

# Estudio Metalográfico de Soldaduras de Reconstitución en Insertos de 1 cm<sup>3</sup>

Romero Carranza Jesús, García Ruiz Ricardo, Fernández Torres Filiberto, Pérez Reyes Norberto, Rocamontes Alarcón Miguel.

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), Km. 36.5 Carretera México-Toluca

## Resumen

En este artículo, se describe el estudio metalográfico de las soldaduras realizadas en probetas Charpy reconstituidas con muesca en "V", utilizadas en el programa de vigilancia de la vasija en nucleoelectricas. Se utilizan insertos de 1 cm<sup>3</sup>, donde normalmente los insertos son rectangulares de mínimo 18 milímetros de longitud. La importancia de utilizar insertos de 1 cm<sup>3</sup> es que se pueden medir las propiedades mecánicas en otra dirección del acero de vasija, al cambiar la dirección o sentido de la muesca en "V" o la cara donde esta muesca se hace en el inserto.

## Introducción

Las probetas Charpy testigos con muesca en "V" que se encuentran en los reactores de nucleoelectricas están sometidas a un flujo neutrónico similar o mayor al de la vasija, se utilizan para vigilar el estado mecánico y el grado de fragilización de la vasija en su vida de diseño. Al ensayar estas probetas en impacto, se obtienen dos mitades, de éstas, se obtienen insertos rectangulares de al menos 18 milímetros de longitud, donde la parte deformada por el ensayo ha sido retirada, por lo tanto el inserto es; el volumen útil y representativo del material recuperado de las probetas testigos. A estos insertos se les sueldan dos implantes (extensiones metálicas cilíndricas) en los extremos y al maquinarlos se obtienen dos probetas Charpy reconstituidas, estas probetas se reintroducen en el reactor, tanto para el programa de vigilancia como para una potencial extensión de vida de la planta. En el ININ se ha desarrollado, calificado y utilizado en producción, un sistema de soldadura para la reconstitución de probetas Charpy <sup>[1,2]</sup>, estas probetas son parte de programas de vigilancia de vasijas en nucleoelectricas.

Como ya se mencionó la importancia de utilizar insertos de 1 cm<sup>3</sup>, es que se pueden medir las propiedades mecánicas en otra dirección del acero de vasija, al cambiar la

dirección de la muesca en "V" o la cara donde esta muesca se hace en el inserto. En este análisis metalográfico de las soldaduras de reconstitución en insertos de 1 cm<sup>3</sup>, se observa su macro y microestructura, se mide la Zona Afectada por el Calor (ZAC) y zona soldada. Se hace la comparación de soldaduras, usando diferente protusión, que es lo que sobresale el inserto de un cerámico plano circular que se utiliza al soldar. También se hace el perfil de microdurezas a través de las diferentes zonas.

## Metodología

La metodología consiste en realizar las soldaduras de reconstitución, en un inserto de 1 cm<sup>3</sup>. Tanto el inserto como los implantes soldados a éste son de acero JRQ<sup>[3]</sup>, acero de vasija clasificado como: ASTM A533 grado B Clase 1, donado por el OIEA. Se utiliza el sistema de soldadura desarrollado para los insertos de 18 milímetros, pero con cambios en las mordazas y otros dispositivos que se modificaron para poder soldar los insertos de 1 cm<sup>3</sup>. El procedimiento, las instrucciones y la preparación de la probeta son los mismos, y de los parámetros empleados en la especificación sólo varía la protusión.

El objetivo principal al realizar las soldaduras de reconstitución en insertos de

18 milímetros es, NO alterar las propiedades del inserto en al menos un  $\text{cm}^3$ . En el caso que nos ocupa los insertos son de un  $\text{cm}^3$  y nuestro propósito es obtener dimensiones de la zona soldada y ZAC lo más reducidas posibles, y determinar las condiciones para lograrlo. Con lo anterior se obtiene el mayor volumen útil.

Dado que se sueldan dos implantes al inserto, en el primer implante se usa una protusión de 1 mm. y en el segundo implante de 0.4 mm.

En la figura 1, se muestra la protusión de 0.4 mm, como se observa a través de un estereomicroscopio.



Fig. 1. Protusión de 0.4 mm

Se realizaron las soldaduras de reconstitución con las protusiones especificadas y el primer paso para realizar el estudio metalográfico fue, el corte de los implantes, posteriormente el rectificado del material para obtener una probeta de caras rectangulares, para esto se usó una rectificadora de piedra marca KENT con refrigerante y baja velocidad, para garantizar no modificar la estructura de la probeta. En la figura 2 se observa la probeta obtenida después del rectificado.

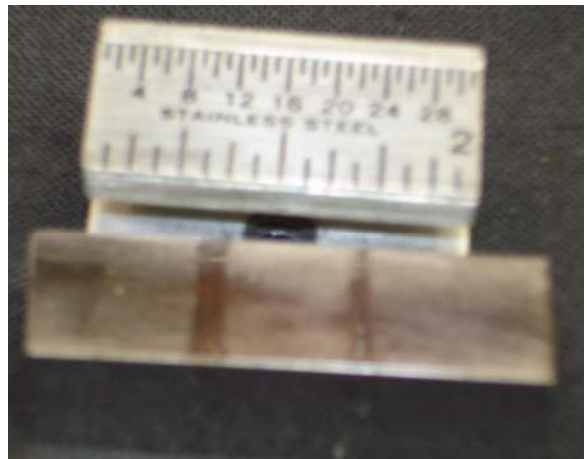


Fig. 2. Probeta rectificada

Después, utilizando el equipo Buehler Isomet, de disco de diamante y a baja velocidad, se realizó el corte sobre la diagonal de la cara cuadrada del inserto, que es la zona más crítica de la soldadura, dado que en ocasiones una pequeña área de las esquinas del inserto no alcanzan a soldarse. El que una pequeña parte de las esquinas no esté soldada es aceptable, dado que no afecta en el ensayo de la probeta reconstituida, lo anterior es porque en el ensayo de impacto, por el diseño del péndulo y la muesca en "V" de la probeta, concentra la energía de impacto en la zona de la muesca y el estado de concentración de esfuerzos en la probeta, deforma la probeta en un área no mayor de  $1\text{cm}^3$  y propaga la grieta formada en la punta de la muesca, prácticamente de forma elástica lineal hasta la fractura de la probeta.

De las dos partes de probeta obtenidas en el corte, una mitad se monta en lucita y la otra no, lo anterior para que la mitad no montada sea macroatacada y la probeta montada sea para microataque. Se realizó el desbaste y pulido de las probetas, hasta obtener un acabado espejo.

Al observar la probeta sin ataque químico, en la soldadura se puede observar la distribución de inclusiones que son óxidos, por su forma redondeada.

Los óxidos se distribuyen como se muestra en la figura 3.

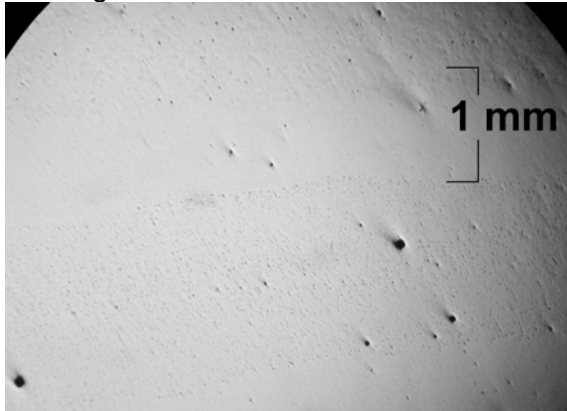


Fig. 3. Distribución de óxidos en protusión de 1 mm

En la figura 3, se observa en la parte central una banda, que corresponde a la zona soldada, un espacio de cada lado de la banda, que se observa limpia de óxidos, que es la ZAC y lo demás es Metal Base.

El tamaño de los óxidos es mayor en el Metal Base y en la zona soldada se tiene una refinación de óxido que son de menor tamaño. En la ZAC se tiene una "limpieza" de óxidos que disminuyeron en esta zona. Para observar lo anterior, se requiere que las fotomicrografías sean a mayores aumentos, como se muestran en las figuras 4 y 5.

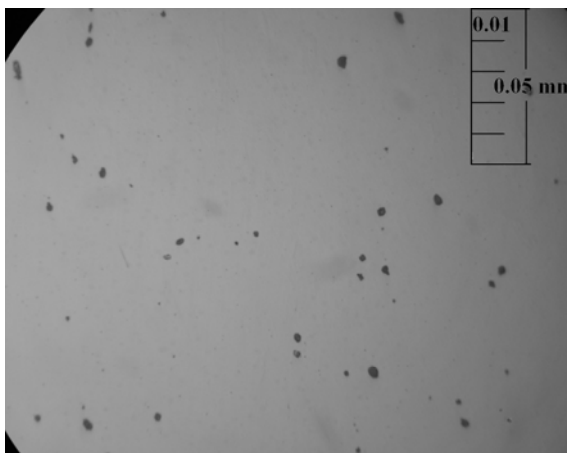


Fig. 4. Fotomicrografía de óxidos en la Zona Soldada.

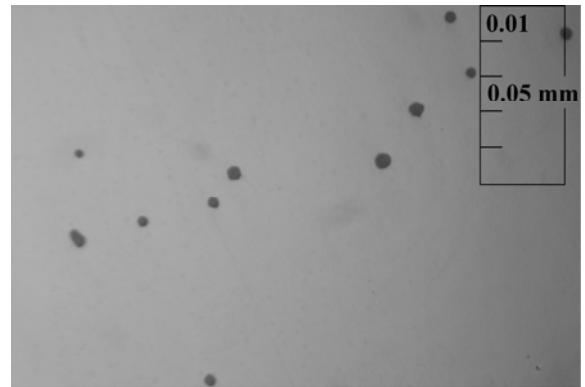


Fig. 5. Fotografía de óxidos en el Metal Base.

En las figuras 4 y 5 se observa que en la Zona soldada se tienen óxidos con un tamaño promedio de 0.0025 mm, en cambio en el Metal base, se tiene un promedio de 0.005 mm.

Se realizó el macroataque de la probeta por inmersión en HCl por 10 minutos, y se observa la macroestructura que muestra en la zona soldada granos columnares creciendo de la ZAC hacia el centro. Para una protusión de 1 mm se obtuvo la figura 6.



Fig. 6. – Fotografía de Macroataque en protusión de 1 mm.

La ZAC es de la misma dimensión 0.6 mm en promedio tanto en el Implante como en el Inserto. La zona soldada tiene un promedio en la parte central de 0.9 mm.

Para una protusión de 0.4 mm, se obtuvo la figura 7. La ZAC es de la misma dimensión 0.4 mm en promedio, y hasta 0.6 mm, en el área de los extremos. La zona soldada tiene un promedio en la parte central de 0.1 mm y hasta 0.7 mm, en el área de los extremos del inserto.

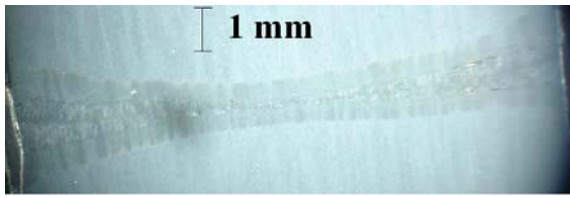


Fig. 7. – Fotografía de Macroataque en protusión de 0.4 mm.

El microataque se realizó con Nital al 2%, con HCl y ataque térmico a 370 °C por 4 minutos. El Ataque térmico se realizó de acuerdo a la Norma ASTM, “Standard Methods of preparation of metallographic specimens”.<sup>[4]</sup> Lo anterior es debido a que con Nital se observa bien la microestructura, pero no se define el límite de grano. La microestructura del metal base es de perlita acicular (en forma de agujas) y ferrita. En la figura 8 a) se muestra la microestructura revelada con Nital al 2% y en la figura 8 b) la misma microestructura revelada con HCl, donde se define el límite de grano.

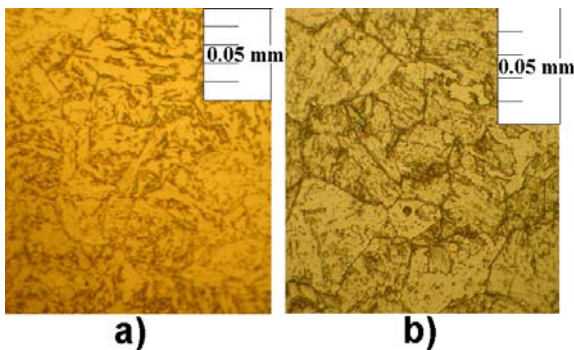


Fig. 8. Fotomicrografías de Metal Base  
a) atacada con Nital al 2%, b) atacada con HCl.

La microestructura de la soldadura consiste de dendritas columnares, en la figura 9 se muestra esta microestructura donde en a) el ataque se realizó con nital y en b) con ácido clorhídrico.

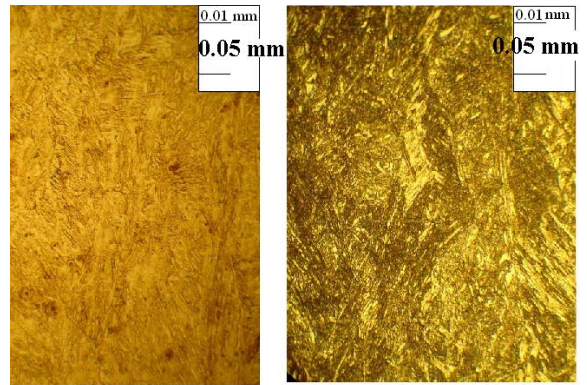


Fig. 9. Fotomicrografías de soldadura  
a) atacada con Nital al 2%, b) atacada con HCl.

La microestructura en la Zona Afectada por el Calor (figura10) es la mas difícil de definir, al ataque con Nital y HCl, se observó una microestructura fina en forma redondeada, pero no se define el límite de grano, sólo con el ataque térmico por oxidación se define el límite de grano y en algunas zonas, lo anterior es debido a que como se observa en la figura 7, la ZAC tiene bandeamiento que refleja, que el calor se extrae de forma diferente y la estructura aunque parece homogénea, no lo es, el ataque térmico define el grano en las zonas claras de la probeta, pero requiere otra temperatura y tiempo para definir el grano en la zona oscura.

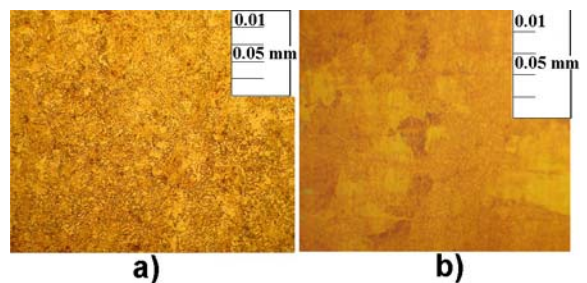


Fig. 10. Fotomicrografías de la ZAC  
a) atacada con Nital al 2%, b) atacada con HCl.

En la figura 10 a) se observa la microestructura de la ZAC atacada con Nital, que es perlita fina con ferrita, donde

parece que se tienen pequeños granos, de forma redondeada, pero en realidad el límite de grano no se define con este reactivo. En la figura 10 b) se observa la microestructura de la ZAC revelada con tratamiento térmico de oxidación con horno a 370 °C por 4 minutos, que es perlita fina con ferrita, donde el límite de grano ya está definido.

El equipo de microdureza utilizado es el microdurómetro SHIMADZU, modelo M, con indentación VICKERS y carga de 50 gramos con un tiempo de 15 segundos.

En la soldadura, se midió la microdureza en una línea, empezando con metal base (MB), pasando por la Zona Afectada por el Calor (ZAC), soldadura (S) y por último a través de MB. Se repite para la siguiente soldadura.

Graficando el perfil de dureza, se observa un aumento de la dureza en la soldadura y prácticamente la ZAC y MB permanecen sin cambios como se muestra en la figura 11.

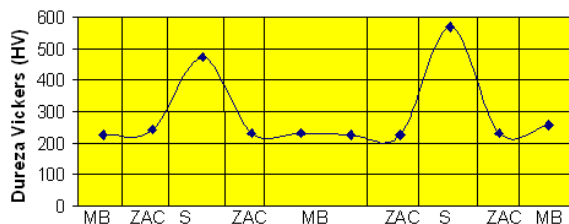


Fig. 11. Perfil de microdurezas de las diferentes zonas.

### Resultados y Discusión

La modificación mecánica al sistema y el cambio de protusión permite reconstituir probetas de 1 cm<sup>3</sup>, el volumen no alterado sería de 0.8 cm<sup>3</sup> y se usaría en probetas que tienen un alto grado de fragilización, en donde el área deformada en los ensayos de impacto ha disminuido considerablemente, dado que la grieta, tiende a propagarse de forma elástica lineal. La protusión que se usara en producción será de 0.7 mm que es la media de 1 y 0.4 mm.

### Conclusiones

La metalografía en probetas reconstituidas demuestra que obtenemos soldaduras de reconstitución de 1 cm<sup>3</sup>, con Zona Afectada por el Calor y Zona Soldada de mínimas dimensiones, sin porosidad, ni inclusiones, además no presenta oxidación. La reconstitución de probetas de 1 cm<sup>3</sup> permite evaluar la fragilización en otra dirección de la probeta testigo original.

### Agradecimientos

Se agradece la participación, al personal del ININ de los Departamentos de Automatización e Instrumentación, Talleres Generales. Especialmente a los Técnicos de Proceso: Flavio Maya Martínez, Lorenzo Torres Salinas y Roberto Carlos González Díaz.

### Referencias.

1. Romero Carranza J, 2007, "Reconstitution Process by Stud Welding for the Surveillance Program in Mexico", Journal of Testing and Evaluation, ASTM, Institute American of Physics Vol. 35, No. 5, Págs. 1-8
2. Romero Carranza J, 2007, Desarrollo del Sistema de Reconstitución de probetas Charpy para la Vigilancia de Vasijas en Nucleoeléctricas, International Joint Meeting Cancun 2007 Contribution of Nuclear Energy to the Sustainable, Development of Latin-American, Volume, 384-396
3. IAEA-TECDOC-1230, 2001, "Reference manual on the IAEA JRQ correlation monitor steel for irradiation damage studies", Vienna, Austria ISSN 1011-4289 Nuclear Power Engineering Section
4. Norma ASTM Standard Methods of PREPARATION OF METALLOGRAPHIC SPECIMENS pag. 55