

ROTURA EN SERVICIO DE UNA PALA Y SUS PERNOS DE SUJECIÓN EN UNA HÉLICE DE PASO VARIABLE

A. Priegue*, E. Porto*, F. Iglesias*, G. Pena** y P. Merino**

* ASOCIACIÓN DE INVESTGACIÓN METALÚRGICA DEL NOROESTE (AIMEN).

Vigo

** E.T.S.I.I. Universidad de Vigo

Resumen. Se estudia el fallo crítico de la pala y sus correspondientes pernos de sujeción en una hélice de paso variable perteneciente a un barco de pesca de altura. Por el aspecto de las superficies de fractura, su disposición y características morfológicas se atribuye éste a un fenómeno de fatiga que se ha incitado en varios puntos simultáneamente.

Abstract. In this paper, the critical failure of a ship propeller blade and they corresponding anchor bolts are studied. Due the fracture surface aspect, its disposition and morphological characteristics, is attributed to a fatiga failure that it is started in various points simultaneously.

1. INTRODUCCIÓN

En esta comunicación se estudian las causas de la rotura en servicio de una de las palas de una hélice de paso variable que pertenecía a un barco de pesca de altura. El accidente tuvo lugar con la pérdida de la pala, quedando parte de su base y los pernos de fijación en la situación que se muestra en la figura 1.

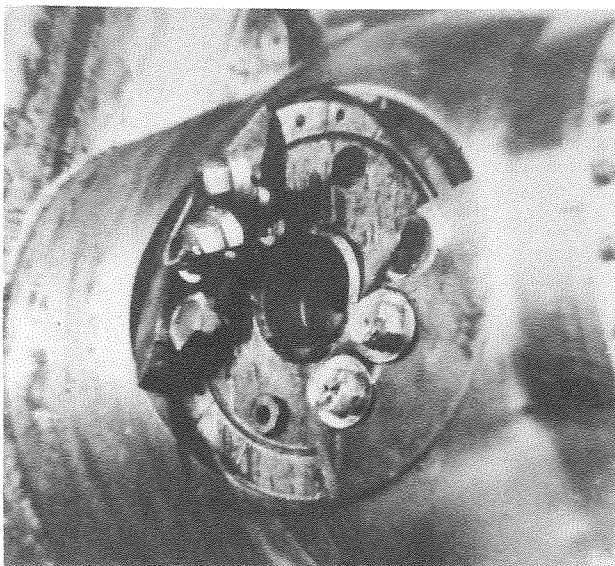


Fig. 1. Estado de la base de la pala en el núcleo de la hélice.

Para llevar a cabo el estudio se recibieron los dos trozos que se conservaron de la base y sus

correspondientes pernos, que aparecen en la fotografía de la figura 2.

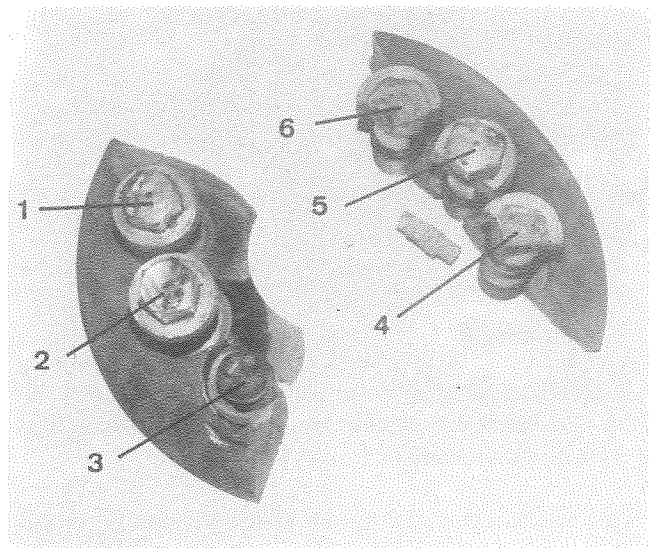


Fig. 2. Aspecto general de los trozos conservados de la base y pernos de anclaje.

Las fracturas de la pala y de los pernos, que corresponden a materiales distintos, se analizan separadamente para así poder determinar la interrelación entre ambas.

2. PALA

Está fabricada de un Bronce al Aluminio con Fe y Ni (CuAlFeNi) con composición química y propiedades

mecánicas correctas, según se ha determinado por medio de los correspondientes análisis y ensayos.

2.1 Análisis Metalográfico. Resultados y discusión.

2.1.1 Examen Macrográfico

La fotografía de la figura 3 corresponde al sector de la base de la pala que aparece a la izquierda de la figura 2.

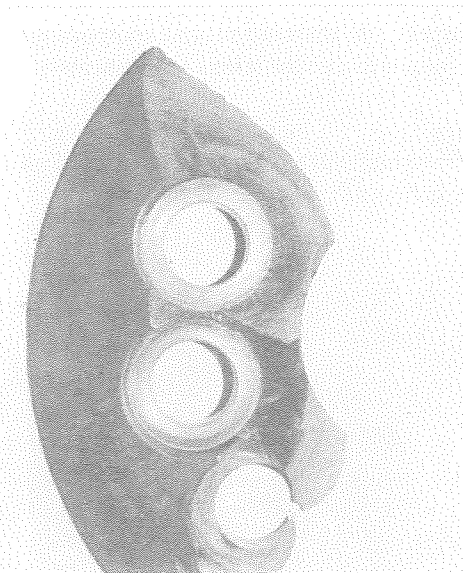


Fig. 3. Detalle de la superficie de fractura del sector de la pala que corresponde al trozo de la izquierda de la fig. 2. Marcas concoidales que parten del borde de las cajas de alojamiento de los pernos.

Las marcas concoidales, que ponen de manifiesto un proceso de fatiga, parten separadamente de los bordes inferiores de las cajas de alojamiento de las cabezas de los pernos. Su independencia es tal que los planos de fractura progresiva han llegado al borde interior a distinto nivel y se han solapado en su extremo. (Figura 4).

El radio de acuerdo en el fondo de las citadas cajas es muy pequeño ($\approx 0,6$ mm) lo que convierte a estas zonas en lugares apropiados para la iniciación de fisuras, debido a su efecto de entalla concentradora de tensiones. En la figura 5 podemos ver el perfil de una de las cajas y el ángulo vivo que forma el fondo, con un mecanizado muy irregular, con la pared cilíndrica.

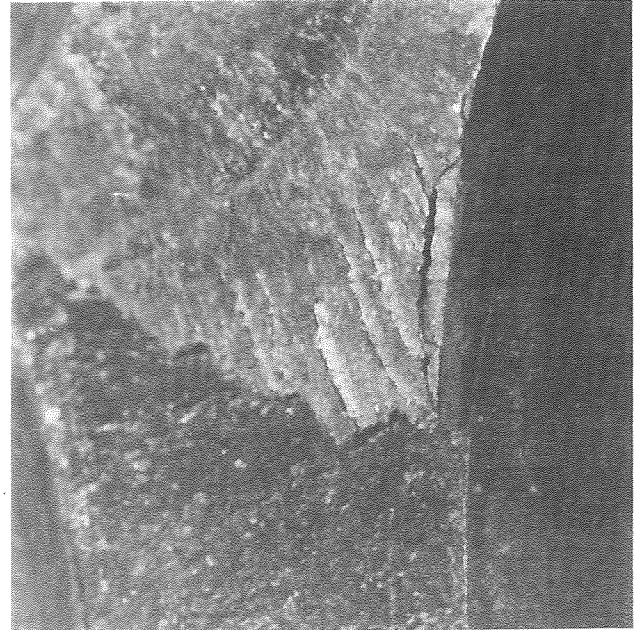


Fig. 4. Detalle del solape de las superficies de fractura iniciadas en las cajas del alojamiento de los pernos.

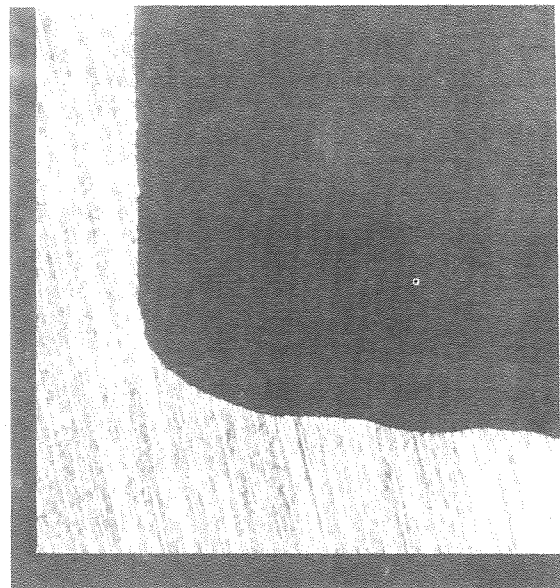


Fig. 5. 20x Perfil del fondo de la caja de alojamiento del perno.

La figura 6 corresponde al otro sector de la base de la pala (sector de la derecha de la figura 2). La superficie de fractura es muy rugosa, irregular y carente de marcas concoidales. La rotura es de desgarro y ha ocurrido súbitamente; al contrario de la del primer sector que ha sido progresiva.

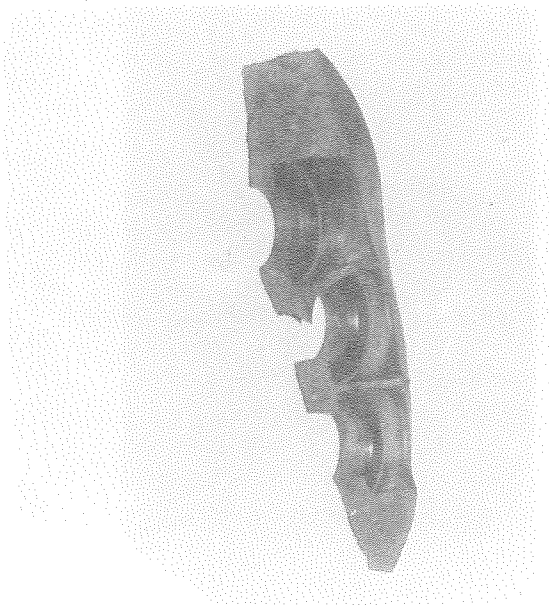


Fig. 6. Detalle de la superficie de fractura del sector derecho de la fig. 2. Superficie rugosa y falta de marcas.

2.1.2 Examen Micrográfico

En la micrografía de la figura 7 se recoge la microestructura del material. Corresponde a cristales α (blancos) en cuyo interior y límites de grano han precipitado pequeños cristales de la fase kappa. Asimismo, se observan zonas cubiertas del eutectoide $\alpha+\kappa$ que provienen de la descomposición de la fase β .

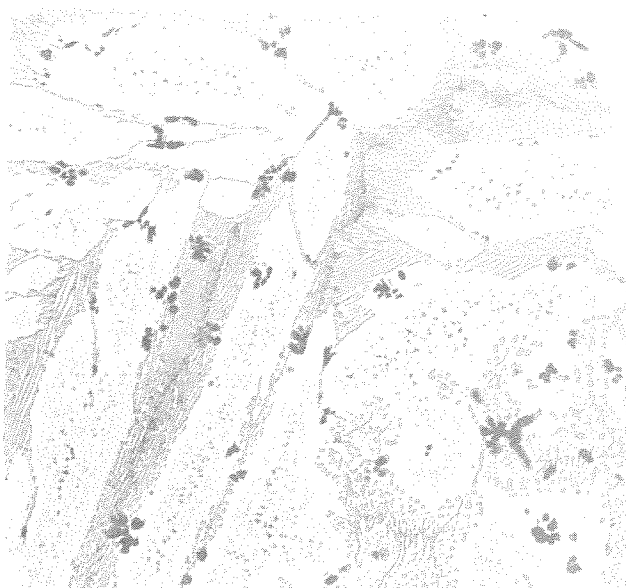


Fig. 7. 200x. Dendritas de fase α rodeadas de eutectoide $\alpha+\kappa$. (Ataque FeCl_3 en alcohol)

Los pequeños cristales negros con forma dendrítica corresponden a compuestos intermetálicos de Fe.

Todos los constituyentes metalográficos son normales en una aleación de esta composición.

3. PERNOS

Los pernos están contruidos de un Acero Inoxidable Dúplex Ferrítico-Martensítico, del tipo AISI 431. Su composición química y propiedades mecánicas fueron comprobadas por medio de los correspondientes ensayos y son correctas.

3.1 Análisis Metalográfico. Resultados y discusión.

3.1.1 Examen Macrográfico

De los seis pernos, dos tienen roturas simples en la cabeza (núms. 5 y 6) y otros dos, fracturas dobles (núms. 3 y 4). Todos ellos ponen de manifiesto marcas concoidales (Beach Marks) en zonas más o menos extensas, lo que nos indica la existencia de procesos de fatiga. Es de notar la poca extensión de éstas en los pernos rotos en la cabeza (núms. 4, 5 y 6) y el gran desarrollo de sus zonas de desgarro, con su superficie de fractura fibrosa e irregular.

El perno nº 3 merece atención especial. Tiene dos superficies independientes de fractura en la parte roscada. La primera (figura 8) ha comenzado en el fondo de un filete de rosca y se ha ido propagando hasta cubrir prácticamente toda la superficie. Se distingue muy bien el lugar de iniciación único y como sus marcas concoidales van ampliándose progresivamente.

La segunda superficie de fractura (figura 9) es del tipo de carraca (Rachet Type). Ha comenzado en varios puntos del fondo de la rosca simultáneamente y ha dejado marcas radiales bien destacadas. A pesar del deterioro posterior de la superficie de rotura podemos apreciar zonas diferenciadas en las que se ha iniciado, por fatiga, la fisuración en el fondo del filete de rosca.

El perno nº 4 presenta una fractura en la zona roscada (figura 10) y otra en la cabeza (figura 11). En ambas, las zonas con marcas concoidales de fatiga son muy reducidas. Por el contrario, la zona de desgarro es muy amplia lo que nos indica que la rotura sobrevino después de un corto tiempo de solicitaciones alternativas. La rotura de la cabeza tiene dos zonas separadas que parten de la esquina que forma la cabeza con el cuerpo. A pesar del amplio radio de acuerdo, de aproximadamente 3,5 mm, constituye un punto, aunque aminorado, de concentración de tensiones.

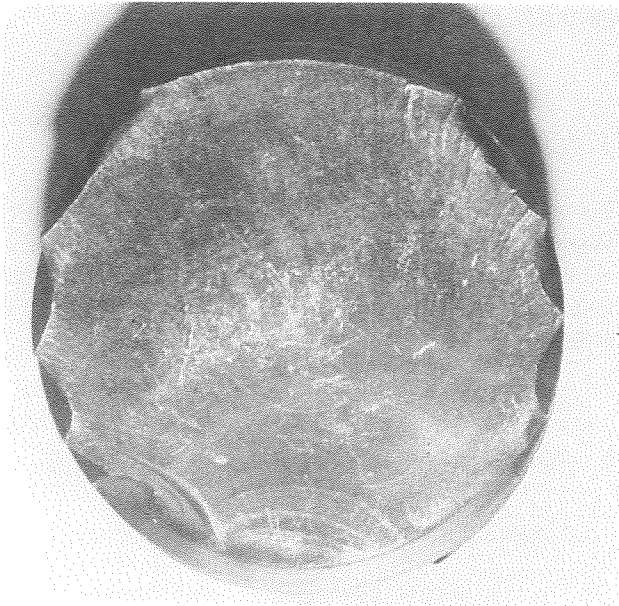


Fig. 8. Perno nº 3. Superficie de fractura en la parte inferior de la zona roscada. Marcas concoioidales que cubren toda la superficie y arrancan de la parte inferior del filete.



Fig. 10. Perno nº 4. Superficie de fractura en la zona roscada. Pequeño desarrollo de la zona rota por fatiga. Zona de desgarro muy amplia.



Fig. 9. Perno nº 3. Superficie de fractura en la parte central de la zona roscada. Fractura en "carraca" con sus características marcas radiales.

Los pernos núms. 5 y 6 rompieron, tan sólo, por sus cabezas y las zonas de fractura son similares a las de la cabeza del perno 4; esto es, pequeñas zonas de fatiga y grandes zonas de desgarro.

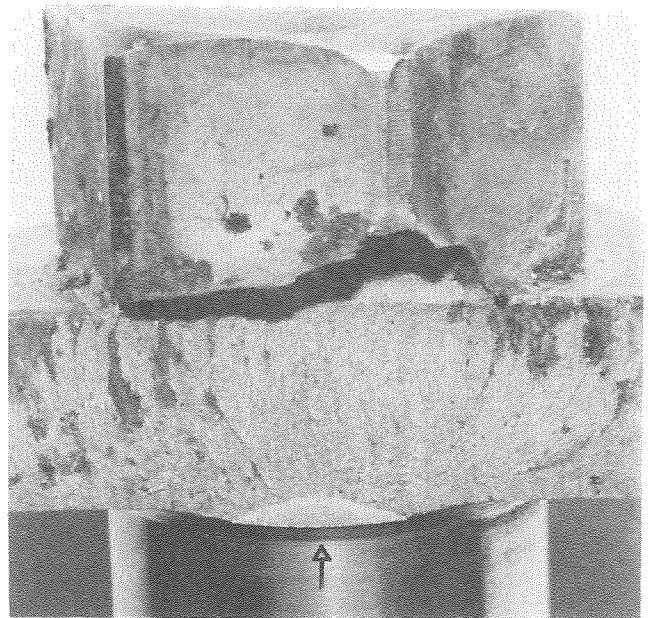


Fig. 11. Perno nº 4. Pequeña zona con marcas de fatiga y gran zona de desgarro.

3.1.2 Análisis Micrográfico

La micrografía de la figura 12 nos muestra una estructura Dúplex de Ferrita y Martensita, dispuestas longitudinalmente en el sentido de laminación. Existen pequeñas inclusiones de SMn que podemos considerar normales. No se observan defectos aparentes a los que se les pueda relacionar con el fallo.

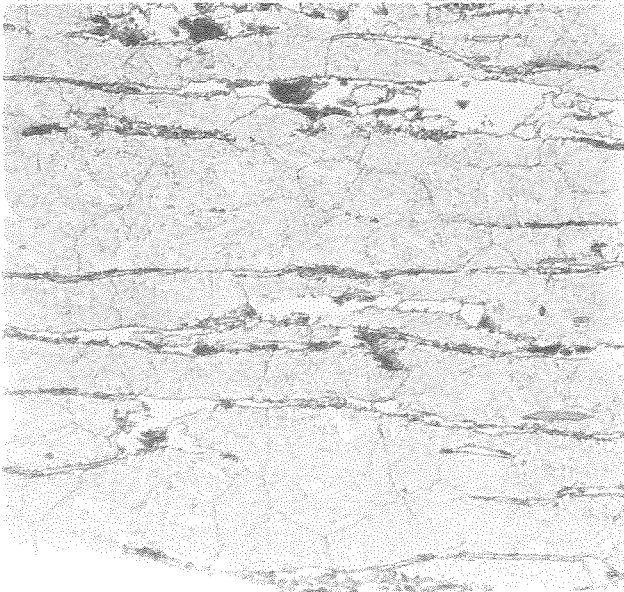


Fig 12. 200x. Ferrita y Martensita en bandas. (Ataque Vilella).

4. CONCLUSIONES

4.1. En las zonas estudiadas, no se han observado defectos aparentes tales como: grietas, inclusiones, microrechupes, etc.. Las estructuras metalográficas pueden considerarse correctas.

4.2. La pala presenta en un sector de su base una fractura progresiva de fatiga que comenzó en las esquinas de las cajas de alojamiento de las cabezas de los pernos.

En el sector opuesto la superficie de fractura indica un mecanismo de desgarro que es produjo súbitamente al ser insuficiente la sección resistente.

4.3. Los pernos también presentan superficies de fractura originadas por un proceso de fatiga muy intenso en el perno nº 3, que pertenece al sector de la pala con marcas concoidales muy acusadas, y menos intenso en los perno núms. 4, 5 y 6 en los que hay una zona muy grande de rotura por desgarro y otra muy pequeña de fatiga.

4.4 En nuestra opinión, la rotura se ha producido de la siguiente forma:

El primero en fallar fue el perno nº 3 por la primera de las secciones rotas en la parte roscada (figura 8). Su aflojamiento debido a un mal mecanizado o un incorrecto par de aprieto pudieron haber sido las causas. Como consecuencia de lo anterior, la pala comenzó a sufrir un proceso de fatiga que originó una

segunda rotura en la parte roscada del perno (figura 9) al mismo tiempo que comenzaba el proceso de agrietamiento en el fondo de las cajas de la base de la pala. A medida que estas grietas se propagaban, independientemente en cada caja, las sollicitaciones de fatiga aumentaban en los pernos de anclaje en el sector opuesto en los cuales también se iniciaron pequeñas fisuras en la parte roscada y cabeza del perno nº 4 y en las cabezas de los núms. 5 y 6.

Cuando la superficie de fractura del primero de los sectores alcanzó el borde interno, la sección resistente fue insuficiente y sobrevino la rotura por desgarro del segundo sector así como de sus correspondientes pernos.

En resumen, una fractura de fatiga que comenzó en un perno, continuó en la base de la pala y terminó con desgarro catastrófico en el sector opuesto.

5. BIBLIOGRAFÍA

[1] Heller R. A. "Probabilistic aspects of fatigue", American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

[2] Henry G. y Horstman, "De ferri metalographia, Vol.5, Fractography and Microfractography", pp 35-46, Commission of the European Communities, Düsseldorf.

[3] Pintado, J. M. "Fallos en servicio de los materiales metálicos", pp 171-176, 315-329, INTA, Madrid.

[4] Wulpi D. J. "How components fail", pp 120-161, American Society for Materials, Metals Park, Ohio, USA.

[5] Metals Handbook, Vol. 11, Failure Analysis and Prevention, ninth Edition, pp 102-135, ASM, Metals Park, Ohio, USA.