente son apropiados para servicio continuo hasta 120° C (300°F), sujetos a las limitaciones usuales del entorno de operación real.

10.4. Metales de Aporte de Cobre y Cobre-Cinc.

Estos metales de aporte sirven para unir metales ferrosos y no ferrosos. En general, la resistencia a la corrosión de los metales de aporte de aleaciones cobre-cinc no es suficiente para unir cobre, bronce de silicio, aleaciones cobre-níquel ni acero inoxidable.

Los metales de aporte de cobre prácticamente puro se usan para unir metales ferrosos, aleaciones con base de níquel y aleaciones cobre-níquel. Estos metales de aporte fluyen libremente y a menudo se usan para soldadura brazing en horno con una atmósfera de gas quemado, hidrógeno o amoniaco disociado y sin fundente. Los metales de aporte de cobre están disponibles en formas forjadas y pulverizadas.

Un metal de aporte de cobre es un óxido de cobre que se suspende en un vehículo orgánico. Los metales de aporte de cobre-cinc sirven para unir aceros, cobre, aleaciones de cobre, níquel, aleaciones con base de níquel y acero inoxidable en los casos en que no se requiere resistencia a la corrosión. Se emplean con los procesos de soldadura brazing con soplete, en horno y por inducción. Se usa fundente, por lo regular de bórax con ácido bórico.

10.5. Metales de Aporte de Cobre - Fósforo.

Estos metales de aporte sirven principalmente para unir cobre y aleaciones de cobre, y tienen aplicación limitada en la unión de plata, molibdeno y tungsteno; no deben usarse con aleaciones ferrosas o con base de níquel, ni con aleaciones cobre-níquel que tengan más del 10% de níquel. Estos metales de aporte son apropiados para todos los procesos de soldadura brazing, y tienen propiedades autofundentes cuando se usan para unir cobre; tienden a la licuación si se calientan con lentitud.

10.6. Metales de Aporte de Plata.

Estos metales de aporte sirven para unir la mayor parte de los metales ferrosos y no ferrosos, con excepción del aluminio y magnesio, con todos los métodos de calentamiento. El metal de aporte puede colocarse previamente en la unión o alimentarse a la unión ya calentada.

Las aleaciones plata-cobre con alto contenido de plata no mojan bien el acero cuando la soldadura brazing se realiza en aire y con fundente. El cobre forma aleaciones con cobalto y níquel con mucha mayor facilidad que la plata; por ello, el cobre moja muchos de estos metales y sus aleaciones satisfactoriamente, en tanto que la plata no lo hace. Si se suelda en ciertas atmósferas protectoras sin fundente, las aleaciones plata-cobre mojan la mayor parte de los aceros y fluyen libremente si la temperatura es la adecuada.

Se usa comúnmente cinc para bajar las temperaturas de fusión y de flujo de las aleaciones plata-cobre. Es por mucho, el mejor agente mojado para unir aleaciones con base de hierro, cobalto o níquel. Sólo o combinado con cadmio o estaño, el cinc produce aleaciones que mojan los metales del grupo de hierro pero que no se alean con ellos a profundidades que puedan percibirse.

Se agrega cadmio a algunos metales de aporte de aleaciones plata-cobre-cinc a fin de bajar todavía más las temperaturas de fusión y de flujo, y de incrementar la fluidez y la acción de mojado sobre diversos metales base. Puesto que los vapores de óxido de cadmio son peligrosos para la salud, se debe tener mucho cuidado al usar metales de aporte que contengan cadmio.

El estaño tiene baja presión de vapor a las temperaturas de soldadura brazing normales, por lo que sustituye al cinc o al cadmio en los metales de aporte para soldadura brazing cuando los constituyentes volátiles son objetables, como cuando la soldadura brazing se realiza sin fundente en hornos de atmósfera especial o de vacío a temperaturas elevadas. Los metales de aporte de plata-cobre con adiciones de estaño tienen intervalos de fusión amplios. Los metales de aporte que contienen cinc mojan los metales ferrosos con mayor efectividad que los que contienen estaño, por lo que siempre se prefieren en los casos en que puede tolerarse el cinc.

Las estelitas, los carburos cementados y otras aleaciones refractarias ricas en molibdeno y tungsteno se sueldan en brazing con metales de aporte a los que se ha agregado manganeso, níquel y, raras veces, cobalto a fin de incrementar la acción de mojado.

Cuando los aceros inoxidable y las aleaciones que forman óxidos refractarios se sueldan en atmósferas reductoras o inertes sin fundente, los metales de aporte de plata que contienen litio como agente mojado son muy efectivos. El calor de formación de Li_2O es muy alto, por lo que el litio metálico reduce los óxidos adheridos al metal base. El metal de aporte de soldadura brazing desplaza con facilidad el óxido de litio que se produce.

10.7. Metales de Aporte de Oro.

Los metales de aporte de oro sirven para unir piezas en ensambles de tubos de electrones en los que no pueden tolerarse componentes volátiles. Se usan para soldar en brazing metales con base de hierro, de níquel y de cobalto en los que se requiere alta resistencia a la corrosión. Por lo regular se usan en secciones delgadas en virtud de su reducida tasa de interacción con el metal base.

10.8. Metales de Aporte de Níquel.

Los metales de aporte de níquel para soldadura brazing generalmente se usan con aceros inoxidable de las series 300 y 400, aleaciones con base de cobalto y de níquel, e incluso acero al carbono, aceros de baja aleación y cobre cuando se desean propiedades específicas. Estos metales de aporte presentan buenas propiedades de resistencia a la corrosión y al calor, y normalmente se aplican en forma de láminas o cordones con aglomerantes plásticos.

Los metales de aporte de níquel tienen la característica de presión de vapor muy baja que se requiere en los sistemas al vacío y en aplicaciones de tubos al vacío a temperaturas elevadas.

Los metales de aporte que contienen fósforo tienen baja ductilidad porque forman fosfuros de níquel. Los metales de aporte que contienen boro se deben controlar con cuidado cuando se usan para soldar en secciones delgadas, a fin de prevenir la corrosión.

10.9. Metal de Aporte de Cobalto.

Este metal de aporte se utiliza por sus propiedades a alta temperatura y por su compatibilidad con los metales con base de cobalto. La soldadura brazing en una atmósfera de alta calidad o por difusión produce óptimos resultados. Existen fundentes especiales de alta temperatura para soldar en brazing con soplete.

10.10. Metales de Aporte para Metales Refractarios.

La soldadura brazing es excelente para fabricar ensambles de metales refractarios, sobre todo aquellos en los que intervienen secciones delgadas. No obstante son pocos los metales de aporte que se han diseñado específicamente para aplicaciones de alta temperatura y alta corrosión.

Los metales de aporte de bajo punto de fusión como plata-cobre-cinc, cobre-fósforo y cobre sirven para unir tungsteno en aplicaciones de contactos eléctricos, pero estos metales de aporte no pueden dar servicio a temperaturas elevadas. En tales casos conviene usar metales raros de más alto punto de fusión, como tantalio y colombio.

Los metales de aporte con base de níquel y de metales preciosos también pueden servir para unir tungsteno.

Hay diversos metales de aporte para soldadura brazing que unen molibdeno, pero es preciso considerar el efecto de la temperatura de soldadura brazing sobre la recristalización del metal base. Si se suelda en brazing por encima de la temperatura de recristalización, el tiempo de soldadura base debe ser muy corto. Si no se requiere servicio a alta temperatura, es factible usar metales de aporte con base de cobre y plata.

El colombio y el tantalio se sueldan con diversos metales de aporte con base de metal refractario o metal reactivo. Los sistemas metálicos Ti-Zr-Be y Zr-Cb-Be son representativos, así como los metales de aporte con base de platino, de paladio, de platino-iridio, de platino-rodio, de titanio y de níquel (como las aleaciones níquel-cromo-silicio). Las aleaciones cobre-oro que contienen oro en proporciones entre el 46 y el 90% forman compuestos endurecibles por envejecimiento que son quebradizos. Los metales de

aporte con base de plata no se recomiendan porque pueden hacer quebradizo el metal base.

10.11. Metales de aporte libres de Cadmio.

Los metales de aporte libres de cadmio se considera la opción más efectiva para evitar los efectos en la salud en relación a la generación de humos cancerigenos que son liberados de los metales de aporte con alto contenido de cadmio principalmente las aleaciones de plata indicados en la Tabla 10.3.

Aleación tipo BS 1845	Contenido de Cd (% en peso aprox.)
Ag1	19%
Ag2	25%
Ag3	20%
Ag9	16%
Ag10	20%
Ag11	21%
Ag12	21%

Tabla No. 10.3 Aleaciones de plata con alto contenido de cadmio

En la Tabla 10.4 se muestra la composición de los metales de aporte base plata libres de cadmio los cuales se encuentran en el mercado. En la tabla se pueden observar los intervalos de temperatura de fusión recomendados así como las normas aplicables.

2001 ALEACIONES DE PLATA PARA LA SOLDADURA FUERTE												
Referencia	Intervalo fusión	Composición					Características			Normas		Denominación
		Ag%	Cu%	Zn%	Cd%	autres%	R. daN:mm ²	A%	d	NF	DIN	
										A81-362	8513	EN ISO 3677 NF EN 1044
BRAZARGENT 1072	779-779°C	72,0	28,0				35	33	10	72A1	L Ag72	B Ag72Cu 779
BRAZARGENT 1505	820-870°C	5,0	54,5	40,4			38	15	8,4	05A1*	L Ag5	B Cu55ZnAgSi 820-870
BRAZARGENT 1520 Si	690-810 °C	20,0	46,0	33,8		0,2 Si	40	20	8,4		L Ag20	B Cu46ZnAgSi 690-810
BRAZARGENT 1544	675-735°C	44,0	30,0	26,0			40	25	8,9	44A1	L AG44	B Ag44CuZn 675-735
BRAZARGENT 1545	680-800°C	45,0	41,5	13,5			47	25	9,3			B Ag45CuZn 680-800
BRAZARGENT 2017	610-780 °C	17,0	41,0	26,0	16,0		38	30	8,7			B Cu 41 Zn Ag Cd 610-780
BRAZARGENT 2020	610-780°C	20,0	40,0	27,0	13,0		38	32	8,5	20A2	L Ag20Cd	B Cu42ZnAgCd 610-780
BRAZARGENT 2025	605-720 °C	25,0	30,0	27,5	17,5		38		8,8		L Ag25Cd	B Cu 30 Zn Ag Cd 605-720
BRAZARGENT 2030	610-690°C	30,0	28,0	21,0	21,0		38	30	8,8	30A1	L Ag30Cd	B Ag30CuZnCd 610-690
BRAZARGENT 2034	610-670°C	34,0	25,0	20,0	21,0		40	30	8,9		*L Ag34Cd	B Ag34CuCdZn 610-670
BRAZARGENT 2035	610-700°C	35,0	26,0	21,0	18,0		42	29	8,9	35A1		B Ag35CuZnCd 610-700
BRAZARGENT 2040	595-630°C	40,0	19,0	21,0	20,0		45	30	9	40A1	L Ag40Cd	B Ag 40ZnCdCu 595-630
BRAZARGENT 400	595-630°C	40,0	19,0	21,0	20,0		45	30	9	40A1	L Ag40Cd	B Ag 40ZnCdCu 595-630
BRAZARGENT 2045	605-620°C	45,0	15,0	16,0	24,0		45	30	9,1	45A1	*L Ag45Cd	B Ag45CdZnCu 605-620
BRAZARGENT 2050	625-635°C	50,0	15,5	16,5	18,0		45	35	9,2		*L Ag50Cd	B Ag50CdZnCu 625-635
BRAZARGENT 2550	635-660°C	50,0	15,5	15,5	16,0	3 Ni	45	25	9,2		LAg50CdNi	B Ag50CdCuZnNi 635-660
						Sn%						
BRAZARGENT 5025	680-780°C	25,0	40,0	33,0		2,0	51	18	8,5	25A2	L Ag25Sn	B Cu40ZnAgSn 680-780
BRAZARGENT 5030	665-755°C	30,0	36,0	32,0		2,0	50	18	8,8		L Ag30Sn	B Cu36ZnAgSn 665-755
BRAZARGENT 5034	630-730°C	34,0	36,0	27,0		3,0	50	20	8,7		L Ag34Sn	B Cu36AgZnSn 630-730
BRAZARGENT 5038	660-700°C	38,0	31,0	28,8		2,2	52	18	8,8			B Ag38CuZnSn 660-700
BRAZARGENT 5040	650-710°C	40,0	30,0	28,0		2,0	50	17	9,1		L Ag40Sn	B Ag40CuZnSn 650-710
BRAZARGENT 5045	640-680°C	45,0	27,0	25,0		3,0	50	14	9,1		L Ag45Sn	B Ag45CuZnSn 640-680
BRAZARGENT 5055	630-660 °C	55,0	21,0	22,0		2,0	51	11	9,2	56A1	L Ag55Sn	B Ag55ZnCuSn 630-660
BRAZARGENT 400	Homologada junto con el Gel 400 para la soldadura fuerte por capilaridad de tuberías de cobre en las instalaciones de gas combustible.											
Nota	El asterisco * delante de una norma indica «cercano a esta norma» La Norma Europea NF EN 1044 de Julio 1999 sustituye a las normas NF, DIN.											

Tabla No. 10.4 Composición de los metales de aporte base plata libres de cadmio.

Se observa en la Tabla 10.4 que los metales de aporte BRAZARGENT 20XX contienen cadmio y se reemplazo en las aleaciones de BRAZARGENT 50XX por base estaño denominándose como BAg Cu Zn Sn aumentando ligeramente las temperaturas de fusión.

Si comparamos con respecto al rango de temperaturas de fusión de dos materiales de aporte con diferente composición química y en especial materiales de aporte con y sin cadmio, por ejemplo Brazargent 2050 y Brazargent 5055 como se muestra en la Tabla 10.5, se puede observar que el rango de temperatura de fusión difiere ligeramente en los dos materiales lo cual es debido principalmente a que la sustitución de cadmio en la composición química de la aleación Brazargent 2050 por una pequeña

cantidad de estaño en la aleación Brazargent 5055 incrementa un poco la temperatura de fusión del material de aporte. Este ligero incremento en el rango de temperatura de fusión se debe a que el metal con bajo punto de fusión, en este caso el estaño, se encuentra en pequeña cantidad prevaleciendo en la aleación el contenido de Ag, Cu y Zn.

Referencia	Intervalo fusión (°C)	Composición química (% e.p.)				
		Ag	Cu	Zn	Cd	Sn
Brazargent 2050	625 – 635	50	15.5	16.5	18	---
Brazargent 5055	630 – 660	55	21	22	---	2

Tabla No. 10.5 Composición química de dos materiales de aporte con y sin cadmio.

Por otra parte en la Figura 10.1 se muestra el diagrama de liquidus del sistema ternario Cu-Ag-Zn. Si localizamos estas dos aleaciones de materiales de aporte en este diagrama, podemos observar que el material de aporte libre de cadmio se encuentra más cercano al punto eutéctico ternario lo cual significa que aunque la temperatura de fusión incrementó un poco con respecto al material de aporte con cadmio debido a la composición química, el material de aporte sin cadmio sólido pasará a estado líquido más rápido que el material de aporte con cadmio permitiendo un mayor mojado en un tiempo mas corto durante el proceso brazing.

Por lo tanto la temperatura requerida para llevar a cabo el brazing utilizando materiales de aporte libres de cadmio necesitará incrementarse un poco pero al final del proceso se obtendrán mayor número de ventajas con respecto a riesgos en la salud como ya se vio a lo largo de este documento.

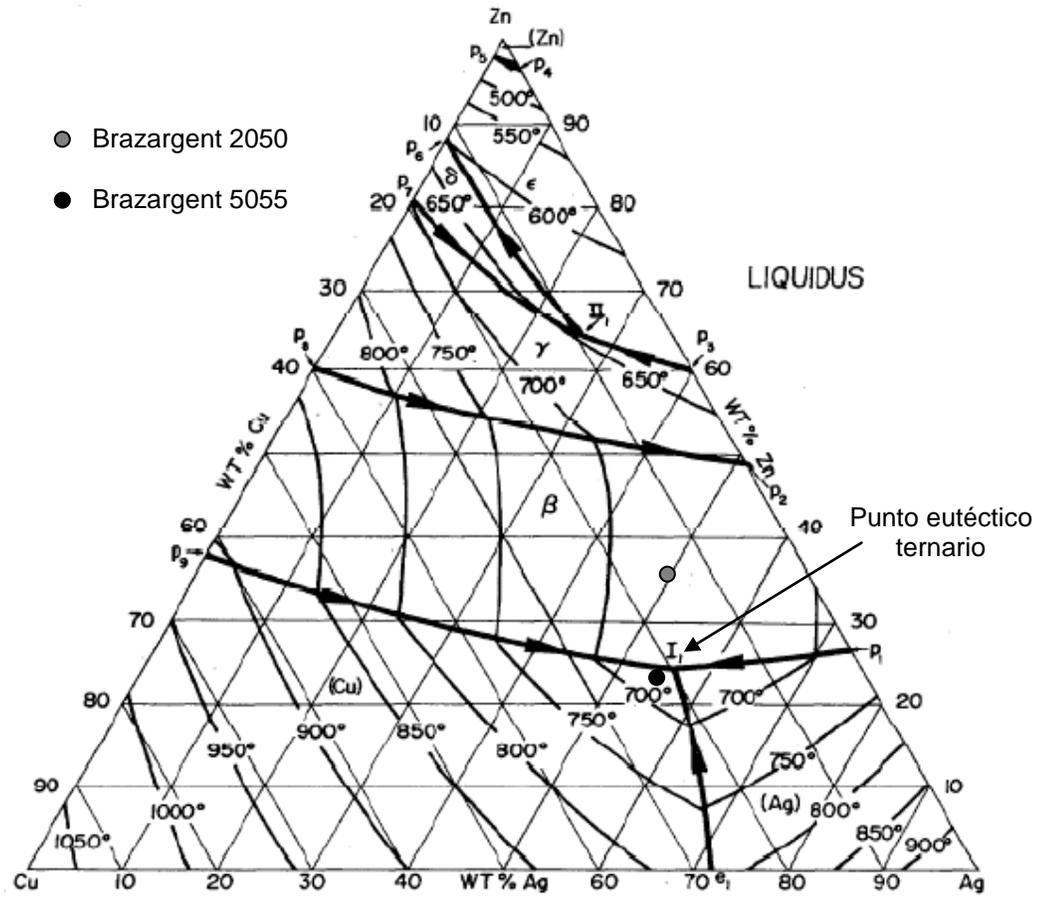


Diagrama de liquidus del diagrama ternario Cu-Ag-Zn (CHANG et. al., 1997).

11.

CASOS DE ESTUDIO

Soldabilidad de Metales de Aporte Base Plata (Ag-Cu-Cd-Zn)

Jun Sokawa, Hitoshi Maruyama, Maki Nozue, Yasayuki Miyazawa, Tadashi Ariga, Tokai University

Introducción

Los metales de aporte base plata son usados para unir la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos, excepto Al y Mg. Esta clasificación incluye una gama de las composiciones base plata de los metales de aporte que pueden tener varias adiciones tales como Cu, Zn, Cd, Sn, Mg, Ni y Li.

Generalmente hablando, la adición del Zn baja la temperatura de fusión de las aleaciones binarias Ag - Cu y ayuda al mojado del Fe, Co y del Ni. El Cd también es efectivo para bajar la temperatura de fusión de estas aleaciones y ayuda en el mojado de una variedad de metales base. Especialmente, el Cd y el Zn se vaporizan durante la soldadura brazing.

Actualmente se ha prestado atención especial a algunas clases de elementos venenosos tales como el Cd y el Pb. Especialmente, la preocupación por el elemento Cd debido a la enfermedad del Itai-Itai en Mayo de 1968 que fue como comenzó. A pesar de esto, en general el

contenido de Cd en los metales de aporte base plata tienen una excelente soldabilidad.

Existe una gran variedad de metales de aporte base Ag. El estándar JIS tiene cuatro clases de metal de aporte base plata que contienen cadmio (BAg-1, BAg-1A, BAg-2, and BAg-3) como se puede observar en la Tabla 11.1. De cualquier manera el desarrollo de las aleaciones libres de cadmio es necesario y el efecto que causa varias adiciones de Cd no es muy claro.

Por esta razón en este caso de estudio lo que se investigo fue el efecto de las adiciones de Cd en los metales de aporte base plata. La soldabilidad de este metal de aporte se calculo mediante una microestructura en la sección transversal y una prueba de esparado para observar los elementos que sustituyen al Cd.

Class	Chemical compositions (mass%)						Temperature (°C)		
	Ag	Cu	Zn	Cd	Ni	Others	Solidus	Liquidus	Brazing range
BAg-1	44.0-46.0	14.0-16.0	14.0-18.0	23.0-25.0	-	Under0.15	605	620	670
BAg-1A	49.0-51.0	14.5-16.5	14.5-16.5	17.0-19.0	-	Under0.15	625	635	685
BAg-2	34.0-36.0	25.0-27.0	19.0-23.0	17.0-19.0	-	Under0.15	605	700	750
BAg-3	49.0-51.0	14.5-16.5	13.5-17.5	15.0-17.0	2.5-3.5	Under0.15	630	690	740
BAg-5	44.0-46.0	29.0-31.0	23.0-27.0	-	-	Under0.15	665	745	795
BAg-8	71.0-73.0	Bal.	-	-	-	Under0.15	780	780	830

Tabla 11.1 Composición química y temperatura en los metales de aporte base Ag que contienen Cd de acuerdo con el estándar JIS.

El procedimiento que se siguió en este estudio es el siguiente:

Se utilizo una placa de cobre puro (30mm X 30mm, 0.5mm espesor) como metal base. Los materiales BAg-1, BAg-1A, BAg-2, y BAg-3 se usaron como metales de aporte. BAg-5 y la aleacion BAg-8 libres de cadmio también fueron utilizados. Se colocó el metal de aporte en una cantidad constante (0.2g) en la placa de cobre puro. A continuación la probeta se calentó a 50K por encima de la temperatura de liquidus durante un período

de tiempo de 5 minutos en la prueba utilizando una atmósfera de gas argon (Ar) en un horno horizontal. Después la probeta se temple rápidamente en agua

Después del temple, se realizó una inspección visual en la superficie de la probeta antes de observarla en el microscopio, la microestructura y la distribución de los elementos en los bordes del área se analizó mediante EDXS para investigar el efecto del cadmio en la mojabilidad del metal de aporte base plata en la placa de cobre puro.

Resultados y Discusiones.

En la Figura 11.1 se muestra la apariencia de la probeta con metal de aporte BAg-1 y en esta misma figura se muestra la micrografía obtenida por MEB. Adicionalmente en esta figura también se muestra el resultado del análisis EDXS realizado en los bordes del área donde se realizó la prueba.

La Figura 11.2 muestra la micrografía de electrones secundarios a una magnificación más alta y los resultados del análisis EDX en los bordes del área espreada, la cual corresponde al área 6 en la Fig.11.1. De acuerdo a esta figura, el área 1 es la superficie de la placa de cobre puro, las áreas 2, 3, y 4 se localizan en los bordes del área espreada y el área 5 se localiza en el metal de aporte. Estos resultados muestran que no se detecto Ag o Cd en el área 1, 2, 3, y 4. Sin embargo el Zn esta presente en toda el área.

En la Figura 11.2, el área 1 y 2 se localizan en los bordes del área espreada, y las áreas 3, 4, y 5 se localizan en el metal de aporte. En esta imagen no se detecto Ag o Cd en el área 1 y 2. Sin embargo el Zn se detecto en toda el área.

Por lo tanto en base a estos resultados se determina que el Zn se encuentra de manera preferente lo cual tiene influencia en el fenómeno de mojabilidad en los metales de aporte BAg-1.

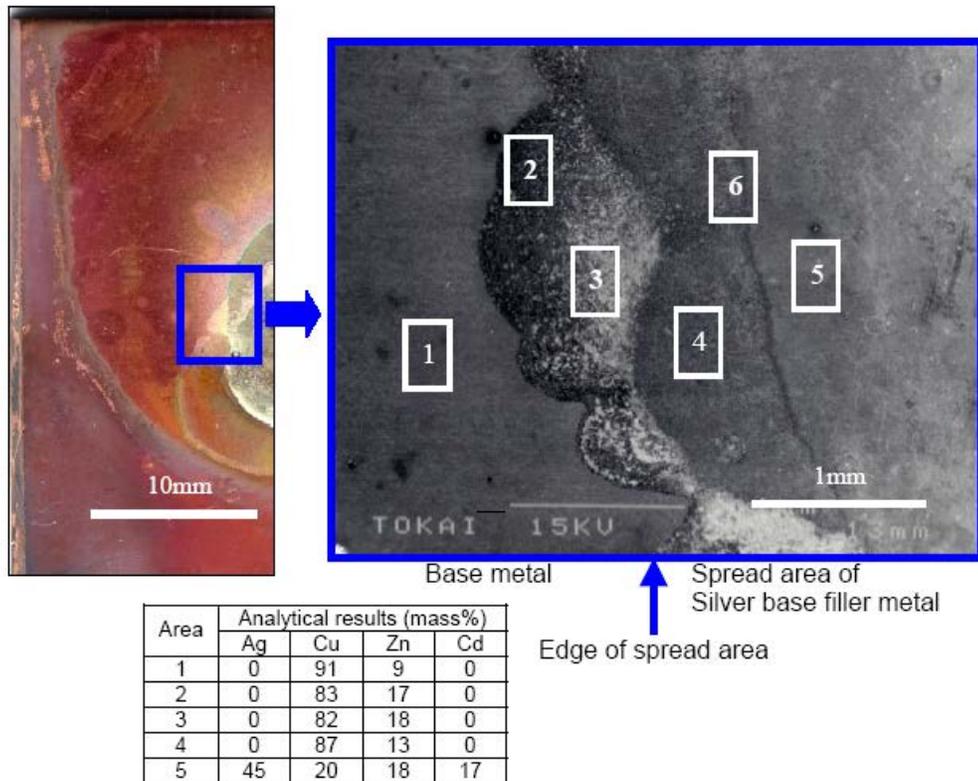


Figura 11.1 Apariencia de la muestra realizada con BAg-1 mediante SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área espreada.

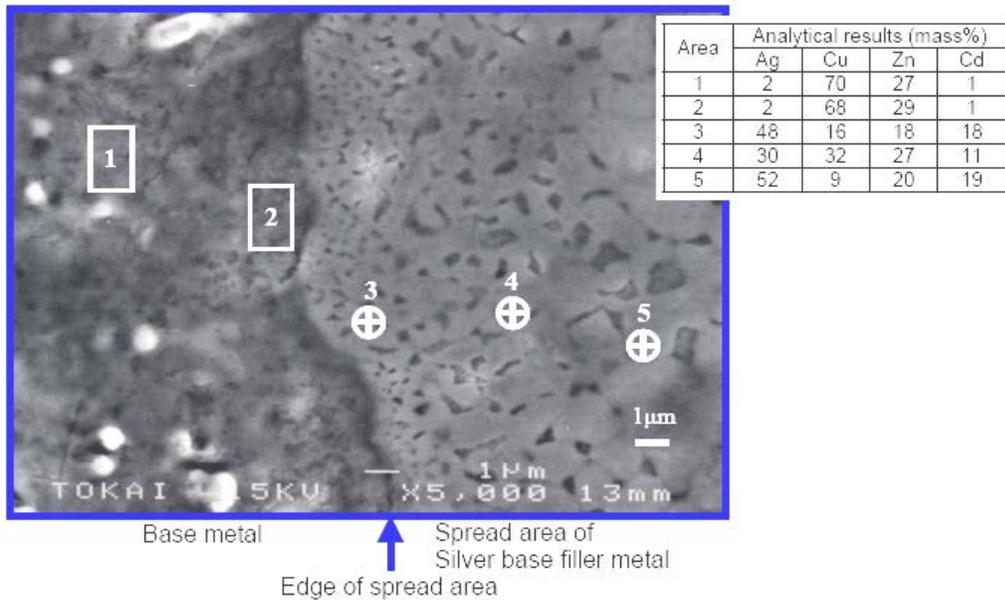


Figura 11.2 Magnificación de la imagen SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área esparcida, correspondiente a el área 6 de la Fig. 11.1

En el caso del metal de aporte BAg-5, los resultados obtenidos son similares. Por lo tanto se determina que el Zn en los metales de aporte BAg-5 también influencia la mojabilidad.

En la Figura 11.3 se muestra la imagen (SEM) y el análisis EDXS de la muestra del material BAg-8. Conforme a la Fig.3, las áreas 1 y 2 se localizaron en el metal de aporte, y las áreas 3 y 4 se localizaron en los bordes del área esparcida, además el área 5 se encuentra en la placa de cobre puro. Se detecto la presencia de Ag ligeramente en las áreas 3 y 4. Por lo tanto se determina que la Ag se encuentra de manera preferente y que este influencia en el fenómeno de mojabilidad en los metales de aporte BAg-8.

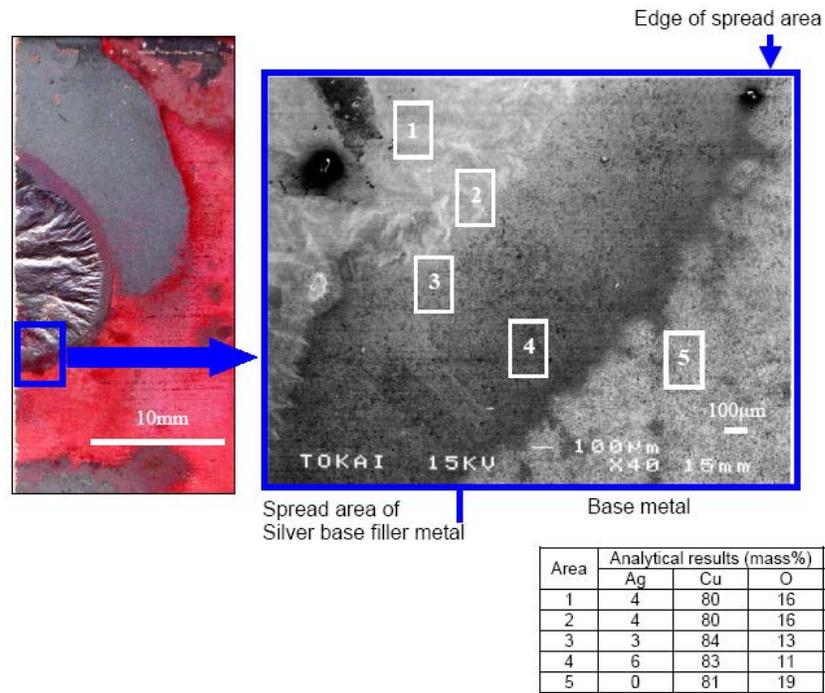


Figura 11.3 Apariencia de la muestra realizada con BAg- 8 mediante SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área espreada.

Conclusiones

1. El Zn se desplaza preferentemente y por lo tanto influencia el fenómeno de mojado en los materiales de aporte BAg-1 y BAg-5.
2. Este mismo fenómeno ocurre con la Ag en el material de aporte BAg-8.

12.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la comparación que se realizó entre un metal de aporte con alto contenido en cadmio vs un metal de aporte sin cadmio podemos concluir que no existe factor alguno dentro de las variables esenciales del proceso brazing que afecten o demeriten la calidad de las uniones.

El diagrama de equilibrio del sistema ternario Ag – Cu – Zn, se utilizó con el fin de evaluar las temperaturas de fusión de los materiales de aporte en el punto eutectico verificando que las temperaturas de fusión difieren en menor proporción y que se encuentran en el mismo rango.

Las temperaturas de brazing se consideran importantes con respecto a los costos de fabricación por el simple hecho de un incremento en este parámetro que nos elevaría el gasto de los insumos (ej. gas natural) disminuyendo directamente la productividad en piezas por hora.

La revisión de la literatura nos indica que el límite legal de exposición permitido en el aire (PEL) es de $0,005 \text{ mg/m}^3$ de cadmio en forma de polvo o humo en un máximo de 8 horas, se debe reconsiderar que los estrictos controles en las emisiones de sustancias peligrosas son “Buenos” pero definitivamente es mejor evitarlos.

13.

RECOMENDACIONES

Como trabajo futuro se recomienda evaluar las propiedades mecánicas al usar materiales de aporte sin cadmio en relación a los materiales de aporte con cadmio. Analizar la metalurgia de la soldabilidad en procesos brazing ya que no esta claramente especificado y evaluar mediante experimentación la fluidez, temperatura y tiempo de brazing en la capilaridad de las uniones al utilizar metales de aporte donde el cadmio es sustituido por estaño.

14.

LISTADO DE FIGURAS

Figura No. 5.1	Cadmio
Figura No. 6.1	Diagrama de equilibrio del sistema binario plata-cobre
Figura No. 6.2	Ángulos de Mojado Capilar
Figura No. 6.2	Ángulos de Mojado Capilar
Figura No. 8.1	Efecto del espesor de la unión sobre la resistencia a la tensión
Figura No. 8.2	Separación estrecha en uniones por brazing
Figura No. 8.3	Separación holgada en uniones por brazing
Figura No. 8.4	Inspecciones de limpieza con luz negra
Figura No. 8.5	Sujetadores en ensambles para brazing
Figura No. 8.6	Sujetadores con pernos o cuchillas
Figura No. 8.7	Sujetadores con soportes
Figura No. 8.8	Ejemplos de sujetadores
Figura No. 8.9	Ejemplo de fluidez del metal de aporte
Figura No. 8.10	Formato Brazing Procedure Specification
Figura No. 10.1	Diagrama de liquidus del diagrama ternario Cu-Ag-Zn (CHANG et. al., 1997).
Figura No. 11.1	Apariencia de la muestra realizada con BAg-1 mediante SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área espreada

- Figura No. 11.2 Magnificación de la imagen SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área espreada, correspondiente a el área de la 6 Fig. 11.1
- Figura No. 11.3 Apariencia de la muestra realizada con BAg-8 mediante SE y resultados del análisis EDX en los bordes del área esperada.

15.

LISTADO DE TABLAS

Tabla No. 10.5	Composición química de dos materiales de aporte con y sin cadmio
Tabla No. 5.1	Propiedades del cadmio
Tabla No. 8.1	Coefficiente de expansión térmica de metales, materiales y aleaciones
Tabla No. 8.2	Métodos de limpieza como etapa previa para realizar la unión
Tabla No. 8.3	Apariencia del fundente a diferentes temperaturas
Tabla No. 8.4	Clasificación de fundentes con metales de aporte
Tabla No. 10.1	Clasificación AWS de metales de aporte
Tabla No. 10.2	Composiciones químicas de metales de aporte y sus temperaturas de fusión de acuerdo a la clasificación AWS
Tabla No. 10.3	Aleaciones de plata con alto contenido de cadmio
Tabla No. 10.4	Composición de los metales de aporte base plata libres de cadmio
Tabla No. 10.5	Composición química de dos materiales de aporte con y sin cadmio
Tabla No. 11.1	Composición química de las características de temperatura en los metales de aporte base Ag que contienen Cd de acuerdo con el estándar JIS.

16.

BIBLIOGRAFIA

1. American Welding Society, Welding Handbook Vol. I Welding Technology Third Edition, 1987.
2. Hoja informativa sobre substancias peligrosas departamento de salud y servicio para personas mayores de New Jersey.
3. Aufhauser Corporation (Silver alloy cadmium free).
4. WWW.brazing.com
5. The University of Texas at Dallas UTD - Welding, Cutting, Heating, and Brazing Safety Manual
6. Soldering Brazing Welding and Adhesives
7. ANSI/AWS A5.31 Specification for Fluxes for Brazing and Braze Welding
8. ASM Welding Handbook Vol. 6 Welding, Brazing, and Soldering
9. ANSI/AWS A5.8-89 Specification for Filler Metal for Brazing
10. Brazing Book Handy & Harman
11. Aluminum brazing handbook Fourth Edition January 1990
12. Soldabilidad de Metales de Aporte Base Plata (Ag-Cu-Cd-Zn)
Jun Sokawa, Hitoshi Maruyama, Maki Nozue, Yasayuki Miyazawa, Tadashi Ariga, Tokai University.