

SOLDABILIDAD DE FUNDICIONES DE HIERRO GRIS, HIERRO NODULAR Y DE ACERO INOXIDABLE A304. ANÁLISIS METALOGRAFICO.

Grey and Nodular Cast Iron and Stainless Steel A304 Weldability. Metallographic Analysis.

Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Dr. Sc. en Metalurgia
raarivas@hotmail.com

Estuardo Celada Ríos

Mtro. en Mantenimiento
santimagno_2@hotmail.com

Byron J. Bonilla Chang

Mtro. en Mantenimiento
byronbonilla25@hotmail.com

Recibido: 17 de agosto de 2020. | Revisado: 26 de febrero de 2021. | Aceptado: 28 de junio de 2021.

RESUMEN

Se investiga la soldabilidad de aleaciones Hierro-Carbono, consistentes en fundición gris, fundición nodular y acero inoxidable austenítico. Se emplea el proceso de soldadura eléctrica al arco, SMAW, mediante cordón corrido, en donde se hace necesaria o se descarta la aplicación de tratamientos térmicos específicos, en casos reales, que afectan directamente a la infraestructura del país, en el empleo de motores de combustión interna y tuberías para conducción de agua e hidrocarburos.

Se realiza análisis metalográfico de casos especiales de soldadura, definiendo la necesidad de aplicación de tratamientos térmicos, TTT, en función de las características metalúrgicas de los elementos a soldar, y se señalan los procesos específicos de aplicación de acuerdo con ensayos experimentales de los autores.

Los ensayos experimentales se ejecutan sobre probetas de fundición gris, fundición nodular y acero inoxidable austenítico ASTM 304, obteniéndose resultados positivos de soldabilidad.

PALABRAS CLAVE

Soldabilidad, fundición gris, fundición nodular, acero inoxidable.

ABSTRACT

Weldability of Iron-Carbon alloys, consisting of grey cast iron, nodular cast iron and austenitic stainless steel is investigated through the shielded metal arc welding, SMAW, by means of straight cord process, where the application of specific heat treatments is necessary or discarded, in real cases that directly affect the country's infrastructure, in de use of internal combustion engines and pipes for conduction of water an hydrocarbons.

Metallographic analysis of special cases of welding is car ried out, defining the need for application of heat treatments, TTT, through the metallurgical characteristics of the elements to be welded, and the specific processes of application according to experimental trials by the authors.

Experimental trials are conducted on grey cast iron, nodular cast iron and ASTM 304 austenitic stainless-steel specimens, with positive results of technological benefit

KEYWORDS

Weldability, grey cast iron, nodular cast iron, stainless steel.

INTRODUCCIÓN

Se investiga, mediante ensayos metalográficos, la soldabilidad de fundiciones gris y nodular, y del acero inoxidable austenítico ASTM 304, presentes en una amplia gama de maquinaria y equipo empleados en la industria nacional, tal es el caso de los motores automotrices y de tuberías de transporte de hidrocarburos.

Cuando dos metales se unen por medio de soldadura, o bien cuando un material dañado se repara o se reconstruye mediante este proceso, sin mostrar ningún tipo de fallas o defectos, se dice que dichos materiales presentan buena soldabilidad. Esta propiedad no es más que la capacidad de los metales de facilitar su unión por el proceso de soldadura, obteniéndose juntas sanas y totalmente homogéneas, conservando las propiedades mecánicas originales. (Celada y Aguilar, 2013).

La soldabilidad está regida por las características químicas y metalúrgicas del material base y el material de aporte, así como de la aplicación de los procesos termodinámicos adecuados para su realización.

En este artículo se comprueba la continuidad de las estructuras metalográficas de probetas paralelas, de las uniones soldadas de los materiales propuestos, en las cuales los ensayos mecánicos producen resultados satisfactorios de soldabilidad.

Se emplean END, específicamente Líquidos Penetrantes, para verificar la continuidad de los cordones de soldadura exentos de defectos o discontinuidades.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

La presente investigación se desarrolla dentro del concepto del diseño experimental, con enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo, cuyo alcance es del tipo descriptivo. Con esto, se pretende llevar los resultados a todos aquellos profesionales, científicos y técnicos que se dedican a los procesos de soldadura y que se interesan en el manejo de las variables involucradas. De esta manera, se selec-

cionan probetas de fundición gris procedentes de un block fracturado de un motor automotriz, tipo Otto, de una tubería de fundición nodular, empleada para conducción de agua, y otra de acero inoxidable A304 proveniente de una tubería de conducción de hidrocarburos, a temperatura ambiente. Se selecciona el proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding), como método de soldadura, con y sin aplicación de tratamientos térmicos (Welding, Brazing and Soldering, 2005), realizándose la fabricación empírica de probetas de dichos materiales, según López (2019).

Como material de aporte se escogen las aleaciones a base de níquel y níquel puro para las fundiciones, conforme a la metodología empleada por Bonilla (2015), así como acero inoxidable austenítico E308 según Celada (2015). Se aplican tratamientos térmicos (TTT), pre y durante la soldadura, a las temperaturas que se indican en las figuras 3 y 4, para el caso de las fundiciones. El control de calidad de las soldaduras y la soldabilidad se realiza por medio de la inspección metalográfica. Las metalografías que se muestran corroboran lo expuesto, mostrando las características de calidad obtenidas durante los ensayos.

- a) Las variables que interactúan durante el proceso de soldadura son las siguientes: material base, constituido por el material del elemento a soldarse o a reconstruirse.
- b) Cordón de soldadura o material de aporte.
- c) Línea de fusión, constituida por la interfaz sólido-líquido, o sea, entre el material base en estado sólido y semifundido, y el material de aporte en estado líquido.
- d) Zona afectada por el calor, ZAC, que es la zona del material base en la inmediata vecindad del cordón de soldadura normalmente sometida a los efectos termodinámicos del proceso, por lo que sus características metalúrgicas se ven afectadas durante el mismo.

RESULTADOS OBTENIDOS

SOLDABILIDAD DE LAS FUNDICIONES GRIS Y NODULAR

Las figuras 3, 4, 6 y 7 constituyen los resultados micrográficos de los diferentes procesos de soldadura, según cada uno de los casos que se analizan.

Como se puede observar en la figura 1, se analiza el caso de la micrografía de la fundición gris, que presenta una matriz de ferrita y perlita con precipitaciones de grafito en forma de hojuelas dispersas sin patrón definido en toda la matriz.

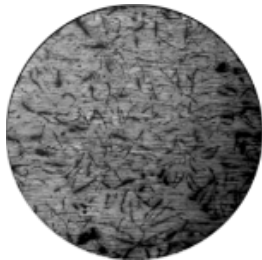


Figura 1. Micrografía representativa de las probetas de fundición gris, estado original. 100X.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 2, se observan las estructuras de grafito en forma esferoidal en una matriz de ferrita, características de la fundición nodular. Existe cierta similitud en algunas secciones con la fundición maleable debido a los bordes difuminados que presentan los nódulos de grafito.

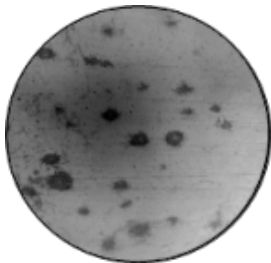


Figura 2. Micrografía representativa de las probetas de fundición nodular. Estado original 100X.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la figura 3, se presentan algunos resultados metalográficos de probetas soldadas por los métodos propuestos, los cuales indican la calidad de la unión entre el material base y el

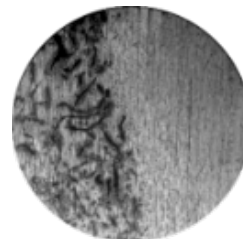
material de aporte. Se emplean temperaturas de 200°C y 500°C pre y durante el proceso, con enfriamiento aislado.

Las micrografías son resultado de las siguientes variables:

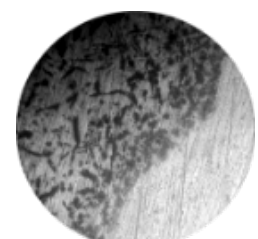
- Material base: fundición gris. Material de aporte: Níquel de alta pureza (ENiCl). Temperatura de precalentamiento: 200°C.
- Igual que a), pero a temperatura de precalentamiento de 500°C.
- y d), El mismo material base, pero con electrodo Níquel-Hierro y temperaturas de precalentamiento a 200°C y 500°C.

Puede observarse claramente en las cuatro micrografías, la continuidad estructural entre el material base, fundición gris y los materiales de aporte: níquel de alta pureza y aleación ferroníquel, lo cual avala la soldabilidad del material base con los electrodos y temperaturas que se emplean.

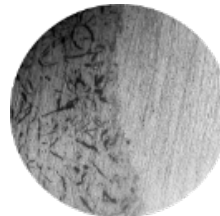
Se distinguen dos zonas bien definidas: la zona oscura por las hojuelas de grafito es el material base y la zona clara es el material de aporte.



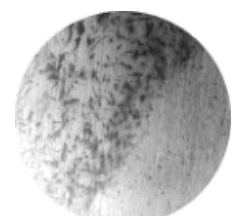
a) 200°C ENiCl



b) 500°C ENiCl



c) 200°C ENiFeCl



d) 500°C ENiFeCl

Figura 3. Micrografías de resultados de soldabilidad de fundición gris. Material base y cordón de soldadura. 100X. Fuente: elaboración propia.

En la figura 4, se muestran las micrografías de fundición nodular soldadas con iguales procedi-

mientos a los anteriores, SMAW, con los mismos electrodos, níquel de alta pureza y aleación ferrocromo, pero a temperaturas de 200°C y 300°C. Se observa:

- a) Material base: fundición nodular.
- b) Material de aporte, cordón de soldadura.
- c) Zona de fusión. d) Zona afectada por el calor (HAZ).

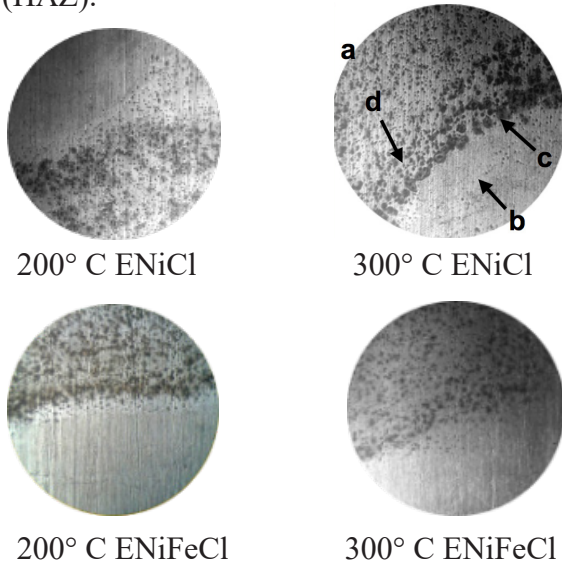


Figura 4. Micrografías de resultados de soldabilidad de fundición nodular. Material base y cordón de soldadura. 100X.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 4, se observa la compatibilidad microestructural del material base y el material de aporte. Es de hacer notar que la soldadura de la fundición nodular presenta mayor fluidez del material de aporte, aún a menor temperatura de precalentamiento.

SOLDABILIDAD DEL ACERO A304.

Los aceros austeníticos en general suelen presentar muy buena soldabilidad, sin tratamientos térmicos, además, existe una gran compatibilidad entre toda la familia de la serie AISI 300, lo que los hace sumamente versátiles aún para unión de aceros de otros grupos. Esto puede observarse en las micrografías siguientes, en donde se aprecia claramente la microestructura del material base A304 y del material de aporte A308 después de la soldadura.

La figura 5 muestra la estructura micrográfica ori-

ginal del acero A304, mientras que en la figura 6 se muestran las metalografías del cordón de soldadura con material de aporte E308 y la zona de unión con el material base A304.

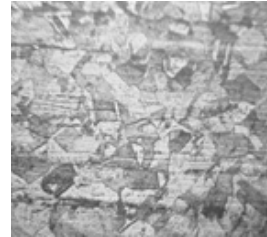


Figura 5. Micrografía de las probetas de acero inoxidable austenítico A304 en estado de suministro. 200X.
Fuente: López, (2019).

Obsérvese la total continuidad de la estructura del material de aporte con el material base en la zona de unión.



- a) cordón de soldadura.
- b) unión.

Figura 6. Micrografía de unión de acero A304 con material de aporte E308. 100X.
Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se aprecia la soldabilidad del mismo material base A304, con material de aporte E309L, mostrando similar compatibilidad de los materiales que en el caso anterior.

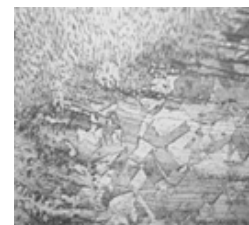


Figura 7. Micrografía de la unión de acero A304 con aporte E309L.
Fuente: López (2019).

En la soldadura de este tipo de aceros, se produce un fenómeno perjudicial conocido como sensibilización (actualmente se acepta el término sensitización, adaptado del inglés sensitized), que en realidad no tiene que ver con la soldabilidad de los materiales, sino que depende del desconocimiento del operario de las variables ingenieriles que entran en el proceso.

El fenómeno se presenta cuando, durante la soldadura, se producen temperaturas muy altas en la zona afectada por el calor, debido al aporte calórico; esto provoca que se formen carburos de cromo que migran hacia los bordes de grano, dejando a las estructuras austeníticas, cercanas a dichos bordes, empobrecidas del cromo necesario para resistir la corrosión, muy susceptibles a dicho fenómeno.

La figura 8 muestra el fenómeno de la sensibilización, en la micrografía correspondiente a una probeta de acero AISI 304, recocida durante una hora a 650 °C dentro del horno y posteriormente atacada con ácido oxálico durante 3.5 minutos.

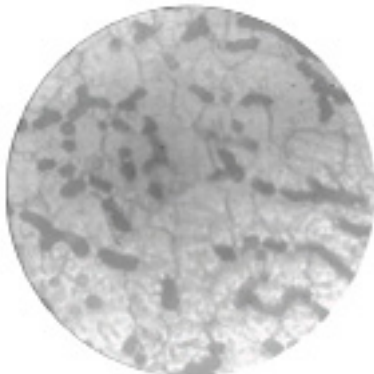


Figura 8. Corrosión en acero A304 sensibilizado y atacado con ácido oxálico al 10%. 100X.
Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el caso de la fundición gris se nota la liga perfecta tanto del lado del material base y de la soldadura, no encontrándose ningún tipo de defectos ni discontinuidades en la línea de fusión ni en la ZAC. Es importante indicar que durante la aplicación de los END después de la soldadura, tam-

co se encuentran discontinuidades ni defectos con ninguna de las técnicas referidas. Lo mismo puede indicarse de la soldadura de la fundición nodular.

Tanto en el caso de la fundición gris, como de la nodular, los beneficios del precalentamiento a favor de la soldabilidad son similares, lo que no sucede cuando no se realiza ningún tipo de tratamiento térmico durante la aplicación de las técnicas de deposición, se encuentra mejor respuesta al proceso cuanto mayor es la temperatura de precalentamiento en ambos tipos de fundición.

Por otro lado, se nota un cambio estructural aparente en los casos del material base de la fundición nodular en la HAZ, en donde pareciera que hubo mayor dilución del carbono, ya que se hace más difícil definir los nódulos de grafito.

Finalmente, debe tomarse en cuenta que, para el caso de las fundiciones, es necesaria la aplicación de temperaturas pre y durante el proceso, realizando enfriamientos lentos con la unión recubierta.

En el caso de los aceros inoxidable austeníticos los tratamientos térmicos no son necesarios y debe evitarse la subida de las temperaturas durante la soldadura para evitar el efecto de la sensibilización, figura 8. La corrosión, en las zonas adyacentes a los límites de grano, en donde se depositan los carburos de cromo ($Cr_{23}C_3$), se produce fácilmente debido a descarburación. De igual forma, el fenómeno se produce si se calienta el material austenítico entre 600 y 800 °C.

CONCLUSIONES

De los resultados analizados metalográficamente, se observa que la soldabilidad de los materiales analizados depende de:

1. El tipo de material sometido al proceso de soldadura.
2. Del material de aporte.
3. De las temperaturas empleadas durante el proceso de soldadura.
4. De la compatibilidad entre el material base y el material de aporte.
5. Del conocimiento de las variables generales

implicadas en el proceso, principalmente el manejo de las temperaturas.

RECOMENDACIONES

1. A los responsables del proyecto de Investigaciones Metalúrgicas de la FIUSAC:

Apoyándose en los resultados de las investigaciones realizadas y en los problemas expuestos en las referencias, continuar con las investigaciones del fenómeno basándose en casos reales.

2. A los sectores involucrados (usuarios, industria y profesionales de la ingeniería):

Realizar los estudios e investigaciones correspondientes, en casos reales que involucren a cada sector o a su interacción, para contribuir al desarrollo del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Metals Handbook. (2005). Volume 6, *Welding, Brazing and Soldering*. ASM International. Ohio, USA.
- Bonilla Chang, B. J. (2015). *Reconstrucción y/o reparación de piezas de fundición gris por medio de soldadura al arco (SMAW)*. Tesis de Maestría en Mantenimiento. FIUSAC. Guatemala.
- Celada Ríos, E. S. y Aguilar Rivas, R. A. (2013). *Soldabilidad del acero AISI 1045 con electrodos E8018B2 y E9018B3*. Proyecto de investigaciones metalúrgicas. EIM. FIUSAC. Guatemala.
- Celada Ríos, E. S. (2015). *Ensayos de soldadura al arco con electrodo revestido en acero inoxidable austenítico AISI 304*. Tesis de Maestría en Mantenimiento. FIUSAC. Guatemala.
- López Rodríguez, S. A. (2019). *Diseño de una metodología de soldadura al arco eléctrico con electrodo revestido para aleaciones de aceros disímiles*. Tesis de Maestría en Mantenimiento. FIUSAC. Guatemala.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Ingeniero Mecánico, Roberto Alejandro Aguilar Rivas, Facultad de Ingeniería, USAC. 1971.

Doctor en Ciencias. Estudios de posgrado a nivel de Maestría, Doctorado y Postdoctorado en Metalurgia de la Transformación, en la CNEA, Argentina. 1973-1977.

Afiliación laboral: Investigador. Escuela de Ingeniería Mecánica. FIUSAC. Guatemala.

Ingeniero Mecánico, Byron José Bonilla Chang, Facultad de Ingeniería, USAC. 2012.

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento, Facultad de Ingeniería, USAC. 2015. Guatemala.

Ingeniero Mecánico, Estuardo Santiago Celada Ríos, Facultad de Ingeniería, USAC. 2012.

Maestro en Ingeniería de Mantenimiento. Facultad de Ingeniería, USAC. 2015. Guatemala.