

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA CARBURACION EN LA SOLDABILIDAD DE UN ACERO INOXIDABLE



STUDY OF THE INFLUENCE OF CARBURING ON THE SOLDIBILITY OF A STAINLESS STEEL

<http://opn.to/a/pPYma>

Ernesto Camargo¹, Leonardo Bohórquez Suarez¹, Mónica Sánchez Alarcón¹

RESUMEN: Cuando los aceros inoxidable son calentados en un rango de temperatura de 500°C a 700°C, el carbono que contiene el acero reacciona con el cromo formando carburos de cromo que no tienen las mismas características del cromo aleado. Estas reacciones empobrecen el acero y hacen que disminuyan sus propiedades en la zona calentada¹. Este trabajo de investigación fue enfocado en la determinación de la influencia de la temperatura en la ZAT de una soldadura en acero inoxidable AISI 316, bajo proceso GTAW, soldado con electrodo ER316 al ser sometido a tres rangos de calentamiento pre-soldadura y su comportamiento ante tres tipos de tratamiento térmico diferentes. El diseño metodológico se desarrolló siguiendo un tipo de investigación descriptiva donde se calentaron tres muestras de acero inoxidable a tres distintos rangos de temperatura y se procedió a soldarlas bajo parámetros exigidos por códigos aplicables. Las muestras soldadas fueron sometidas a ensayos destructivos y no destructivos para verificar la calidad de la soldadura y presencia de discontinuidades y/o defectos que puedan interferir en el desempeño del material en operación; posteriormente, fueron sometidas a metalografía para cuantificar y analizar la presencia de carburos de cromo en la microestructura y su influencia en las características físicas y mecánicas de la ZAT y la unión soldada. Posterior a la soldadura, las muestras fueron sometidas a tres tipos diferentes de tratamientos térmicos donde se estudió el efecto de estos en la disipación de los carburos y mejora de las propiedades.

Palabras clave: soldadura, aceros inoxidables, ZAT, tratamientos térmicos.

ABSTRACT: When stainless steels are heated in a temperature range of 500 ° C to 700 ° C, the carbon containing the steel reacts with the chromium to form chromium carbides that do not have the same characteristics as the alloyed chromium. These reactions deplete the steel and reduce its properties in the heated zone¹. This research was focused on the determination of the influence of the temperature on the ZAT of a welding in stainless steel AISI 316, under GTAW process, welded with electrode ER316 when subjected to three ranges of pre-welding heating and its behavior before three different types of heat treatment. The methodological design was developed following a type of descriptive research where three samples of stainless steel were heated to three different temperature ranges and were soldered under parameters required by applicable codes. The welded samples were subjected to destructive and non-destructive tests to verify the quality of the weld and the presence of discontinuities and / or defects that could interfere in the performance of the material in operation; Afterwards, were subjected to metallography to quantify and analyze the presence of chromium carbides in the microstructure and their influence on the physical and mechanical characteristics of the ZAT and the welded joint. After the welding, the samples were submitted to three different types of thermal treatments where the effect of these in the dissipation of the carbides and improvement of the properties was studied.

Keywords: Welding, stainless steels, ZAT, heat treatments..

Recibido: 06/06/2016

Aprobado en su forma original: 10/09/2018

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Avenida Central del Norte 39-115, Tunja, Boyacá, Colombia. Correo electrónico: Ernesto.camargo@uptc.edu.co

¹Manual de Soldadura. West Arco. Bogotá. 2015.p. 98.

INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables son aleaciones complejas en las que intervienen un buen número de elementos químicos. Para conseguir una aceptable soldabilidad, el metal aportado y zonas adyacentes deben presentar unas propiedades lo más semejantes posible a las del material base, tanto desde el punto de vista mecánico como de resistencia a la corrosión.

Ciertos elementos como Cr, Ti y Nb, se combinan ávidamente con elementos intersticiales como C y N, situados entre los átomos metálicos de la malla cristalina. La combinación da lugar a precipitados de carburos, carbonitruros y nitruros, que se localizan preferentemente en los bordes de grano. La precipitación tiene lugar cuando el material inoxidable permanece durante cierto tiempo en la gama de temperatura comprendida entre 500°C - 700°C, a causa de la operación de soldadura.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material base se seleccionó de acuerdo a solicitud expresa por parte de la empresa MASA STORK, la cual facilitó el tipo de acero puesto que este proyecto nació a causa de los diferentes tipos de problemas que se estaban presentando en una planta de manejo de aguas residuales en dicha empresa, esta trabajaba con un acero inoxidable AISI 316 y después de la soldadura presentaba fallas la tubería por la zona de unión.

Se seleccionaron muestras a partir de tubería de 2 pulgadas de diámetro y 3.1 milímetros de espesor, guiándonos por norma [ASTM D1587](#), se procedió al muestreo captando 13 muestras patrón para el desarrollo de este proyecto, las cuales se dividirían en los siguientes grupos:

- 1 muestra patrón, sin ningún tipo de precalentamiento
- 3 muestras patrón, las cuales se precalentaron a (400, 600, 800° C)

- 3 muestras patrón, las cuales se precalentaron a (400, 600, 800° C), posteriormente se les aplicó un temple
- 3 muestras patrón, las cuales se precalentaron a (400, 600, 800° C), posteriormente se les aplicó un temple-recocido
- 3 muestras patrón, las cuales se precalentaron a (400, 600, 800° C), posteriormente se les aplicó un normalizado.

El principal objetivo del calentamiento es reducir la velocidad de enfriamiento durante la operación de soldadura, con el fin de: modificar la microestructura, modificar el nivel y distribución de las tensiones residuales. Desde un punto de vista general, el calentamiento incluye la temperatura entre pasadas cuando se trata de soldadura en multipasadas cuando el calor generado durante la soldadura no es suficiente para mantener la temperatura de precalentamiento entre pasadas sucesivas.

Se calentaron las muestras en muflas de calentamiento como se observa en la [figura 1](#), calentando 12 probetas de las cuales 4 se calentaron a 400°C, otras 4 a 600°C y finalmente las últimas 4 a 800°C, para posteriormente ser soldadas con las mismas condiciones de soldeo, esto con el fin de observar la carburación que se presenta en cada rango de temperaturas que se sugieren en este proyecto

Posteriormente al calentamiento, se realizó metalografía a 3 probetas no soldadas pero que sí tuvieron un calentamiento de la siguiente manera: una probeta de 400°C otra de 600°C y una final de 800°C, para verificar la carburación que se presentó en cada nivel de calentamiento; seguidamente se ejecutó la soldadura bajo proceso TIG y se continuó con la aplicación de tres tipos de tratamientos térmicos, normalizado, temple y temple-normalizado, los cuales se llevaron a cabo a fin de verificar cuál de estos producía menos carburación en el metal soldado.

Para verificar que cambios físicos, produjo los tratamientos térmicos y soldadura, se verificó por medio de ensayos no destructivos (Inspección visual, líquidos penetrantes, radiografía industrial), y ensayos destructivos para medir la resistencia, velocidad de deformación de cada probeta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A las muestra patrón se le realizaron ensayos no destructivos evaluados y aceptados bajo norma API 1104. En la [tabla 1](#) se muestra un comparativo de los resultados obtenidos para cada probeta.

De igual manera se realizó comparación de resultados para los diferentes ensayos destructivos que se muestran en [tabla 2](#) y [tabla 3](#).

Para finalizar se realizaron pruebas y análisis de metalografías para cada probeta, obteniendo los siguientes resultados. ([Tablas 4, 5, 6 y 7](#))

Con la aplicación de los distintos tratamientos térmicos (temple, normalizado, temple-recocido) a diferentes temperaturas de precalentamiento (400°C, 600°C y 800°C), se puede decir que las mejores propiedades mecánicas en cuanto a módulo de elasticidad y fuerza máxima de carga es el acero AISI 316 soldado con posterior tratamiento térmico de normalizado y



Figura 1. Calentamiento de probetas en muflas. Fuente: Autor

Tabla 1. Resultados de ensayos no destructivos.

PROBETAS	VISUAL	LIQUIDOS	RADIOGRAFIA INDUSTRIAL
<i>Patrón</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Patrón con precalentamiento a 800°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Patrón con precalentamiento 600°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Patrón con precalentamiento a 400°C</i>	Aceptada	Aceptada con discontinuidad	Aceptada
<i>Con Normalizado a 800°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Normalizado a 600°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Normalizado 400°C</i>	Aceptada	Aceptada con discontinuidad	Aceptada*
<i>Con Temple a 800°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Temple a 600°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Temple a 400°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Temple-recocido a 800°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada
<i>Con Temple-recocido a 600°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*
<i>Con Temple-recocido a 400°C</i>	Aceptada	Aceptada	Aceptada*

Fuente. Autor

Tabla 2. Resultados ensayos de Compresión.

PROBETAS	MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)	% DEFORMACION	FUERZA MAXIMA (kN)	PTO DE ROTURA (Mpa)
Patrón	3071,973	10,41	27,032	572,104
Patrón con precalentamiento a 800°C	2498,556	10,67	26,485	508,258
Patrón con precalentamiento 600°C	3007,379	10,36	27,616	568,238
Patrón con precalentamiento a 400°C	3193,225	8,8	27,166	535,195
Con Normalizado a 800°C	3270,751	7,93	26,872	546,849
Con Normalizado a 600°C	3644,818	6,74	25,607	499,153
Con Normalizado 400°C	3063,182	7,88	26,296	520,818
Con Temple a 800°C	2888,59	9,17	28,096	553,501
Con Temple a 600°C	2482,93	10,6	27,713	540,216
Con Temple a 400°C	2566,654	10,49	26,813	542,669
Con Temple-recocido a 800°C	2831,692	9,81	26,422	568,955
Con Temple-recocido a 600°C	2232,706	10,83	24,66	496,387
Con Temple-recocido a 400°C	2783,544	8,77	26,254	506,444

Fuente. Autor

Tabla 3. Resultados pruebas de dureza

PROBETAS	MODULO DE ELASTICIDAD (MPa)	% DEFORMACION	FUERZA MAXIMA (kN)	PTO DE ROTURA (Mpa)
Patrón	3071,973	10,41	27,032	572,104
Patrón con precalentamiento a 800°C	2498,556	10,67	26,485	508,258
Patrón con precalentamiento 600°C	3007,379	10,36	27,616	568,238
Patrón con precalentamiento a 400°C	3193,225	8,8	27,166	535,195
Con Normalizado a 800°C	3270,751	7,93	26,872	546,849
Con Normalizado a 600°C	3644,818	6,74	25,607	499,153
Con Normalizado 400°C	3063,182	7,88	26,296	520,818
Con Temple a 800°C	2888,59	9,17	28,096	553,501
Con Temple a 600°C	2482,93	10,6	27,713	540,216
Con Temple a 400°C	2566,654	10,49	26,813	542,669
Con Temple-recocido a 800°C	2831,692	9,81	26,422	568,955
Con Temple-recocido a 600°C	2232,706	10,83	24,66	496,387
Con Temple-recocido a 400°C	2783,544	8,77	26,254	506,444

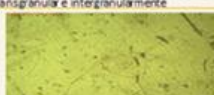
Fuente. Autor

Tabla 4. Analisis de micrografias.

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple-recocido a 800°C	 Gran presencia de carburos de cromo globulares, presencia de fase sigma homogénea	 Precipitación de carburos de cromo globulares y poca fase sigma	 Homogenización completa de carburos de cromo en la matriz
Con Temple-recocido a 600°C	 Gran precipitación de carburos de cromo, presencia de fase sigma y líneas de tensión horizontal	 Homogenización de carburos de cromo, fase sigma sobre la matriz	 Líneas de tensión horizontal
Con Temple-recocido a 400°C	 Presencia de bastante carburación en limite de grano de austenita	 Presencia de carburos de cromo globulares y muy poca de Cr23C6 se inicia una homogenización pero no se completa	 Presencia de carburos de cromo globulares en limite de grano de austenita, homogenización de la estructura

Fuente: Autor

Tabla 5. Continuación Analisis de micrografias.

PROBETAS	MICROGRAFIAS a 500X		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Normalizado a 800°C	 Precipitación de carburos de cromo en límites de grano, líneas de tensión horizontal.	 Precipitación de carburos de cromo en matriz austenítica	 Matriz austenítica con leve precipitación de carburos de cromo, presencia de líneas de tensión horizontal.
Con Normalizado a 600°C	 Precipitación de carburos de cromo globulares dispersos homogéneamente en la matriz, transgranular e intergranularmente.	 Mayor precipitación de carburos de cromo globulares en la zona más próxima al material de aporte que al metal base	 Matriz austenítica con mínima precipitación de carburos de cromo
Con Normalizado 400°C	 Precipitación de carburos de cromo globular en límites de grano austenítico	 Precipitación de carburos de cromo globular en límites de grano austenítico	 Poca precipitación de carburos de cromo globular

Fuente: Autor

Tabla 6. Continuación Analisis de micrografias.

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple a 800°C	 Bastante precipitación de Cr23C6 intergranular vistoso en toda la matriz con presencia de fase sigma.	 Menor presencia de Cr23C6, se revelan los límites de grano de la matriz.	 Presencia de fase sigma.
Con Temple a 600°C	 Leve precipitación de Cr23C6 y poca fase sigma.	 Bastante precipitación de fase sigma sobre matriz austenítica y poca presencia de carburos de cromo.	 Bastante precipitación de fase sigma sobre matriz austenítica y poca presencia de carburos de cromo.
Con Temple a 400°C	 Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.	 Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.	 Gran precipitación de carburos de cromo globulares de forma homogénea sobre la matriz, presencia de fase sigma en límites de grano.

Fuente: Autor

Tabla 7. Continuación Analisis de micrografías.

PROBETAS	MICROGRAFIAS		
	MATERIAL DE APOORTE	ZAT	METAL BASE
Con Temple-recocido a 800°C	 Gran presencia de carburos de cromo globulares, presencia de fase sigma homogénea	 Precipitación de carburos de cromo globulares y poca fase sigma	 Homogenización completa de carburos de cromo en la matriz
Con Temple-recocido a 600°C	 Gran precipitación de carburos de cromo, presencia de fase sigma y líneas de tensión horizontal	 Homogenización de carburos de cromo, fase sigma sobre la matriz	 Líneas de tensión horizontal
Con Temple-recocido a 400°C	 Presencia de bastante carburación en limite de grano de austenita	 Presencia de carburos de cromo globulares y muy poca de C23C6 se inicia una homogenización pero no se completa	 Presencia de carburos de cromo globulares en limite de grano de austenita, homogenización de la estructura

Fuente. Autor

precalentado a 600°C. Lo anterior lo confirmamos con el punto de rotura que es el más bajo, demostrándonos una máxima resistencia mecánica entre la carga máxima y punto de rotura, pero se observó que esta probeta fallo por la soldadura, obteniéndose un mejoramiento de las propiedades en el metal base y en la ZAC, mas no en la soldadura por formación carburos de cromo globulares dispersos homogéneamente en la matriz, transgranular e intergranularmente

CONCLUSIONES

1. Durante la aplicación de la soldadura se observó que si esta permanece durante un tiempo prolongado en un intervalo de temperaturas comprendidas entre 500 y 800°C se presentó precipitación de carburos que influyen en el comportamiento de los componentes en servicio, además por la formación de fases intermetálico, debido a elementos como cromo y titanio.
2. Aplicar tratamientos térmicos posteriores a la soldadura se presenta formación de fase sigma disminuyendo resistencia a la corrosión en la soldadura y en la ZAC principalmente, incrementando considerablemente la fragilidad por tratarse de una fase bastante dura y como consecuencia también la ductilidad del material.

3. En base a la forma de aplicación de soldadura, para el acero Austenítico AISI 316 estudiado en esta investigación se recomienda realizar el soldeo teniendo en cuenta una baja aportación de calor, distribuyendo el calor en forma equilibrada para que este sea repartido en la pieza de la forma más simétricamente posible. A demás se debe procurar que el nivel de embriamiento sea lo más bajo posible, así se consigue que la Zona Afectada por el calor sea más estrecha

BIBLIOGRAFÍA

- Acerind S.C. Soldadura de los aceros inoxidables, Sección I: Para el soldador, 11-12-13p.
- ASTM D1587. 2000. Estándar practice for thin-walled tube sampling of soils for geotechnical purposes, ASTM International, west Conshohocken, PA, 2000.
- ASTM E407-07. 2015. Standar practice for microetching metals and alloys, ASTM international, west Conshohocken, PA, ed. 1, 2015
- Avner.1988. Introducción a la metalurgia física, 2ed, McGraw Hill, 369p.
- C. Medina, Bruno Alberto. 2014. Evaluación de la resistencia a la corrosión de uniones soldadas de acero inoxidable mediante

- proceso gtaw y material de aporte tubular, Lima, Diciembre de 2014. gtaw entre aceros inoxidables y aceros al carbono, Riobamba - Ecuador, 28p.
- Dainoriz, G.; R. Eglimar, F. Levis; H. Jheyssa, M. José; P Yeison, G. Osmar. 2012. Ensayos no destructivos, Universidad nacional experimental Rafael María Baralt, Ojeda, Septiembre de 2012, 5-8p.
- G. Di Caprio. 1999. Los aceros inoxidables, Editorial Grupinox-milano.
- Echeverría Mauricio, N; Solís Eduardo, H.; Ibáñez José Miguel. 2010. Manual de aceros inoxidables, Marzo 2010 2M Impresores Ltda. Cerrillos, Chile.
- L. Martín, Ángela. 2012. Propiedades y soldabilidad de los aceros inoxidables, Product Manager Consumibles, European Welding Engineer, 2012, 4p.
- Lippold John &. Kotecki Damian. 2005. Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steel. EE.UU: John Wiley & Sons Inc, 8-19p.
- P Rael. 1997. Reading, Writing, and Researching for History: A Guide for College Students, 2004 R.N. GUNN, Duplex Stainless Steels, Cambridge (Inglaterra): Abington Publishing, 98p.
- Manual de Soldadura. West Arco. 2015. Bogotá, 98p.
- SourmaiL. 2001. Precipitation in creep resistant austenitic stainless steel. University Cambridge, Dept. material and metallurgy, January 2001.
- T. Koseki, Flemings 1996. Solidification of undercooled Fe-Cr-Ni alloys part II-microstructural -evolution Metallurgy Materilas Transaction, A27, 3226-3240p.
- V. Cevallos, Julio César. 2010. Relación, microestructura/propiedad en la soldadura

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)