



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 366 369**

⑮ Int. Cl.:

B23K 26/32 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Número de solicitud europea: **05772704 .2**

⑯ Fecha de presentación : **18.08.2005**

⑯ Número de publicación de la solicitud: **1784277**

⑯ Fecha de publicación de la solicitud: **16.05.2007**

⑭ Título: **Procedimiento de soldadura a solapa mediante soldadura por radiación, en especial mediante soldadura con láser, en chapas recubiertas, en especial chapas galvanizadas de acero.**

⑩ Prioridad: **27.08.2004 DE 10 2004 041 502**

⑬ Titular/es: **AUDI AKTIENGESELLSCHAFT
85045 Ingolstadt, DE
BLZ Bayerisches Laserzentrum Gemeinnützige
Forschungsges mbH**

⑮ Fecha de publicación de la mención BOP: **19.10.2011**

⑭ Inventor/es: **Bloehs, Wolfgang;
Otto, Andreas;
Schmidt, Michael;
Albert, Florian;
Esser, Gerd y
Geiger, Manfred**

⑮ Fecha de la publicación del folleto de la patente: **19.10.2011**

⑭ Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de soldadura a solapa mediante soldadura por radiación, en especial mediante soldadura con láser, en chapas recubiertas, en especial en chapas galvanizadas de acero

5 La invención se refiere a un procedimiento de soldadura a solapa mediante soldadura por radiación, según el preámbulo de la reivindicación 1.

10 En el procedimiento de soldadura a solapa, al menos dos chapas están situadas una sobre otra en una zona de solapamiento, y se unen una con otra mediante una aportación de energía y fusión del material de la chapa, y subsiguiente enfriamiento. Para ello, en especial en la construcción de carrocerías de vehículos, junto a la en general conocida soldadura por puntos por resistencia, se emplean cada vez más procedimientos de soldadura por radiación, suministrándose la energía de soldadura mediante un rayo energético controlado. Especial importancia acrecentada corresponde a la soldadura con láser, con las ventajas de una deformación mínima por soldadura, altas velocidades de soldadura, gran rigidez estructural y alta estabilidad dimensional. Como otros procedimientos de soldadura por radiación, entran en acción también, por ejemplo, procedimientos de soldadura por haz electrónico, y procedimientos de soldadura con chorro de plasma.

15 En el proceso generalmente conocido de soldadura con láser, se forma un baño de fusión que de conformidad con la velocidad de soldadura, se estira a lo largo de un cordón de soldadura, y que a través del material de la chapa superior, se extiende en el material de la chapa inferior. Aquí se evapora una parte del baño de fusión, y se genera un tubo capilar de vapor (keyhole) que se estira a lo largo del cordón de soldadura, a través del, y con el, baño de fusión. Se trata aquí de un proceso dinámico debido a modificaciones condicionadas por el proceso, en la tasa de evaporación y en la presión del entorno, pudiendo tender a colapsar el tubo capilar de vapor, unido además con notables defectos de soldadura, como gotitas, expulsiones, poros e insuficiente penetración de la soldadura. Un tubo capilar de vapor oscilante, a causa del plasma ionizado de vapor metálico que contiene, emite radiación electromagnética que se puede registrar y analizar mediante estructuras metrológicas apropiadas, en especial mediciones ópticas. Con ello también se puede determinar una zona de resonancia del tubo capilar vibrante de vapor, en la que el tubo capilar de vapor vibra tan energéticamente que colapsa regularmente con vibraciones caóticas del tubo capilar, lo cual conduce a considerables defectos de soldadura.

20 Tales zonas de resonancia están situadas, en cada caso según las condiciones límite, como tipo y grosor del material, potencia del láser, etc., para un proceso concreto de soldadura, aproximadamente en la zona de los kilohercios, y se pueden determinar empíricamente en correspondencia con el procedimiento antes citado.

25 30 Se ha mostrado que mediante una excitación desde el exterior, se puede convertir una vibración del tubo capilar, en sí misma inestable y caótica que conduce a considerables defectos de soldadura, en un sistema con dinámica estabilizada, que proporciona resultados de soldadura esencialmente mejores. Además, se conoce (documento WO 02060634 A1) variar la potencia del láser periódicamente con la frecuencia de resonancia determinada empíricamente del tubo capilar de vapor. Esto se basa en la consideración de que a un sistema oscilante se puede alimentar energía muy eficiente, por excitación en su frecuencia de resonancia, de manera que realice vibraciones estables en la frecuencia de resonancia, para una estabilización del proceso de soldadura. Soldaduras a solapa con un procedimiento semejante de soldadura con láser, se pueden controlar fácilmente con buenos resultados de soldadura, en caso de chapas no recubiertas que estén situadas de plano una junto a otra, sin rendija de soldadura en la zona de solapamiento.

40 45 50 No obstante, aparecen notables problemas fundamentales en soldaduras a solapa con procedimiento de soldadura por radiación, en especial con procedimientos de soldadura con láser, en chapas recubiertas, presentando el recubrimiento una temperatura de fusión y evaporación o de combustión, esencialmente menor que el material de la chapa, cuando en la zona de solapamiento, las superficies recubiertas están situadas de plano una sobre otra, sin una rendija de soldadura. Por zonas o visto microscópicamente, este efecto aparece también en chapas curvadas, cuando la adaptación de las chapas a unir está correspondientemente libre de rendijas en la zona de la juntura. Para la protección eficaz contra la corrosión, en especial en la construcción de carrocerías, se utilizan chapas recubiertas, como chapas galvanizadas de acero, en las que, en relación con las soldaduras con láser, el control técnico de la soldadura ocasiona un gasto considerable en la fabricación en serie.

55 Durante el proceso de soldadura, el acero de la chapa alcanza en la zona de soldadura al menos la temperatura de fusión que para aceros no aleados está situada en general en unos 1450°C. El recubrimiento de cinc posee un punto de fusión de 420°C y una temperatura de evaporación de 907°C. Durante el proceso de soldadura en la zona de solapamiento, en especial en el caso de superficies antagonistas recubiertas, situadas una junto a otra de plano o según su forma, aquella evaporación del cinc entre las placas, y su sobrecalentamiento subsiguiente, conduce a un crecimiento enorme del volumen y de la presión. De influencia decisiva es aquí la cantidad absoluta del material de recubrimiento (espesor total de la capa) que se encuentra en la rendija, con independencia de si dentro del plano de la juntura, sólo está recubierta la superficie de una chapa o las dos superficies de las chapas. Aquí el vapor de cinc en expansión fluye a alta presión y con gran velocidad, a través del baño de fusión, al aire libre, que representa el camino de menor resistencia de salida, lo cual conduce a expulsiones masivas y defectos del cordón — Un cordón

de soldadura con láser, así preparado, no conduce ni a una unión mecánica estable, ni a un cordón de soldadura aceptable ópticamente y, por consiguiente, no se puede emplear en la práctica.

Partiendo de las experiencias precedentes en soldaduras a solapa con el procedimiento con láser en el caso de chapas galvanizadas de acero, cuando estas están situadas una sobre otra de plano o según su forma, en la zona de solapamiento, sin rendija de soldadura, se conocen ya medidas con las que se puede mejorar la calidad del cordón de soldadura.

En los costosos procedimientos conocidos (documentos WO 9529033 A1; EP 365229 A1), antes del proceso de soldadura con láser, se retira localmente el recubrimiento en la zona de solapamiento allí donde, si no, las superficies antagonistas recubiertas, están situadas una junto a otra. De este modo se evita de antemano el problema causal de que después de todo se produzca un vapor de cinc en expansión entre las chapas, que escapa a través del baño de fusión. Con ello se reconduce el proceso de soldadura al bien controlable procedimiento de soldadura con láser con chapas no recubiertas, con ausencia de rendija de soldadura, es decir, con chapas situadas una junto a otra en la zona de solapamiento. Aquí es desventajosa la retirada extraordinariamente costosa del recubrimiento en la zona de solapamiento, así como la pérdida de la protección contra la corrosión, por la falta del recubrimiento en la zona de la soldadura.

En otro método conocido para la mejora de la calidad del cordón de la precedente soldadura a solapa en el caso de chapas galvanizadas (documentos US 4684779 A1; WO 9102621 A1), se intenta mediante la aplicación de un gas inerte protector con alta presión sobre el baño de fusión, impedir, o al menos reducir ampliamente, el escape de vapor de cinc en expansión a través del baño de fusión. Este es un procedimiento costoso que, además, en el caso de superficies antagonistas recubiertas que se solapan, situadas una junto a otra de plano o según su forma, tan sólo puede impedir condicionadamente el escape eruptivo de vapor de cinc en expansión a través del baño de fusión. Esta costosa medida instrumental está vinculada, además, con un consumo muy costoso de gas y, por causa de la aptitud limitada para aplicaciones especiales en casos particulares, no se ha podido introducir hasta ahora en la aplicación industrial.

Otra medida conocida para la mejora de la calidad del cordón de soldadura en las condiciones precedentes de soldadura (documento WO 0066314 A1), consiste en utilizar en una disposición bifocal, dos rayos láser que irradian los dos a una distancia pequeña a lo largo del cordón de soldadura, en un baño de fusión así aumentado. De este modo se deben de aumentar, la superficie de escape y el tiempo de escape para el vapor de cinc en expansión que sale del baño de fusión. De este modo el paso al aire libre se debe de llevar a cabo con menos violencia, y conducir a una reducción de expulsiones y defectos del cordón. Las mejoras del proceso, imaginables en el caso individual, evidentemente sólo se consiguen por lo regular a costa de una velocidad reducida de avance y, por tanto, vinculadas a una rentabilidad menor. Además, notoriamente la dinámica del tubo capilar de vapor es función, entre otros, del tipo y espesor del material, del espesor del recubrimiento, de la velocidad de avance, de la potencia del láser, etc. Por consiguiente, no hay que esperar que con una disposición rígida multifocal, se consigan resultados mejorados de soldadura, para diferentes condiciones de trabajo —como las que son típicas para las operaciones individuales en la fabricación de automóviles—. Se trataría más bien de una configuración óptica que esta optimizada en un único caso especial de aplicación (single use optic), y en otras situaciones de trabajo no tendría ningún efecto positivo. Alternativamente cabría imaginar con seguridad también, una disposición bifocal adaptativa ajustable, siendo evidentemente esta medida, costosa. En general la soldadura de chapas galvanizadas de acero con una disposición bifocal, todavía no ha encontrado aceptación ninguna en la producción industrial, por causa de la falta hasta ahora de comprobación de una amplia estabilización eficaz del proceso de soldadura.

La medida usual y acreditada actualmente, en especial en la construcción de vehículos, para la optimización de la calidad del cordón de soldadura en soldaduras a solapa de chapas galvanizadas de acero con el procedimiento de soldadura con láser, consiste en provocar un desgasificado controlado del vapor de cinc que sale de la zona de solapamiento de las superficies antagonistas situadas una contra otra, mediante la creación de un espacio de desgasificado, de manera que el desgasificado del cinc desde el espacio intermedio entre las chapas, no se lleve a cabo, o sólo lo haga muy poco, a través del baño de fusión. Para la creación de un espacio semejante de desgasificado, se conocen ya una multitud de propuestas, que terminan todas en prever, rendijas y/o cuñas radiales, y/o canales preparados antes del proceso de soldadura, en el punto de soldadura, o en su proximidad inmediata. En especial se preparan tales estructuras del espacio de desgasificado, mediante estampaciones con lugares puntuales de apoyo y/o puestas de canto, y/o abovedados diferentes en la zona de solapamiento. Por ejemplo, de la multitud de publicaciones existentes para esto, se hace referencia a los documentos DE 38 12 448 C1; DE 39 33 408 C2; EP 421091 B1; US 5104032 A1; US 4682002 A1; WO 04024385 A1; WO 03066273 A1; WO 0198017 A1; WO 0112378 A1; US 6359252 B1; EP 748268 B1; EP 771605 A2; EP 157913 A1; WO 9011161 A1; US 4916284 A1; DE 101 59 459 B4; DE 102 45 352 B3; EP 1422016 A2; EP 1372901 A1; EP 1003624 A1; EP 1005944.

A causa de las circunstancias precedentes es bien conocido al especialista para el procedimiento de soldadura con láser, desde hace mucho tiempo, por el estado actual de la técnica, que los posibles problemas por una formación eruptiva de gases de vapor de cinc en expansión a través del baño de fusión, en la soldadura a solapa de chapas galvanizadas de acero, se pueden prever haciendo que

- 5 a) se creen espacios definidos de desgasificado como rendijas, cuñas radiales o canales con anchura definidas del intersticio de aproximadamente $0,2 \pm 0,1$ mm. El límite inferior para la anchura del intersticio, está situado en aproximadamente 0,1 mm, puesto que para anchura del intersticio todavía menor, ya no es posible más, ningún desgasificado controlado del vapor de cinc a través de la rendija, y entonces se lleva a cabo el desgasificado a través del baño de fusión — por el contrario, en caso de anchuras del intersticio por encima de unos 0,3 mm (en un caso especial, también es posible 0,6 mm), se produce una incidencia muy fuerte sobre el cordón de soldadura, con un empeoramiento de las características mecánicas del cordón de soldadura. El gasto para garantizar una rendija semejante dentro de los precedentes límites estrechos, en unión con el trabajo preparatorio de la chapa y de la necesaria técnica de sujeción, con independencia de la correspondiente medida concreta utilizada en cada caso, en especial en la fabricación en gran serie de carrocerías y componentes de carrocería, es considerable y muy costoso.
- 10 b) Medidas regulares todavía más caras, como la previsión de atmósferas protectoras de gas a presión, sobre el baño de fusión, o disposiciones adaptadas con doble rayo láser, son necesarias cuando no se han creado semejantes rendijas definidas de desgasificado dentro de los límites precedentes de la anchura del intersticio. Estas medidas condicionan, además, por lo general desfavorables velocidades bajas de soldadura, y hasta ahora no se han empleado industrialmente. No obstante, una posibilidad desfavorable, especialmente costosa, consiste en la retirada del recubrimiento de cinc y, por tanto, una pérdida de la protección contra la corrosión en la zona de la soldadura.

20 Partiendo de este fondo, la misión de la invención consiste en perfeccionar un procedimiento genérico de soldadura a solapa mediante soldadura por radiación, de manera que con sencillas medidas baratas, se puedan preparar económicamente cordones de soldadura con buena calidad del cordón, con respecto a las características mecánicas y ópticas del cordón.

25 Esta misión se resuelve con las notas características de la reivindicación 1.

Según la reivindicación 1, en el proceso de soldadura a solapa existe una ausencia de rendija de soldadura, con superficies antagonistas situadas una junto a otra de plano o adaptadas según su forma en la zona de solapamiento y de soldadura. Los respectivos parámetros del rayo energético se modifican con una frecuencia especial de excitación, estando situada esta en una ventana de frecuencias, por lo regular, alrededor de una frecuencia propia del tubo capilar de vapor formado en el proceso de soldadura en el baño de fusión, y variando aquella temporalmente dentro de esta ventana de frecuencias.

30 Así pues, según la invención no es necesaria la creación y mantenimiento de un espacio de desgasificado dentro de estrechos límites, lo cual conduce a una simplificación esencial y a una reducción de costes. Tan sólo mediante la variación de los parámetros, por ejemplo, de la intensidad del rayo energético con una frecuencia de excitación pre-determinada, especial o definida, es posible sin espacio de desgasificado, preparar cordones de soldadura con buena calidad del cordón, con respecto a las características mecánicas y ópticas del cordón. Para ello es esencial que la frecuencia de excitación esté situada en una ventana alrededor de una frecuencia especial del tubo capilar vibrante de vapor, pudiendo determinarse empíricamente esta frecuencia propia, como ya se ha citado al comienzo.

40 Una excitación del rayo energético solamente con la frecuencia de resonancia, no conduce a resultados satisfactorios ningunos (catástrofe de resonancia), puesto que aquí, a causa de la formación eruptiva de gases del vapor del recubrimiento, a través del baño de fusión, aparecen los defectos de soldadura antes descritos, como gotitas, explosiones, poros, etc., con calidad insuficiente del cordón de soldadura. Sorprendentemente se ha mostrado, no obstante, que en caso de una variación de la frecuencia de excitación en una ventana de frecuencias alrededor de la frecuencia de resonancia como frecuencia propia especial, se obtiene una estabilización del proceso de soldadura, llevándose a cabo el desgasificado del vapor del recubrimiento a través del baño de fusión, de manera uniforme y tan calmada, que no aparecen los defectos precedentes de soldadura, o al menos están tan reducidos que se obtiene una buena calidad de la soldadura para los casos corrientes de aplicación, con respecto a la estabilidad mecánica y a una imagen uniforme del cordón de soldadura. Hay que preparar una ausencia de rendija con una técnica correspondiente de sujeción, relativamente sencilla, alcanzándose buenos resultados de soldadura, incluso hasta una cierta tolerancia positiva de la ausencia de rendija, de hasta 0,6 mm.

50 Según la reivindicación 2, se dispone de varias posibilidades para la variación de los parámetros de ajuste del rayo energético. La variación preferente se lleva a cabo por modificación de la potencia del rayo, en el caso de un procedimiento con láser, por modificación de la potencia del haz de rayos láser. Posibilidades de variación alternativas y/o adicionales, consisten en la modificación del diámetro del rayo, en especial de la posición del foco en un rayo láser, y/o de la energía absorbida, en especial, mediante una modificación de la polarización en el caso de un rayo láser, y/o de la posición espacial y temporal del rayo láser, así como de la distribución de la intensidad en el espacio y en el tiempo dentro del rayo láser, y/o del ángulo del haz. Esta variación se lleva a cabo mediante modificación de la respectiva frecuencia de excitación. Tales variaciones de los parámetros del rayo energético, solamente requieren por lo regular un pequeño gasto en aparatos y en la técnica de control.

55 Según la reivindicación 3, los parámetros del rayo energético se pueden variar en cada caso, según las circunstancias, en conjunto con la respectiva frecuencia de excitación, o el procedimiento se pone en marcha con una determi-

nada intensidad básica continua del reyo energético, al que se superpone una intensidad adicional que varía con la frecuencia de excitación.

Para el presente procedimiento es necesario conocer la frecuencia de resonancia del tubo capilar de vapor para un caso concreto de soldadura con determinadas condiciones límite existentes en cada caso, puesto que esta frecuencia de excitación debe de estar situada en la ventana de frecuencias, de preferencia, aproximadamente en una zona central de esta ventana de frecuencias.

Para la determinación de la frecuencia propia según la reivindicación 4, se propone para chapas no recubiertas, determinar la frecuencia propia empíricamente, de tal manera que se realicen procesos de soldadura con diferentes frecuencias de intensidad de radiación del rayo energético. La frecuencia a la que se lleva cabo una transmisión máxima de energía, lo cual se puede determinar, por ejemplo, por observación óptica del plasma del vapor metálico, se reconoce como frecuencia propia, y sirve de base al procedimiento según la invención. Alternativamente se pueden tomar para esto, las señales emitidas de un proceso de soldadura sin excitación externa. A partir de los datos adquiridos se puede determinar entonces la dinámica "natural" del proceso de soldadura, representando los máximos (locales), las frecuencias propias del proceso. La dimensión respectiva de la frecuencia propia es función de condiciones límite concretas, como los espesores de chapa, el tipo de material, la profundidad de la soldadura, etc. Puesto que en las fabricaciones en serie de muchos componentes constructivos iguales, se presentan para cada una, condiciones límite iguales, es suficiente determinar solamente una vez, una frecuencia propia semejante para todos estos procesos de soldadura. Al cambiar las condiciones del trabajo, se puede reaccionar entonces por lo regular, mediante una simple adaptación de los parámetros eléctricos de control.

Se han obtenido buenos resultados de soldadura según la reivindicación 5, cuando la anchura de la ventana de frecuencias alrededor de la respectiva frecuencia de excitación, es una potencia de diez menor que la dimensión de la respectiva frecuencia propia. En el caso de una frecuencia propia determinada de 2000 Hz, habría que elegir pues una ventana de frecuencias con una anchura de unos 200 Hz.

En cada según las circunstancias, se pueden utilizar también según la reivindicación 6, anchuras de ventana fijas predeterminadas que no están vinculadas directamente con la dimensión de la frecuencia propia, y están situadas en una dimensión de 400 Hz, de preferencia, de 200 Hz, y con especial preferencia, de 100 Hz.

Según la reivindicación 7 se obtienen buenos resultados de soldadura cuando la variación de la frecuencia de excitación se lleva a cabo dentro de la ventana de frecuencias, mediante un desplazamiento de frecuencia que discurre periódicamente en el tiempo en un ciclo de variación, y que según la reivindicación 8, se puede conseguir en especial, mediante una frecuencia de modificación modulada sobre la frecuencia especial de excitación. Aquí los tiempos para un ciclo periódico de variación según la reivindicación 9, están situados en el orden de magnitud de milisegundos,

Alternativamente a la medida precedente para un ciclo periódico de variación, con la reivindicación 10 se utiliza una variación de la frecuencia de excitación según el principio de la aleatoriedad, transfiriéndose sucesivamente mediante un generador aleatorio, una frecuencia predeterminada, de la ventana de frecuencias. Según la reivindicación 11, esta transferencia se puede llevar a cabo respectivamente después de un intervalo ajustado de tiempo, en la gama de los microsegundos, o elegirse asimismo según la reivindicación 11, según el principio de la aleatoriedad, de una ventana de tiempos de 0 a pocos milisegundos.

El objetivo de las precedentes transferencias y commutaciones y de los ciclos periódicos de variación para la frecuencia de excitación dentro de la ventana de frecuencias, es por una parte efectuar la excitación eficazmente y bien controlable en la zona de la frecuencia propia, pero por otra parte, eludir la catástrofe de resonancia por una vibración permanente del tubo capilar de vapor, y aquí hacer posible, además, un desgasificado ampliamente uniforme del vapor del recubrimiento a través del baño de fusión.

En especial, según la reivindicación 13, se puede emplear con ventaja el procedimiento de soldadura a solapa según la invención, en chapas galvanizadas de acero. El procedimiento de soldadura a solapa se puede utilizar también con buena calidad de la soldadura en otras chapas recubiertas en las que el recubrimiento presenta una temperatura de fusión y evaporación, o de combustión, menor que el material de la chapa, puesto que allí aparecen los mismos problemas que en las chapas galvanizadas de acero.

Especialmente ventajoso es un procedimiento de soldadura con láser, con un láser de CO₂, pudiendo utilizarse, no obstante, en cada caso según las circunstancias, también láser de fibra, diodos láser o láser de estado sólido. Básicamente el procedimiento de soldadura a solapa según la invención, también se puede utilizar con buenos resultados de la soldadura, con otros procedimientos de soldadura por radiación, como procedimientos de soldadura por haz electrónico, o procedimientos de soldadura con chorro de plasma.

REIVINDICACIONES

- 5.1. Procedimiento de soldadura a solapa mediante soldadura por radiación, en chapas recubiertas, presentando el recubrimiento una temperatura de fusión y evaporación o de combustión, esencialmente menor que el material de la chapa, y existiendo en la zona de solapamiento, al menos una superficie antagonista recubierta, con una rendija de soldadura,

5.2. caracterizado porque

5.3. existe al menos una ausencia de rendija de soldadura, con superficies antagonistas situadas una junto a otra de plano o adaptadas según su forma, en la zona de solapamiento y de soldadura,

5.4. los respectivos parámetros del reyo energético se varían con una frecuencia de excitación en una ventana de frecuencias alrededor de una frecuencia especial de excitación, y que se encuentra durante el proceso de soldadura, en el tubo capilar de vapor formado en el baño de fusión, y la frecuencia de excitación se varía en el tiempo dentro de esta ventana de frecuencias.

5.5. 2. Procedimiento de soldadura a solapa según la reivindicación 1, caracterizado porque se modifica la intensidad absorbida del reyo energético mediante una variación de su potencia del rayo y/o diámetro del rayo, en especial de la posición del foco en el caso de un rayo láser, y/o de la energía absorbida, en especial, de la polarización en el caso de un rayo láser, y/o de la posición espacial y temporal del rayo láser, así como de la distribución de la intensidad en el espacio y en el tiempo dentro del rayo láser, y/o del ángulo del haz.

5.6. 3. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado porque la intensidad del rayo energético se varía con la respectiva frecuencia de excitación, y/o una determinada intensidad continua o variable, se superpone mediante una intensidad variable con la frecuencia de excitación.

5.7. 4. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque para un caso concreto de soldadura con determinadas condiciones límite, se determina empíricamente una frecuencia propia —de preferencia la frecuencia de resonancia u otra frecuencia vinculada— del tubo capilar de vapor, como máximo local de una función de transferencia.

5.8. 5. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la anchura de la ventana de frecuencias alrededor de la respectiva frecuencia propia, en la cual varía la frecuencia de excitación, es menor aproximadamente en una potencia de diez, que la dimensión de la frecuencia propia elegida.

5.9. 6. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la anchura de la ventana de frecuencias alrededor de la respectiva frecuencia propia, es de 400 Hz, de preferencia, de 200 Hz, y con especial preferencia, de 100 Hz.

5.10. 7. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque la variación de la frecuencia de excitación se lleva a cabo dentro de la ventana de frecuencias, mediante un desplazamiento de frecuencia que discurre periódicamente en el tiempo en un ciclo de variación.

5.11. 8. Procedimiento de soldadura a solapa según la reivindicación 7, caracterizado porque el desplazamiento de frecuencia se lleva a cabo mediante una frecuencia de modificación modulada sobre la frecuencia propia.

5.12. 9. Procedimiento de soldadura a solapa según la reivindicación 7 ó la reivindicación 8, caracterizado porque el tiempo para un ciclo periódico de variación está situado en el orden de magnitud de milisegundos,

5.13. 10. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque para la variación de la frecuencia de excitación está previsto un generador aleatorio que según el principio de aleatoriedad, transfiere sucesivamente una de las frecuencias predeterminadas, desde la ventana de frecuencias.

5.14. 11. Procedimiento de soldadura a solapa según la reivindicación 10, caracterizado porque mediante un temporizador asignado al generador aleatorio, se transfiere a una nueva frecuencia de excitación, en el orden de magnitud de microsegundos.

5.15. 12. Procedimiento de soldadura a solapa según la reivindicación 10, caracterizado porque para la transferencia, el generador aleatorio selecciona en cada caso, según el principio de aleatoriedad, un intervalo de tiempo, de una ventana de tiempos de 0 – 5 milisegundos

5.16. 13. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado porque las chapas recubiertas son chapas galvanizadas de acero.

5.17. 14. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque como procedimiento de soldadura por radiación, se utiliza un procedimiento de soldadura con un láser de CO₂, o con un láser de fibra, o con diodos láser o con un láser de estado sólido.

15. Procedimiento de soldadura a solapa según alguna de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado porque se como procedimiento de soldadura por radiación se utiliza soldadura por haz electrónico, o soldadura con chorro de plasma.