

Estudio de las propiedades al creep en aceros termorresistentes

Study of creep properties of heat resistant steels

Presentación: 04 y 05 de octubre de 2022

Doctorando:

Gabriel González

Grupo de estudios sobre materiales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Bahía Blanca - Argentina.
ggonzal@frbb.utn.edu.ar

Directora:

Lilian Moro

Resumen

Cuando los componentes de una planta industrial se encuentran sometidos a condiciones severas de temperatura y esfuerzos mecánicos, sufren una deformación plástica que continua a lo largo del tiempo. Este proceso, denominado termofluencia (creep), se presenta en industrias petroquímicas, plantas generadoras de energía y refinerías de petróleo, donde sus componentes son utilizados durante largos períodos de tiempo y expuestos a condiciones severas de servicio.

El objetivo de esta tesis es estudiar el comportamiento al creep de aceros ferríticos (1Cr 0.5Mo, 2.25 Cr 1 Mo y 5Cr 0.5 Mo), y aleaciones base níquel ((Incoloy 800 (30 Ni – 20 Cr), Inconel 601 (60 Ni – 25 Cr) y aceros de la serie HP (25 Cr – 35 Ni) que poseen, alta resistencia termomecánica asociada a la microestructura interna de la matriz.

En la Quinta Jornadas de Intercambio, presente el tema de aceros ferríticos, en esta Jornadas estaré presentando el tema de aleaciones base níquel.

Palabras clave: aleaciones base Nike, alta temperatura, termofluencia.

Abstract

In industrial plant the components are subjected to severe conditions of temperature and mechanical stress, the plastic deformation that continues over time. This process, called creep, occurs in petrochemical industries, power plants, and oil refineries, where its components are used for long periods of time and exposed to severe service conditions.

The objective of this thesis is to study the creep behavior of ferritic steels (1Cr 0.5Mo, 2.25 Cr 1 Mo and 5Cr 0.5 Mo), and nickel-based alloys ((Incoloy 800 (30 Ni - 20 Cr), Inconel 601 (60 Ni - 25 Cr) and steels of the HP series (25 Cr - 35 Ni) that have high thermomechanical resistance associated with the internal microstructure of the matrix.

Due to the fact that in the Fifth Interchange Conference, I present the topic of ferritic steels, in this Conference I will be presenting the topic of nickel-based alloys.

Keywords: nickel base alloys, high temperature, creep.

Introducción

Cuando los componentes de una planta industrial se encuentran sometidos a condiciones severas de temperatura y esfuerzos mecánicos, sufren una deformación plástica que continúa a lo largo del tiempo. Este proceso, denominado termofluencia o fluencia lenta (creep), se evidencia a partir de transformaciones en la microestructura del material y la pérdida de la resistencia mecánica (Viswanathan, R, 1989).

El estudio de este fenómeno adquiere aún mayor importancia, cuando los materiales afectados son aceros destinados a industrias petroquímicas, plantas generadoras de energía y refinerías de petróleo, ya que sus componentes son utilizados durante largos períodos de tiempo y expuestos a condiciones severas de servicio. La importancia que tiene la comprensión del comportamiento de los materiales para el diseño industrial se debe principalmente al alto costo que representa para las industrias la rotura de sus equipos, problema que puede ser solucionado cuando se realiza una correcta selección del material.

El objetivo de esta tesis es estudiar el comportamiento al creep de aceros ferríticos, y aleaciones base níquel que posee alta resistencia termomecánica asociada a la microestructura interna de la matriz. Se analiza la variación de los parámetros característicos al creep, tales como la energía de activación y el coeficiente de tensión, relacionados con la velocidad de deformación, la tensión aplicada y la temperatura; simultáneamente se caracteriza la evolución microestructural, en las condiciones de temperatura y tiempo similares a los ensayos. Se estudia el comportamiento al creep aleaciones base Ni (Incoloy 800 (30 Ni – 20 Cr), Inconel 601 (60 Ni – 25 Cr) y aceros de la serie HP (25 Cr – 35 Ni) y se observa la influencia sobre la resistencia al creep de la composición química y de la evolución microestructural; ya que una mayor durabilidad de los materiales representa una gran ventaja económica. Las aleaciones de Níquel presentan una microestructura constituida por una matriz formada por una solución sólida fcc (fase γ) y un disperso de precipitados intermetálicos (fase γ') que son los responsables de su gran resistencia. En particular el acero HP modificado, se utiliza ampliamente en las industrias petroquímicas de nuestra región, para construir los hornos de pirolisis porque presentan resistencia a la termofluencia gracias a la estabilidad de las fases que lo componen (Alessio D, 2012).

Desarrollo

El INCONEL 601 (Especificación UNS N06601-ASTM B166-06) es una superaleación base Ni, con el agregado de Cr y de Al, que se utiliza en aplicaciones que requieren resistencia al calor y a la corrosión; esta última propiedad está relacionada con la formación de una película de óxidos de Ni, Cr y Al, extremadamente protectora y adherente sobre la superficie del material, durante su exposición a altas temperaturas.

Este material también tiene buena resistencia a la carburización, la sulfuración y la corrosión acuosa, como así también presenta alta resistencia mecánica, buena soldabilidad y resulta ser fácilmente mecanizable.

Se emplea para la fabricación de varios equipos y dispositivos utilizados en tratamientos térmicos y termoquímicos, tales como: cestos, bandejas y accesorios para recocido, cementación, nitruración, etc.

También se utiliza en la construcción de elementos de hornos industriales, tubos radiantes, silenciadores, boquillas de quemadores, tubos de protección de termocuplas y elementos de calefacción por resistencia eléctrica.

La composición química de esta aleación se presenta en Tabla 1.

MATERIAL	Ni	Cr	Fe	Al	C	Co	Mn	Si	Ti
INCONEL 601	58,5	21,94	17,39	1,45	0,03	0,03	0,20	0,12	0,30

Tabla 1. Composición química de la aleación INCONEL 601

El INCOLOY 800 H/HT (Especificación UNS N08810/11 - ASTM B408) es un material resistente al calor y a la corrosión con un contenido de Ni relativamente bajo, resistente al calor y a la corrosión. Para la fabricación de las probetas utiliza una barra de diámetro de 12,7 mm, fabricada por laminado en caliente, seguido de un tratamiento térmico de normalizado a 1150°C durante tres horas. La composición química de esta aleación se presenta en Tabla 2.

MATERIAL	Ni	Cr	Fe	C	Al	Ti	Al + Ti
INCOLOY 800 HT	30.9	20.1	46.2	0.006	0.51	0.53	1.04

Tabla 2. Composición química INCOLLOY 800H/HT

La serie HP (Fe-35Ni-25Cr-0.4C) para alta presión, son una opción para la fabricación de los tubos de serpentín de hornos de craqueo. Estos materiales garantizan poseer la resistencia a la corrosión y al creep cuando están expuestos a temperaturas de servicio cercanas o superiores a 1000°C; temperaturas que son factibles en regiones específicas de los hornos de pirólisis. Con el agregado de microaleantes, por ejemplo, Nb o Ti, que promueven la formación de más carburos estables, estas aleaciones adquieren mejor resistencia al creep a alta temperatura [

La microestructura típica de las aleaciones del tipo HP en su condición as-cast es una matriz austenítica con carburos primarios del tipo eutéctico, ricos en Cr (del tipo M7C3 y/o M23C6) y carburos de niobio del tipo MC. Por lo general, estas aleaciones que son utilizadas en la condición as-cast, luego de operar en servicio, a temperaturas entre 850 y 1050°C debido a la activación térmica, evidencian transformaciones de fase; de esta forma los carburos primarios de cromo, se transforman en M23C6 en forma intragranular e intergranular como precipitado (Roach, 1992). . La composición química de esta aleación se presenta en Tabla 3.

Material	C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Mo	Fe
HP - mod.	0.60	1.8	2.0	25	35	1.34	0.5	Bal.

Tabla 3. Composición química acero HP.

El equipo para realizar los ensayos de creep fue diseñado y construido íntegramente en la FRBB, consta de un sistema de tres máquinas, de igual diseño, que someten al material bajo ensayo a tensión y temperatura constantes, manteniendo la independencia de funcionamiento de cada una de ellas con la particularidad de estar controlado por un único sistema de adquisición y software. El equipo está formado por una barra principal, apoyada en un extremo a un amortiguador regulable, y en el otro extremo posee una leva circular de radio constante. De la barra principal cuelga un peso variable, de trazabilidad controlada, que se desplaza a lo largo de la misma, permitiendo modificar la distancia al centro de rotación y así poder lograr la tensión que se desea aplicar. El peso está ubicado en un carro con rodamientos que permiten el desplazamiento del mismo a lo largo de la barra. El movimiento se realiza mediante un tornillo patrón impulsado por un moto-reductor de corriente continua. El equipo tiene anexado un horno eléctrico, donde el control de la temperatura se efectúa por medio de una termocupla de cromel alumel, cuyo extremo caliente se ubica sobre la superficie de la zona central calibrada de la probeta. La deformación de la zona calibrada de la probeta se mide por medio de dos transformadores lineales de diferencial variable (LVDT) Marca Solartron, que produce una señal adquirida por un sistema analógico- digital (Molina R, 2018). Estos ensayos se realizaron respetando las condiciones de la norma (ASTM E139, 2018). A partir de los datos registrados en los ensayos de creep realizados a una misma tensión, se calculó la energía de activación graficando la velocidad de deformación en función de la inversa de la temperatura. De igual forma se obtuvo el valor n de tensión graficando la velocidad de deformación, en función de la tensión σ , a una misma temperatura de ensayo.

Resultados

Se realizaron ensayos de creep sobre el acero Incoloy a tensiones de 80, 110 y 131 MPA y a temperaturas de 705 °C. En la Figura 1 se presenta las gráficas deformación en función del tiempo para el material de recepción.

A partir de las gráficas trazadas se calcularon las velocidades de deformación de la zona del creep secundario (estado estacionario) donde la pendiente de la curva se mantiene prácticamente constante. Tabla 4.

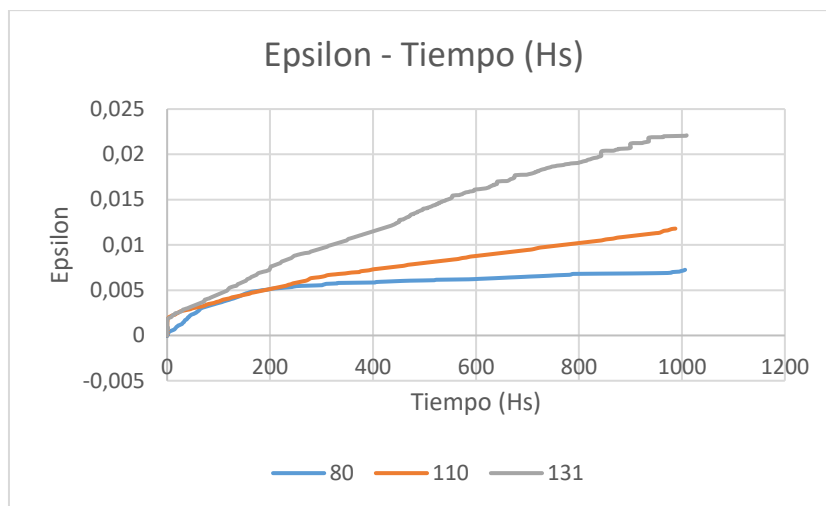


Figura 1: Gráfica de la deformación específica por creep en función del tiempo

	80 MPa	110 MPa	131 MPa
Velocidad mínima de creep %/h	$4,4 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-4}$	$9,01 \times 10^{-4}$
Duración del ensayo (hs)	1006,1	987,3	1009,2

Tabla 4. Velocidades de deformación y tiempos de ensayo.

En la Figura 2 se presenta las gráficas de la deformación en función del tiempo para el material Inconel en estado de recepción, a tensión de 80, 110 y 131 MPa y a temperaturas de 705 °C. A partir de las gráficas trazadas se calcularon las velocidades de deformación de la zona del creep secundario (estado estacionario) donde la pendiente de la curva se mantiene prácticamente constante. Tabla 5.

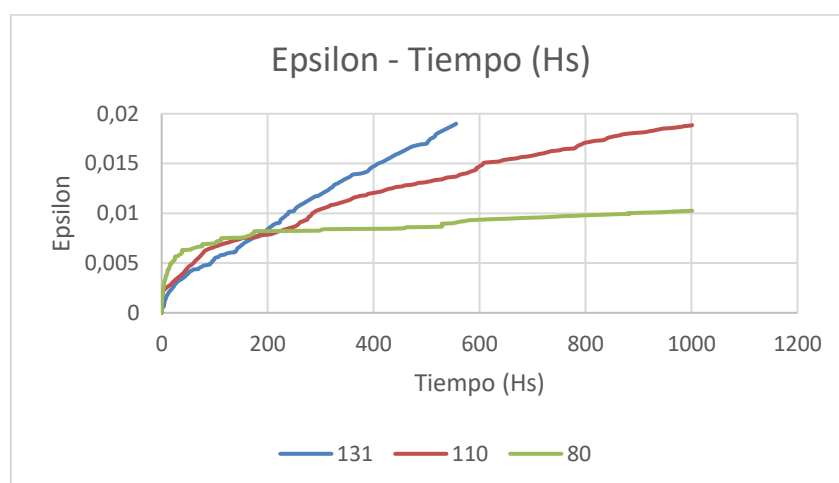


Figura 2 Gráfica de la deformación específica por creep en función del tiempo.

	80 MPa	110 MPa	131 MPa
Velocidad mínima de creep %/h	$4,1 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-5}$
Duración del ensayo (hs)	1001,1	1001,8	1001,2

Tabla 5. Velocidades de deformación y tiempos de ensayo.

En la Figura 3 se presenta las gráficas de la deformación en función del tiempo para el material HP en estado de recepción, a tensiones de 80, 110 y 131 MPa y a temperaturas de 705 °C. A partir de las gráficas trazadas se calcularon las velocidades de deformación de la zona del creep secundario (estado estacionario) donde la pendiente de la curva se mantiene prácticamente constante. Tabla 6.

	80MPa	110MPa	131MPa
Velocidad mínima de creep %/h	$4,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$
Duración del ensayo (hs)	1006,9	1021,1	1030

Tabla 6. Velocidades de deformación y tiempos de ensayo.

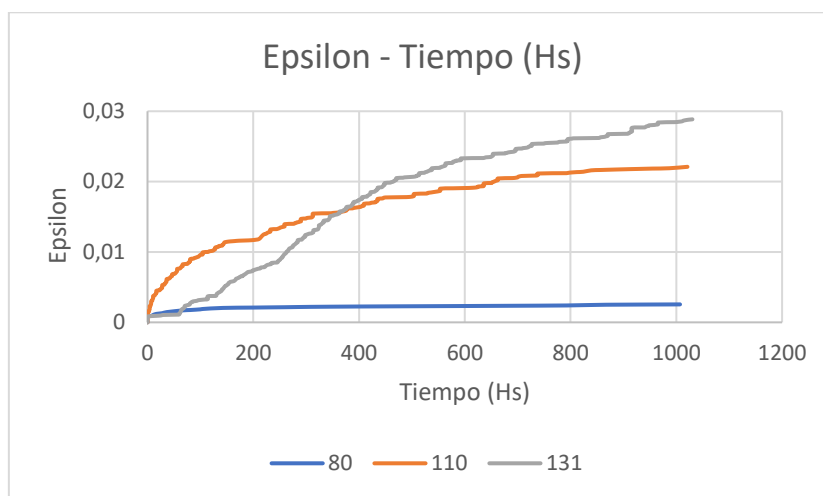


Figura 3: Gráfica de la deformación específica por creep en función del tiempo.

Conclusiones

Las conclusiones son parciales, debido a que este tema todavía falta desarrollarlo. A tensiones bajas, 80 MPa el acero HP es el que mejor responde, debido a que manifiesta una baja velocidad de deformación. A tensiones de trabajo medias o de 110 MPa, los aceros Inconel y HP se manifiestan parecido, con una velocidad de deformación similar. A tensiones altas, ocurre similar a lo ocurrido a tensiones medias. Resta evaluar, las transformaciones que se producen a nivel microestructural de todos los ácaros y por último relacionar estos parámetros de trabajo con ensayos que se realizaron a temperaturas más altas y tensiones más bajas.

Referencias

- Viswanathan R. (1989). *Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperature Components*. ASM International Metals, Park Ohio, USA
- Alessio D., Gonzalez G., Fernandez Pirrone V., Iurman L., Moro L.; (2012). *Variation of Creep Properties in HP Steel by Influence of Temperature*. *Procedia Materials Science*, 1, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2012.06.014>.
- Molina R., González G., Pender G., Moro, L., (2018), *Checking of the uniformity of results of simultaneous creep testing equipment*. *Revista Materia*, 26 N.02, ISSN 1517-7076 artículo e-12022, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0358>.
- ASTM E139 -11. (2018). *Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials*. <https://www.astm.org/Standards/E139.htm>.