

"CREEP EN TUBOS PARA VAINAS DE ZIRCALOY-4 DEL TIPO ATUCHA I"

R.A. BORDONI*; J. A. CASARIO**; G. COROLI**; N. LEMA**

C.N.E.A. - Gerencia de Desarrollo - Departamento Combustibles Nucleares
Grupos: **Diseño y Comportamiento y *Materiales Estructurales

Roberto Antonio A.

1.- INTRODUCCION

Las vainas de Zircaloy, de las barras combustibles del elemento combustible Atucha, trabajan en servicio de una temperatura aproximada de 620°K y, además, ciertas zonas de las mismas (particularmente los extremos), están soportando la diferencia de presión producida por el refrigerante y la que interiormente ejerce la atmósfera interior de de helio. Estas condiciones de trabajo hacen que las vainas sufran un proceso de creep, en condiciones estacionarias del reactor. En el caso de un aumento brusco y sostenido de la potencia del reactor, se produce la interacción pastilla - vaina y, esta última, soporta tensiones suficientes para desarrollar creep.

Las razones mencionadas arriba, indican la necesidad de la determinación de las leyes de comportamiento al creep de las vainas de Zircaloy en pila y fuera de pila. Se debe agregar que, debido a la anisotropía en las propiedades mecánicas, es necesario conocer dicho comportamiento bajo tensiones biaxiales, que son las que están presentes en el servicio. Es de gran utilidad el conocimiento del comportamiento al creep uniaxial.

En este trabajo se obtuvieron las expresiones que ajustan los resultados experimentales de ensayos de creep longitudinal fuera de pila, de vainas del tipo Atucha I para tensiones que van de 15 Kg/mm² a 30 Kg/mm² a temperatura de 623°K.

2.- MATERIALES UTILIZADOS Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

Las probetas, de 120 mm de longitud, fueron cortadas de tubos de Zircaloy-4 que se utilizan en la fabricación de elementos combustibles tipo Atucha. No se conocen los detalles de fabricación, excepto que fueron llevados a dimensiones finales por trabajo en frío y luego, relevados de tensiones.

Se fabricaron tapones a partir de barras de Zircaloy -4; éstos fueron soldados a los extremos por el método TIG, utilizando enfriadores de cobre a 5 mm del cordón de soldadura, de tal manera que la zona térmicamente afectada no supere los 6 mm desde dicho cordón. Uno de los tapones tiene un orificio que asegura la igualdad de presión entre el exterior e interior de la probeta.

Los diámetros externos e internos fueron medidos con un banco micrométrico y un alesómetro. Estas mediciones fueron realizadas cada 30 mm a lo largo de la probeta y tomando cuatro mediciones a 45° una de la otra en cada punto. Los instrumentos utilizados tienen un error de apreciación de 1/100 mm y 2/100 mm, respect.

Los ensayos se realizaron con un equipo Mohr-Federhaff St 4/2 - B5R. Los ensayos y mediciones se realizaron en el laboratorio de Materiales Estructurales de la Escuela Superior Técnica del Ejército Argentino. Las gráficas de elongación - tiempo se trazaron por puntos, utilizando extensometría mecánica sobre una longitud de referencia de 100 mm; la apreciación de este extensómetro fue de 0,01 mm. La temperatura de ensayo fue de 623°K ± 5°K.

3.- RESULTADOS

3.1.- Primario

La deformación, en el primario, estará dada por:

$$\epsilon_{tpr} = \epsilon_0 + \epsilon_{pr}$$

donde: ϵ_{tpr} es la deformación total en el primario

*A COROLI de ZAPPALÀ, G

ϵ_0 es la deformación inicial

y ϵ_{pr} es la deformación en el primario

Para la etapa del primario, hemos realizado dos análisis. El primero, admitiendo la expresión:

$$\epsilon_{pr} = A \cdot \bar{\sigma}^n \cdot t^m \quad I$$

donde: A, n y m son constantes que dependen de la temperatura

$\bar{\sigma}$ es la tensión y t el tiempo.

Si se aplica logaritmo a ambos miembros de la ecuación I, se obtiene:

$$\log \epsilon_{pr} = \log A \bar{\sigma}^n + m \log t \quad II$$

En las figs. 1 y 2 se grafica esta función para los valores experimentales. Para cada tensión se ensayaron tres probetas. De estas gráficas se obtiene el valor de m para cada tensión. En la tabla I se indican los valores promedio de m y log. C, donde $C = A \bar{\sigma}^n$

TABLA I

Tensión Kg/mm ²	m	log.C
15	0.41	-3.9966
20	0.35	-3.3273
25	0.54	-3.3778
30	0.67	-2.9764

La ordenada al origen log.C de estas rectas puede escribirse de la siguiente forma:

$$\log.C = \log.A + n \log. \quad III$$

En la figura 3 se grafica esta función y se obtuvo para:

$$n = 2.83 \quad \text{y} \quad A = 6.54 \times 10^{-8}$$

por lo tanto, la ecuación I puede escribirse como:

$$\epsilon_{pr} = 6.54 \times 10^{-8} \bar{\sigma}^{2.83} t^{0.49} \quad IV$$

y la deformación total en el primario estará dada por:

$$\epsilon_{tpr} = \epsilon_0 + 6.54 \times 10^{-8} \bar{\sigma}^{2.83} t^{0.49} \quad V$$

En las figuras 4 y 5 se han graficado los puntos experimentales y las curvas obtenidas, utilizando la expresión V.

Estos mismos resultados experimentales se analizaron considerando la siguiente expresión:

$$\epsilon_{pr} = B \bar{\sigma}^r \epsilon^u \quad VI$$

donde: B, r y u, son constantes. Para cada probeta se determinaron los coeficientes B, r y u, utilizando un programa de ajuste de la Biblioteca de Herwell y, previamente, se determinó ϵ por interpolación de Lagrange.

En las figuras 6, 7 y 8 se grafican los valores de B, r y μ en función de la tensión. No se estimó conveniente obtener una expresión de estos parámetros con la tensión, puesto que se tienen muy pocos puntos.

Se calculó el error por utilizar un análisis de tensión constante, en lugar de carga constante como se realizaron los ensayos. El error se obtuvo calculando la deformación con la tensión inicial y luego recalculando la de-

formación, suponiendo la tensión del ensayo igual a la tensión calculada

$$= \bar{V}_0 (1 + \mathcal{E})$$

donde: \mathcal{E} es la deformación al finalizar el primario.

Este error, para el peor de los casos, fue de 1%, el cual es sensiblemente menor que la dispersión experimental.

3.2.- Secundario

La deformación total en el secundario, \mathcal{E}_{tsce} , se puede escribir como:

$$\mathcal{E}_{tsce} = \mathcal{E}_0 + \mathcal{E}_{pr} + \mathcal{E}_{sec}$$

Para el secundario se ha supuesto válida la expresión:

$$\mathcal{E} = K \bar{V}^{n'} \quad \text{VII}$$

donde: K y n' son constantes.

La velocidad de la deformación se obtuvo por regresión lineal para cada probeta, tomando luego el valor promedio para cada tensión.

Aplicando logaritmo a ambos miembros, se obtiene:

$$\log \dot{\mathcal{E}} = \log K + n' \log \bar{V} \quad \text{VIII}$$

En la figura 9 se han graficado los valores de $\dot{\mathcal{E}}$ en función de \bar{V} , en escalas logarítmicas. De aquí, se obtuvo, por regresión lineal, el valor de $n' = 8.00$ y el valor de $K = 1.59 \times 10^{-6}$.

La deformación total en el secundario estará dada, entonces, por:

$$\mathcal{E}_{tsce} = A + K \bar{V}^{n'} t \quad \text{IX}$$

En la figura 10 se grafica el log. A, en función de la tensión.

En la figura 11 y 12 se ha graficado los valores experimentales y las curvas, obtenidas utilizando la expresión IX y los valores de A, K y n' obtenidos. Se observa que el ajuste es bueno.

Análogamente que en el primario, aquí se calculó el error cometido, por utilizar el análisis de tensión constante. En este caso, se calculó la deformación para las probetas de 30 Kg/mm² suponiendo esta tensión, y luego se recalculó, considerando cuatro intervalos iguales, al final de los cuales se determinaba la tensión a través de la expresión:

$$\bar{V}_i = \bar{V}_0 (1 + \mathcal{E}_i)$$

donde: \mathcal{E}_i es la deformación total al final del intervalo i.

El error cometido en este caso fue del 19%. La dispersión de los resultados experimentales en estas probetas, fue de, aproximadamente, el 22%.

4.- DISCUSION Y CONCLUSIONES

La determinación de los parámetros y el ajuste de los resultados experimentales para el primario, utilizando la expresión I, se mostró satisfactoria. La utilización del segundo análisis (expresión IV) se muestra como un método de ajuste potencialmente mejor que el primero, pero para la obtención de la dependencia de los parámetros en función de la tensión, es necesario aumentar el número de ensayos para tensiones intermedias.

En el secundario, la utilización de la ley de Norton permite la obtención de los parámetros, y es posible un ajuste satisfactorio de los resultados experimentales.

El error cometido por elaborar los resultados, considerando los ensayos como realizados a tensión constante, es pequeño en el caso del primario y se mantiene menor que la dispersión de los resultados experimentales, en el secundario.



