

ANÁLISIS DE LA ROTURA EN SERVICIO DE UN EJE DE ACCIONAMIENTO

P. Merino*, E. Porto**, F. Iglesias**, M.R. Iglesias**, A. Collazo* y G. Pena*

* Departamento de Ingeniería de ls Materiales, Mec. Aplicada y Construcción. Universidad de Vigo

** Asociación de Investigación Metalúrgica del Noroeste (AIMEN). Porriño.

Resumen.- Se presenta el estudio de las causas que han conducido a la rotura por fatiga de uno de los dientes de un eje. construido en un acero aleado para cementación (UNE F 1560). Los análisis químicos determinaron la idoneidad de la aleación empleada, mientras que tanto los ensayos de microdureza como el examen metalográfico revelan que la microestructura es adecuada. La ausencia de señales externas en la superficie de la pieza indican que el comportamiento del engranaje ha sido normal en cuando a tallado y acoplamiento. El origen del fallo fue localizado en un defecto puntual de fabricación, consistente en inclusiones de partículas de alúmina próximas a una concentración de cavidades.

Abstract.- The study of the origin of the fatigue crack in service of a shaft made in a case-hardening steel UNE F 1560 is presented. The chemical analysis showed that the composition of the alloy was correct, and both the microhardness tests and the metallographic examination revealed an appropriate microstructure. In the same way, the absence of marks on the surface indicated a normal working of the part. The origin was localized in a defect of making, formed by cavities and alumina particles inclusions.

1. INTRODUCCIÓN

Durante una de las campañas de un buque pesquero se produjo el fallo de la maquinilla de pesca como consecuencia de la rotura y desprendimiento de uno de los dientes del piñón del eje de accionamiento.

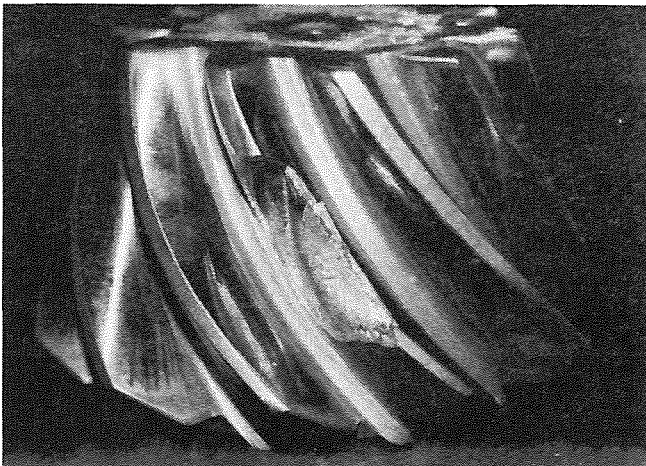


Fig. 1. Vista de la zona fracturada del piñón.

Para determinar las causas de la fractura fueron entregados para su estudio tanto el eje como el diente desprendido.

En la observación macroscópica de esta pieza no se revela ninguna alteración significativa de la superficie de la misma. Tampoco en el piñón son visibles más marcas que las del desprendimiento (figura 1). Ningún otro diente muestra deterioro superficial.

Al examinar el diente se comprueba su perfecto encaje en la zona fracturada, por lo que no se ha producido pérdida de material, así como la total ausencia de marcas, picaduras o defectos en su superficie exterior.

Si se observa la fractura, son claramente visibles las marcas concoidales o "beach marks" que ponen de manifiesto un fenómeno de fatiga y que ocupan prácticamente toda la superficie. Dichas marcas parecen centradas en un punto del interior del diente que se señala como posible inicio de la fractura. Este punto se indica en la figura 2 mediante una flecha.

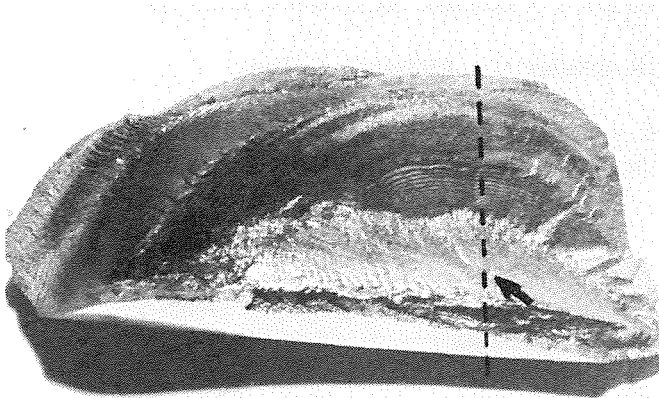


Fig. 2. Superficie de fractura del diente desprendido.

2. DESARROLLO DEL ESTUDIO

a) Análisis Químico

Se realizaron los análisis químicos correspondientes del núcleo del piñón mediante las técnicas de Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X y Plasma (ICP), complementadas con Leco, para las determinaciones de C y S. Los resultados obtenidos se reflejan en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del acero determinada por análisis químico del núcleo del piñón.

Elemento	Porcentaje en peso
C	0.160
Si	0.290
Mn	0.370
P	0.010
S	0.045
Cr	1.120
Ni	3.910
Mo	0.170

Dichos valores son los correspondientes a un acero aleado de cementación, categoría UNE F-1560, si bien con un contenido en Mn ligeramente inferior y de S superior a los establecidos por la norma. La composición se considera correcta y la aleación adecuada para la elaboración de esta pieza.

b) Análisis Metalográfico

Una vez realizada la observación macroscópica se seleccionaron dos zonas de la superficie de fractura, indicadas por recuadros en la figura 3, que fueron examinadas en detalle mediante Microscopía Electrónica de Barrido (JEOL JSM 6400).

Estas zonas corresponden a una región en la que las marcas concoidales son claramente visibles (zona 1) y a la parte del núcleo del diente en la que parece situarse el origen de dichas huellas (zona 2).

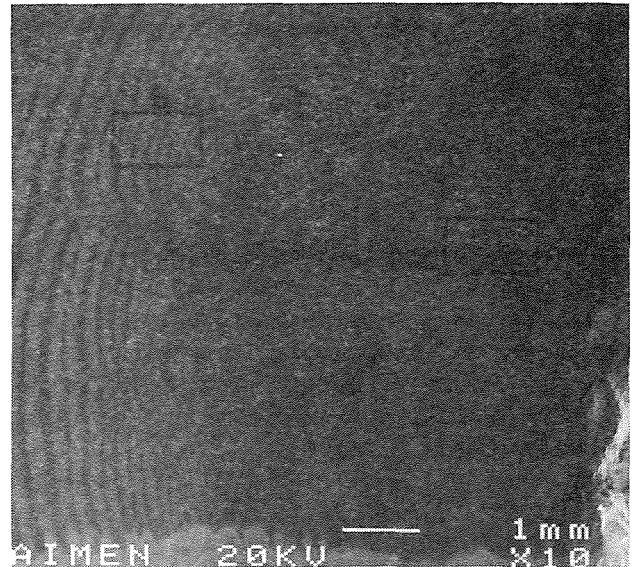


Fig. 3. Zona central de la superficie de fractura. (10x) Los recuadros muestran las zonas 1 y 2 cuyos detalles se muestran en las figuras siguientes.

Observando con detalle la superficie de la zona 1 (figura 4), se aprecian las amplias "beach marks" o marcas concoidales formando ligeros escalones característicos de los procesos de rotura por fatiga. En estas huellas se suceden bandas con aspecto de fractura frágil con otras de aspecto pulido, constituidas por material aplastado. En esta región no resalta ninguna otra característica superficial de importancia.

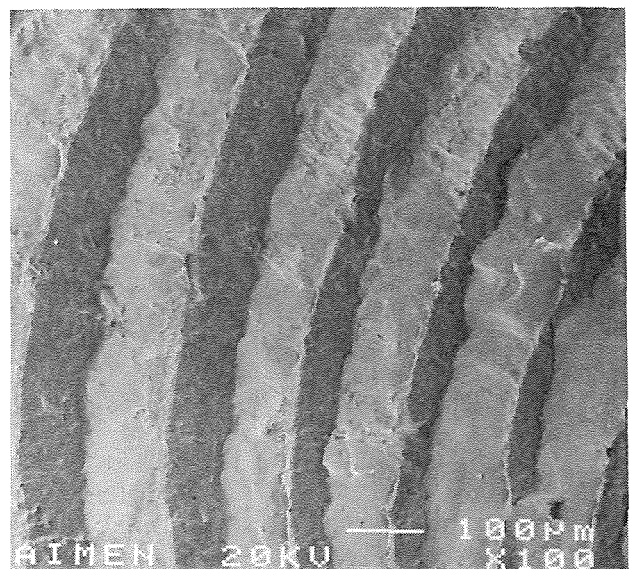


Fig. 4. Detalle de la zona 1. (100x)

En lo que respecta a la superficie de la zona 2, destacan dos bandas de aspecto rugoso que contienen partículas incrustadas en su interior y pequeñas marcas concoidales en el resto de la superficie, tal como se observa en las figuras 5 y 6.

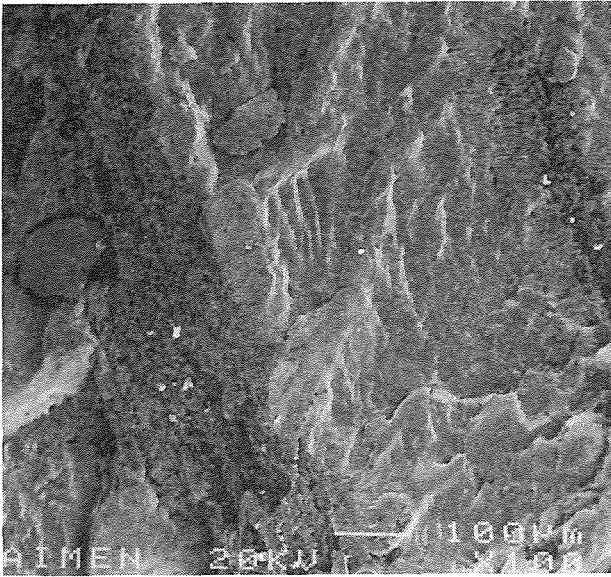


Fig. 5. Detalle de la zona 2, correspondiente a la zona en que se ha iniciado el proceso de fisuración. (100x)

Las inclusiones detectadas fueron analizadas mediante Espectrometría de RX, por dispersión de energías (EDX). En todos los análisis puntuales llevados a cabo se determinó la presencia de Aluminio como elemento preponderante, siendo caracterizadas las partículas como inclusiones de alúmina.

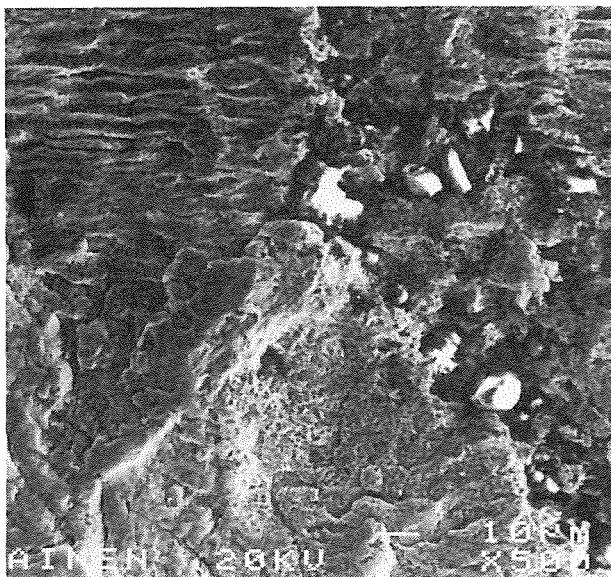


Fig. 6. Detalle de de una de las bandas de la figura anterior. (500x)

Para estudiar la microestructura de la pieza y confirmar el posible origen de la fractura se llevó a cabo la preparación metalográfica de un corte transversal en la sección del diente desprendido (representado mediante una línea de trazos en la figura 2).

La macrografía de la figura 7 permite determinar que la capa superficial cementada posee espesor homogéneo, con una profundidad convencional de cementación de 1,1 mm. En dicha imagen también puede observarse el borde de la superficie de fractura, desde la parte superior hasta la inferior del diente.

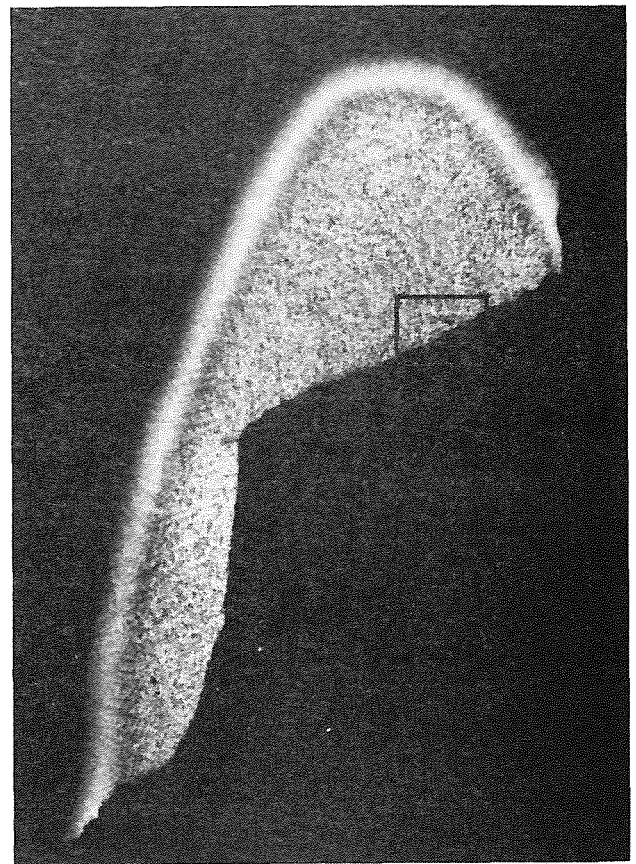


Fig. 7. Macrografía de la sección transversal a la superficie de fractura. (Nital 1%. 5.5x)

Realizando el estudio micrográfico detallado de dicha superficie, pudo verificarse que la estructura metalográfica básica del material es correcta. Como se muestra en la figura 8, la capa cementada está constituida por agujas de martensita sobre austenita retenida. En ella también se distinguen pequeñas inclusiones de MnS. El núcleo del diente está constituido por martensita revenida.

Al abordar el examen microscópico del borde de la superficie de fractura, se detectó una zona en la que existían una serie de inclusiones y cavidades, tal y

como se muestra en la micrografía de la figura 9 y siguiente.

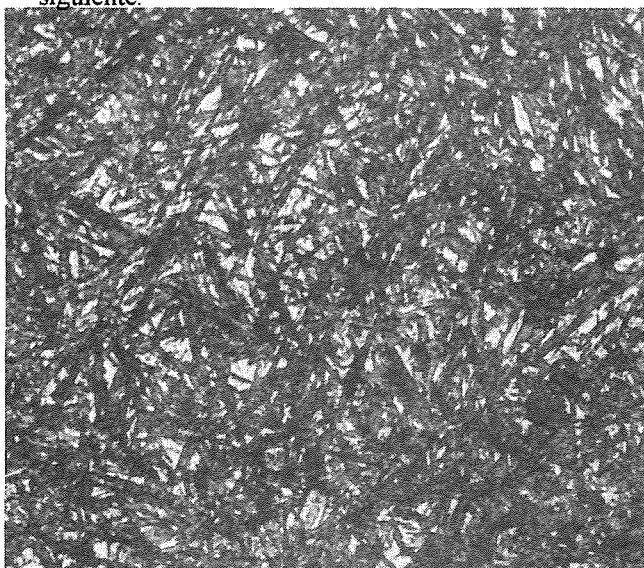


Fig. 8. Microestructura de la capa cementada. Imagen tomada a 0,2 mm de la superficie. (Nital 1%, 1000x)

En la figura siguiente se observan algunos detalles de esta región. Corresponde a la zona inicialmente señalada como la correspondiente al inicio de la fractura. Las inclusiones fueron confirmadas mediante análisis como partículas de alúmina.

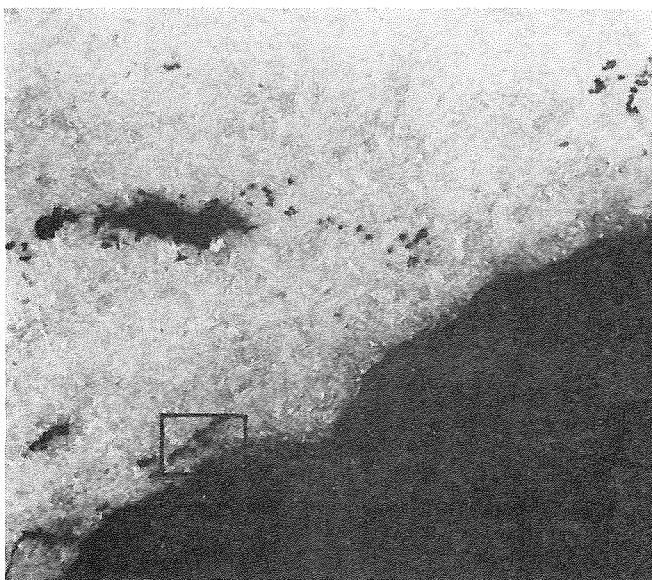


Fig.9. Detalle de la zona recuadrada en la figura 7. Profusión de inclusiones, cavidades y pequeñas grietas próximas a la superficie de fractura. (Nital 0,5%, 100x)

Finalizados los exámenes metalográficos realizó un barrido de microdurezas desde el borde de la capa cementada hasta el interior del diente. Las medidas se llevaron a cabo empleando un microdurómetro Vickers (HV-0.5) según norma UNE 7.423-86. La

curva representativa de la variación de dureza es la adecuada para el material y las solitudes mecánicas requeridas.

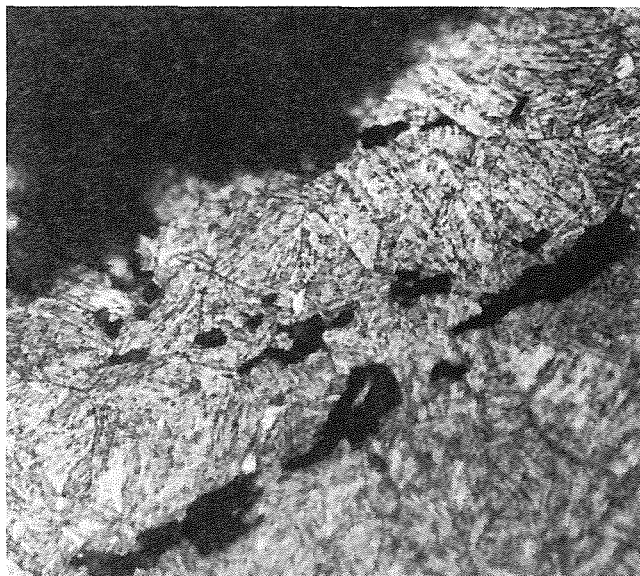


Fig. 10. Detalle de la imagen anterior. Inclusiones de alúmina y alguna pequeña de MnS al borde de la superficie de fractura. (Nital 0,5%, 1000x)

3. CONCLUSIONES

La superficie de fractura muestra prácticamente en toda su extensión las marcas concoidales o de playa características de los procesos de fatiga, centradas alrededor de un punto común del núcleo del diente que corresponde al origen de la fisuración y que muestran la progresión cíclica de la fractura.

El examen de las posibles causas han permitido determinar que tanto la aleación empleada en la fabricación del eje como la microestructura general de la pieza son los adecuados.

De igual forma, el examen de la superficie exterior de la pieza descarta que la causa de la fractura pueda deberse a un defecto en la mecanización o acoplamiento de la misma.

El estudio de la superficie de fractura y de las secciones transversales de la misma, revelan que el origen del fallo se encuentra en un defecto puntual del material de fabricación del piñón, en una estrecha zona en la que se produce una acumulación de cavidades e inclusiones de alúmina. Estas discontinuidades situadas por debajo de la superficie, han actuado como concentradores de tensiones en la matriz del material, contribuyendo de forma decisiva a la iniciación de varias fisuras.

Una vez iniciadas las grietas han avanzado por un fenómeno de fatiga en todas las direcciones hasta la superficie cementada de ambas caras del diente. Puesto que la progresión de las fisuras es lenta, se pueden apreciar la alternancia de bandas de aspecto pulido originadas por los esfuerzos de compresión durante el funcionamiento del engranaje que producen desgaste de las superficies de fractura, alternadas con otras de aspecto de fractura frágil.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Pintado, J.M.: "Fallos en servicio de los Materiales Metálicos". pp.171-176. INTA. Madrid.
- [2] Metals Handbook, Vol. 11, Failure Analysis and Prevention, 9th Edition, pp. 102-135, ASM, Metals Park, Ohio, USA.