

ANÁLISIS DE DAÑOS EN RODAMIENTOS DE UNA MÁQUINA DESNATADORA

Juan M. Echarri, Pablo F. Bonvicini Menéndez, Carlos L. Llorente, Pablo D. Bilmes, Ángel Martínez, José Zuzulich.

Laboratorio de Investigaciones de Metalurgia Física (LIMF), Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC), Carrera de Ingeniería en Materiales, Dto. De Materiales, Facultad de Ingeniería UNLP, calle 1 y 47, B1900TAG, La Plata, Argentina.

*Correo Electrónico (autor de contacto): juanmanuel.echarri@ing.unlp.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El diseño de rodamientos para industrias aeroespaciales y automotrices en particular, se centra en el incremento de la vida útil de estos componentes. De la misma forma aumentan los requerimientos de los aceros, estrechando composición química y reduciendo el contenido de elementos residuales e incrementando la limpieza incursionaría [1]. Además de la elevada templabilidad de los aceros para rodamientos, otorgada por el elevado contenido de Cr entre 1,3 y 1,6%; el contenido de carbono (entre 0,95 a 1,1%) termina de definir la notable resistencia al desgaste y su excelente resistencia a la fatiga por exposición a las cargas rodantes. No solo las propiedades y la homogeneidad de la estructura del acero son decisivas para esto, sino que también diversos factores de influencia metalúrgica, como el contenido de inclusiones no metálicas, composición química, la geometría, el tamaño y la distribución de las inclusiones y carburos presentes. Las inclusiones no metálicas y los carburos primarios son frecuentemente el punto de partida para las fracturas por fatiga. Finalmente la práctica de austenizado previo al temple y el temple propiamente dicho termina de definir la posibilidad de fisuración o fragilización por temple en los aceros para rodamientos. En este sentido son relevantes el recocido de esferoidización, el austenizado previo al temple y el temple propiamente dicho dado que en esta secuencia se definen tamaño, distribución y forma de los carburos, contenido de carbono de la austenita y tensiones térmicas generadas durante el temple [2]. El diseño de cualquier componente es un proceso iterativo donde el análisis de falla juega un rol fundamental, retroalimentando los factores concurrentes al diseño y optimizándolo de modo de disminuir la frecuencia de fallas [3]. En el presente trabajo se propone realizar el análisis de daños de un rodamiento de una máquina desnatadora con el objeto de caracterizar los mismos y se recomendarán acciones futuras para disminuir el riesgo de ocurrencia de la falla.

Desarrollo y estudios realizados

Se realizaron las siguientes acciones y estudios:

- Análisis químicos.
- Análisis macrográfico y fractográfico.
- Caracterización microestructural mediante microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido analítica.
- Ensayos de dureza.

Material de estudio

Luego del servicio a la rotura de un rodamiento del tipo *SKF 7312 BECBM*[®], esquematizado en la figura 1, se analizaron a ojo desnudo las partes del mismo, se identificaron y extrajeron muestras clasificadas de la siguiente manera:

- Pista externa: PE.

- Pista interna fracturada: PI.
- Bolas.



Fig. 1 Diagrama esquemático rodamiento de una hilera de bolas de contacto angular, identificando las distintas partes que componen al mismo

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis químico y dureza

En tabla 1 se presenta la composición química de las partes.

Tabla 1. Composición química de las muestras analizadas.

Muestra	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	Al (%)	Cu (%)
PE	96,9	0,95	0,23	0,34	0,0205	0,0062	1,45	0,017	0,028	0,01	0,056
PI	96,8	1,07	0,199	0,33	0,0174	0,0053	1,48	0,005	0,0127	0,01	0,015
Bolas	96,9	0,96	0,21	0,27	0,0154	0,0066	1,41	0,009	0,03	0,02	0,05

% P/P (Espectrómetro marca Oxford Instruments, 2013– Germany)

El material de estos componentes se corresponde con un acero al cromo de elevada templabilidad del tipo SAE 52100 (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química para la designación AISI/SAE 52100.

Designación	Fe (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Mo (%)	Ni (%)	Al (%)	Cu (%)
SAE 52100	Bal.	0,93-1,05	0,15-0,35	0,25-0,45	0,025 máx.	0,015 máx.	1,35-1,60	0,10 max	-	0,050 máx	0,30 máx

Análisis Macrográfico y Fractográfico

En las figuras 2 y 3 se vuelcan las pistas externas e internas del rodamiento mostrando fuertes signos de desgaste por rodadura con falla de lubricación. Los cambios de coloración están asociados a incrementos de la temperatura en servicio y en el proceso de falla (daño por recalentamiento) [4,5]



Figs. 2 y 3. Aro interno (fracturado) y externo del rodamiento analizado (PI y PE).

En las figuras 4 y 5 se observan los daños sobre la pista del aro externo PE. Se destaca la presencia de partículas foráneas incrustadas, atribuibles al ingreso de cuerpos extraños que en el empaquetamiento del rodamiento. Este signo está asociado a un daño por contaminación.

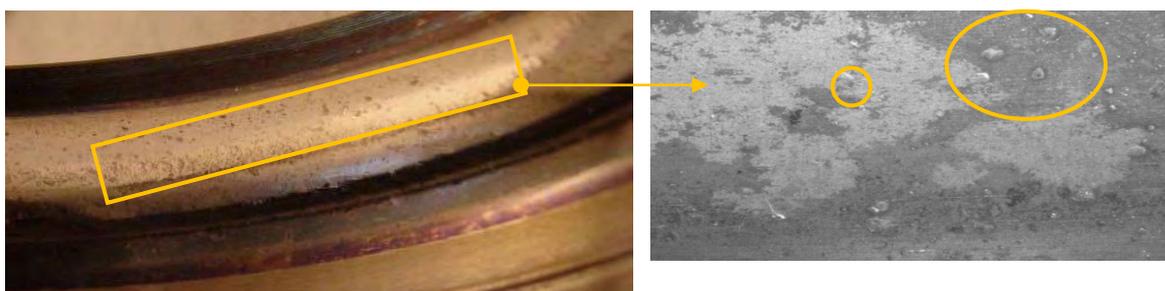


Fig 4 y 5. Signos de daño por contaminación sobre la pista del aro externo (PE).

En las figuras 6 y 7 se muestra el daño sobre la pista de rodadura del aro externo PE. Sobre la misma se observan marcas elípticas de desgaste en la dirección axial, en las posiciones que ocupan los elementos rodantes (bolas). Este es un signo de daño conocido como *False Brinelling* (o *freting-corrosion*: un tipo de microdesgaste adhesivo que ocurre entre dos superficies bajo carga y vibraciones, en un medio corrosivo para el caso en estudio). También se destaca la presencia de indentaciones (figura 18 – círculo amarillo) como resultado del ingreso de partículas extrañas al rodamiento que se ciclan en la pista. Lo observado se corresponde con un signo de daño por contaminación.



Figs. 6 y 7. Daño observado sobre la pista de rodadura del aro externo PE.

En la figura 8 se observa una de las partes del aro interno PI fracturado. En la figuras 9 se muestra el detalle de la superficie de fractura. Se observan características típicas de una fractura intergranular (con facetas de bordes de grano). Este tipo de fractura es atípica en la condición microestructural adecuada para el servicio (estado de temple y revenido); por lo que se considera que la microestructura, asociada a esta forma de fractura, sufrió una fragilización severa por los daños del servicio [3]. Dicho deterioro es apreciable en la caracterización microestructural de estas partes.

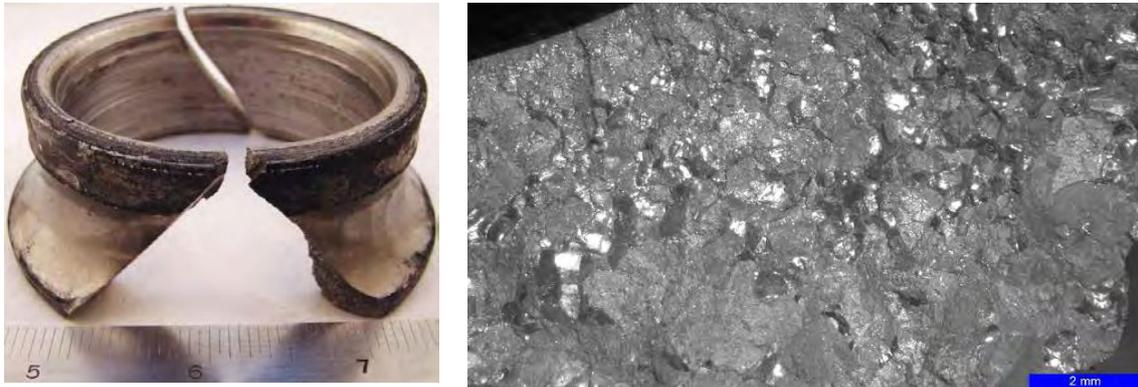


Fig. 8 y 9. Aro interno PI fracturado. Detalle de superficie de fractura.

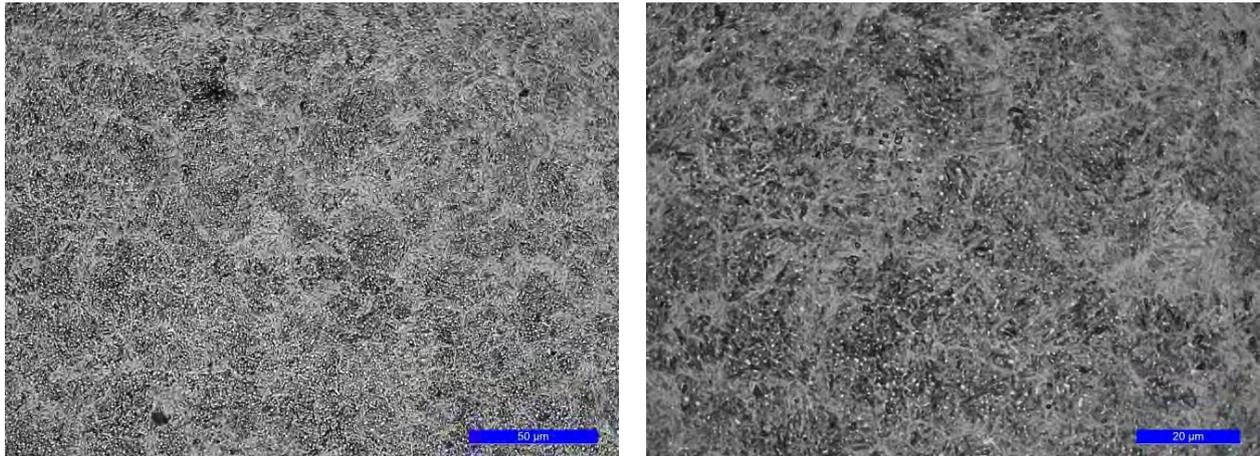
En la figura 10 y 11 se muestran dos bolas con diferentes signos de daño. Todas presentan desprendimiento de material, signo característico de fatiga de contacto con presencia de partículas contaminantes (daños por la combinación de altas cargas e inadecuada y/o contaminada lubricación). Se destaca el cambio de coloración (figura 11) signo de falla en la lubricación que provoca un desgaste excesivo y recalentamiento.



Fig. 10 y 11. Daño en las bolas de rodadura con signos de recalentamiento, fatiga de contacto y contaminación por partículas foráneas.

Caracterización microestructural

En las figuras 12 y 13 se presentan imágenes de la microestructura revelada en los aros externos y las bolas de rodadura. Esta consiste en martensita revenida con carburos esferoidizados, lo típico del acero SAE 52100 con un tratamiento de temple y revenido, que es lo requerido para este material en estado de revenido a baja temperatura.



Figuras 12 y 13. Microestructura encontrada en los aros externos y bolas de rodadura. Fotos a 500x y 1000x

Así mismo se documentó en la pista interna la presencia de una estructura de temple, propia del recalentamiento que sufrió el material (cercana a la temperatura de austenizado seguido de un enfriamiento brusco: mezcla de bainita inferior y martensita en láminas, con bordes de grano tapizados de bainita inferior), ver figuras 14 y 15.

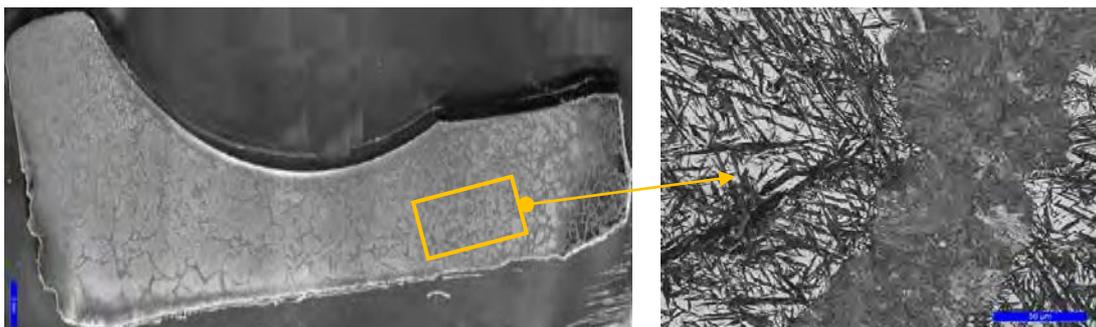


Fig. 14 y 15. Detalle microestructura sobre pista de rodadura. Lupa a 1x (regla de 2 mm). La imagen en MO está tomada a 500x (regla 50 µm).

Ensayo de dureza

Sobre los aros externos e internos se efectuaron ensayos de dureza Rockwell C. La dureza Rockwell C promedio resultó ser de 60 HRC. Este valor es típico de este material en este tipo de componentes (temple y revenido a baja temperatura) [6].

CONCLUSIONES

Ambos rodamientos, en sus diferentes partes constitutivas (pistas externas, internas, jaulas y bolas) presentan claros signos de daños por recalentamiento, por contaminación de partículas foráneas, desgaste adhesivo, abrasivo y fatiga de contacto. Estos daños son representativos de una condición de servicio de alta exigencia mecánica en la que falló la lubricación (inadecuada, escasa o insuficiente, contaminada con partículas sólidas y quizá con soluciones acuosas, etc.).

Los materiales de las partes constitutivas de ambos rodamientos son los normalmente especificados para estas aplicaciones y se encuentran en la condición microestructural y de propiedades mecánicas, apropiadas para este tipo de servicios.

REFERENCIAS

- [1] Bhadeshia, H. K. D. H. (2012). Steels for bearings. *Progress in materials Science*, 57(2), 268-435.
- [2] Cappel, J., Weinberg, M., & Flender, R. (2004). The metallurgy of roller-bearing steels. *Steel Grips*, 2, 261-268.
- [3] *Failure Analysis and Prevention*, ASM Handbook, Volume 11, 2002, ASM International.
- [4] Harris, T. A. (2001). *Rolling bearing analysis*. John Wiley and sons.
- [5] "Heat Treater's guide, Standard Practices and Procedures for Steel". ASM, 1994.