

## CONOCIMIENTO EN MOVIMIENTO EL BOLETÍN TÉCNICO DE NSK

### NSK TF Tough Steel™ para Condiciones Severas

El Concepto NSK de vida útil optimizada para ambientes contaminados es único en la industria de rodamientos. El Equipo de Investigación de NSK fue el primero a reconocer la relación entre la austenita retenida y la vida de fatiga en ambientes contaminados.

#### Controlando la falla de rodamientos en ambientes contaminados

Los rodamientos en los ambientes limpios operan con grasa limpia o aceite filtrado, y eventualmente pueden fallar en razón de la fatiga subsuperficial, caso sea instalado correctamente. Los rodamientos sometidos a un ambiente contaminado, fallan en razón de la fatiga originada en la superficie. Fue comprobado que el acero más puro es eficaz en el aumento de la vida útil de los rodamientos que operan en ambientes limpios, mientras los rodamientos sellados, son eficaces para mejorar la vida útil en condiciones de contaminación.

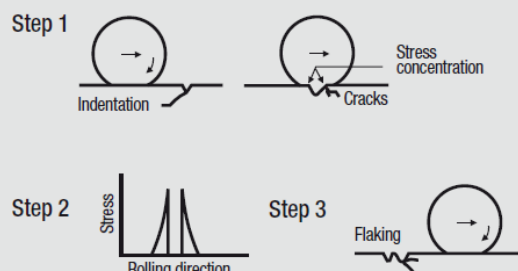
Los detritos en los rodamientos provenientes de la industria de minería, acero, cementos y agregados, generan fatiga superficial y provocan una vida útil más corta. Rodamientos sellados utilizan sellado con contacto para evitar la entrada de contaminantes, pero lamentablemente estos no son viables en todas las aplicaciones, y las unidades selladas no siempre protegen contra los detritos. Para estas aplicaciones los rodamientos Tough Steel™ son necesarios.



#### La Descamación generada por fatiga superficial

Diversos tipos de contaminantes pueden causar indentaciones en las pistas de los rodamientos. La concentración de tensión es alta en los bordes de las indentaciones, causando fatiga y daños al rodamiento.

Figure 1: Origin of Surface Originated Flaking



## La Descamación es generada por fatiga superficial

La siguiente ecuación, describe la concentración de estrés en los "bordes" de una indentación. La proporción del esfuerzo de cizalladura máximo  $t_c$  en la indentación para la presión de contacto,  $p_o$ , en el caso de que no haya indentaciones es la siguiente:

$$t_c / p_o = a_1 (Co) a^2$$

Onde,  $a_1 = 0.22$  e  $a^2 = -0.24$

$Co$ , es definido como factor de severidad de la ranura, es encontrado usando la ecuación.

$$Co = (\pi^2 p_o / E^0) (r/c)$$

$r$  = rayo del borde de la marca, mm  
 $c$  = mitad del ancho de la marca, mm

$p_o$  = presión de contacto, N/mm<sup>2</sup>  
 $E^0$  = Modulo de Young, N/mm<sup>2</sup>

En la ecuación, el formato de la indentación ( $r$  y  $c$ ), aplica una fuerte influencia en la vida de fatiga, un valor  $r/c$  mayor promueve vida más larga en razón de la menor concentración de tensión en el borde de la indentación.

Figure 2: Enlarged View of Indentation Caused by Contamination

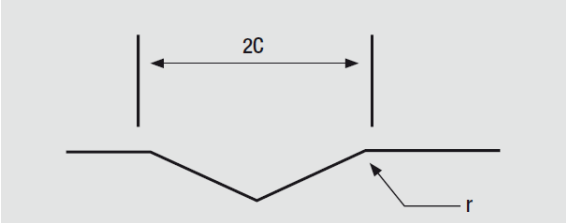
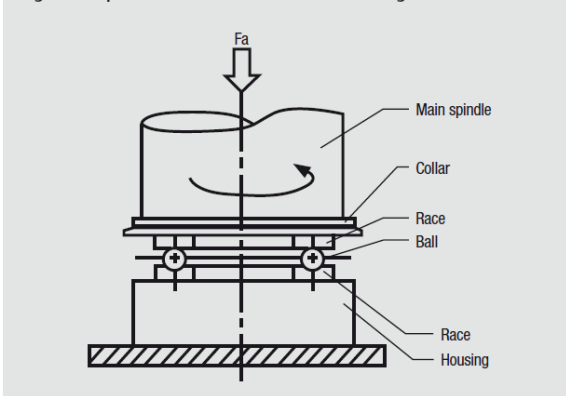


Figure 3: Spindle Section of the Thrust Bearing Test Machine



## Evitando Indentaciones y Factor Material

Las siguientes experiencias fueron realizadas para aclarar la relación entre el contorno de indentación ( $r/c$ ) y el porcentaje de austenita retenida. Esto fue hecho en una máquina de pruebas de rodamientos axiales, usada para la evaluación de vida de fatiga en contacto continuo. La sección del diseño de esta máquina, se muestra en la **fig. 3**.

### Procedimiento de Prueba

1. Las piezas de prueba de puntal simple, que presentaron una amplia gama de dureza y austenita retenida, fueron preparadas a partir de una variedad de materiales y procesos de tratamiento térmico.
2. Una indentación Vickers fue hecha en cada pista de prueba.
3. Los valores  $r$  y  $c$  fueron medidos.
4. Cada pieza fue ajustada en la máquina y sumergida en baño de aceite; la carga especificada fue aplicada por esferas, rodando sobre la indentación.
5. Este contorno fue mapeado tras la remoción de la pieza de la máquina de prueba.

El análisis de  $r/c$  y ciclos mostró que el valor se estabiliza después de 3000 ciclos. Los resultados muestran que tras un minuto (3000 ciclos) de prueba, el valor  $r/c$  aumenta con las piezas de mayor austenita retenida. El límite superior de austenita retenida se rige por la estabilidad dimensional y será mencionado más adelante en este artículo.

La prueba fue realizada en tres conjuntos, de diferentes muestras. En el primero había muestras conteniendo un 32% de austenita retenida, con valor de dureza Hv802; el segundo, el 33% de austenita retenida y valor de dureza Hv716; y el tercero, con muestras con el 10% de austenita retenida y valor de dureza Hv739. Al comparar la primera muestra con la segunda y tercera, se reveló que el estrés repetido produjo un valor  $r/c$  mayor en materiales más duros que en materiales más blandos.

También fue observado que el alivio de estrés en el material más blando y con un nivel más bajo de austenita retenida es casi finalizado dentro de un tiempo corto de pocos ciclos. El material más duro y con mayor nivel de austenita siguieron aumentando el valor de  $r/c$  con ello el alivio de estrés.

## Requisitos del Nuevo Material

Como la austenita retenida es blanda, resulta difícil producir una pieza con alta dureza y alto volumen de austenita retenida. Así, fueron creadas nuevas especificaciones de acero, como procesos innovadores de tratamiento térmico para superar los requisitos, aumentando la cantidad de cromo, resultando en mayor número de carburos finos, distribuidos en la matriz del material.

Los procesos de tratamiento térmico convencionales aún no alcanzaron las propiedades exigidas, como por ejemplo, los rodamientos cementados, ya que los resultados de vida son semejantes en ambientes contaminados. Los nuevos procesos de tratamiento fueron desarrollados para refinar carburos tras la cementación.

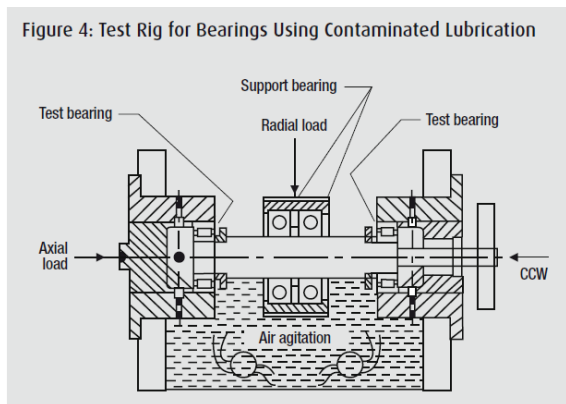
Con base en estos resultados, las especificaciones de ToughSteel™ fueron formuladas, con el siguiente contenido elemental:

C	Si	Mn	Cr
0.42%	0.39%	1.24%	1.23%

## Vida de fatiga en Prueba

Otra prueba realizada fue en condiciones de lubricación contaminada, los resultados indican que un controlado aumento en el volumen de austenita retenida lleva una vida más prolongada. Si el volumen de austenita retenida es mantenido pero su dureza es elevada, sería posible una vida aún más larga. Para verificar estos parámetros, fueron

preparados y probados los rodamientos con lubricación contaminada. (fig. 4).



Los rodamientos en esta prueba utilizaban aceite de engranaje contaminada. La contaminación fue completamente mezclada al aceite para pasar por el rodamiento de prueba. La temperatura del aceite fue controlada para mantener la viscosidad. Los rodamientos ToughSteel™ funcionaron con éxito en una vida útil entre 7 a 11 veces más prolongada que los rodamientos de rodillos cónicos templados convencionalmente.

Los resultados para los rodamientos fijos de esferas mostraron que ToughSteel™ tiene vida útil 6 veces superior a rodamientos de esfera convencionales.

## Progresión de fatiga

Para analizar la vida útil de los rodamientos ToughSteel™, se realizaron las siguientes pruebas utilizando la máquina de pruebas, donde durante las pruebas de vida el progreso de la fatiga en la superficie de la pista fue medido tras determinado intervalo usando "Análisis de fatiga". Este análisis es un método desarrollado por NSK.

Usando tecnología de difracción de rayos X, se determinó el progreso de la fatiga del material de forma semi cuantitativa, a medida que la fatiga avanza, ocurre un cambio en la estructura cristalina martensita y la austenita retenida se convierte en martensita. Midiendo ambos factores con rayos-X, es posible determinar el tipo de fatiga (superficial o sub superficial) y la etapa en el progreso de la fatiga. Cualquier inspección destructiva o no destructiva puede ser realizada en el "Análisis de fatiga".

Después de un intervalo en cada prueba, se realizó una inspección no destructiva. Esta inspección usaba rayos X en los contactos del rodillo y se confirmaron cambios en la estructura del material.

Tras la prueba de vida, una inspección destructiva fue hecha usando un análisis con rayos-X. Esto requiere la remoción de capas finas del material de rodamiento en la región de la indentación y registro de los cambios de la estructura del material dentro del rodamiento. Esta investigación reveló que, bajo las mismas condiciones de carga y ambientales, los rodamientos ToughSteel™ exhiben una progresión más lenta de la fatiga que los rodamientos convencionales.

La prueba se inició con una indentación estándar y fue ejecutada hasta que ocurrieran descamaciones en la pista; esto fue hecho presionando una pirámide Vickers en la superficie, entonces el contorno de la indentación fue medido.

Enseguida, el rodamiento fue cargado y la prueba de vida realizada con lubricación limpia. En algún intervalo, los rodamientos eran removidos de la prueba y la superficie era observada con un microscopio, el contorno de la indentación era medido, este proceso fue repetido hasta que ocurrió la descamación.

NSK observó el punto de partida de las grietas y descamación tanto en ToughSteel™ como en rodamientos convencionales. En rodamientos ToughSteel™ las grietas poseen su surgimiento y progresión más lentos.

Los resultados revelaron que los rodamientos ToughSteel™ poseen un rayo de borde mayor en las indentaciones que los convencionales, también mostraron que los rodamientos ToughSteel™ tienen mayor vida en condiciones contaminadas, ya que existe menor concentración de estrés en el borde de la indentación. Esta diferencia en la forma del rayo es la razón de que ToughSteel™ tenga mayor vida en ambientes contaminados.

### Resistencia al Desgaste y Recalentamiento

Los rodamientos ToughSteel™ poseen una gran cantidad de carbonos finos, que proporcionan mayor resistencia al desgaste y mayor resistencia al recalentamiento. Los resultados de la prueba de la tasa de desgaste y límite al recalentamiento fueron determinados por una máquina de pruebas del tipo Sawin específicamente usada para evaluar resistencia al desgaste.

Los resultados mostraron que los rodamientos ToughSteel™ presentaron también menor desgaste y límite de temperatura que los convencionales, a través de materiales endurecidos. Aunque la carga utilizada parezca pequeña, la presión de contacto máxima es de 98N/mm<sup>2</sup>. La máquina de prueba del tipo Sawin fue usada porque puede simular una condición sin lubricantes. Esto es válido para ayudar a identificar el punto de cambio del desgaste liviano al desgaste severo, reconocido como límite del recalentamiento.

### Estabilización Dimensional

Otra característica importante del material del rodamiento es la estabilidad dimensional. Varios rodamientos de rodillos cónicos que pasaron por pruebas utilizando ToughSteel™ se mantuvieron endurecidos, donde el diámetro externo del rodamiento L44610 usado para esta prueba es de 50.292 mm.

Muestra de cinco diferentes tipos de materiales fueron mantenidas en un horno a 130°C, durante 4000 horas, y después los diámetros externos de los rodamientos fueron medidos. Otro conjunto de muestras con otros cinco tipos de materiales se mantuvo en un horno a 170 °C, durante 1000 horas. Los diámetros externos de los rodamientos fueron medidos, la estabilidad dimensional de ToughSteel™ está entre los rodamientos templados y cementados.

Los resultados de los rodamientos templados, cementados y con carbonitruración, fueron comparados al ToughSteel™. El rodamiento cementado mostró resultados semejantes, pero el rodamiento carbonitrurado mostró una expansión muy grande del anillo externo en ambos rangos de temperatura.

### Conclusión

1. Para rodamientos en aplicaciones con lubricación contaminada, como se ve en minería, siderúrgica, agregados y cementos, un material con alto volumen de austenita retenida y alta dureza proporciona mayor vida útil.

2. Para obtener las propiedades necesarias, las nuevas especificaciones de acero y tratamientos térmicos controlados fueron desarrollados e implementados para producir el nuevo acero ToughSteel™.

3. Los rodamientos ToughSteel™ tienen vida útil 6 veces mayor que los rodamientos convencionales, bajo las mismas condiciones de contaminación y carga.

4. Los rodamientos ToughSteel™ tienen una velocidad más lenta de progreso de fatiga. El surgimiento de indentación es postergado y la propagación de grietas en los bordes de indentación es más lento.

5. Los rodamientos ToughSteel™ tienen vida útil 8 veces superior a los rodamientos convencionales, cuando comparados en una prueba real de vida útil.

6. Los rodamientos ToughSteel™ ofrecen ventajas tanto en la resistencia al desgaste como la resistencia al recalentamiento.

7. La estabilidad dimensional está entre dos materiales templados y de materiales cementados.

1. Murakami, Y. and Matsumoto, Y. "Study of Long Life Bearing Materials" Preprints of JAST Tribology Conference, Okayama, (1988) 297 - 300. [in Japanese]  
2. Chiu, Y.P. and Liu, J.Y. "An Analytical Study of the Stress Concentration Around a Furrow Shaped Surface Perfect in Rolling Contact," Trans. ASME, JOLT, (1970) 258-263.  
3. Tanaka, E., Furumura, K. and Ohkuma, T. "Highly Extended Life of Transmission Bearings of Sealed-Clean Concept," SAE Paper 830570 (1983).  
4. Yasuo Murakami and Takaaki Shiratani "Fighting Debris: Increasing Life with HTF Bearings for Transmissions," SAE Paper No. 940728 (1984)