

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**ESTADO DEL ARTE DE LOS PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE
SOLDADURA POR DIFUSIÓN Y BRAZING APLICADOS EN LA UNIÓN DE
COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO.**

POR

MARISOL RODRÍGUEZ TINOCO

MONOGRAFÍA

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

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2013

CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**ESTADO DEL ARTE DE LOS PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE
SOLDADURA POR DIFUSIÓN Y BRAZING APLICADOS EN LA UNIÓN DE
COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO.**

POR

MARISOL RODRÍGUEZ TINOCO

MONOGRAFÍA

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

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2013

Corporación Mexicana De Investigación En Materiales
Gerencia De Desarrollo Humano
División De Estudios De Posgrado

Los miembros del Comité Tutorial recomendamos que la Monografía **“ESTADO DEL ARTE DE LOS PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR DIFUSIÓN Y BRAZING APLICADOS EN LA UNIÓN DE COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO”**, realizada por el alumno **MARISOL RODRÍGUEZ TINOCO**, con número de matrícula **12ES-143** sea aceptada para su defensa como Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

Dr. Felipe de Jesús García Vázquez
Tutor Académico

M.C. Cornelio Quirino Rodríguez
Tutor en Planta

Dr. Héctor Manuel Hernández García
Asesor

Vo.Bo.
Dr. Felipe Arturo Reyes Valdés
Coordinador de Posgrado

Corporación Mexicana de Investigación en Materiales
Gerencia de Desarrollo Humano
División de Estudios de Posgrado

Los abajo firmantes, miembros del Jurado del Examen de especialización del alumno **MARISOL RODRIGUEZ TINOCO**, una vez leída y revisada la Monografía titulada “**ESTADO DEL ARTE DE LOS PARÁMETROS DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA POR DIFUSIÓN Y BRAZING APLICADOS EN LA UNIÓN DE COMPUESTOS DE MATRIZ DE ALUMINIO**”, aceptamos que la referida monografía revisada y corregida, sea presentada por el alumno para aspirar al grado de Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial durante la defensa de la monografía correspondiente.

Y para que así conste firmamos la presente a los 27 días del mes de septiembre de 2013

Dr. Luciano Eliezer Ramírez
Vidaurre
Presidente

Dra. Gladys Yerania Pérez
Medina
Secretario

Dr. Felipe de Jesús García Vázquez
Vocal

ÍNDICE

SÍNTESIS	8
CAPÍTULO 1	10
INTRODUCCIÓN	10
1.1 Antecedentes	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo general	11
1.2.2 Objetivos específicos	11
1.3 Justificación	12
1.4 Planteamiento del problema	12
1.5 Aportación Tecnológica	13
1.6 Alcance	13
CAPÍTULO 2	14
ESTADO DEL ARTE	14
2.1 Fundamentos del proceso Brazing	14
2.1.2 Principios físicos del Brazing	15
2.1.3 Formación de una fase líquida transitoria	15
2.1.4 Tipos de proceso Brazing	17
2.1.5 Metales de aporte	21
2.2 Fundamentos de la soldadura por difusión	22
2.2.1 Descripción general y aplicación de la soldadura por difusión	22
2.2.2 Etapas de la soldadura por difusión	23
2.3 Compuestos de matriz metálica	24
2.3.1 Aplicaciones de los compuestos de matriz metálica	24
2.3.2 Mecanismos de refuerzo en los compuestos de matriz metálica	25
2.4 Unión de compuestos de matriz de aluminio mediante soldadura por difusión	32
2.4.1 Soldadura por difusión de una aleación de aluminio A356 reforzada con SiC utilizando Cu como intercapa	32
2.4.2 Evaluación microestructural en uniones realizadas en una aleación 6061 reforzada con SiC utilizando soldadura por difusión	35
2.4.3 Caracterización microestructural de la unión de una aleación 2024 reforzada con SiC mediante soldadura por difusión	37
2.5 Proceso Brazing	40
2.5.1 Caracterización de uniones de Cu/Al utilizando metal de aporte Zn-Al	40
2.5.2 Microestructura y propiedades de las uniones de Cu/Al soldadas con Zn-Al como metal de aporte	41
2.5.3 Microestructura interfacial y mecanismo de formación de Brazing compuesto Cf/Al con metal de aporte de Al-Si	44

CAPÍTULO 3	47
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	47
3.1 Procesos de soldadura por Difusión y Brazing	47
3.2 Compuestos de matriz metálica de Al y mecanismos de refuerzo.....	47
4. CASO DE ESTUDIO	49
5. CONCLUSIONES GENERALES	56
BIBLIOGRAFÍA.....	57
LISTADO DE TABLAS.....	62
LISTADO DE FIGURAS.....	63
CRONOGRAMA	67

AGRADECIMIENTOS

A CONACYT, por apoyarme mediante la beca otorgada para la realización de la especialidad y durante el desarrollo del documento monográfico.

A la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A de C.V. (COMIMSA), por haberme brindado su apoyo a través de la beca académica la cual me otorgaron.

A la Gerencia de Desarrollo Humano y de Ingeniería en Materiales a las personas que las integran, así también a mi comité tutorial por haberme proporcionado la capacitación, su conocimiento y asesorías, pero sobretodo por la paciencia que me tuvo para llevar a cabo y lograr obtener este trabajo monográfico.

DEDICATORIA

Esta Monografía la dedico a Diosito quién me ha guiado por el buen camino, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la fe ni desfallecer en el intento.

A mis dos ángeles que desde el cielo me cuidan y me llenan de bendiciones Timoteo y Robe (QEPD).

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis papys Hilda y Rubén por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por darme los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanitas Iveth, Sarita, Marifer y a mi sobrinita Gaby. Que desde que llegaron a mi vida solo me han traído amor, han sido una motivación, inspiración y felicidad.

A todos los integrantes de mi familia especialmente a mi mamy Tere, mamy Chench, a mis tíos hermosos y adorados Alonso y Servando, que ha creído en mí y me han brindado su apoyo.

A ti mi gran Cariño que desde el momento en que llegaste a mi vida me hiciste creer y vivir con la idea de entregar y aprender a Amar. Gracias por tu apoyo constante e incondicional has sido mi amigo, mi fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento.

A todos mis profesores mil gracias porque de alguna manera forman parte de lo que ahora soy. Especialmente a los tres que están conmigo en esto: Dr Felipe M.C. Quirino y Dr Héctor.

Son muchas las personas especiales a las que me gustaría agradecer su amistad, animo, apoyo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón, sin importar en donde estén y si alguna vez llegan a leer esto quiero darles las gracias por formar parte de mí.

El éxito consiste en vencer el temor al fracaso.

Charles Augustin Sainte-Beuve

SÍNTESIS

Con el desarrollo de nuevas tecnologías hoy en día, se ha logrado un adelanto en nuevos materiales que permiten a la humanidad tener acceso a sus aplicaciones, como en la industria aeroespacial y automotriz.

Para ello es importante el estudio de los materiales avanzados en este caso los compuestos de matriz metálica (por sus siglas en inglés MMC's), en específico matriz aluminio reforzado con grafito.

En el presente trabajo se estudian en el estado del arte los parámetros de los procesos de soldadura por difusión y Brazing.

La soldadura por difusión se crea mediante la aplicación de presión a una temperatura elevada, cuando ocurre la unión de metal con metal, los átomos quedan dentro de las áreas de fuerza de atracción de ambas partes y producen una junta de alta resistencia.

Mientras que el proceso Brazing implica una variable de unión de metales y no metales. La unión por Brazing se puede realizar a temperaturas limitadamente bajas, lo cual reduce las posibilidades de deformación, recalentamiento o fusión del material base.

Para los materiales MMC's (Al reforzado con grafito), se utilizan refuerzos como partículas, fibras continuas o discontinuas y fibras cortas, las cuales confieren mejores propiedades mecánicas.

Como se describió en el estado del arte y de acuerdo a la bibliografía. Se resume que las uniones de compuestos de matriz de Al, mediante soldadura por difusión en la actualidad tienen mejor comportamiento que las de Brazing.

Esto debido a la aplicación de una capa intermedia de Cu, que actúa como capa primaria para la cohesión de la unión.

Los resultados obtenidos en el caso de estudio, arrojaron que a temperaturas mayores de 400°C se incrementan las presiones de vapor del Zn y Cs, esto genera pérdida de estos elementos reduciendo soldabilidad de los compósitos.

Así mismo se aprecia que conforme aumenta la temperatura el contenido del Zn en estado gaseoso se incrementa. Esto generaría dos problemas técnicos: 1) pérdidas de Zn y 2) incremento de la reactividad del Zn con otras especies químicas no compatibles con la soldadura que terminan en depósitos en las zonas de unión.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Actualmente los materiales para la fabricación de aviones, vehículos y estructuras requieren la combinación de diferentes propiedades como resistencia, ligereza y alta conductividad eléctrica y térmica, son características del aluminio y sus aleaciones. El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la naturaleza sin embargo su aplicación industrial es reducida, utilizado sobre todo por su resistencia a la corrosión en diferentes ambientes.

Al soldar estos materiales por procesos de fusión es complicado obtener una buena calidad de soldadura en la unión debido a que la reacción de interfase entre el refuerzo y la matriz.

Estos problemas se minimizan al emplear los procesos de soldadura fuerte (Brazing), y soldadura por difusión ya que las temperaturas que alcanzan estos procesos son inferiores a las utilizadas en los procesos de fusión evitando la formación de intermetálicos los cuales perjudican las propiedades mecánicas de la unión.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Analizar en el estado del arte la influencia de los parámetros del proceso de soldadura por difusión y Brazing aplicados en la unión de compuestos de matriz metálica de aluminio.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Revisar y analizar continuamente el estado del arte.
- b) Determinar las características químicas del metal base y aporte empleado en el presente estudio.
- c) Determinar las temperaturas que afectan las microestructuras de los compuestos de matriz metálica.
- d) Analizar el efecto del tiempo de permanencia de unión por Brazing y soldadura por difusión para los compuestos de matriz metálica de Al.
- e) Comparar proceso de Brazing y soldadura por difusión para soldar materiales compuestos de matriz metálica de Al.

1.3 Justificación

Los compuestos de matriz de aluminio poseen buenas propiedades mecánicas estabilidad química y dimensional a elevadas temperaturas de servicio. Este tipo de materiales son utilizados en la industria automotriz, aeronáutica, aeroespacial, militar, electrónica y de equipos deportivos. Se han realizado estudios en cuanto a tecnologías de unión para estos compuestos incluyendo soldadura por fricción-agitación, Brazing y soldadura por difusión. Por lo tanto, debido a la necesidad de generar nuevo conocimiento acerca de la soldabilidad en este tipo de materiales. Se hace evidente recopilar información bibliográfica sobre estudios científicos-tecnológicos en los sistemas de compuestos de matriz metálica de aluminio. Con el fin de proponer la factibilidad de soldar compuestos de matriz de Al usando el proceso Brazing.

1.4 Planteamiento del problema

Recientemente, han estado elaborando compuestos de matriz de aluminio reforzados con partículas cerámicas. Consiguiendo mejorar las propiedades mecánicas y térmicas en comparación con las aleaciones de aluminio sin refuerzo.

Por otra parte, en los procesos de unión de compuestos de matriz metálica existen problemas al aplicar procesos de soldadura. Principalmente, la formación de compuestos químicos que disminuyen las propiedades mecánicas y corrosivas entre la interface de las partículas de refuerzo y la matriz metálica. Por lo tanto, se plantea la revisión exhaustiva de la bibliografía para establecer los parámetros y mecanismos que influyen sobre una mejor soldadura en los MMC's.

1.5 Aportación Tecnológica

Se generará conocimiento tecnológico acerca del estudio de los parámetros adecuados para los procesos de soldadura por difusión y Brazing, mediante el uso de horno al vacío, así como de los metales de aporte utilizados. Este estudio aportará, junto con el estado del arte relacionado, en la caracterización microestructural y en las propiedades mecánicas, unidas mediante estos dos procesos.

1.6 Alcance

El alcance de este proyecto es analizar información científica y tecnológica sobre el estado del arte de los procesos de soldadura por difusión y brazing aplicados como tecnologías de unión de compuestos de matriz de aluminio.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Fundamentos del proceso Brazing

La soldadura fuerte o Brazing por su nombre en inglés, es un proceso variable de unión de metales y no metales. Debido a que tiene la capacidad de unir materiales disimiles. Las uniones por Brazing son fuertes, diseñadas apropiadamente, se obtienen cohesiones metálicas iguales o mayores que las del metal base. Además, presentan ductilidad, resistencia al impacto y menor vibración operacional. Este tipo de unión pocas veces requiere de algún tipo de acabado debido a que son limpias. La unión por Brazing se puede realizar a temperaturas limitadamente bajas, lo cual reduce las posibilidades de deformación, recalentamiento o fusión del material base [1].

El componente del proceso Brazing consiste en lo siguiente: se funde el material de aporte, se distribuye entre las superficies estrechas acopladas en la junta. Por consiguiente, mediante atracción capilar fluye para interaccionar químicamente (procesos de atracción atómica y difusiva) [1-2].

Por consecuente para llevar a cabo lo anterior, se requiere que las zonas a unir se limpien para eliminar películas de óxidos. Posteriormente, se cubren con un fundente capaz de diluir los óxidos metálicos e impedir una nueva oxidación [2].

2.1.2 Principios físicos del Brazing.

El flujo capilar es el principio físico absoluto que garantiza una buena unión por Brazing en todos los casos en que el metal de aporte fundido impregna ambas superficies de ensamble. La unión deberá separarse de modo que permita una acción capilar eficiente y por consiguiente coalescencia.

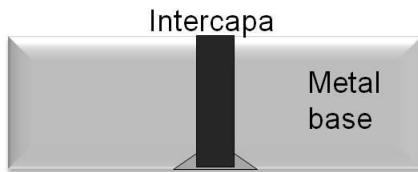
Concretamente la capilaridad está en función de la tensión superficial entre los metales base, el metal de aporte, el fundente y el ángulo de contacto entre el metal base y el metal de aporte.

Es preciso destacar que el fundente no es un medio de limpieza. Las áreas a soldar se liberan de contaminantes y óxidos por la acción del fundente, que se calienta hasta alcanzar su punto de fusión para que el metal de aporte irrumpa su lugar, generándose una acción capilar con el metal base varias veces mayor que la acción de capilaridad entre el fundente y el metal base [3].

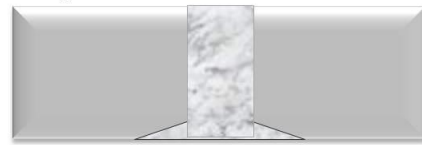
2.1.3 Formación de una fase líquida transitoria.

La fase líquida transitoria (TLP) es un proceso de unión por difusión que ensambla a materiales con una capa intermedia para tener una reacción eutéctica con el metal base. El mecanismo el cual se esquematiza en la figura 2.1, es el siguiente: la capa intermedia se funde y el elemento a intercalar (componente de una capa intermedia de aleación) difunde entre la soldadura y el sustrato, causando la solidificación isotérmica.

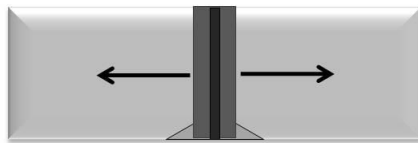
Estado 1: Interdifusión durante el calentamiento



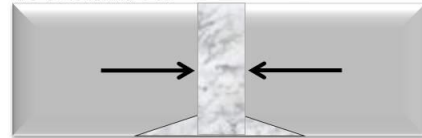
La capa del líquido se ensancha a un máximo valor al final de la Etapa 3



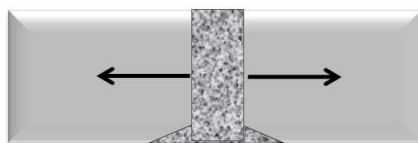
Estado 2: Disolución



Estado 4: Solidificación Isotérmica



Estado 3: Engrosamiento



Estado 5: Homogenización

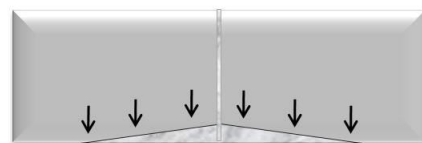


Figura 2.1. Esquema que muestra las etapas de la fase líquida transitoria [9].

De acuerdo con la literatura [4] se considera que la formación de compuestos se basa en cuatro etapas: 1) fusión de la capa intermedia, 2) disolución de metales base (equilibrio de la interface sólido/líquido, 3) solidificación isotérmica y 4) homogeneización del sistema microestructural. Se usan, metales de aporte que contienen silicio y boro, los cuales disminuyen el punto de fusión y reducen las estructuras eutécticas [4-6]. Debido a que son fases extremadamente duras y frágiles. No obstante, estos elementos son empleados como formadores de partículas reforzantes [7]. De esta manera, la alta difusividad del boro en el metal de aporte, el sistema alcanza la línea solidus durante el período de mantenimiento del Brazing y evita la formación de fases eutécticas [8].

2.1.4 Tipos de proceso Brazing.

Brazing con soplete/antorcha

El origen de calor en el Brazing con soplete es oxicomcombustible con llama carburizante (Fig. 2.2). Se hace calentando la unión con el soplete y después colocando la varilla o alambre de soldadura en la unión. La dimensión de la partes está entre los límites de 0.25 a 6 mm. Este proceso puede utilizar más de un soplete.

Aunque se puede automatizar como proceso de producción, es difícil controlar el Brazing con soplete ya que se requiere mano de obra que este capacitada [9].

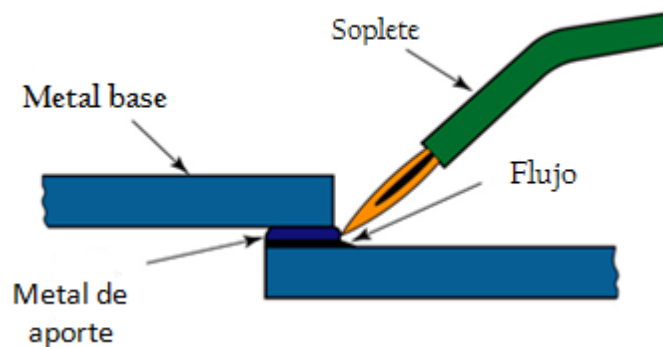


Figura 2.2. Brazing con soplete [9].

Brazing en horno

El proceso de la soldadura Brazing en horno debe cumplir con las siguientes características: 1) piezas de pre-ensamble o con bujes, 2) metal de aporte que este en contacto con la unión, 3) uniones simultáneas y 4) pre-calentamiento de manera uniforme en piezas complejas, a fin de evitar la distorsión dimensional [10].

El tiempo de unión depende del espesor y la masa de la pieza. Así mismo, el tiempo de la soldadura debe ser mínimo 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 [10-11].

Los hornos que se emplean para la unión de componentes por Brazing son: cámaras de resistencias inmersas y tubulares un ejemplo de ello se muestra en la (fig. 2.3). Obviamente, en estos hornos se controlan las atmósferas y, sistemas de vacío en el caso de que se requiera [10]. De lo anterior, se deduce que se usa el horno para proporcionar calor a volúmenes de producción media y alta.

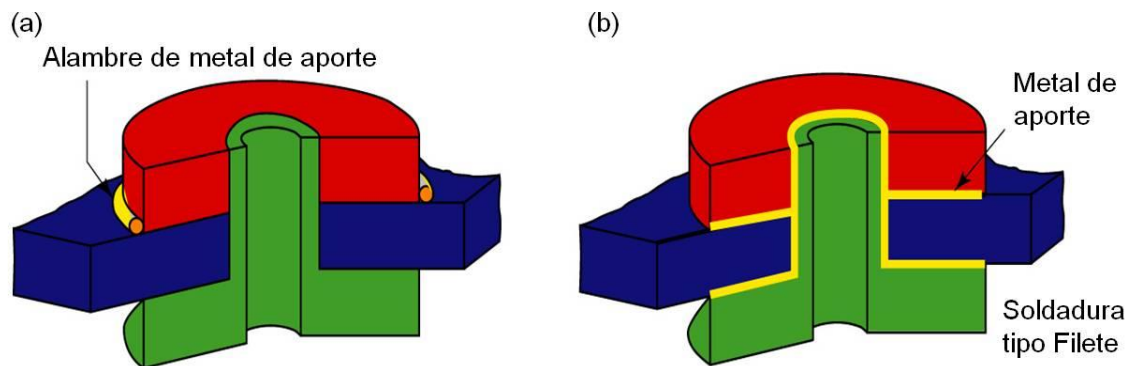


Figura 2.3. Ejemplo de Brazing en horno: (a) Antes, (b) Después. Nótese que el metal de aporte es un alambre conformado [10].

Brazing por inducción

La soldadura por inducción se aplica en juntas de relativamente alta resistencia que resisten el calor, son necesarios entre las partes componentes. La resistencia de la unión depende del diseño, la aleación de soldadura, la fuerza de los componentes que se unen y espacio entre los componentes como lo muestra la fig. 2.4. El espacio recomendable de 0.038 a 0.050 mm. La soldadura por inducción ha sido ampliamente utilizada en la producción de

productos de consumo e industriales, montajes estructurales, productos eléctricos y electrónicos, equipos de minería, máquinas y herramientas manuales, equipo militar y municiones y componentes aeroespaciales.

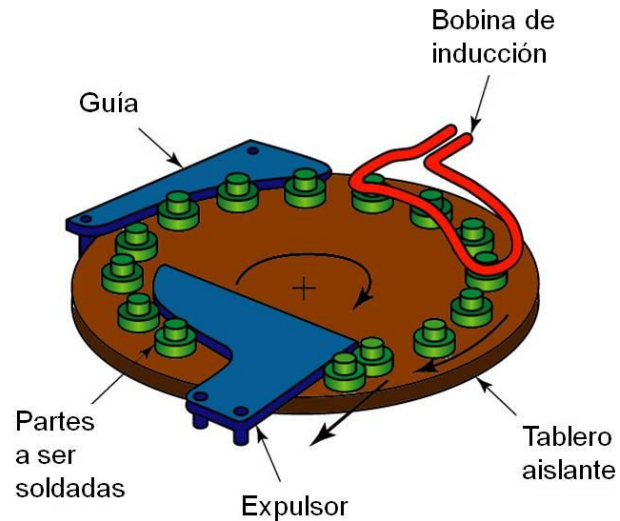


Figura 2.4. Ilustración esquemática de una configuración de Brazing por inducción continua, para una mayor productividad. Fuente: ASM International [10].

Brazing por resistencia

Soldadura fuerte resistencia (RB) proceso de unión de la resistencia. Las piezas de trabajo se calientan, y el metal de relleno que se aplica entre las piezas se funde por el calor generado por la resistencia al flujo de corriente eléctrica a través de los electrodos y el trabajo. En la aplicación usual de RB, la corriente de calentamiento se pasa a través de la propia articulación. La presión de los electrodos es también el medio habitual para proporcionar el ajuste apretado necesario para el comportamiento capilar en la articulación. El calor para la soldadura fuerte por resistencia puede ser generada principalmente en las piezas de trabajo en sí, en los electrodos, o en ambos, dependiendo de la resistividad eléctrica y dimensiones [1].

Brazing por inmersión

En la soldadura Brazing por inmersión, el calentamiento se consigue mediante un baño salino fundido o un baño metálico fundido. En ambas técnicas, las partes ensambladas se sumergen en los baños dentro de un recipiente de calentamiento. La solidificación ocurre cuando las partes se remueven del baño. En el método de baño de sal, la mezcla fundida contiene ingredientes fundentes y el metal de aporte se carga previamente en el ensamble. En el método de baño metálico, el metal de aporte fundido es el medio de calentamiento; se atrae hacia la unión mediante acción capilar durante la inmersión. Se mantiene una cubierta de fundente sobre la superficie del baño metálico fundido. La soldadura Brazing por inmersión obtiene ciclos de calentamiento rápidos y se usa para soldar muchas uniones en una sola parte o sobre partes múltiples al mismo tiempo [10].

Brazing por infrarrojo (cuarzo)

La soldadura Brazing por infrarrojo se puede considerar como transformación de la soldadura Brazing en horno en la que el calor se abastece por radiación invisible de lámparas de cuarzo de alta intensidad aptas para suministrar hasta 5000 watts de energía radiante [11].

Es preciso soldar al vacío o con ayuda de gas inerte, el ensamble y las lámparas se colocan en una campana de cristal que puede retirarse o llenarse con gas inerte. Después de eso se calienta el equipo hasta una temperatura controlada, indicada por termopares. La pieza se lleva a las platinas de enfriamiento una vez soldada [11].

Brazing por fusión

Este proceso difiere de los otros procesos de soldadura Brazing en el tipo de unión a la que se aplica. En este método la soldadura Brazing por fusión se usa para llenar una unión soldada por fusión más convencional, tal como la unión en V. Se coloca una mayor cantidad de metal de aporte que en la soldadura Brazing y no ocurre acción capilar.

En la soldadura Brazing por fusión, la unión reside totalmente en metal de aporte; el metal base no se funde y por tanto no se disuelve dentro de la unión, como en proceso de soldadura por fusión convencional. Este proceso es el trabajo de reparación [10].

2.1.5 Metales de aporte.

La mayoría de los metales de aporte son aleaciones que funden a través de un rango de temperaturas. Excepto, en materiales de aporte con puntos de fusión eutéctica, ya que tienen una temperatura invariante específica [2].

Tabla 2.1. Metales de aporte para unir diversos metales y aleaciones por Brazing [10]

Metal de Aporte	Composición Típica	Temperatura aproximada para Brazing (°C)	Metales Base
Aluminio y Silicio	90 Al, 10 Si	600	Aluminio
Cobre	99.9 Cu	1120	Níquel – Cobre
Cobre y Fósforo	95 Cu, 5 P	850	Cobre
Cobre y Zinc	60 Cu, 40 Zn	926	Aceros, Hierros colados de Níquel
Oro y Cobre	80 Au, 20 Cu	950	Aceros inoxidables, Aleaciones de Níquel
Aleaciones de Níquel	Ni, Cr y Otros	1120	Aceros inoxidables, Aleaciones de Níquel
Aleaciones de Plata	Ag, Cu, Zn y Cd	730	Titano, Monel, Inconel, Acero para herramientas, Níquel

2.2 Fundamentos de la soldadura por difusión.

2.2.1 Descripción general y aplicación de la soldadura por difusión.

La soldadura por difusión, es sólo una de muchas de estado sólido de los procesos de unión en el que la unión se logra sin la necesidad de una interfaz de líquido (Brazing) o la creación de un producto colado a través de la fusión y resolidificación (soldadura).

La soldadura se crea mediante la aplicación de presión a una temperatura elevada, después de que las superficies a unir han sido aisladas apropiadamente. Cuando ocurre la unión de metal con metal, los átomos quedan dentro de las áreas de fuerzas de atracción de ambas partes, y producen una junta de alta resistencia.

El proceso de unión es básicamente la coalescencia de dos superficies sólidas atómicamente limpias. La coalescencia completa se produce a través de una secuencia de tres etapas. Durante la primera etapa, el área de contacto crece a una gran fracción de la zona de unión por deformación localizada de las asperezas de la superficie de contacto. Factores tales como la rugosidad de la superficie, resistencia a la fluencia, endurecimiento del trabajo, la temperatura y la presión son de importancia primaria durante esta etapa de unión. A la finalización de esta etapa, el límite interfaz ya no es una interfase plana, sino que consiste en huecos separados por zonas de contacto íntimo. En estas zonas de contacto, la articulación se vuelve equivalente a un límite de grano entre los granos en cada superficie. La primera etapa es generalmente de corta duración para el caso común de la unión por difusión relativamente alta presión [12].

2.2.2 Etapas de la soldadura por difusión.

La figura 2.5 muestra las etapas del proceso de soldadura por difusión, éstas se describen a continuación:

- Contacto inicial: limitada a pocas asperezas (temperatura ambiente).
- Primera etapa: la deformación de asperezas de la superficie por el flujo plástico y fluencia.
- Segunda etapa: difusión del límite de grano de los átomos a los huecos y la migración del límite de grano.
- Tercera etapa: volumen de difusión de los átomos a los huecos [10].

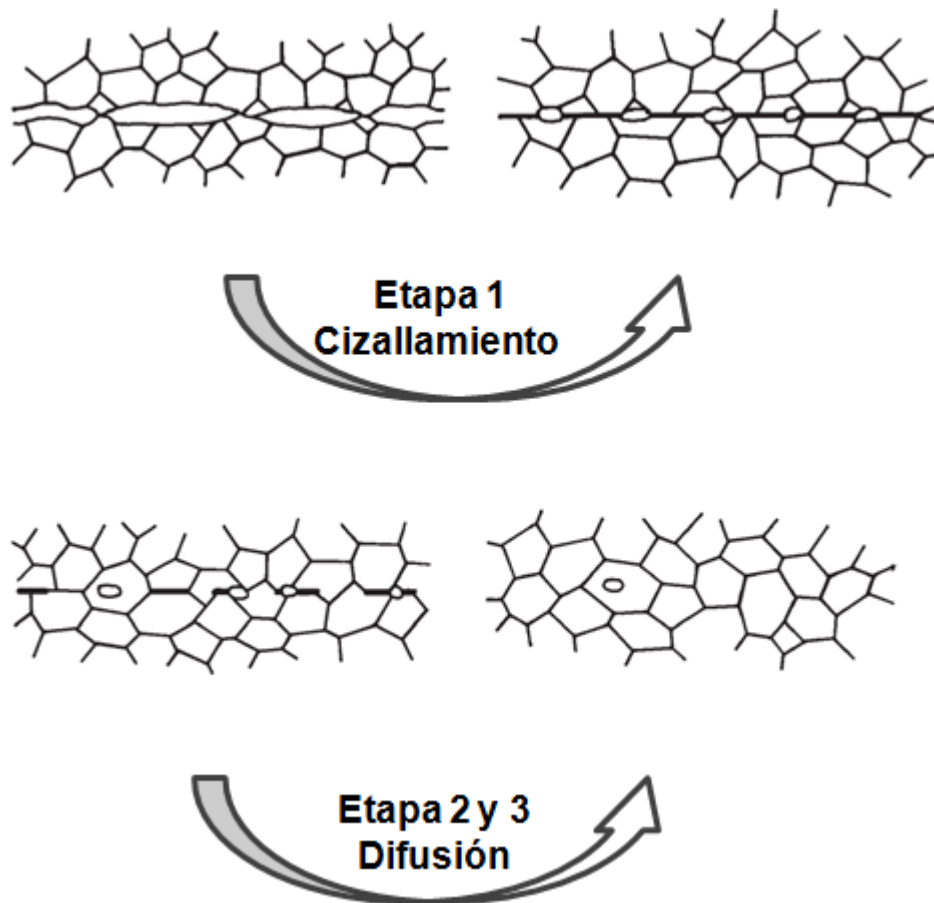


Figura 2.5. Secuencia de etapas metalúrgicas en el proceso de unión por difusión [10].

2.3 Compuestos de matriz metálica.

2.3.1 Aplicaciones de los compuestos de matriz metálica.

Los compuestos de matriz metálica (por sus siglas en inglés MMC's) integran un conjunto de materiales de los más experimentados en las dos últimas décadas. Una de las causas por la que se desarrollaron los materiales compuestos es la obtención de propiedades difíciles de conseguir con un material monolítico. El diseño óptimo de un componente demanda un conjunto de propiedades, como por ejemplo, una alta rigidez o resistencia con mínimo peso o mínimo coste; o bien en el diseño de propiedades termomecánicas una máxima transferencia de calor junto con una mínima distorsión térmica, o todas estas propiedades juntas, ver figura 2.6 [13-14].

Los CMM de matriz metálica reforzados con partículas cerámicas son materiales de gran interés para muchas aplicaciones, tanto por sus elevadas propiedades mecánicas debidas a su relación resistencia-peso, en comparación con las aleaciones no reforzadas, como por su capacidad de mantener su comportamiento en ambientes agresivos o a temperaturas relativamente altas. La combinación de un refuerzo cerámico, capaz de soportar cargas elevadas, con una matriz ligera, proporciona estas propiedades. Otras ventajas de los CMM es que no son flamables, no dejan escapar gases en el vacío, y sufren un mínimo ataque químico por los fluidos orgánicos tales como combustibles y solventes [14].

La mayor parte del trabajo comercial sobre los CMM se ha enfocado en aleaciones de aluminio como la matriz metálica. La combinación de peso ligero, resistencia al medio ambiente y propiedades mecánicas han hecho que las aleaciones de aluminio sean muy populares. Estas propiedades también hacen que el aluminio sea una buena elección para ser utilizado como una matriz metálica; el punto de fusión del aluminio (660°C) es lo suficientemente alto para

satisfacer muchos requisitos de aplicaciones térmicas pero lo suficientemente bajo para proporcionar un procesamiento óptimo de los CMM.

Este grupo tiene aplicaciones en la industria aeroespacial, automotriz, electrónica, militar y deportiva. Los compuestos de matriz metálica incorporan una amplia variedad de combinaciones tanto de refuerzo como de matriz. Podemos citar por ejemplo el magnesio reforzado con grafito que se utiliza en la fabricación de estructuras satelitales, el aluminio reforzado con carburo de silicio para partes de motores de combustión interna y el cobre reforzado con grafito aplicado a contactos eléctricos.



Figura 2.6. Clases de materiales a partir de los cuales se puede fabricar un material compuesto [13].

2.3.2 Mecanismos de refuerzo en los compuestos de matriz metálica.

Los refuerzos utilizados en los CMM pueden ser metálicos o de cerámica. En algunos casos especiales el compuesto puede consistir en una aleación metálica reforzada con una fibra, este caso podría ser comparado con en el caso de las láminas de fibra de vidrio reforzada con epoxi o epoxi reforzada fibra de aramida. Los tipos de refuerzo se pueden clasificar en tres categorías:

fibras continuas o mono filamentos, en algunos casos láminas reforzadas, whiskers (fibras cortas) o fibrillas, y partículas.

Las funciones que tiene un material de refuerzo en MMC's [15-16]

- Resistir las tensiones que se ejercen sobre el compuesto.
- Ampliar las características mecánicas de la matriz, su dureza y resistencia al desgaste (sobre todo en el caso del refuerzo con partículas).
- Amortiguar la falla de las características con el aumento de temperatura.
- Detener la propagación de grietas a través del compuesto y el desarrollo de las fisuras.

Las fases de refuerzo se pueden clasificar en tres categorías; fibras continuas, fibras cortas y partículas ver fig. 2.7 [16-19].

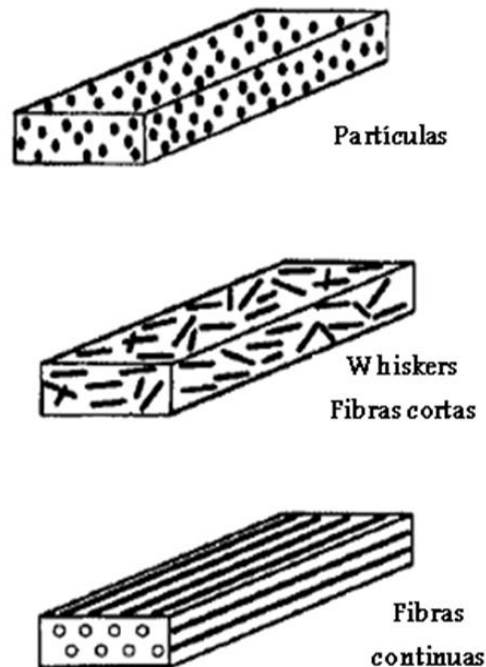


Figura 2.7 De forma esquemática, los tres principales tipos de compuestos de matriz metálica [16].

Fibras continuas

Las fibras metálicas se emplean poco a causa de su permisible ataque químico por parte de la matriz, los cambios estructurales por la elevación de temperatura (recristalización), la posible disolución de la fibra en la matriz y la relativamente fácil oxidación de las fibras de metales refractarios (W, Mo, Nb, etc.). Una de las primeras fibras continuas utilizada como refuerzo fue la BORSIC, que está constituida por fibras de boro formadas sobre wolframio y con un revestimiento de carburo de silicio. Las fibras más empleadas como refuerzo son las de boro, alúmina y carburo de silicio [19,20].

Fibras discontinuas

Las fibras discontinuas utilizadas para la producción de MMC's son mezclas de óxidos, donde se utilizan distintos diámetros. Las fibras discontinuas conducen a propiedades inferiores que las fibras continuas, por lo que su costo se reduce [18,21 y 22].

Fibras cortas

Las Fibras cortas tienen diámetros menores de $1\mu\text{m}$ y pueden tener una longitud de hasta $100\mu\text{m}$, por lo que puede considerarse como refuerzos discontinuos. Las principales fibras cortas disponibles comercialmente son los de SiC y Si_3N_4 . El hecho de que se obtengan en forma monocristalina, además de su pequeño diámetro, conduce a que tengan pocos defectos de fractura interna, y como consecuencia presentan mayores niveles de resistencia que otras fibras discontinuas, propiciándose su mayor uso.

Partículas

El refuerzo de menor costo económico es la partícula, permite obtener una mayor isotropía de propiedades. El control del tamaño y la pureza son los

requisitos para su uso en materiales compuestos. Algunos refuerzos en forma de partículas son la mica, óxidos (como SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , MgO), carburos (como el TiC o el B_4C) y nitruros (Si_3N_4). Los materiales más empleados son el grafito, la alúmina (Al_2O_3) y el carburo de silicio (SiC). En los últimos años, se han empezado a utilizar como partículas de refuerzo intermetálicos, principalmente de los sistemas Ni-Al [18,21] y Fe-Al [23].

Tabla. 2.2. Ejemplos de algunos elementos de reforzamiento utilizados en materiales compuestos de matriz metálica (MMC's) [24].

Tipo	Diámetro (Micras)	Ejemplo
Partículas	1-25	SiC, Al_2O_3 , BN, B_4C , WC
Fibras cortas	1-5	C, SiC, Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2$
Fibras continuas	3-150	SiC, Al_2O_3 , C, B, W, Nb-Ti, Nb_3Sn

La mayoría de MMC's, tanto en investigación como en varias aplicaciones industriales, son base aluminio y sus aleaciones. Esto se debe a que el aluminio es ligero, que es requisito en la mayor parte de las aplicaciones de los MMC's [25 y 26].

Su resistencia, ductilidad y comportamiento frente a la corrosión pueden modificarse para satisfacer las necesidades de diferentes aplicaciones. Entre las aleaciones de aluminio, las aleaciones endurecibles por precipitación (Al-Cu-Mg y Al-Zn-Mg-Cu) son de especial interés [27,28]. La más importante y reciente incorporación a estas aleaciones es la de las aleaciones de Al-Li. El particular efecto del litio es que cuando se alea con aluminio, simultáneamente decrece la densidad y aumenta el módulo de elasticidad de la aleación. Por lo tanto, no sorprende que la industria aeroespacial esté interesada en los compuestos de matriz Al-Li [29 y 30].

Las partículas de carburo de silicio (SiC) son uno de los refuerzos discontinuos más comúnmente utilizados en Al-MMC's a pesar de que la densidad del SiC es ligeramente mayor que la del aluminio. Este alto interés se debe a su bajo precio, al hecho de poseer una buena gama disponible y de proporcionar al compuesto alta resistencia y módulo elástico. La resistencia al desgaste es un factor a considerar [31-33].

Los procesos convencionales en estado líquido, como es el caso de varios métodos de fundición, y los métodos de metalurgia de polvos se utilizan para la obtención de Al-MMC's reforzados con partículas. Nuevos procesos, como las técnicas in situ son potencialmente eficaces y económicos. Un ejemplo de procesado in situ de compuestos es la solidificación unidireccional de aleaciones eutécticas donde un componente es fabricado en forma de fibra o tira dentro del otro.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio utilizadas como matriz metálica en compuestos de matriz metálica (MMC's) [34].

Aleación	Composición	Límite Elástico en 0.2%		Resistencia la tracción		Elongación %	Tenacidad	
		Mpa	Ksi	Mpa	Ksi		Mpa	Ksi
6061	Al-1Mg-0.6Si-0.25Cu-0.19Cr-0.1Ti-0.7Fe	275	39.9	310	45.0	12	27	25
6063	Al-0.7Mg-0.4Si-0.1Cu-0.1Cr-0.1Ti-0.35Fe	215	31.2	240	34.8	12
2014	Al-4.5Cu-0.5Mg-0.26Mn-0.7Fe-0.8Si	410	59.5	480	69.6	13	31	28
2024	Al-4.3Cu-1.5Mg-0.6Mn-0.5Fe-0.5Si	450	65.3	480	69.6	6	26	24
2124	Al-3.9Cu-1.5Mg-0.6Mn-0.3Fe-0.2Si	440	63.8	490	71.1	8	32	29
2618	Al-2.3Cu-1.6Mg-1Ni-1.1Fe-0.15Fe-0.15Si	330	47.9	435	63.1	10
2219	Al-6.3Cu-0.02Mg-0.3Mn-0.3Fe-0.2Si-0.1Zr	315	45.7	475	68.9	10	36	33
7075	Al-5.6Zn-2.5Mg-1.6Cu-0.23Cr-0.2Ti	430	62.4	500	72.5	13	32	29

7050	Al-6Zn-2.3Mg- 2.3Cu-0.11Zr- 0.15Fe-0.12Si	510	74.0	550	79.8	11	33	30
7090^(a)	Al-8Zn-2.5Mg- 0.95Cu-1.45Co- 0.15Fe-0.12Si	580	84.1	620	89.9	9	26	24
7091^(a)	Al-6.5Zn-2.5Mg- 1.45Cu-0.4Co- 0.15Fe-0.12Si	545	79.0	590	85.6	11	46	42
CW67^(a)	Al-9Zn-2.5Mg- 1.5Cu-0.14Zr-0.1Ni	580	84.1	614	89.1	12	43	39

Existen diferentes y variados procesos de producción de los CMM. La selección de la ingeniería de proceso adecuado se determina en base a las características deseadas, cantidad y distribución de los componentes de refuerzo (partículas y fibras), la aleación de la matriz y la aplicación.

Al modificar el método de fabricación, procesamiento y acabado, así como por la forma de los componentes de refuerzo es posible obtener diferentes perfiles característicos, aunque la misma composición y las cantidades de los componentes están involucradas en las características finales del producto. Las técnicas de producción para CMM se clasifican básicamente en cuatro tipos según el estado de la matriz durante el proceso:

- En estado líquido (fundición, infiltración).
- En estado sólido (metalurgia de polvos, sinterización, prensado en caliente).
- En estado semisólido (compocasting).
- En estado gaseoso (deposición de vapor o electrodeposición).

Los procedimientos utilizados para su fabricación determinan en gran medida las características microestructurales y mecánicas del compuesto, por tal motivo el proceso de metalurgia de polvos es la técnica de mayor uso en la actualidad.

La zona de la interfase es una región con una composición química variable, es donde ocurre la unión entre la matriz y el refuerzo, lo que asegura la transferencia uniforme de las cargas aplicadas entre ambos y condiciona las propiedades mecánicas finales de los compuestos.

En comparación con los materiales sin refuerzo, la microestructura y las interfaces de los CMM no pueden considerarse de forma aislada, están mutuamente relacionadas. Las interacciones y las reacciones químicas entre la matriz y el refuerzo modifican las características de los CMM y afectan su adhesión y propiedades mecánicas de forma significativa.

En aplicaciones a alta temperatura, la microestructura de los CMM debe permanecer estable durante largos períodos de servicio. La estabilidad térmica y la fractura están determinados por los cambios en el microestructura y en las interfaces, por ejemplo, procesos reacción y precipitación.

La formación de la interfaz entre la matriz y la fase de refuerzo tiene una influencia significativa en la producción y características de los compuestos de matriz metálica (CMM). La adhesión entre ambas fases es generalmente determinada por la interacción entre ellos. Durante la producción de la fusión de la matriz por ejemplo, por infiltración, la mojabilidad llega a ser significativa.

Existen algunas cualidades necesarias para garantizar una unión interfacial adecuada entre la matriz y el refuerzo: una buena mojabilidad del refuerzo por parte de la matriz metálica, que asegure un contacto inicial para luego, en el mejor de los casos, generar la unión en la interface una estabilidad termodinámica apropiada (ya que al interactuar estos materiales, la excesiva reactividad es uno de los mayores inconvenientes encontrados). La existencia de fuerzas de unión suficientes que garanticen la transmisión de esfuerzos de la matriz al refuerzo y que sean además estables bajo altas temperaturas.

2.4 Unión de compuestos de matriz de aluminio mediante soldadura por difusión.

2.4.1 Soldadura por difusión de una aleación de aluminio A356 reforzada con SiC utilizando Cu como intercapa

Los efectos de los parámetros de soldadura y el espesor de capa intermedia (gap) en las propiedades de la junta soldada se investigaron, y los parámetros de soldadura óptimos fueron posteriormente presentados.

Los resultados corroboraron la consecución de soldadura en materiales compuestos de matriz aluminio SiCp/ A356 empleando el método HTLPDW (por sus siglas en inglés, Half-Transient Liquid Phase Diffusion Welding) con Cu como intercapa [35].

El tener menor tiempo de soldadura fue una característica que tuvo éxito con el método de HTLPDW comparado con la soldadura de difusión de la fase líquida transitoria convencional (TLP).

Más aún, estas uniones presentaron valores de esfuerzo de tensión de casi un 72% del metal base. Evidentemente, significa que la aplicación es adecuada en soldadura por difusión en fase líquida media-transitoria para la soldadura de estructuras de ingeniería compuestas.

La soldadura por difusión en fase líquida de media transitoria (HTLPDW) usando una capa intermedia de Cu podría ser utilizado para unirse a estructuras de ingeniería elaborados a partir de material compuesto de matriz de aluminio SiCp/A356 con éxito. El método de soldadura fue superior a la soldadura convencional de difusión TLP ya que necesita tiempo más corto en la consecución de buena calidad conjunta [35].

2.4.1.1 Efecto de los parámetros en el esfuerzo de tensión de las uniones.

Bajo los parámetros de soldadura los cuales fueron $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 5\text{ MPa}$, $t = 20\text{ min}$, $\delta = 20\text{ }\mu\text{m}$ la fuerza que resulto de la unión soldada fue de $172,8\text{ MPa}$, que es alrededor del 72% de la fuerza de la matriz de aluminio, hasta su valor máximo alcanzable, ver figura 2.8. El valor de dureza medido de las uniones soldadas también fue casi comparable a la del sustrato.

En las figura 2.9 se muestran el efecto del espesor de capa intermedia, como se puede apreciar, existe un aumento en el esfuerzo de tensión llegando a un valor aproximado de 170 MPa , este valor disminuye al sobrepasar un valor de $20\text{ }\mu\text{m}$ de espesor de capa. Este comportamiento se debe en gran medida a la formación de intermetálicos en la zona de unión [35]. En la figura 2.10 se presenta el comportamiento del esfuerzo de tensión en función de la presión, es evidente que el aumento de la presión propicia que los valores de resistencia a la tensión aumenten su valor.

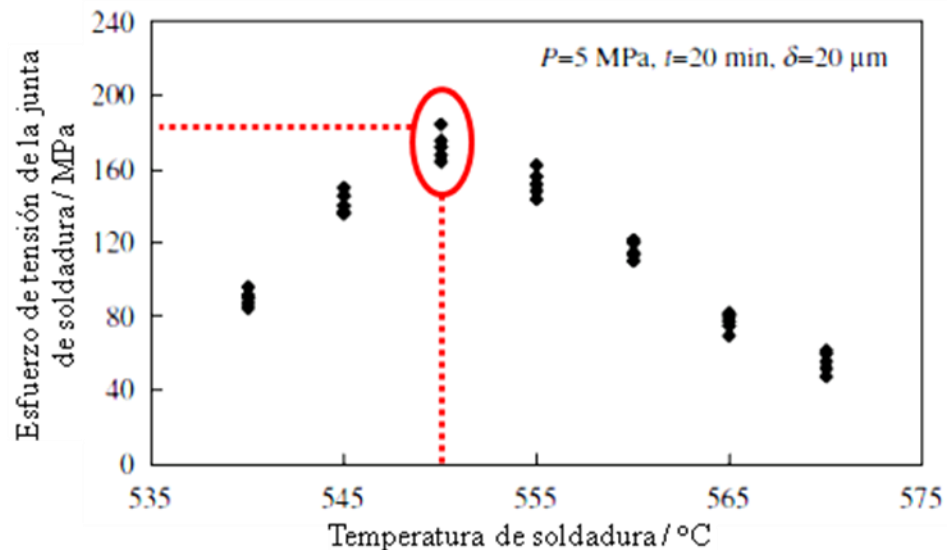


Fig 2.8. Relación entre la resistencia a la tracción y la temperatura de la soldadura [35].

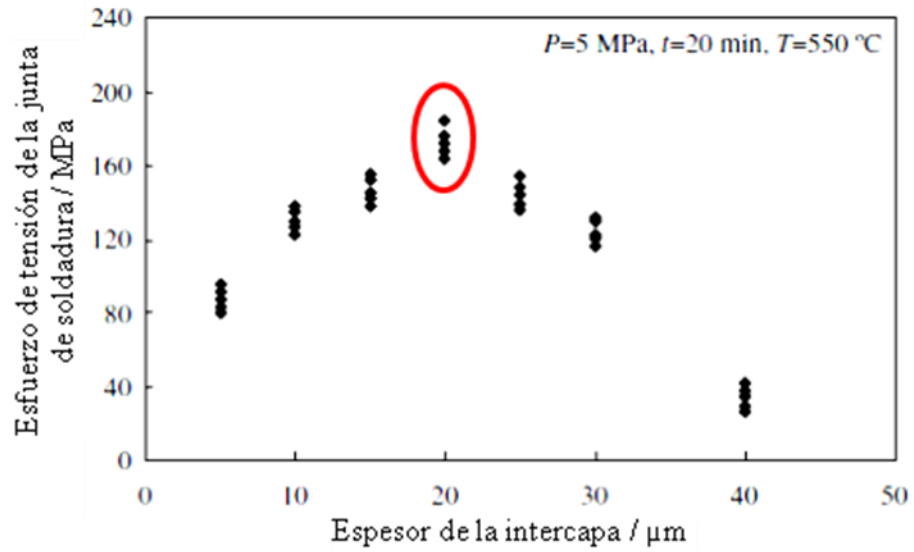


Fig 2.9. Relación entre la resistencia a la tracción de las uniones soldadas y el espesor de la capa intermedia de Cu [35].

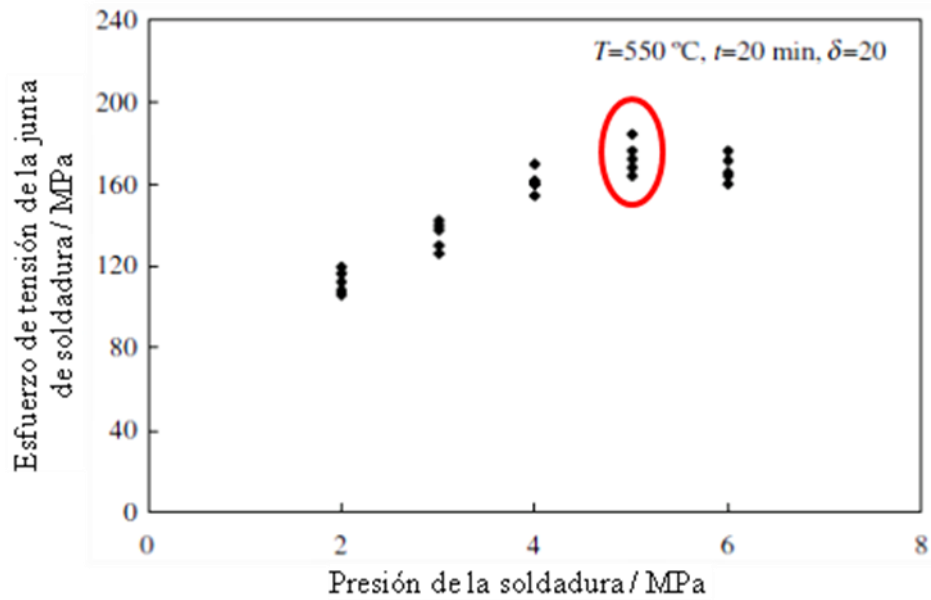


Fig 2.10. Relación entre la resistencia a la tracción y la presión ejercida en las uniones soldadas [35].

2.4.2 Evaluación microestructural en uniones realizadas en una aleación 6061 reforzada con SiC utilizando soldadura por difusión.

El desarrollo microestructural durante la difusión de la fase líquida transitoria (TLPD, por sus siglas en inglés) en el proceso de difusión unión de aluminio extruido a base de metal compuesto de matriz (6061-15 % peso. SiCp) con 50µm de espesor entre capas intermedias de cobre, fue analizado por microscopía óptica, microscopía electrónica de barrido (SEM), junto con dispersiva de rayos X espectroscopia de energía SEM basado (EDS). Los cambios micro estructurales en la región de la articulación se examinaron con una temperatura de unión de 560 ° C con cinco tiempos diferentes (20 min, 1 h, 2 h, 3 h, y 6 h) bajo dos presiones diferentes (0,1 y 0,2 MPa). La cinética del proceso de unión se aceleró significativamente en presencia de refuerzo (SiC). La aceleración se atribuye al aumento de la difusividad del soluto a través de defectos, así como la disminución de tiempo de incubación requerido para la nucleación (partículas de SiC que actúa como agente de nucleación) [36].

2.4.2.1 Etapas del proceso de solidificación isotérmica.

La etapa indica que iniciando antes la solidificación isotérmica, es probable que precipite en la zona isotérmica solidificado durante el enfriamiento desde la temperatura de unión como la solubilidad de Cu en 20 minutos de tiempo de unión y CuAl_2 disminuye en la fase primaria α con disminución de la temperatura después de la curva de solubilización.

Este agregado de líquido residual y las partículas de SiC segregadas pueden ser designadas como zona de Segregación, y la anchura de esta zona de separación puede ser nombrada como anchura de la interface. Esto se muestra esquemáticamente en la figura. 2.11.

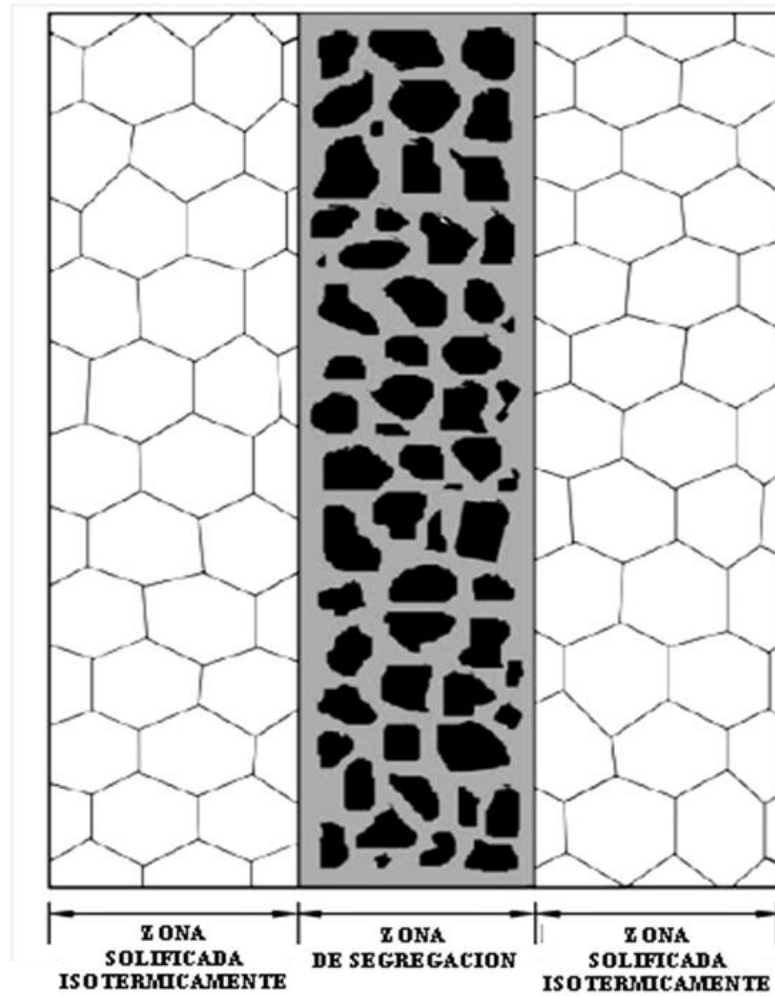


Fig 2.11. Representación esquemática de la región de unión durante la solidificación isotérmica [36].

En segundo lugar, debido a la aplicación de presión alguna parte del líquido fluye hacia fuera de la periferia, la reducción de la cantidad de líquido a ser solidificado isotérmicamente. En tercer lugar, como se discutió anteriormente, algunas partículas de SiC actúan como sitio de nucleación para acentuar proceso de solidificación isotérmica.

2.4.3 Caracterización microestructural de la unión de una aleación 2024 reforzada con SiC mediante soldadura por difusión.

Caracterización microestructural

El pulso de corriente auxiliar de la TLP en la unión por difusión de láminas compuestas de SiCp / 2024Al se llevaron a cabo con éxito, a una temperatura de 580 ° C con Al-Cu-Ti en polvo entre capas. Las uniones no tienen ninguna deformación mayor obvia debido a la unión y a la baja temperatura y baja presión [37].

En las figuras 2.12 y 2.13 se muestra la microestructura y composición química en las diferentes zonas de la unión ligada a 580 ° C durante 45 y 60 min.

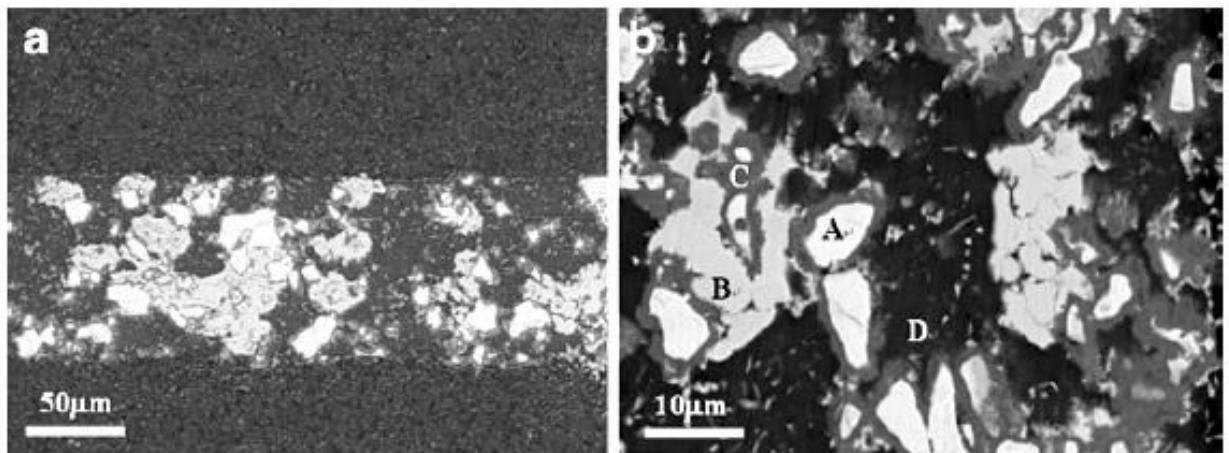


Figura 2.12. Microestructura de la sujeción a la junta la hoja del material compuesto de SiCp/2024 Al utilizando la capa intermedia mixta Al-Cu-Ti de polvo a 580 ° C durante 45 min [37].

- a. Visión de baja magnificación
- b. Visión de alta magnificación

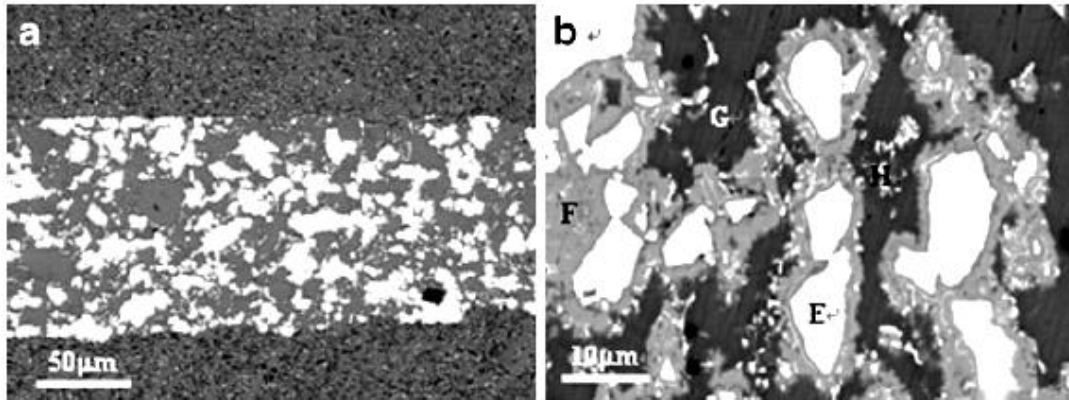


Figura 2.13. Microestructura de la sujeción a la junta la hoja del material compuesto de SiCp/2024 Al utilizando la capa intermedia mixta Al-Cu-Ti de polvo a 580 ° C durante 45 min [37].

- a. Visión de baja magnificación
- b. Visión de alta magnificación

2.4.3.1 Microdureza y esfuerzo de corte en las uniones.

Microdureza y resistencia al corte de las juntas unidas.

La distribución de microdureza a lo largo de la interfaz de las articulaciones a 580 ° C durante 60 min se muestra en la figura 2.14, en esta se puede apreciar que los valores de dureza son altos en la zona central de unión, lo cual corrobora la presencia de fases intermetálicas [37].

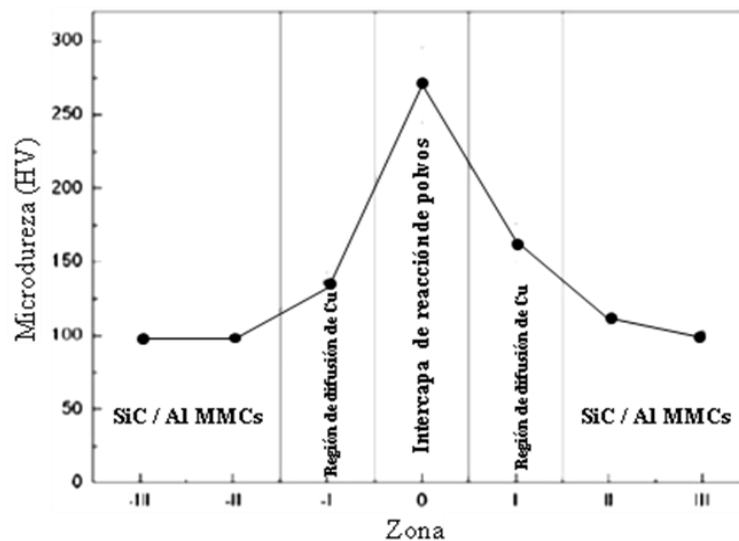


Fig 2.14. Microdureza de junta unida a 580 ° C durante 60 minutos utilizando intercapa mixta Al-Cu-Ti en polvo [37].

El esfuerzo de corte de juntas de materiales compuestos SiCp/2024 Al a 580 °C empleando una capa intermedia mixta de Al-Cu-Ti en polvo como una función de las articulaciones por la capa intermedia de mezclado se muestra en la figura. 2.15.

El esfuerzo de corte de las juntas por la capa intermedia mixta de Al-Cu-Ti en polvo se mejoró con el aumento en el tiempo de unión. Como se muestra en la parte de trazos, la resistencia al corte de juntas tiene un aumento significativo cuando el tiempo de retención aumenta desde 45 hasta 60 min. En la muestra unida a 580 °C durante 60 minutos apareció a una fractura en la zona de efecto de calor de la muestra durante la prueba de resistencia al corte.

Por lo tanto, la resistencia a la cizalladura máxima de la junta excede 154,1 MPa (zona de carga / unión fractura), que es casi 61,4% del material base. La formación in situ de Al_2Cu y $TiAl_3$ en la fase intermetálica mejorando tanto la microdureza y la fuerza de corte de las juntas [37].

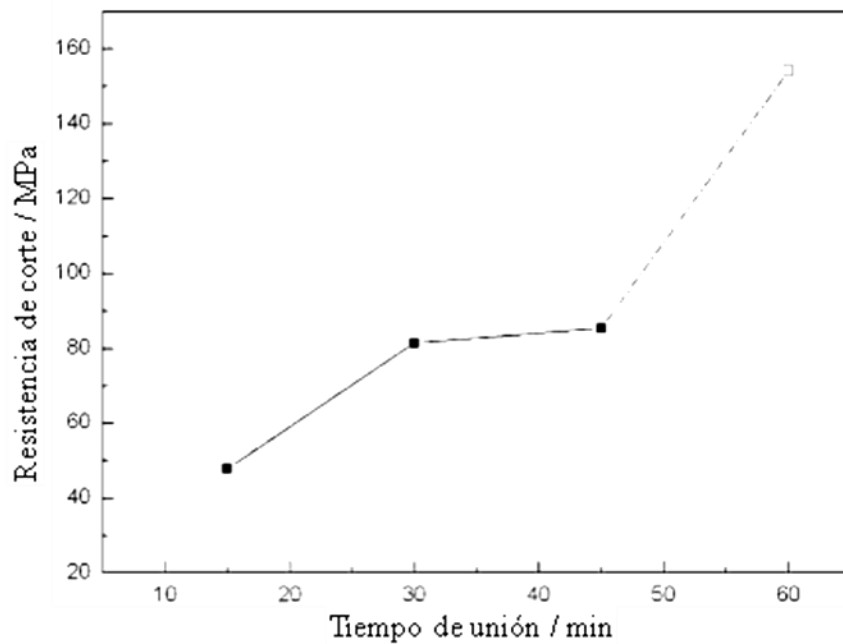


Fig 2.15. La relación entre el tiempo de retención y resistencia al corte de junta unida a 580 °C durante diferentes tiempos con mezcla entre capas de Al-Cu-Ti en polvo [37].

En la figura 2.16 se muestra que en comparación con la unión que usa una mezcla de polvos en la intercapa, la unión sin intercapa es extremadamente baja. Las partículas expuestas de SiC en la interface de la unión del compuesto SiCp/2024Al, que resulta en la existencia de SiCp-SiCp y SiCp-Al, impidieron la unión por difusión. El máximo esfuerzo de corte es la unión que utiliza una intercapa de polvo de Al-Cu-Ti y obviamente excede la unión que utiliza polvos de Al-Cu en su intercapa.

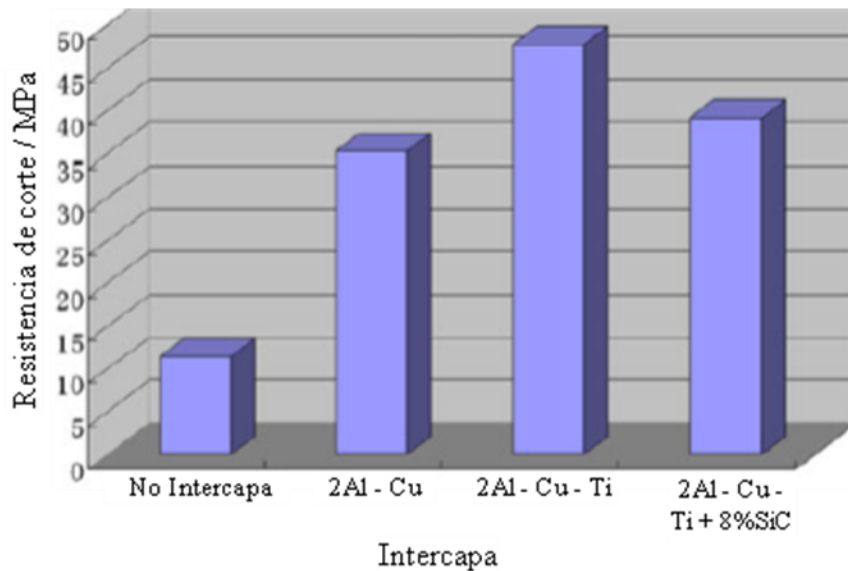


Figura 2.16. Resistencia al corte de la junta de SiCp/2024Al lámina de material compuesto unido a 580 ° C durante 15 min [37].

2.5 Proceso Brazing

2.5.1 Caracterización de uniones de Cu/Al utilizando metal de aporte Zn-Al

Muchas de las aplicaciones emergentes de generación de energía, las industrias de la electrónica química, petroquímica, nuclear, aeroespacial, transporte y requieren la unión de materiales diferentes por diversos métodos de unión [39]. Las uniones de Cu/Al son indispensables en la fabricación de componentes electrónicos y colectores solares debido a sus actuaciones

únicas, tales como una alta conductividad eléctrica, conductividad térmica, resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas.

Investigaciones se han centrado en la producción de un Cu/Al conjunta estable para superar las dificultades en unirse a estos dos metales diferentes.

La tecnología de Brazing ha sido ampliamente utilizada en distintos metales en procesos de unión. Sin embargo, no se considera que el cobre y bronce se pueden soldar directamente a Al. Se intentó unir a Cu con Al utilizando Brazing al vacío con un material de aporte de Al-Si, pero con esta técnica no se han podido producido uniones de Cu/Al con la propiedad deseada [39].

2.5.2 Microestructura y propiedades de las uniones de Cu/Al soldadas con Zn-Al como metal de aporte.

En un estudio realizado con Al puro industrial y Cu [39], las composiciones químicas y las principales propiedades termofísicas de los metales se muestran en las tablas 2.4 y 2.5, respectivamente. Adicionalmente se muestra la composición de los metales de aporte de Zn-Al usados para la prueba de extensibilidad en la tabla 2.6.

Tabla 2.4 Composición química de Al y Cu (fracción de masa, %) [39].

Material	Al	Si	Fe	Mn	Zn	Mg
Al(1060)	Bal.	0.250	0.400	0.050	0.070	0.050
Cu(T2)	-	-	0.005	-	0.005	-
Material	Ni	Pb	Sn	S	Cu	-
Al(1060)	-	-	-	-	0.050	-
Cu(T2)	0.005	0.005	0.002	0.005	Bal.	-

Tabla 2.5 Propiedades termofísicas de Al y Cu [39].

Material	Melting point/°C	Density/(g*cm-3)	Heat conductivity/(W*m-1*°C-1)	Specific heat capacity/(J*Kg-1*°C-1)	Linear expansion coefficient/10-6°C	Elastic modulus/GPa	Poisson ratio	Tensile strength/MPa
Al	660	2.71	226	946	24	70	0.31	165
Cu	1083	8.9	390	385	17	108	0.35	210

Tabla 2.6 Composición de los metales de aporte de Zn-Al en prueba de extensibilidad [39].

No. de Aporte	Al	Zn
1	2	98
2	5	95
3	12	88
4	15	85
5	22	78

El área de expansión de los metales de aporte de Zn-Al, presentan una tendencia de incremento lineal en los sustratos de Al y Cu, con el incremento del contenido de Al. La microestructura principal del metal de aporte de Zn-2Al consiste en una fase rica en Zn y una estructura eutéctica de Zn-Al, mientras que el Zn-15Al y Zn -22Al muestran una típica microestructura hiper-eutéctica y eutectoide, como se muestra en la fig. 2.17.

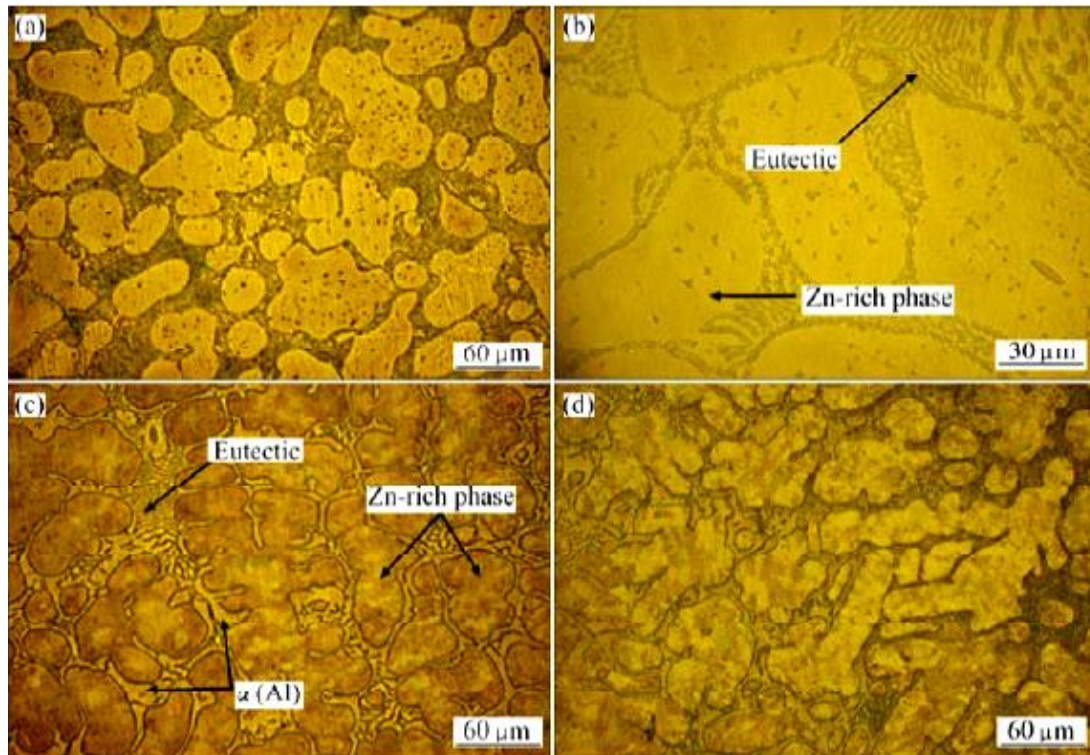


Figura 2.17. Micrografías ópticas de Zn-2Al (a, b), Zn-15Al (c) y Zn-22Al (d) [39].

En la fig. 2.18 se representa esquemáticamente la microdureza de la junta Cu-Al con diferentes cantidades de Zn-Al utilizado como metal de aporte, utilizando una carga de .245N y un tiempo de carga de 10 s.

Se puede observar que en el incremento de Al aumenta la dureza significativamente hasta un valor de HV515 del lado de la zona de Cu esto es atribuido a la formación de compuestos intermetálicos de Cu-Al, causado por la reacción de entre dos metales durante el proceso brazing

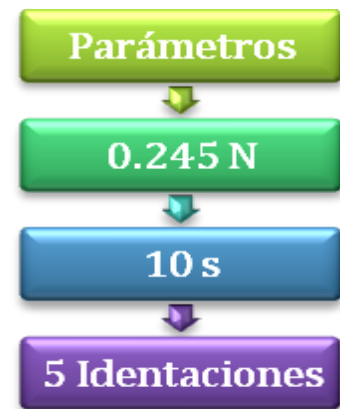
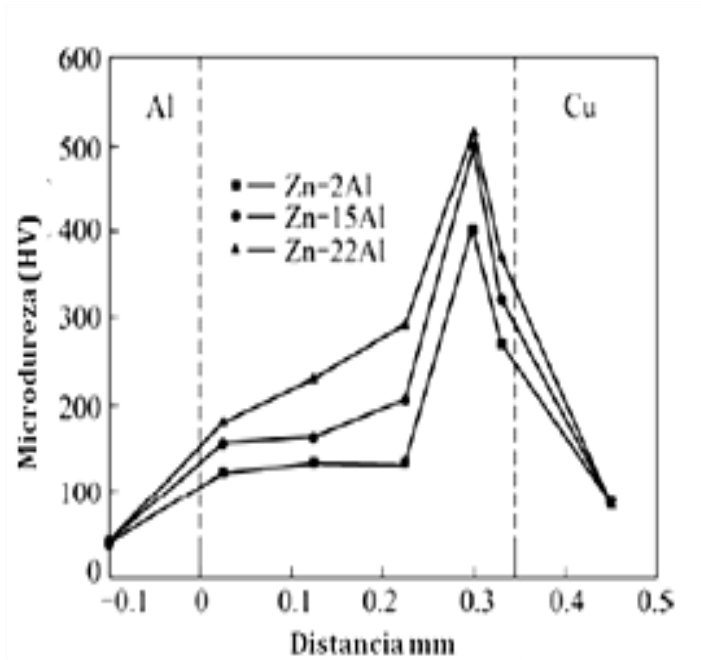


Figura 2.18 Valores de microdureza de las juntas de Brazing de Cu / Al con el metal de aporte Zn-Al [39].

2.5.3 Microestructura interfacial y mecanismo de formación de Brazing compuesto Cf/Al con metal de aporte de Al-Si.

Utilizando aleaciones Al-Si-Cu y Al-Si-Cu-Zn como metal de aporte, a una temperatura entre 500 y 570 °C, se han realizado estudios con la tecnología de Brazing con compuesto de matriz de aluminio reforzado con fibra de carbón [40].

Las pruebas se llevaron a cabo en 4µm de compuesto Cf/Al con fibra de carbono, con un porcentaje de volumen de fibra del 50%. La estructura metalúrgica de los materiales compuestos se muestra en la fig. 2.19.

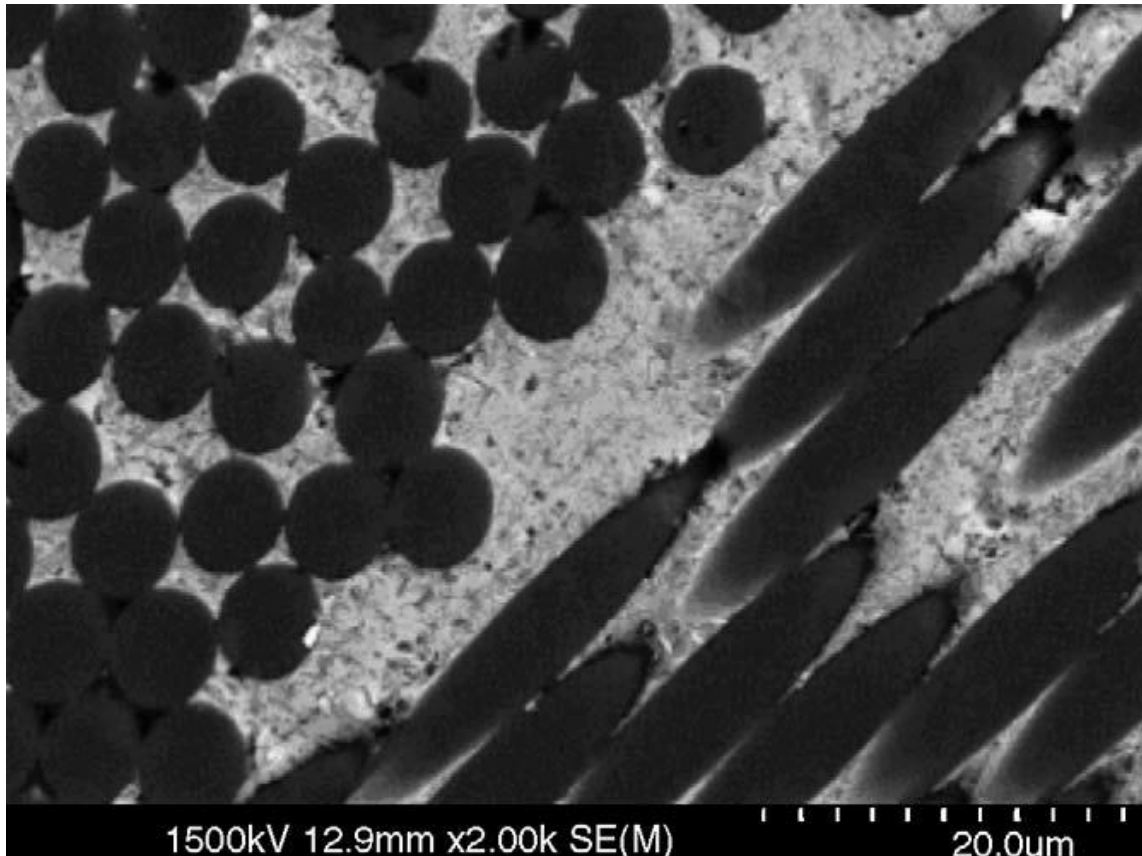


Figura 2.19. Imagen de la microestructura de los compuestos Cf/Al [40].

Tres aleaciones de metal de aporte se utilizaron, y su composición química y la temperatura de fusión se muestra en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Composición y puntos de fusión de los metales de aporte [40].

Metal de aporte	Composición (wt.%)	Temperatura del punto de fusión (°C)
HL401	Al-6Si-28Cu	525-535
HL402	Al-10Si-4Cu	521-585
HL403	Al-10Si-4Cu-10Zn	516-560

La unión de HL402 se muestra en la figura 2.20. La junta tiene el mismo color que el metal base, tanto en la zona de enriquecimiento de Al y la zona de enriquecimiento de fibra de carbón, y el enlace entre el material de aporte y el metal base fueron perfectos.

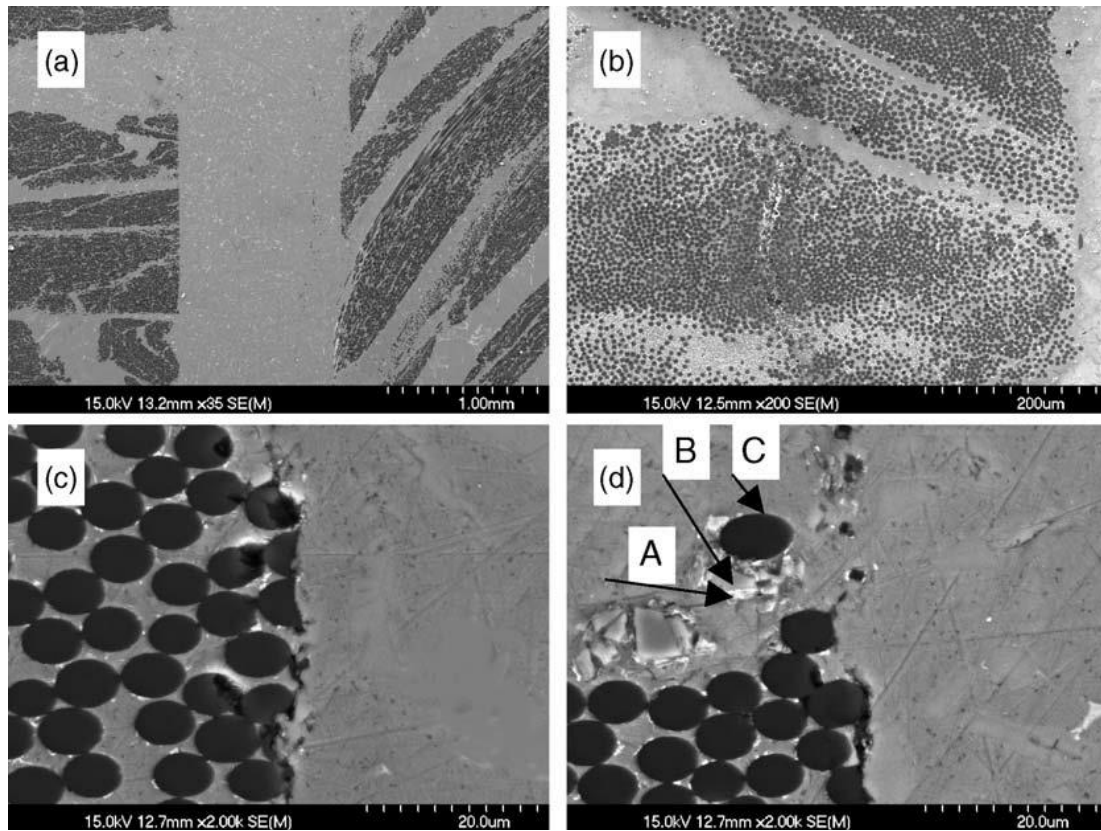


Figura 2.20. Microestructura de uniones soldadas con HL402 [40].

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE BIBLIOGRAFÍA

3.1 Procesos de soldadura por Difusión y Brazing

La soldadura por Difusión se crea mediante la aplicación de presión a una temperatura elevada. Cuando ocurre la unión de metal con metal, los átomos quedan dentro de las áreas de fuerzas de atracción de ambas partes, y producen una junta de alta resistencia. La coalescencia completa se produce a través de una secuencia de tres etapas, que son: Presión de superficies, difusión de átomos y eliminación de huecos.

Por otro lado la soldadura por brazing se basa en un principio físico, llamado flujo capilar, que garantiza una buena unión en todos los casos en que el metal de aporte fundido impregna ambas superficies de ensamble. Concretamente la capilaridad está en función de la tensión superficial entre los metales base, el metal de aporte, el fundente y el ángulo de contacto entre el metal base y el metal de aporte.

3.2 Compuestos de matriz metálica de Al y mecanismos de refuerzo

Los compuestos de matriz metálica (por sus siglas en ingles MMC's) integran un conjunto de materiales de los más experimentados en las dos últimas décadas.

Actualmente los componentes para la fabricación de aviones, motores, armazones, artículos militares entre otros requieren la combinación de diferentes propiedades, como alta resistencia mecánica baja densidad (ligeros) y alta conductividad eléctrica y térmica. Los materiales de uso más común en compuestos de matriz metálica son aleaciones ligeras de AL, Ti y Mg. Siendo el Al el de mayor consumo, debido a su bajo costo y baja densidad.

Sin embargo para aumentar sus propiedades mecánicas (resistencia y rigidez), se utilizan refuerzos como: partículas, whiskers (fibras cortas) y fibras continuas y discontinuas.

Las funciones que tiene un material de refuerzo son:

- Resistir las tensiones que se ejercen sobre el compuesto.
- Ampliar las características mecánicas de la matriz, su dureza y resistencia al desgaste (sobre todo en el caso del refuerzo con partículas).
- Amortiguar la falla de las características con el aumento de temperatura.
- Detener la propagación de grietas a través del compuesto y el desarrollo de las fisuras.

4. CASO DE ESTUDIO

RESULTADOS Y DISCUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

Caracterización de la materia prima para la unión de compósitos por Brazing

En este capítulo 4 se discuten los resultados obtenidos de la caracterización del compuesto y la pasta utilizada como metal de aporte. Así mismo, se ilustra y discute el efecto negativo de la temperatura sobre la formación de residuos sólidos en la unión por traslape del compuesto $Al/C_{(grafito)}$ mediante el proceso Brazing.

En la figura 4.1 se muestra la superficie de fractura del compuesto $Al/C_{(grafito)}$. Se aprecia a detalle la fractura de la fibra de carbono inmersa en la matriz de aluminio (Fig. 4.1 (a)). La naturaleza química es indicada por el gráfico de barras obtenido por EDX (Fig. 4.1 (b)). Bajo este contexto, es importante considerar que la pasta tenga una composición química similar con la matriz de aluminio y, en el caso del grafito, se integre formando especies base carburo.

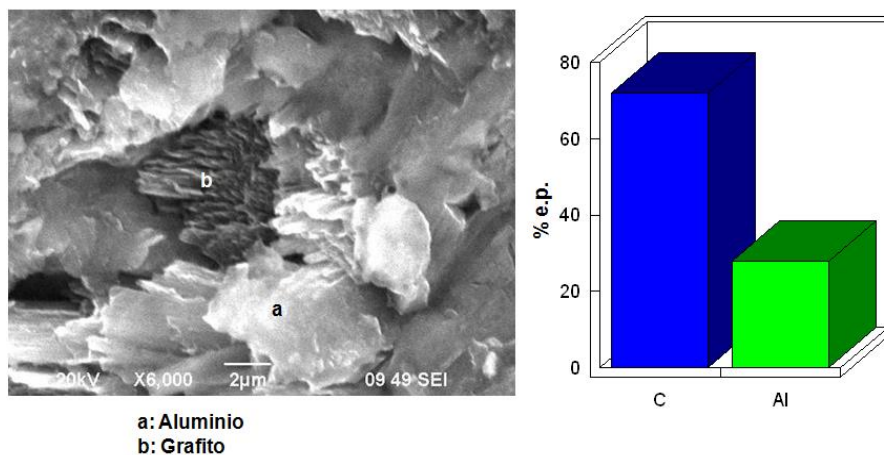
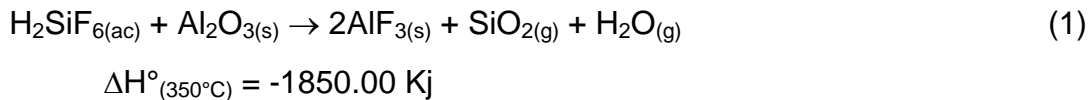


Figura 4.1 Superficie de fractura del compuesto $Al/C_{(grafito)}$

Inspecciones realizadas a altas ampliaciones sobre la pasta utilizada en el proceso Brazing permite apreciar aglomerados de morfología irregular de diversos tamaños (Fig. 4.2 (a) y (b)). Así mismo, los análisis químicos puntual y de área identifican contenidos altos de Zn, Al, Cs, F y C. El aluminio en la pasta es indispensable para conservar en la unión las propiedades de ductilidad y anticorrosivas con la matriz del compuesto. En el caso del zinc para formar fases de bajo punto de fusión menores a 370°C [41] y así humectar la superficie de unión. Generalmente las reacciones químicas del cesio en presencia de vapores de $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$ son altamente exotérmicas. Alcanzando temperaturas cercanas al punto de fusión del metal base. Informes técnicos establecen la presencia de bajos contenidos de $\text{H}_2\text{SiF}_{6(ac)}$ en la pasta. Esto permite plantear la siguiente reacción química:



Además, el fluoruro de aluminio (AlF_3) actúa como fundente. Finalmente, el contenido de carbono es necesario para la formación de carburos y reducción de óxidos en la zona de unión del compuesto.

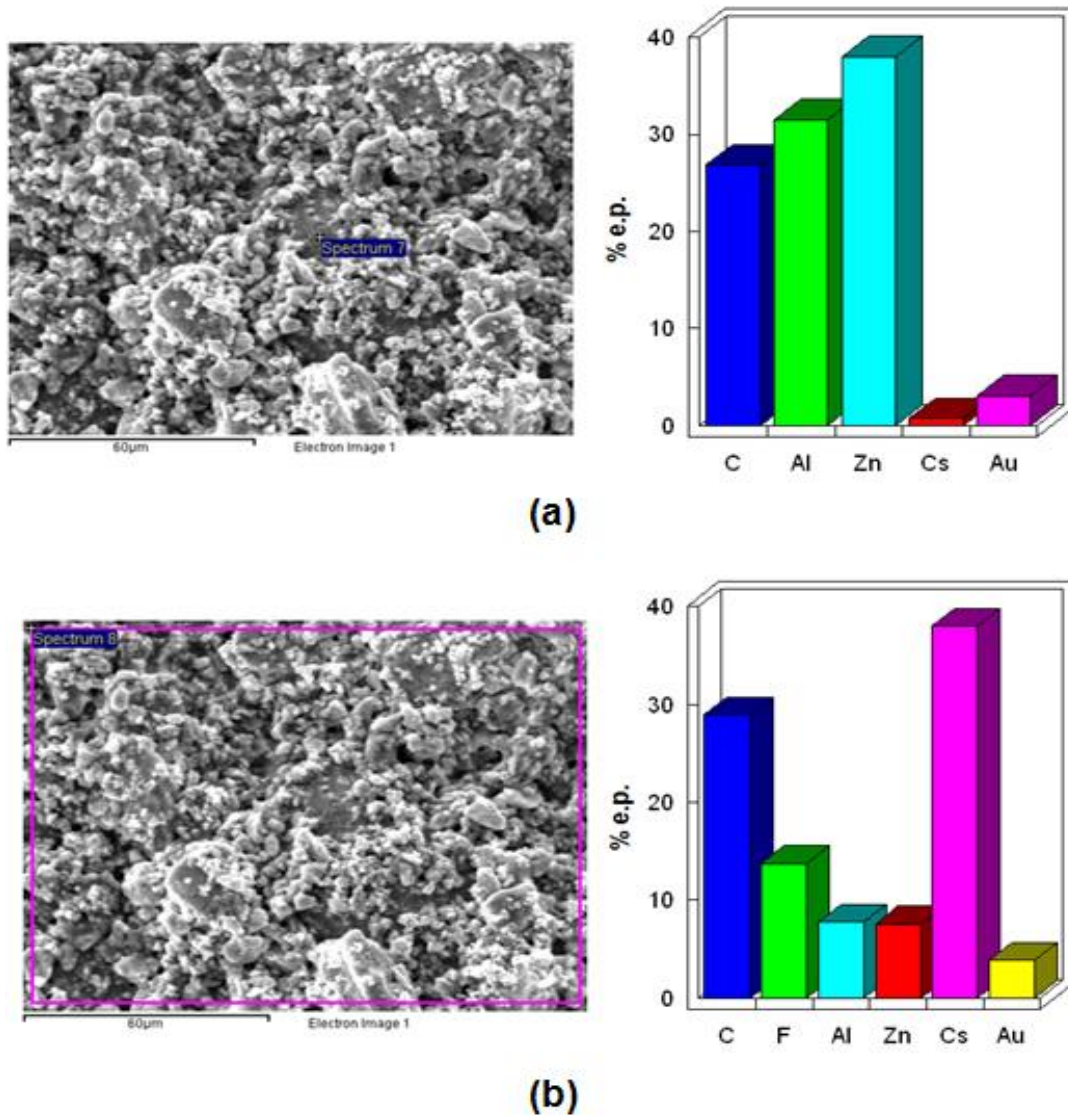


Figura 4.2 a) Imagen de electrones retrodispersados y EDX puntual del sólido recolectado en la zona de unión ricos en Zn, Al y C y **b)** Misma pasta analizada por área rico en Cs y otros elementos significativos en la unión de compósitos Al/C_(grafito).

Unión del compósito por el proceso Brazing

Comparativamente, se aprecia el aspecto inicial de las pasta y después del proceso de Brazing en uniones por traslape (Fig. 4.3 (a) y (b)). Se observa la formación de material de color blanco sobre la superficie del compósito después

del proceso de unión por Brazing a 530°C por 3:30 h. (Fig. 4.3 (b)). En consecuencia, no hay soldabilidad ni penetración entre ambos compósitos.

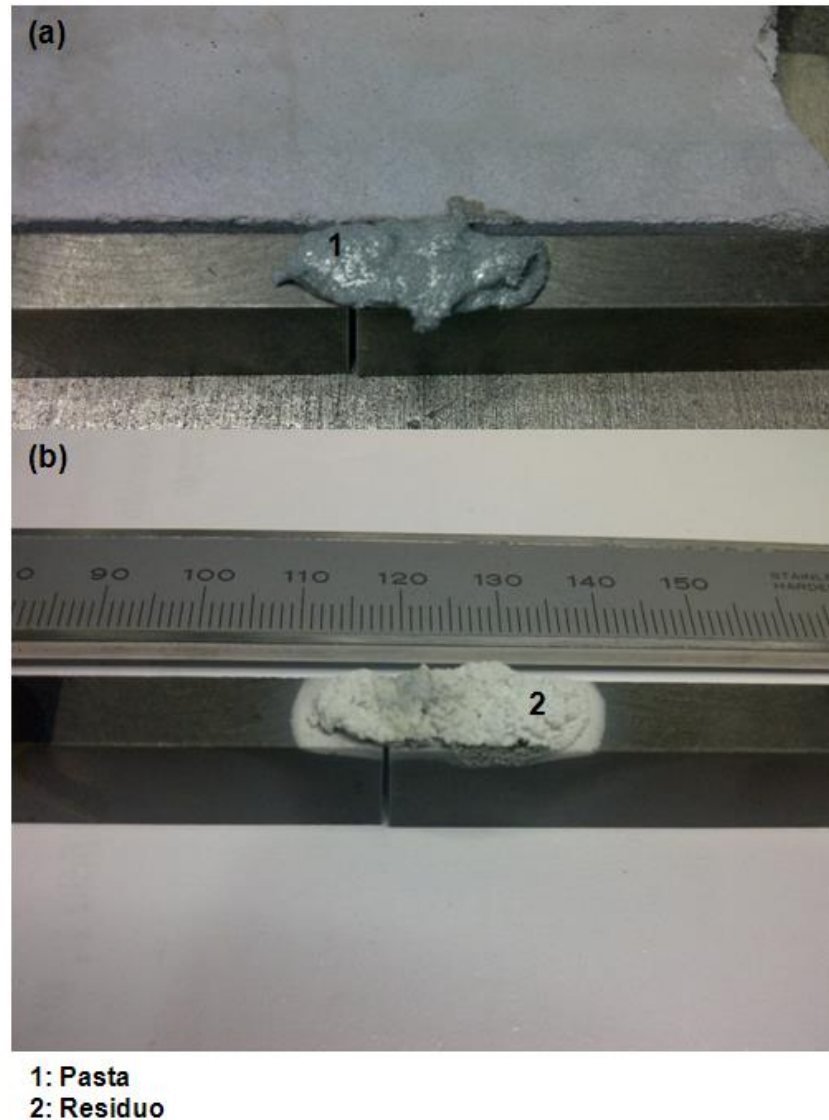


Figura 4.3 a) Preparación de la unión del compuesto Al/C_(grafito) por el proceso Brazing a 530°C por 3.5 h y **b)** Unión no soldada y formación de un sólido blanco sobre la unión.

Inspecciones a altas ampliaciones en el residuo sólido de la zona de unión (Fig. 4.3 (b)), se aprecian dos composiciones químicas diferentes: 1) la zona oscura, es rica en Al y C, ver figura 4.4 (a) y (b), sugiriendo la formación de carburos de aluminio tipo: Al_4C_3 . Este tipo de carburo tiene una baja estabilidad química en presencia de humedad formando hidróxidos de aluminio ($Al(OH)_3$).

Este compuesto químico reduce la cohesión refuerzo-matriz y, en consecuencia disminuyen las propiedades mecánicas. Las siguientes reacciones químicas confirman la formación de este tipo de hidróxido en presencia de humedad [42]:

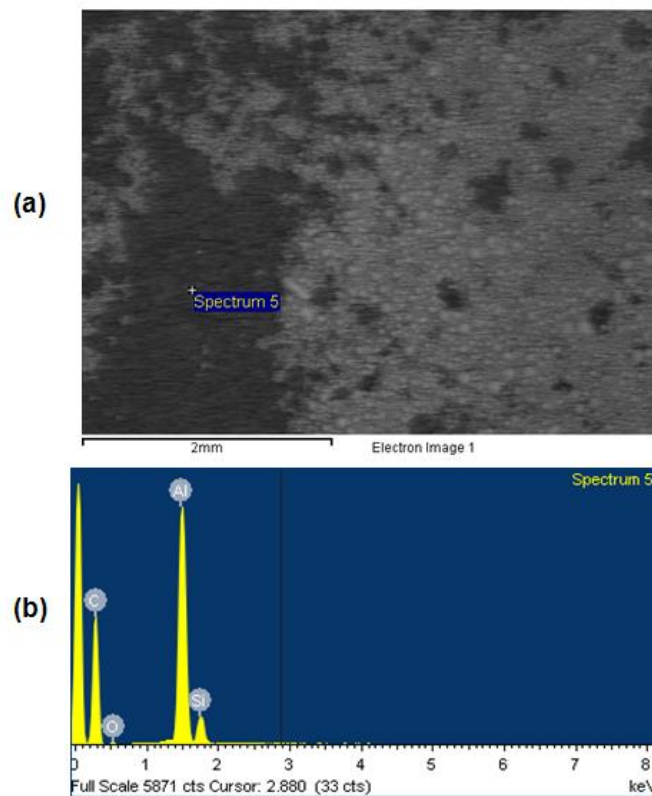
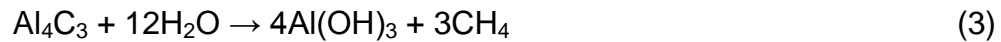
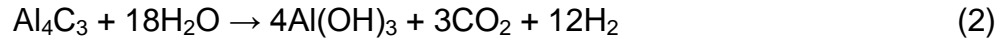


Figura 4.4 a) Imagen de electrones retrodispersados del residuo Al_3C_4 y **b)** Naturaleza química analizada puntualmente por EDX.

La zona clara, no se discute en este caso de estudio debido a que presenta trazas de impurezas de Fe, Cr, Ni. Indicando contaminación de la muestra. Sin embargo, se presenta el análisis térmico de la pasta para complementar la explicación anterior sobre el efecto de la temperatura en los procesos de unión por Brazing en compósitos.

La figura 4.5 muestra el flujo de calor de la pasta empleada en el proceso Brazing para estudiar la unión del compuesto Al/C_{grafito} medido por calorimetría diferencial de barrido. Se aprecia dos picos exotérmicos etiquetados con 1 y 2. Esto significa la formación de compuestos sólidos a las temperaturas de 320 y 380°C. Cabe señalar que debido al corto alcance de una monografía de esta naturaleza, no se realizó el análisis por difracción de rayos X para identificar estos compuestos e indicar si son fases de bajo punto de fusión que proporcionan la humectación entre la pasta y la matriz metálica de aluminio.

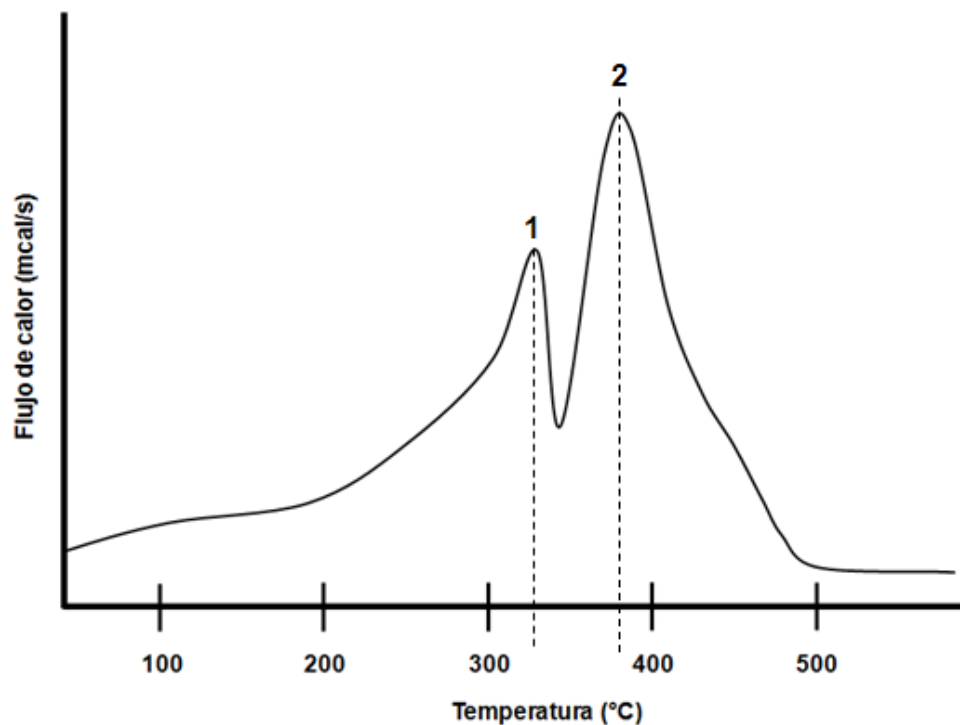


Figura 4.5. Calorimetría de barrido de la pasta empleada en los procesos de unión de compósitos Al/C_{grafito}.

Confirmando lo anterior, a temperaturas mayores de 400°C se incrementan las presiones de vapor del Zn y Cs, esto genera pérdida de estos elementos reduciendo soldabilidad de los compósitos. Con el fin de corroborar esta afirmación sobre el efecto de las presiones de vapor del Zn y Cs en la pasta, se procedió a determinar en el módulo de equilibrio del paquete termoquímico computacional HSC versión 6.1, la interacción entre la composición del

compósito y la pasta a temperaturas de 0 a 600°C (Fig. 4.6). Se aprecia que conforme aumenta la temperatura el contenido del Zn en estado gaseoso se incrementa. Esto generaría dos problemas técnicos: 1) pérdidas de Zn y 2) incremento de la reactividad del Zn con otras especies químicas no compatibles con la soldadura que terminan en depósitos en las zonas de unión.

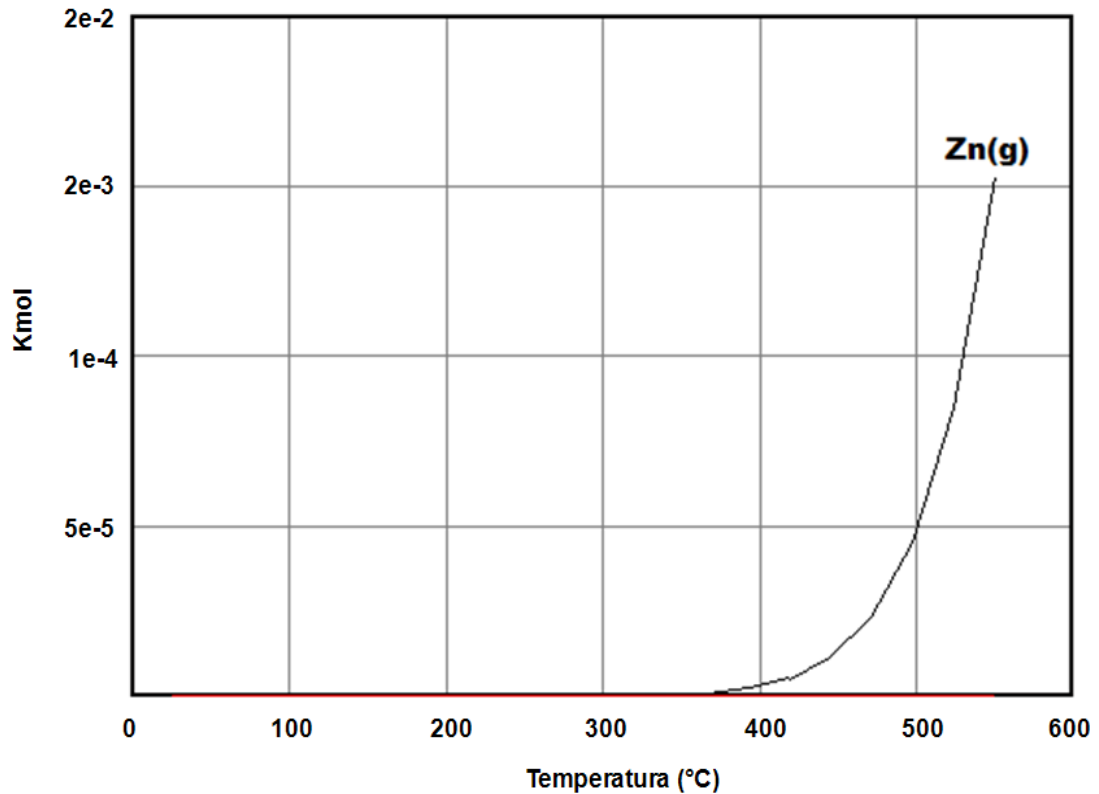


Figura 4.6. Gráfico del módulo de equilibrio de la formación de especies químicas entre el compósito y la pasta de soldadura en función de la temperatura.

5. CONCLUSIONES GENERALES

- Las uniones de compuestos de matriz de Al mediante soldadura por difusión utilizando una intercapa de Cu dieron como resultado en dichas uniones valores de esfuerzo de tensión de casi un 72% del metal base usando los parámetros como espesor, tiempo, presión y temperatura. Esto significa que la aplicación es adecuada por soldadura por difusión en fase líquida de media transitoria (HTLPDW).
- En el proceso Brazing utilizando el metal de aporte Zn-Al, con diferentes concentraciones de este metal de aporte, se obtuvo que las aleaciones que utilizaron menor contenido de Al como Zn-2Al y Zn-15Al fueron las más adecuadas, es decir, para unir a dos metales diferentes.
- Dado lo anterior se establece que las uniones con el proceso de soldadura por difusión en la actualidad son mejores que las uniones utilizadas por el proceso Brazing porque la soldadura por difusión en fase líquida de media transitoria (HTLPDW) aplica una capa intermedia de Cu ya que esta actúa como una capa primaria para la cohesión que ayuda a la unión de los materiales compuestos, dando como resultado calidad en la unión soldada.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Geng, H. 2004. Chapter 25 Brazing. Marek S. Manufacturing Engineering Handbook. McGraw-Hill.

[2] Soldaduras Industriales S.A. (SISA) [Internet]. Empresa especializada en materiales para soldadura Brazing. [Citado 2012 Enero 7]. Disponible en: http://www.sisa-brazing.com/pdf/files/consejos_soldadura.pdf

[3] Carrier C. 1995. Handbook for Brazing. Carrier Corporation.

[4] Cook III G. O. and Sorensen C. D. 2011. Overview of transient liquid phase and partial transient liquid phase bonding. Journal of Materials Science 46: p. 5305-5323.

[5] Huang JH, Dong YL. 2007. Investigation on reactive diffusion bonding of SiC/6063 MMC by using mixed powder as interlayer. J Mater Process Technol 190:312–316.

[6] Maity J, Pal JT, Maiti R. 2010. Transient liquid phase diffusion bonding of 6061-13 vol.% SiCp composite using Cu powder interlayer: mechanism and interface characterization. J Mater Sci 45:3575–3587.

[7] Hua M, Guo W, Law HW, Ho JKL. 2008. Half-transient liquid phase diffusion welding: an approach for diffusion welding of SiCp/A356 with Cu interlayer. Int J Adv Manuf Technol 37:504–512

[8] Mori K, Saito S, Maki S. 2008. Warm and hot punching of ultra high strength steel sheet. CIRP Annals-Manuf Technol 57:321–324

[9] Serope Kalpakjian, Chapter 30 Brazing. Manufacturing engineering and technology Pearson. p. 840-842.

[10] Facultad de Ciencias y Tecnología (FCyT) [Internet]. Actualizado 2004 Julio. Cochabamba – Bolivia: Ingeniería Mecánica – Electromecánica; [citado 2012 Enero 7]. Disponible en: <http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecnologia/II/PDF/cap-44.pdf>

[11] Macías López F. 2006. Alternativas de Materiales de Aporte Libres de Cadmio en Procesos de Soldadura Brazing [Monografía]. [México]. p. 19-20; 25-33.

[12] Hill A. and Wallach E.R. 1989. Modelling solid-state diffusion bonding, Acta Metallurgica, Vol. 37, No. 9, 2425-2437.

[13] M.R Ashby. 1993. Acto Metall. Materiolio, 41, 1313- 1335.

[14] D.L Erich. 1986. Prog. Powder Metall. 46, 45-65.

[15] F. Velasco. 1994. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica De Madrid.

[16] V.K. Lindroos Y M.J. Talvitie, J. 1993. Moten Proc. Technol. 53, 273-284.

[17] S.J. Harris, Agard Lectures. Series n- 174: New Light [26; Alloys, 1990:4:1-4:21.

[18] W.H. Hunt Y T.J. Rodjom. 1992. Adv. Powder Metall. Particulote Moten 9, pp. 21-31.

[19] H.E. Deve Y C. McCullough, J. 1995. Moten (Julio), 33- 37.

- [20] T. Zhang, J.R.G. Evans Y M.J. Bevis. 1996. *Jnt. J. Powder Metall.* 32, pp.331-339.
- [21] M. Maclean Y R.P Dower. 1990. *Proc. Ofthe World Congress On Powder Metallurgy*, Inst. Of Materials, London, Reino Unido, 2, Pp. 251-254.
- [22] J. Kryze, et. al.. 1994. *Proc. Of The World Congress On Powder Metallurgy Sf2m*, Paris, Francia, Vol. III, pp. 963-1966.
- [23] Ce. Costa. 1998. Tesis de la Universidad Politécnica de Madrid.
- [24] Kainer KU.2006. *Metal Matrix Composites: Custom-made Materials for Automotive and Aerospace Engineering*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
- [25] D.J. Lloyd. 1990. *Adv. Struct. Moten*, pp. 1-21.
- [26] *Powder Metallurgy - Metals Hondbook, Asm*, Vol. 7, 9- Ed. 1984.
- [27] Alcoa. 1980. *Aluminium Powders In Powder Metallurgy. Metol Powder Report*, 35 (5), Pp. 187-191.
- [28] H-C Shih, N.J. Ho Y J.C Huang. 1996. *Metoll. Moten Trons. A*, 27a, 2479-2494.
- [29] M. J. Tan, L.H. Koh, Y. Murakoshi Y I Sano. 1994. *Proc. Of The World Congress On Powder Metallurgy Sf2m*, Paris, Francia, Vol. III, Pp. 1987-1990.
- [30] J.C. Lasalle, R.L Bye, D. Raybould Y S.K. Das. 1989. *Adv. Powder Metall.* 3, 225-236.

[31] W.J. Ullrich. 1986. Progn Powder Metall 46, 535-556. D.P Voss, Mod. Dev Powder Metall. 13 (1981) 467- 481.

[32] F.H. Froes, C. Suryanarayana, Rr. Taylor, C . M . Wardclose Y P Goodwin. 1996. Powder Metall 39, 63-65.

[33] U.V. Bhanuprasad, R.B.V. Bhat, A.K. Kuruvilla, K.S. Prasad, A .B . Randey E Y.R. Mahajan. 1991. Int. J. Powder Metoli 7, 227-235.

[34] American Society For Metals. 2001. Metals Handbook: Composites. Asm International (21).

[35] Meng Hua, et al. 2008. Half-transient liquid phase diffusion welding: An approach for diffusion welding of SiCp/A356 with Cu interlayer. Int J Adv Manuf Technol, vol 37, pp. 504–512.

[36] Joydeep Maity, et al. 2008. Microstructural Characterization of TLPD bonde 6061-SiCp Composite. Journal of Materials Engineering and Performance, vol 17, pp. 746–754.

[37] B. Wang & S. S. Jiang, et al. Pulse current auxiliary TLP diffusion bonding of SiCp/2024Al composite sheet using mixed Al–Cu–Ti powder interlayer. Int J Adv Manuf Technol.

[38] B.Riccardi, et al. 2012. High temperature brazing for SiC and SiCF/SiC ceramic matrix composites. Advanced SiC/SiC Ceramic Composites: Developments and Applications in Energy Systems, vol. 144.

[39] JI Feng, et al. 2012. Microstructure and properties of Cu/Al joints brazed with Zn–Al filler metals. Trans. Nonferrous Met. Soc., pp. 281–287.

[40] P. He, Y.Z. Liu, D. Liu. 2006. Interfacial microstructure and forming mechanism of brazing Cf/Al composite with Al–Si filler. *Materials Science and Engineering A* 422, pp. 333–338

[41] S. Ji y Z. Fan. 2012. *Extruded microstructure of Zn–5 wt-%Al eutectic alloy processed by twin screw extrusion*. *Materials Science and Technology* Vol. 28, No. 11, pp. 1287-1294.

[42] E.Trujillo-Vázquez, M. I. Pech-Canul, L. A. González, E. López-Honorato, H. M. Hernández-García. 2013. *Elimination of Al_4C_3 phase in Al/SiC_p composites by HYSYCVD*. *Materials Science Forum* Vol. 755, pp 9-14

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1	Metales de aporte para unir diversos metales y aleaciones por Brazing [10].
Tabla 2.2	Ejemplos de algunos elementos de reforzamiento utilizados en materiales compuestos de matriz metálica (MMC's) [24].
Tabla 2.3	Propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio utilizadas como matriz metálica en compuestos de matriz metálica (MMC's) [34].
Tabla 2.4	Composición química de Al y Cu (fracción de masa, %) [39].
Tabla 2.5	Propiedades termofísicas de Al y Cu [39].
Tabla 2.6	Composición de los metales de aporte de Zn-Al en prueba de extensibilidad [39].
Tabla 2.7	Composición y puntos de fusión de los metales de aporte [40].

LISTADO DE FIGURAS

Figura 2.1	Esquema que muestra las etapas de la fase líquida transitoria [9].
Figura 2.2	Brazing con soplete [9].
Figura 2.3	Ejemplo de Brazing en horno: (a) Antes, (b) Después. Nótese que el metal de aporte es un alambre conformado [10].
Figura 2.4	Ilustración esquemática de una configuración de Brazing por inducción continua, para una mayor productividad. Fuente: ASM International [10].
Figura 2.5	Secuencia de etapas metalúrgicas en el proceso de unión por difusión [10].
Figura 2.6	Clases de materiales a partir de los cuales se puede fabricar un material compuesto [13].
Figura 2.7	De forma esquemática, los tres principales tipos de compuestos de matriz metálica [16].
Figura 2.8	Relación entre la resistencia a la tensión y la temperatura de la soldadura [35].
Figura 2.9	Relación entre la resistencia a la tensión de las uniones soldadas y el espesor de la capa intermedia de Cu [35].
Figura 2.10	Relación entre la resistencia a la tensión y la presión ejercida en las uniones soldadas [35].
Figura 2.11	Representación esquemática de la región de unión durante la solidificación isotérmica [36].

Figura 2.12	Microestructura de la sujeción a la junta la hoja del material compuesto de SiCp/2024 Al utilizando la capa intermedia mixta Al-Cu-Ti de polvo a 580 ° C durante 45 min [37]. a. Visión de baja magnificación b. Visión de alta magnificación
Figura 2.13	Microestructura de la sujeción a la junta la hoja del material compuesto de SiCp/2024 Al utilizando la capa intermedia mixta Al-Cu-Ti de polvo a 580 ° C durante 45 min [37]. a. Visión de baja magnificación b. Visión de alta magnificación
Figura 2.14	Microdureza de junta unida a 580 °C durante 60 minutos utilizando intercapa mixta Al-Cu-Ti en polvo [37].
Figura 2.15	La relación entre el tiempo de retención y resistencia al corte de junta unida a 580 °C durante diferentes tiempos con mezcla entre capas de Al-Cu-Ti en polvo [37].
Figura 2.16	Resistencia al corte de la junta de SiCp/2024Al lámina de material compuesto unido a 580 ° C durante 15 min [37].
Figura 2.17	Micrografías ópticas de Zn-2Al (a, b), Zn-15Al (c) y Z-22Al (d) [39].
Figura 2.18	Muestra los valores de microdureza de las juntas de Brazing de Cu / Al con el metal de aporte Zn-Al [39].
Figura 2.19	Imagen de la microestructura de los compuestos Cf/Al [40].
Figura 2.20	Microestructura de uniones soldadas con HL402 [40].
Figura 4.1	Muestra la superficie de fractura del compósito Al/C _(grafito) .
Figura 4.2	a) Imagen de electrones retrodispersados y EDX puntual del sólido recolectado en la zona de unión ricos en Zn, Al y C y b) Misma pasta analizada por área rico en Cs y otros elementos significativos en la unión de compósitos Al/C _(grafito) .

Figura 4.3	a) Preparación de la unión del compuesto Al/C _(grafito) por el proceso Brazing a 530°C por 3.5 h y b) Unión no soldada y formación de un sólido blanco sobre la unión.
Figura 4.4	a) Imagen de electrones retrodispersados del residuo Al ₃ C ₄ y b) Naturaleza química analizada puntualmente por EDX.
Figura 4.5	Calorimetría de barrido de la pasta empleada en los procesos de unión de compósitos Al/C _{grafito} .
Figura 4.6	Gráfico del módulo de equilibrio de la formación de especies químicas entre el compuesto y la pasta de soldadura en función de la temperatura.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Autora de la monografía:

Ing. Marisol Rodríguez Tinoco

Nacida el 17 de Mayo de 1989 en Durango, Dgo.

Padres: Rubén Olvera Guerrero e Hilda Maritza Tinoco Candia

Grado a obtener:

Especialista en Tecnología de la Soldadura Industrial.

Título de monografía:

“Estado del arte de los parámetros de los procesos de soldadura por difusión y Brazing aplicados en la unión de compuestos de matriz de aluminio”.

Escolaridad:

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria Tamaulipas, Ingeniería Industrial con especialidad en Calidad y Productividad (2008 – 2012).

Experiencia laboral:

Prácticas profesionales en el área de Ingeniería en Materiales, COMIMSA.
(2012)

