

PROGRAMA INTERNACIONAL DE ENSAYOS INTERLABORATORIOS
DE TENACIDAD A LA FRACTURA DE MATERIALES
PARA TUBOS DE PRESION

POR

M.P. VILLAGARCIA y M.F. LIENDO

Comisión de Energía Atómica
República Argentina

Trabajo a ser presentado en las 17. Jornadas metalúrgicas de la Sociedad Argentina de Metales; 2. Encuentro argentino de cerámicos y refractarios el 13-16 de April de 1993 San Carlos de Bariloche -Argentina-

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA	NUMERO DE SERIE 0087/93
TRAMITE DE PUBLICACIONES	
TITULO Y SUBTITULOS Programa Internacional de ensayos inter-laboratorios de tenacidad a la fractura de materiales para tubos de presión	FECHA DE ENVIO ORGANISMO PROMOTOR
AUTORES M.P. Villagarcía y M.F. Liendo	FECHA DE RECEPCION COMISION DE PUBLICACIONES
ORGANISMO PROMOTOR Y DEPENDENCIAS Gerencia de Desarrollo-CNEA	TIPO DE PUBLICACION <i>Deposito en la Sociedad Arg. de Metal. Publicación Anual</i> NUMERO DE EJEMPLARES
DIRECCION POSTAL Y TELEFONO Avda Libertador 8250 1429- Buenos Aires- ARGENTINA 755-0785 Int. 242/243	AREAS RELACIONADAS INIS

PALABRAS CLAVE INIS: Fracture toughness, zirconium alloys, pressure tubes, round robin tests, potential drop techniques.

RESUMEN La determinación de la tenacidad a la fractura es parte de un programa de vigilancia de tubos de presión de reactores tipo CANDU mediante el uso de probetas de fractura y procedimientos especiales. Atomic Energy of Canada Limited decidió realizar un "ROUND ROBIN TEST INTERNATIONAL" en el que participaron 9 laboratorios alrededor del mundo y se seleccionaron varios materiales de tubos de presión: Zry-2, Zr-2,5%Nb deformado en frío y Zr-2,5%Nb tratado térmicamente. Las pequeñas probetas mantenían el espesor y la curvatura del tubo. Las curvas J-R a temperatura ambiente fueron obtenidas y los valores de extensión de fisura determinados por técnicas de caída de potencial eléctrico. Estos valores fueron comparados con resultados generados por otros laboratorios y se halló una gran dispersión. Esta pudo ser debida a pequeñas variaciones en el método de ensayo o inhomogeneidad de los materiales y un estudio estadístico debe ser realizado para observar si existe alguna correlación. El próximo paso del Round Robin Test sería efectuar algunas modificaciones en el método de ensayo a fin de reducir la dispersión.

INFORME DEL ORGANISMO PROMOTOR 1.- ASPECTOS CIENTIFICOS	- hacer portada - sacar fotocopie	DICTAMEN COMISION PUBLICACIONES CALIFICACION <i>Aprobado</i>
2.1 IMPLICANCIAS TECNOLOGICAS	X	
2.2 IMPLICANCIAS COMERCIALES		CLASIFICACION NO RESTRINGIDA
2.3 IMPLICANCIAS LEGALES		FECHA 18-3-93
2.4 IMPLICANCIAS DE IMAGEN INSTITUCIONAL		
FIRMA DEL RESPONSABLE DEL ORGANISMO <i>E. Cabot</i> Dr ALBERTO ROCHETTINO a/c Gerencia de Desarrollo		TRAMITE: A LA GAPCyC-DPTO. INF. TEC. ☐ AL ORGANISMO PROMOTOR ☒

Fracture Toughness Round Robin Test International
in Pressure Tube Materials

M.P.Villagarcia and M.F.Liendo, Gerencia de Desarrollo, Comision Nacional de Energia Atomica, Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

Part of the pressure tubes surveillance program of CANDU type reactors is to determine the fracture toughness using a special fracture specimen and test procedure. Atomic Energy of Canada Limited decided to hold a Round Robin Test International and 9 laboratories participated worldwide in which several pressure tube materials were selected: Zircaloy-2, Zr-2.5%Nb cold worked and Zr-2.5%Nb heat treated. The small specimens used held back the thickness and curvature of the tube. J-R curves at room temperature were obtained and the crack extension values were determined by electrical potential drop techniques. These values were compared with results generated from other laboratories and a big scatter was founded. It could be due to slight variations in the test method or inhomogeneity of the materials and a statistic study must be done to see if there is any pattern. The next step for the Round Robin Test would be to make some modifications in the test method in order to reduce the scatter.

PROGRAMA INTERNACIONAL DE ENSAYOS INTERLABORATORIOS DE TENACIDAD A LA FRACTURA DE MATERIALES PARA TUBOS DE PRESION

M.F.Liendo* y M.P.Villagarcía**

I. INTRODUCCION

Debida a la falla catastrófica del tubo de presión G16 del Reactor CANDU* Pickering Nº2 (Canada), en agosto de 1983, han sido extraídos tubos regularmente de los reactores en operación, con propósitos de vigilancia. Parte de esta vigilancia consiste en determinar las propiedades fractomecánicas a diferentes temperaturas y posiciones, para evaluar la longitud de fisura crítica pasante. Esta determinación consiste en la realización de ensayos de explosión de secciones del tubo de presión, lo cual requiere una cantidad considerable de material, además de una compleja instrumentación. Para salvar este inconveniente se ha desarrollado una probeta fractomecánica y una propuesta de norma [1]. Estas probetas son de pequeñas dimensiones y poseen la ventaja de requerir poco material, además de poder ser ensayadas en laboratorio permitiendo la simulación de las variables que afectan al comportamiento de un tubo de presión, tales como temperatura, concentración de H_2 y fluencia neutrónica. Con la perspectiva de que esta metodología sea normalizada, AECL organizó un Programa Internacional de Ensayos con la participación de laboratorios de Canada, Inglaterra, Japón y Argentina. En este trabajo se describe la metodología experimental utilizada, como así también una comparación entre los resultados obtenidos y la de los otros laboratorios.

II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Se realizaron ensayos en probetas de tres secciones de tubos de presión de Zircaloy-2, Zr-2,5% Nb tratado termicamente y Zr-2,5% Nb trabajado en frío, siendo el espesor nominal (B); 5,1, 4,2 y 4,5 mm respectivamente. Las probetas, fueron de tensión compacta, con un ancho (W) igual a 17 mm, Figura 1 y en donde se mantuvo la curvatura y el espesor del tubo original. La máquina de ensayos utilizada fue del tipo MTS servohidráulica, registrándose valores de carga y desplazamiento de la línea de carga. Para monitorear el crecimiento estable de fisura durante el ensayo se utilizó la técnica de caída de potencial eléctrico (CPE) que consiste en medir la variación de la resistencia eléctrica de la probeta a medida que una fisura se propaga [2]. Esta medida de CPE se correlaciona linealmente con la longitud de fisura para relaciones de a/w entre 0,5 y 0,7. La fuente usada fue de corriente continua de 5 amperios y para la obtención de la señal de CPE del orden de décimas de microvoltios, se utilizaron alambres de Zr de 0,2 mm de diámetro. El uso de estos alambres del mismo material de las probetas, fue de fundamental importancia ya que se evitó la generación de fuerzas electromotrices que hubieran dado lecturas erróneas. Estos alambres fueron soldados con soldadura de punto, a ambos lados de la boca de la fisura, como lo muestra la Figura 1. Para evitar el cortocircuito entre las mordazas y la probeta, los pernos de Zr-2,5% Nb que transmiten la carga se oxidaron, previo a cada ensayo.

* CNEA, Gerencia de Desarrollo, Av. Libertador 8250, (1429) Cap.

**Becaria, CNEA.

Las prefisuras por fatiga fueron realizadas mediante la norma establecida por AECL, sección 8[1] y a pesar que la teoría no preveía una influencia sensible en el estado de tensiones en la punta de la fisura debido a la curvatura, el frente de fisura presentó una marcada diferencia entre las superficies correspondientes a los radios interior y exterior del tubo de presión. Este problema se solucionó mediante el uso de pernos ligeramentes cónicos ($\approx 1^\circ$), método utilizado por cuatro de los laboratorios. Los ensayos de fractura fueron realizados a temperatura ambiente, bajo régimen de velocidad de desplazamiento constante, siendo su valor igual a 0,25 mm/min. El desplazamiento del punto de aplicación de la carga (δ) se registró mediante un transformador diferencial variable lineal (TDVL) corregido por la compliancia de la máquina y el tren de cargas. Estas señales de δ , de carga y de CPE, se digitalizaron y registraron con un sistema de adquisición de datos de 12 bits de resolución, a una frecuencia de 1 dato cada 3 segundos. Estas señales se analizaron posteriormente, para generar la curva de resistencia del material (curva J-R).

Durante la propagación estable de fisura en las probetas de Zr-2,5% Nb, se registraron caídas pequeñas y abruptas de la carga (pop-in), lo que demostró su presencia en estos materiales.

En las probetas ensayadas se observaron dos regiones de fractura; la primera fue la zona producida por prefisura por fatiga (a_0), que por lo general presentó un frente plano y la segunda zona fue la producida por la propagación estable de la fisura (Δa), en forma de túnel. En los primeros ensayos para poder destacar esta última zona y luego medirla, se realizó a continuación una marca por fatiga. Debido a que esta técnica no la definía claramente, se utilizó el teñido térmico.

III. ANALISIS DE LOS DATOS

La integral J se evaluó a partir de los gráficos de carga vs desplazamiento, siendo el área bajo dicha curva obtenida mediante integración numérica. Las ecuaciones utilizadas se desarrollaron para probetas planas y la secuencia de cálculo para la obtención de la curva J-R fue realizada según la norma ASTM E 1152-87. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en nuestro laboratorio.

IDENTIF. PROBETA	B [mm]	a_0/W	Δa [mm]	$\Delta a/\Delta CPE$	$J_{0.2}$ [kN/m]
J-2	4.15	0.571	1.04	7.590	89.70
J-3	4.15	0.542	3.17	6.252	120.50
J-5	4.20	0.566	2.16	6.667	100.00
C-1	4.50	0.600	2.04	8.535	30.60
C-4	4.50	0.540	2.72	8.063	60.60
C-5	4.50	0.510	2.40	7.273	45.45
Z-2	5.10	0.563	1.96	6.262	78.57
Z-3	5.10	0.586	1.94	5.670	73.47
Z-5	5.10	0.530	2.24	6.309	90.80

Tabla 1.- Resultados obtenidos en el laboratorio de la CNEA

La Tabla 2 resume los métodos utilizados por los distintos laboratorios participantes y la mayoría de estos utilizaron el CPE para medir la extensión de la fisura. El método de compliancia por descarga (CD) ha dado menos datos de extensión que el método CPE, no obstante, la diferencia entre la longitud de fisura estimada y la real fue de alrededor del 2 al 4%. En algunos laboratorios en el comienzo de los ensayos, utilizando el método de CPE y CD, se observó

LABORATORIOS	LONG.DE FISURA	DESPLAZAMIENTO DEL PUNTO DE CARGA
<u>CANADA</u> AECL-CRNL (CR) AECL-WNRE (WL) HYDRO QUEBEC (HQ) ONTARIO HYDRO (OH)	CPE CPE CPE CPE	TDVL corregido por compliancia Laser en línea de carga de la probeta EXT en el frente de las mordazas EXT en la boca de la fisura
<u>JAPON</u> PNC (JP) HITACHI (JH) KOBE STEEL (JK)	CPE CA-CPE CPE-CD	EXT en línea de carga de las mordazas EXT en línea de carga de la probeta TVDL corregido por compliancia
<u>INGLATERRA</u> AEA-TECH (UK)	CD	EXT en el frente de la probeta
<u>ARGENTINA</u> CNEA (AC)	CPE	TVDL corregido por compliancia

EXT: Extensómetro

Tabla 2.- Laboratorios participantes y métodos usados por cada uno

un crecimiento de fisura negativo aparente, probablemente debido a la deformación plástica en la zona de la punta de la fisura. Aunque esta anomalía no afectaría el dJ/da , podría afectar el $J_{0.2}$ estimado. Algunos de los laboratorios han tomado como punto de inicio del crecimiento de fisura, el mínimo voltaje de CPE. En un número limitado de ensayos, se encontró que este criterio dió menos dispersión en los valores de $J_{0.2}$. Desafortunadamente existe una marcada dispersión en los resultados, Figuras 2,3,4 y esto podría ser debido a las ligeras variaciones en el método de ensayo o a la inhomogeneidad de los materiales.

IV. CONCLUSIONES

- A simple vista no ha sido posible encontrar un patrón de comparación en los resultados de tenacidad y los materiales entre los diversos laboratorios. Sería de utilidad realizar un estudio estadístico a fin de encontrar un punto de comparación.
- Los materiales de alta tenacidad son aquellos que tuvieron lecturas negativas aparentes de crecimiento de fisura, por lo que se debe acordar el valor a tomar en consideración de $\Delta a = 0$.
- El siguiente paso de este Programa de Ensayos Interlaboratorios sería realizar algunas modificaciones a fin de reducir la dispersión de resultados.

V. REFERENCIAS

- 1.- Simpson, L.A., Chow, C.K. and Davies, P.H., " Standard Test Method for Fracture Toughness of CANDU Pressure Tubes", CANDU Owners Group Report COG-89-110-1, September 1989.
- 2.- Simpson, L.A. and Clarke, C.F., " Measurement of Potential-Drop Method to Measurement of Hydrogen-Induced Subcritical Crack Growth in Zirconium-2.5% Wt Niobium", AECL-5815, WNRE-1977.

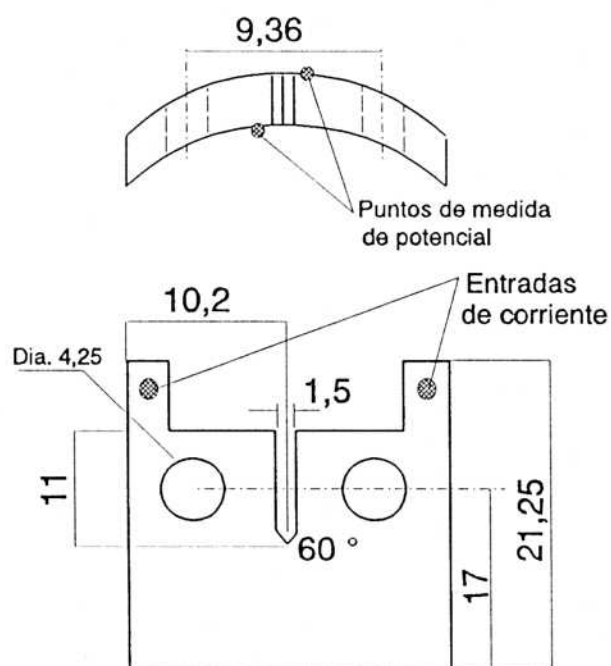


Figura 1- Esquema de la probeta

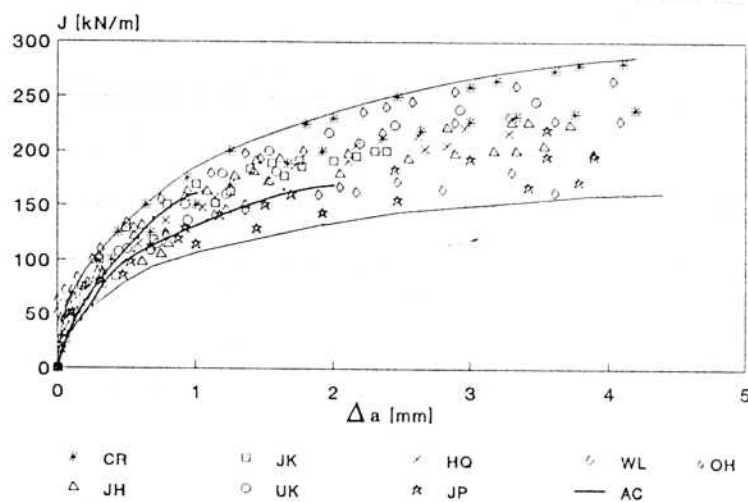


Figura 2- Zircaloy-2

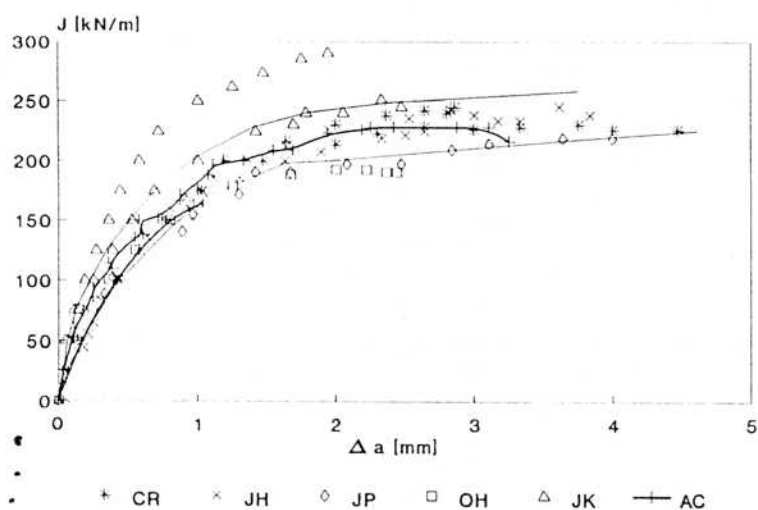


Figura 3- Zr-2,5% Nb
Tratado termicamente

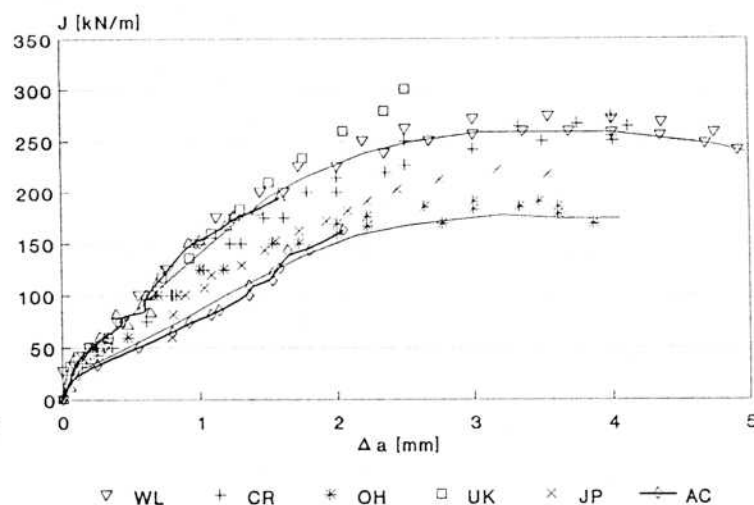


Figura 4- Zr-2,5%Nb
Trabajado en frío