2018

DISSWELD

Desarrollo de soldaduras disimilares basadas en laser para el desarrollo de estructuras ligeras en la automoción. Nº Expte: IMDEEA/2018/21 Programa: PROYECTOS DE I+D EN COOPERACIÓN CON EMPRESAS

Paquete de trabajo 6 – Transferencia y promoción de los resultados.

Entregable: E61 - Informe sobre caracterización de los resultados alcanzados.

Breve descripción.

Resumen de resultados de la evaluación de la mejora alcanzada con los resultados obtenidos.

Realizado por: AIDIMME









| 1. | Objetivos | 4 |
|----|-----------------------------|----|
| 2. | - Actividades realizadas | 4 |
| 3. | Resultados alcanzados | 4 |
| 4. | CONCLUSIONES | 24 |









LISTADO DE FIGURAS

| FIGURA 1. DISPOSITIVOS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS SOLDADURAS ACERO ALUMINIO CON LA CONFIGURACIÓN DE |
|--|
| COMPONENTES APROPIADA Y SELECCIONADA EN LA ANUALIDAD ANTERIOR. |
| FIGURA 2. ETAPA DE PRUEBA DE LA DEPOSICIÓN DEL POLVO METÁLICO SOBRE UNA DE LAS MUESTRAS PARA EL CÁLCULO DEL |
| CAUDAL DEPOSITADO6 |
| FIGURA 3. SISTEMAS DE SUJECIÓN DE LAS PLACAS PARA LA SOLDADURA DISIMALRES. |
| FIGURA 4. VISTA DE UNA DE LAS PRUEBAS USADAS REALIZADAS CON LA UNIÓN ALUMINIO ACERO EN DONDE PODEMOS VER |
| UNA DE LAS PLACAS GALVANIZADAS JUNTO CON LA DE ACERO EN POSICIÓN A TOPE, Y OTRA EN DONDE SE PUEDE VER LA |
| HUELLA TRAS LA UNIÓN EN LA PARTE INFERIOR DE ACERO7 |
| FIGURA 5. EJEMPLO DE UNA DE LAS TANDAS DE UNIÓN DE MATERIALES DISIMILARES DONDE SE PUEDEN VER SOLO AQUELLAS |
| PRUEBAS EN DONDE SE HAN PODIDO UNIR Y POR LO TANTO ANALIZAR LOS PARÁMETROS DE LA UNIÓN DE MUESTRAS DE |
| ACERO DX51 JUNTO CON ALEACIÓN DE ALUMINIO8 |
| FIGURA 6. EJEMPLO DE UNA DE LAS TANDAS DE UNIÓN DE MATERIALES DISIMILARES DONDE SE PUEDEN VER SOLO AQUELLAS |
| PRUEBAS EN DONDE SE HAN PODIDO UNIR Y POR LO TANTO ANALIZAR LOS PARÁMETROS DE LA UNIÓN DE MUESTRAS DE |
| ACERO DP JUNTO CON ALEACIÓN DE ALUMINIO9 |
| FIGURA 7. COMPOSICIÓN DE IMAGEN DONDE PODEMOS APRECIAR LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN LA UNIÓN SOLDADA DE LA |
| MUESTRA 16 |
| FIGURA 8. COMPOSICIÓN DE IMAGEN DONDE PODEMOS APRECIAR LOS DEFECTOS ENCONTRADOS EN LA UNIÓN SOLDADA DE LA |
| MUESTRA 17 |
| FIGURA 9. DETALLE DE LA CAPA INTERMETÁLICA FORMADA ENTRE EL ALUMINIO Y EL ACERO EN LE MUESTRA 2012 |
| FIGURA 10. ZONA DE INTERACCIÓN DEL HAZ LASER SOBRE LAS MUESTRAS SOLDADAS |
| FIGURA 11. MEDIDA DE DUREZAS EN EL PERFIL SOLDADO DONDE SE PUEDE VER LAS DUREZAS DEL ALUMINIO, DEL ACERO Y DE |
| LA CAPA INTERMETÁLICA DE LAS MUESTRAS |
| FIGURA 12. IMAGEN DESPUÉS DEL ANÁLISIS POR MICROSCOPIO DONDE NOS ENCONTRAMOS CON LA FORMACIÓN DEL |
| EUTÉCTICO EN LA PARTE SUPERIOR PERTENECIENTE AL ALUMINIO. IMAGEN DE LA MUESTRA REF 2016 |
| FIGURA 13. IMAGEN DESPUÉS DEL ANÀLISIS POR MICROSCOPIO DONDE NOS ENCONTRAMOS EL MICROANÀLISIS DE LA CAPA DE |
| INTERFASE Y DEL EUTÉCTICO EN LA MUESTRA 20 |
| FIGURA 14. EN LA IMAGEN SUPERIOR PODEMOS VER EL MICROANÁLISIS LINEAL QUE APARECE EN LA IMAGEN ANTERIOR DONDE |
| VEMOS LA EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AL EN ESA PEQUEÑA ZONA DE LA INTERFASE FE-AL IMAGEN DE LA |
| MUESTRA REF 20 |
| FIGURA 15. IMAGEN DONDE SE MUESTRAN LAS PROBETAS MECANIZADAS PARA EL ENSAYO DE TRACCION |
| FIGURA 16. PUESTA EN MARCHA DEL ENSAYO DE TRACCION DONDE PODEMOS VER EL EQUIPO DE MEDIDA O EXTENSOMETRO |
| PARA LA MEDICION DEL ALARGAMIENTO |
| FIGURA 17. CURVA CARGA DESPLAZAMIENTO DE LA MUESTRAS M 12 12 |
| FIGURA 18. CURVA CARGA DESPLAZAMIENTO DE LA MUESTRAS M 11 2 CS |
| FIGURA 19. CURVA CARGA DESPLAZAMIENTO DE LA MUESTRAS MI 8 2_5 |
| FIGURA 20. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCION, RESISTENCIA A LA TRACCION, DE TODAS LAS |
| CONFIGURACIONES ANALIZADAS |
| FIGURA 21. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCION, MODULO DE ELASTICIDAD, DE TODAS LAS |
| |
| FIGURA 22. RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE TRACCION, RESISTENCIA A LA TRACCION, DE TODAS LAS |
| |
| FIGURA 23. NEGUNIEN DE REGULIADOS ODIENIDOS DEL ENGATO DE IRACCIÓN, REGISTENCIA A LA TRACCIÓN EN |
| |
| CONTINUE PROVINCIAL CONTINUES OF THIS CONTINUES OF THIS CONTINUES OF THE C |
| |











1. Objetivos

En este entregable se presentan los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto en forma de resumen con el objeto de ser publicados como transferencia de resultados en los medios de difusión de AIDIMME.

2. Actividades realizadas

En este paquete de trabajo se han realizado las siguientes actividades:

Tarea 6.1. Caracterización de los resultados alcanzados

Se he evaluado la mejora alcanzada con los resultados obtenidos, considerando factores técnicos, temporales y económicos con respecto a la situación inicial antes de ejecutar el proyecto. Se han determinado las principales innovaciones obtenidas con respecto al estado del arte identificado.

3. Resultados alcanzados

Se han llevado a cabo las uniones de los materiales disimilares tanto con material como sin material de aporte, en esta última configuración avanzando sobre lo realizado en el año anterior y optimizando las mejores condiciones de parámetros obtenidas. Se han llevado a cabo distintas sesiones de trabajo donde se han realizado las distintas pruebas relativas a la unión de soldadura empleando la técnica de soldadura por láser. Estas acciones se han llevado a cabo mediante la participación de empresas colaboradoras que nos permitido el uso de su equipamiento.

Previamente se han establecido las materiales a los que soldar en esta segunda etapa de prueba. Una de las variables que se querían investigar era la influencia que tenía la capa de cincado sobre la barrera o capa intermetálica, para ello se han tenido que escoger diferentes materiales con diferentes espesores de cinc para evaluar dicha influencia. Esta ha sido medida por diversas técnicas para estudiar 3 rangos en espesores.

Otra de las pruebas ha sido el aporte de material de aluminio con diferentes contenidos de silicio. Durante esta etapa se han llevado a cabo las distintas tareas de modificación del equipo con el objeto de conseguir un haz laser adecuado para poder soldar el material junto con el aporte del polvo metálicos.

Y como últimas pruebas se han llevado a cabo uniones laser sin aporte de material en donde al aporte energético se ha disminuido de tal manera que se ha podido realizar la unión atacando el haz laser sobre el material de aluminio, en vez de sobre el material de los materiales en una configuración a tope haciendo la unión sobre una configuración a solape. En todas estas pruebas hemos podido estudiar el efecto de las variables críticas de la soldadura, junto con un equipo laser de diodo de alta potencia.





Durante esta etapa se han estado llevando a cabo la selección de cada uno de los materiales usados con distintas configuraciones de espesor de capas de cincado para el análisis de este. De los materiales empleados se ha optado por acero de alta resistencia, pero también han sido usados otros materiales de acero tipo DX51 con distintas cantidades de tamaño de la capa de zinc. Estos a la vez poseen un espesor de chapa menores de los 2mm, con lo que hemos podido obtener datos de como influye este espesor durante el proceso de soldeo.



Figura 1. Dispositivos para la realización de las soldaduras acero aluminio con la configuración de componentes apropiada y seleccionada en la anualidad anterior.







Figura 2. Etapa de prueba de la deposición del polvo metálico sobre una de las muestras para el cálculo del caudal depositado.



Figura 3. Sistemas de sujeción de las placas para la soldadura disimalres.







Las pruebas de unión se han realizado a tope y a solape. En las primeras, la elaboración de zonas de contacto tiene una gran importancia, y más teniendo en cuanta el juego de los distintos espesores de los materiales, mientras que en la segunda posición, a solape tiene importancia la separación del haz laser con respecto al vértice del material y hacia que material es disparado el laser junto con la inclinación de este. Como se puede ver en la imagen inferior el haz no penetra a través de todo el material dejando una huella en el lado opuesto de afección térmica del acero.



Figura 4. Vista de una de las pruebas usadas realizadas con la unión aluminio acero en donde podemos ver una de las placas galvanizadas junto con la de acero en posición a tope, y otra en donde se puede ver la huella tras la unión en la parte inferior de acero.









Figura 5. Ejemplo de una de las tandas de unión de materiales disimilares donde se pueden ver solo aquellas pruebas en donde se han podido unir y por lo tanto analizar los parámetros de la unión de muestras de acero DX51 junto con aleación de aluminio.



o de sional









Figura 6. Ejemplo de una de las tandas de unión de materiales disimilares donde se pueden ver solo aquellas pruebas en donde se han podido unir y por lo tanto analizar los parámetros de la unión de muestras de acero DP junto con aleación de aluminio.





A continuación mostramos los parámetros más característicos de las muestras en las que hemos podido lograr unas uniones con la integridad estructural adecuada para poder ser estudiadas a posteriori en las sucesivas pruebas mecánicas y microestructurales.

| ENSAYO | øSpot Laser (mm) | Speed (mm/min) | Power (W) | Descentrado Al | Resultado | | IXmm I≺→ | |
|--------|------------------|----------------|-----------|----------------|----------------|----|-------------|----|
| *1/2 | 1.3 | 500 | 2200 | X = 1 mm | Exceso energía | | | |
| *2/2 | 1.3 | 1000 | 2200 | X = 1 mm | Exceso energía | | | |
| *3/2 | 1.3 | 1000 | 2200 | X = 0,5 mm | Exceso energía | Fe | | AI |
| *4/2 | 1.3 | 1000 | 1500 | X = 0,5 mm | Exceso energía | | | |
| ENSAYO | øSpot Laser (mm) | Speed (mm/min) | Power (W) | Descentrado Al | Resultado | | | |
| *4/2 | 1.3 | 1000 | 1500 | X = 0,8 mm | Exceso energía | | | |
| *5/2 | 1.3 | 1000 | 2200 | X = 1 mm | Exceso energía | | X mm | |
| *7/2 | 1.3 | 1000 | 3000 | X = 1 mm | ok | | Ť | |
| *8/2 | 1.3 | 1000 | 3500 | X = 1 mm | ok | AI | | _ |
| *9/2 | 1.3 | 1000 | 3500 | X = 1,3 mm | ok | | | Fe |
| *10/2 | 1.3 | 1000 | 3500 | X = 0,6 mm | Rotura | | 4 mm | |
| *11/2 | 1.3 | 800 | 3500 | X = 1,5 mm | ok | | | |
| *12/2 | 1.3 | 1000 | 3500 | X = 1,5 mm | ok | | | |
| ENSAYO | ØSpot Laser (mm) | Speed (mm/min) | Power (W) | Descentrado Al | Resultado | | | |
| 6 | 3 | 1000 | 2200 | X = 2 mm | ROTURA | | | |
| 7 | 3 | 1000 | 2400 | X = 2 mm | 0 | | | |
| 8 | 3 | 900 | 2700 | X = 3 mm | 0 | | | |
| 9 | 3 | 900 | 2400 | X = 2 mm | 0 | | | |
| 10 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 | | | |
| 11 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 | | X mm | |
| 12 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 | | 1 | |
| 13 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | SIN PEGAR | AI | | |
| 14 | 3 | 700 | 2800 | X = 2 mm | 0 | | | Fe |
| 15 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 | | 4 mm | |









| Dissweld |
|---|
| Informe sobre caracterización de los resultados alcanzados. |

| 16 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 |
|----|---|-----|------|----------|---|
| 17 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 |
| 18 | 3 | 900 | 2700 | X = 2 mm | 0 |
| 19 | 3 | 900 | 2900 | X = 2 mm | 0 |
| 20 | 3 | 900 | 2850 | X = 2 mm | 0 |

Estudios de microscopia óptica.

Previamente a este estudio se realizaron las correspondientes preparaciones metalográficas. La metodología empleada para la preparación de muestras para su observación, tanto en microscopía óptica, como en microscopía electrónica es la técnica propia de embutición, lijado y pulido propio de la técnica metalográfica. Se realizan cortes previamente definidos el apartado de planificación experimental, embutición en resina y posterior desbaste y pulido para que se pueda proceder al análisis óptico o electrónico.

El equipo empleado para las inspecciones metalográficas tiene la capacidad, a través del software NIS-Elements y a través de una pletina motorizada, de realizar una composición de imágenes interpuestas que nos permite obtener una imagen de grandes dimensiones con la calidad adecuada para ver los defectos encontrados de cada una de las uniones realizadas. A continuación se presentan unas imágenes tipo de algunas de las uniones logradas.















Figura 8. Composición de imagen donde podemos apreciar los defectos encontrados en la unión soldada de la muestra 17



Figura 9. Detalle de la capa intermetálica formada entre el aluminio y el acero en le muestra 20.

En todas las imágenes se ha podido constara la presencia de la capa intermetalica Fe-Al de naturaleza frágil como producto de la interacción entre los elementos de aluminio hierro. Esta ha podido analizarse y medirse a través del microscopio óptico alcanzando los 1000 aumentos. Se han podido constatar que la presencia de esta capa es irregular en cada una de las zonas de un mismo cupón, siendo en la zona de donde el haz laser tiene un primer contacto, la zona en donde la capa tiene un espesor mejor, la zona que podemos denominar de "punta".





Esta capa tiene una evolución diferente en cuanto se aleje de la zona de mayor calor, siendo cada vez más irregular. Como podemos ver en el croquis inferior es precisamente en la zona de contacto del haz donde tiene lugar esa capa con una dimensión menor que en la zona posterior. Recordemos que esta capa juega un papel importante en la unión siempre y cuando esta no exceda de valores muy grandes, ya que la presencia de esta capa en grandes cantidades puede disminuir el comportamiento mecánico de la soldadura debido a su naturaleza frágil



Figura 10. Zona de interacción del haz laser sobre las muestras soldadas.

Durante este análisis nos hemos encontrado con una serie de espesores que rondan aproximadamente desde las 2 hasta las 3 micras en cada una de los especímenes soldados. Es cierto que conforme nos acercamos a los extremos opuestas de la punta vemos como ese espesor alcanza has las 20 micras, que es lo que podemos ver en la prueba 19 de la tabla inferior, en donde la presencia de esta capa se encuentra en más proporción con cerca de las 20 micas de espesor que con las 2 micras de espesor. Para el desarrollo de los cupones siempre hemos pretendido trabajar con los espesores que ronden las 2 o 3 micras en base a la bibliografía consultada, esto normalmente se suele conseguir con aportes energéticos que siguen los parámetros de alrededor de 3000W de potencia. A continuación resumen de parte de los resultados obtenidos en cuanto a la medición de espesor por corte metalográfico.

Estudios de barrido de microdurezas.

Para estudiar la comparativa de las distintas muestras soldadas y tras la preparación metalográfica se procedió a la realización de un estudio de microdurezas para ver como afectaba el calor aportado a la soldadura en las distintas zonas del cupón. Para ello se empleo la técnica de dureza Vickers consistente en la indentacion de una punta de diamante en cada una de las zonas a analizar para la posterior medida, a través de microscopia óptica, de la huella tras la indentacion.

Con la medición de la huella y en base a la normativa UNE EN ISO 6507 aplicando una formula correspondiente, podemos determinar la penetración de la punta de diamante y trasladar los datos a una escala de dureza. La fuerza aplicada para este estudio, teniendo en cuenta que lo que deseamos es el análisis de la zona intermedia o capa de intermetalicos, fue de 2.95N, lo que corresponde a una escala HV0.3.







Figura 11. Medida de durezas en el perfil soldado donde se puede ver las durezas del aluminio, del acero y de la capa intermetálica de las muestras.

De los resultados globales se desprende que en la capa intermetalica se alcanzan los valores de dureza más altos, alcanzado hasta los 400 HV0.3 que en comparación con los materiales adyacentes no encontramos con unos valores de dureza que ascienden hasta caso el triple de lo que se encuentra el siguiente material más duro, como es el acero. Estos valores de dureza van variando según los parámetros aplicados en cada una de las muestras, los que nos indica que la formación de intermetalicos Fe-Al tiene una distribución diferente en cada una de las zonas. Estos valores son representativos de los valores que nos encontramos en la bibliografía con técnicas similares a las empleadas en este estudio.





Estudios de microscopia electrónica.

Una vez preparadas las muestras tal como se indicó previamente, solo se necesitó seguir algunos pasos adicionales relativamente sencillos para su observación mediante microscopía electrónica de barrido. Debido a su montaje en la resina la cual no es conductora fue necesario establecer un puente conductor constituido por un adhesivo de doble capa conductor, suficiente como para permitir el paso del haz de electrones.

Para esta observación se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM) JEOL JSM 6300 equipado con una microsonda de análisis por energías dispersivas de rayos X Link de Oxford Instruments, el cual es mostrado en la figura. En todos los casos, las condiciones normales de trabajo fueron de 20 kV y 15 mm de distancia de la muestra.

Durante la inspección de las muestras se realizaron microanálisis de las distintas zonas del cordón para visualizar la fase intermetálica formada en la unión y medir esta en caso de que fuera realmente pequeña.

Como norma general podemos ver en la fase del cordón de soldadura la presencia de la fase intermetálica Fe-Al en mayor o menor proporción con la presencia de más o menos presencia de cinc que viene derivada del recubrimiento presente en las aleaciones de acero. Esta combinación de elementos nos muestra como resultado, en ocasiones, la presencia de fases dendríticas eutectoides propias del diagrama Al-Zn, además se observan distintas zonas con diferentes combinaciones de color de ellas, más claro o más oscuro debido al contenido de Zn dentro de la aleación de aluminio. En estas zonas del aluminio no hemos encontrado signos de agrietamientos de material o signos de porosidad lo que nos indica que desde el punto de vista de posibles fragilizaciones internas, con estos parámetros, no hemos obtenido ninguno de ellos.







Figura 12. Imagen después del análisis por microscopio donde nos encontramos con la formación del eutéctico en la parte superior perteneciente al aluminio. Imagen de la muestra ref 20







Figura 13. Imagen después del análisis por microscopio donde nos encontramos el microanálisis de la capa de interfase y del eutéctico en la muestra 20

El comportamiento del cinc sirve de elemento que mejora la humectación de la soldadura, por lo que la presencia de estas fases es algo normal y esperado, solo se pretende que influyan de la menor forma posible a la resistencia mecánica, ya que es de comportamiento frágil. La presencia de eutecticos, como se puede ver en la imagen superior comienza siempre posteriormente a la presencia de la capa Fe_2AI_5 o $FeAI_3$.







Figura 14. En la imagen superior podemos ver el microanálisis lineal que aparece en la imagen anterior donde vemos la evolución del contenido de Al en esa pequeña zona de la interfase Fe-Al. . Imagen de la muestra ref 20

Estudios de ensayos mecánicos a tracción.

Para la evaluación de las resistencias mecánicas de las uniones soldadas se procedió al corte de los cupones de tal manera que tuviéramos una probeta de tracción con el cordón de soldadura en la parte central de la probeta situada, lo que comúnmente se conoce como tracción transversal del cordón de soldadura. En esta ocasión y al ser materiales que han sido soldados en solape, realmente el esfuerzo que tiene lugar en el cordón se basa en un esfuerzo de cizalla que actúa principalmente en la interfase de la unión de los dos materiales, por lo que este estudio puede englobarse como la capacidad resistente máxima del cordón de soldadura.

Las dimensiones de las probetas de un ensayo a tracción para materiales metálicos vienen determinados por la normativa correspondiente, en este caso la UNE EN ISO 6892-1, en donde se pretende mecanizar la probeta de tal forma que tengamos dos caras totalmente paralelas en la zona central de esta, y a la vez que en esa zona existe una sección menor para garantizar que la rotura durante el ensayo tenga lugar en la parte centra. En nuestro caso la mecanización de las probetas no pudo llevarse a cabo debido al pequeño tamaño de los cupones empleados y para descartar una posible rotura del cordón durante las etapas de mecanización, por lo que







los cortes de las probetas se realizaron mediante cortadoras de precisión y a velocidades lentas para que estas no sufrieran grandes tensiones. Se opto por un mecanizado paralelo a sabiendas de que la rotura seria en la parte central a pesar de no haber mecanizado la probeta con las dimensiones normalizadas. Todos los ensayos se realizaron en modo desplazamiento a una velocidad aproximada de 0.05 mm/seg.



Figura 15. Imagen donde se muestran las probetas mecanizadas para el ensayo de tracción.



Figura 16. Puesta en marcha del ensayo de tracción donde podemos ver el equipo de medida o extensómetro para la medición del alargamiento.

Para la medición del alargamiento de la probeta, durante el ensayo se uso un extensómetro de rotura compuesto por unas pinzas de marcado, como se puede ver en la imagen superior, las cuales presionan los extremos de las probetas de tal forma que durante el ensayo de carga podemos obtener como esas pinzas se van desplazando con respecto al ensayo. Estas nos determinan el alargamiento durante el ensayo hasta la rotura de la probeta, y nos garantiza una trazabilidad de la pendiente del modulo correcta. A continuación se presentan algunas de las curvas obtenidas durante el estudio.





Dissweld Informe sobre caracterización de los resultados alcanzados.



Figura 17. Curva carga desplazamiento de la muestras M 12 T2



Figura 18. Curva carga desplazamiento de la muestras M 11 2 cs



Figura 19. Curva carga desplazamiento de la muestras M 8 2_5







Figura 20. Resumen de resultados obtenidos del ensayo de tracción, resistencia a la tracción, de todas las configuraciones analizadas.









Dissweld Informe sobre caracterización de los resultados alcanzados.



Figura 22. Resumen de resultados obtenidos del ensayo de tracción, resistencia a la tracción, de todas las configuraciones analizadas.



Figura 23. Resumen de resultados obtenidos del ensayo de tracción, resistencia a la tracción en comparación con los parámetro de soldeo más influyentes.



Figura 24. Resumen de resultados obtenidos del ensayo de tracción, módulo de elasticidad en comparación con los parámetro de soldeo más influyentes.





Podemos ver que los parámetros como la potencia utilizada y la velocidad de avance del proceso de soldeo son los dos parámetros más influyentes a la hora de valorar una buena unión desde el punto de vista del comportamiento mecánico. Partimos de la base que en la mayoría de las uniones soldadas hemos obtenido unos valores de la capa intermetalica de alrededor de los 2 o 3 micras, por lo que no hemos podido disminuir esta capa con la adición de elementos de Zn, que era lo que se pretendía, y se han obtenido unos valores del mismo orden de magnitud de la bibliografía. De los valores de chapas má finas no hemos podido alcanzar un nivel de resistencia adecuado debido al comportamiento de este tipo de materiales durante el ensayo de tracción.

Teniendo en cuanta esa variable, a través de las distintas tablas presentadas podemos ver que los mayores valores de resistencia se muestran con potencias de entre 3000-3500 W, siempre encarando el haz laser sobre el aluminio, y obteniendo los valores más altos en posiciones de solape de la soldadura. Los valores obtenidos más altos rondan los 150 MPa, valores de referencia del estado del arte, en donde se alcanzan resistencias de alrededor de los 160MPa tanto a tope como a solape. Si la capa intermetálica formada entre el aluminio y el acero, y tras la revisión bibliográfica y analizando los valores obtenidos en el presente proyecto, da la impresión de que esos valores son el límite al cual podemos obtener una soldadura con una mínima capa intermetalica, siendo esa el principal hándicap de a unión.

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta han sido el tamaño del laser o spot empleado en este estudio, se ha comprobado que tiene influencia ya sea si empleado una spot de aproximadamente 1.5mm o de uno de aproximadamente 3mm, pero podemos indicar que en cualquier de las dos configuraciones es posible la unión, aunque se tienen que modificar otros parámetros como la velocidad, la partencia y la posición del haz.







4. CONCLUSIONES

- → Se han podido procesar cupones de soldadura de materiales disimilares aluminio acero con cierta capacidad mecánica para poder estudiar sus características físico químicas más significativas.
- → Se ha podido establecer unos parámetros de soldeo adecuados para el procesado de uniones soldadas de materiales disimilares aluminio acero.
- → Se ha establecido el procedimiento de posicionamiento y preparación de muestras para lograr las uniones soldadas.
- → Hemos podido constatar que la presencia de una capa de Zn como las que nos encontramos en la mayoría de los aceros destinados a automoción juega un papel importante de humectacion de la unión.
- → Se ha establecido un mínimo de espesor de chapa para lograr el soldeo adecuado.
- → Se ha comprobado el efecto de adicionar polvo metálico en la unión, junto con el posicionamiento de los materiales a soldar.
- → Se han establecido los umbrales en los cuales no se produce la unión soldada, siendo muy estrechos, por lo que se ha demostrado que el ajuste de los parámetros es estrecha.
- $\rightarrow\,$ Se ha formado la capa intermetalica Fe-Al en todos los cupones fabricados con las diversas configuraciones de fabricación.
- → La capa intermetalica ha sido como mínimo de 2 micras, encontrándonos en algunas zonas, con menor aporte calorífico, con irregularidades y espesores mayores, incluso formaciones porosas.
- → Nos hemos encontrado en todos los cupones compuestos eutéctico Fe-Zn. Esta formación ha sido diversa en los cupones con parámetros similares, lo que nos indica una inestabilidad durante el proceso de soldeo.
- → La resistencia a tracción máxima alcanzada ha sido del orden de los 150MPa, igualando las resistencias que nos encontramos en el estado del arte y bibliografía revisada durante el proyecto.
- → El comportamiento del cinc sirve de elemento que mejora la humectación de la soldadura, por lo que la presencia de estas fases es algo normal y esperado, solo se pretende que influyan de la menor forma posible a la resistencia mecánica, ya que es de comportamiento frágil. La presencia de eutécticos, como se puede ver en las imágenes comienza siempre posteriormente a la presencia de la capa Fe₂Al₅ o FeAl₃. Esta capa es parte importante para evitar una capa de Fe-Al alta, pero si se exceso del contenido de eutéctico formado de Al-Zn pueden llegar a producirse irregularidades que afectan a la resistencia.
- → Nos hemos encontrado con comportamientos dispares en cada uno de los cupones fabricados, debido principalmente a que la distribución y formación del eutéctico es dispar, lo que nos indica que la preparación de las muestras y la capa de Zn tienen una alta relevancia.





