

SOLDADURA POR RESISTENCIA DE TAPONES A TUBOS EN ZIRCALOY-4

D.E. Balzaretto^{*}, R.L. Martínez^{**}, J.A. Valesi^{**} y E.H. Carella^{**}

Departamento de Materiales * Proyecto TECCA **
Gerencia de Desarrollo -
Comisión Nacional de Energía Atómica

A- INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la soldadura por resistencia de tapones a tubos en Zircaloy-4, se debe a que éste proceso de soldadura cumple adecuadamente los requisitos metalúrgicos, operativos y económicos para ser utilizada en la fabricación de Combustibles Nucleares.

Desde el punto de vista metalúrgico es requisito indispensable que la soldadura no afecte negativamente las propiedades mecánicas, físicas y de resistencia a la corrosión, tanto de los tubos de Zry como de los demás elementos estructurales que intervienen en el diseño del combustible nuclear.

El ciclo térmico debe ser lo suficientemente corto como para evitar la incorporación de gases al material durante la soldadura. El Zircaloy incorpora muy fácilmente oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y carbono, todos éstos elementos afectan notoriamente, por distintos mecanismos, las propiedades del Zircaloy, especialmente la pérdida de resistencia a la corrosión por la presencia de nitrógeno.

La resistencia a la corrosión también se ve afectada por el proceso de microsegregación generado por la transformación de fascs en estado sólido, cuando el ciclo térmico de la soldadura lleva la temperatura por encima de 1250-1270 °K con tiempo suficiente para que nucleee la fase β y crezca, creándose

una estructura bifásica con composiciones químicas diferentes. Otra de las razones por lo cual el ciclo térmico de soldadura debe ser lo más corto posible es que debe minimizar la zona afectada termicamente para evitar modificar notoriamente la estructura metalúrgica (componentes de la microestructura, tamaño y orientación de presipitados, etc.), así como la textura cristalina, dado que de ella depende la adecuada orientación de los hidruros que presipitan durante la vida útil del elemento combustible.

Desde el punto de vista de la operación el proceso de soldadura debe ser fácilmente controlable mediante variables operativas que sigan funciones definidas, debe asegurar muy alta repetitividad y confiabilidad. De ésta manera es posible controlar las uniones soldadas en forma indirecta mediante el control y registro de las variables operativas, sin necesidad de recurrir en forma sistemática a los lentos y costosos ensayos no destructivos seriados de la totalidad de las uniones.

Desde el punto de vista económico el proceso de soldadura debe realizarse en forma automática, en tiempos cortos y con equipamiento probado a nivel industrial, de manera que sea una operación de alta confiabilidad y, el lo posible, de bajo costo relativo en el combustible nuclear.

B- DESARROLLO

1-.Equipamiento

La soldadura por resistencia se basa en un rápido calentamiento por efecto Joule de la región a soldar, acompañado por una gran deformación plástica de la misma.

Las máquinas de soldadura por resistencia constan de dos electrodos a los cuales se conectan las piezas a soldar, uno de ellos es móvil y transmite la fuerza para la deformación plástica durante el paso de corriente eléctrica entre los mismos. Para una adecuada soldadura de Zircaloy-4 se requiere un ciclo térmico muy corto (menor a 20 milisegundos). Estos tiempos se logran con controles electrónicos que emiten pulsos de hasta medio ciclo de la tensión de red.

Dado que el Zircaloy pierde notablemente sus propiedades mecánicas a temperaturas superiores a 1100 °K, el electrodo móvil, y por lo tanto el cabezal de soldadura, debe tomar valores altos de aceleración para producir un adecuado seguimiento de la deformación plástica. Esto se logra con cabezales de baja inercia. Esto hizo necesario introducir modificaciones en una máquina existente, dotándola de un cabezal de baja inercia de tipo mecánico, que permite lograr aceleraciones hasta 300 m/seg².

La soldadura por resistencia de Zircaloy puede realizarse al aire en tiempos muy cortos, pero para el caso de soldadura de tapones a tubos se requiere controlar la presión de gases inertes en el interior de las barras combustibles. Para satisfacer ésta necesidad fue necesario desarrollar y adosar a la máquina de soldadura una cámara estanca, dentro de la cual se efectúa la soldadura.

2.-Proceso de soldadura por resistencia

El proceso de soldadura fue desarrollado por el análisis sistemático de tres grupos principales de variables: a- Variables de herramienta, b- Variables operativas, y c- Variables geométricas de las piezas a unir.

El gran número de variables incluidas en estos tres grupos hizo que se realizara un detallado análisis de todas ellas y se fijara un gran número de las mismas, para lo cual se apeló a datos obtenidos de la bibliografía, requerimientos de diseño, experiencia industrial con el proceso, etc.

Con el resto de las variables se siguió distintas secuencias en forma sistemática, las cuales involucraron un número de experiencias del orden de 400 soldaduras. Todas fueron observadas con lupa y un gran número de las mismas fueron analizadas con técnicas metalográficas.

C- RESULTADOS

Las soldaduras muestran expulsión de material tanto interna como externa en forma de labios, ésta expulsión de material depende del grado de deformación. La deformación fue medida por dos métodos: a- Acortamiento durante el ciclo de soldadura. Se obtuvieron valores que variaron entre 0,5 mm y 1,5 mm. b- Diámetro del labio exterior. Estos valores estuvieron en el rango de 13,50 mm a 15,00 mm. Todos éstos valores fueron obtenidos con diferentes combinaciones de potencia, fuerza y aceleración, y un adecuado diseño de los electrodos.

Las soldaduras efectuadas sin corriente de presoldadura muestran distintos tipos de imperfecciones, explosiones localizadas, oxidación, falta de unión, etc, mientras las que fueron realizadas utilizando corriente de presoldadura son de calidad notablemente superior y repetitivas.

El centrado de la soldadura tapón-tubo es el resultado de la alineación entre los electrodos y de la tolerancia dimensional del diámetro externo del tapón.

La estructura metalográfica de la zona soldada presenta granos de aspecto poligonal observada con técnicas de microscopía óptica hasta 200^x y con aumentos superiores a 400 x se observa que interiormente a los granos de mayor tamaño hay una microestructura de agujas paralelas muy finas.

D- DISCUSION

La acción de forjado durante el ciclo de calentamiento causa la rotura de los óxidos superficiales y hace que la aleación entre en íntimo contacto generando la unión soldada, y disolución de los óxidos.

La estructura metalográfica muestra que la máxima temperatura alcanzada en el ciclo térmico está por debajo del punto de fusión. Los granos de la estructura que pueden ser observados a bajos aumentos (menores a 200 x) corresponden a la fase β primaria producida por el ciclo de calentamiento y la microestructura acicular fina puede ser identificada como α -martensita.

En la mayoría de los casos la interfase original de las piezas a soldar no puede detectarse, ocasionalmente ésta puede verse como una línea fina que se extiende en la zona de unión.

La calidad metalúrgica y geométrica de la soldadura es notablemente mejorada con la utilización de corriente de presoldadura, la cual permite la formación de un contacto eléctrico bien distribuído en todo el anillo de la soldadura.

C- CONCLUSIONES

La calidad y repetitividad de las soldaduras aumenta a medida que baja la inercia del cabezal de soldadura.

La corriente de presoldadura (un ciclo y aproximadamente el 50%

de la corriente de soldadura) mejora notoriamente la calidad y repetitividad de la unión soldada.

El perfil óptimo de deformación es el que presenta ángulos suaves, éstas características son obtenidas con acostamientos durante la soldadura del orden de 0,9 mm y diámetro final del labio exterior de 1,40 mm.-

D- BIBLIOGRAFIA

- 1- Funk E.J., Recent Developments in Magnetic-Force Welding, The Welding Journal, June 1957, p. 576-582.-
- 2- Mills L.E., Zircaloy Welding, Welding Journal, February 1961, p. 141-151.-
- 3- Bates K.T., Resistance Welding of Zircaloy End Closure Joints, AECL rep. N° 2814, 1966.-
- 4- Schueler A.W., Magnetic Force Butt Welding for Nuclear Cladding, Welding Journal, August 1968, p. 638-643.-
- 5- Burbure, de S., Resistance Welding of Pressurized capsules, Welding Journal, nov. 1978, p. 23-30.-