

CONTROL DE CALIDAD POR RADIOGRAFIA, EN SOLDADURAS TIG DE TAPONES EN BARRAS DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA LA CENTRAL NUCLEAR ATUCHA I.

MACIA, Oscar

FRANCIS, Horacio

RUBIO, Nicolás

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

GERENCIA DE DESARROLLO - PROYECTO PLANTA PILOTO FECN-A

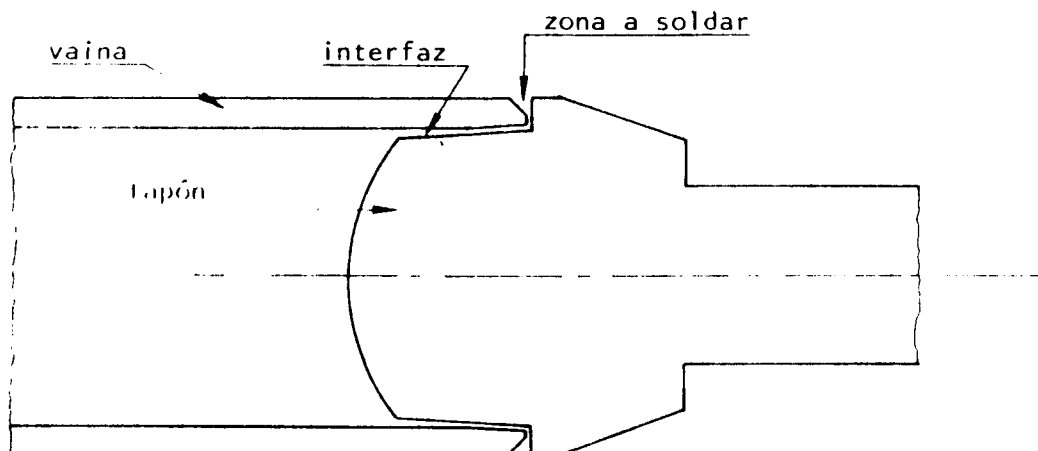
INTRODUCCION: El análisis radiográfico constituye un valioso aporte al Control de Calidad en barras combustibles. Permite un examen eficiente de la zona analizada sin ocasionar disminuciones a la producción. La técnica utilizada en el PPPFECN-A, ha ido puliéndose hasta alcanzar niveles óptimos de calidad. Es importante conocer para la optimización de cualquier proceso, su características, sus variables, parámetros y demás factores indirectos que puedan afectarlo.

BREVE ESQUEMA DE FABRICACION DE LA BARRA COMBUSTIBLE

El tubo de Zircaloy 4 (Zry 4), con 15 coronas de 3 segmentos deslizantes, soldados estos por resistencia, pasa al estado conocido como vaina. A esta vaina se le suelda por proceso TIG un tapón de Zry 4 con un pequeño orificio pasante. Se procede luego al llenado de la columna activa de UO₂ y en el otro extremo se suelda otro tapón de Zry 4 con un vástago externo roscado. Por último se procede al presurizado y sellado de la barra a través del orificio pasante, también por proceso TIG.

BREVE DESCRIPCION DEL PROCESO TIG DE SOLDADURA

La soldadura TIG se realiza sin aporte de material, con atmósfera de HE de alta pureza, con electrodo no consumible de W-TH, y responde a una secuencia de pasos que incluyen posicionado del tapón, eliminación de aire, introducción de atmósfera protectora, y a un programa de variación de intensidad de corriente en función del tiempo, juntamente con el giro del conjunto tapón-vaina. El aporte de material es provisto por el propio tapón a soldar, y en el momento de la soldadura se forma una pileta líquida que luego formará el cordón de soldadura. Puede agregarse que es este un proceso delicado, sujeto a gran número de variables y por tanto susceptible a presentar defectos de diverso tipo y de variado origen.



EL RADIOGRAFIADO EN EL PROCESO PRODUCTIVO

Tras cada proceso de soldadura, se efectúa un análisis radiográfico de la totalidad de las soldaduras, que a la vez habilita a la barra para acceder al paso siguiente de producción.

En la soldadura de tapones de cada barra, se efectúan dos tomas radiográficas defasadas 90° a fin de lograr la confirmación y ubicación del posible defecto.

El resultado del análisis posterior es protocolizado tanto en Control de Calidad, como en la tarjeta acompañante que se confecciona a cada barra, de modo de saber exactamente en el momento que sea, el estado de fabricación y control en que se encuentra.

El proceso de radiografiado se realiza por tandas de 14 barras por toma, pudiendo adaptarse el equipo para tandas de 28 barras por toma. De todos modos, el número de barras a radiografiar no es ilimitado dado que a medida que las barras se alejan de la vertical del haz de irradiación del tubo, aumenta la borrosidad en los extremos. Con condiciones óptimas, las barras de los extremos no acusan mayor disminución de nitidez respecto a las del centro.

ESPECIFICACIONES ACERCA DEL CORDON DE SOLDADURA

El cordón ha de mantenerse libre de discontinuidades, poros o agrupaciones porosas de diámetro superior a 0,3 mm, así como también de contaminaciones de materiales extraños como W y U. El diámetro externo del cordón no debe exceder los 12,2 mm, ni presentar hundimientos. Por otro lado, la penetración de soldadura, es decir la distancia desde la parte superior u hombro del tapón al fin de la zona soldada debe mantenerse por encima de valores especificados que dependen del tapón a soldar; la soldadura de sellado responde a requerimientos similares. El espesor efectivo de pared de vaina ha de ser de 0,51 mm como mínimo.

ALGUNAS REFERENCIAS A LA PRACTICA RADIOGRAFICA

Es conveniente sintetizar algunos conceptos que hacen a la calidad de una radiografía, ellos son:

Densidad: cuantifica el grado de ennegrecimiento en cierta zona de la película. Se expresa como: $D = \log I_o/I_t$ siendo: I_o : intensidad de luz incidente; I_t : intensidad de luz transmitida a través del film.

Contraste: es la intensidad luminosa entre zonas. Se cuantifica como la diferencia de densidades entre dichas zonas.

Definición: es la nitidez de bordes o límite entre zonas de densidad uniforme, pero distintas entre sí.

LA TECNICA RADIOGRAFICA. SUS PARAMETROS Y DISPOSITIVOS

En forma elemental, se basa en la propiedad de los rayos X de atravesar cuerpos sólidos e impresionar placas fotosensibles, que luego se analizan a la luz de las distintas atenuaciones de la radiación, provocadas por los diferentes espesores y densidades del cuerpo analizado. Como se sabe, los principales parámetros a regular en un tubo de rayos X son:

a) corriente de tubo, proporcional a la cantidad de radiación emitida;
 b) diferencia de potencial ánodo-cátodo, responsable de la aceleración a que se someten los electrones provenientes del filamento. Es proporcional al poder de penetración de la radiación y en parte también a su intensidad. c) tiempo de exposición.

Debe elegirse una correcta combinación de estos factores, además de otros que se mencionarán luego para conseguir la mejor calidad de placa compatible con el menor tiempo de exposición. En nuestro caso, se ha optado por el menor tiempo de exposición, con el tubo a su Kv máximo (160 Kv) y la máxima corriente de tubo compatible (19 mA). El tiempo de exposición resultante es de 8 minutos para soldadura de tapones y 6 minutos para soldadura de sellado.

Este tipo de tubo posee además regulación focal, ajustable al tipo "standard", que es el utilizado, de 3 mm x 3 mm, y al tipo "fino", de 0,4 mm x 0,4 mm, que permite una definición mucho mayor, pero a costa de tiempos de exposición incompatibles con el ritmo de producción.

Nuestros ensayos con este tipo focal y película más sensible (y por ende más costosa), muestran una calidad de placas excelente, demandando tiempos de exposición de una hora por toma.

El dispositivo de radiografiado permite además la regulación de un parámetro muy importante, como es la distancia foco-película (DFP). La usada en nuestro caso, es de 700 mm, pero se ensaya actualmente con 500 mm, lo cual si bien trae aparejado un inevitable aumento de la borrosidad geométrica, permite reducir los tiempos de exposición en forma muy sensible, ya que la intensidad de radiación por unidad de área, aumenta al cuadrado respecto a la disminución lineal de la DFP. Por otra parte, dicho aumento de borrosidad geométrica no ha de ser apreciable, ya que la distancia objeto-película (DOP) es baja, del orden del diámetro de barra.

Otro tipo de accesorios, bien conocidos, son las pantallas reforzadoras y las máscaras de compensación. Las barras a radiografiar se disponen horizontalmente, una al lado de la otra, en una máscara de Zry adecuada cuyo espesor es mínimo. Sobre ésta se coloca la película, en un chasis cerrado rígido. Las pantallas reforzadoras son de Pb, y se colocan a uno o ambos lados del film, en el interior del chasis, cumpliendo tanto acción de filtro de radiación difusa, como acción de refuerzo de imagen. Se ensayaron espesores variados, siendo los de mejor rendimiento los de 0,02 mm, a ambos lados de la película.

Para una mejor definición de bordes, se coloca en la máscara que contiene las barras, cilindros de Zry con la forma conveniente (máscaras de compensación), de modo de lograr un espesor constante en la zona superior del tapón, que es cónica.

Por otra parte, es conveniente "circunscribir" en la radiografía la zona a observar con planchas de Pb, pues debe evitarse que la radiación incida directa o casi directamente sobre la película, como ocurre en la zona hueca de la barra más próxima al tapón, e incluso en la zona no soldada vaina-tapón, produciendo un ennegrecimiento de placa en el entorno, con la consecuente pérdida de definición.

LA PELICULA RADIOGRAFICA

Consta de un soporte flexible, recubierto en ambos lados por una emulsión de halogenuros de plata en gelatina. Las radiaciones, en sus diferentes intensidades de llegada, sensibilizan los halogenuros, formando así la "imagen latente", transformada luego en imagen visible en el proceso de revelado. La elección del tipo de película, es decir su sensibilidad a la radiación, tamaño de grano, etc., depende de la relación calidad necesaria-costos. En nuestro caso, la relación óptima la cubre el tipo AGFA-Structurix D4.

EL PROCESADO DEL FILM

Consta, básicamente, de 4 procesos: Revelado: reducción de la plata (color negro) de los halogenuros de plata sensibilizados por la radiación, según: $\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}^0$. Fijado: solubilización de los halogenuros no sensibilizados. Lavado: eliminación de dichos complejos de plata solubilizados. Secado: eliminación uniforme de humedad. El resultado final es una coloración negro intensa en las partes más irradiadas, y transparencia en las partes no irradiadas. En nuestro caso, el proceso es totalmente automático, trabajándose en las siguientes condiciones: Revelado: 2 min. a 30°C; Fijado: 2 min. Lavado (agua filtrada): 2 min.; Secado: 3 min.. En todos los casos, un sistema de rodillos se encarga de la agitación y escurrimiento de la película. Cabe agregar que la reducción de Ag^+ en el revelado también se lleva a cabo, aunque en mucha menor medida, en los haluros no sensibilizados, produciendo un leve ennegrecimiento general conocido como velo de revelado. En nuestro caso, su densidad es del orden de 0,1-0,2.

EL ANALISIS DE PLACA

Se efectúa contra una pantalla luminosa (negatoscopio). Dada la dimensión de la toma, se utiliza una lupa y un pequeño ocular graduado de 7x para las mediciones en placa. Es conveniente circunscribir la zona luminosa con un diafragma regulable o con pantallas más pequeñas, pues el exceso de luz atenta contra la buena visión del observador. Por otra parte, antes de comenzar la evaluación, el observador debe acostumbrar su visión a las condiciones de análisis. Debe verificarse que el film sea aceptable en calidad de imagen, para lo cual existen indicadores muy conocidos (penetrámetros), tanto de plaquetas escalonadas, hilos, etc. En nuestro caso, el papel de indicador (y a la vez de patrón de comparación) lo realiza una plancha de Zry en la cual se han grabado improntas esféricas de diámetro conocido, colocadas en la zona más favorable de la placa (normal al haz de irradiación) y en las zonas más desfavorables (alejadas de la normal). Son representaciones de "poros ideales" de 0,40-0,35-0,30-0,25 mm de diámetro. El primer paso es, pues, determinar cuál es el diámetro mínimo que puede distinguir el analista. La placa debe descartarse si el patrón de 0,30 mm no es visible, pues es el valor máximo para poros. Por otra parte, periódicamente debe controlarse la densidad radiográfica en el cordón y en los patrones. Su valor, para una observación óptima, debe ser aproximadamente 2. Posteriormente se procede al análisis de las 2 tomas de cada soldadura, teniendo en cuenta algunos puntos: las zonas más claras, y por tanto de radiación más atenuada, representan zonas de mayor espesor o eventualmente materiales de mayor densidad, y a la inversa. En nuestro caso, los materiales más densos que pueden contaminar la soldadura (W o U) o interferir en la radiografía (Pb) se presentan como muchos más claros y definidos por lo que puede diferenciarse con claridad entre las zonas de mayor grosor de Zry y los materiales más densos. En caso de defectos observables en una toma, su verificación en la segunda toma girada 90° debe corresponder geométricamente a lo supuesto. Caso contrario, se trata de algo ajeno a la soldadura o de defecto de radiografía. Los poros deben ser visibles en ambas tomas, y además el giro de 90° ha de producir un recorrido sensible de modo de asegurar que se encuentran en la periferia de la barra, o sea en el cordón, y que no sean poros internos del tapón. Esta eventualidad, no obstante, es poco

frecuente. El tamaño del poro ha de compararse con los patrones y medirse en caso de duda con el ocular graduado. Es útil recordar, que lo que se ve es una proyección planar de un defecto espacial, por tanto una apreciación de dimensión no debe pasar por alto esta consideración.

La medición de penetración de soldadura en radiografía, cotejada con la metalografía, es correcta, siempre que la zona no soldada presente una terminación no excesivamente aguda, puesto que las radiografías de vaina-tapón sin soldar dan la apariencia de alguna penetración de soldadura, que en realidad no existe.

En cuanto a las reducciones de espesor de pared, la medición no es confiable en casos dudosos, salvo aquellos notoriamente fuera de especificación.

Las zonas de mayor densidad deben analizarse según su tipo, ubicación, probable origen, grado de afectación al cordón, etc. Todos estos puntos se desarrollan con más detalle en el punto siguiente.

Cabe destacar que el analista debe distinguir con seguridad los defectos de radiografía de los defectos de soldadura, so riesgo de causar bajas innecesarias en la producción. Por último, es fundamental que quién analiza una radiografía, cualquiera sea su tipo, no sea ajeno al proceso de fabricación, su problemática, posibles defectos a encontrar, etc., pues es el mejor modo de hacer del análisis radiográfico un arma útil no solo para la localización de defectos, sino también para sus posibles soluciones.

LOS DEFECTOS MAS USUALES EN LA SOLDADURA

Las diapositivas 1 y 2 son metalografías de unión vaina-tapón previo al soldado y soldadura normal, respectivamente. A continuación se exponen paralelamente radiografías y metalografías de los defectos más comunes a encontrar.

a) Poros: Oclusiones gaseosas, presumiblemente formadas durante la fusión, en la interfaz vaina-tapón. Se observan como puntos más oscuros sobre el fondo claro del Zry. Su evaluación se realiza preferentemente contra los patrones graduados, aunque la medición con ocular se revela como efectiva, a luz de nuestra experiencia. La diapositiva 3 muestra un modo sencillo de ubicación del poro en la probeta, en la cuál se realiza una perforación en T usada como referencia, a partir de dos tomas radiográficas, a fin de elegir un ángulo de corte adecuado para la metalografía. La diapositiva 4 muestra la radiografía, el patrón de comparación y la correspondiente metalografía del poro en el cordón. Como se aprecia, el poro está por encima del valor límite, tanto en comparación con el patrón como en la medición directa.

b) Disminución de espesor de pared: Producido por condiciones deficientes de soldadura. Se observan como un ensanchamiento de la zona no soldada vaina-tapón, afectando la pared de vaina. Su evaluación depende de la experiencia del analista, pues la medición sobre radiografía no es confiable.

La diapositiva 5 muestra 4 probetas con este defecto de las cuáles sólo es reconocible como defectuosa la placa superior, siendo las 3 restantes de dictamen dudoso. Las diapositivas 6,7,8,9 muestran las metalografías de dichas probetas, con las 2 primeras fuera de especificación, la tercera en el límite mínimo, y la cuarta en tolerancia.

c) Zry fundido en la fisura: El Zry fluye de la zona de fusión a la zona no sol

dada, ocupando parcialmente la interfaz vaina-tapón. Producido probablemente por flujo capilar en dicha zona o formación de eutéctico. Se observa como zonas "chorreadas" más claras en la parte inferior del cordón y en zona no soldada. La diapositiva 10 muestra un caso típico.

d) Inclusiones de W: Producidas por contacto directo o por desprendimiento de partes del electrodo. Se observan como manchas más claras de bordes difusos y representación espacial, siempre en la zona periférica del cordón. La diapositiva 11 muestra radiografía y metalografía del defecto, y la diapositiva 12 representa un mapeo de microsonda confirmando la presencia de W en la misma zona.

e) Inclusiones de U: Producidas por restos pulverulentos de UO_2 desprendidos durante la carga de columna activa, que se alojan en la interfase vaina-tapón. Se identifican como zona definida, clara y brillante (sobre todo al ser tomada de plano).

La diapositiva 13 muestra una probeta en la cuál se introdujo gran cantidad de polvo de UO_2 , que fué luego soldada. Puede verse que el U ha mantenido la forma que poseía en la interfaz vaina-tapón sin difundir. Las diapositivas 14 y 15 representan mapeos de microsonda en las zonas de metalografía, confirmando una fuerte presencia de U. La número 15 es especialmente interesante, pues muestra que en la misma zona del cordón hay tanto U como Zr. Posiblemente el Zry fundido haya rodeado los gránulos de UO_2 (P.F. $2.800^{\circ}C$), y quizá este haya sido parcialmente reducido, con la posibilidad de formación de compuesto intermetálico. Un análisis cuantitativo, y de difracción de rayos X, podrá dar mayor información acerca de zona contaminada.

En escala industrial, los casos encontrados son de mucha menor magnitud que el ensayo anterior, como lo muestran las dos radiografías inferiores de la diapositiva 13. El ensayo de microsonda no acusó presencia de U en la parte afectada. En estos casos se opta por golpear suavemente la cabeza del tapón, tratando de hacer que el UO_2 suelto se desprenda, volviendo a radiografiar. La presencia de U en esta segunda instancia, indicaría que este se halla sí formando parte del cordón.

CONCLUSIONES

Con condiciones óptimas de radiografiado, la medición en placa de penetración de soldadura y poros es representativa del estado real. La representación de disminución de espesor de pared no permite una medición confiable, por lo que su evaluación depende de la experiencia y criterio del analista. Las representaciones de chorreado de Zry, inclusiones de W y U son claramente distinguibles para el analista entrenado.

Los autores agradecen la colaboración prestada por: Ing. José L. Frangi (CNEA); Ing. Tulio Palacios (CNEA); Sr. Zalzman (CNEA); Sr. Rey (ENET N° 33 - Fundición Maestranza del Plumerillo); y a todo el personal profesional, técnico y administrativo del PPPFECN-A.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS: - Radiografía industrial y holografía- AGFA-GEVAERT; - Radiografía industrial- Ing. J.N.Baez; - Metalurgia especial: Zr-J. Herengel; - Sold. por res, Tig y Brazing en la fabric. del lote de 200 E.C para la C.N.A I- U. Urruspuru, J. Ferro, G. Marcora, J. Reynoso; - Trabajo en conjunto RBU- CNEA (14-7-80). -