



MANUFACTURA, SOLDADURA Y MATERIALES

Título

Causas del agrietamiento en las carcasas de turbina de un turbocompresor

Title

Causes of cracking in the turbine casings of a turbocharger

Luis Alberto Machado Rodríguez¹, Alejandro Duffus Scott², Amado Cruz Crespo²

¹ Institución de Procedencia: EMI Cmdte Ernesto Che Guevara

País: Cuba E-mail: lumachado@uclv.cu

²Institución de Procedencia: Universidad Central Marta Abreu de las Villas

País: Cuba E-mail: aduffus@uclv.edu.cu acruz@uclv.edu.cu

Resumen:

Problemática:

Se desconoce el fenómeno por lo que surgen grietas en las carcasas de las turbinas pertenecientes a los turbocompresores de los Grupos Electrógenos, cuando estos aún caliente son sometidos a un procedimiento de limpieza con agua.

Objetivo(s):

Explicar las causas del agrietamiento en las carcasas de las turbinas pertenecientes a los turbocompresores.

Metodología:

Fueron aplicados, la inspección visual y líquidos penetrantes, así como el Software MatLab para determinar las tensiones térmicas en las carcasas.

Resultados y discusión:

Las grietas transversales de las carcasas son las más peligrosas. Para el menor valor del factor de concentración de esfuerzos ($k_f=1$), la amplitud de la tensión térmica, alcanza un valor elevado, provocando la aparición de grietas tanto transversales como longitudinales. Para grietas transversales, el factor de concentración de esfuerzos es mayor, que para grietas longitudinales, por lo que la amplitud máxima del esfuerzo



térmico generada durante el choque térmico en grietas transversales es mucho mayor, lo cual implica que la longitud permisible de este tipo de grieta es de menor longitud (45 mm).

Conclusiones:

La amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico (S_m), para la carcasa objeto de estudio, alcanza un valor máximo de 560 MPa para un factor de concentración de esfuerzos ($k_f=1$), la cual es mucho mayor que la tensión permisible de diseño S_a (210 MPa) y la carcasa recibe una tensión periódica esto justifica la propagación de la grieta.

Abstract

Problem:

The phenomenon is unknown, which is why cracks appear in the casings of the turbines belonging to the turbochargers of the Generating Sets, when they are still hot and are subjected to a cleaning procedure with water.

Objective (s):

Explain the causes of cracking in turbine housings belonging to turbochargers.

Methodology:

Visual inspection and penetrating liquids were applied, as well as MatLab Software to determine the thermal stresses in the housings.

Results and discussion:

The transverse cracks of the casings are the most dangerous. For the lowest value of the stress concentration factor ($k_f = 1$), the amplitude of the thermal stress reaches a high value, causing the appearance of both transverse and longitudinal cracks. For transverse cracks, the stress concentration factor is higher than for longitudinal cracks, so the maximum amplitude of the thermal stress generated during thermal shock in transverse cracks is much greater, which implies that the permissible length of this type of crack is shorter (45 mm).



Conclusions:

The maximum amplitude of the thermal stress generated during the thermal shock (S_m), for the casing under study, reaches a maximum value of 560 MPa for a stress concentration factor ($k_f = 1$), which is much greater than the design allowable stress S_a (210 MPa) and the casing receives a periodic stress this justifies the propagation of the crack.

Palabras Clave: Turbocompresor; Agrietamiento; Carcasa, Inspección; Choque térmico.

Keywords: Turbocharger; Cracking; Housing, Inspection; Thermal shock.

1. Introducción

La Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrónicos de Fuel "EMGEF" actualmente es la encargada de la operación y el mantenimiento a las Centrales Eléctricas o Grupos Electrónicos de Fuel – Oil. La cual lleva a cabo las operaciones tecnológicas para el desmontaje, desarme, inspección, mantenimiento y ensamblaje del turbo-cargador TPS-57 de los motores HYUNDAIHIMSEN 9H 21/32. (Rodríguez 2019)

En los turbocompresores en el lado de la entrada de los gases de escape al cabo de 75 a 100 horas de operación o ante desviaciones de régimen se les lleva a cabo el procedimiento de limpieza con agua, por los operadores de los grupos electrónicos.

Los gases de escape a la entrada del turbo poseen temperaturas de 350 a 380 °C, o una máxima de 450 °C. Inyectando 8,5 litros de agua a una presión de 2,5 a 3 bar y a una temperatura de 30 °C durante 10 minutos se lleva a cabo el lavado de los turbos. Ocurriendo aquí un choque térmico en la superficie interior de la carcasa de la turbina ya que el fluido a baja temperatura (30 °C) golpea sobre la superficie caliente (aproximadamente 380 °C), produciendo un nivel muy alto de tensiones en la superficie expuesta a los gases de escape a elevadas temperatura y al agua a temperatura ambiente, que normalmente conduce al desarrollo de grietas. (Rodríguez 2019)



2. Metodología

En la inspección de las carcasa de las turbinas durante los mantenimientos capitales se observan en ocasiones grietas producidas por choques térmicos, los que ocurren debido a los lavados que se les hacen cada 100 h de trabajo. Las grietas se desarrollan en tres zonas con valores permisibles en cada una de ellas y en dos direcciones transversal y longitudinal siendo las transversales las de mayor peligro. Este problema comenzó en el año 2009, cuando los motores estaban por las 6000 horas de trabajo y se revisó el turbocompresor y se detectó que la carcasa de la turbina (caracol) presentaba grietas. A partir de ahí se comienzan a revisar cada mantenimiento de 6000 a las 12000 horas para verificar las que presentan este problema. (EMGEF 2014)

2.1 Inspección de la carcasa mediante ensayos no destructivos

Mediante el método de inspección visual y líquidos penetrantes, se analizaron los tipos de grietas que aparecen en las diferentes zonas y direcciones respectivamente.

En la figura 2 se muestra la grieta formada en la sección A, la cual es la lengüeta más corta, donde la longitud máxima permisible de la grieta es de **70 mm**

- $L_A < 70 \text{ mm}$

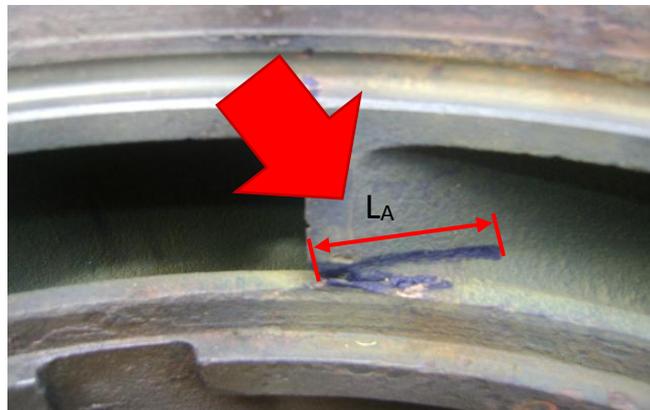
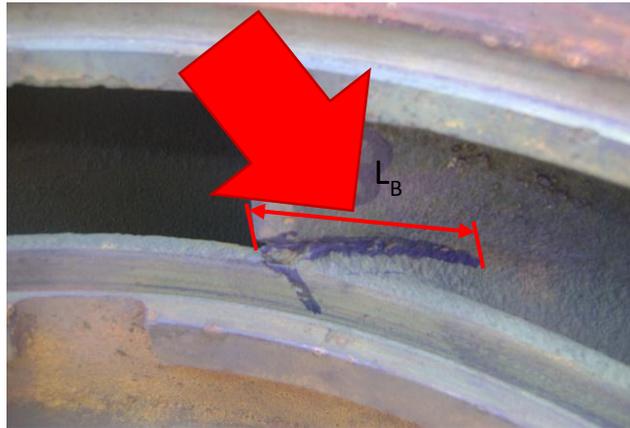


Figura 2. Grieta formada en la Sección A. (Laustela 2005)



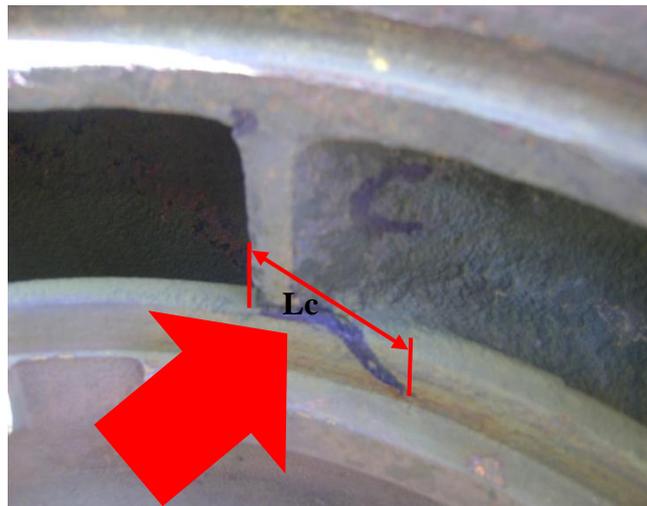
En la figura 3 se muestra la grieta formada en la sección B, la cual es la lengüeta intermedia, donde la longitud máxima permisible de la grieta es de **140 mm**.



- $L_B < 140 \text{ mm}$

Figura 3. Grieta formada en la Sección B. (Laustela 2005)

En la figura 4 se muestra la grieta formada en la sección C, la cual es de las lengüetas restantes, la longitud máxima permisible de la grieta es de **140 mm**



- $L_C < 140 \text{ mm}$

Figura 4. Grieta formada en la Sección C. (Laustela 2005)



En la figura 5 se muestra la grieta formada en la dirección vertical, la cual es en la lengüeta corta (TH31), la longitud máxima permisible de la grieta es de **45mm**.



Figura 5. Grieta transversal o TH31. (Laustela 2005)

$L_T < 45 \text{ mm}$

En la Tabla 1 (Laustela 2005) se especifican los rangos de permisibles de las longitudes de las grietas en las carcasas según criterios de la firma.

Tabla 1. Rangos permisibles de las grietas del caracol del turbo

Sección	Longitud permisible de la grieta (mm)
A	70
B	140
C	140
TH31	45

2.2 Determinación del choque térmico producido en la carcasa por el software MatLab

El choque térmico es común en las plantas que involucran agua y vapor. (ASME 2010)

Los choques a menudo ocurren cuando el fluido a baja temperatura golpea sobre una superficie caliente, produciendo un nivel muy alto de tensiones cercano a la superficie expuesta que eventualmente puede conducir al desarrollo de grietas, se puede presentar otra situación menos común en la que ocurre el choque térmico, particularmente en



donde ocurren repentinas despresuraciones en recipientes. (Mellouli, Haddar et al. 2011)

Según (ASME 2010) la iniciación de las grietas por choque térmico ocurre si la amplitud de la tensión teórica máxima S_m excede la amplitud de la tensión de diseño permisible S_a . El valor de S_m puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$S_m = \frac{E\alpha(\Delta T_m)}{2(1-\nu)} k_f \quad [1]$$

Donde:

S_m : es la amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico.

E: es el módulo elasticidad

α : es el coeficiente de expansión térmica.

ΔT_m : es la magnitud máxima posible del choque térmico

ν : es el coeficiente de Poisson

k_f : es el factor de concentración de esfuerzos cuyo valor es de 1,0 a 5,0.

Con E, α y ν siendo constantes del material, sólo ΔT_m y k_f son desconocidos.

La amplitud de la tensión de diseño permisible S_a se encuentra en el código (ASME 2010), teniendo como valor $S_a = 210 \text{ MPa}$.

La amplitud máxima posible del choque térmico $\Delta T_m = T_{\text{carcasa}} - T_{\text{agua}}$, donde la

$T_{\text{carcasa}} = 380^\circ\text{C}$ y la $T_{\text{agua}} = 30^\circ\text{C}$, por lo que $\Delta T_m = 350^\circ\text{C}$.

El factor de concentración de tensiones se decide tomar valores que se encuentra entre 1 y 5.

El coeficiente de Poisson $\nu = 0,25$, el coeficiente de expansión térmica es de

$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$ y el módulo de elasticidad $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. (D.Callister.W)



El valor de la amplitud máxima del esfuerzo térmico generado durante el choque térmico (S_m) se puede observar en la siguiente gráfica.

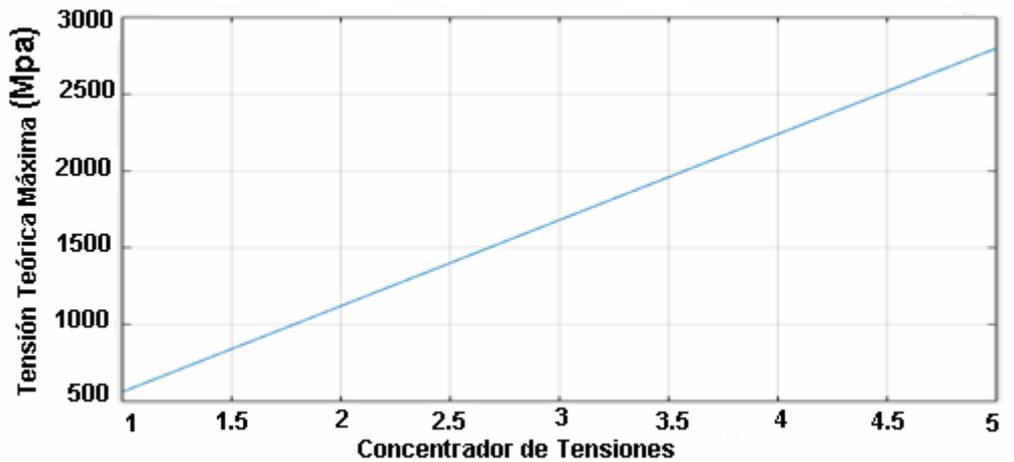


Figura 6. Amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico en función del factor de concentración de esfuerzos. (Elaboración propia).

La determinación del valor de la amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico (S_m), es de gran significación para tener criterio acerca del surgimiento de grietas en la carcasa, si S_m es mayor que S_a implica que en la carcasa se desarrollarán grietas y debido a que dicha carcasa está sometida por intervalos de tiempos a esta tensión periódica, las grietas se propagan. (Rodríguez 2019)

3. Resultados y discusión

3.1 Sobre el agrietamiento.

Las grietas transversales de las carcasas son las más peligrosas ya que estas provocan una rotura rápida del turbo y fugas de los gases de escapes lo que da el menor valor permisible, esto se explica debido a que en la dirección transversal el factor de concentración de esfuerzos (k_f) es mucho mayor.

Analizando la Tabla 1, se puede concluir que, si todo el agrietamiento presente en la carcasa del turbo está dentro de los parámetros permisibles, este puede seguir en funcionamiento.



3.2 Acerca del Choque Térmico.

La ecuación 1, para la determinación de la magnitud de la intensidad del choque térmico es recomendada por el código. (ASME 2010)

En el caso de los aceros al carbono con $\sigma_{\text{última}} \leq 552$ MPa, se considera que la amplitud de la tensión de diseño permisible (S_a) es del orden de 210 MPa. (D.Callister.W)

Según (D.Callister.W) el valor de $\sigma_{\text{última}}$ del hierro fundido nodular de la carcasa es del orden de 500MPa, esto permite poder utilizar el mismo valor de $S_a = 210$ MPa. De acuerdo a la figura 6 para un factor concentrador de esfuerzos (k_f) del orden de 1 el valor que alcanza la amplitud máxima del esfuerzo térmico generado durante el choque térmico (S_m), es superior a S_a , por tanto, esto justifica la aparición de grietas tanto transversalmente como longitudinalmente.

Para grietas transversales, el factor de concentración de esfuerzos es mayor por lo que la amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico es mucho mayor como muestra la figura 1., lo cual implica que la longitud permisible de este tipo de grieta es de menor longitud (45 mm).

La magnitud de la amplitud máxima del esfuerzo térmico producida por el choque térmico genera grietas en la carcasa y debido a que la magnitud de esta tensión es periódica también, aparece el fenómeno de fatiga térmica, trayendo como consecuencia la propagación de las grietas, es decir la causa fundamental del agrietamiento en la carcasa es debido al choque térmico y fatiga térmica.

4. Conclusiones

Según lo expuesto en el trabajo anterior se ha arribado a las siguientes conclusiones:

1. La amplitud máxima del esfuerzo térmico generada durante el choque térmico (S_m), para la carcasa objeto de estudio, alcanza un valor máximo de 560 MPa para un factor de concentración de esfuerzos ($k_f=1$).
2. Como la magnitud de S_m (560 MPa) es mucho mayor que S_a (210 MPa) y la carcasa recibe una tensión periódica esto justifica la propagación de la grieta.



3. En la sección de la carcasa donde haya mayor factor de concentración de esfuerzos (kf), la probabilidad de surgimiento de grietas es mayor, producto de las altas tensiones creadas en esa zona.

5. Referencias bibliográficas

1. ASME (2010). "Rules for construction of Pressure Vessels." An International Code **VIII Division 2**: 998.
2. D.Callister.W "Introduccion a las Ciencias e ingeniería de los materiales. Department of Materials Science and Engineering the University of Utah." Editorial Reverté, S.A.
3. EMGEF (2014). "Mantenimiento Preventivo Planificado de las carcasas pertenecientes a las turbinas de los Grupos Electrógenos, Villa Clara, Cuba."
4. Laustela, E. (2005). "El Turboalimentador ABB, para aumentar la potencia y rendimiento de los motores." Revista ABB: 3,5.
5. Mellouli, D., et al. (2011). "Thermal fatigue of cast irons for automotive application." *Materials & Design* **32**(3): 1508-1514.
6. Rodriguez, L. A. M. (2019). "Metodología para el reacondicionamiento por soldadura de las carcasas de las turbinas de los turbocompresores de los Grupos Electrógenos, Proyecto de Ingenieria Mecanica III, UCLV, Santa Clara, Villa Clara, Cuba."