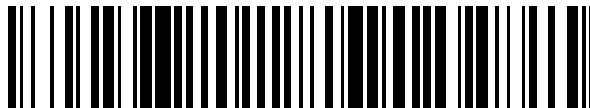


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 501 041**

51 Int. Cl.:

C22C 21/02 (2006.01)

C22C 21/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011 E 11188792 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **19.09.2018 EP 2592165**

54 Título: **Aleación de aluminio**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
13.11.2018

73 Titular/es:
NOVELIS, INC. (100.0%)
3560 Lenox Road, Suite 2000
Atlanta, GA 30326, US

72 Inventor/es:
BEZENCON, CYRILLE;
BASSI, CORRADO y
SHELLINGER, FRANK

74 Agente/Representante:
UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 501 041 T5

DESCRIPCIÓN

Aleación de aluminio

5 Se describe una aleación de aluminio destinada principalmente al uso en vehículos de transporte. La aleación de aluminio se basa en el sistema Al-Si-Cu y es adecuada para uso como un producto en forma de lámina en automóviles. La invención se refiere a una lámina compuesta. La invención también se refiere a una estructura unida que comprende un componente de acero y un componente de aluminio.

10 Durante muchos años se ha establecido el uso de aleaciones de aluminio en la producción de automóviles y otros vehículos de transporte. Se usa una gama de diferentes aleaciones dependiendo de los requisitos en particular de los componentes específicos. En determinadas aplicaciones, se desea que el material sea de alta resistencia. Además, otras aplicaciones requieren una maleabilidad más elevada y, en dichos casos, la resistencia se puede considerar menos importante. Además, ha existido un deseo de materiales que se deformen fácilmente con el
15 impacto, por ejemplo, en el caso de colisión con peatones y dichos materiales pueden tener resistencias incluso menores. Los productos de aleación de aluminio para dichas aplicaciones se proporcionan en diversas formas, desde láminas a piezas forjadas, extrusiones a piezas moldeadas.

20 Por lo general, las aleaciones de aluminio son aleaciones de la serie 6XXX, cuyos elementos principales en la aleación son Mg y Si, o aleaciones de la serie 5XXX, donde el principal elemento de la aleación es el Mg. Ha existido un uso ocasional de las aleaciones de la serie 2XXX donde el principal elemento de la aleación es el Cu. Para una comprensión del sistema de designación numérico usado normalmente en la nomenclatura y en la identificación del aluminio y de sus aleaciones véase "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys", publicado por The Aluminum Association, revisado en febrero de 2009.

25 Además, se conocen láminas de revestimiento o láminas compuestas para uso en automoción y en otras aplicaciones. En dichos productos, la lámina compuesta consiste en al menos dos capas de aleaciones con diferentes composiciones químicas. Una capa, denominada por lo general de núcleo, proporciona propiedades mecánicas generales, mientras que la segunda capa, denominada por lo general capa de revestimiento, proporciona características superficiales específicas. La capa de revestimiento es normalmente más fina que la capa de núcleo. Normalmente, la capa de núcleo de una composición se interpone entre dos capas de revestimiento de otra
30 composición para formar una lámina de tres capas, teniendo ambas capas la misma composición. Pero no siempre este es el caso y se puede proporcionar una lámina compuesta de múltiples capas, teniendo cada capa una composición diferente.

35 Las aleaciones de aluminio no son los únicos materiales usados en la construcción de vehículos de transporte; el acero sigue siendo un material estructural importante. Aunque preocupada principalmente con las estructuras de automoción, la invención que se describe en el presente documento se puede aplicar del mismo modo a otros vehículos de transporte que incluyen, pero no se limitan a, aeronaves y vehículos terrestres tales como trenes, autobuses y camiones así como a otras aplicaciones industriales en las que existe una necesidad de unir
40 componentes de aluminio a componentes de acero. El caso de estructuras de automoción se usa para ilustrar los antecedentes de la invención y para demostrar sus beneficios.

45 En diversas ubicaciones dentro de la estructura del automóvil, la aleación de aluminio debe entrar en contacto y se debe unir a un producto de aleación de acero. Esto crea problemas porque el aluminio y el acero no se pueden unir de forma satisfactoria mediante técnicas de soldadura convencionales, tales como TIG, MIG, soldadura con láser, soldadura con plasma, etc., debido a la gran diferencia entre las temperaturas de líquidos y la baja solubilidad entre elementos. De hecho, la soldadura definida de forma clásica, en el sentido de coalescencia de dos metales fundidos, no se produce porque las temperaturas usadas generalmente no son lo suficientemente elevadas para conseguir
50 que el acero se funda. Por lo tanto, se usan diversos términos para describir el proceso de unión térmica que se produce y dichos términos pueden incluir, pero no se limitan a, soldadura con láser, soldadura con latón, etc.. Básicamente, y para los fines de la presente invención, una estructura que comprende una pieza de aluminio unida a una pieza de acero se refiere a una que surge de un proceso térmico que hace que al menos una parte del componente de aluminio se funda.

55 El diagrama de fases de equilibrio binario de Al-Fe indica que existen diversos compuestos intermetálicos en equilibrio tales como Fe_2Al_5 , $FeAl_3$, $FeAl_2$ y $FeAl$. Se sabe que estos compuestos intermetálicos son duros y frágiles. Además, el aporte elevado de calor de las técnicas de soldadura convencionales y la reacción y la difusión resultantes entre las piezas de acero y de aluminio puede dar lugar a una capa espesa de compuestos intermetálicos frágiles. La presencia de dichos compuestos intermetálicos en las superficies de contacto de acero / aluminio puede conducir a propiedades mecánicas deficientes y al comportamiento de fractura frágil de la unión. Por lo tanto, la unión entre las aleaciones de aluminio y acero se puede convertir en un sitio de debilidad estructural fundamental. Es preferente una unión que tenga una resistencia a la factura razonable, una que posea una ductilidad suficiente.
60

65 Se han hecho intentos para mejorar la resistencia interfacial y la ductilidad de dichas uniones. Un enfoque ha sido

reducir el aporte de calor al proceso de unión, por ejemplo, mediante el aumento de la velocidad de soldadura, añadiendo un bloque de soporte para extraer el calor para interrumpir el proceso de soldadura. Dicho enfoque se representa dentro de la técnica conocida de soldadura con latón con Transferencia de Metal en Frío, (CMT). Las desventajas de este enfoque son que, con él, la fabricación es más complicada y más cara, existe una ventana de funcionamiento reducida que no se presta a sí misma a la producción en masa a escala industrial y, aunque existe una mejora en la resistencia de la superficie de contacto, el modo de fractura sigue siendo frágil.

Un segundo enfoque para mejorar la capacidad de soldadura ha sido añadir Zn a la soldadura para promover la formación de una estructura eutéctica de Al-Zn, con bajo punto de fusión. En este enfoque, durante la operación de soldadura se usa un material de relleno de Zn sin fundente en una atmósfera al aire o se usa un revestimiento de Zn sobre el componente de acero. Además, se puede usar un aporte de calor bajo en combinación. Un problema con el uso del Zn es que tiende evaporarse durante la soldadura con láser. Además, el Zn reduce la resistencia a la corrosión de la región de la unión porque tiene un potencial de corrosión muy negativo.

El documento de patente JP04768487B2 describe un método para obtener una estructura compuesta de aluminio y acero para vehículos a motor que implica la fusión de una capa de aluminio de una aleación AA5182 sobre una placa de acero usando un rayo láser sin fundente.

El documento de patente US-A-4.814.022 describe una aleación de aluminio que se puede soldar que comprende Si y Mg definida por un trapecio que tiene coordenadas en; Si 0,5, Mg 0,1; Si 0,5, Mg 0,2; Si 1,3, Mg 0,5; Si 1,3, Mg 0,1. Además, la aleación contiene Cu entre 0,1 y 0,5. La composición se controla para limitar la precipitación de Mg₂Si durante la solidificación después de la fundición y los precipitados de Mg₂Si desarrollados en la aleación, y necesario para el refuerzo, aparecen después de tratamientos térmicos posteriores. Aunque se describe como una aleación que se puede soldar, los ejemplos describen que la aleación se está soldando a sí misma, no a un componente de acero.

El documento de patente US-A-4.808.247 describe un proceso para fabricar aleaciones de Al-Si-Cu-Mg que implica la aplicación de una etapa de atemperado final donde las aleaciones que se describen se calientan entre 60-360 °C, se mantienen a esa temperatura durante un periodo de tiempo, y se enfrían de una manera controlada. Se describen tres aleaciones, de las cuales todas contienen Mg para promover la formación de precipitados de refuerzo de Mg₂Si.

El documento de patente US-A-5.582.660 describe una aleación para uso en una lámina de automoción que comprende la siguiente composición; Si > 1,0 aproximadamente 1,3, Mg > 0,25 a aproximadamente 0,60, Cu de aproximadamente 0,5 a aproximadamente 1,8, Mn de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,1, Fe de aproximadamente 0,01 a aproximadamente 0,2, siendo el balance básicamente aluminio y elementos secundarios e impurezas. La presencia de Mg en combinación con Si es básica para la formación de precipitados de refuerzo de Mg₂Si.

El documento de patente WO 98/14626 se refiere a aleaciones de aluminio de la serie 6000 (del registro de la Aluminum Association Inc.) y al uso de dichas aleaciones en la producción de hojas de laminado para fabricar componentes para uso en vehículos. Composición de la hoja de laminado en % peso: Si de 0,8 a 1,5; Mg de 0,2 a 0,7; Fe de 0,2 a 0,5; Mn de 0,01 a 0,1; Cu hasta 0,25; Cr hasta 0,1; Zn hasta 0,4; V hasta 0,2; el balance de Al, se puede producir a velocidades elevadas en la línea en una forma que tiene tamaño de grano fino equiaxial y buena maleabilidad. La hoja de laminado es adecuada para la conformación con prensa en paneles exteriores de automóviles y láminas de cierre.

Además, los investigadores han considerado el uso de aleaciones de soldadura de Al-Si, tal como demuestra en el artículo "The Characterisation of the Intermetallic Fe-Al Layer of Steel-Aluminium Weldings" de Potesser *et al.*, publicado en el Congreso EPD, 2006.

Se han hecho recomendaciones adicionales para reducir el espesor de la zona de superficie de contacto creada cuando se une el aluminio al acero, pero esto requiere un control de la ventana durante el proceso muy ajustado durante la soldadura y es extremadamente difícil conseguirlo en una escala de producción.

A pesar de estas propuestas, sigue existiendo un requisito sin satisfacer significativo para mejorar la calidad de una unión entre un producto de aleación de aluminio y un producto de aleación de acero.

Es un objetivo de la invención proporcionar una aleación de aluminio que se pueda soldar a una aleación de acero sin el uso de una aleación de relleno y que proporciona una superficie de contacto que posee una resistencia razonable y un mecanismo de fractura dúctil.

Se describe una aleación de aluminio que comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:

65	Si	0,25 - 1,5
	Cu	0,3 - 1,5
	Fe	hasta 0,5

ES 2 501 041 T5

Mg < 0,2
Mn hasta 0,2

5 impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menor o igual que 0,15 en un balance total de aluminio

10 En contraste con las soluciones de la técnica anterior al problema técnico, los inventores han adaptado la composición de aleación de aluminio para mejorar la humectabilidad de la aleación de aluminio, para reducir la susceptibilidad de la aleación a la falta de termofraccionamiento en caliente, para modificar la difusión del Fe desde el acero en el producto de aleación de aluminio y para modificar el tipo de compuesto intermetálico formado de modo que la fase FeAl se ve favorecida cerca del acero en lugar de la de tipo FeAl₃. La superficie de contacto se caracteriza por una densa capa intermetálica que comprende dos tipos intermetálicos, FeAl y Fe₂Al₅, con FeAl en la zona adyacente a la aleación de acero. Además, en contraste con la técnica anterior, la región de la superficie de contacto creada con esta aleación es relativamente grande, y comprende 3 zonas distintas. Esta zona de superficie de contacto más gruesa permite el uso de parámetros de procesamiento más amplios, lo que convierte a la nueva aleación en adecuada para una producción industrial a gran escala.

20 Se añade Si a la aleación para reducir la temperatura de sólidos y para mejorar la humectabilidad. Por estas razones, el límite inferior del Si se establece en 0,25. Además, las adiciones de Si ayudan a reducir la susceptibilidad de formación de grietas en caliente después de la soldadura y un límite inferior preferente para el Si es 0,5. El límite superior del Si se establece en 1,5 porque un nivel de Si más elevado favorece la formación de compuestos intermetálicos de tipo Al(Fe₃, Si) y tiene un efecto negativo en la ductilidad y el límite superior preferente del Si es 1,25.

25 Además, se añade Cu a la aleación para reducir la temperatura de sólidos y para mejorar la humectabilidad pero también se añade para modificar el tipo intermetálico Al-Fe. Por estas razones, el límite inferior del contenido de Cu se establece en 0,3. Sin embargo, la cantidad de Cu no debería ser demasiado elevada porque un contenido de Cu más elevado aumenta el riesgo de termofraccionamiento en caliente. Además, los contenidos de Cu más elevados también reducen la ductilidad en la unión. Por estas razones, el límite superior del Cu se establece en 1,5 aunque en algunas situaciones se puede desear el ajuste de un límite superior para el Cu en 1,25.

35 Aunque el Mg en combinación con Si conduciría a la formación de precipitados de Mg₂Si de refuerzo, aquí esto no es útil porque el Mg no contribuye a la mejora de la calidad de la unión. Dado que el contenido de Mg está aumentado, existen disminuciones en la ductilidad en la unión, en la maleabilidad de la aleación y en la calidad de la soldadura, porosidad y termofraccionamiento. Se puede tolerar una pequeña cantidad de Mg, (para adaptarse al reciclado de restos), pero el contenido de Mg debería ser < 0,1.

40 Además, el Mn no produce impacto significativo en la susceptibilidad del termofraccionamiento en caliente o en la maleabilidad, pero puede estar presente en el metal reciclado a partir de otras fuentes. Aquí se puede tolerar en cantidades más elevadas de lo que sería el caso para otros elementos. Por esta razón, el límite superior para el Mn se establece en 0,2.

45 Otros elementos tales como, pero no limitados a, Zn, Ni, Ti, B, Cr y V pueden estar presentes en forma de elementos traza o impurezas inevitables o, en el caso de Ti y B, a través de la adición de refinadores del grano. Cada uno de dichos elementos traza o impurezas inevitables o elemento de refinado del grano está presente en una cantidad inferior a 0,05 cada uno e inferior a 0,15 en total. El balance de la aleación es aluminio.

50 De acuerdo con la invención, se proporciona una lámina de aluminio compuesta, comprendiendo dicha lámina de aleación de aluminio compuesta un núcleo y al menos una capa de revestimiento donde la capa de revestimiento comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:

Si 0,25 - 1,5
Cu 0,3 - 1,5
Fe hasta 0,5
55 Mg < 0,1
Mn hasta 0,2

60 impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menor o igual que 0,15 en un balance total de aluminio.

65 En el contexto de las láminas compuestas, el término capa de "núcleo" se usa para indicar que la aleación contribuye principalmente a las propiedades generales de la lámina compuesta y el término "revestimiento" se usa para indicar la aleación en la superficie que proporciona propiedades de superficie a la lámina compuesta. Las láminas compuestas pueden comprender una sola capa de revestimiento o una sola capa de núcleo, aunque más a menudo comprenden dos capas de revestimiento sobre cada lado de la única capa de núcleo. Por lo general, las capas de revestimiento son más finas que la capa núcleo, por sí mismas y en forma de un total combinado.

5 Cuando la aleación se usa como una capa de revestimiento en una lámina compuesta, la capa de núcleo puede ser una aleación de la serie 6XXX o una aleación de la serie 5XXX tal como se entiende por referencia a las Láminas de color Verde Azulado de la Aluminum Association. Si la capa de núcleo es una aleación de la serie 6XXX, se puede seleccionar entre el grupo que consiste en AA6016, AA6016A, AA6014, AA6011, AA6111, AA6009, AA6010, AA6022 y AA6451. Si la capa de núcleo es una aleación de la serie 5XXX, se puede seleccionar entre el grupo que consiste en AA5005, AA5152, AA5052, AA5018, AA5454, AA5754, AA5056, AA 5456, AA5182, AA5186, AA5059, AA5083 y AA5383. una ventaja del uso de la nueva aleación en una lámina compuesta, donde el núcleo es una aleación de resistencia elevada, es que toda la lámina es mucho menos susceptible a la dispersión durante el procesamiento posterior de la carrocería del vehículo tal como, por ejemplo, durante el tratamiento térmico del secado al horno de la pintura.

15 De acuerdo con la invención, se proporciona una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aleación de aluminio unida a la misma y donde el componente de aleación de aluminio se prepara a partir de una aleación de aluminio que comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:

	Si	0,25 - 1,5
	Cu	0,3 - 1,5
	Fe	hasta 0,5
20	Mg	< 0,1
	Mn	hasta 0,2

impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menor o igual que 0,15 en un balance total de aluminio.

25 De acuerdo con la invención, se proporciona una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aleación de aluminio unida a la misma y donde el componente de aleación de aluminio se prepara a partir de una lámina de aleación de aluminio compuesta que comprende un núcleo y al menos una capa de revestimiento donde la capa de revestimiento comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:

	Si	0,25 - 1,5
	Cu	0,3 - 1,5
	Fe	hasta 0,5
35	Mg	< 0,1
	Mn	hasta 0,2

impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menor o igual que 0,15 en un balance total de aluminio.

40 Para el fin de la presente invención, el término "unida" pretende hacer referencia a una unión resultante de un proceso térmico que funciona a una temperatura que provoca la fusión de al menos una parte del componente de aleación de la invención. El proceso térmico usado no conduce a la fusión del componente de acero. Por lo tanto, la "soldadura", en el sentido clásico de coalescencia de dos o más metales fundidos, no se produce. Dado que no es necesario el uso de un fundente, (aunque se podría usar), el proceso no es la soldadura con latón clásica aunque se puede describir el proceso como soldadura con latón sin fundente. Otros inventores han usado la expresión "soldadura con latón". Con la aplicación de suficiente calor, lo más convenientemente de un láser pero de forma posible a partir de otras fuentes, la aleación del componente de aluminio se funde y reacciona con las capas superficiales del componente de acero, incluyendo el revestimiento de cinc, si dicho revestimiento está presente. La temperatura es lo suficientemente elevada como para que se produzca la difusión de Fe del componente de acero en el aluminio fundido y, cuando el aluminio fundido se enfría y se solidifica, se forma una serie de capas ricas en compuestos intermetálicos con la relación Al/Fe aumentando a medida que aumenta la distancia desde el componente de acero.

55 De acuerdo con la invención, se proporciona un método para preparar una estructura unida donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aleación de aluminio y donde los componentes de la aleación de acero y aluminio se unen mediante un proceso térmico que hace que al menos una parte del componente de aluminio se funda y donde se prepara el componente de aleación de aluminio a partir de una aleación que tiene la siguiente composición:

60	Si	0,25 - 1,5
	Cu	0,3 - 1,5
	Fe	hasta 0,5
	Mg	< 0,1
	Mn	hasta 0,2

65 impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menores o iguales que 0,15 en el balance total de

aluminio.

5 La aleación de aluminio está destinada al uso principal en forma de lámina. La persona experta entenderá que la aleación se puede proporcionar en otras formas de producto, tales como extrusiones, y que además se puede soldar a componentes de acero. Aunque el enfoque principal es para estructuras de automoción, el lector experto observará que la aleación, y su uso en estructuras unidas que incorporan acero, se puede aplicar en muchas aplicaciones diferentes en el sector del transporte, (marino, ferroviario, aeroespacial), así como en otras muchas aplicaciones industriales, (construcción, maquinaria de instalaciones, etc.).

10 En lo sucesivo, la invención se describirá con más detalle por referencia a los ejemplos y a las Figuras que muestran resultados de los ensayos realizados en realizaciones de la invención que se reivindica. Ni la descripción detallada ni las Figuras pretenden limitar el alcance de la protección que se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

15 La Figura 1 es una representación de una curva de tensión-desplazamiento para una aleación de acuerdo con la invención.

La Figura 2 es una representación del efecto del Cu en la temperatura de equilibrio de sólidos y líquidos.

20 La Figura 3 es una representación del efecto del Cu en la susceptibilidad al termofraccionamiento en caliente calculada.

La Figura 4 es una representación del efecto del Cu en la ductilidad en la unión.

25 La Figura 5 es una representación del efecto del Cu en la resistencia en la unión.

La Figura 6 es una representación del efecto del Si en la temperatura de equilibrio de sólidos y líquidos.

La Figura 7 es una representación del efecto del Si en la ductilidad en la unión.

30 La Figura 8 es una representación del efecto del Si en la resistencia en la unión.

La Figura 9 es una representación del efecto del Mg en la flexión y la elongación.

35 La Figura 10 es una representación del efecto del Mg en la calidad de la soldadura.

La Figura 11 es una representación del efecto del Mg en la ductilidad en la unión.

40 La Figura 12 muestra dos imágenes de la superficie de contacto producida cuando una aleación de AlSi10 se suelda a una lámina de acero que incluye análisis de fases.

La Figura 13 muestra dos imágenes de la superficie de contacto producida cuando una aleación de acuerdo con la invención se suelda a una lámina de acero que incluye análisis de fases.

45 La Figura 14 es una representación de las curvas de tensión-desplazamiento para dos láminas compuestas después de la unión al acero, una de acuerdo con la invención y la otra de acuerdo con la técnica anterior.

Ejemplo 1

50 La Tabla 1 indica las composiciones de las aleaciones fundidas en forma de lingotes pequeños, midiendo cada lingote 20 x 150 x 200 mm.

Tabla 1:

Muestra	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
1	0,50	0,30	0,46	< 0,01	< 0,01
2	0,51	0,19	1,02	< 0,01	< 0,01
3	0,51	0,31	1,48	< 0,01	< 0,01
4	0,005	0,20	0,99	< 0,01	< 0,01
5	0,98	0,20	1,02	< 0,01	< 0,01
6	1,48	0,20	0,98	< 0,01	< 0,01
7*	2,97	0,20	1,00	< 0,01	< 0,01

ES 2 501 041 T5

Muestra	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
8*	0,51	0,20	0,98	< 0,01	0,26
9*	0,51	0,20	0,99	< 0,01	0,50
10*	0,51	0,21	1,02	< 0,01	2,00
* comparativa					

Todas las aleaciones contenían menos de 0,05 de otros elementos individualmente y menos de 0,15 en total, siendo el balance de aluminio.

5 Los lingotes se homogeneizaron en un horno de aire a 550 °C durante 6 horas, se laminaron en caliente hasta 10 mm y se laminaron en frío hasta 1 mm. Las muestras de lámina se atemperaron a 430 °C durante 1 hora hasta provocar la recristalización. Se aplicó una operación de nivelado final a la lámina de 1 mm.

10 A continuación, las muestras de lámina se unieron mediante un proceso de soldadura con láser sin fundente hasta una lámina de 1 mm de acero de baja aleación revestida con una capa de cinc de 7 µm (galvanizada por inmersión en caliente) usando un láser de Nd-YAG con una potencia constante de 3 kW. La geometría de la unión era soldadura de cordón (Kehlnaht) con un ángulo de láser de 60° y ningún espacio entre las dos láminas. La velocidad del láser era de 4 m/min para todas las combinaciones de aleación.

15 El efecto composicional de los diferentes elementos en las temperaturas de equilibrio de sólidos y líquidos se calculó usando el software termodinámico comercial de JMatPro acoplado a una base de datos interna. La susceptibilidad al termofraccionamiento en caliente también se calculó en base al cálculo termodinámico de la evolución de la fracción sólida a través del intervalo de solidificación. En ambos casos, se usaron composiciones nominales de aleación.

20 Todas las muestras de las láminas unidas se sometieron una inspección con tinte penetrante (DPI) para evaluar la integridad visual de las uniones. La calidad de la unión con DPI se basó en un sistema de clasificación sencillo de 1 a 4, con 1 siendo bueno, 4 siendo malo (que contiene un gran número de grietas en caliente y/o porosidad gruesa).

25 La naturaleza y la distribución de los compuestos intermetálicos producidos en la zona de la superficie de contacto se evaluaron mediante análisis de SEM y EDX convencional.

30 Las muestras unidas también se sometieron a ensayo de tracción y cizallamiento en el solapamiento para evaluar la resistencia y la ductilidad de la fractura en la unión. El uso de curvas de tensión-deformación en dichas figuras no es apropiado porque la configuración del ensayo se refiere a que la tensión de tracción, y por lo tanto la deformación plástica, no es constante a través de la muestra. Los resultados de los ensayos de tracción en las uniones de cizallamiento en el solapamiento se presentan como tensión equivalente en la sección de aluminio frente a la distancia de sujeción a sujeción durante el ensayo, (en el presente documento se describe como recorrido estándar). La tensión equivalente dentro de la pieza de aluminio de la muestra unida es la fuerza nominal dividida por el área de sección transversal de la sección de aluminio. El recorrido estándar es una indicación de la ductilidad en la unión.

35 Algunas muestras se sometieron a ensayos de flexión en 3 puntos para evaluar la maleabilidad. La maleabilidad de las muestras se midió usando un ensayo de flexión basado en la norma DIN 50111, pero con ligeras modificaciones en el procedimiento. En este ensayo, una pieza de lámina de 60 mm x 60 mm, con una deformación previa anterior de un 10 % (estiramiento uniaxial), se colocó sobre dos rodillos cilíndricos, estando los rodillos separados mediante una distancia igual a dos veces el espesor de la lámina. El diámetro de cada rodillo era de 30 mm. Bajo carga, una barra de troquel con forma de huso de 100 mm de anchura empuja la lámina al espacio entre los rodillos. Se mide la fuerza del troquel así como el desplazamiento. En el punto de la deformación plástica, (es decir, el comienzo del agrietamiento), la carga necesaria para deformar la lámina se reduce, la fuerza del troquel se reduce y el ensayo se detiene automáticamente. Por lo tanto, la lámina sometida a ensayo se deforma en una lámina en forma de V y se mide el ángulo interno de la V. En este ensayo, un ángulo menor se traduce en una maleabilidad de la lámina mejor. Este ensayo, (denominado en lo sucesivo en el presente documento "el ensayo modificado de la norma DIN 50111"), es preferente a otros ensayos de maleabilidad porque los resultados no dependen tanto, si acaso, del criterio del operario.

50 Las muestras 1-3 ilustran el efecto del Cu en el rendimiento de las aleaciones. Las muestras 2 con 5-7 ilustran el efecto del Si en el rendimiento. Las muestras 2 con 8-10 ilustran el efecto del Mg en el rendimiento.

55 La Figura 1 muestra la curva de tensión-desplazamiento para la muestra 2 después de la unión. El recorrido estándar de la pieza de ensayo, proporcional a la elongación es muy elevado, lo que indica un modo de fractura dúctil que también era evidente en la superficie de fractura.

Efecto del Cu. La Figura 2 muestra el efecto del aumento del contenido de Cu en una composición de base de base de Al 0,5 Si en el sólido de las aleaciones. La adición de Cu reduce la temperatura de sólido y mejora la

humectabilidad. La Figura 3 muestra el efecto del Cu en la susceptibilidad al termofraccionamiento en caliente con un termofraccionamiento en caliente más probablemente a medida que el contenido de Cu aumenta hasta un 1,5 %. La Figura 4 muestra el efecto del Cu en la ductilidad en la unión. La Figura 5 muestra el efecto del Cu en la resistencia a la fractura de la unión. El aumento de Cu de un 0,5 a un 1,0 % aumenta la resistencia a la fractura pero fracasa de nuevo ligeramente si el contenido de Cu aumenta hacia un 1,5 %. A partir de las Figuras 3, 4 y 5 los inventores pueden observar que el contenido de Cu no debería ser > 1,5 % y es preferentemente de hasta un 1,25 %.

Efecto del Si. La Figura 6 muestra el efecto del aumento del contenido de Si a una composición de base de Al 1,0 Cu en el sólido de las aleaciones. La adición de Si reduce la temperatura de sólido y mejora la humectabilidad. La Figura 7 muestra el efecto del Si en la ductilidad en la unión. El aumento del contenido hasta un 1,0 % mejora la ductilidad de la unión pero existe una disminución rápida en la ductilidad de la unión a medida que el contenido aumenta a un 1,5 % y superior. La Figura 8 muestra que el aumento del contenido de Si conduce a un aumento de la resistencia a la fractura en la unión hasta una adición de un 1 % pero la resistencia a la fractura disminuye si se añade más Si. A partir de las Figuras 7 y 8, los inventores pueden observar que el Si se debería limitar a no más de un 1,5 % y preferentemente no de un 1,25 % para mantener buenas cualidades de la unión en términos de ductilidad y resistencia a la fractura.

Efecto del Mg. La Figura 9 muestra el efecto del contenido de Mg en la capacidad de flexión tal como se mide usando el ensayo modificado de la norma DIN 50111. El efecto en la elongación es mínimo. A medida que el contenido de Mg aumenta, la capacidad de flexión de las muestras deformadas previamente en un 10 % disminuye hacia un contenido de Mg de 0,5 pero a continuación mejora de nuevo a medida que el contenido de Mg se eleva adicionalmente a un 2 %. La Figura 10 muestra el efecto del contenido de Mg en la calidad visual de la soldadura después de DPI. Las adiciones de Mg a partir de básicamente nada de Mg a 0,5 de Mg conducen a una calidad de soldadura peor, (porosidad gruesa y la presencia de grietas en la soldadura), pero la calidad de la soldadura mejora de nuevo cuando se añade un 2 % de Mg. El efecto del Mg en la ductilidad de la soldadura se muestra en la Figura 11 y el aumento del contenido de Mg disminuye la ductilidad de la soldadura. Por estas razones, el contenido de Mg es < 0,1.

Las Figuras 12, a) y b), muestran imágenes de SEM de la superficie de contacto observada con aleaciones de AlSi10 (muestra 0) unidas al acero. En la superficie de contacto producida con aleaciones AlSi10, el ancho de la superficie de contacto es de aproximadamente 10 µm y la región inmediatamente a continuación de la aleación de acero comprende una zona intermetálica dominada por el FeAl₃ (relación de Al/Fe elevada, en % atómico). La estructura frágil se demuestra mediante la cantidad elevada de microgrietas en la capa. Las Figuras 13, a) y b), muestran imágenes de SEM y espectros de EDX de la superficie de contacto producida cuando la muestra 2 se unió al acero. El ancho de la superficie de contacto es de aproximadamente 20 µm y la imagen pone de manifiesto una capa intermetálica densa y sin grietas. El análisis de EDX muestra claramente que la capa intermetálica continua en la superficie de contacto está formada por dos fases con diversas relaciones de Al/Fe. Están presentes una tercera región en la parte superior de la capa, con compuestos intermetálicos en el espacio de las agujas y una relación de Al/Fe más elevada. Los primeros dos tipos intermetálicos están próximos a la estequiometría del FeAl y del Fe₂Al₅, mientras que el tercer tipo está próximo al FeAl₃ más frágil. Existen diferencias fundamentales entre las superficies de contacto que incluyen la presencia de una capa de tipo FeAl adyacente al componente de acero cuando el componente de acero se une a la aleación de la invención.

Ejemplo 2

Se produjeron dos productos de lámina compuesta cuando la capa de "núcleo" era una aleación AA6016 y se aplicó una sola capa de "revestimiento" de cualquiera de las aleaciones de Al-Si de la técnica anterior o una aleación de Al-Cu-Si descrita anteriormente. Las capas de revestimiento de cada muestra representaban un 10 %, (+/- 1 %), del espesor total de la lámina. Las composiciones de aleación de cada capa se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2:

Muestra	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
Aleación de núcleo	0,61	0,18	0,15	0,05	0,67
Revestimiento 11 *	9,91	0,11	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Revestimiento 12	0,51	0,17	0,98	0,06	< 0,01
* comparativa					

Los lingotes se homogeneizaron en un horno de aire a 550 °C durante 6 horas, se laminaron en caliente hasta 10 mm y se laminaron en frío hasta 1 mm. Las muestras de lámina se trataron con calor en solución a 540 °C durante 40 s, se enfriaron rápidamente con ventiladores de aire y a continuación se envejecieron previamente manteniendo las muestras a 100 °C durante 1 hora.

ES 2 501 041 T5

- Se permitió que algunas muestras envejecieron de forma natural en la condición T4PX después de ser sometidas a una deformación previa de un 10 %, una simulación de una operación de formación habitual. Otras muestras se envejecieron adicionalmente en la condición T8X (secado al horno de pintura) sometiéndolas a una deformación previa de un 2 % seguido de un envejecimiento a 185 °C durante 20 minutos y además se prepararon más muestras en el templeado T62 sometiéndolas a un tratamiento térmico a 205 °C durante 30 minutos. Las propiedades mecánicas para la muestra 12 en tres condiciones de templeado diferentes se resumen en la Tabla 3.

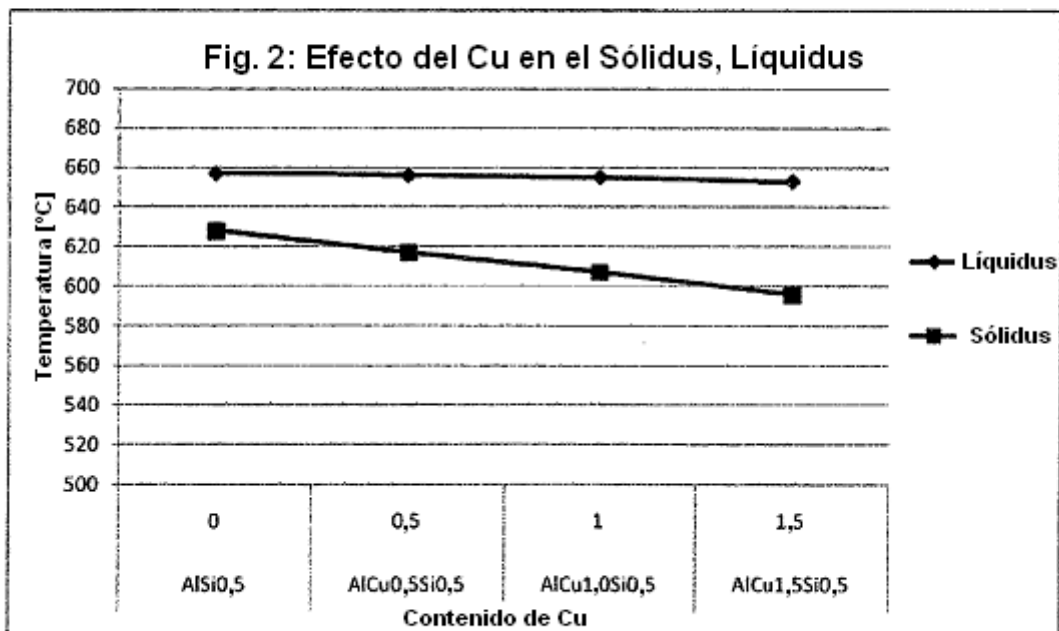
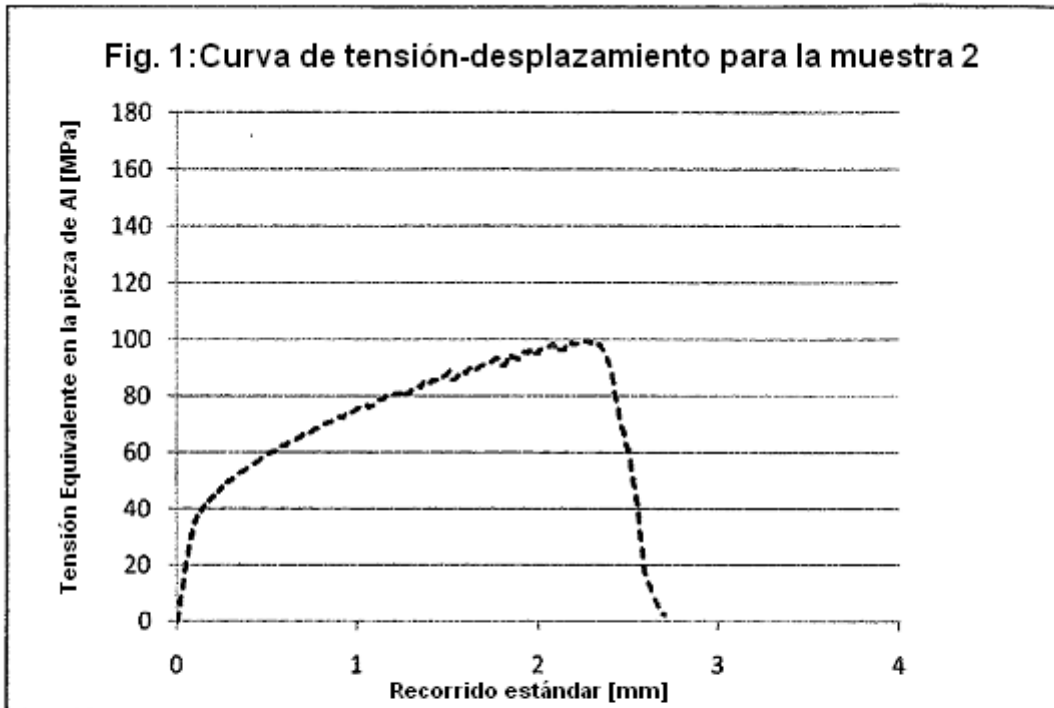
Tabla 3:

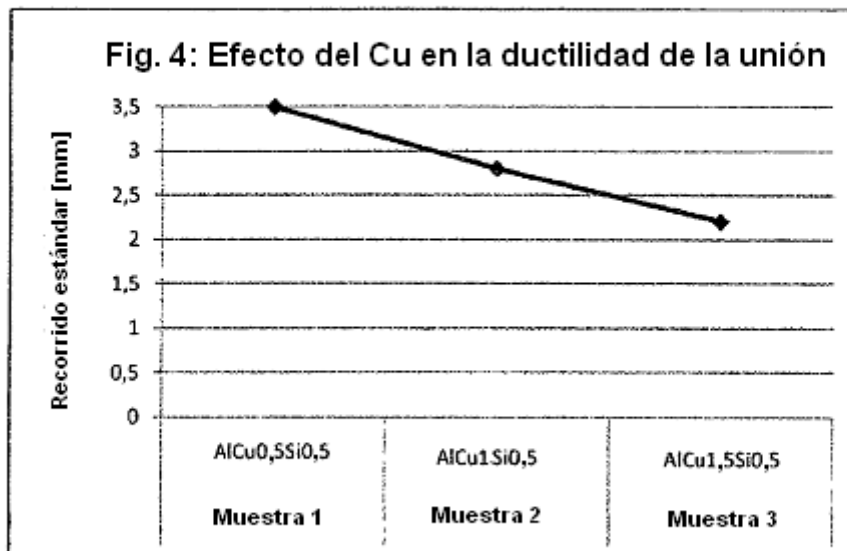
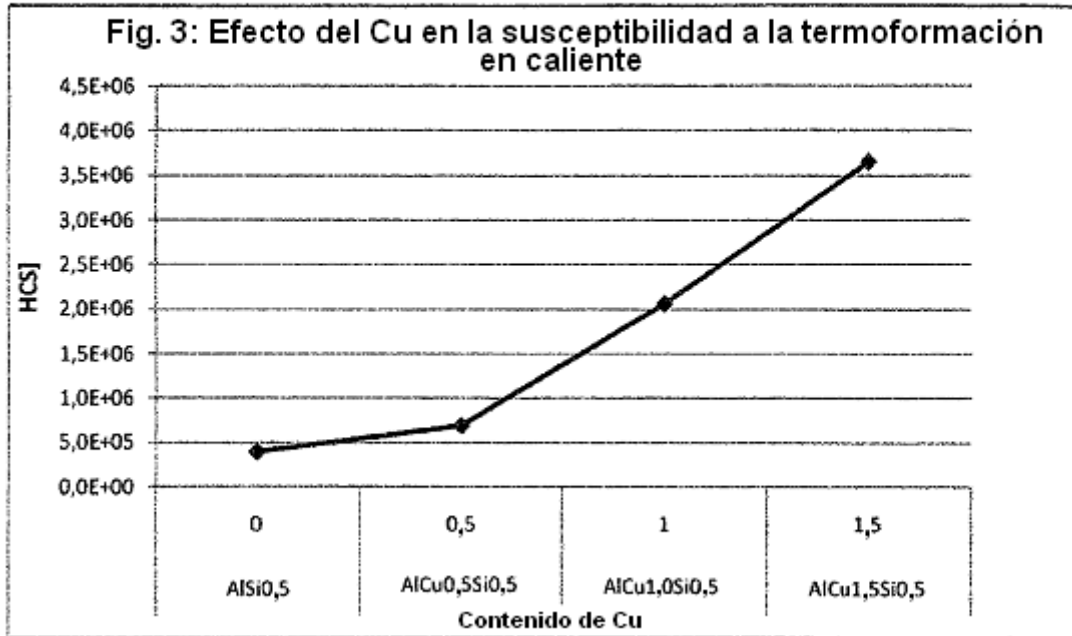
T4PX				T8X			T62		
Rp0,2	Rm	A80	Ángulo de flexión DC	Rp0,2	Rm	A80	Rp0,2	Rm	A80
MPa	MPa	%	°	MPa	MPa	%	MPa	MPa	%
112	227	25,6	15	218	281	19,1	242	289	13,5
A continuación, se unieron a la lámina de acero en las mismas condiciones de soldadura con láser tal como se ha descrito en el ejemplo 1. Las piezas unidas se sometieron a ensayo mecánicamente para evaluar la resistencia y la ductilidad de la unión.									

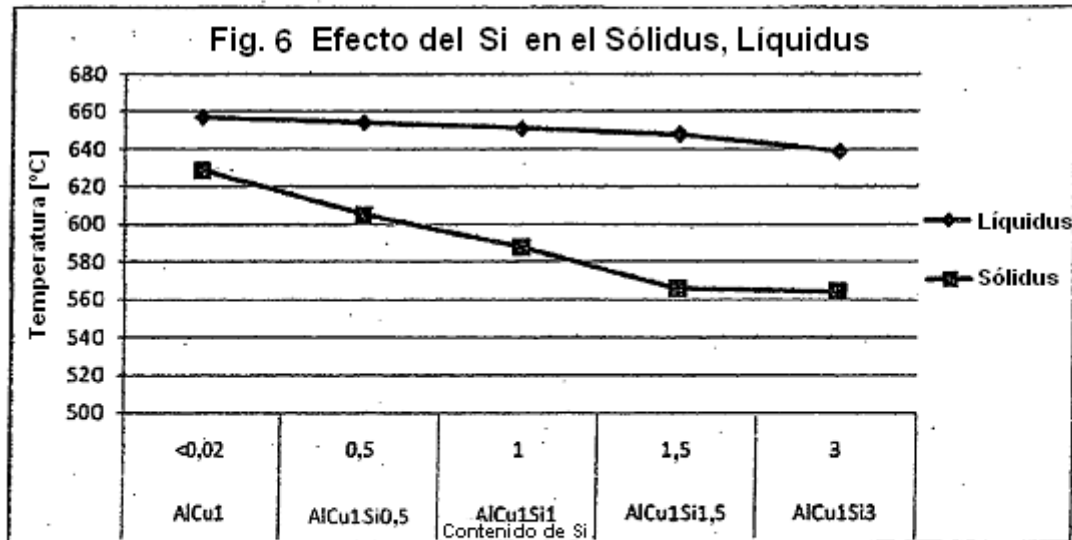
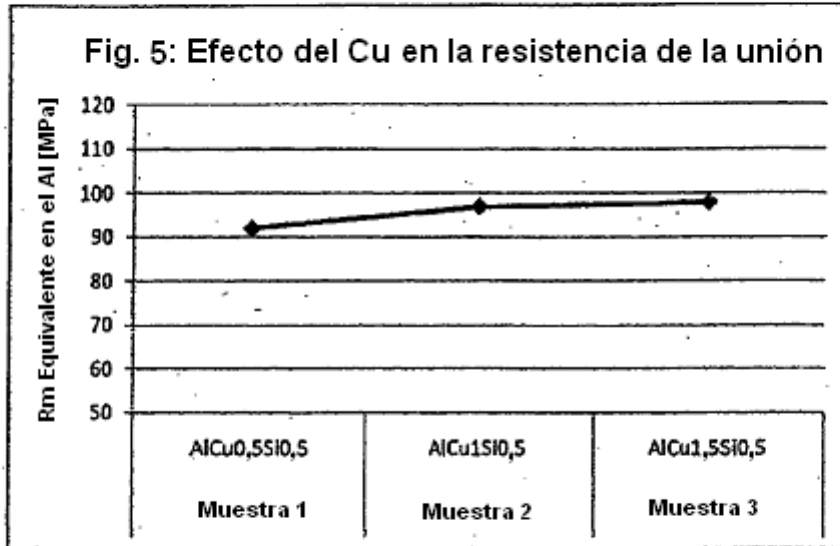
- 10 La curva de tensión-deformación de la Figura 14 muestra los resultados tanto para la muestra 11 como para la 12. En el caso de la muestra 12, la curva es para el producto en la condición T8X. Existe una mejora espectacular de la resistencia alcanzada y de la ductilidad para el producto de acuerdo con la invención en comparación con estas cualidades para una muestra de acuerdo con la técnica anterior.

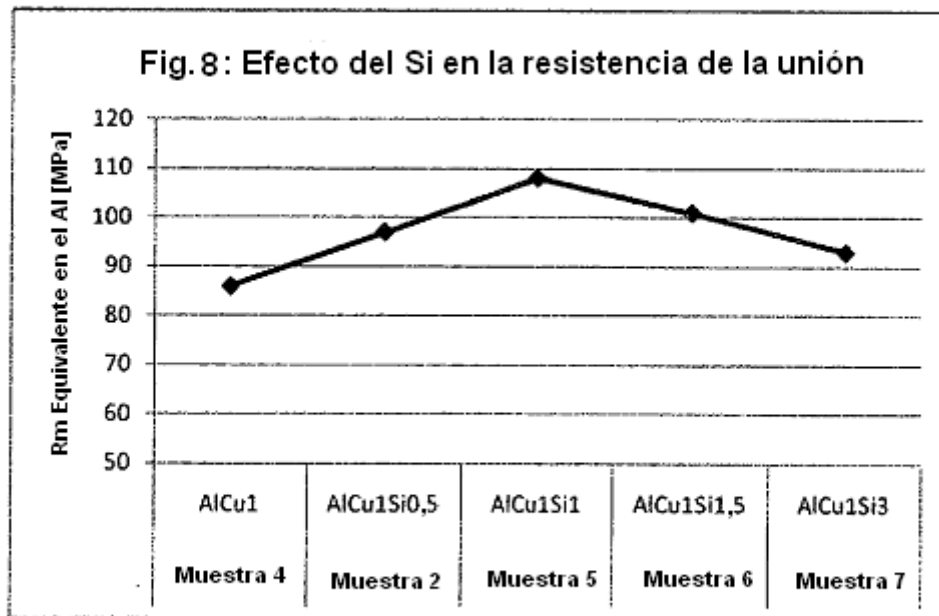
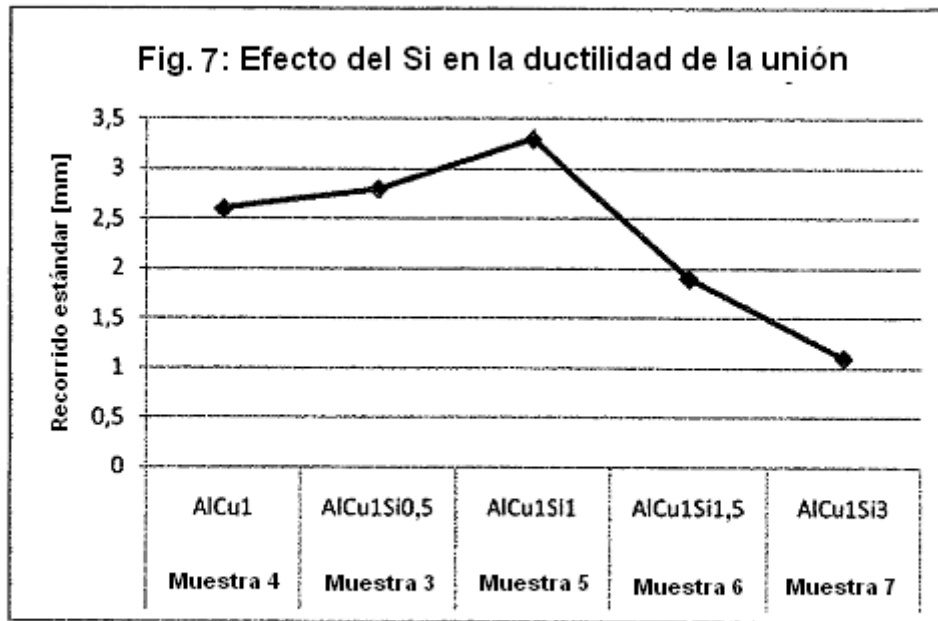
REIVINDICACIONES

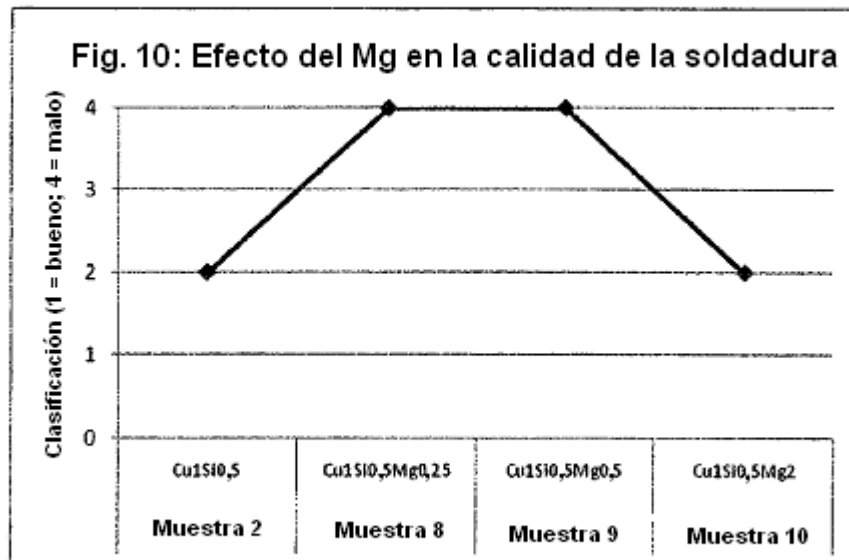
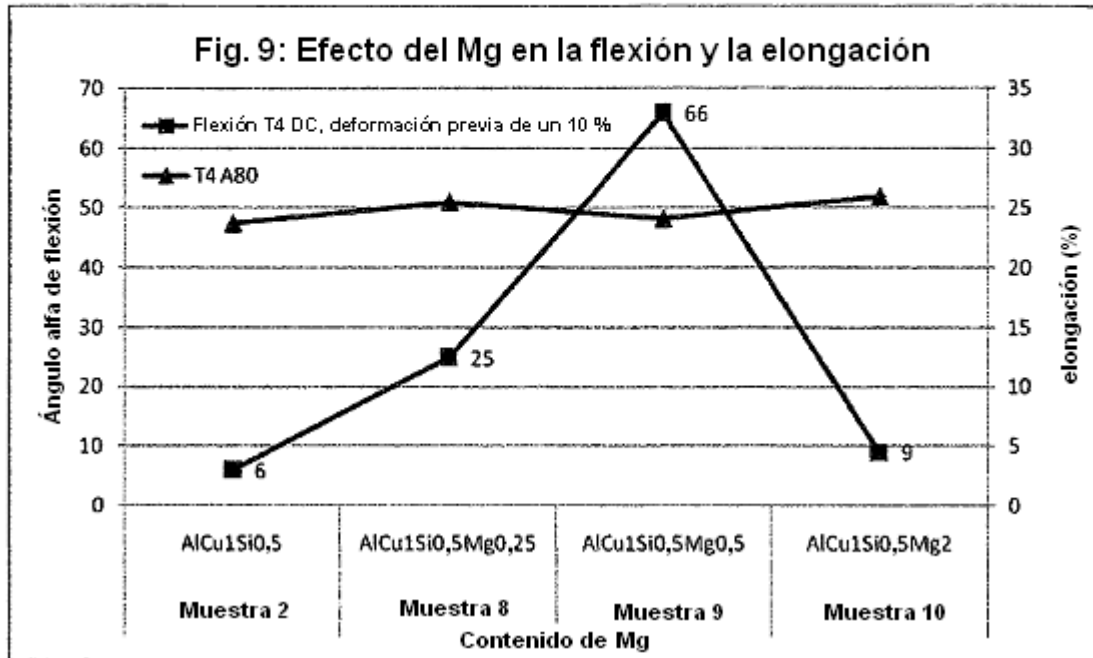
1. Una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aleación de aluminio unido a la misma y donde el componente de aleación de aluminio se prepara a partir de una aleación de aluminio que comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:
- 5
- | | | |
|----|----|------------|
| | Si | 0,25 - 1,5 |
| | Cu | 0,3 - 1,5 |
| | Fe | hasta 0,5 |
| 10 | Mg | < 0,1 |
| | Mn | hasta 0,2 |
- impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menores o iguales que 0,15 en el balance total de aluminio.
- 15 2. Una estructura unida de acuerdo con la reivindicación 1 donde la zona de la superficie de contacto entre el componente de acero y el componente de aleación de aluminio se **caracteriza por** una capa de FeAl adyacente al componente de acero.
3. Un producto de lámina de aluminio compuesta que comprende una capa de núcleo y al menos una capa de revestimiento, donde la al menos una capa de revestimiento es una aleación de aluminio que comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:
- 20
- | | | |
|----|----|------------|
| | Si | 0,25 - 1,5 |
| | Cu | 0,3 - 1,5 |
| 25 | Fe | hasta 0,5 |
| | Mg | < 0,1 |
| | Mn | hasta 0,2 |
- impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menores o iguales que 0,15 en el balance total de aluminio.
- 30 4. Un producto de lámina de aluminio compuesta de acuerdo con la reivindicación 3 donde la capa de núcleo se prepara a partir de una aleación seleccionada entre el grupo de aleaciones de las series 5XXX y 6XXX.
5. Un producto de lámina de aluminio compuesta de acuerdo con la reivindicación 4 donde la capa de núcleo se prepara a partir de una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en AA6016, AA6016A, AA6014, AA6011, AA6111, AA6009, AA6010, AA6022 y AA6451.
- 35 6. Un producto de lámina de aluminio compuesta de acuerdo con la reivindicación 4 donde la capa de núcleo se prepara a partir de una aleación seleccionada entre el grupo que consiste en AA5005, AA5152, AA5052, AA5018, AA5454, AA5754, AA5056, AA 5456, AA5182, AA5186, AA5059, AA5083 y AA5383.
- 40 7. Una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aleación de aluminio unida a la misma y donde el componente de aleación de aluminio se prepara a partir de un producto de lámina de aluminio compuesta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6.
- 45 8. Un método para preparar una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aluminio y donde los componentes de acero y aluminio se unen mediante un proceso térmico que hace que al menos una parte del componente de aluminio se funda y donde el componente de aluminio se prepara a partir de una aleación que comprende la siguiente composición, todos los valores en % en peso:
- 50
- | | | |
|----|----|------------|
| | Si | 0,25 - 1,5 |
| | Cu | 0,3 - 1,5 |
| | Fe | hasta 0,5 |
| | Mg | < 0,1 |
| 55 | Mn | hasta 0,2 |
- impurezas inevitables menores o iguales que 0,05 cada una o menores o iguales que 0,15 en el balance total de aluminio.
- 60 9. Un método para preparar una estructura unida, donde la estructura unida comprende un componente de acero y un componente de aluminio y donde los componentes de acero y aluminio se unen mediante un proceso térmico que hace que al menos una parte del componente de aluminio se funda y donde el componente de aluminio se prepara a partir de un producto de lámina de aluminio compuesta de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6.
- 65 10. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 8 o 9 donde el proceso térmico es soldadura con láser.











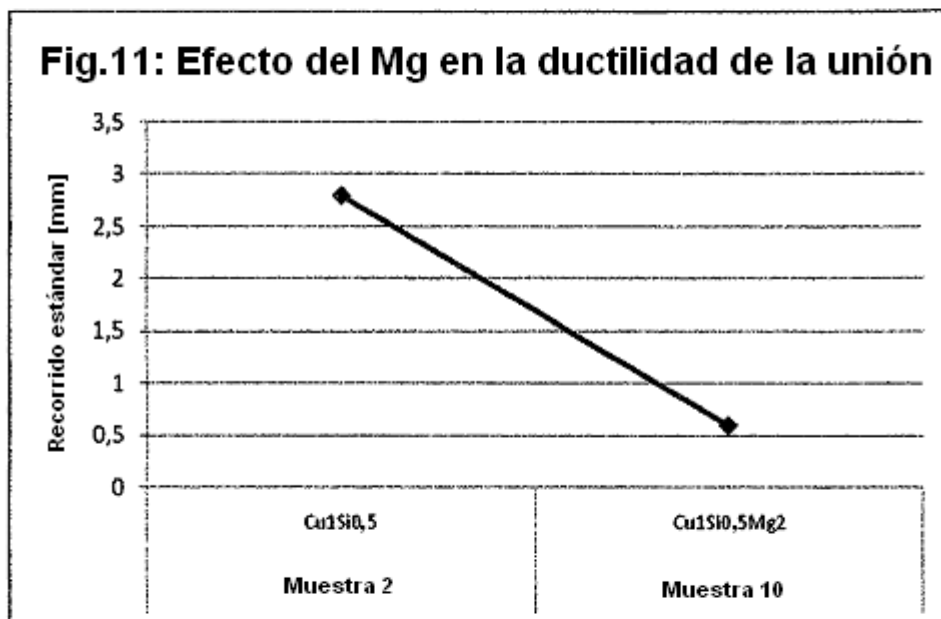


Fig 12a - imagen micrográfica de la superficie de contacto con la aleación de AlSi10

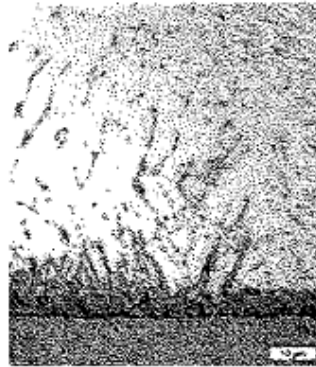


Fig. 12b - imagen micrográfica de la superficie de contacto con la aleación de AlSi10 con análisis de fases

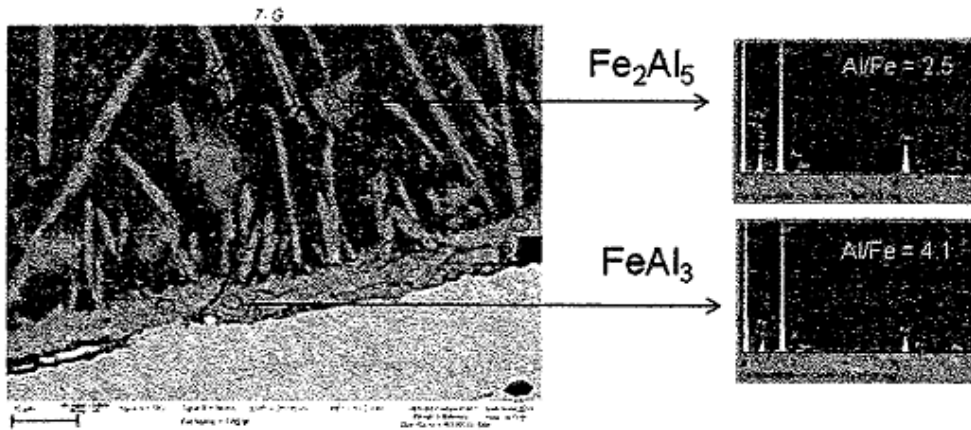


Fig. 13a - imagen micrográfica de la superficie de contacto de acuerdo con la invención

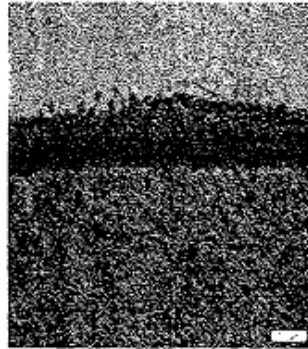


Fig. 13b - imagen micrográfica de la superficie de contacto de acuerdo con la invención con análisis de fases

