



EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NÍQUEL EN LA RELACIÓN BIFÁSICA DE UNIONES DSS POR EL PROCESO GTAW

Bryan Ramiro Rodríguez Vargas¹, Argelia Fabiola Miranda Pérez¹, Eduardo Hurtado Delgado¹,

¹Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. de C.V., Ciencia y Tecnología No. 790, Saltillo 400, C.P. 25290, Saltillo, Coahuila, México.

¹e-mail: bryan.rdz@comimsa.com, argelia.miranda@comimsa.com, eduardohd@comimsa.com

RESUMEN

Los procesos de soldadura son de suma importancia en el sector industrial, ya que éste se sitúa en la búsqueda de tecnologías que cumplan las diversas especificaciones y condiciones que demandan sus sistemas de producción. La soldadura por GTAW es un proceso eficiente, caracterizado por el empleo de un electrodo de tungsteno no consumible y una mezcla de gases como atmósfera protectora, cuyo objetivo es el control de las propiedades finales de las uniones realizadas. Este proceso es ampliamente utilizado para unir materiales de diversos espesores, tales como los diversos tipos de aceros inoxidable, en los cuáles se obtienen juntas de elevada calidad manteniendo sus propiedades mecánicas y anticorrosivas.

La industria química y nuclear demanda el empleo y adaptación de materiales y uniones resistentes a ambientes corrosivos como las fabricadas en acero inoxidable dúplex, no obstante, se ha observado que las uniones soldadas de estos aceros presentan una notoria descompensación en el porcentaje bifásico de las mismas mediante el proceso GTAW autógeno, afectando su comportamiento mecánico y microestructural. Siendo factible solo al controlar adecuadamente los parámetros del proceso, enfatizando en el correcto uso del material de aporte, puesto que una inadecuada aplicación o su ausencia promueve la alteración del porcentaje de fases constituyentes. En la presente investigación se analiza el efecto que tienen los parámetros del proceso GTAW y la adición de polvo de níquel como metal de aporte en la relación bifásica de uniones de dos distintos aceros inoxidables dúplex.

PALABRAS CLAVES: GTAW, microestructura bifásica, aceros inoxidables dúplex, material de aporte.

EFFECT OF THE NICKEL ADDITION IN THE BIPHASIC RELATIONSHIP OF THE GTAW PROCESS DSS JOINTS

ABSTRACT

The welding processes are of great importance in the industrial sector, since they are looking for technologies that meet the various specifications and conditions for its products. Welding by GTAW is an efficient process, designed for the use of a non-consumable tungsten electrode and a mixture of gases as protection of the atmosphere, whose objective is the control of the final properties of the joints. This process is used for materials of various thicknesses, for example various types of stainless steels, and in which high quality joints are obtained while maintaining their mechanical and anticorrosive properties.

The chemical and nuclear industry demands the use and adaptation of materials and unions resistant to corrosive environments such as those manufactured in stainless steel, however, it has been observed that the welded joints of these steels present a notorious decompensation in the biphasic percent of the samples by the autogenous GTAW process, affecting its mechanical and microstructural behavior. Being feasible only when controlling the parameters of the process, emphasizing the correct use of the contribution material, putting an inappropriate application or its absence in the alteration of the proportion of percentages. In the present investigation, the effect of the parameters of the GTAW process and the addition of nickel powder as report metal in the biphasic relation of the junctions of the two duplex stainless steels are analyzed

KEY WORDS: GTAW, biphasic relationship, duplex stainless steels, filler metal



1. INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo de diversas aplicaciones empleadas en las industrias química, petroquímica, nuclear, de energía, entre otras, ha demandado la adaptación de los materiales a las condiciones de servicio que se requieren, lo que conlleva al empleo de uniones disímiles, tales como las fabricadas con aceros inoxidable dúplex (DSS, por sus siglas en inglés). Estas soldaduras han sido ampliamente atractivas en comparación a las realizadas con aceros inoxidables ferríticos y/o austeníticos, en función de las propiedades únicas de los dúplex (1, 2). Los aceros inoxidables doble fase o conocidos comúnmente como dúplex, sustentan su apelativo en función de la microestructura estable a temperatura ambiente que presentan, la cual consiste en aproximadamente 50% de austenita () que propicia una mejora en la tenacidad a baja temperatura y 50% de ferrita () la cual brinda mayor resistencia, conductividad térmica y ferromagnetismo al presentarse esta fase en mayor proporción que en los aceros inoxidables austeníticos (3, 4). La equitativa proporción de ambas fases permite una destacada combinación de propiedades mecánicas y anticorrosivas, garantizando altos niveles de resistencia a elevada temperatura, óptima tenacidad y ductilidad, convirtiéndolos en materiales altamente competitivos frente a los aceros inoxidables ferríticos y austeníticos estándar en distintas aplicaciones de las industrias previamente mencionadas (3, 567)

Estos materiales son considerados aceros de alta aleación, por lo que su composición debe ser cuidadosamente balanceada en orden de obtener la microestructura previamente mencionada. Contienen principalmente cromo (20-29% e.p.), níquel (1-7% e.p.), molibdeno (máx. 4% e.p.), carbono (0.03% e.p. o menor) y nitrógeno (máx. 0.3% e.p.) (8). No obstante, la mayoría de estos elementos no se encuentran distribuidos uniformemente en la microestructura del acero, es decir, cada una de las fases constituyentes se encuentran enriquecidas con determinados elementos; la fase ferrita posee elementos tales como cromo y molibdeno, mientras la austenita posee porcentajes significativos de níquel y nitrógeno, los cuales cumplen la función de estabilización de esta fase a temperatura ambiente (8, 9). Al igual que otros tipos de aceros, los dúplex son una familia de diversos grados cuya clasificación más usual es obtenida mediante su composición química, a través del cálculo de resistencia a la corrosión por picaduras (PRE_N , por sus siglas en inglés). Lo anterior genera cuatro grupos en los cuales pueden ser organizados, destacando los aceros inoxidables lean dúplex (LDSS, por sus siglas en inglés) quienes han atraído considerable atención en función de su menor contenido de níquel y molibdeno, y altas cantidades de manganeso y nitrógeno. Son producidos a causa del incremento de costos de los elementos que se encuentran en menor cantidad, reemplazando a diversos grados de aceros austeníticos y estándar dúplex. Por otro lado, los aceros inoxidables súper dúplex (SDSS, por sus siglas en inglés.) poseen adiciones de cobre y tungsteno para mejorar la resistencia a la corrosión en presencia de ácidos (8, 10, 11).

Los diversos procesos de soldadura aplicados a los aceros inoxidables dúplex durante la fabricación de componentes y/o equipos, pueden promover daños al porcentaje dual de ferrita-austenita, ya que la heterogeneidad microestructural generada por los ciclos térmicos de la soldadura puede influir local y globalmente en el comportamiento mecánico de la unión, generando cambios microestructurales y afecciones como porosidad, faltas de fusión, fisuras en caliente, entre otras (1, 2, 6). Los ciclos térmicos de los procesos de soldadura por fusión y el rango de temperaturas al que es expuesto el material, genera que la matriz ferrítica experimente un proceso de descomposición dentro de un rango de temperaturas crítico, localizado entre 650-950 °C, causando la precipitación de fases secundarias perjudiciales, tales como la fase sigma (), chi (), carburos y nitruros, las cuales subsecuentemente deterioran considerablemente las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión de los DSS (5).

El proceso GTAW (del inglés Gas Tungsten Arc Welding) es una tecnología de unión utilizada eficientemente para soldar aceros inoxidables dúplex, debido a que produce uniones de alta calidad que cumple satisfactoriamente los requerimientos de eficiencia, y es útil al trabajar con materiales de bajo espesor. La soldadura se realiza a través de un electrodo no consumible de tungsteno para producir el arco, protegido de contaminantes de la atmósfera circundante por un gas inerte (argón o helio) o un gas activo (nitrógeno, CO_2 , o mezclas de estos) (12, 13). Sin embargo, las propiedades mecánicas y corrosivas podrían ser deterioradas si los parámetros de soldadura no son controlados durante las operaciones de soldadura (material de aporte, amperaje, velocidad de soldadura, calor de entrada, entre otros) (7). Ejemplo de esto aparece en la zona afectada por el calor (ZAC) y en la de soldadura (ZS), donde la microestructura sufre ciclos rápidos de enfriamiento y calentamiento que resultan en cambios en la orientación y tamaño de grano ferrítico, así como una excesiva cantidad de ferrita; investigaciones previas reportaron que los contenidos de austenita menores al 25% son inadecuados para la mayoría de las aplicaciones industriales. Al mismo tiempo, algunas fases indeseables son



propensas a precipitar. La excesiva ferritización y precipitación de fases secundarias indeseables puede causar el deterioro de las propiedades, especialmente la resistencia a la corrosión localizada y tenacidad. Además, cuando la soldadura en esta condición es recalentada, como en soldaduras multipasos, el cambio más aparente en la microestructura es la precipitación de austenita secundaria, la cual mejora la tenacidad, pero reduce la resistencia a la corrosión localizada (7, 14).

Las investigaciones desarrolladas previamente sobre los parámetros del proceso GTAW y su efecto en la microestructura y comportamiento mecánico de las uniones en aceros inoxidable dúplex ha generado la base para la innovación de uniones disímiles variando y controlando los diversos parámetros de operación del proceso GTAW, empero, la información sobre el comportamiento microestructural en las uniones disímiles entre estos materiales requiere ser detallada; conduciendo esta investigación en la evolución microestructural a través de la unión LDSS/SDSS, particularmente el análisis del mantenimiento del porcentaje de fases en cada zona de la soldadura (ZAC, ZS y metal base) y su posterior comportamiento mecánico.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Materiales

Los materiales base empleados en la investigación fueron el acero inoxidable lean dúplex UNS S32304 y el acero inoxidable súper dúplex UNS S32507, de composición química/dimensiones descritas en la TABLA 1.

Tabla 1. Composición química (% e.p.) de metales base y metal de aporte (polvo de níquel)

| MATERIAL | Composición química (% e.p.) | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | C | Si | Cu | Mn | Mo | Cr | Ni | S | P | N | V | W | Fe |
| LDSS 2304 (7 x 6 x 3 mm) | 0.02 | 0.048 | 0.29 | 1.37 | 0.36 | 23.5 | 5.02 | 0.014 | 0.031 | 0.10 | - | - | Bal. |
| SDSS 2507 (7 x 6 x 2 mm) | 0.018 | 0.13 | 0.17 | 0.85 | 3.86 | 25.2 | 6.72 | 0.001 | 0.03 | 0.27 | 0.026 | 0.09 | Bal. |
| Composición química (% e.p.) | | | | | | | | | | | | | |
| Polvo de níquel | Ni | Cr | Cu | Si | Mg | Fe | Mn | Al | C | Ti | | | |
| | 91.73 | 5.28 | 0.005 | 0.56 | 0.002 | 1.04 | 0.008 | 0.036 | 0.22 | 0.015 | | | |

Proceso de soldadura

Las placas fueron soldadas mediante la técnica manual GTAW (electrodo EWTh-2), en dirección de la laminación, empleando un equipo marca Miller 350 y limpiadas previamente con acetona para remover óxido y/o polvo. El diseño de las juntas (Figura 1) fue a tope con un gap de aproximadamente 1.5-2 mm, en el cual se adicionó 0.5 g de polvo de níquel como material de aporte (Tabla 1). Las uniones se realizaron a un solo pase de soldadura variando el amperaje y la adición de material de aporte entre cada una. Fue empleada corriente directa continua con electrodo negativo y gas argón de alta pureza como atmósfera protectora (15 l/min). La Tabla 2 muestra los parámetros del proceso, seleccionados en orden de analizar la evolución microestructural de la soldadura en función del material de aporte.

Tabla 2. Parámetros empleados para las uniones LDSS 2304-SDSS 2507

| No. de soldadura | Corriente (A) | Voltaje (V) | Material de aporte (Ni) |
|------------------|---------------|-------------|-------------------------|
| 1 | 220 | 19.3 | No |
| 2 | 220 | 19.3 | Si |
| 3 | 130 | 16.4 | No |
| 4 | 130 | 16.4 | Si |

Ningún tratamiento térmico previo o posterior a la soldadura fue llevado a cabo durante y después del proceso de unión, no obstante, al finalizar cada una de las uniones se cubrieron con colcha térmica para evitar el



repentino cambio de temperaturas durante su enfriamiento. Adicionalmente, fueron inspeccionadas visualmente para asegurar que estuvieran libres de defectos visibles.

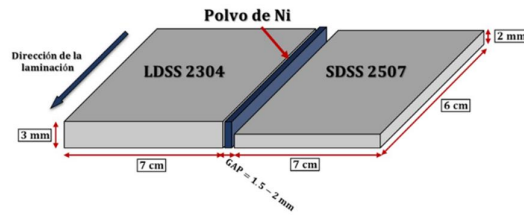


Figura 1. Diseño de la unión disímil LDSS 2304-SDSS 2507

Caracterización microestructural

Posterior al desarrollo de las uniones, estas fueron seccionadas en dirección transversal a la unión y preparadas metalográficamente conforme a las técnicas convencionales (basadas en la norma ASTM E3-11) con pulido final empleando pasta de diamante (3 y 1.25 μm) y sílica coloidal de 0.025 μm . El ataque químico de las muestras se efectuó utilizando el reactivo Beraha δ modificado (50 ml de HCl, 50 ml de H₂O, 1 g de K₂S₂O₅ y 10 g de NH₄F HF) por 10-15 segundos. El análisis microestructural se realizó mediante microscopía óptica y electrónica de barrido, realizando con esta última un análisis puntual por espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS, por sus siglas en inglés) en las uniones para identificar los elementos aleantes en cada una de las fases y posible formación de intermetálicos y/o segundas fases. Con el objetivo de analizar el porcentaje de austenita en las diversas zonas de la unión, se empleó el software analizador de imágenes ImagePro $\text{\textcircled{R}}$.

3. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Microestructura del metal base

Los metales base fueron analizados microestructuralmente mediante microscopía óptica. La Figura 2 muestra las micrografías de ambos DSS en dirección longitudinal, destacando la matriz ferrítica () en color oscuro, mientras que en tono claro se observan islas de austenita () dispersas en la matriz. Ambas fases presentan formas elongadas, producto de la laminación cruzada, propiciando en la placa una microestructura uniforme (15). La fracción de volumen de ferrita y austenita, medida a través del analizador de imágenes, es mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de fracción de volumen de ferrita-austenita en el metal base

| Acero inoxidable dúplex | μm | μm |
|-------------------------|---------------|---------------|
| LDSS 2304 | 52.1 | 47.9 |
| SDSS 2507 | 51.12 | 48.87 |

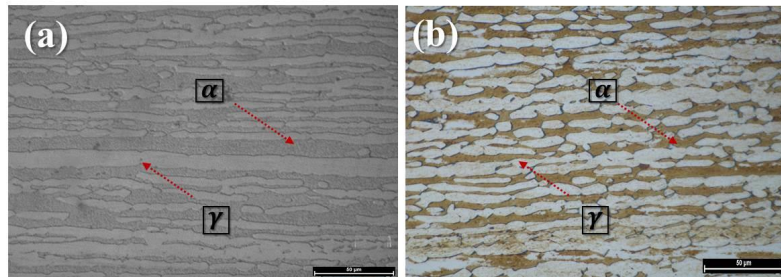


Figura 2. Micrografías del metal base (corte longitudinal) mediante microscopía óptica a 50X: (a) LDSS 2304, (b) SDSS 2507

Análisis visual de las uniones

La inspección visual muestra una apropiada apariencia superficial en todas las uniones soldadas (Figura 3): ausencia de poros, no inclusiones de escoria o grietas en la mayoría de las uniones. Sin embargo, el aumento en la corriente de soldadura (220A) genera mayor tamaño en la zona afectada por el calor (ZAC), mientras que la corriente en menores proporciones (130A) promueve mejor geometría en el cordón, ya que la velocidad de soldadura disminuye, propiciando mayor tiempo para una formación uniforme del mismo.

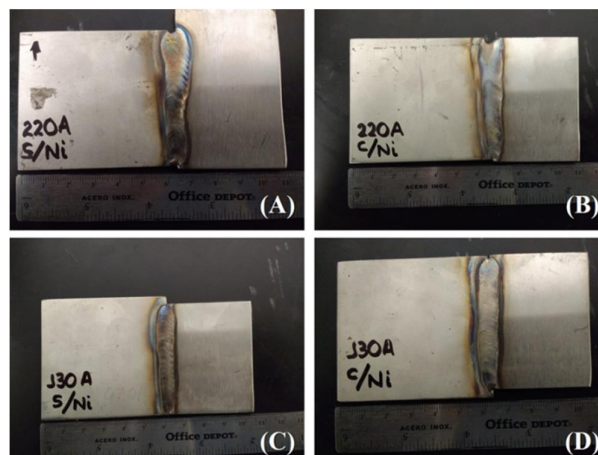


Figura 3. Inspección visual; (a) 220A sin la adición de Ni, (b) 220A con adición de Ni, (c) 130A sin la adición de Ni y (d) 130A con adición de Ni

Macroestructura de las uniones

Cada unión fue seccionada en dirección transversal y analizada macroestructuralmente mediante estereoscopia. Los resultados se presentan en la Figura 4, resaltando que en las uniones donde fue adicionado polvo de níquel como material de aporte se aprecian grandes cantidades de este elemento en la interfase de los dos metales por debajo de la zona de soldadura (Figura 5) a causa de la falta de calor en la mencionada zona, evitando la difusión del níquel a través del cordón de soldadura.

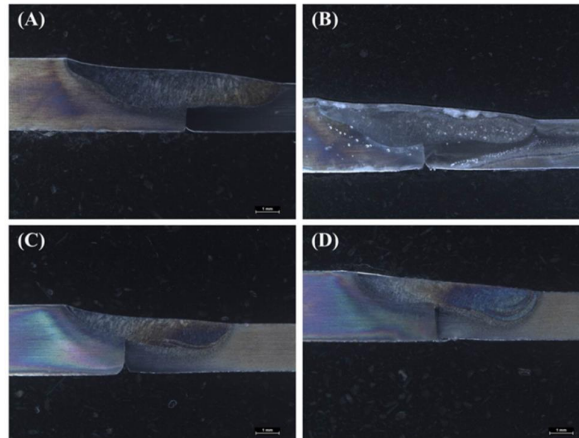


Figura 4. Macroestructura de las uniones disímiles LDSS 2304-SDSS 2507 mediante GTAW: (a) 220A, (b) 220A-Ni, (c) 130A y (d) 130A-Ni

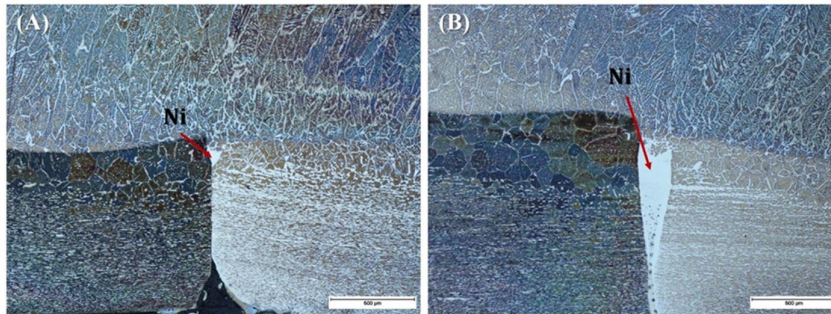


Figura 5. Micrografías (5X mediante MO) de las diferentes zonas de la unión disímil: (a) 220A-Ni y (b) 130A-Ni

Microestructura de las uniones disímiles

La Figura 6 muestra los efectos de la variación del amperaje y voltaje, lo cual influye en la evolución microestructural de las diversas zonas de la unión. La microestructura de ambos aceros en regiones adyacentes a la ZAC indica la presencia de elongadas formas de austenita incrustadas sobre granos de ferrita, similar a la microestructura del metal base. Se destaca que no existió diferencia significativa en la morfología de las distintas fases al variar el aporte de calor y la adición de níquel. De acuerdo con investigaciones previas es posible apreciar diversos tipos de austenita producto de la subsiguiente transición de fase de estado sólido de la ferrita, la cual solidifica a partir de metal fundido (6). En las micrografías de la Figura 6 se presentan cuatro tipos de austenita primaria en la ZAC de ambos aceros y en la zona de fusión: austenita intergranular o de límite de grano (GBA, por sus siglas en inglés), austenita tipo Widmanstätten (AW, por sus siglas en inglés), austenita intragranular (IGA, por sus siglas en inglés) y austenita parcialmente transformada (PTA, por sus siglas en inglés). El efecto de la adición de níquel se observa en la Figura 6-E, K, destacando el aumento considerable de la fase austenita, así como el engrosamiento de los granos de ésta en la zona de soldadura (16).

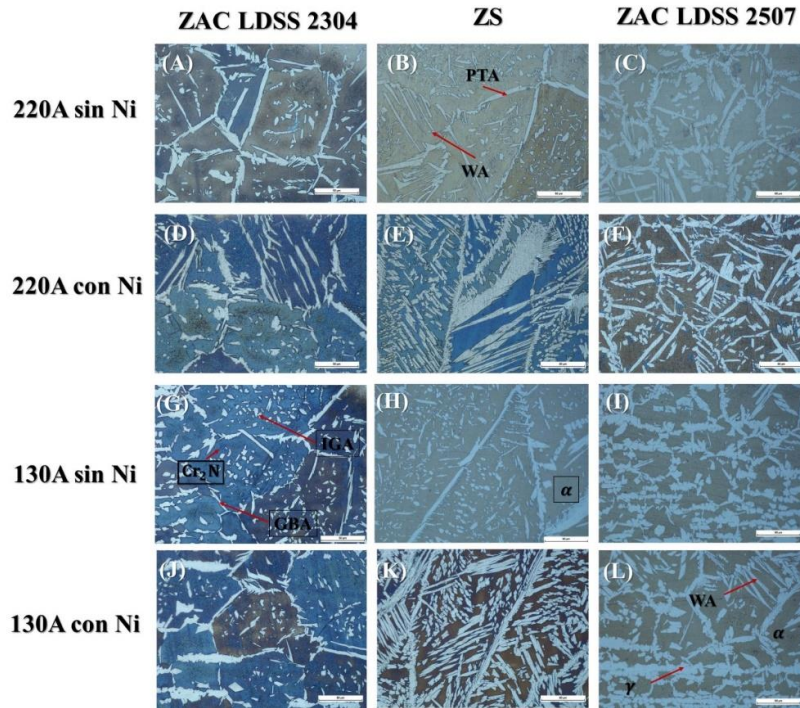


Figura 6. Micrografías (50X mediante MO) de las diferentes zonas de la unión disímil a diferente corriente de soldadura y variando la adición de Ni

El análisis mediante EDS realizado a los metales base muestra que el porcentaje en cromo en la ferrita fue de 23.07 y 21.08 para la austenita, no obstante, los resultados del análisis EDS llevado a cabo en la ZAC del LDSS 2304 (Figura 7), en regiones circundantes a la zona de precipitación demuestra una reducción en el porcentaje en cromo que es posible atribuir a la formación de nitruros (15). Adicionalmente, el análisis mediante EDS efectuado en los diversos tipos de austenita primaria formada en las regiones de la soldadura. El contenido de los elementos de la IGA se debe a que esta precipita en zonas empobrecidas de Cr y Mo, pero en regiones ricas de Ni y N, mientras que la WA mantiene menores cantidades de cromo, molibdeno y níquel debido a que se forma posterior al crecimiento de la austenita intergranular, una vez que ésta ha consumido la mayoría de los elementos de aleación (6, 17).

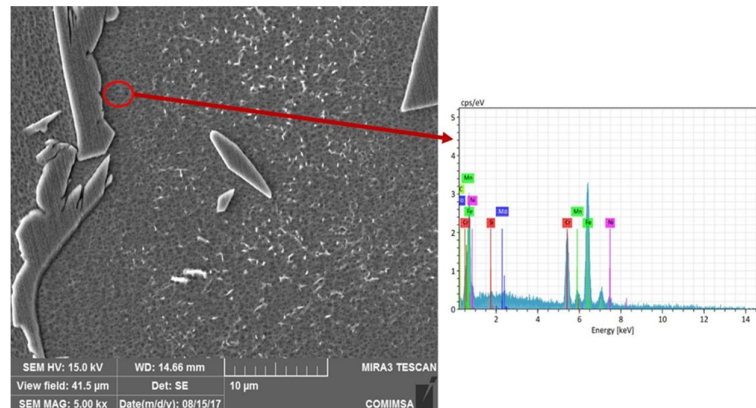


Figura 7. Micrografía y EDS mediante MEB (5000 aumentos) de ZAC de LDSS 2304 sin Ni a 130A



Porcentaje de fases

Las Figura 8, Figura 9 presentan la fracción de volumen de cada fase en los dos DSS a través de las diversas zonas de la soldadura. Los resultados indican que en las uniones con ausencia de níquel el porcentaje de austenita se reduce considerablemente del metal base hacia la ZAC y aumentando ligeramente en la ZS, puesto que, en estas regiones la microestructura depende fuertemente del ciclo térmico de la soldadura y de la composición química del metal base. Estudios realizados anteriormente han mostrado que, en los DSS el parámetro del ciclo térmico de soldadura más importante es el calor de entrada, ya que determina directamente la velocidad de enfriamiento: a menor calor de entrada, mayor velocidad de enfriamiento. El bajo calor de entrada genera una elevada velocidad de enfriamiento, conduciendo a un extremo desbalance microestructural y promoviendo el excesivo contenido de la fase ferrita, impidiendo la migración de nitrógeno hacia la fase austenita. No obstante, la adición de elementos aleantes tales como el Ni, el cual funciona como estabilizador de la austenita, aumenta el contenido de dicha fase, promoviendo el cambio de la ferrita a austenita a altas temperaturas y la posterior estabilización de la fase austenita a temperatura ambiente. El efecto de este elemento se aprecia en la cuantificación de fases realizada a través de las distintas zonas de la unión. Demostrando un balance de fases en la ZS a 130A y un incremento sustancial a 220A en la misma región por efecto del alto calor de entrada, lo cual conduce a una mayor difusión de este elemento en el charco de soldadura.

La zona afectada por el calor del LDSS 2304 muestra la presencia de precipitados dentro del grano ferrítico, lo cual es efecto de la sobresaturación de N en dicha fase, propiciando una amplia precipitación de nitruros de cromo al interior de los granos ferríticos o en la interfase de los granos α/α' (17, 18) Generalmente, un alto calor de entrada será benéfico para la microestructura de las uniones soldadas, con mayor reformación de austenita durante el enfriamiento y reduciendo considerablemente la formación de nitruros. Sin embargo, es importante poner atención en la velocidad de enfriamiento, ya que los compuestos intermetálicos son fáciles de formar cuando esta última es lenta. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta que un límite superior de calor de entrada se establece para prevenir la precipitación de intermetálicos, y este riesgo aumenta con el contenido creciente de elementos de aleación (16, 19).

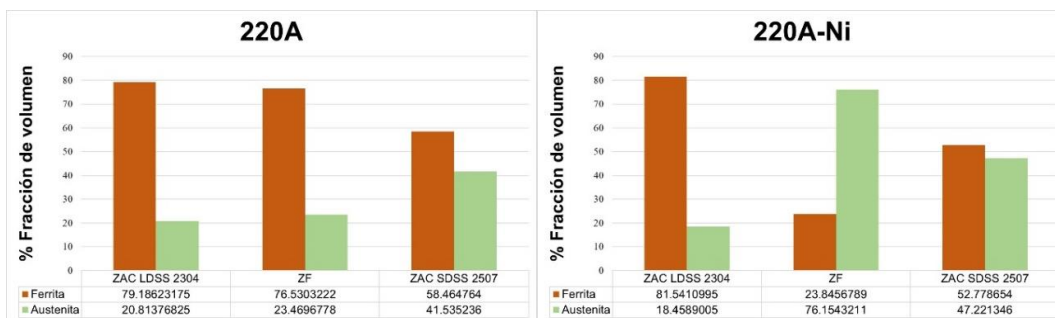


Figura 8. Porcentaje de fracción de volumen de la unión disímil a 220A

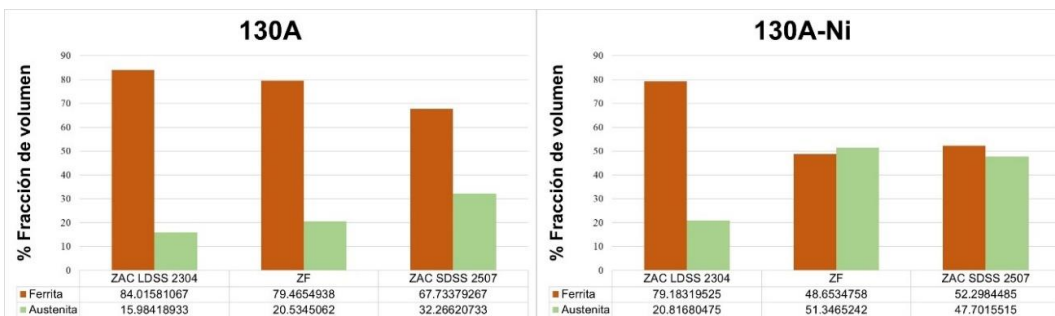


Figura 9. Porcentaje de fracción de volumen de la unión disímil a 130A



4. CONCLUSIONES

Esta investigación abordó el efecto de los parámetros de soldadura del proceso GTAW, enfatizando en el impacto que genera la adición de níquel como material de aporte en uniones disímiles de acero inoxidable lean dúplex UNS S2304 y acero inoxidable súper dúplex UNS S32507 de diferente espesor. Fue efectuado un solo pase de soldadura y no se realizó tratamiento térmico posterior. Las conclusiones del estudio son presentadas a continuación:

- a) Las uniones presentan buena apariencia superficial al emplear parámetros de baja corriente (130A).
- b) El empleo de polvo de níquel como material de aporte en el proceso GTAW al soldar acero inoxidable dúplex, favorece la formación de mayor contenido de la fase austenita en la zona de soldadura y afectada por el calor de ambos aceros.
- c) La evolución microestructural muestra la ausencia de la fase sigma en la unión, no obstante, ocurre la precipitación de Cr_2N en las zonas afectadas por el calor en ambos aceros empleando las diferentes corrientes de soldadura.
- d) Diferentes tipos de austenita (intergranular, intragranular, Widmanstätten y parcialmente transformada) se forma en la microestructura de la unión a causa del ciclo térmico de la soldadura.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dra. Irene Calliari, Dr. David Salvador González González y al Ing. Ramiro Rodríguez Rosales por las sugerencias y aportes a esta investigación.

REFERENCIAS

1. KANGAZIAN, J. and SHAMANIAN, M. Mechanical and microstructural evaluation of SAF 2507 and incoloy 825 dissimilar welds. *Journal of Manufacturing Processes* [online]. 2017. Vol. 26, p. 4076418. DOI 10.1016/j.jmapro.2017.03.006. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.03.006>
2. BETTAHAR, K., BOUABDALLAH, M., BADJI, R., GACEB, M., KAHLOUN, C. and BACROIX, B. Microstructure and mechanical behavior in dissimilar 13Cr / 2205 stainless steel welded pipes. *Materials and Design* [online]. 2015. Vol. 85, p. 2216229. DOI 10.1016/j.matdes.2015.07.017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.017>
3. LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. United States of America : John Wiley & Sons, Inc, 2005. ISBN 978-0-471-47379-4.
4. AJITH, P. M., SATHIYA, P. and ARAVINDAN, S. Characterization of microstructure, toughness, and chemical composition of friction-welded joints of UNS S32205 duplex stainless steel. *Friction*. 2014. Vol. 2, no. 1, p. 82691. DOI 10.1007/s40544-014-0042-6.
5. MIRANDA PÉREZ, A. F., BREDÁ, M., CALLIARI, I., PÉREZ MEDINA, G. Y. and SANDSTRÖM, R. Detrimental Cr-rich Phases Precipitation on SAF 2205 Duplex Stainless Steels Welds After Heat Treatment. *Soldagem & Inspeção*. 2016. Vol. 21, no. 2, p. 1656171.
6. TAHAEI, A., MIRANDA PÉREZ, A. F., MERLIN, M., REYES VALDÉS, F.A. and GARAGNANI, G. L. Effect of the Addition of Nickel Powder and Post Weld Heat Treatment on the Metallurgical and Mechanical Properties of the Welded UNS S32304 Duplex Stainless Steel. *Soldagem & Inspeção*. 2016. Vol. 21, no. 2, p. 1976208.
7. ZHANG, Z., JING, H., XU, L., HAN, Y. and ZHAO, L. Effects of nitrogen in shielding gas on microstructure evolution and localized corrosion behavior of duplex stainless steel welding joint. *Applied Surface Science* [online]. 2017. Vol. 404, p. 1106128. DOI 10.1016/j.apsusc.2017.01.252. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.252>
8. BREDÁ, M. *Phase Stability in Duplex Stainless Steels*. University of Padua, 2014.
9. CHEN, L., TAN, H., WANG, Z., LI, J. and JIANG, Y. Influence of cooling rate on microstructure evolution and pitting corrosion resistance in the simulated heat-affected zone of 2304 duplex stainless steels. *Corrosion Science* [online]. 2012. Vol. 58, p. 1686174. DOI 10.1016/j.corsci.2012.01.018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2012.01.018>
10. SILVA, R., BARONI, L. F. S., KUGELMEIER, C. L., SILVA, M. B. R., KURI, S. E. and ROVERE, C. A. D. Thermal aging at 475 °C of newly developed lean duplex stainless steel 2404 : Mechanical properties and corrosion behavior. *Corrosion Science* [online]. 2016. Vol. 116, p. 66673. DOI 10.1016/j.corsci.2016.12.014. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2016.12.014>



11. DEVENDRANATH RAMKUMAR, K., MISHRA, D., GANESH RAJ, B., VIGNESH, M. K., THIRUVENGATAM, G., SUDHARSHAN, S. P., ARIVAZHAGAN, N., SIVASHANMUGAM, N. and MAXIMUS, A. Effect of optimal weld parameters in the microstructure and mechanical properties of autogeneous gas tungsten arc weldments of super-duplex stainless steel UNS S32750. *Materials and Design* [online]. 2015. Vol. 66, p. 3566365. DOI 10.1016/j.matdes.2014.10.084. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2014.10.084>
12. ZHANG, Z., JING, H., XU, L., HAN, Y. and ZHAO, L. Investigation on microstructure evolution and properties of duplex stainless steel joint multi-pass welded by using different methods. *Materials and Design* [online]. 2016. Vol. 109, p. 6706685. DOI 10.1016/j.matdes.2016.07.110. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2016.07.110>
13. PAULRAJ, P. and GARG, R. Effect of welding parameters on pitting behavior of GTAW of DSS and super DSS weldments. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 2016. Vol. 19, p. 107661083. DOI 10.1016/j.jestch.2016.01.013.
14. ZHOU, Z. and LÓTHMAN, J. Dissimilar welding of super-duplex and super-austenitic stainless steels. *Welding in the World* [online]. 2017. Vol. 61, p. 21633. DOI 10.1007/s40194-016-0408-7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40194-016-0408-7>
15. SANTOS, T. F. A., TORRES LÓPEZ, E. A., BERTONI DA FONSECA, E. and RAMÍREZ, A. J. Friction stir welding of duplex and superduplex stainless steels and some aspects of microstructural characterization and mechanical performance. *Materials Research*. 2016. Vol. 19, no. 1, p. 1176131. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0319>.
16. RODRÍGUEZ VARGAS, B. R. *Efecto de los parámetros del proceso GTAW en las uniones disímiles de acero inoxidable dúplex 2304/2507*. Saltillo, Coahuila : Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A., 2018.
17. RAMKUMAR DEVENDRANATH, K., BAJPAI, A., RAGHUVANSHI, S., SINGH, A., CHANDRASEKHAR, A., ARIVARASU, M. and ARIVAZHAGAN, N. Investigations on structure ó property relationships of activated flux TIG weldments of super-duplex/austenitic stainless steels. *Materials Science and Engineering*. 2015. Vol. 638, p. 60668.
18. JIANG, Y., TAN, H., WANG, Z., HONG, J., JIANG, L. and LI, J. Influence of Cr eq / Ni eq on pitting corrosion resistance and mechanical properties of UNS S32304 duplex stainless steel welded joints. *Corrosion Science* [online]. 2013. Vol. 70, p. 2526259. DOI 10.1016/j.corsci.2013.01.037. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.corsci.2013.01.037>
19. YOUSEFIEH, M., SHAMANIAN, M. and SAATCHI, A. Influence of Heat Input in Pulsed Current GTXW Process on Microstructure and Corrosion Resistance of Duplex Stainless Steel Welds. *Journal of Iron and Steel Research International* [online]. 2011. Vol. 18, no. 9, p. 65669. DOI 10.1016/S1006-706X(12)60036-3. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S1006-706X\(12\)60036-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1006-706X(12)60036-3)

SOBRE LOS AUTORES

El Mtro. Bryan Ramiro Rodríguez Vargas es Ingeniero Químico, Especialista y Maestro en Tecnología de la Soldadura Industrial egresado de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales en Saltillo, Coahuila, México. Actualmente labora en la Gerencia de Desarrollo Humano de COMIMSA, en el área de Laboratorios.

La Dra. Argelia Fabiola Miranda Pérez es Ingeniero Químico y Doctora en Ingeniería de la Producción Industrial por la Università degli Studi di Padova en Padova, Italia. Actualmente es Profesor-Investigador en la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A. y miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1.

El Dr. Eduardo Hurtado Delgado es Químico Metalúrgico, con Doctorado en Ingeniería Metalúrgica por el Instituto Politécnico Nacional en Ciudad de México. Actualmente es Profesor-Investigador en el área de Posgrado de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales S.A.