relación ácido-mineral de 0,26 y en un rango de temperatura de 150 a 200 °C, el mismo está limitado por la reacción química, es decir, ocurre en el régimen cinético. Cuando el rango de temperatura oscila entre los 225-250 °C, el proceso está limitado por la difusión de los reactivos disueltos en el licor.

FIGURA 4. Dependencia del logaritmo de la velocidad de la temperatura.

FIGURA 5. Dependencia del logaritmo de la velocidad de la concentración.

BIBLIOGRAFÍA

GRANDA IBARRA, O. y E. ALFONSO: *Procedimientos para mejorar la recuperación de los valores metálicos de los minerales de serpentina*, CIPIMM.RT-34024.

GRANDA IBARRA, O : *Tratamiento de minerales serpentiníticos para disminuir su contenido de magnesio*, CIPIMM,RT-286.

HEREDIA KINDELÁN, M. D. y J. SINCHOGWA: *Consideraciones de la lixiviación ácida de la limonita con colas de serpentina*, Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1990.

HEREDIA KINDELAN, M. D.; G. SANTIAGO ALFONSO y V. ZALDÍVAR: *Tecnología para la utilización de la serpentina en el proceso ácido de la empresa «Pedro Soto Alba»*, Informe Técnico, CIL, 1991.

ZELIKMAN, A.M.; G.M. VOLDMAN y BELJAEVSKAYA: *Teoría de los procesos hidrometalúrgicos*, Vneshtorgizdat, Moscú, 1992.

SOLDADURA DE TUBOS DE ACERO INOXIDABLE CON EL USO DE EXPLOSIVOS

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez

Departamento de Mecánica. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

RESUMEN:

El trabajo aborda el problema de la soldabilidad de los tubos de acero inoxidable austenístico al cromo níquel, de 326 mm de diámetro y 7,5 mm de espesor, utilizados en la línea de licor de lixiviación de la empresa Moa Nickel S.A. «Pedro Soto Alba». Se plantea el uso de explosivos para lograr la unión metalúrgica de tramos de tubos con cargas de alta velocidad, garantizando la ausencia de corrosión intercristalina que caracteriza a este tipo de acero cuando se emplean los procedimientos comunes de soldadura.

ABSTRACT:

This work describes the solution of the weldability problem of stainless steel austenistic pipes chromium-nickel type, with 326 mm of diameter and 7,5 mm of thickness, used in the liquor line of lixiviation in the Moa Nickel S.A. «Pedro Soto Alba» Company. It is established the use of explosive to obtain the metallurgical union of pipes stretches with high speed explosive charges and warrant the absence of the intercrystalline corrosion phenomenon that appears in this material when traditional fusion welding method is used.

El garantizar la unión metalúrgica de tramos de tubos de acero inoxidable austenístico al cromo níquel 316 L, en condiciones competitivas desde el punto de vista económico, sin que se vean afectadas las propiedades físico-mecánicas y la composición química de estos aceros, representa en la actualidad un reto tecnológico y una necesidad de la industria cubana del níquel.

Los tubos de acero inoxidable austenístico, utilizados por la Compañía Moa Níquel S.A. «Pedro Soto Alba» en la línea de licor de lixiviación, se encuentran expuestos a la acción de una pulpa ácida (pH aproximado de 2,6) rica en sulfato de níquel y cobalto, que se caracteriza, entre otras cosas, por acelerar el proceso de corrosión del metal utilizado en las tuberías para su trasiego.

Al emplear los métodos clásicos de soldadura en los materiales referidos, se observan problemas de soldabilidad que limitan la vida útil de las instalaciones, entre estos sobresalen los siguientes:

1. Tendencia al agrietamiento en la zona de influencia térmica atribuida a la formación de una película de silicato alrededor de los granos de austenista.
2. Formación de una fase intermetálica sigma, que ocasiona la fragilidad de los aceros con concentraciones elevadas de cromo.
3. Precipitación de carburos de cromo lo cual ocasiona la corrosión intercristalina.

Este último aspecto, de mucha importancia en las condiciones de referencia, se fundamenta en el criterio de que la velocidad de formación de los carburos, que es pequeña a baja temperatura, crece en el rango entre 600 y 800 °C. Debemos recordar que para lograr la fusión en estos aceros se requiere sobrepasar este intervalo y alcanzar una temperatura de 1 400 a 1 430 °C, y que además su conductividad térmica es aproximadamente un 40-50 % menor que la de los aceros al carbono, por lo que retienen el calor durante un período mayor. El carburo formado en la zona de influencia térmica, absorbe el cromo en las proximidades del borde del grano austenístico, formando un carburo rico en cromo y ocasionando una decromización local adyacente a estos carburos. Cuando el contenido de cromo disminuye a valores inferiores al 12 % (límite de inoxidabilidad), esta zona pobre en cromo es propensa a la corrosión.

Aquí se exponen los resultados de un reciente estudio que ha permitido adaptar a nuestras condiciones las experiencias de investigadores canadienses, durante la década del 80, en tuberías de diámetros intermedios (Batham, Loyer y Dorling; 1987), y que ha posibilitado evitar el fenómeno de la corrosión intercristalina al utilizar explosivos para lograr la soldadura.

Conformación con explosivos, previo al proceso de soldadura

Antes de acometer el proceso de soldadura se requiere conformar el extremo de uno de los tubos a soldar, de manera tal que el expansionado que se produzca permita que el extremo cilíndrico del otro tubo a soldar penetre en el primero la longitud requerida según la geometría del paquete explosivo para la soldadura.

La operación de conformar el extremo del tubo se realiza utilizando explosivos y una matriz diseñada al efecto (Figura 1).

FIGURA 1. Esquema para el expansionado del tubo.

Procedimiento de la soldadura

La soldadura por explosivos de tramos de tubos, produce juntas solapadas mediante la detonación simultánea de carga tanto en el paquete interior como en el paquete exterior (Figura 2).

FIGURA 2. Geometría del paquete explosivo para la soldadura de los tubos.

Estas cargas detonan progresivamente desde el ápice hacia el extremo abierto de la holgadura establecida por el tubo expansionado y sin expansionar, la carga explosiva detona a una velocidad más alta alrededor de la circunferencia de la tubería que a lo largo del eje de la misma.

Con el objetivo de maximizar el ancho de soldadura, el diseño de la carga es más grueso en el ápice de la solapa, de esta forma se puede acelerar el entubamiento y lograr el inicio temprano de la soldadura. El espesor de la carga es más reducido en el otro extremo para limitar la sobresoldadura debido a una excesiva energía al final del extremo de la solapa.

A medida que el frente de detonación pasa, la explosión interna expulsa hacia afuera la porción no expansionada, mientras que la exterior impulsa hacia adentro simultáneamente la porción expansionada, esto ocurre de tal manera, que ellos chocan en el ángulo y la velocidad relativa deseada. Cuando estos están dentro de ciertos límites en el momento del impacto, las intensas presiones generadas en el punto de choque, en combinación con la geometría de la colisión angular, causan un flujo severo de las capas superficiales que chocan y la formación de un chorro.

Este chorro es una mezcla de dos capas superficiales y sus contaminantes, y garantiza la unión metalúrgica de las dos superficies metálicas en contacto.

La cantidad de parámetros que hay que tener en cuenta y su interacción para lograr una soldadura de calidad, es bastante difícil. En los últimos años es muy aceptada la construcción gráfica de un diagrama dando el rango del límite superior e inferior de cada uno de los parámetros dentro de los cuales se estima una buena soldadura.

Este método se conoce como «ventana de soldabilidad». En la Figura 3 se muestra la ventana de soldabilidad y las variables básicas que controlan el proceso de soldadura por explosivos. Cuando el proceso se desarrolla en el área limitada por esta ventana de soldadura, se caracteriza por una interfase rizada u ondulada.

FIGURA 3. Ventana de soldabilidad.

En la ejecución del trabajo de soldadura se procedió de la siguiente forma:

1. Se realizó el bocinado del tubo, al introducir el mismo en la matriz construida al efecto y al colocar previamente grasa en las superficies que estarían en contacto para facilitar posteriormente la salida del tubo.
2. Se acoplaron ambos tubos y se colocaron los respectivos paquetes explosivos (interior y exterior). Previamente se realizó el pulido de las superficies a soldar con mucho rigor. En el paquete explosivo la carga se cubrió con un material de apisonamiento arenoso para aumentar la eficiencia de la explosión y reducir la suma de explosivo requerida, así como, para controlar la distorsión durante la soldadura, como material de apisonamiento se escogió la arena por su bajo costo, disponibilidad y eficiencia.

Tanto para el conformado como para la soldadura, la realización de la explosión incluye los siguientes pasos:

- Cortar los pedazos de mecha para la unión de las cargas (en nuestro caso se escogieron 8 tramos de mecha de una misma longitud).
- Situar los tramos de mecha en cada paquete alrededor de la carga a una misma distancia.
- Unir las mechas a la cápsula detonadora.
- Unir la cápsula detonadora con la magistral y realizar la explosión.

Valoración de la corrosión intercristalina

Con el fin de realizar este análisis fueron extraídas 6 probetas de 100 mm de largo y 20 mm de ancho del tubo que había sido expuesto a la acción de la carga explosiva, primero para la conformación y posteriormente para la soldadura. Las mismas fueron atacadas químicamente y dobladas hasta 180 aproximadamente, 3 antes y 3 después del ataque químico. Este ataque no es más que una forma de destacar la tendencia del material a la corrosión intercristalina.

El ataque químico consistió en someterlas a ebullición durante 8 horas en volumétrico de 1,5 L, con serpentín de condensación en una sola solución compuesta por 80 g de $CuSO_4$ en 250 mL de H_2SO_4 de 1,83 g/cm^3 de densidad y un litro de agua, al que se le añadió virutas de cobre metálico para reponer a la solución los iones de cobre perdidos por precipitación sobre las probetas.

Las probetas se colocaron encima de perlas de cristal para evitar el golpeteo y la posible rotura del balón de cristal.

Al concluir, las probetas se lavaron bastante para desprender el cobre adherido a su superficie, además, se procedió a realizar la prueba del sonido metálico que consiste en dejar caer la probeta en posición plana desde una altura de 300 a 500 mm. Como se conoce, las que han sido atacadas por corrosión intercristalina no tienen sonido metálico, pues los carburos en los límites del grano eliminan la continuidad del material. En nuestro caso las probetas atacadas químicamente y posteriormente lavadas, cuando se dejaron caer, emitieron un sonido metálico, lo que evidencia la ausencia de corrosión intercristalina.

A pesar del resultado obtenido en la prueba del sonido, se consideró oportuno observar la estructura de las probetas bajo el microscopio, esto se realizó con el objetivo de verificar, en caso de existir, el carácter e intensidad de la corrosión intercristalina. En este sentido fueron pulidas hasta el paño y atacadas por frotación con algodón durante dos minutos por un reactivo compuesto de 5 g de cloruro férrico, 50 mL de HCl y 100 mL de agua. Este reactivo destaca los granos y los carburos que los rodean, de existir corrosión intercristalina.

La imagen observada en un microscopio MMP-4 500 de aumento, reflejó una estructura carente de los rasgos que caracterizan la corrosión intercristalina.

CONCLUSIONES

1. El uso de explosivos es factible en la conformación del expansionado y posterior soldadura de tubos de aceros inoxidables austenísticos al cromo-níquel de 326 mm de diámetro y 7,5 mm de espesor.
2. El resultado del análisis de la corrosión intercristalina demuestra que bajo la acción de cargas a gran velocidad por el uso de explosivos para la soldadura de tubos, el acero austenístico no manifiesta tendencia a la corrosión intercristalina, por lo que con el uso de esta técnica se garantizará la asignación de servicios de instalaciones expuestas a la acción de una sustancia eminentemente ácida, como lo es la pulpa de la línea de licor de lixiviación de la Compañía Moa Niquel S.A «Pedro Soto Alba».

BIBLIOGRAFÍA

BATHAM, D. G.; A. LOYER y D.V. DORLING: «High impact welding for intermediate diameter pipeline construction», *Welding Journal*, pp. 31-39, julio, 1987.

CASALS, B: *Soldadura y embutición por explosión del acero 20 K con el titanio para la fabricación de recipientes a presión*, Resumen de tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas, Moa, 1995.

GREAVES, H.: *Metalografía*, Ed. Mir, Moscú, 1983.

RAMOS, S.: *Optimización de la tecnología de la soldadura de tubos de acero inoxidable con el uso de explosivo*, Trabajo de diploma, ISMM, Moa, 1994.

MINERIA y GEOLOGIA
ISSN 0258 5979

¡SUSCRÍBASE AHORA!