

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LOS AEROGENERADORES MARINOS

LOS RODAMIENTOS UTILIZADOS EN LOS AEROGENERADORES HAN DE CUMPLIR DOS REQUISITOS CLAVE: ALTO RENDIMIENTO Y LARGA VIDA ÚTIL EN CONDICIONES ADVERSAS. ÉSTO APLICA ESPECIALMENTE AL SEGMENTO DE AEROGENERADORES MARINOS, UN SEGMENTO EN EL QUE LA POTENCIA DE LOS AEROGENERADORES ESTÁ EN CONSTANTE AUMENTO, Y QUE POR LAS CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO PLANTEA ALTAS EXIGENCIAS A LOS RODAMIENTOS. EN EL MAR, DEBIDO A LAS ALTAS VELOCIDADES DEL VIENTO, LAS CARGAS ESTÁTICAS Y DINÁMICAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS ROTORES Y, EN CONSECUENCIA, SOBRE TODO EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN, SON MÁS FUERTES QUE EN LOS AEROGENERADORES TERRESTRES, CUYOS RODAMIENTOS PRINCIPALES SOPORTAN, YA DE POR SÍ, CARGAS DE HASTA 1 MN.

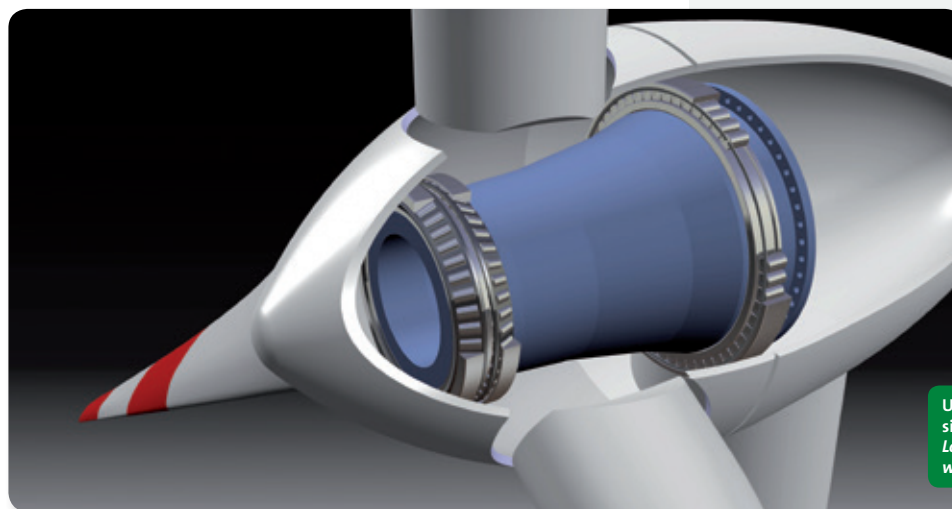
En este entorno, es por tanto, de suma importancia el diseño y fabricación de rodamientos específicos para este tipo de aerogeneradores. La firma especialista en rodamientos, NSK, ha comenzado recientemente la fabricación de rodamientos para aerogeneradores de 9,5 MW y ya está desarrollando rodamientos para aerogeneradores marinos en el rango de 12 MW.

Las expectativas de vida útil aumentan

Las demandas sobre la vida útil de los rodamientos para aerogeneradores se están incrementando. Para los aerogeneradores terrestres, los fabricantes tradicionalmente especificaban que los rodamientos debían estar diseñados para una vida útil de 175.000 horas, lo que equivalía a 20 años. Sin embargo, como resultado de los altos costes de inversión y la dificultad para acceder a los aerogeneradores marinos, para estos se especifica una vida útil de 25 años, que es un desafío importante teniendo en cuenta las cargas dinámicas extremadamente altas que soportan.

Rodamientos principales

Las cargas influyen claramente en la elección de los rodamientos. En los aerogeneradores de accionamiento directo, cada vez más se eligen como rodamientos principales los rodamientos de rodillos cónicos de doble hilera. En comparación con los rodamientos de rodillos cilíndricos, que se utilizaban con frecuencia en el pasado, los rodamientos de rodillos cónicos ofrecen la ventaja de una precarga ajustable, lo que permite lograr una mayor rigidez del sistema. Estos rodamientos tienen diámetros interiores de hasta 2,7 m, lo que representa un enorme desafío incluso para el diseño y los conceptos de fabricación más modernos.



Ubicación de los rodamientos del rotor principal en sistemas de aerogeneradores sin engranajes
Location of the main rotor bearings in non-geared wind energy systems

DESIGN STRATEGIES ENHANCE THE PERFORMANCE OF OFFSHORE WIND TURBINES

THE BEARINGS USED IN WIND TURBINES HAVE TO COMPLY WITH TWO KEY FACTORS: HIGH PERFORMANCE AND A LONG SERVICE LIFE UNDER HARSH CONDITIONS. THIS IS ESPECIALLY THE CASE IN THE OFFSHORE SEGMENT, WHERE THE CAPACITIES OF WIND TURBINES ARE CONSTANTLY INCREASING AND WHERE, DUE TO THE CHARACTERISTICS OF THE SITE, HIGH DEMANDS ARE PLACED ON THE BEARINGS. AT SEA, BECAUSE OF HIGH WIND SPEEDS, THE STATIC AND DYNAMIC LOADS THAT ACT ON THE ROTORS AND, CONSEQUENTLY, ON THE WHOLE DRIVE TRAIN ARE EVEN STRONGER THAN IN ONSHORE WIND TURBINES, WHOSE MAIN BEARINGS UNDERGO LOADS OF UP TO 1 MN.

Given this context, the design and manufacture of specific bearings for this type of wind turbines is of the utmost importance. Bearings specialist NSK has recently commenced the manufacture of bearings for 9.5 MW turbines and is already developing bearings for offshore turbines in the 12 MW class.

Service life expectations rise

Increasing demands are being placed on the operating lifespan of bearings for wind turbines. For onshore turbines, manufacturers traditionally specified that bearings must be designed for a service life of 175,000 hours, which is equivalent to 20 years. However, as a result of high investment costs and the difficulty in accessing offshore wind energy systems, a service life of 25 years is specified, which is a major challenge considering the extremely high dynamic loads they have to withstand.

Main bearings

These loads clearly have an influence on the choice of bearings. In direct-drive wind turbines, double-row tapered roller bearings are increasingly being chosen as the main bearing. Compared with cylindrical roller bearings, that were commonly used in the past, tapered roller bearings offer the advantage of adjustable pre-load, which makes it possible to achieve higher system rigidity. Such bearings have inner diameters of up to 2.7 m, which challenges even state-of-the-art design and manufacturing concepts.

In the case of geared systems, the weight of the additional drive components is compensated by the fact that the generator can have a smaller design. There are different design concepts for the main rotor bearing in each power capacity class. Systems up to 5 MW usually employ spherical roller bearings, while for 6 MW and higher, the preference is for arrangements with two tapered roller bearings, or double-row tapered roller bearings combined with a cylindrical roller bearing.

Una tendencia importante en la industria de los aerogeneradores es la integración de etapas de engranajes planetarios y rodamientos de varias filas | A major trend in the wind turbine industry of the integration of planetary gear stages and multi-row bearings

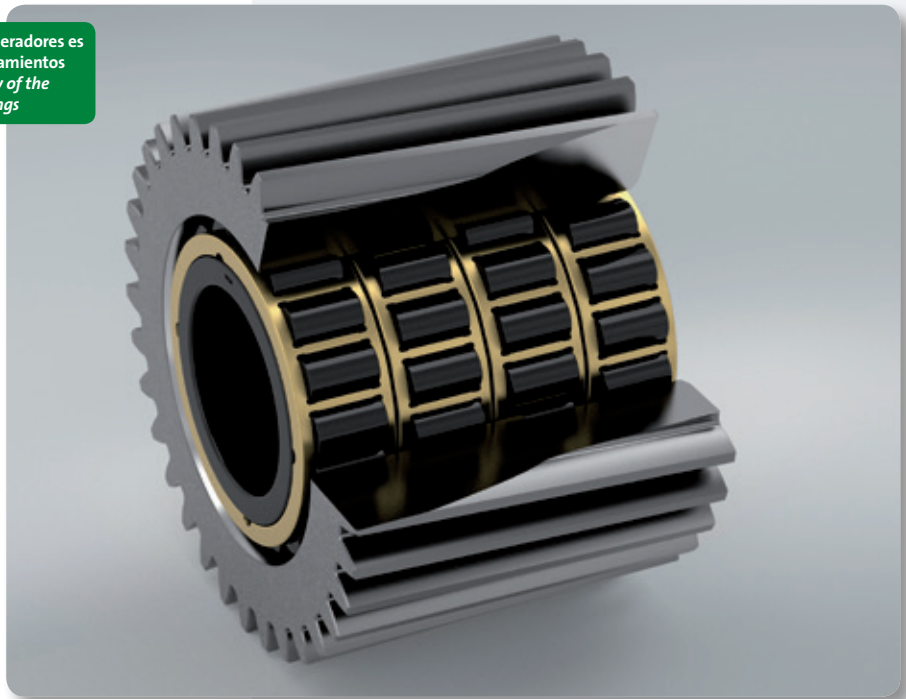
En el caso de los sistemas con multiplicadora, el peso de los componentes adicionales del sistema de transmisión se compensa por el hecho de que el generador puede tener un diseño más reducido. Existen diferentes pautas para el diseño del rodamiento del rotor principal en cada una de las clases según su potencia. Los sistemas de hasta 5 MW generalmente utilizan rodamientos de rodillos esféricos, mientras que para los aerogeneradores de 6 MW y superiores, la preferencia es disposiciones con dos rodamientos de rodillos cónicos o rodamientos de rodillos cónicos de doble hilera, combinados con un rodamiento de rodillos cilíndricos.

Rodamientos integrados

En los sistemas de transmisión por engranajes, son muy comunes en la actualidad las multiplicadoras con sistemas planetarios de dos o tres etapas. A menudo, estas etapas planetarias se combinan con una etapa de engranajes helicoidales. Durante varios años, la tendencia ha sido hacia el uso de los denominados engranajes planetarios integrados. Para esta aplicación, NSK ha desarrollado (en estrecha colaboración con el fabricante de los engranajes) unos rodamientos de rodillos cónicos y cilíndricos de múltiples hileras sin anillo exterior. De esta forma, el orificio interior de las ruedas planetarias se usa como camino de rodadura exterior del rodamiento.

En algunas aplicaciones, se utilizan rodamientos de rodillos cilíndricos integrados de hasta cuatro filas. En combinación con cuatro sistemas planetarios por etapa, un juego de rodamientos incluye un total de hasta 16 filas. Para obtener una carga uniforme en todos los rodamientos, el diámetro interior y el diámetro circunscrito para todo el conjunto debe tener unas tolerancias muy ajustadas.

Otra tendencia es instalar todos los rodamientos para un aerogenerador de un único proveedor. Esta tendencia del mercado fue una de las razones específicas por las que NSK decidió ampliar la cartera de



Integrated bearings

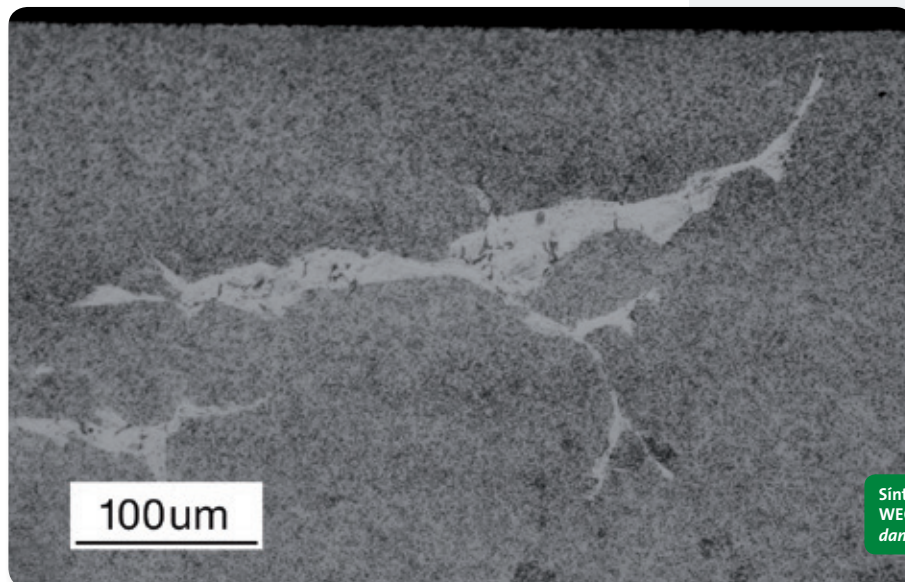
In geared drive trains, gearboxes with two or three-stage planetary stages are common nowadays. Often these planetary stages are combined with a helical gear stage. For several years, the trend has been towards using so-called integrated planetary gears. For this application, NSK has developed (in close co-operation with the gear manufacturer) multi-row tapered and cylinder roller bearings without an outer ring. As a result, the bore of the planet wheels is used as the outer raceway of the bearing.

In some applications, four-row integrated cylindrical roller bearings are used. In combination with four planets per stage, one set of bearings includes a total of 16 rows. To obtain an even load on all bearings, the bore and circumscribed diameters for the whole set have very tight tolerances.

Another trend is to source all the bearings for a turbine from a single supplier. This market tendency was one of the specific reasons why NSK decided to expand the product portfolio of its Wind Business Unit, although the company has already been developing and manufacturing various types of bearings for gearboxes and generators for 20 years.

Researching WEC (white etching cracks)

Due to the size of the bearings required for offshore wind turbines and their difficult accessibility, the wind industry is obviously very sensitive to bearing damage. Technical expertise makes it possible to overcome almost all typical forms of damage to bearings. For example, advanced design methods in



Síntomas de daños en un anillo de rodamiento debido a las WEC (grietas por fatiga bajo la superficie) | Symptoms of damage to a bearing ring due to WEC (white etching cracks)

Los rodamientos se pueden equipar con sensores montados externamente o integrados y vinculados a sistemas CMS (sistemas monitorización de las condiciones de trabajo) *Bearings can be equipped with externally mounted or integrated sensors and linked to CMS (condition monitoring systems)*

productos de su Unidad de Negocio Eólico, aunque la compañía ya ha estado desarrollando y fabricando varios tipos de rodamientos para multiplicadoras y generadores durante 20 años.

Investigación de las WEC (grietas por fatiga bajo la superficie)

Debido al tamaño de los rodamientos requeridos para los aerogeneradores marinos y el difícil acceso a los mismos, la industria eólica es obviamente muy sensible a los daños en los rodamientos. La experiencia técnica permite superar casi todas las formas típicas de daños en los rodamientos. Por ejemplo, los avanzados métodos de diseño, en combinación con altos niveles de pureza de acero, aseguran que los fallos clásicos por fatiga de rodamientos se hayan eliminado prácticamente en los rodamientos para aerogeneradores.

Un área que la industria de los rodamientos todavía está investigando, sin embargo, es el área de las WEC (grietas por fatiga bajo la superficie). Estas grietas producen daños en los rodamientos, que aparecen relativamente temprano en la vida útil del rodamiento. Los síntomas típicos de daños son estructuras blancas debajo del camino de rodadura (de ahí el nombre en inglés *white etching cracks*) que provocan la formación de grietas y, en última instancia, el fallo del rodamiento.

La causa exacta de las grietas por fatiga bajo la superficie (WEC) permaneció desconocida durante un largo período de tiempo y aunque una serie de experimentos ha demostrado que este defecto es causado muy probablemente por la penetración de hidrógeno, la presencia de hidrógeno todavía no se ha logrado explicar de forma satisfactoria.

Otros trabajos de investigación sugieren que el hidrógeno se genera durante el funcionamiento. El supuesto inicial era que el hidrógeno provenía de las cadenas de hidrocarburos de los lubricantes y sus aditivos; una teoría que se corroboró después de que los síntomas típicos de daños se pudieran reproducir en un laboratorio con ciertos tipos de aceites y grasas.

Como consecuencia, NSK desarrolló un nuevo material que demostraba una mayor resistencia a la penetración del hidrógeno y a la formación de grietas causadas por la fragilidad propiciada por el hidrógeno. Mientras que las pruebas de laboratorio se han completado con éxito, los rodamientos fabricados con este material están siendo sometidos a pruebas de campo.

Monitorización de las condiciones de trabajo

Como resultado de las características de seguridad y de la necesidad de una prolongada vida útil, los rodamientos de aerogeneradores son los candidatos ideales para sistemas de monitorización de las condiciones de trabajo (CMS), que usan sensores integrados o montados externamente con el fin de monitorizar de forma continua el estado del rodamiento. Las anomalías que indican daños en los rodamientos se pueden detectar y ser gestionadas de manera adecuada.

Los parques eólicos marinos despliegan sistemas CMS modernos para detectar anomalías de forma suficientemente temprana como para permitir que el ciclo de mantenimiento del sistema se planifique en consecuencia. NSK anticipa un potencial de mercado significativo para este tipo de sistemas.



combination with high levels of steel purity ensure that classical bearing fatigue failures have been practically eliminated in wind turbine bearings.

One area that the bearing industry is still researching, however, is WEC (white etching cracks). These cracks are signs of bearing damage that appear relatively early in the bearing's service life. Typical damage symptoms are white structures beneath the raceway (hence the name) that lead to the formation of cracks and, ultimately, bearing failure.

The precise cause of WEC was unknown for a long time, and although a series of experiments has since shown that this defect is most likely caused by hydrogen penetration, the origin of the hydrogen has still not been fully explained.

Further research works hint that hydrogen generation occurs during operation. The initial supposition was that the hydrogen was coming from the hydrocarbon chains of lubricants and their additives; a theory that was substantiated after typical damage symptoms were able to be reproduced in a laboratory with certain types of oils and greases.

As a consequence, NSK developed a new material that demonstrates higher resistance to hydrogen penetration and the formation of cracks caused by hydrogen embrittlement. While laboratory tests have been successfully completed, bearings made of this material are currently undergoing field trials.

Working condition monitoring

As a result of the fail-safe characteristics and long service life requirements, the bearings in wind energy systems are ideal candidates for condition monitoring systems (CMS), which use externally mounted or integrated sensors to continuously monitor the state of the bearing. Anomalies that indicate damage to the bearings can be detected and reported in a timely manner.

Modern-day CMS are deployed by offshore wind farms to detect abnormalities sufficiently early to allow the maintenance cycle of the system to be planned accordingly. NSK anticipates significant market potential for this type of system.