



Efectos del proceso de soldadura GTAW aplicado a juntas de Aluminio

Effects of the GTAW welding process applied to Aluminum joints

Efeitos do processo de soldagem GTAW aplicado a juntas de aluminio

Marco Homero Almendariz Puente
marco.almendariz@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8743-9459>

Jhoe Sebastián Fiallos Avila^{II}
jhoe_f@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6254-4933>

Lidia del Rocío Castro Cepeda^{III}
lidia.castro@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0471-2879>

Mónica Alexandra Moreno Barriga^{IV}
monica.moreno@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9881-6360>

Joao Andrés Noguera Cundar^V
andres.noguera@epoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6763-9288>

Correspondencia: marco.almendariz@epoch.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 25 de abril de 2022 * **Aceptado:** 20 de mayo de 2022 * **Publicado:** 20 de Junio de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Riobamba, Ecuador.
- II. Investigador Independiente, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Riobamba, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Riobamba, Ecuador.
- V. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH. Riobamba, Ecuador.

Resumen

Los procesos de unión de materiales metálicos han sido utilizados desde la antigüedad, con el pasar de los años y el avance de la tecnología estos se han ido modificando para ser aplicados a los materiales más utilizados a nivel industrial, dentro de estos materiales uno de los más utilizados por sus beneficios es el aluminio, que debido a su disponibilidad, aleaciones, propiedades y beneficios en comparación a otros metales, se ha encontrado con la necesidad de encontrar diferentes métodos de unión que puedan presentar los mejores resultados dependiendo de la aplicación que se le quiera dar a este metal.

Dentro de estos métodos de unión se encuentran los procesos de soldadura, siendo los más utilizados los procesos de soldadura por arco eléctrico que son los procesos que más se adaptan al trabajar con materiales metálicos. El presente estudio está enfocado en analizar los efectos que un proceso de soldadura produce sobre el aluminio después de ser aplicado para la unión de este material. El proceso de soldadura seleccionado para este estudio es el Proceso GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) el cual utiliza una atmósfera de gas Argón para proteger la formación del cordón de soldadura.

Los resultados obtenidos con este estudio entregan información indispensable sobre el comportamiento del aluminio después de ser sometido a un proceso de soldadura, dentro de estos se analiza su microestructura, dureza y resistencia a la tracción.

Palabras Claves: Aluminio; Argón; Dureza; GTAW; Microestructura; Soldadura.

Abstract

The processes of joining metal materials have been used since ancient times, over the years and the advancement of the technology these have been modified to be applied to the most used materials at the industrial level, within these materials one of the most used for its benefits is aluminum, which due to its availability, alloys, properties and benefits compared to other metals, has encountered the need to find different joining methods that may present the best results depending on the application you want to give this metal.

Among these joining methods are the welding processes, the most used being the electric arc welding processes that are the processes that best adapt when working with metallic materials. This study focuses on analyzing the effects that a welding process produces on aluminum after being applied for the bonding of this material. The welding process selected for this study is the GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) process which uses an argon gas atmosphere to protect the formation of the weld bead.

The results obtained with this study provide indispensable information on the behavior of aluminum after being subjected to a welding process, within which its microstructure, hardness and tensile strength are analyzed.

Keywords: Aluminum; Argon; GTAW; Hardness; Microstructure; Welding.

Resumo

Os processos de união de materiais metálicos são utilizados desde a antiguidade, com o passar dos anos e o avanço da tecnologia estes foram modificados para serem aplicados aos materiais mais utilizados a nível industrial, dentro destes materiais um dos mais utilizados por seus benefícios é o alumínio, que devido a sua disponibilidade, ligas, propriedades e benefícios em relação a outros metais, encontrou a necessidade de encontrar diferentes métodos de união que possam apresentar os melhores resultados dependendo da aplicação a ser utilizada. .

Dentro desses métodos de união estão os processos de soldagem, sendo os mais utilizados os processos de soldagem a arco elétrico, que são os processos mais adaptados para trabalhar com materiais metálicos. O presente estudo está focado em analisar os efeitos que um processo de soldagem produz no alumínio após ser aplicado para a união deste material. O processo de soldagem selecionado para este estudo é o Processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) que utiliza uma atmosfera de gás Argônio para proteger a formação do cordão de solda.

Os resultados obtidos com este estudo fornecem informações essenciais sobre o comportamento do alumínio após ser submetido a um processo de soldagem, dentro destes são analisadas sua microestrutura, dureza e resistência à tração.

Palavras-chave: Alumínio; Argônio; Dureza; GTAW; Microestrutura; Soldagem.

Introducción

El objetivo principal de un proceso de soldadura es unir dos materiales de forma permanente, desde la antigüedad el metal es el material más utilizado para este proceso, el primer metal utilizado por el hombre fue el cobre encontrado en estado natural en la superficie del planeta. [1]

La soldadura es el proceso de unión de dos materiales de tipo metálico generalmente realizado por fusión de éstos con la ayuda de un elemento conocido como material de aporte, mismo que debe tener un punto de fusión más bajo que el del material a ser soldado. Es un proceso en el que, el

material metálico queda unido a otro de propiedades y características similares, debido al uso del material de aporte generalmente llamado electrodo que, al ser sometido a altas temperaturas provocadas por la formación de un arco eléctrico, favorece a la unión de estas piezas. [2]

Existen diferentes procesos de soldadura, dentro de estos se pueden destacar los siguientes:

- Soldadura de Arco Eléctrico
- Soldadura de Resistencia eléctrica
- Soldadura por Plasma
- Soldadura en estado Sólido

Cada uno de estos tipos de soldadura tienen sus propias características y equipos que se toman en consideración al momento de seleccionar un proceso de soldadura para el trabajo deseado. [3]–[5]

El proceso que se analiza en el presente estudio es el proceso de soldadura por Arco Eléctrico, debido a su alto nivel de desarrollo, dentro de este método de unión de materiales metálicos, el equipo utilizado para este proceso debe ser seleccionado con mucho cuidado debido a la combinación de dispositivos mecánicos y eléctricos que faciliten la unión de dos o más materiales, a través de la adecuada aplicación de calor y de un material de aporte o a su vez con el material base [6].

Dentro del proceso de unión de materiales por soldadura se deben tener muy en cuenta las principales ventajas de este proceso, que son las siguientes:

- Eficacia y maximización de tiempos de preparación.
- Mayor rigidez en las uniones.
- Gran cantidad de métodos de soldadura.
- Proceso utilizado a nivel industrial.

El equipo de soldadura depende principalmente de dos aspectos, el primero, el tipo de proceso y el segundo, el tipo del material que se desea unir. Se debe considerar además cual será el proceso para aplicar, la finalidad y el uso que tendrá el material resultante de la unión y también las propiedades que tiene el material base para seleccionar un material de aporte con características similares con el fin de que la unión sea lo más homogénea posible.

Para este proceso se debe definir la posición de soldadura con la que serán unidos los materiales para su posterior análisis; en el presente estudio se ha decidido trabajar con una posición de soldadura a tope sin biselado.

Finalmente habiendo determinado la posición de soldadura, el tipo y proceso se tendrá que discutir y analizar el material y el método o proceso de soldadura seleccionados para este análisis.

El proceso GTAW fue utilizado para procesos de unión por soldadura de aleaciones de aluminio.

El objetivo principal fue determinar las propiedades adquiridas por el material después de ser sometido al proceso de soldadura y los principales parámetros a tomarse en cuenta son:

- Tipo de Corriente
- Polaridad del proceso
- Tipo de Electrodo
 - o Consumible
 - o No Consumible
- Gas de Recubrimiento
- Amperaje y Flujo de Gas de protección

En el país el uso de la soldadura GTAW se ha limitado únicamente a procedimientos manuales que no ofrecen las garantías para ser utilizados a nivel industrial, además de su alto costo. En la industria carrocería del país generalmente se utilizan remaches y roblones que son métodos de unión de materiales rápidos y sencillos, sin embargo, se debe tener en cuenta las desventajas que estos métodos tienen respecto al proceso de soldadura, para mejorar los resultados se ha utilizado el proceso de soldadura GTAW.

En la investigación se determinarán todos los parámetros de soldadura necesarios para el proceso semiautomático GTAW aplicado a la soldadura de aluminio, entre estos tenemos: intensidad de corriente, voltaje, flujo de gas de protección y velocidad de avance del electrodo, parámetros que serán obtenidos mediante la respectiva investigación bibliográfica, y serán validados a través del análisis de la microestructura y propiedades mecánicas del material.

Los resultados permitirán encontrar una variante al proceso de soldadura GTAW que, generalmente se lo aplica de manera manual, lo cual variará las propiedades mecánicas como su microestructura, proceso que se recomendará utilizarlo dentro de la industria carrocería o en diferentes procesos y/o aplicaciones a nivel industrial.

Materiales y Métodos

Para la correcta realización de este estudio se ha decidido trabajar con una aleación de Aluminio de la serie 1XXX esto nos indica que la aleación a utilizarse tendrá un porcentaje de pureza del 99% además, se debe seleccionar el método o proceso de soldadura con el que se realizará la unión de las juntas de aluminio, que es la soldadura GTAW, proceso de soldadura por arco eléctrico con una atmósfera protectora de gas que ayuda a la formación del cordón de soldadura.

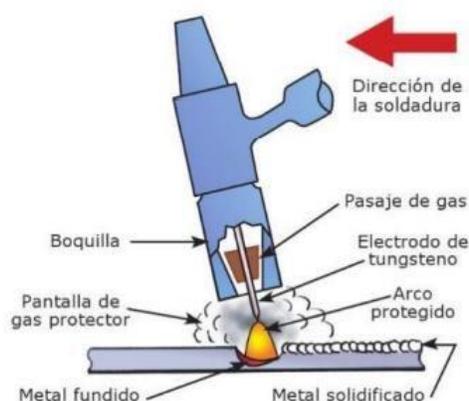


Figura 1. Esquema del proceso de soldadura GTAW [7]

La aleación de Aluminio utilizada en el presente estudio fue la A1200 - H14, se optó por trabajar con este tipo de aleación debido a su gran disponibilidad dentro del mercado a nivel nacional, al ser un material que cuenta con un 99% de pureza; los elementos aleantes en su combinación van a formar el 1% restante, la composición química de la aleación A1200 – H14 la podemos observar en la Tabla 1:

| Elemento | Cantidad (%) |
|-----------|--------------|
| Silicio | 0.57 |
| Hierro | 0.24 |
| Cobre | 0.03 |
| Manganeso | 0.025 |
| Magnesio | 0.01 |
| Cromo | - |
| Zinc | 0.047 |
| Titanio | 0.01 |

Tabla 1 Composición química de la aleación de aluminio A1200 – H14 [8]

El aluminio puro, es el segundo metal de mayor abundancia en la superficie terrestre y se caracteriza por sus propiedades mecánicas: ligereza, maleabilidad y ductilidad, baja resistencia mecánica. Para incrementar esta última propiedad se desarrollaron disoluciones con diferentes elementos de aleación y así obtener el duraluminio, término que hace referencia a diferentes aleaciones que experimentan un envejecimiento a temperatura ambiente lo que provoca un incremento considerable en su resistencia mecánica.

Actualmente, el uso de las diferentes aleaciones de aluminio se ha incrementado y es utilizado en diferentes industrias como la aeronáutica, petroquímica, automotriz, entre otras. Las primeras aleaciones que empezaron a soldarse fueron las utilizadas en la industria aeronáutica empleando el método FSW (Friction Stir Welding) en los ejes de las turbinas, mientras que el proceso GTAW se utilizaba en componentes inoxidables.

Adicionalmente se tendrá que seleccionar el material de aporte (electrodo) y los parámetros de soldadura con los que se trabajará para realizar la unión de estos. Siguiendo las recomendaciones de manuales de soldadura [9], [10] se ha podido concluir lo siguiente:

- Varilla de proceso GTAW

Este alambre debe caracterizarse por la calidad con la que se forman los cordones de soldadura soldados por gas inerte (GTAW) trabajando principalmente con argón como gas protector, debe poseer una alta conductividad térmica que favorecerá a la formación del arco eléctrico. Es así como las recomendaciones de LINDE Ecuador en sus manuales de soldadura recomiendan que el alambre de soldadura adecuado para este proceso es el Electrodo Er 5356 cuyas especificaciones son las siguientes:

| Composición química (típica) del alambre: | | (valores individuales son máximos salvo indicación contraria) | |
|---|------------------|---|-------------------|
| Mn 0,05-0,20%; | Si 0,25%; | Cr 0,05-0,20%; | Ti 0,06-0,20%; |
| Mg 4,5-5,5%; | Zn 0,10%; | Fe 0,40%; | Al balance |
| Amperajes recomendados: | | | |
| Diámetro mm | Amperaje mín. | Amperaje máx. | Voltaje, volts |
| 1,2 | 100 | 250 | 18-23 |

Tabla 2 Composición y parámetros de uso del electrodo Er 5356 [11], [12]

Estudio y definición del equipo de soldadura a utilizar

La relación de los parámetros de soldadura se logrará con la selección y uso correcto de un equipo adecuado, además de definir los rangos de variación de los parámetros habrá que determinar cuál

es el equipo para utilizar en el proceso. Al finalizar el análisis bibliográfico de diferentes fuentes de información se determinó que el equipo a utilizar debe ser el siguiente:

a. Máquina soldadora con arco y cables: se lo debe seleccionar de acuerdo con las necesidades del proceso descrito anteriormente, debe cumplir con las siguientes características:

- Contar con un Control de Voltaje
- Trabajar con Corriente alterna de Alta Frecuencia
- Permitir modificar el Tipo de Conexión

Debido a las características del proceso GTAW el equipo debe contar con un sistema que controle y regule los niveles de voltaje y los mantenga constantes durante el proceso, para conseguir cordones de soldadura más duraderos, con un mejor aspecto visual y sin la presencia de imperfecciones o fallas. En la documentación revisada de los manuales de soldadura GTAW especifican que se trabaje con corriente alterna de alta frecuencia, sin embargo, al realizar ensayos con corriente continua y una conexión de electrodo inverso las características del cordón de soldadura resultante son malas y la penetración sobre el material base no se da de manera constante.

b. Suministro de gas de aislamiento: que conste de mangueras, reguladores, conectores.

El gas de protección para el proceso GTAW es el Argón debido a la facilidad de adquisición y el uso como gas agente encargado de la protección del cordón de soldadura. En caso de que el soplete lo requiera se dispondrá de un suministro de agua.

Parámetros del proceso GTAW para soldadura de aluminio

Para la optimización de los resultados obtenidos en este proceso se deben regular los parámetros de acuerdo con el material que será utilizado, tomando en cuenta las recomendaciones mencionadas anteriormente, siendo así los datos recopilados han demostrado que los principales parámetros del proceso son los siguientes:

- Voltaje
- Intensidad de corriente
- Flujo de Gas
- Temperatura de Pre calentamiento

Finalmente, estos parámetros se deben combinar de manera que puedan entregar los mejores resultados y estos a su vez permitan ser evaluados mediante ensayos que demostrarán el efecto que

provocó el proceso de soldadura. Los parámetros con los que se trabajará en este estudio son los siguientes:

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Voltaje (V) | 25 |
| Intensidad de Corriente (A) | 120 |
| Flujo de gas de protección (L/min) | 12 |
| Temperatura de Pre calentamiento (°C) | 70 |

Tabla 3. Parámetros de soldadura para el proceso GTAW [4], [13]

Calibración y montaje del equipo de velocidad

El equipo utilizado en este estudio fue del proyecto denominado “Relación, Microestructura/Propiedad en la Soldadura Gtaw entre Aceros Inoxidables y Aceros al Carbono” (Villavicencio Cevallos 2010) con el que se puede controlar la velocidad para la antorcha GTAW. El equipo de control de velocidad fue sometido a pruebas que verifiquen su estado de funcionamiento, además se aplicó métodos de mantenimiento correctivo y preventivo para corregir las fallas existentes y prevenir daños futuros.

Se ubicó una base de soporte para las placas a soldar, para el montaje del equipo es necesario ubicar la antorcha en el soporte lateral situado junto al tornillo sin fin.

Una vez realizado el proceso de unión de las juntas de aluminio se ha obtenido los siguientes resultados que serán puestos a análisis que puedan evidenciar sus características físicas (cordón) y mecánicas (propiedades mecánicas), las juntas obtenidas se muestran en las siguientes figuras:

Ensayos de soldadura en juntas de aluminio

Las pruebas fueron realizadas con juntas de aluminio de espesor de 3 mm. Para realizar la soldadura sobre las placas se tomó como decisión inicial en base a las recomendaciones bibliográficas, realizar un pre calentamiento a las juntas para que el proceso sea mucho más eficiente.

Es necesario realizar una limpieza del material con un paño limpio libre de cualquier impureza humedecido con thinner acrílico, hasta eliminar toda la grasa y residuos de los elementos utilizados para adherir el recubrimiento de protección al aluminio. Las juntas a realizarse son de tipo sin bisel y la pasada del cordón de soldadura es única a tope. En las fotografías se puede observar el resultado del proceso de soldadura de la diferentes juntas y pruebas realizadas.



Figura 2. Resultado del proceso de soldadura



Figura 3. Junta de aluminio soldada

- **Ensayo de tintas penetrantes**

El ensayo de líquidos penetrantes tiene como objetivo evaluar la integridad del cordón de soldadura formado por la unión del material base y el material de aporte (electrodo). Este ensayo requiere que la superficie se encuentre libre de impurezas o partícula alguna que pueda alterar la integridad del cordón, para esto el proceso.

El proceso fue realizado de acuerdo con las especificaciones que la norma ASTM E165 nos entrega en las cuales se indica las condiciones de las juntas a analizar, así como también la forma de interpretar los resultados obtenidos. Estos resultados se presentan en las siguientes figuras:



Figura 4. Resultado del Ensayo de tintas penetrantes



Figura 5. Resultado del Ensayo de tintas penetrantes

Caracterización del material - Microestructura

La microestructura del material será revisada mediante un análisis metalográfico realizado de acuerdo con las recomendaciones que se establecen en la norma ASTM E3-95. Dentro de este procedimiento se consideran aspectos como la preparación de probetas que tendrán que ser pulidas y atacadas químicamente para poder observar su microestructura con la suficiente claridad, para poder visualizar los resultados obtenidos se requiere de un equipo adecuado con el que se puedan tener en consideración todos los detalles que las imágenes puedan presentar. Dentro de estos resultados se pueden distinguir las siguientes figuras.

En la figura 6 se puede observar la microestructura resultante del proceso de soldadura en la zona afectada por el calor, en donde se evidencia claramente varias imperfecciones y segregaciones de Cromo en el material, así como también pequeños defectos producidos por el proceso de soldadura, además de esto se puede observar la formación de las dendritas con base Al – Si, típicas de este proceso.

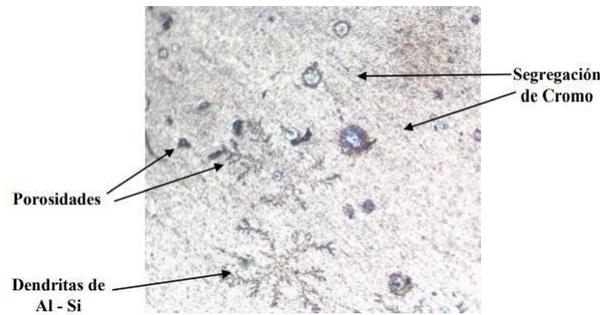


Figura 6. Microestructura junta soldada de Aluminio [14]

En la figura 7 se observa la microestructura obtenida con un aumento de 400x en donde se puede apreciar la distribución característica del aluminio al ser sometido a un proceso de soldadura GTAW que es del tipo interdendrítico, en donde las dendritas tienen una composición base de Al – Si provenientes del material base y sus elementos aleantes. Las dendritas resultantes de una reacción eutéctica entre las dos fases que constituyen la base de la microestructura del aluminio y son las fases α y β .

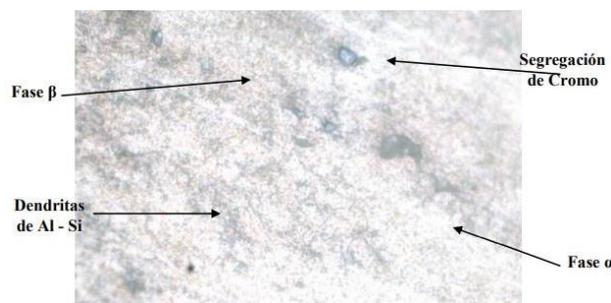


Figura 7. Microestructura junta soldada [14]

En la figura 8 se puede observar la microestructura del material con un aumento de 400x se dónde se visualizó el resultado obtenido después de realizar el proceso de soldadura, compuesto

específicamente por una combinación de cristales de Aluminio y Silicio provenientes de una reacción eutéctica efecto del proceso de soldadura, que se convierten en dendritas (zona gris) y que coexisten dentro de la fase α (zona blanca).

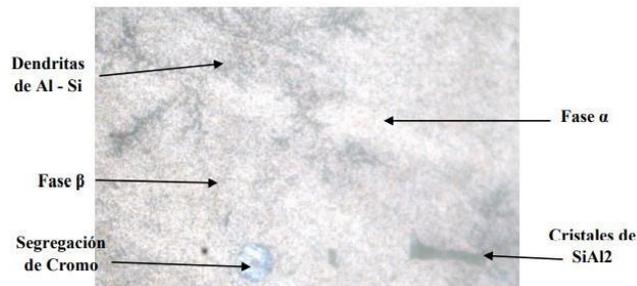


Figura 8. Microestructura junta soldada de aluminio [14]

En la figura 9 se puede observar además de la combinación del material base y el cordón de soldadura, una pequeña fisura en el cordón de soldadura (lado derecho) provocada por una imperfección en el proceso y que va a dar lugar a la falla del cordón de soldadura y posteriormente al material obtenido.

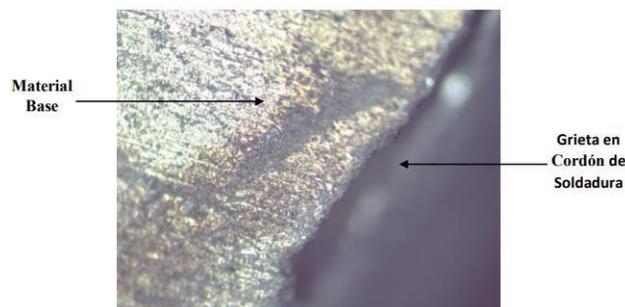


Figura 9. Microestructura junta soldada [14]

Propiedades Mecánicas

a. Dureza

Debido al tamaño de las probetas se optó por realizar ensayos de micro dureza Vickers, este ensayo permite determinar la resistencia que el material tendrá frente al desgaste superficial y al fallo frente a picaduras e imperfecciones que se puedan presentar en la superficie del material soldado. De

acuerdo con la norma ASTM E384 detalla el procedimiento para determinar la dureza de este material.

Los valores de dureza obtenidos en el análisis respectivo se muestran en la siguiente tabla:

| Probeta N° | Dureza Vickers | |
|---------------|------------------|------------------------|
| | Material Base | Cordón de Soldadura |
| 1 | 28,04 | 103 |
| 2 | 33,63 | 187,25 |
| 3 | 35,12 | 114,13 |
| 4 | 36,53 | 185,16 |
| 5 | 31,64 | 40,66 |
| 6 | 32,08 | 63,66 |
| 7 | 32,22 | 39,2 |
| 8 | 34,45 | 35,1 |

Tabla 4. Micro dureza Vickers del material resultante [14]

b. Resistencia a la Tracción

Una vez realizado el análisis de la resistencia a la tracción del material resultante se podrá determinar la afectación que sufrió el material base después de ser sometido al proceso de soldadura, la normativa que contempla todos los aspectos para tener en cuenta es la AWS D1.2 misma que trata de ensayos de tracción aplicados a materiales soldados.

Los ensayos de tracción con los que se evalúan el límite de Fluencia del material obtenido serán realizados en las instalaciones del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la ciudad de Ambato. Con este ensayo se podrán determinar tanto la deformación como el esfuerzo de fluencia y la carga máximos a tracción con la que el material obtenido puede trabajar.

La forma del material (cilíndrico, rectangular) y el espesor del material en el caso de ser rectangular, este apartado tiene una subdivisión en donde se clasifican materiales como tipo Placa con un espesor menor o igual a 25 mm y mayores a 25 mm, de acuerdo, las probetas mecanizadas para el ensayo de tracción tienen las siguientes dimensiones:

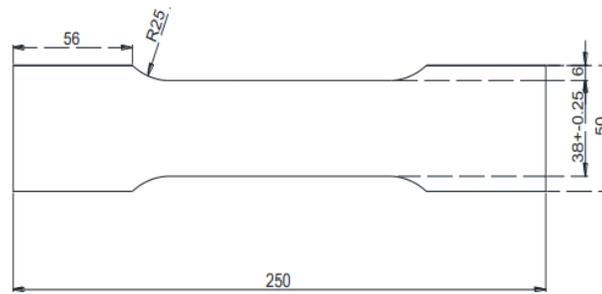


Figura 10. Dimensiones de probeta para ensayos de tracción [14]

| | | |
|-----------------------|---------|----|
| Precarga | 0 | N |
| Caída % | 100 | |
| Retorno Automático | 0 | |
| Límite Fuerza | 1500000 | N |
| Límite Desplazamiento | 500 | mm |
| Stop Ext | 500 | mm |

Tabla 5. Parámetros del ensayo de tracción

Resultados y Discusión

Los resultados de los análisis realizados al material resultante del proceso de soldadura se muestran a continuación:

Ensayos de Tracción

El equipo utilizado para realizar el ensayo mecánico nos entrega una información como son las curvas del comportamiento del material, desplazamiento de las probetas ensayadas, gracias a estas curvas se puede observar el comportamiento del material obtenido, y así poder conocer cuál será el esfuerzo máximo al cual puede ser sometido.

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción sobre el material obtenido se presentan en

| Probeta | | F _{máx} | C _{máx} |
|----------|--|------------------|------------------|
| Ensayada | | [N] | [Mpa] |
| 1 | | 5550 | 45,14 |
| 2 | | 6050 | 50,49 |
| 3 | | 5850 | 48,61 |

Tabla 6. Resultados de los ensayos de tracción

Los ensayos de tracción realizados a las probetas fabricadas con el material resultante se los puede observar en las siguientes gráficas:

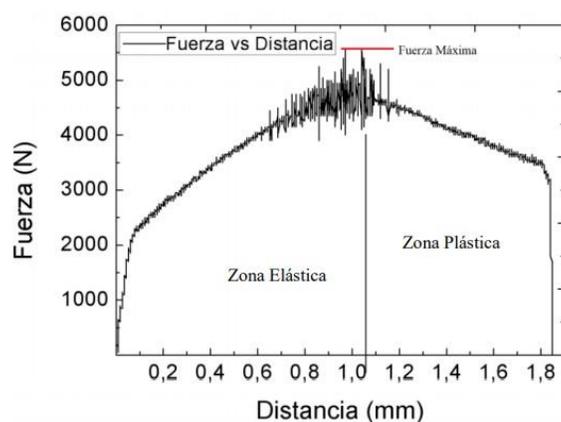


Figura 11. Curva Fuerza vs Distancia [14]

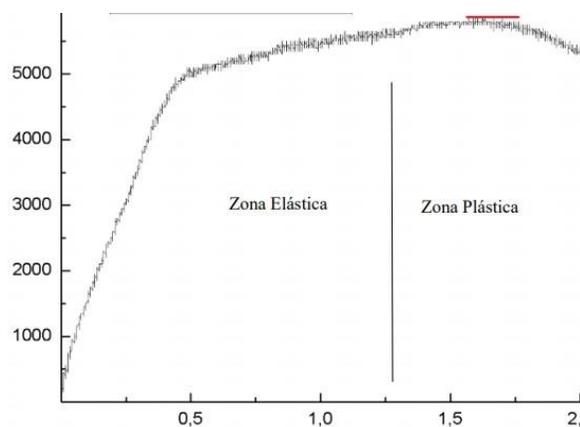


Figura 12. Curva Fuerza vs Distancia [14]

Los gráficos 11 y 12 nos indican el comportamiento que el material resultante va a tener frente a fuerzas de tracción habiendo alcanzado como fuerza máxima soportable 6050 N, además, podemos encontrar cual es la capacidad máxima haciendo uso de la ecuación del esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{6050}{(38mm)(3mm)} = 48.68 \text{ MPa}$$

Microestructura

Dentro del análisis metalográfico se han podido determinar las fases que se encuentran presentes a nivel microestructural en el material resultante, principalmente se han encontrado las fases α y β que son fases características de una aleación de aluminio, adicionalmente se ha logrado visualizar la formación de dendritas, cristales de SiAl_2 y segregaciones de Cromo.

A continuación, se muestran las diferentes microestructuras obtenidas mediante el análisis metalográfico realizado:

La figura 13 muestra de manera clara las dendritas formadas en la microestructura del material resultante del proceso, además de las porosidades presentes (zonas negras semi redondas) donde se distingue claramente la presencia de la fase resultante de una reacción eutéctica compuesta principalmente de Al – Si.



Figura 13. Curva Fuerza vs Distancia

La figura 14 muestra con claridad que esta junta sufrió de una segregación de cromo excesiva debido a la gran presencia de cromo en la probeta, además de este elemento también se puede notar

la presencia de dendritas formadas por Aluminio y Silicio que coexisten en la base de la microestructura analizada.



Figura 14. Junta soldada aumento 400x

Dureza

El comportamiento de la dureza del material obtenido en su superficie sigue el comportamiento clásico del aluminio unido por soldadura, es decir, el material presenta una fragilización en la zona de transición entre el cordón de soldadura y el material base, obteniendo una dureza menor en el límite de cordón que en el material base, la dureza fue medida desde el centro del cordón de soldadura hacia uno de sus extremos, esto se lo puede visualizar con mayor facilidad en el siguiente gráfico.

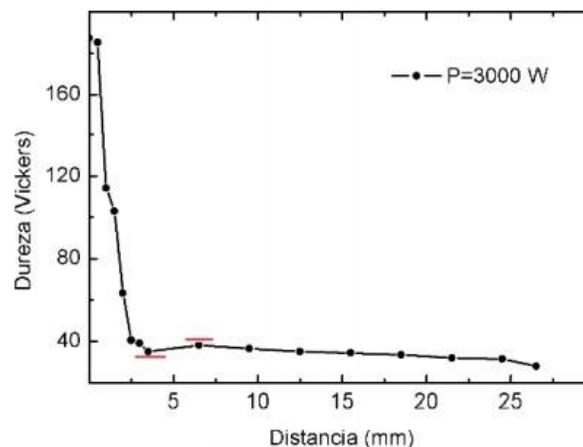


Figura 15. Variación de la dureza Vickers [14]

En la figura 15 se puede observar la variación entre la dureza que se da en el material obtenido medida desde el centro del cordón de soldadura hacia el extremo de esta, se puede notar claramente

que la dureza es máxima en el centro del cordón, mientras que la dureza mínima del material se la puede encontrar al finalizar este. De esta manera se vuelve necesario realizar un análisis del efecto que se obtuvo en dicha zona de la soldadura.

El análisis de la curva obtenida de la relación distancia vs Dureza Vickers en el material debido a que el aluminio presenta una pequeña desventaja al ser unido por medio de un proceso de soldadura, y es que como se puede notar en la figura la dureza de la zona de transición es menor a la dureza obtenida en material base, siendo estos valores 34.45 y 35.12 respectivamente, por lo que ese punto se convierte en uno de los que mayor tendencia a fallar presenta.

Ensayos de Tintas Penetrantes

Los ensayos de tintas penetrantes realizados en el material obtenido demostraron que el cordón de soldadura no presenta ningún tipo de discontinuidad a lo largo del mismo, sin embargo, este si presenta ciertas porosidades tanto al inicio como al final de este, la presencia de dichas discontinuidades evidencia que la formación del cordón sufrió algún inconveniente al iniciar el proceso. Gracias a esto podemos evidenciar que el proceso fue realizado de manera satisfactoria y se podrá analizar los cambios que se dieron en estas propiedades después de haber sido aplicado un proceso de soldadura para la unión de este material.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir lo siguiente:

El proceso de soldadura provocó cambios muy notorios tanto a la microestructura, también en su resistencia a la tracción siendo este valor máximo de 50,49 Mpa obtenido mediante el cálculo experimental. Mientras que la Microestructura presentó la formación de segregaciones de Cromo resultado del uso del electrodo Er 5356 cuya composición química consta de dicho elemento.

El cambio en la dureza del material provocado por el proceso de soldadura se evidenció principalmente en el cordón de soldadura y en la zona de transición en los cuales se logró como valor máximo 187 Vickers ubicado en el centro del cordón y un valor mínimo de 35.4 Vickers ubicado en la zona de transición del cordón de soldadura.

El proceso de soldadura GTAW aplicado a la unión de la aleación de aluminio entrega resultados eficientes siempre que se cumplan con las siguientes recomendaciones:

- El proceso debe ser realizado con un equipo que funcione tanto a la salida como a la entrada con corriente alterna de alta frecuencia.
- El material debe recibir un precalentamiento previo para poder mejorar la distribución de calor sobre este.
- El gas de protección del proceso debe encontrarse regulado según la bibliografía revisada en el presente documento.

Los ensayos practicados en el material resultante muestran con claridad los cambios que se producen sobre el aluminio al ser unido mediante un proceso de soldadura, este puede estar sujeto a cambios de acuerdo con los parámetros de soldadura utilizados y si el proceso con el que se trabaja es manual, automático o semi automático.

La formación del arco eléctrico debe ser tratada con cuidado, es decir, iniciar el proceso de soldadura con cautela y según las recomendaciones de las guías y manuales de soldadura [9] para evitar la aparición de imperfecciones al inicio y al final de los cordones de soldadura, evitando así el desperdicio y mejorando la calidad del material que se obtiene luego del proceso de soldadura.

Referencias

- [1] L. Jeffus, *Soldadura: principios y aplicaciones*, vol. 3. Editorial Paraninfo, 2009.
- [2] S. Kalpakjian and S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Pearson Educación, 2002.
- [3] I. F. Villegas, “Análisis del proceso de soldadura por resistencia en materiales compuestos de matriz termoplástica de interés aeronáutico,” Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- [4] L. Arriaga Segundo, C. Bernache Gonzalez, and L. G. Zarate Ordone, “Procesos de soldadura,” 2008.
- [5] D. Santiago, G. Lombera, A. Cassanelli, S. Urquiza, and L. de Vedia, “Análisis térmico en soldadura por fricción,” *Mecánica Comput.*, vol. 24, pp. 2781–2793, 2005.
- [6] R. W. Fox, “Welding cable and equipment.” Google Patents, 1983.
- [7] A. G. Rodríguez, “Consideraciones sobre Soldadura Manual con Electrodo Revestido.”
- [8] Dipac, “DIPAC.” <http://www.dipacmanta.com/aluminio/plancha-aluminio-lisa-astm-a1200> (accessed Sep. 13, 2019).
- [9] L. Jeffus, *Manual de soldadura GTAW (TIG)*. Editorial Paraninfo, 2008.
- [10] R. Rowe and L. Jeffus, *Manual de soldadura gmaw (MIG-MAG)*. Editorial Paraninfo, 2008.

- [11] “Home | Linde Ecuador, un miembro de The Linde Group.”
<http://www.linde.ec/es/index.html> (accessed Sep. 18, 2019).
- [12] teparatres, “Catalogo de Alambres.”
<http://www.indura.com.ec/mobile/ec/1006567/alambre-mig-er-5356/4> (accessed Sep. 18, 2019).
- [13] J. M. G. De Salazar, A. Ureña, E. Villauriz, S. Manzanedo, and I. Barrena, “Soldadura TIG y MIG de las aleaciones de aluminio 6061 y 7020. Estudios microestructurales y de propiedades mecánicas,” *Rev. Metal.*, vol. 34, no. Extra, pp. 276–280, 1998.
- [14] F. Jhoe, “INFLUENCIA DE LA SOLDADURA SEMIAUTOMÁTICA GTAW EN LA MICROESTRUCTURA Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE JUNTAS SOLDADAS DE ALUMINIO A1200 - H14 USADO EN LA INDUSTRIA CARROCERA,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2020.

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).