

04.84.07

| | |
|------------------------|-------------|
| C. N. E. A. Biblioteca | |
| ARCHIVO PUBLICACIONES | |
| Nº 1 | AÑO 1934 |

SOLDADURA POR RESISTENCIA, TIG Y BRAZING, EN LA FABRICACION DEL LOTE DE 200 ELEMENTOS COMBUSTIBLES PARA LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I
URRUSPURU, Ubaldo FERRO, Juan Marcos REYNOSO, Jorge MARCORA, Guillermo
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
GERENCIA DE DESARROLLO PROYECTO PLANTA PILOTO FECN-A
SOLDADURA POR RESISTENCIA

La soldadura por resistencia de patines deslizantes a vainas es uno de los primeros procesos en la fabricación de B.C del E.C para la C.N.A I.

Estos patines deslizantes sirven para guiar a la B.C en el se parador e impedir un contacto directo de la vaina con éste.

Previo a la soldadura se realiza un tratamiento de la superfi cie de la vaina que consiste en un electropulido, con electrolito acuoso de ácido acético y ácido perclórico eliminando una superficie de 3 a 5 μ m.

El equipamiento para realizar este proceso está formado por:

- a) Máquina de fabricar patines.
- b) Máquina electropulido de vainas.
- c) Máquina de soldar patines o vainas.

Las medidas de los patines deslizantes son de 2 x 2 x 34 mm y para su fabricación se parte de alambre de Zry-4 de sección rectangular la que se fresa en una de sus caras. El alambre se fracciona con un pro ceso adecuado de elaboración mecánica, debiéndose garantizar que a tra vés del corte no aparezcan, ni deformaciones, ni rebarbas, luego de un control dimensional de los patines y de su limpieza en freón, se colocan en casetes para ser usados en la máquina de soldar.

El electropulido de vainas se realiza en una máquina que arras tra a las vainas dentro de una cámara hermética en la que hay un baño de electrolito a un determinado potencial eléctrico, luego de electropulidas se lavan con agua desmineralizada de conductividad ≤ 10 uS, para quitar todos los restos de ácido, secándose posteriormente con aire caliente.

Después de este tratamiento la superficie es brillante sin man chas, decoloración o zonas de terminación mate.

Estas vainas debido a su gran longitud 5500 mm y su pequeño espesor 0,5 mm requieren cuidados especiales para su manipuleo pues pue den deformarse por flexión u otros motivos.

Los patines se sueldan a las vainas en coronas conformados por tres patines a 120° entre sí y a distancias prefijadas hasta formar un total de 15 coronas con 45 patines soldados.

Posteriormente las vainas son maquinadas en sus extremos y en la superficie de los patines, en tornos especiales, por lo que el conjun to vaina patín soldado, deberá soportar estos esfuerzos.

La máquina de soldar los patines está diseñada especialmente a tal efecto, tiene una automatización neumática para realizar los giros, los avances de la vaina, para el logro de la separación entre coronas y la acción del sistema de soldadura. Consta también de un control electró nico de soldadura de alta precisión.

Como elementos constitutivos de importancia citaremos al elec trodo de soldar, a las cuatro mordazas laterales y al aguantador. Este último es un cilindro de cobre que se ubica en la parte interior del tubo, en la zona de soldadura y evita la deformación del mismo y a su vez lo refrigera ya que consta de conexiones a un circuito de agua de re

frigeración.

Las mordazas laterales son las encargadas de sujetar al tubo desde la parte exterior y son las que conducen la corriente conjuntamente con el electrodo de soldadura, que al estar montado sobre un cilindro neumático, transporta el patín a soldar y ejerce la presión de contacto necesaria para lograr una correcta soldadura.

El electrodo deberá estar además aislado del resto de la máquina y de las paredes laterales del patín que transporta en su alojamiento.

Las vainas se someten a un proceso de grafitado interior, esto se logra con ayuda de un algodón embebido en una suspensión de grafito en alcohol. Se obtiene así una superficie interior de la vaina lubricada, lista para ingresar a la máquina, avanzando con el aguantador en su interior hasta que haga tope en una cierta medida prefijada. En este momento se suelda el primer patín, luego se gira 120° y se suelda el segundo, se gira 120° y se suelda el tercero, luego se ordena el avance de la vaina a la posición de 160 mm, esto se logra accionando un cilindro neumático, los giros y los avances se realizan con ayuda de un aparato divisor y una boquilla de sujección, ambos neumáticos. Luego de soldado el último patín se limpia el grafito interior de la vaina con algodones mojados en alcohol puro.

Consideramos, debido a la experiencia acumulada luego de 9.000 vainas soldadas, que este proceso, al contener múltiples variables, necesita un estricto control para evitar desviaciones que afecten a la calidad del producto.

SOLDADURA TIG

Como segunda parte de este trabajo, trataremos los métodos de soldadura TIG utilizados en la fabricación de B.C.

Denominamos B.C a las vainas con patines en las que ya se soldaron los tapones, confinándose las pastillas de UO₂ en su interior. Para lograr estas soldaduras de tapones aplicaremos el método de soldadura TIG.

Debemos tener en cuenta que luego del torneado de los patines y de los extremos de la vaina, se realiza una limpieza del interior y exterior de la vaina, a efectos de eliminar suciedades, para obtener buenas soldaduras, también se controla el diámetro interior de las vainas con una esfera calibrada. Los tapones a soldar son fabricados por torneado automático, partiendo de una barra de Zry-4, todos los tapones deben ser calentados hasta fundir la cara que va en el interior de la B.C. Esto se logra por arco eléctrico en atmósfera inerte y se efectúa para eliminar la presencia de posibles poros o fisuras que se alinearían en el eje de dichas barras.

El primer tapón que se suelda a la vaina es el tapón inferior, el que tiene grabado un número en su cara exterior y que también tiene una perforación longitudinal necesaria para finalmente poder presurizar a las B.C como ya veremos más adelante, el tapón superior sirve para la fijación de las barras en la etapa de ensamble de E.C; tiene un asiento plano posterior dentado y un vástago roscado para la fijación de la B.C por medio de tuercas a placas portantes. Ambos tapones tienen un asiento que ajusta convenientemente con el respectivo maquinado en los extremos de las vainas con patines.

Las máquinas utilizadas para las distintas etapas de soldadura TIG en la fabricación B.C son 3 a saber:

- a) Soldadura de tapón inferior

a vaina con patines soldados.

b) Soldadura de tapón superior a vaina con tapón inferior soldado y columna de pastillas de UO₂ en su interior.

c) Presurizado de B.C y sellado del agujero del tapón inferior de las mismas.

Para describir las máquinas y por ser ellas muy similares entre sí haremos una división por sectores o bloques constitutivos:

- 1) Cámara de soldadura.
- 2) Sistema de vacío y presurizado.
- 3) Sistemas eléctricos y programadores.
- 4) Sistema de soldadura y programa.
- 5) Circuitos neumáticos.

1) Las cámaras de soldadura son recintos de acero inoxidable con conexiones para efectuar vacío, alimentación, de gas inerte, colocación de electrodo, e ingreso de las piezas a soldar, el extremo de dichas piezas se aprisiona con una boquilla metálica que las fija y permite su rotación durante la soldadura. El otro extremo se ubica en la contrapunta de la máquina que está conectada en paralelo a la cámara. Dentro de la cámara se efectúan las sig. operaciones: Lavado del sistema cámara-vaina; soldadura y enfriamiento en atmósfera controlada con gas inerte.

2) Provocando alternativamente vacío e inundando con gas He de alta pureza, logramos el adecuado lavado del sistema cámara-vaina, eliminando gases no deseados y la humedad reinante en el mismo, asegurándonos de ésta forma una atmósfera conveniente para la operación de soldadura. El nivel de vacío necesario lo otorga una bomba mecánica, la que está conectada al circuito de vacío, comandada por el programador de operaciones de la máquina.

3) El principal componente del sistema eléctrico es el programador de operaciones que determina en que forma, se deben cumplir las distintas etapas, habilitando o no circuitos de electroválvulas, cabezales y medidores de vacío, celdas e instrumentos de medición de pureza de gas, circuitos de manómetros con contactos, etc. Todos los circuitos están encadenados de tal manera que no permiten la realización de una nueva operación si la anterior no tuvo el resultado esperado, ej: no se podrá soldar si la comprobación de pureza de gas en el sistema cámara-vaina no es la especificada. Por otro lado la operación que se está realizando es anunciada en una pantalla con letrero luminoso.

4) Los sistemas de soldadura están compuestos básicamente por una fuente estática de c.c, conectada con polaridad directa o sea electrodo negativo, con respecto a la pieza a soldar positiva, un programador de soldadura que la comanda y un dispositivo auxiliar para encendido del arco que es una fuente de Alta Tensión y Alta Frecuencia, además este dispositivo se desconecta automáticamente una vez iniciada la soldadura.

5) Los circuitos neumáticos son simples y ejecutan las operaciones de apertura y cierre de cámara y contrapunta; centrado de tapón superior y alineación de patín, entre otras.

Nos referimos ahora a la llamada secuencia operacional que realizan éstas máquinas y que por lo general es la siguiente:

- 1) Ingreso de la vaina o barra y cierre de cámara.
- 2) Tiempo de vacío luego de llegar a 5×10^{-2} mbar.
- 3) Tiempo de presurización con gas He de pureza 99,995.
- 4) Tiempo de medición de pureza del gas, nivel de ppm de O₂ y H₂O.
- 5) Tiempo de soldar 16 segundos girando 2 1/2 vueltas con una

corriente máxima del orden de 30 A acorde a un programa de corriente de soldadura.

6) Tiempo de enfriamiento con cámara cerrada.

Los parámetros de funcionamiento fijados son los que permiten soldaduras de buena calidad en un marco de alta productividad; se requiere además un conocimiento muy profundo de las bondades y limitaciones de los equipos para lograr una armonía en el conjunto de parámetros que rigen éstas soldaduras, puesto que el cambio de uno solo de ellos trae como consecuencia la disminución tanto del rendimiento productivo como de la calidad.

Por otro lado las máquinas deben efectuar soldaduras de alta confiabilidad en los niveles de calidad requeridos logrando mantener la repetitividad de dichos niveles.

Un parámetro de consideración es el de la corriente máxima de soldadura y la forma del programa de la misma, como dijimos debe ser repetitivo, para ello se cuenta con un programador eléctrico en el que se fijan valores para establecer el arco y gota; para la soldadura propiamente dicha y efectuar una pendiente descendente a los efectos de eliminar el cráter, que puede dar origen a defectos mecánicos o centros de corrosión preferencial.

Las características y estabilidad del arco dependen en gran medida del tipo de electrodo que se usa, de su geometría y de la distancia electrodo-pieza. En nuestro caso se usan electrodos de tungsteno-torio al 3% con su extremo afilado a 60°. De esta manera se disminuyen las fallas de fabricación bajando a un mínimo los niveles de rechazo.

SOLDADURAS BRAZING

Nos ocuparemos ahora en la tercera y última parte de trabajo, de las soldaduras por método Brazing en Elementos Combustibles.

Anteriormente habíamos mencionado a los 15 separadores y a la placa portante como los elementos que permiten el ensamble de las 36 B.C; pues bien para la fabricación de estas piezas partimos de discos de Zry-4 agujereados, a los que fijaran plaquetas del mismo material cortadas y pegadas, llamadas zapatas de separador, las que luego serán torneadas para que permitan el deslizamiento del E.C en los canales del reactor, siguiendo con el proceso de fabricación y luego de torneados, los discos con zapatas son electroerosionados rectificadas y para terminar electropulidos. De todo este ciclo trataremos el tema de la soldadura de las zapatas en los discos agujereados de separador y también por extensión al ser procesos similares, el tema de la soldadura de la zapata en la placa portante.

La soldadura por brazing como ya sabemos, se caracteriza por lograr la unión entre piezas a través de aporte de materiales que funden a temperaturas inferiores a los del material, del cuál están hechas. En nuestro caso el aporte lo constituyen, pastillas sinterizadas de polvo de aleación zircaloy-berilio al 5%, con formas adecuadas para pegarlas en el contorno de las piezas a unir lograndosé la soldadura a 960°C contra los 1.710°C de temperatura de fusión de las piezas.

Los dos equipos principales, que forman el centro operativo de esta etapa son: el laboratorio de manipuleo de elementos con Berilio y el horno eléctrico de calentamiento por inducción en vacío.

El alto grado de toxicidad del Berilio obliga a adoptar condiciones de seguridad para efectuar los trabajos, son las instalaciones del laboratorio de manipuleo las que cumplen con dichas condiciones, ya que

al estar dotadas de cajas de guantes permiten realizar el pegado de pastillas de aporte sin riesgo de intoxicación del operador. Dentro de estas cajas se realizan los pasos posteriores a dicho pegado, que son: el montaje de los discos de separador en columnas que luego se colocan en el horno para ser soldadas, el desarme de las columnas y la inspección de las piezas soldadas.

Dentro del laboratorio está ubicado el equipo para la fabricación del polvo de zircaloy-berilio y el horno eléctrico para el sinterizado de las pastillas, las que son colocadas en navecillas dentro de tubos de cuarzo conectados a un equipo de vacío, tanto en las cajas de guantes y en toda la habitación existe un sistema de aspiración central que trabaja constantemente y que permite la extracción de partículas que estuviesen suspendidas en el aire, como así también su renovación, ya que estas instalaciones están aisladas del resto. Cabe agregar que las salidas, tanto de la bomba de vacío; del horno de sinterizado, como el sistema de aspiración tienen "Filtros Absolutos" que aseguran la pureza del aire que se envía a la atmósfera.

El horno para soldar tiene un sistema de alto vacío conectado a una cámara o campana de soldadura, la que puede contener unas 80 piezas. Un sistema de dos bombas mecánicas y una difusora aseguran el nivel de vacío adecuado para el trabajo de brazing y las salidas de estas bombas poseen también Filtros Absolutos. El sistema eléctrico de calentamiento está formado básicamente por un generador de alta frecuencia, que a través de un transductor o transformador energiza una bobina o espira que al rodear a la pieza la calienta por fenómeno electro magnético. Todos los sistemas del horno están controlados en un panel de comando de operaciones pudiéndose trabajar opcionalmente en forma automática.

Previo a la soldadura y en el caso del separador las zapatas deben ser posicionadas y fijadas por medio de un punto de soldadura que se realiza en un dispositivo especial, se controlan las posiciones de las zapatas respecto del disco y la profundidad del punto de fijación, la que no debe ser excesiva, ya que luego del torneado no deben verse marcas del punto. Para el caso de la placa portante el punto de fijación no se logra por soldadura de resistencia, sino, que se realiza con método TIG en forma manual, dentro de una cámara especial con atmósfera controlada de gas inerte en la que previamente se hizo vacío y lavado de gases, pudiendo luego puntear las zapatas de placa portante, es un dispositivo de montaje especial.

Luego de punteadas las zapatas, todas las piezas ingresan al laboratorio de manipuleo para pegarles las pastillas de aporte en los bordes de las zonas de contacto; las pastillas se pegan con un elemento adhesivo especial del tipo ester-metacrílico luego de quince minutos de secado se encolumnan las piezas en torres diseñadas para colgar dentro de la campana del horno de brazing, una vez colgadas se posicionan de manera que los concentradores de flujo magnéticos de las espiras estén orientados hacia las zapatas de cada pieza. Luego de cerrar la campana se comienza la secuencia de bombas de vacío, hasta lograr valores de 5×10^{-5} mbar.

Al entrar en funcionamiento el sistema eléctrico del generador de alta frecuencia, (10 KHz) podemos regular la potencia electromagnética que permitirá energizar la espira, para calentar las piezas hasta la temperatura necesaria para que funda el aporte, se calientan así una a una rápidamente en forma localizada, todas las piezas de cada columna para poder retirarlas luego de un tiempo de enfriamiento que se puede disminuir inyectando en la campana gas helio a presión, el que ayudará a disipar el calor. Una vez retiradas las columnas de la campana del horno, se las enfundan en polietileno y se procede al desarme en caja de guantes del laboratorio de manipuleo, para efectuar un control visual de todas las soldaduras; siendo este tipo de control el único que se debe efectuar.