

Brazing consejos para la soldadura



Índice

1	<i>Principios del proceso</i>	1
2	<i>Terminología</i>	2
3	<i>Comparativa entre el brazing y el soldeo por fusión</i>	4
4	<i>Ventajas y limitaciones</i>	5
5	<i>Pasos para la obtención de un brazing satisfactorio</i>	7
	5.1 Diseño de la unión	7
	5.2 Elección del material de aporte	9
	5.3 Limpieza previa de los materiales base.	10
	5.4 Selección y aplicación del fundente	12
	5.5 Adecuado utillaje de sujeción	15
	5.6 Calentamiento de la unión y aplicación de la aleación	16
	5.7 Limpieza posterior al soldeo	26
6	<i>Seguridad e higiene</i>	28
7	<i>Conclusiones</i>	29

1 Principio del proceso

La soldadura fuerte también conocida en la terminología inglesa como *brazing*, es un proceso de unión térmica en el que el metal de aporte, se calienta hasta su fusión fluyendo por capilaridad entre la holgura que existe entre los materiales a soldar y uniéndose sus superficies por atracción atómica y mediante difusión.

El material de aporte tiene un punto de fusión por encima de los 450°C, pero siempre por debajo del punto de fusión de los componentes que va a unir. En el caso de que el punto de fusión esté por debajo de los 450°C se conoce como soldadura blanda (*soldering*).

Las características físicas y químicas del material de aporte son completamente diferentes de las piezas que va a soldar.

Una característica notable de esta técnica es su capacidad para unir materiales disimilares y componentes con masas y tamaños distintos. Es capaz, por ejemplo de unir carburos de tungsteno con aceros.

2 Terminología

- **Material de aporte (*brazing alloy*):** Material que funde por encima de los 450°C pero por debajo de los metales que van a ser unidos. Debe poseer una buena fluidez que permita su distribución a lo largo de la unión y sea capaz de mojar el material base.
- **Fundente (*flux*):** Componente químico aplicado a los metales base para protegerles de la formación de óxido durante el calentamiento, y para favorecer el mojado del metal de aporte.
- **Mojado (*wetting*):** Se produce cuando el metal de aporte fluye y empapa las paredes del metal base.
- **Holgura de la unión (*joint gap*):** distancia existente entre los metales que van a ser unidos.
- **Atracción capilar (*capillary attraction*):** La fuerza que empuja a un líquido a través de dos superficies paralelas.
- **Solidus:** La temperatura más alta en la que el material de aporte esta completamente sólido.
- **Liquidus:** Temperatura más baja en la que el material de aporte está completamente líquido.
- **Rango de fusión (*melting range*):** Rango de temperaturas por encima del cual el metal de aporte funde. Rango formado entre el solidus y el liquidus de la aleación.
- **Eutéctica (*eutectic*):** Aleación que solo tiene un punto de fusión, como los metales puros.
- **Licuación (*liquation*):** Cuando un material de aporte que posee un amplio rango de fusión es calentando muy lentamente, la fase con el punto de fusión más baja es la primera que comienza a fluir. El material que queda atrás cambia de composición presentando un punto de fusión más alto, y no fluirá fácilmente. El resultado de este fenómeno se manifiesta en una unión

de baja calidad y exteriormente deslucida.

- **Corrosión entre caras (crevice corrosion)**: Cuando se realiza uniones de acero inoxidable martensíticos, utilizando materiales de aporte base plata, y el acero esta sometido a condiciones de servicio de humedad o en contacto con agua, la unión puede fallar como resultado de la corrosión producida entre el acero inoxidable y la intercara del material de aporte.
- **Penetración intergranular**: las aleaciones base níquel son propensas a la formación de grietas cuando el material de aporte utilizado es base plata y los componentes están sometidos a elevados niveles de fatiga.
- **Descincificación**: Es una forma de corrosión galvánica, generalmente asociada con dos fases de aleaciones de latón, en la que la fase rica en Zn es selectivamente arrojada del latón, dejando una matriz de una fase rica en cobre. Esto puede ocurrir cuando las uniones son expuestas a una atmósfera salina.

3 Comparativa entre el *brazing* y el soldeo por fusión

En los procesos por fusión como el MIG o el TIG (soldadura por arco bajo gas protector con electrodo no consumible), se produce la fusión del metal base, mientras que en el *brazing* solo se funde el material de aporte que fluye entre los metales base.

En el soldeo por fusión no se requiere de fundentes ya que el gas inerte protege el baño, sin embargo presentan mayores deformaciones y tensiones residuales con pérdidas de propiedades mecánicas causadas por el alto *input* de calor, en comparación con el *brazing*.

Existen diferencias a la hora de suministrar el calor a la unión, mientras en las técnicas de fusión se consigue mediante arco eléctrico, haz de electrones, láser etc, en la soldadura fuerte se genera por antorcha, horno, e inducción principalmente.

Una ventaja adicional de la soldadura fuerte es su capacidad para soldar materiales disimilares como el titanio con el acero inoxidable, mientras que la misma soldadura realizada con el TIG, resultaría quebradiza.

Generalmente ambos procesos necesitan de material de aporte, en el *brazing* su composición química es diferente a los metales base, mientras en la fusión es muy similar con ligeras modificaciones para mejorar la unión.

Ambas técnicas requieren de personal cualificado para conseguir uniones de calidad.

4 Ventajas y limitaciones

El proceso de soldadura fuerte es uno de los procesos de unión más versátil utilizados hoy en día. Las principales ventajas se detallan a continuación.

- *Cost-effective* , con muy poca cantidad de aleación se puede conseguir la unión de dos piezas, que realizada correctamente es comparable a cualquier otro método de soldeo a menor precio.
- La soldadura fuerte produce uniones resistentes. Al contrario de lo que se puede pensar, la resistencia de la unión no tiene nada que ver con las características del material de aporte. Sorprendentemente y dependiendo del material base, la unión de un *brazing* realizado adecuadamente proporciona una resistencia mucho mayor que el material de aporte.
- Produce uniones dúctiles capaces de soportar considerables choques y vibraciones.
- Capaz de unir metales cuyas secciones transversales difieren notablemente.
- Las uniones tienen una excelente distribución de esfuerzos, siendo el filete formado ideal para resistir fatiga.
- Esta técnica es ampliamente utilizada en instalaciones de tuberías de líquidos y gases debido al impedimento que ofrece a la presencia de fugas.
- Es idóneo en procesos donde no está permitida la fusión. Por ejemplo, la soldadura de pequeños soportes (*lugs*) y casquillos (*half sleeve*) a tuberías de motores, o en la unión de piezas de pequeño espesor y tamaño, donde las técnicas de fusión podrían destruir el material base.
- También este proceso ofrece una buena conductividad eléctrica, siendo

usado en aplicaciones donde esta propiedad es importante.

- Es esencialmente una operación de un único proceso, si este se realiza adecuadamente. No requiere de rectificado o de acabados mecánicos después de que la unión se ha completado.
- Debido a que el soldeo utiliza el efecto capilar, uniones complejas son tan fáciles de unir como las simples.
- Permite la soldadura de los materiales base con recubrimientos y plaqueados, en el caso de *brazing* por horno de materiales base níquel que contengan titanio y aluminio, se requiere de un plaqueado de níquel en la zona de unión para mejorar el proceso.
- Las uniones soldadas presentan una buena apariencia con bordes lisos y limpios.

El método de soldadura fuerte también ofrece ciertas limitaciones que se exponen a continuación:

- La preparación de las piezas puede resultar más costosa que en un proceso por fusión.
- El *brazing* proporciona para algunos casos menos resistencia mecánica y continuidad en la unión que un proceso de fusión, aunque una soldadura correctamente diseñada y ejecutada puede ser tan resistente como los materiales base.
- Las uniones óptimas están generalmente solapadas por lo que incrementa el peso del conjunto.
- Siempre va ser necesario una limpieza posterior al soldeo para eliminar los residuos del fundente.

5 Pasos para la obtención de un *brazing* satisfactorio

Es fácil obtener una unión soldada de alta resistencia, libre de fugas si se consideran los siguientes siete fundamentos tanto en el diseño como en la producción de las juntas.

5.1 Diseño de la unión.

Una unión completamente sólida es aquella en la que el 100 % del área de la unión es mojada por el material de aporte y además esta completamente llena de él. Estas uniones son raramente obtenidas fuera del laboratorio debido a diferentes causas que se irán viendo a lo largo de este documento.

Las uniones más típicas utilizadas para la soldadura fuerte son las solapadas, ya sean planas o tubulares, también se pueden realizar a tope con poca área de contacto y con una baja resistencia, a tope-solapadas y finalmente con bordes enmuescados, que poseen mayor resistencia pero requieren también de mas preparación y por tanto son más caras.

Para el diseño de una buena unión tipo solape se han de considerar los dos criterios siguientes:

El grado de solape y la holgura de la unión.

Grado de Solape. El mejor grado de solapamiento para una unión plana es de 3-4t, siendo t el espesor del material más delgado que forma parte de la misma.

La regla general para piezas tubulares es que la longitud de solape debería ser una vez el diámetro del tubo, para tuberías de hasta 25,4 mm.

Holgura de la Unión. El efecto de la holgura tiene un profundo impacto en la

resistencia de la junta. Si el *gap* es muy pequeño, se puede llegar a inhibir la distribución del material de aporte entre el conjunto a soldar, reduciéndose la resistencia de la unión, y si este es demasiado ancho se reduce la acción capilar, lo que no favorece el llenado en la junta, lo que da lugar a la disminución de la resistencia a valores propios del material de aporte. Es por tanto fundamental mantener una holgura adecuada y uniforme a lo largo de la unión.

En general, un ajuste que deslice fácilmente proporciona una adecuada unión entre piezas tubulares, y si lo que se unen son dos piezas planas, simplemente colocando una encima de la otra y considerando la rugosidad superficial standard, será suficiente para proporcionar el efecto capilar adecuado. El pulido de las superficies restringir` que la aleación fundida fluya.

Por otro lado, una unión de soldadura fuerte es una pequeña fundición, de tal manera que durante el proceso de solidificación se pueden formar cavidades debido a la contracción del material (*rechupes / shrinkage cavities*), que volverán a disminuir la resistencia de la unión. Cuanto mayor sea el volumen de material de aporte mayores serán las cavidades formadas. Es evidente por tanto, que una pequeña holgura encerrara menor volumen de material de aporte y los vacíos producidos serán de menor tamaño durante la solidificación que con una holgura mayor.

Las holguras recomendadas, dependen principalmente de la fluidez del material de aporte y son las que se deberían tener a la temperatura de soldeo. Por lo tanto en frío, deberán estar compensadas para absorber la expansión producida por los materiales base, particularmente si estos tienen diferentes coeficientes de expansión.

A continuación, se muestran las holguras óptimas para los materiales de aporte a la temperatura de soldeo aconsejadas por Sisa:

Materiales	Holguras
755	0.05 - 0.15 mm
473	0.075 - 0.2 mm

Esos dos parámetros intervienen de forma predominante en determinan la resistencia última de la unión y no las propiedades del material de aporte, de tal forma que

una correcta unión ofrece siempre mayor resistencia que el material de aporte y puede llegar a ofrecer mayor resistencia que alguno de los materiales base que la forman.

5.2 Elección del material de aporte.

La mayoría de los materiales de aporte son aleaciones que funden a través de un rango de temperaturas, a excepción de las eutécticas que lo hacen a una temperatura específica.

La aleación por tanto, adquiere inicialmente un estado pastoso cuando se encuentra entre el *solidus* y el *liquidus*, debido a que una porción permanece sólida hasta que la temperatura alcanza el *liquidus*. Teóricamente mantener la pieza en el *liquidus* originaría la fusión del metal de aporte, sin embargo las variables de producción pueden no garantizar la completa fusión del material en la unión, por lo que se suele aumentar esta temperatura entre 10° y 40°C para obtener siempre la completa fusión del material de aporte. Se recomienda la temperatura de fusión en 830°C, cuando el liquidus del material de aporte es aproximadamente de 800°C.

En la selección del material de aporte se considerará:

- Los materiales base
Donde se contempla, sus temperaturas de fusión, el correcto mojado de los mismos y la posibilidad de que se produzca corrosión o compuestos intermetálicos que reduzcan las propiedades mecánicas de la unión.
- Tipo de soldadura
Que afectará principalmente a la forma del material de aporte, lamina, pasta etc.
- La composición, propiedades del material de aporte y su comportamiento durante la fusión

Los materiales más sencillos de usar, son aquellos con un alto contenido en plata, y de fácil fluidez, debido a que combinan una baja temperatura de soldeo junto con un estrecho rango de temperaturas de fusión. Si la aleación tiene un rango más amplio, del orden de 65°, fluyen con más dificultad pero permite rellenar holguras más

amplias y son buenos formadores de filetes. Los siguientes materiales de aporte son utilizados en la soldadura fuerte de aceros inoxidables austeníticos estabilizados:

	Rango de fusión	Ag	Cu	Zn	Sn
755	630-660°C	55	21	22	2
473	680-800°C	24	43	33	

La soldadura con la aleación 755 es más sencilla que con la 473 ya que fluiría más fácilmente, sin embargo el segundo permite holguras mayores y su coste será inferior al tener menor contenido en plata. La relación actual es de:

Coste de la aleación 755 = 1.5 veces Coste de la 473

La 755 pertenece al grupo de aleaciones con temperaturas de *brazing* más bajas y rangos de fusión más estrechos, produce filetes limpios y pequeños. Posee buenas propiedades mecánicas y se puede utilizar en aplicaciones marinas siendo resistente a la descincificación.

Su contenido en estaño le hace ser susceptible a agrietarse si se enfría bruscamente desde altas temperaturas (por encima de los 300°C) y este efecto se hace aún mayor si los componentes a soldar tiene diferentes coeficientes de expansión.

Se presenta en todas las formas, varilla, hilo, pasta, varilla recubierta con fundente, laminas, tiras, anillos y arandelas.

La 473 es ampliamente usada en el mundo aerospacial, se presenta en varilla, hilo, pasta y en forma de lámina, con un espesor de 0.127 mm. Tiene propiedades mecánicas mayores, (resistencia al cizallamiento y la rotura) algo mayores que la 755, pero menor resistencia a la corrosión.

Temperatura de trabajo. Los dos materiales de aporte citados no están recomendados cuando la unión va a trabajar por encima de los 250°C, debido a que por encima de esas temperaturas, sus propiedades mecánicas van deteriorándose.

5.3 Limpieza previa de los materiales base.

La acción capilar acontece exclusivamente cuando las superficies de los metales están limpias de contaminantes tales como, grasa, óxidos o cualquier tipo de suciedad.

Si estos permanecen formarán una barrera entre las superficies de los metales base y la aleación fundida, sin que pueda esta última mojar al material base.

Una mancha de grasa o aceite repelerá el fundente dejando zonas desprotegidas que se oxidarán bajo el calor y darán lugar a poros.

La delgada capa de óxido de cromo, da a los aceros inoxidable su buena resistencia a la corrosión, sin embargo perjudica al proceso de soldadura.

La capa de óxido se adhiere fuertemente y evita parcialmente el mojado del metal base y por tanto restringe la fluidez del material de aporte fundido. Por tanto el proceso es más eficaz cuando esta capa es eliminada.

La eliminación de la capa de óxido se puede realizar mediante procesos químicos o mecánicos.

Los mecánicos como el chorreado, son preferibles debidos a que la superficie quedará rugosa obteniéndose una excelente unión. No se debe utilizar el lijado ya que podrían permanecer pequeñas partículas de arena que evitarían de nuevo la fluidez del material de aporte.

El aceite y la grasa se eliminan con disolvente o con un agente desengrasante.

En la mayoría de los casos es suficiente con una limpieza con acetona de las superficies a soldar.



Siempre es mejor utilizar agua caliente con jabón que nada.

Una vez que las piezas han sido limpiadas adecuadamente, es buena práctica aplicar el fundente y soldarlas lo antes posible para reducir las posibilidades de recontaminación de las superficies provenientes del polvo de la factoría y de la grasa depositada por el manejo de los componentes.

5.4 Selección y aplicación del fundente.

La elección del fundente es tan importante como la elección del material de aporte. Utilizar un fundente incorrecto o una técnica de aplicación pobre, puede tener un dramático efecto en la calidad de la unión.

¿Por qué es necesario el fundente?

El calentamiento de la superficie de un metal acelera la formación de óxidos, que son el resultado de una reacción química entre el metal caliente y el oxígeno del aire. Esos óxidos han de eliminarse o evitarán el mojado y la unión de las superficies.

Cuando el material de aporte funde, desplaza al fundente ya que la atracción entre el metal base y el de aportación es mayor que entre el fundente y el metal base. Si las superficies que están siendo soldadas se oxidan debido a la falta de fundente o a un fundente inadecuado, el fundente saturado de óxidos aumenta su viscosidad y no puede ser completamente desplazado por el material de aporte. Este es un nuevo caso de discontinuidad en la unión, y se conoce con el nombre de *flux* atrapado.

El fundente básicamente, proporciona un escudo que evita la formación de óxidos, absorbiéndolos durante el calentamiento. Por tanto, deberá cumplir las siguientes funciones:

1. Fundir y llegar a estar activo por debajo del punto de fusión del material de aporte. Los fundentes basados en el boro no funden a bajas temperaturas con materiales de aporte base plata por lo que deben ser utilizados fundentes basados en fluoruro.
2. Debe ser capaz de disolver y eliminar los óxidos de la superficie del metal, además de proteger las superficies de los metales base de nuevas oxidaciones. Al suprimirse los productos de oxidación permite que el material de aporte moje con mayor eficacia el material base.
3. El fundente debe permanecer activo a la temperatura de soldeo y durante el tiempo suficiente como para permitir que la operación de soldadura pueda ser llevada a cabo adecuadamente, favoreciendo además el mojado del metal base por parte de la aleación.



El material base va a determinar la selección del fundente más que cualquier otro factor involucrado en el proceso. El material de aporte, el coste y las condiciones de brazing influirán en menor medida.

Los fundentes como ya se ha citado, son compuestos químicos que disuelven los óxidos formados durante el calentamiento. Cuando estos compuestos químicos alcanzan un punto donde se saturan, son incapaces de disolver más óxidos, sus residuos toman una apariencia ennegrecida y acristalada, quedando el fundente exhausto. Las superficies de trabajo quedaran oxidadas y la limpieza posterior de la zona será mucho más difícil. En los casos que se den estas situaciones es necesario utilizar un fundente con mayor rango de trabajo y estabilidad o aplicar mayor cantidad de *flux*. También se puede mejorar utilizando un período razonablemente corto de calentamiento.

Los fundentes se diseñan solamente para eliminar las películas de óxidos producidas durante la soldadura, cualquier otro contaminante como grasa, polvo, debe ser eliminado con anterioridad.

5.4.1 Factores que afectan al funcionamiento del fundente

La habilidad del fundente para realizar satisfactoriamente la operación de *brazing*, dependerá del material base, temperatura, tiempo del proceso y volumen del fundente aplicado.

Material base - Temperatura

Para que el fundente sea efectivo, ya se comentó, que debía de fundirse y estar activo antes de que el material de aporte funda, y debe permanecer activo mientras que el material de aporte fluye a través de la unión y solidifica. Por tanto el solidus del metal de aporte determina la mínima temperatura de trabajo del fundente y el liquidus dictamina la máxima temperatura que debe soportar. Generalmente se selecciona el fundente para que esté activo al menos 50°C por debajo del solidus del material de aporte y que permanezca activo 50°C por encima del liquidus del material de aporte. Esto asegurará que el fundente sea efectivo durante la operación de soldadura. En el caso de que pueda darse sobrecalentamiento, como sucede con el soplete, este valor

se debería incrementar idealmente hasta los 100°C, lo que daría al fundente la suficiente capacidad para eliminar los óxidos a mayores temperaturas de las esperadas.

Tiempo

El tiempo de *brazing* afecta a las actuaciones del fundente. Este tiene que eliminar los óxidos del componente durante todo el ciclo de soldadura. El fundente disuelve los óxidos y evita la oxidación solamente durante un período limitado. Cuanto más largo sea el ciclo de trabajo más posibilidades de que el fundente se sature finalizando su actividad, exhibiendo los residuos el color negro habitual. No hay un tiempo fijo por el cual el fundente deja de ser efectivo, dependerá de la temperatura de operación y del tipo de metal base. Si el tiempo es suficientemente largo puede saturarse por debajo de su temperatura de trabajo. Para ciclos de larga duración se recomienda fundentes con amplios rangos de trabajo. Para ciclos cortos de calentamiento rápido, tipo inducción, se puede utilizar fundentes de baja temperatura que trabajen incluso por encima de su rango de temperatura recomendada. De tal forma que los utilizados serán solubles en agua y por tanto más fáciles de eliminar.

Volumen de flujo

El volumen de flujo requerido varía dependiendo de la naturaleza de la aplicación. Normalmente es suficiente cubrir las caras de unión y los alrededores de las superficies de los componentes con una capa de pasta.

5.4.2 Aplicación del fundente

El fundente suele presentarse en polvo, se mezcla con agua y unas gotas de detergente, para mejorar el mojado sobre el metal base, hasta formar una pasta relativamente consistente. También se presenta en forma de pasta lo que reduce los tiempos de preparación.

El mejor modo de aplicar el fundente, es cubriendo con una pasta las piezas individuales antes de ser unidas. La aplicación en los alrededores de la unión reduce también la oxidación de esas áreas.

Es importante aplicarlo después de su preparación ya que se deteriora rápidamente, así como mantener cerrada la tapa del contenedor cuando no se utilice.

Es muy corriente ver a los operarios calentando el final de la varilla y/o sumergirla dentro del fundente y luego aplicar ambos a la unión. Esta técnica por si sola, tiene la desventaja de que el fundente no protege la unión durante el ciclo de calentamiento y además la cantidad limitada de fundente aplicada, no evita la oxidación de los metales bases en las proximidades de la unión. A su vez se restringe la penetración capilar del material de aporte fundido.

El uso de demasiado fundente rara vez resulta en una mala unión, sin embargo poco fundente genera uniones de baja calidad ya que este queda exhausto rápidamente.



¡Siempre se puede usar muy poco fundente pero nunca puede usarse demasiado!

5.5 Adecuado utillaje de sujeción.

El modo más sencillo de mantener dos piezas unidas siempre que el peso y la forma lo permita es la gravedad. Si la configuración es demasiado compleja para la auto-sujección o el *crimpado*, el utillaje será diseñado para tener la mínima masa, y el área de contacto con el conjunto. De tal manera, que si el utillaje tiene gran área de contacto con las piezas a soldar, conducirá hacia el exterior una cantidad de calor importante de la unión, alargando el proceso de soldadura.

En el soldeo por antorcha habrá que facilitar el espacio suficiente para que la llama alcance sin restricción la unión.

Los materiales utilizados para la fabricación del utillaje tendrán que soportar altas temperaturas y ciclos térmicos.

Se recomiendan las aleaciones base níquel, aceros inoxidable, y compuestos cerámicos.

Cuando exista riesgo de que el útil pueda soldarse al conjunto, el material utilizado

en su fabricación deberá ser resistente al mojado. Para los materiales de aporte base plata el titanio es el elemento recomendado, aunque este tiene una gran avidez por los gases circundantes por encima de los 600°C, oxidándose fácilmente.

5.6 Calentamiento de la unión y aplicación de la aleación.

Se van a considerar a continuación dos procesos: la soldadura fuerte con soplete y la soldadura fuerte por inducción.

5.6.1 Soldeo fuerte con soplete

Las piezas se deben calentar con una llama ligeramente reductora o neutra para llevar toda la unión uniformemente a la temperatura de *brazing*, pero no más alta de la necesaria para suministrar una soldadura satisfactoria.

El soplete deberá estar en continuo movimiento durante todo el ciclo de soldadura con el fin de evitar la formación de puntos calientes aislados.

Los gases combustibles utilizados en esta técnica pueden ser acetileno, propano y gas natural, los comburentes oxígeno y aire. La mezcla más energética es la formada por acetileno y oxígeno.

5.6.1.1 Equipo de soldeo oxiacetilénico

La principal función de estos equipos es la de suministrar la mezcla de gases a una velocidad, presión y proporción adecuadas. El equipo necesario para la soldadura se compone de:

- Botellas de acetileno y oxígeno, manorreductores, mangueras, válvulas de seguridad o antirretroceso, soplete y accesorios (encendedores, escariadores).
- Acetileno: Explota si se comprime solo, por lo que para almacenarlo se disuelve en acetona guardándose en botellas rellenas de una sustancia esponjosa.
- La presión de los cilindros es de 15 Kg/cm² y la presión de servicio no deberá superar 1 bar. La velocidad de salida no deberá

ser mayor de 7 m/s.

- El acetileno es explosivo en contacto con plata, mercurio o aleaciones con mas de un 70 % de cobre, por lo que las tuberías no deberían ser de ninguno de estos materiales. El cuerpo de la botella es rojo y la ojiva marrón.
- Oxígeno: No es un gas inflamable pero inicia y mantiene la combustión de materiales combustibles. No se deberá almacenar cerca de los gases combustibles.
- Las materias grasas en contacto con oxígeno arden espontáneamente, por lo que esta prohibido lubricar sus conexiones. El cuerpo de la botella es negro y la ojiva blanca.
- Manorreductores: Son válvulas reductoras de presión encargadas de suministrar el gas comprimido de los cilindros a la presión y velocidad de trabajo. Estos dispositivos permiten que la presión permanezca invariable a pesar de la disminución del gas en la botella. Disponen de dos manómetros, uno de alta y otro el de trabajo. Cada manorreductor debe ser destinado para el gas especificado.
- Mangueras: Son tubos flexibles generalmente de caucho de buena calidad y con gran resistencia al corte y la abrasión. Las mangueras de oxígeno son de color azul o verde y rosca a derechas al soplete, mientras que las de gas combustible son rojas y rosca a izquierdas al soplete. *Nunca deben intercambiarse las mangueras de diferentes gases*
- Soplete: Sumisiones asegurar la correcta mezcla de los gases de forma que exista equilibrio entre la velocidad de inflamación y la de salida. El soplete controla las características de la llama y su manejo durante la operación de soldeo. Su potencia se mide en litros/hora de consumo de gas combustible. Esta compuesto de:
 - Válvulas de entradas de gas que regulan la presión, velocidad, caudal y proporción de gases.

- Cámara de mezcla donde se realiza la mezcla íntima de los gases. Hay de dos tipos:
 - a) De sobrepresión en la que el oxígeno y el acetileno están a la misma presión y velocidad, mezclándose a medida que circulan por la cámara.
 - b) De aspiración en la que el oxígeno aspira el acetileno a menor presión, a través de una tobera practicada en la cámara.
 - Boquillas o toberas intercambiables que se ajustan en la parte final, controlando el flujo de gas por medio del orificio de salida. Pequeños diámetros producen llamas pequeñas para pequeñas secciones. La llama debe ser siempre uniforme.

Es esencial seleccionar el caudal adecuado para cada tipo de boquilla, ya que si es escaso se tendrá una llama no efectiva y podría producirse retroceso de llama, por el contrario un caudal excesivo dificulta el manejo del soplete y el proceso de soldadura.

Se deberán tomar las siguientes precauciones:

- a. Limpiar las boquillas con escariadores adecuados para eliminar la suciedad.
- b. Limpiar las roscas y superficies de cierre para evitar fugas y retroceso de llama. Válvulas antirretroceso de llama: Cuando se produce un retroceso de llama, esta se puede introducir en el soplete, pudiendo llegar a través de las mangueras a los cilindros de gas y provocar su explosión.

Estas válvulas evitan:

- 1) La entrada de oxígeno o de aire en el conducto de suministro de acetileno.
- 2) Un retroceso de llama dentro del soplete, mangueras etc.

- 3) El suministro de gas durante y después del retroceso de llama. El suministro de gas se corta cuando la temperatura ha aumentado entre 90 ó 100°C.

Están formadas por

- a) Válvula antirretroceso que permite el gas en un solo sentido.
- b) Sinterizado microporoso que permita apagar una llama en retroceso.
- c) Válvula de corte térmico que se cierra al detectar un aumento de temperatura. Este dispositivo es prescindible si el suministro de gas se realiza a partir de cilindros.

5.6.1.2 Utilización del equipo de soldeo

- a) Conexión de los elementos del equipo.
 1. Limpiar e inspeccionar cada uno de los componentes, asegurarse que no hay aceite o grasa en las conexiones de oxígeno.
 2. Realizar el purgado de botellas.
 3. Montar el equipo de soldeo con las válvulas cerradas, verificando las conexiones antes de abrir ninguna de ellas.
- b) Apertura del oxígeno y del acetileno. La secuencia de operación se realiza con uno de los gases y luego con el otro pero nunca simultáneamente:
 1. Antes de abrir la válvula comprobar que el tornillo de regulación de manorreductor esta aflojado.
 2. Abrir el grifo de la botella lentamente. En la de oxígeno totalmente y en la de acetileno media vuelta.

3. Abrir la válvula de cierre del manorreductor.
 4. Abrir válvula en el soplete.
 5. Apretar el tornillo de regulación hasta que se obtenga la presión deseada. La presión de acetileno no debe superar 1 Kg/cm².
 6. Dejar salir gas durante 5 segundos por cada 15 m de longitud y cerrar válvula de soplete.
- c) Encendido y apagado del soplete Nunca se debe apagar cerrando primero el oxígeno ya que puede quedarse la llama atrapada dentro del soplete.
1. Verificar el estado del soplete, estanqueidad y limpieza de boquillas.
 2. Verificar conexiones de mangueras.
 3. Comprobar presiones de trabajo.
 4. Abrir válvula de acetileno, encender llama con el mechero y regular la llama con el oxígeno.
 5. Para apagar cerrar primero la válvula de acetileno y luego de la oxígeno.
 6. Manejar el soplete evitando movimientos bruscos.
- d) Cierre de botellas
1. Cerrar válvulas de los cilindros
 2. Aflojar el tornillo de los manorreductores.
 3. Desalojar los gases de las mangueras abriendo las válvulas de los sopletes.

4. Atornillar las válvula de cierre del manómetro.
5. Cerrar las valvulas del soplete.
6. Abrir la válvula de oxígeno del soplete para dejar salir todo el gas.

5.6.1.3 Regulación de la llama oxiacetilénica

La llama se caracteriza por tener dos zonas bien delimitadas, el cono o dardo, de color blanco deslumbrante y es donde se produce la combustión del oxígeno y acetileno y el penacho que es donde se produce la combustión con el oxígeno del aire de los productos no quemados.

La zona de mayor temperatura es aquella que esta inmediatamente delante del dardo y en el soldeo oxiacetilénico es la que se usa ya que es la de mayor temperatura hasta 3200°C, no en el caso del *brazing*.

La llama es fácilmente regulable ya que pueden obtenerse llamas estables con diferentes proporciones de oxígeno y acetileno. En función de la proporción de acetileno y oxígeno se disponen de los siguientes tipos de llama:

Llama de acetileno puro: Se produce cuando se quema este en el aire. Presenta una llama que va del amarillo al rojo naranja en su parte final y que produce partículas de hollín en el aire. No tiene utilidad en soldadura. Llama reductora: Se genera cuando hay un exceso de acetileno. Partiendo de la llama de acetileno puro, al aumentarse el porcentaje de oxígeno se hace visible una zona brillante, dardo, seguido de un penacho acetilénico de color verde pálido, que desaparece al igualarse las proporciones.

Una forma de comparar la proporción de acetileno con respecto al oxígeno, es comparando la longitud del dardo con el penacho acetilénico medido desde la boquilla. Si este es el doble de grande, habrá por tanto el doble de acetileno.

Llama neutra: Misma proporción de acetileno que de oxígeno. No hay penacho acetilénico. Llama oxidante: Hay un exceso de oxígeno que tiende a estrechar la llama a la salida de la boquilla. No debe utilizarse en el soldeo de aceros.

Tanto en este caso como en el anterior el penacho que se forma, produce la combustión del oxígeno con el aire de todos los productos que no se quemaron anteriormente.

5.6.1.4 Técnica operativa

La soldadura fuerte de los aceros inoxidable, requiere de una llama ligeramente reductora o casi neutra con el fin de reducir la oxidación en las superficies de los materiales base durante el calentamiento. Para evitar el sobrecalentamiento o inclusive la fusión del metal base, se utilizará la zona exterior de la llama y no las zonas cercanas al cono interno o dardo, manteniendo el soplete en continuo movimiento para evitar puntos calientes.

Las piezas que forman la unión deben ser calentadas uniformemente para que alcancen la temperatura de soldeo al mismo tiempo, la antorcha debe estar en continuo movimiento para evitar sobrecalentamiento.

Al tratar de soldar dos piezas con diferentes secciones o distintas conductividad, siempre recibirá mayor aporte energético, la de mayor espesor o la de mayor conductividad, simplemente debido a que esta última disipará el calor más rápidamente. En cualquier caso, la mejor manera de comprobar la homogeneidad del calentamiento, radica en observar que los cambios que sufre el fundente se realizan de manera uniforme independientes de las secciones o conductividad de las superficies a soldar.

El fundente también actúa como un indicador de temperatura. Cuando el fundente alcanza la temperatura adecuada para realizar el *brazing*, se muestra claro, transparente y fluye sobre la unión como agua líquida. Es en este momento, cuando se debería aplicar el material de aporte tocando con la varilla en la boca de la unión y continuando con el

suministro de calor de manera indirecta.

En algunas situaciones sucede que el fundente esta líquido pero el material base no esta listo para fundir la aleación, las temperaturas de fundente y material de aporte no están acordes, necesitando el conjunto mayor calor, en estos casos existe riesgo de que el fundente se sature antes y deje de actuar.

Debido a que el material fundido tiende a fluir hacia las zonas más calientes, la superficie exterior estará algo más caliente que la interior, por lo que el material tiene que ser aplicado exactamente en la unión. De lo contrario no fluirá por la unión, tendiendo a formar un recubrimiento en la pieza. Es una buena práctica calentar el lado opuesto del suministro de material de aporte.

Por otro lado, si se trata de conseguir la temperatura de *brazing* fundiendo el metal de aporte directamente bajo la llama, la acción capilar no va a acontecer, en su lugar el material de aporte se acumulará de nuevo en la superficie. El calentamiento continuado en un intento de hacerlo fluir, va originar la alteración de la composición del material de aporte con el riesgo de liberar humos que pueden llegar a ser tóxicos.

Por tanto es importante resaltar:



El calor aplicado en la pieza es el que hará fundir al material de aporte y no el del soplete directamente sobre él.

En función de las características de fluidez del material de aporte, la aplicación puede ser mediante toques en un punto de la unión como en el caso del 755, donde este fluirá fácilmente por la unión o mediante una aplicación más extensa o inclusive alrededor de la unión para la formación de una banda de material de aporte para materiales de fluidez lenta, como es en el caso del 730.

Una vez que la soldadura se ha completado, el calor debe ser retirado para evitar daños metalúrgicos en el material y porosidad en el material de aporte.

5.6.2 Soldadura fuerte por inducción

Es un proceso por el cual las superficies de los componentes que van a ser unidos son selectivamente calentados a la temperatura de soldeo mediante la energía eléctrica suministrada por un equipo de inducción (generador de corriente de alta frecuencia).

5.6.2.1 Principios generales

Cuando una corriente alterna circula a través de una bobina se genera un campo magnético que varía con la intensidad de la corriente y el número de espiras. Si un objeto metálico se sitúa en el campo de acción de la bobina se inducen corrientes eléctricas en él. La resistencia que ofrece el material al paso de la corriente es la que proporciona el calor necesario para la realización de la soldadura. Por tanto el calor va a estar limitado a unas capas delgadas cercanas al inductor. La distribución del calor a otras áreas va a ser por conducción.

La respuesta del campo electromagnético generado, depende de la frecuencia de la corriente alterna, la naturaleza de los materiales, el diseño de la bobina y la distancia entre el inductor y el componente a soldar.

- **Frecuencia:** Las corrientes inducidas son más activas en la superficie del objeto, y van disminuyendo hacia el centro. Esto se debe a que las propias corrientes inducidas generan su propio campo magnético en contraposición con el de la bobina impidiendo que estas últimas penetren al interior. Se conoce como profundidad de penetración la distancia donde la densidad de corriente ha caído al 37 %. Al aumentarse la frecuencia de la corriente alterna disminuye la profundidad de penetración y por tanto la zona calentada en la pieza de trabajo es menor. Los rangos de frecuencia pueden variar entre 60 Hz a 450 KHz. En el caso de la soldadura fuerte de los *lugs* a los tubos, la frecuencia utilizada por el fabricante del equipo era alrededor de

los 20KHz, para espesores de piezas de 1.6mm.

- **Naturaleza de los materiales:** Materiales con mayor resistencia eléctrica como los aceros inoxidables, poseen una mayor profundidad de penetración que los materiales más conductores como el aluminio y el cobre. Por otro lado, la capacidad ferromagnética de los materiales no va a afectar a la profundidad debido a que las temperaturas de soldeo son generalmente superiores a la temperatura de Curie, 771°C donde el material se hace no magnético.
- **Inductor:** El éxito del proceso de inducción depende de manera notable del diseño del inductor, que debe estar en concordancia con las dimensiones y configuración del montaje a realizar para una óptima distribución de calor. Un diseño adecuado minimizará el tiempo de calentamiento que a su vez, reducirá la oxidación y disminuirá los tiempos de producción. Los inductores se obtienen a partir de tubos de cobre, con el fin de aprovechar su elevada conductividad, disponibilidad y bajo costo. Por su sección circular o rectangular, circula agua para la refrigeración del mismo, y disponen de recubrimiento cerámico que evitan la formación de arcos eléctricos cuando entran en contacto con la pieza de trabajo.
- **Distancia entre el inductor y el componente a soldar:** Así como la distribución del calor en la sección depende del contorno del inductor, también está, es función de la proximidad del inductor a la superficie que va a ser calentada. El índice de calor varía inversamente con la distancia entre ambas y esta relación es no lineal, por lo que el calor suministrado cae muy rápidamente cuando la distancia se incrementa hasta que en una cierta separación, el efecto electromagnético cesa.

5.6.2.2 Ventajas del proceso

1. La alta concentración de potencia resulta en un calentamiento

rápido y concentrado que reduce el tiempo de producción, minimiza la oxidación, haciendo más sencillos los procesos de limpieza posteriores, disminuye el área afectada térmicamente y además reduce el riesgo de deformación de las piezas.

2. Al ser el calor dirigido directamente al interior de la pieza, y al tener la máquina un elevado rendimiento se reducen los costes de energía. A su vez, esto genera menor riesgo originando un ambiente de trabajo más agradable que los métodos convencionales.
3. Posibilidad de automatización del proceso de soldadura lo que se traduce en un proceso más fácil de ejecutar y repetitivo.
4. El proceso emplea cantidades predeterminadas de material de aporte, ya sea en forma de lámina, anillos etc, por lo que se evita la posibilidad de utilizar mas aleación que la necesaria.

5.6.2.3 Limitaciones del proceso

1. El tiempo de preparación puede llegar a ser superior en relación con otros procesos. Esto se debe a que el material de aporte tiene que ser presituado en algunas aplicaciones.
2. Coste del equipo e inductores.
3. Dificultad en el calentamiento de piezas complejas ya sea por la forma que tenga el inductor como por la necesidad de holgura para acceder con el inductor

5.7 Limpieza posterior al soldeo

La limpieza posterior al *brazing* se hace principalmente para eliminar los residuos del fundente. Dicha operación es esencial por una única razón. Los residuos del fundente son corrosivos y si no se eliminan pueden atacar al material base o al material de aporte y debilitar la unión. El método de eliminación de residuos depende del tipo de fundente utilizado.

6 Seguridad e higiene

Tanto los materiales de aporte como los fundentes contienen elementos que sobrecalentados producen humos que pueden ser perjudiciales para la salud. Por tanto el *brazing* debe ser:

1. Llevado a cabo en áreas bien ventiladas y evitando la inhalación de humos.
2. Las instalaciones extractoras son recomendadas cuando se utilizan cadmio.
3. Los fundentes pueden originar irritaciones moderadas en la piel y cualquier contacto prolongado debe ser evitado.



Con una práctica correcta de la soldadura fuerte y una adecuada ventilación el riesgo para la salud es mínimo

7 Conclusiones

El proceso de soldadura fuerte es un medio efectivo de crear uniones resistentes, dúctiles, conductoras tanto térmicas como eléctricamente, además de ofrecer gran resistencia a las fugas siempre y cuando se conozcan y se aplique adecuadamente los fundamentos del proceso.

Los expertos de soldadura fuerte consideran que para las aleaciones de base plata de baja temperatura, si no se alcanza un 70 % de recubrimiento en la unión, la técnica necesitaría ser mejorada, por otro lado no debería esperarse tener más de un 85 % de solidez en la junta.

Algunas compañías que utilizan este procedimiento son más generosas y permiten tener hasta un 60 % de material de aporte en la unión para que se considere aceptable

Calle Martí 110-112, bajos • 08024 Barcelona • Spain • 34 (93) 2132573 • fax: 34 (93) 2190863 • mail@sisa-brazing.com • www.sisa-brazing.com

