

***Soldadura de los aceros inoxidables austeníticos aleados al cromo-níquel. recomendaciones tecnológicas / Welding of austenitic stainless steels to chromium-nickel. Technological recommendations***

Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez. [hrgez@facing.uho.edu.cu](mailto:hrgez@facing.uho.edu.cu)

**Institución del autor**

Universidad de Holguín

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN**

En el artículo se expone la influencia de los elementos aleantes principales tales como el cromo, níquel, carbono, molibdeno, titanio, niobio, etc. y los problemas principales que tienen los aceros inoxidables austeníticos aleados al cromo níquel que son: agrietamiento, precipitación de carburos de cromo que es la causa de la corrosión intergranular y el surgimiento de la fase sigma, posteriormente se brindan los pasos fundamentales para la soldadura de estos materiales que se dividen en preparación de la pieza, soldadura y acabado. Esto le infiere al trabajo una repercusión importante porque se muestra una guía de pasos tecnológicos para la soldadura de estos materiales con una aplicación práctica importante para la resolución de problemas fabriles en el campo de la soldadura de los aceros inoxidables austeníticos aleados al cromo níquel

**PALABRAS CLAVE:** SOLDADURA; ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS AL CROMO NICKEL

**ABSTRACT**

In this paper the influence of main alloying elements such as chromium, nickel, carbon, molybdenum, titanium, niobium, etc. and the main problems of the nickel-chromium austenitic stainless steels such as: cracking, chromium carbide precipitation that causes intergranular corrosion and the emergence of the sigma phase, are discussed. Then the fundamental steps for welding these

materials which are divided into part preparation, welding and finishing are provided. This gives the research a major impact because a technological step guide for welding these materials with an important practical application to solve manufacturing problems in the field of welding of austenitic nickel-chromium stainless steels is shown.

**KEY WORDS:** WELDING; AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STAINLESS STEELS

## **INTRODUCCIÓN**

Los aceros inoxidable son materiales empleados en un gran número de industrias y fábricas. El principal problema existente en la soldadura de estos materiales es la selección de los materiales de aporte ya que esto no depende solamente de los componentes químicos del material, sino también de los problemas que presentan desde el punto de vista de su soldabilidad metalúrgica que en definitiva tiene en cuenta el medio donde trabaja la pieza.

El problema científico es la ausencia de una tecnología adecuada para la soldadura de piezas de estos materiales y el campo es la tecnología de soldadura de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo níquel. Los objetivos son: estudio de la influencia de los elementos de aleación, los problemas que presentan para la soldadura estos materiales y el conocimiento de las principales recomendaciones teórico-prácticas para la obtención de uniones de calidad.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Los aspectos necesarios a conocer para la soldadura de estos materiales son: influencia de los elementos aleantes, propiedades físicas y químicas del material y los problemas que presentan para su soldadura.

### **Influencia de los elementos aleantes.**

Los elementos aleantes de estos materiales son: cromo, carbono, níquel, manganeso, silicio, aluminio, molibdeno, wolframio, titanio, niobio, nitrógeno y cobre. El estudio de la influencia de los más importantes es el siguiente: el **cromo** forma una película superficial de óxido de cromo que protege al acero de la oxidación, con un contenido mínimo de 12 % se adquiere el carácter de inoxidable, en estas concentraciones se obtienen las fases de ferrita y austenita

( $\alpha+\gamma$ ); el **carbono, níquel** y el **manganeso** favorecen la formación de la fase austenítica; mientras que el **silicio, molibdeno, titanio** y **niobio** son alfégenos y los dos últimos evitan la corrosión intergranular.

### **Propiedades de los aceros inoxidable austeníticos al cromo-níquel.**

Las propiedades en los aceros inoxidable austeníticos al cromo-níquel son:

La **temperatura de fusión** es menor que la de los aceros al carbono, por esto es necesario aplicarles menor cantidad de calor.

El **coeficiente de dilatación lineal** es 50 % mayor que el de los aceros al carbono y esto ocasiona que las deformaciones sean mayores. La **conductibilidad** es 40-50 % menor que la de los aceros al carbono, es decir retienen el calor más tiempo. El efecto de la concentración del calor conjuntamente con el coeficiente de dilatación más grande con respecto los aceros al carbono conlleva a deformaciones y tensiones residuales apreciables en la unión soldada. La **resistencia eléctrica** de los aceros inoxidable austeníticos es aproximadamente seis veces mayor que la de los aceros al carbono, esto es la causa de por qué la intensidad de la corriente de soldadura empleada en estos aceros es menor que en el caso de los aceros al carbono cuando se sueldan por los procesos de soldadura por resistencia eléctrica.

De las consideraciones realizadas se llega a la conclusión de que el proceso más conveniente para soldar los aceros inoxidable austeníticos es por arco con protección gaseosa en el modo de transferencia pulsada, debido a que se obtiene un control más preciso de la transferencia del metal en el arco con valores de corriente promedio más bajos y como consecuencia un aporte de calor menor en comparación con los métodos de soldadura convencionales [1]

### **Problemas en la soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos al cromo-níquel.**

Existen tres problemas que afectan la soldabilidad de estos materiales:

- a) Tendencia al agrietamiento de la zona fundida o de la zona de influencia térmica, la cual depende de la estructura.
- b) Precipitación de los carburos de cromo, que ocasiona la corrosión de estos aceros.
- c) Formación de una fase intermetálica sigma ( $\sigma$ ) que ocasiona la fragilidad de algunos aceros con concentraciones elevadas de cromo.

En la tabla No 1 se muestra la composición química de algunos de los aceros inoxidables austeníticos aleados al cromo níquel.

**TABLA No 1.**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS ALEADOS AL CROMO NÍQUEL [2].**

Tipo de acero (AISI)	Composición química										
	Cr	Ni	C (max)	Mn (max)	Si (max)	Mo	Ti	Se	Zr	S (max)	P (max)
<b>301</b>	16-18	6-8	0.08-0.2	2	1					0.03	0.04
<b>302</b>	17-19	8-10	0.08-0.2	2	1					0.03	0.04
<b>303</b>	17-19	8-10	0.15	2	1	0.6 <sup>2</sup>		0.07 <sup>1</sup>	0.6 <sup>2</sup>	0.07 <sup>1</sup>	0.07 <sup>1</sup>
<b>304</b>	18-20	8-11	0.08	2	1					0.03	0.04
<b>308</b>	19-21	10-12	0.08	2	1					0.03	0.04
<b>309</b>	22-24	12-15	0.2	2	1					0.03	0.04

**Tendencia al agrietamiento.**

La tendencia al agrietamiento ha sido objeto de estudio por varios investigadores, y la teoría más aceptada a la que han llegado es que la causa de las grietas que se forman en caliente en estos tipos de aceros se debe a la formación de una película de silicatos que se forma alrededor de los granos de austenita, esto ha sido comprobado sobre uniones soldadas con electrodos que garantizan en el metal depositado una gran cantidad de silicio ( $Si \geq 0.6\%$ ), obteniéndose como resultado muchas grietas en la unión soldada.

Se ha comprobado que la presencia de una pequeña cantidad de ferrita ( $\delta$ ), capaz de precipitar alrededor del grano austenita, se evita la presencia de silicatos, es decir, que con una estructura compuesta por austenita + ferrita (dúplex), se elimina la tendencia al agrietamiento [3]. Con 2-5 % de ferrita es suficiente para evitar el agrietamiento, por lo tanto el metal de aporte debe garantizar un metal depositado con estas características, para esto es necesario el empleo del diagrama de Shaeffler; el cual relaciona la estructura del acero con su composición química total, teniendo en cuenta la influencia del resto de los elementos aleantes, agrupando y cuantificando los mismos en dos grandes grupos: los que favorecen la formación de la fase ferrítica (alfágenos) y

los que favorecen la formación de la fase austenítica (gammágenos). Estos resultados de cuantificar la influencia en estos dos grupos se refieren a los elementos que mayor influencia tiene en la formación de estas fases, que son el cromo equivalente [Cr] y el níquel equivalente [Ni]. Las fórmulas del cromo y níquel equivalente son [4]:

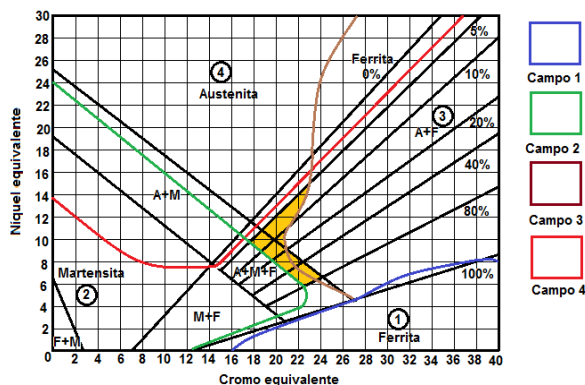
$$[Cr] = Cr \% + Mo \% + 1.5 Si \% + 0.5 Nb \% \quad [1]$$

$$[Ni] = Ni \% + 30 C \% + 0.5 Mn \% \quad [2]$$

En estas fórmulas se sustituyen los valores en porcentajes de los contenidos de estos elementos en el acero o material de aporte depositado en cuestión tales como: Ni %, Cr %, Mo %, C %, etc.

Este diagrama solo tiene validez cuando los elementos se encuentran en las siguientes proporciones a: C ≤ 0.2%, Mn ≤ 1.0%, Si ≤ 1.0%, Mo ≤ 3.0%, Nb ≤ 1.5%. [5]

Algunos autores piensan que el agrietamiento en caliente de estos aceros se debe a segregaciones de bajo punto de fusión ricas en S, P, Mn, Si y algunas veces Nb, y mantienen el criterio de que la fase ferrítica disminuye este tipo de agrietamiento.



**Figura 1. Diagrama de Shaeffler**

**b) Precipitación de carburos de cromo.**

La precipitación de los carburos de cromo es la causa fundamental de la corrosión intergranular, o sea que bajo ciertas condiciones ellos pueden presentar la corrosión intergranular frente a determinados medios ácidos. Cuando estos aceros son calentados entre 420-870 °C o enfriados lentamente a través de este rango, el carbono se precipita en la frontera de los granos de austenita, donde se combina con el cromo formando carburos de cromo, y ocasionando que las áreas adyacentes a estos carburos se encuentran pobres

en cromo, con contenidos muy por debajo del límite mínimo de inoxidable del acero y dejando estas zonas propensas a la corrosión intergranular, si el mismo se pone en contacto con determinados medios ácidos [6]. Este tipo de corrosión es característica de los aceros inoxidables austeníticos y es uno de los problemas necesarios a resolver en la soldadura de estos materiales. En la figura 2 se observa la zona de color oscura con bajo por ciento de cromo atacada por un ácido adyacente a la zona de los carburos.



**Figura 2. Precipitación de carburos de cromo alrededor de los granos de austenita.**

Este problema se evita de varias formas, una de ellas es empleando electrodos con contenidos determinados de Ti o Nb, que son más ávidos por el carbono que el cromo, otra forma es seleccionando un electrodo con muy bajo contenido de carbono ( $C < 0.05\%$ ) y la otra es aplicando un tratamiento térmico de homogeneización que consiste en elevar la temperatura por sobre los 950-1000 °C y obtener un enfriamiento rápido en la zona de sensibilización.

### **c) Formación de la fase intermetálica sigma ( $\sigma$ )**

El surgimiento de una fase intermetálica sigma ( $\sigma$ ) puede aparecer para concentraciones elevadas de cromo y a temperaturas entre 650-900 °C. Esta fase se obtiene generalmente cuando los aceros con alto contenido de cromo (25Cr-20Ni) se calientan a temperaturas en el rango antes mencionado durante un largo período de tiempo y se debe a una transformación de la fase de ferrita a dicha fase sigma.

La fase sigma ocasiona la pérdida de la viscosidad de impacto, ductilidad y de la resistencia a la corrosión de estos aceros.

La formación de la fase sigma depende del contenido de la fase de ferrita en el acero, por esta razón se ha demostrado que el surgimiento de esta fase se encuentra limitada cuando el contenido de ferrita es de 2-3 %.

El dominio de estos problemas es la base para realizar una selección correcta de los materiales de aporte para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo-níquel. La soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo níquel del tipo 18/8 se considera condicionada de manera tal que una vez determinada bien las condiciones de trabajo de la pieza se puede solucionar satisfactoriamente la soldadura de los mismos.

## **RESULTADOS**

Se exponen las recomendaciones para la soldadura de estos materiales

### **Recomendaciones tecnológicas para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo-níquel austeníticos.**

Estas recomendaciones permiten realizar el diseño de la tecnología de soldadura y se dividen en preparación de la pieza, soldadura y acabado

#### **A) Preparación de la pieza.**

Se realiza la preparación de los bordes según las normas dictadas al respecto y se puede hacer mediante medios mecánicos o por arco, posteriormente los bordes se limpian, o sea, no deben tener en su superficie: grasas, aceites, pinturas, óxidos, tierra, arena, etcétera. La limpieza superficial se debe realizar con cepillos metálicos de alambres de aceros inoxidable. Se deben mantener las medidas que exige la norma en cuanto a la separación de las piezas y el desnivel entre ellas.

#### **B) Soldadura.**

Los procesos de soldadura que se utilizan en la soldadura de estos materiales son: soldadura manual por arco eléctrico con electrodo revestido, soldadura por arco eléctrico con electrodo refractario en atmósfera protectora (GTAW) y soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible en atmósfera protectora (GMAW). No se debe emplear el proceso de soldadura con llama.

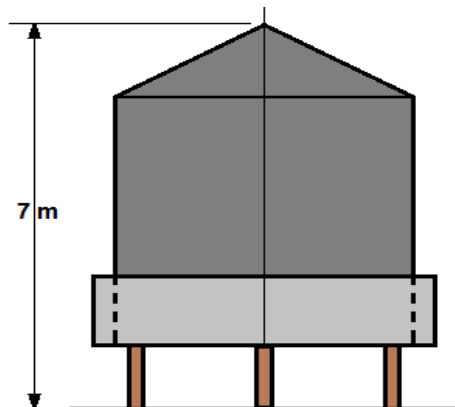
La selección del electrodo debe tener en cuenta el tipo de material, las condiciones de trabajo de éste y con el empleo del diagrama de Shaeffler se deben satisfacer las condiciones para la resolución de los 3 problemas que presentan estos materiales.

Se deben seleccionar los parámetros adecuados de intensidad de corriente y tensión eléctrica. El cordón de la raíz debe garantizar la penetración en la misma. En los casos de piezas donde se necesita extremada calidad de la costura se necesita la soldadura TIG (argón).

### C) Acabado.

En el acabado se aplica el tratamiento térmico de homogeneización para disolver los carburos, al final se debe efectuar el control visual, radiográfico, ultrasonidos, hermético, etc.

El tanque de procesamiento de agua que se muestra en la figura 3 es de acero con 19 % de cromo, 9 % de níquel y tiene como función calentar el agua que circula dentro hasta 78 °C, lo cual se logra mediante una doble envoltura por donde circula vapor y que intercambia calor con el agua en el interior; con esto se logra dicha temperatura. En la soldadura de la doble camisa surgen grietas que son necesarias reparar.



**Fig. 3 Esquema del tanque de procesamiento de agua**

El material del tanque es de acero inoxidable austenítico aleado al cromo níquel, estabilizado con titanio y una delta ferrita del 10 %. La tecnología de la reparación de las grietas es la siguiente: los bordes donde se encuentran las grietas se preparan con piedra de esmeril y se limpian. etc. Se emplea el proceso de soldadura manual por arco eléctrico con electrodo refractario en atmósfera protectora (GTAW) con el alambre ER 308L y gas protector argón con flujo de 5 l/min.

Se emplea un alambre de 2 mm de diámetro y 110 amperes de corriente directa polaridad invertida. El electrodo es aleado al thorio con 2 mm de diámetro. Al final se debe garantizar la limpieza superficial y el control de la calidad, el cual se debe realizar con inspecciones visuales.



## CONCLUSIONES

Las principales conclusiones del trabajo son:

1. Se describen los aspectos teóricos prácticos necesarios para la elaboración de la tecnología de la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo níquel, entre los cuales se encuentran: influencia de los elementos aleantes, problemas de soldabilidad y principios de la selección de los materiales de aporte
2. Se establecen los pasos tecnológicos necesarios para la soldadura de los aceros inoxidable austeníticos aleados al cromo níquel, que son: preparación de la pieza, limpieza superficial, colocación relativa de las piezas, proceso de soldadura, selección del material de aporte, ejecución de los cordones de soldadura, tratamiento térmico posterior y el control de la calidad.

## BIBLIOGRAFIA

- Porta, C., Ignoto, V., Cerpa, S., León, J. B. y Quintero, A. Soldadura de un acero inoxidable dúplex 2205 por GMAW mediante el uso de la técnica de arco pulsado. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 23 (1), 21 – 26.
- The Welding Handbook Committee (1966). *Welding Handbook*. 5 ed. EUA : American Welding Society Publishers.
- Rodríguez P., O. Determinación de las causas de las grietas en las uniones soldadas de los tanques de procesamiento de agua de la fábrica de cerveza Bucanero. *Revista de soldadura*. Biblioteca Benito Juárez. Holguín.
- Rodríguez P., O. (2013). *Metalurgia de la Soldadura*. Editorial Universitaria MES. Biblioteca Virtual, EcuRed, RedUniv.
- Ospina L., R., Aguirre C., H. y Parra I., H. Soldabilidad en aceros inoxidable y aceros disimiles. *Scientia et Technica* 13(34).
- ASM Handbook Committee (1971). *Welding Handbook*. 8 ed. EUA : ASM Handbook Committee.

## **Síntesis curricular del Autor**

**Dr. C. Osmundo Héctor Rodríguez-Pérez.** [hrgez@facing.uho.edu.cu](mailto:hrgez@facing.uho.edu.cu)

Es Profesor Emérito, Profesor Consultante, Profesor Titular y Doctor en Ciencias Técnicas con una experiencia de 44 años en las universidades en las cuales ha trabajado. Desarrolla diversos trabajos científico técnicos importantes en el campo de la soldadura y la recuperación de piezas, con una repercusión notable desde el punto de vista científico técnico, social y económico. Posee varias publicaciones escritas en Cuba y en el extranjero entre trabajos científicos, monografías, artículos de revistas y otras publicaciones docentes. Ha impartido varias conferencias magistrales en el ámbito nacional e internacional. Participa en eventos tanto en Cuba así como en el extranjero y ha impartido cursos, diplomados en Cuba y fuera del país. Ostenta la Orden Lázaro Peña de 1.º Grado, la Orden Carlos J. Finlay, la Orden Frank País de Primer Grado, la Distinción Especial del Ministro en el trabajo Científico en dos ocasiones, posee otras medallas, Premios al Mérito Científico y de la Academia de Ciencias de Cuba. Ha desarrollado colaboración científico con varios países y tiene varias maestrías tutoradas, una especialidad de postgrado y ha participado en tribunales y oponencias de grados científicos. Es experto de la Junta de Acreditación Nacional de Carreras Universitarias, Maestrías y Doctorados

### **Institución del autor**

Universidad de Holguín

**Fecha de Recepción:** 11 de abril del 2015

**Fecha de Aprobación:** 26 de noviembre de 2016

**Fecha de Publicación:** 30 de abril de 2017