

SOLUCIONES CONTRA PWSCC EN LAS SOLDADURAS BIMETÁLICAS DE LOS COMPONENTES DEL REACTOR

D. SCHLADER - B. MICHAUT - M. KNAPP

Este artículo realiza una breve descripción de la experiencia acumulada por Framatome ANP en el desarrollo y aplicación de medidas de reparación y mitigación de grietas producidas por PWSCC en soldaduras bimetálicas de los componentes del reactor. Se realiza una descripción de las alternativas disponibles hoy en la industria para la solución de este problema tanto en reactores de agua a presión como en los de agua en ebullición. Dichas soluciones han sido aplicadas por Framatome ANP en numerosas ocasiones tanto en Europa como en los Estados Unidos. El artículo relata también como el conocimiento desarrollado en las diferentes regiones de Framatome ANP es compartido entre ellas para proporcionar un servicio mejor adaptado a las necesidades específicas de cada cliente.

This article provides a brief overview of the experience accumulated by Framatome ANP in the development and use of repair and mitigation techniques of the PWSCC in dissimilar welds cracks of reactor components. A brief description of the alternatives available to the industry for the solution of this problem for both PWR and BWR reactor types is also included. These solutions have been implemented many times by Framatome ANP in Europe and the US. The article also describes the way the know-how is shared among the different regions of the company in order to offer customer specific solutions.

INTRODUCCIÓN

Los materiales de aleación basados en níquel cuentan con un amplio campo de aplicación en las partes resistentes a presión tanto de los Reactores de Agua Presurizada, como en los Reactores de Agua en Ebullición. Como material base, proporciona tanto las propiedades deseables del material como la resistencia frente a la corrosión. Como material de soldadura es valorado para las conexiones entre el acero carbono y los materiales resistentes a la corrosión, como son el acero inoxidable y las aleaciones basadas en níquel.

En el pasado, prácticamente todos los tipos de reactores del mundo han utilizado Alloy 600 como material base e Inconel 182/82 como material de soldadura. Estas aleaciones se caracterizan por tener un contenido de níquel de alrededor del 70% y un contenido de cromo de alrededor del 14%. La experiencia operativa a nivel mundial ha mostrado que las aleaciones de esa composición y con esa proporción Ni/Cr son susceptibles a la corrosión por tensión (SCC) bajo ciertas condiciones, dependiendo del proceso de fabricación, de las condiciones de tensión, de la composición química del agua y de los parámetros de funcionamiento.

Después de que las degradaciones causadas por corrosión bajo tensión (PWSCC) llegaron primero a los tubos del generador de vapor, después a la carcasa y soldaduras de los CRDM de la tapa de cierre del recipiente del reactor, finalmente ocurrió también en otras áreas de los componentes NSSS fabricados con estas aleaciones. Si bien hasta la fecha se han substituido muchas tapas de cierre y generadores de vapor como medida de restauración, otras zonas de degradación requieren que se lleven a cabo reparaciones específicas o incluso métodos de substitución para su restauración.

FRAMATOME ANP ha obtenido hasta la fecha una amplia experiencia a nivel mundial en la inspección, reparación y substitución de dichas zonas sensibles en ambos tipos de reactores

PWR y BWR. En cada caso, la aplicación de las tecnologías de restauración se adaptan a las condiciones únicas y específicas de los componentes y de la planta. Por tanto, las soluciones a medida para cada caso de degradación son una de las claves importantes en la restauración adecuada de los componentes defectuosos.

Entre las áreas de preocupación en cuanto a degradación, la integridad estructural de las soldaduras de unión de metales distintos ha recibido un creciente interés. Después de las fisuras descubiertas en VC Summer y en Ringhals 4 en 2000, se confirmó la sensibilidad de dichos lugares. A continuación se presentan los métodos más alentadores de mitigación y reparación para las soldaduras de unión entre aceros distintos, desarrollados y puestos en práctica por FRAMATOME ANP.

APLICACIÓN TÍPICA DE LA ALEACIÓN CON BASE DE NÍQUEL

La soldadura de unión entre aceros distintos se aplica para la conexión de manguitos de Alloy 600 o acero inoxidable a una tobera de acero al carbono. Normalmente, la configuración de la soldadura consiste en una aplicación de un depósito superficial preliminar de Inconel 182, que experimenta un tratamiento térmico final de liberación de tensión, y la soldadura de conexión de Inconel 182 sin tratamiento térmico posterior (ver la Figura 1). Esta funcio-

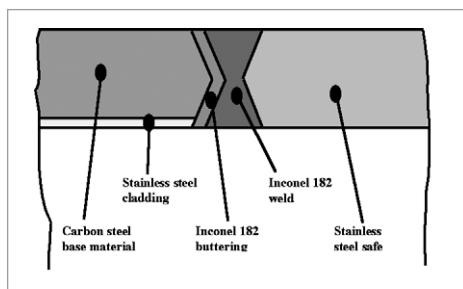


Figura 1. Diseño soldad. unión típica.

nalidad se puede encontrar en casi todos los tipos de reactor de todos los fabricantes del mundo.

Por tanto, las tensiones residuales existentes favorecen la creación de corrosión por tensión. Por lo demás, las tensiones residuales aumentan con frecuencia con las reparaciones de las soldaduras durante la fabricación inicial de los componentes (ver la Figura 2).

ÁREAS TÍPICAS DE LA ALEACIÓN CON BASE DE NÍQUEL

Las zonas de las soldaduras de unión entre aceros distintos de Inconel 182 difieren según los distintos fabricantes y modelos.

En la Figura 3 se muestran partes típicas, ejemplo de una central PWR de cuatro lazos de Westinghouse que también representa el diseño de la mayoría de los fabricantes mundiales fuera de los Estados Unidos.

En una variación del ejemplo mostrado, algunos fabricantes no utilizan materiales de aleación de níquel para las conexiones de la línea de refrigeración del reactor al RPV y SG, ya que la línea de refrigeración del reactor es de acero al carbono. En este caso por lo menos, la barrera de presión de gran diámetro que representa la línea de refrigeración del reactor no se ve comprometida por un fallo del tipo PWSCC. Esta caracte-

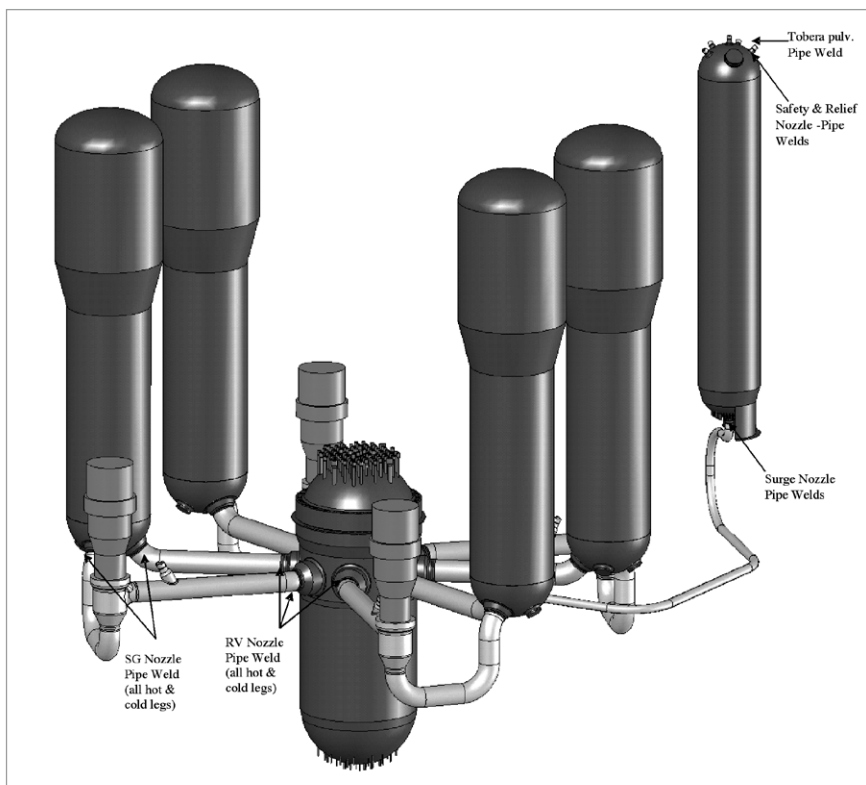


Figura 3. Ubicación sold. unión distintas, ejemplo diseño Westinghouse 4-lazos.

rística se puede encontrar en los modelos de CE, B&W, Siemens y en los modelos rusos VVER. En otros casos, (las unidades de 900 MWe y 1.300 MWe francesas), la aplicación de un depósito superficial preliminar y las soldaduras se realizan en acero inoxidable.

También puede excluirse el riesgo de PWSCC mediante un diseño especial de la soldadura, como se aplica, por ejemplo, en los modelos de Siemens. En este diseño, el diámetro interior de la soldadura de unión Inconel 182 se reviste con acero inoxidable, aislando de esta forma la aleación con base de níquel sensible del refrigerante del reactor (Figura 4).

Soldaduras típicas de unión entre aceros distintos con Inconel 182 en un recipiente de presión de un reactor BWR son las piezas terminales de seguridad para las soldaduras de la tobera de la entrada y salida de la tubería de recirculación, así como del agua de alimentación, de cierre de las líneas de enfriamiento y de enfriamiento de emergencia del núcleo. El diseño típico de soldadura se muestra en la Figura 5.

MÉTODOS DE MITIGACIÓN

Como se reconoce a nivel mundial, la influencia conjunta del refrigerante del reactor y de las tensiones residuales

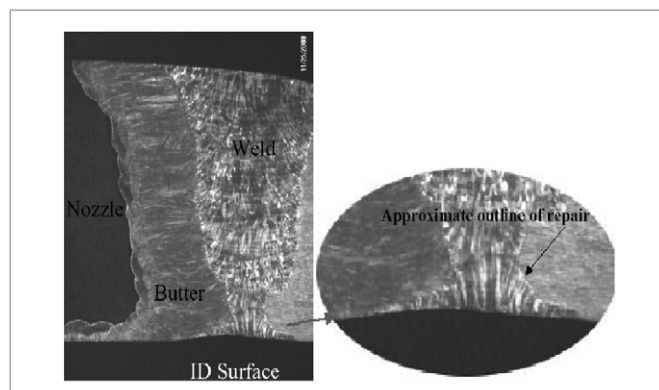


Figura 2. Sección típica soldadura de unión.

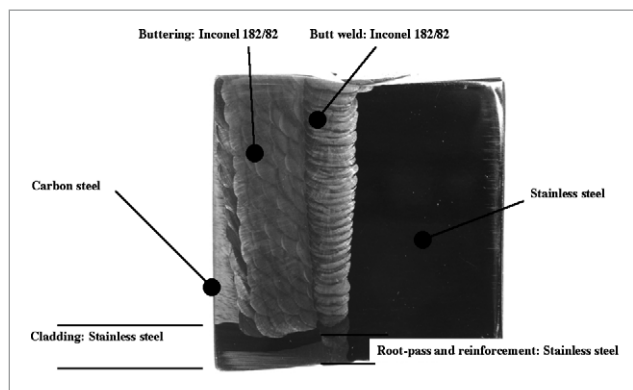


Figura 4. Soldaduras de unión de Inconel 182/82, revestido con acero inoxidable.

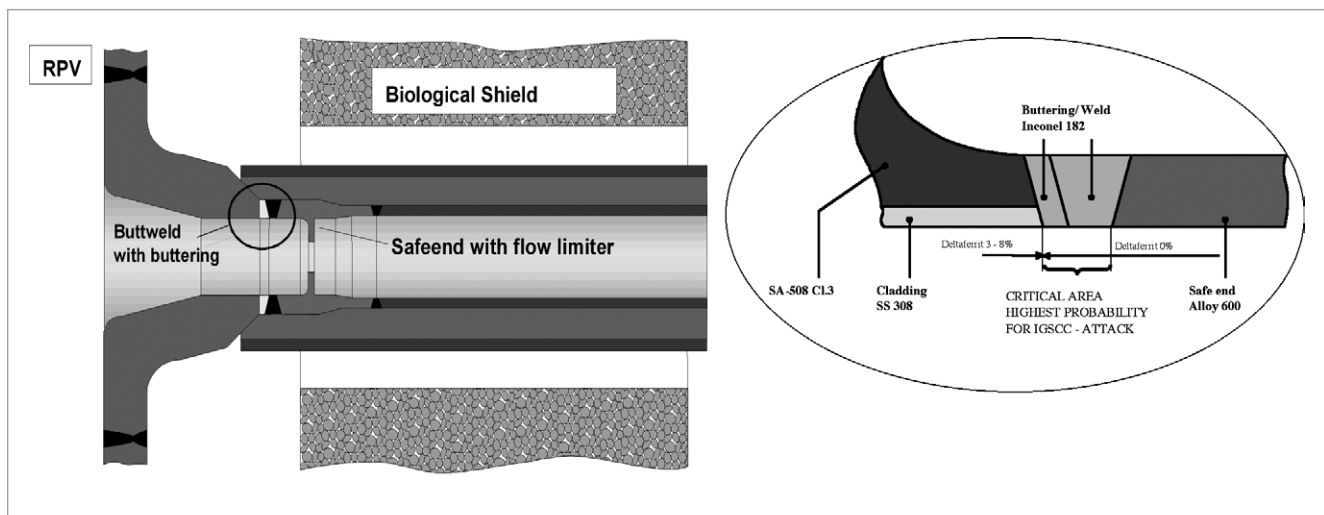


Figura 5. Soldaduras unión aceros distint. típicas de recipiente presión reactor BWR.

provoca que se produzca PWSCC en materiales sensibles de aleación con base de Ni, mientras que la presencia de únicamente una de las dos influencias no es nociva. En consecuencia, la eliminación de una de las dos influencias, eliminaría el riesgo de ocurrencia de PWSCC.

Plaqueado de la superficie interna

El aislamiento de la superficie material sensible del refrigerante del reactor se proporciona mediante un chapado de revestimiento de la superficie interior, que cubre todo el área de Inconel 182 con el material resistente Inconel 52 o un Inconel 82 optimizado (ver la Figura 6). Es obvio que este método, aunque prevenga de forma fiable la ocurrencia de PWSCC, crea un escalón con las suaves transiciones del terreno en la superficie interior, lo que podría llegar a impactar en las Inspecciones en Servicio y formar un estrechamiento (desatendido) de la sección trasversal del tubo. Requiere que la superficie existente esté libre de grietas, lo que tiene que ser verificado por NDE antes de la aplicación de esta medida de mitigación. Para solventar la presencia potencial de grietas, la zona de la superficie interior de Inconel 182 se puede eliminar mediante una fresadora y

entonces volver a soldar la ranura creada con material resistente. Este método de insertos de soldadura se describe con mayor detalle en la sección de métodos de reparación.

Plaqueado de la superficie exterior

La eliminación de las tensiones residuales de la superficie interior se logra mediante un revestimiento exterior por soldadura. Se sueldan varias capas a la cara exterior del área de soldadura que se extiende sobre cualquiera de los lados de la soldadura entre aceros distintos (ver la Figura 7). La contracción de la soldadura crea cargas de compresión en el interior, de forma que incluso las grietas pequeñas, que ya se sabe que existen, pueden seguir existiendo cuando la propagación de las grietas se detiene en el entorno de las tensiones compresivas. El método del revestimiento exterior incluye un pulido final después del soldado, lo que crea una forma superficial que no tiene impacto alguno en ISI.

MÉTODOS DE REPARACIÓN

La selección del método de reparación de soldaduras de unión entre aceros distintos depende de la extensión

del defecto, defecto superficial, defecto profundo o defecto penetrante, siendo éste último causa de fuga.

Insertos de soldadura

Un defecto superficial de una soldadura de unión se puede eliminar únicamente mediante amolado, siempre que el grosor de la pared resultante sea aceptable por los análisis. En la mayoría de los casos se aplica el método de reparación mediante insertos de soldadura, en la que la superficie defectuosa se elimina mediante fresado y la forma de la superficie original se restaura volviendo a soldar con una aleación con base de níquel de mayor resistencia. En estos casos es común utilizar Inconel 52 o un Inconel 82 optimizado para este objetivo. Las operaciones de reparación se ejecutan mediante la utilización de fresadoras y máquinas de soldadura instaladas en el interior de las tuberías

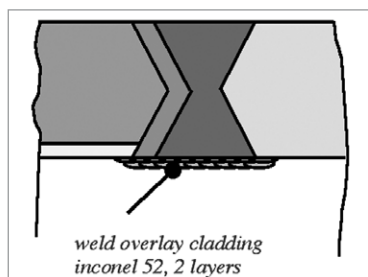


Figura 6. Chapado revestim. ID.

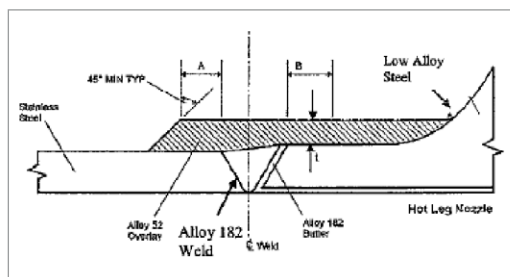


Figura 7. Chapado revest. OD.

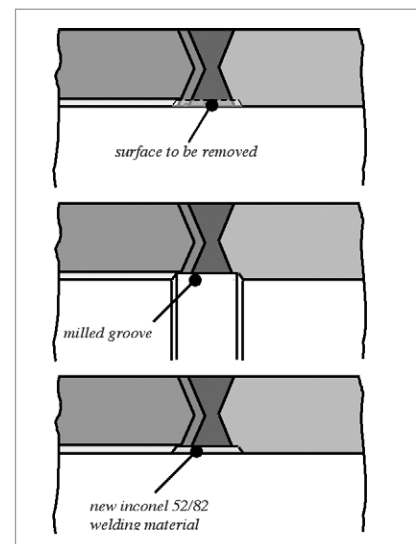


Figura 8. Secuencia reparación insertos soldadura.



Figura 9. Inserción de un Manipulador en Tubería para reparación inserto de soldadura BWR.



Figura 10. Operación de fresado de ID:

y operadas de forma remota, con frecuencia con la utilización de "topos". La soldadura se lleva a cabo con el proceso TIG automático (*Gas Tungsten Arc Welding*, GTAW), un proceso en el que FRAMATOME ANP tiene una extensa experiencia. No es necesario el acceso al exterior de la tobera. Reparaciones mediante insertos de soldadura se han utilizado con éxito en recipientes de presión de reactores tanto PWR como BWR.

La inserción de un manipulador o "topo" dentro de la tubería de proceso de una central de energía nuclear BWR se muestra en la Figura 9. Desde aquí el manipulador se mueve a la zona de reparación de la tobera de la vasija del reactor. La operación de fresado se muestra en la Figura 10.

Para aplicarla en las toberas de las ramas frías y calientes de la vasija de una central nuclear PWR, el manipulador se puede insertar desde paso de hombre del generador de vapor (rama caliente) o desde la bomba principal (para la rama fría). También se puede

insertar desde el lado de la vasija. En este caso, debe instalarse una plataforma de trabajo suspendida en el RPV proporcionándose de esta forma el acceso a las toberas. La plataforma se apoya en el reborde del RPV y se extiende hacia abajo hasta por debajo del nivel de la tobera, mientras que el nivel de agua se rebaja por debajo de la plataforma. Está diseñada para proporcionar protección contra la radiación las paredes de la vasija y la superficie del agua y conforma el cierre temporal del RPV. Como consecuencia de los crecientes requisitos de seguridad en el trabajo y consideraciones ALARA que ha tenido FRAMATOME ANP, la instalación, ajuste y operación de las herramientas se realiza mediante control remoto, limitando al mínimo la permanencia del personal sobre la plataforma. Antes del inicio de cualquier trabajo en la tobera, la superficie de ID de la tobera se descontamina con un manipulador controlado de forma remota. Las Figuras 11 y 12 muestran la plataforma de trabajo instalada en el

RPV con el manipulador de descontaminación en funcionamiento. Por el mismo trayecto se introduce el manipulador de dentro de la tubería equipado con los distintos cabezales de herramienta.

Substitución de carrete

Un defecto penetrante tiene que ser reparado quitando todo el material de soldadura existente y una parte de la tubería adyacente o del manguito correspondiente. En este sentido debe resaltarse que en todos los casos experimentados la fuga de un defecto penetrante no se detectó durante el funcionamiento de la central, ni mediante la instrumentación por radiación ni por defecto alguno en el funcionamiento de la central. Una inspección visual durante la parada reveló depósitos de ácido bórico, indicando la existencia de un escape.

Esta nueva técnica consiste en la aplicación de un depósito superficial de Inconel 52 en la tobera de acero al carbono, lo que se puede ejecutar me-

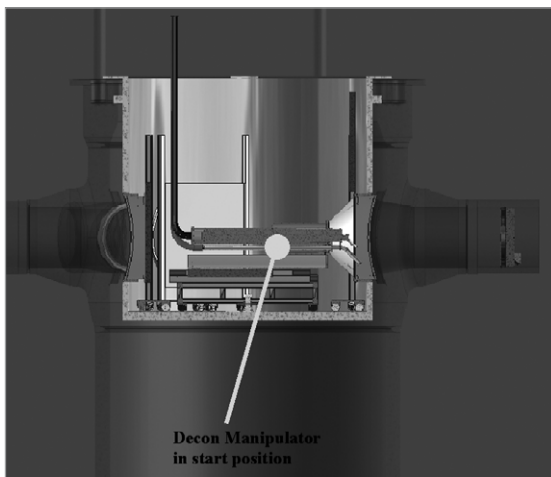


Figura 11. Plataf. trabajo instalada en RPV.

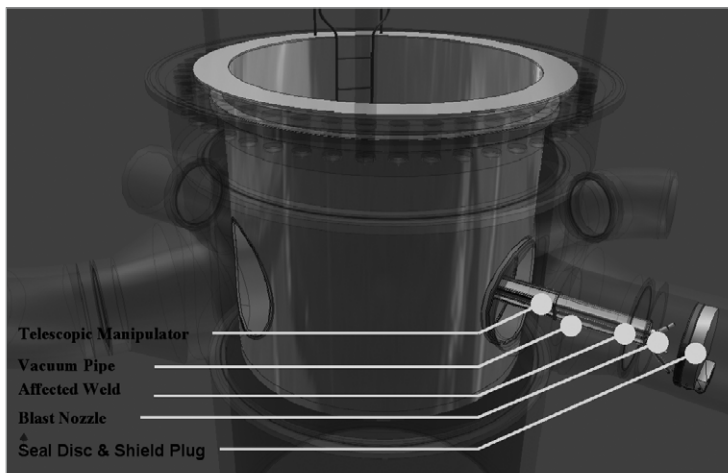


Figura 12. Plataforma trabajo y manipulador descontaminación.

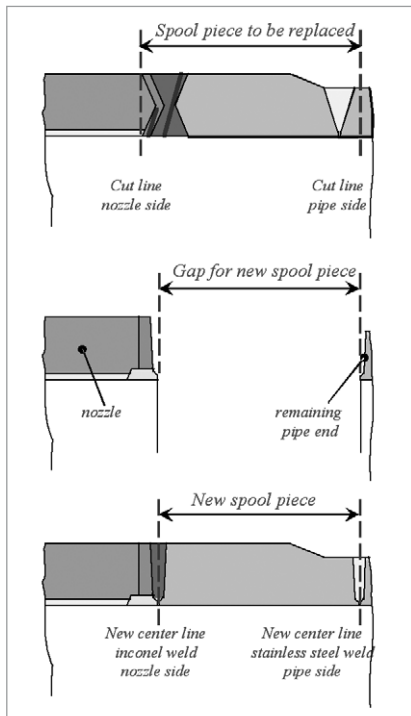


Figura 13. Secuencia típica sustitución piezas bobinas.

diente la técnica de soldadura del “bead temper” sin tratamiento térmico posterior a la soldadura o, mediante la justificación de temperatura y de distribución de la tensión mediante análisis, con tratamiento térmico posterior de liberación de tensión. A continuación se suelda un nuevo carrete al “buttering”. FRAMATOME ANP ha probado y cualificado varias alternativas de diseño para las nuevas soldaduras de unión entre aceros distintos: pasada de raíz y capas de relleno con Inconel 52, o pasada de raíz con Inconel 52 y capas de relleno con Inconel 82, o pasada de raíz con acero inoxidable y capas de relleno con Inconel 82. La elección del diseño

de soldadura debe tener en cuenta el requerimiento de la resistencia SCC en las superficies con contacto con el refrigerante y una buena soldadura fiable de las capas de relleno. Hasta ahora, la mejor resistencia frente a la SCC la ofrece el acero inoxidable, y la soldadura de Inconel 82 es mejor que la de Inconel 52.

Este método de “sustitución de piezas” se muestra en la Figura 13. Las principales operaciones de reparación, fresado y soldado, se realizan desde el exterior de la tobera. Para la operación de soldadura, se aplica una técnica de soldeo por TIG de pequeña separación utilizando equipos de soldadura controlados por control remoto. Las operaciones de soldadura del “buttering” y de soldadura de pequeña separación se muestran en las Figuras 14, 15 y 16.

CONCLUSIÓN

La selección de una técnica de reparación para una zona determinada dependerá de varios factores entre los que se incluyen la existencia de algún defecto, la profundidad de los defectos, la configuración de la soldadura/tubería, accesibilidad y nivel de dosis de radiación en el área. Para llevar a cabo con éxito las reparaciones, el fabricante y el propietario de la central deben tener claramente definidos el ámbito de trabajo, disponer de información detallada sobre la zona concreta y establecer una buena relación de equipo.

FRAMATOME ANP es un socio importante para ayudar a las empresas eléctricas a enfrentarse a los problemas de PWSCC de los componentes de los reactores, incluyendo el diseño y la ingeniería, así como la preparación del trabajo, la gestión, la inspección y todas las operaciones de corrección que sean necesarias en la instalación.



Dan SCHLADER



Bernard MICHAUT



Manfred KNAPP

Framatome ANP, una empresa de AREVA y SIEMENS



Figura 14. Soldadura nuevo depósito.



Figura 15. Costura pequeña separación.

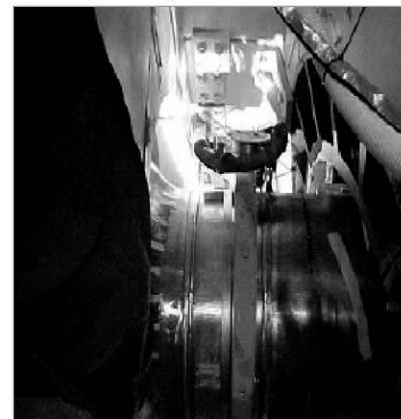


Figura 16. Proceso soldadura pequeña separación.