

Acero NSK TF Tough Steel para condiciones de trabajo severas

El concepto de larga vida útil de NSK en entornos contaminados es único en la industria de los rodamientos. Las investigaciones de NSK nos han permitido ser los primeros en identificar la relación entre la austenita retenida y la vida a fatiga en entornos contaminados.

Control de Fallos de Rodamientos en Entornos Contaminados

Los rodamientos bajo entornos limpios trabajan con grasa muy limpia o con lubricación por aceite altamente filtrado y con el tiempo fallan por fatiga subsuperficial si se instalan correctamente. Los rodamientos bajo entornos contaminados fallan por fatiga superficial. Se ha demostrado que aceros con mayor pureza son más eficaces para alargar la vida a fatiga de los rodamientos que funcionan en entornos limpios, mientras que los rodamientos sellados son más adecuados bajo entornos contaminados.

Los residuos en los rodamientos son un problema común en la industria de la minería, agregados, acero y cemento. Estos residuos generan fatiga superficial y reducen la vida del rodamiento. Los rodamientos sellados usan un sellado de contacto para evitar que los residuos perjudiciales penetren en el rodamiento. Desafortunadamente, los rodamientos sellados no son factibles en todas las aplicaciones o los sellos no siempre son efectivos. Los rodamientos fabricados con acero Tough Steel son los más adecuados para esas aplicaciones.

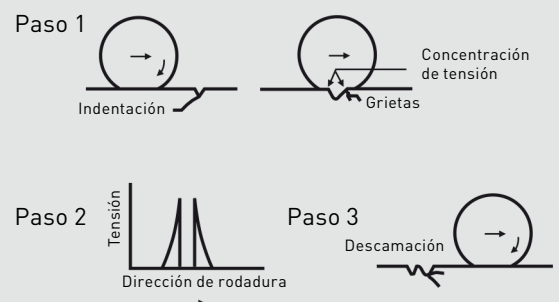


Proceso de Descamación Superficial

Son varios los tipos de residuos que pueden generar indentaciones en los caminos de rodadura de los rodamientos. La tensión por contacto es extremadamente alta en los bordes de las indentaciones y el daño por fatiga se produce a un ritmo acelerado (Fig. 1).



Figura 1: Descamación originada en la superficie



Proceso de Descamación Superficial

La siguiente ecuación describe la concentración de estrés en el codo de una indentación². La relación entre la tensión máxima de cizallamiento t_c en la indentación y la presión de contacto nominal, p_o , si no hay indentaciones, es la siguiente:

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

Donde, $a_1 = 0,22$ y $a^2 = -0,24$

Co es el factor de gravedad del surco y se calcula por medio de la siguiente ecuación.

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

r = radio del codo del surco, mm

c = valor de la mitad de anchura del surco, mm

p_o = presión nominal de contacto, N/mm²

E^o = módulo de Young reducido, N/mm²

En la ecuación anterior, la forma de la indentación, en términos de r y c (**Fig. 2**), ejerce una fuerte influencia en la vida a fatiga del rodamiento. Un valor r/c más alto incrementa la vida del rodamiento por la menor concentración de tensión en el borde de la indentación.

Figura 2: Vista ampliada de la indentación causada por contaminación

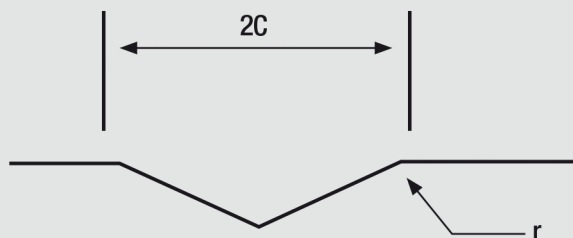
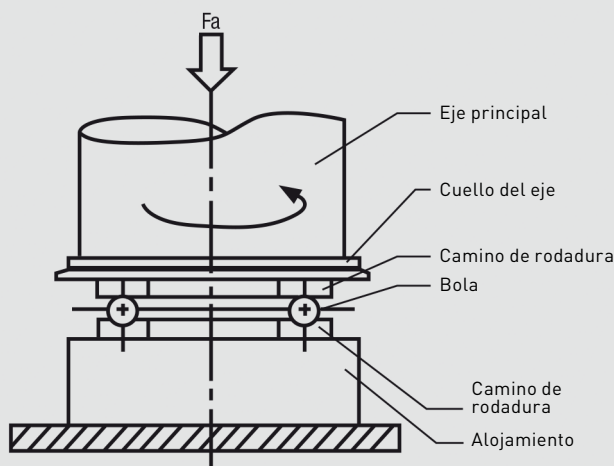


Figura 3: Sección del eje del Banco de Pruebas para Rodamientos axiales



Contorno de la indentación y Factor del Material

Los siguientes experimentos se realizaron para determinar la relación entre el contorno de la indentación (relación de r/c) y el porcentaje de austenita retenida. Todo ello se realizó en un banco de pruebas para rodamientos axiales que se utiliza para evaluar la vida a fatiga por contacto de rodadura. En la **Fig. 3** se muestra la sección del husillo del banco de pruebas de rodamientos axiales con la muestra de prueba.

Procedimiento de la Prueba

1. Las piezas de prueba tipo arandela, que tenían altos valores de dureza y de austenita retenida, se prepararon a partir de una gran variedad de materiales y procesos de tratamiento térmico.
2. Se realizó una indentación Vickers en cada uno de los caminos de rodadura de prueba.
3. Se midieron los valores r y c creados por la indentación.
4. Cada camino de rodadura de prueba se colocó en el banco de pruebas y se sumergió en un baño de aceite limpio. Se aplicó tensión rodando bolas de acero sobre la indentación con una carga específica.
5. Tras retirar la pieza del banco de pruebas, se trazó el contorno de la indentación.

El análisis de r/c frente a los ciclos en la prueba anterior mostró que r/c se estabilizó después de 3.000 ciclos. Los resultados de la prueba anterior mostraron que después de un minuto de test (3.000 ciclos), el valor de r/c aumenta juntamente con mayores porcentajes de la austenita retenida. El límite superior de la austenita retenida se rige por la estabilidad dimensional y se menciona más adelante en este documento.

A continuación se realizó la prueba con tres grupos diferentes de muestras. El grupo UNO tenía muestras con un 32% de austenita retenida y dureza Hv802. El grupo DOS tenía muestras con un 33% de austenita retenida y dureza Hv716. El grupo TRES estaba formado por muestras con un 10% de austenita retenida y dureza Hv739. Al comparar el grupo UNO con los grupos DOS y TRES, se constató que el estrés repetido generó un valor r/c más alto en los materiales más duros que en los materiales más blandos.

También se observó que la relajación de estrés para el material más blando con un nivel más bajo de austenita se completa casi por completo en un tiempo relativamente corto de unos pocos miles de ciclos. El material más duro con niveles más altos de austenita continuaron con el proceso de relajación de estrés por más tiempo debido a que el valor r/c seguía aumentando.

Requisitos para los nuevos materiales

Debido a que la austenita retenida es blanda en si misma, es difícil producir piezas con alto grado de dureza y alto volumen de austenita retenida. Por lo tanto, se necesitaban aceros con nuevas especificaciones. Se crearon tratamientos térmicos innovadores para cumplir con los requisitos especiales del acero. Todo ello se consiguió aumentando el contenido en cromo del acero, lo que dio como resultado un mayor número de carburos finos o carbonitruros distribuidos por la estructura del material.

Los tratamientos térmicos convencionales no pueden alcanzar las propiedades requeridas del material. Se consideran convencionales los rodamientos carburizados o templados, ya que los resultados de vida son similares en entornos contaminados. Se desarrollaron nuevos tratamientos térmicos para refinar los carburos o carbonitruros después de la carburación o carbonitruración.

Basándose en los resultados de este estudio, nuevas especificaciones se formularon para el acero Tough Steel. Estas especificaciones incluyen los siguientes elementos clave:

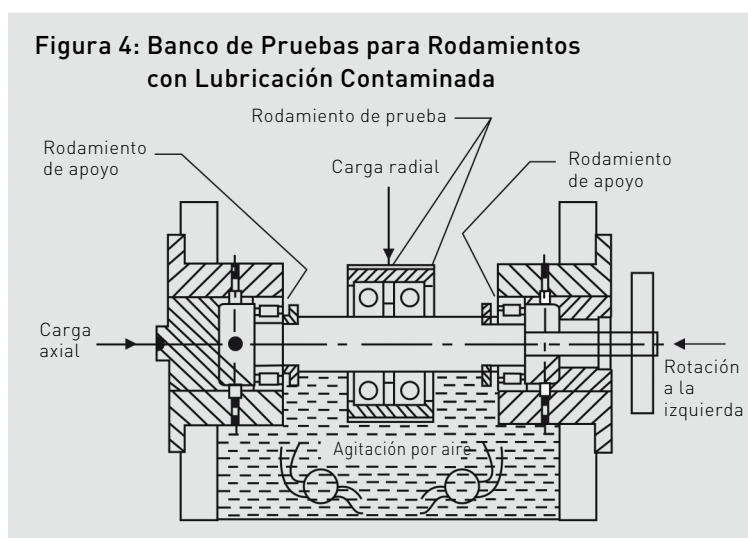
C	Si	Mn	Cr
0.42%	0.39%	1.24%	1.23%

Test de Vida a Fatiga

Se realizó otra prueba con rodamientos axiales bajo condiciones de lubricación contaminada. Los resultados indicaron que un aumento controlado en el volumen de austenita retenida alarga la vida del rodamiento. Por otro lado, manteniendo el volumen de austenita retenida y aumentando la dureza, se consigue una vida aún mayor.

Para probar de nuevo los parámetros exigidos del material, se construyeron rodamientos con estos materiales y se probaron con lubricación contaminada.

En la **Fig. 4** se puede apreciar el banco de pruebas utilizado para esta evaluación. A los rodamientos de esta prueba se les aplicó aceite para engranajes contaminado. Los elementos



contaminantes se mezclaron por completo con el aceite permitiendo que la mezcla pasara a través del rodamiento de prueba. Se controló la temperatura del aceite para mantener la viscosidad. Los rodamientos con acero Tough Steel trabajaron sin problemas con una vida de 7 a 11 veces superior a los rodamientos carburizados o templados convencionales.

Los resultados de las pruebas de vida de los rodamientos de bolas de ranura profunda muestran que los rodamientos con acero Tough Steel tienen una vida 6 veces superior a la de los rodamientos de bolas convencionales.

Progresión de la Fatiga

Para analizar la superior vida útil de los rodamientos con acero Tough Steel, se realizaron las siguientes pruebas utilizando el banco de pruebas de tamaño mediano. Durante estas pruebas de vida, se midió la progresión de la fatiga superficial del camino de rodadura después de un cierto intervalo por medio del Análisis de fatiga. Este Análisis de fatiga es un método original desarrollado por NSK.

Por medio de la tecnología de difracción de rayos X, NSK determinó progresión de la fatiga en el material de manera semicuantitativa. A medida que avanza la fatiga, se produce un cambio en la estructura cristalina de la martensita y la austenita retenida se convierte en martensita. Al medir ambos factores por medio de rayos X, es posible determinar el tipo de fatiga (superficial o subsuperficial) y el estadio en el que se encuentra la fatiga. En el análisis de fatiga se pueden utilizar tanto ensayos destructivos como no destructivos.

Después de la prueba de vida, se realizó un ensayo destructivo con rayos X. Se retiraron capas muy finas de material de la superficie del rodamiento y se evaluaron los cambios detectados en la estructura del material.

Esta investigación reveló que bajo las mismas condiciones de carga y condiciones ambientales, los rodamientos con acero Tough Steel mostraron una progresión de la fatiga más lenta que los rodamientos convencionales.

La prueba comenzó con una indentación tipo y se mantuvo hasta que se produjo una descamación en el camino de rodadura del rodamiento. Ello se realizó presionando un punzón Vickers en la superficie. Luego se midió el contorno de la indentación.

A continuación, se aplicó carga al rodamiento y se realizó un test de vida con lubricante limpio. A cierto intervalo, el rodamiento se retiró del banco de pruebas. Se observó la superficie con un microscopio y se midió el contorno de la indentación. Este proceso se repitió hasta que se produjo descamación.

A continuación, NSK determinó el punto de inicio de la grieta y el área de descamación tanto en los rodamientos fabricados con acero Tough Steel como en los rodamientos convencionales. La grieta del rodamiento fabricado con Tough Steel tardó más en aparecer y la progresión de descamación se ralentizó.

Los resultados de las pruebas revelaron que los rodamientos con acero Tough Steel mostraban un radio del codo de las indentaciones mayor que en los rodamientos convencionales. Los resultados demostraron que los rodamientos con acero Tough Steel tienen una vida mayor en entornos contaminados, al haber menor concentración de estrés en el codo de la indentación. Esta diferencia en la forma del radio es la razón por la que los rodamientos fabricados con acero Tough Steel tienen una vida mayor en entornos contaminados.

Resistencia al desgaste y límite de agarrotamiento

Los rodamientos fabricados con acero Tough Steel contienen gran cantidad de carburos finos y carbonitruros que les dotan de una mayor resistencia al desgaste y a los agarrotamientos. Los resultados de la prueba del índice de desgaste y el límite de agarrotamiento se determinaron mediante un banco de pruebas tipo Sawin que se usa específicamente para evaluar la resistencia al desgaste.

Los resultados mostraron que los rodamientos con acero Tough Steel presentaban un menor desgaste y un límite de agarrotamiento más alto que los rodamientos convencionales, ya sean templados o carburizados. Aunque la carga utilizada puede parecer pequeña, la presión máxima de contacto con la superficie es de 98 N/mm². Se usó el banco de pruebas tipo Sawin porque también puede simular condiciones de no lubricación. Todo ello sirve para ayudar a identificar el punto de cambio de desgaste leve a desgaste severo que se conoce como límite de agarrotamiento.

Estabilidad Dimensional

Otra característica importante del material de un rodamiento es su estabilidad dimensional. Se probaron varios rodamientos de rodillos cónicos con acero Tough Steel, para compararlos con otros templados y carburizados. El diámetro exterior del rodamiento L44610 utilizado para esta prueba era de 50,292 mm.

Varias muestras de cinco tipos de materiales se colocaron en un horno a 130 °C durante 4.000 horas y luego se midieron los diámetros exteriores de los rodamientos. Otro grupo de muestra con cinco tipos de materiales se colocó en un horno a 170 °C durante 1.000 horas. Luego se midieron los diámetros exteriores

de los rodamientos. La estabilidad dimensional del acero Tough Steel se encuentra entre la de los rodamientos templados y los carburizados.

Los resultados de los rodamientos templados, carburizados y carbonitruados, también se compararon con los rodamientos con acero Tough Steel. Los rodamientos carburizados mostraron resultados similares a los de los rodamientos con acero Tough Steel, pero los rodamientos carbonitruados mostraron una dilatación notable del anillo exterior en ambos rangos de temperatura.

Conclusiones

1. Para rodamientos destinados a aplicaciones con lubricación contaminada, como minería, agregados, cemento y acero, un material con alto volumen de austenita retenida y alta dureza se consigue una vida mayor.
2. Para alcanzar tales propiedades, se desarrollaron e implementaron nuevos aceros y tratamientos térmicos estrictamente controlados para producir el acero Tough Steel.
3. Los rodamientos con acero Tough Steel tienen una vida más de 6 veces superior a la de los rodamientos convencionales en condiciones similares de contaminación y carga.
4. Los rodamientos con acero Tough Steel tienen un índice de progresión de fatiga más lento. Se retrasa la aparición de las grietas y su velocidad de propagación en el codo de la indentación es más lenta.
5. En una comparación realizada de una prueba de vida en condiciones reales, los rodamientos con acero Tough Steel tienen una vida a fatiga 8 veces superior a la de los rodamientos convencionales.
6. Los rodamientos con acero Tough Steel™ destacan tanto en resistencia al desgaste como en el límite de agarrotamiento.
7. La estabilidad dimensional se encuentra entre la de los materiales templados y los carburizados.

1. Murakami, Y. y Matsumoto, Y. "Estudio de materiales para rodamientos de larga vida", Borradores de la conferencia de tribología JAST, Okayama, (1988) 297 - 300. [en japonés]
2. Chiu, Y.P. y Liu, J.Y. «Un estudio analítico de la concentración de estrés alrededor de una superficie con forma de surco perfecta en la zona de contacto de rodadura», Trad. ASME, JOLT, (1970) 258-263. [en inglés]
3. Tanaka, E, Furumura, K, y Ohkuma, T. "Vida altamente extendida para rodamientos de transmisión con concepto de limpieza y sellado", Documento SAE 830570 (1983). [en inglés]
4. Yasuo Murakami y Takaaki Shiratani «Lucha contra los residuos: Aumento de la vida con rodamientos HTF para transmisiones», Documento SAE No. 940728 (1984) [en inglés]

Para más información, visite nuestro sitio web www.nskeurope.com