



No se pronuncie tan rápido



El aro interior del rodamiento utilizado para verificar la geometría del eje de la fotografía de portada de la edición 11 de Prácticas SKF para Celulosa y Papel. Puede darse cuenta de que no es un rodamiento SKF porque tiene una pestaña central. Los rodamientos de rodillos a rótula SKF tienen anillos guía libres.

Recordará la fotografía de portada de la edición anterior de Prácticas SKF para Celulosa y Papel, en la que se mostraba un antiguo colega mío verificando la geometría del eje con azul de Prusia y un aro interior de rodamiento de rodillos a rótula. Algunos lectores se pusieron en contacto para decirme que no era un método suficientemente preciso. En realidad, la fotografía no mostraba la imagen completa. La zona de carga en el camino de rodadura del aro interior no era constante. Esto no es lo normal para un aro interior de un rodamiento montado en el eje de un cilindro secador. ¿Se trataba de un problema de calidad del aro interior? ¿Un problema de calidad del eje? ¿Algo completamente distinto? Le mostraré cómo se determinó el verdadero problema con el método del azul de Prusia en la próxima edición.

Volviendo a este número de Prácticas SKF para Celulosa y Papel, examinaremos los incrementos de velocidad de una máquina papelera desde la perspectiva del rodamiento. Los ingenieros de SKF muchas veces reciben consultas sobre este tema, porque muchas plantas paperas necesitan hacer funcionar sus máquinas a mayor velocidad que la prevista en su diseño original. Por lo tanto, en el resto de este número, le presentaré algunas pautas sobre qué mirar y cómo trabajar con un fabricante de rodamientos en un proyecto para incrementar la velocidad de la máquina.

Atentamente,
Philippe Gachet
Consultor técnico sénior
Segmento Global Celulosa y Papel SKF



Incrementos de velocidad de la máquina papelera

Las máquinas papeleras, como sabe, se diseñan teniendo en cuenta velocidades específicas, que han aumentado significativamente con los años. En 1964, cuando publicamos el primer manual de Rodamientos de SKF para máquinas papeleras, la mayoría de las máquinas funcionaban a velocidades inferiores a 500 m/min. Unas pocas máquinas de papel tisú y de papel prensa estaban diseñadas para 900 m/min o más, pero ninguna máquina superaba la barrera de los 1 000 m/min. Hoy, 50 años más tarde, las velocidades se han duplicado, con algunas máquinas que están diseñadas para funcionar a más de 2 000 m/min. A menudo, las máquinas antiguas deben funcionar a velocidades muy superiores a las previstas en su diseño original.

Varias veces al año, me piden consejos sobre el incremento de la velocidad de las máquinas. En estos días, ayudo principalmente a los colegas de SKF a atender pedidos de sus clientes de la industria papelera. En el pasado, no era inusual que nos mostraran una antigua máquina papelera para preguntar si podría funcionar a mayor velocidad. En una ocasión memorable, me dieron la velocidad de la máquina y una lista de rodamientos (sin las dimensiones de diámetro de rodillos) y me pidieron que hiciera un comentario sobre el incremento de la velocidad de la máquina en un plazo de una semana.

Después de casi un cuarto de siglo trabajando con ingeniería de aplicaciones para la industria papelera, he llegado a la siguiente conclusión:

- Las personas tienden a centrarse exclusivamente en la velocidad de giro de los rodamientos. Parece que tuvieran posibles problemas para tener en cuenta las fuerzas centrífugas adicionales que crean más estrés mecánico en los componentes del rodamiento. Nos hacen preguntas como: “¿puede este rodamiento de rodillos de prensa sólido, que ahora funciona a 250 r. p. m., incrementar su velocidad a 280 r. p. m.?”

- Existen tantas máquinas papeleras diferentes con diferentes configuraciones y diferentes mejoras, que es imposible dar consejos coherentes sobre el incremento de la velocidad sin un trabajo previo. Se deben comprobar las condiciones de funcionamiento de cada rodamiento. Se debe realizar un estudio de tres fases:
 - 1 Se recopila la información técnica y se calcula la cantidad de horas-hombre de ingeniería necesarias.
 - 2 Se busca responder si es posible incrementar la velocidad de la máquina sin hacer modificaciones. El tiempo necesario para esta fase puede variar enormemente. Algunas máquinas pueden requerir tan solo ocho horas. Otras pueden necesitar más de 300 horas.
 - 3 Se lleva a cabo un estudio detallado sobre las modificaciones necesarias en los soportes de los rodamientos, sistemas de lubricación, etc.

Encontrará más detalles y explicaciones sobre todo esto en el resto del boletín.

1. Las condiciones de funcionamiento de los rodamientos cambian debido a los incrementos de velocidad de la máquina

Cuando se incrementa la velocidad de la máquina papelera, también cambian otras cosas. Por ejemplo, también aumenta la tensión de los cables y el fieltro. En casos extremos, especialmente en la sección de formación, la tensión aumenta tanto que los rodillos pueden curvarse y fallar como consecuencia de la fractura por fatiga. Sin embargo, hay que tener en cuenta que ese aumento de la tensión de los cables y el fieltro no siempre aumenta las cargas sobre los rodamientos. También puede disminuir la carga (→ figura 1).

Esto también puede pasar con los rodillos de prensa (→ figura 2). Con mayor velocidad, el papel pasa menos tiempo en los rodillos y la

forma más fácil de mantener la deshidratación sin cambiar la prensa es aumentar la carga de los rodillos. La carga de los rodillos estará en el sentido opuesto al peso del rodillo superior (rodillo C), de manera que, si se aumenta la carga de los rodillos, se reducirá la carga sobre los rodamientos que soportan el rodillo superior, si su peso es mayor que la carga de los rodillos.

También puede haber un problema con los rodillos aspirantes. Al igual que con los rodillos de prensa, se reduce el tiempo de permanencia, por lo que, a menudo, se incrementa la aspiración para eliminar la misma cantidad de agua. Una mayor aspiración también afecta, por supuesto, al cilindro del rodillo aspirante y la posición de la caja de aspiración determinará si aumenta o disminuye la carga en los rodamientos de apoyo (→ figura 3).

Fig. 1 Una mayor tensión del fieltro aumenta las cargas en los rodamientos del rodillo A, pero puede disminuir las cargas en los rodamientos del rodillo B.

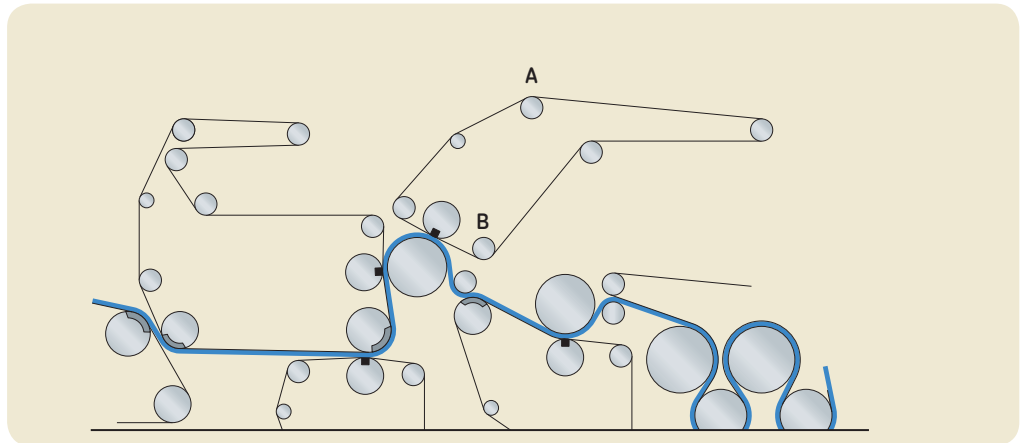


Fig. 2 Si el peso del rodillo C es mayor que la carga de los rodillos, el aumento de la carga de los rodillos reducirá la carga sobre los rodamientos.

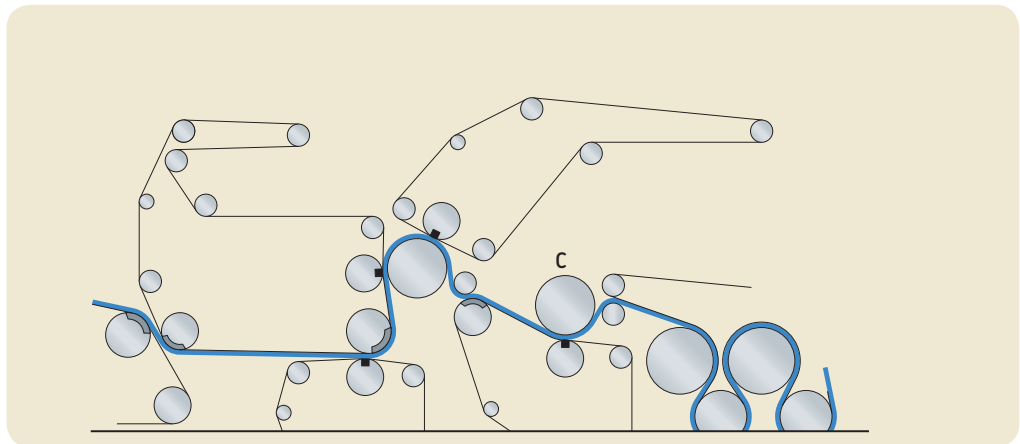
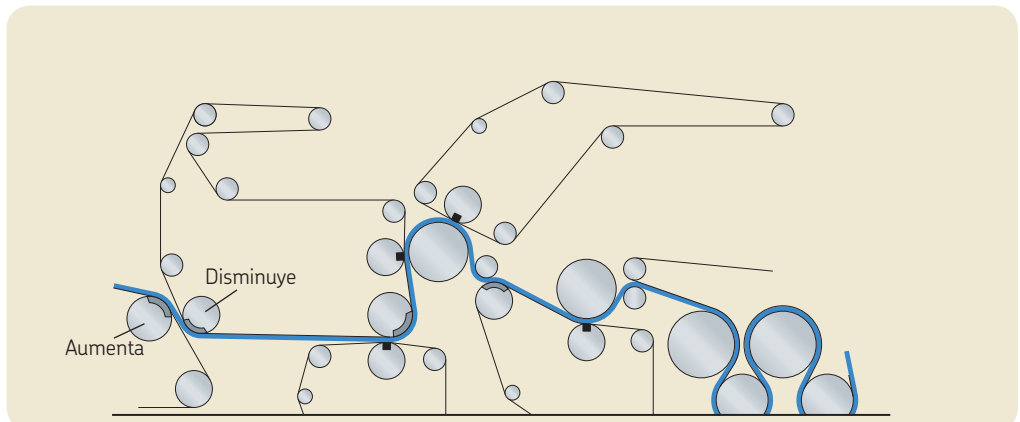


Fig. 3 La carga en los rodamientos del rodillo aspirante puede aumentar o disminuir en función de la posición de la caja de aspiración.



prensa aspirantes, deben tenerse en cuenta la aspiración y la carga de los rodillos.

Incrementar la velocidad de la máquina también implica que el papel pasará menos tiempo en la sección de secado. En lugar de ampliar la sección añadiendo más cilindros secadores, por lo general, en las plantas papeleras simplemente se aumenta la temperatura del vapor. Esto puede acarrear problemas.

Recuerdo un caso con una antigua máquina de kraft Beloit. Tenía ejes de cilindro secador sin aislamiento, rodamientos de clase de juego C3 y que seguramente estaban diseñados para temperaturas de vapor no superiores a 130 °C. Desde la planta me preguntaron si podían mantener el mismo flujo de aceite si la temperatura del vapor aumentaba a 170 °C después de un proyecto de incremento de velocidad. Les respondí que podrían hacerlo siempre que aislaran los ejes y montaran rodamientos de clase de juego C4. Simplemente era imposible cumplir con las recomendaciones de lubricación de SKF (véase *Prácticas SKF para Celulosa y Papel, edición 7*) sin aislar los ejes. Ni siquiera era factible si se cambiaba el aceite de ISO VG 220 a ISO VG 460 y se aumentaba el flujo de aceite. Además, la fábrica no podía aumentar el flujo sin cambiar el sistema de circulación de aceite y el diseño de los soportes de rodamientos utilizados. Finalmente, después de mucho debate, el director de mantenimiento convenció a sus colegas para añadir una sección de secado de segunda mano de otra planta. Con mayor frecuencia, las plantas simplemente aumentan la temperatura del vapor, lo que disminuye la vida útil de los rodamientos de los cilindros secadores.

Los rodillos y cilindros de las máquinas papeleras están, por lo general, equilibrados para la velocidad máxima del diseño. Incrementar su velocidad por encima de la prevista en el diseño original puede provocar vibraciones, por lo que deben equilibrarse nuevamente para la mayor velocidad. Si esto no se hace, pueden surgir problemas, en especial, en las secciones de secado con los soportes de los rodamientos montados en balancines (véase *Prácticas SKF para Celulosa y Papel, edición 7*). El problema es que los soportes de los rodamientos frontales montados en balancines no amortiguan las vibraciones (→ **figura 4**). Normalmente, el primer problema que se observa es el incremento del desgaste del balancín. Reacondicionar el soporte a un soporte fijo (→ **figura 5**) y sustituir por un rodamiento de rodillos toroidales CARB puede ser suficiente para resolver el problema, pero recomendamos equilibrar los cilindros de todos modos.



Fig. 4 Un soporte de balancín en una antigua máquina papelerera.



Fig. 5 La base del soporte se mecaniza para retirar los balancines y aceptar pies adaptados. También se modifica la entrada y la salida de aceite.

2. Límites de velocidad de los rodamientos (para rodamientos de rodillos a rótula y rodamientos de rodillos toroidales CARB sin sellos)

Las preguntas que se hacen habitualmente se refieren a la velocidad a la que pueden funcionar los rodamientos y si los rodamientos existentes pueden tolerar los incrementos de velocidad de las máquinas. Algunas personas simplemente abren un catálogo y llegan a la conclusión de que los rodamientos pueden funcionar hasta la velocidad límite indicada. Esto no es así.

La velocidad límite no es el límite máximo de velocidad. Tenga presente el ejemplo de un rodamiento de rodillos de prensa 232/500 CAK/C084W33. Tiene un agujero de 500 mm, pesa casi una tonelada y tiene una velocidad límite de 500 r. p. m. Sin embargo, tales rodamientos han funcionado en nuestros bancos de pruebas a 960 r. p. m., y podrían haber funcionado aún más rápido.

Algunos rodamientos instalados en modernos rodillos de prensa de compensación de la deflexión funcionan cerca o por encima de la velocidad límite cuando gira el aro exterior. En esos casos, los conjuntos de rodillos funcionan con mayor velocidad que si girara el aro interior.

La velocidad límite tiene en cuenta la resistencia de la jaula, el riesgo de adherencias, la vibración y la experiencia en el terreno. Los valores de velocidad límite en las tablas de productos son recomendaciones prácticas para aplicaciones generales, y son bastante conservadores para dar un margen de seguridad.

Si va a hacer funcionar sus rodamientos cerca o por encima de la velocidad límite, le recomiendo un asiento directo en el eje, tolerancias de variación más estrechas y lubricación por circulación de aceite. No lo intente con rodamientos sobre manguitos de fijación ni con lubricación por grasa.

Entonces, ¿cuál es el límite real de velocidad de funcionamiento? Esto depende, de hecho, de cómo puede disiparse el calor creado por la fricción interna del rodamiento y los valores de variación total del rodamiento y los componentes vecinos, p. ej., el soporte, el eje, el manguito etc.

A primera vista, las ecuaciones parecen sencillas:

- Pérdida de potencia (W) = $0,105 \times$ fricción interna total del rodamiento (Nm) \times velocidad de giro (r. p. m.)
- Aumento de temperatura del rodamiento ($^{\circ}C$) = pérdida de potencia (W) / factor de refrigeración ($W/^{\circ}C$)

La parte difícil es calcular el factor de refrigeración. Esto depende del soporte, del eje, de la geometría y del material de la base, de la temperatura del aire ambiental y del método de lubricación.

El catálogo de rodamientos de SKF le ayudará a determinar si se encuentra dentro de los márgenes de seguridad.

En el catálogo de rodamientos, se indica otra velocidad: la velocidad de referencia. Este es un límite de velocidad térmica en el que se alcanza el equilibrio entre el calor creado por un rodamiento y el calor disipado bajo determinadas condiciones de temperatura, carga y lubricación (véase la *norma ISO 15312:2003*), p. ej., la temperatura del rodamiento aumenta $50^{\circ}C$ cuando la temperatura ambiente supera los $20^{\circ}C$. La velocidad de referencia y la velocidad límite pueden ser muy diferentes, p. ej., un rodamiento de rodillos a rótula 231/750, que pesa 1,7 toneladas, tiene una velocidad límite de 430 r. p. m. y una velocidad de referencia de 220 r. p. m.

Las condiciones de funcionamiento reales del rodamiento, por supuesto, no siempre se corresponden con la norma ISO, por lo que existen factores de ajuste para la carga y la viscosidad del lubricante. Con la velocidad de referencia, multiplicada por los factores de ajuste, se obtiene una velocidad de referencia ajustada. Esto es muy importante, ya que le indica al ingeniero de SKF que, sin calcular el factor de refrigeración, por debajo de esta velocidad existe refrigeración suficiente para disipar el calor sin necesidad de circulación de aceite u otros sistemas de refrigeración. Por supuesto, si necesita hacer un cálculo de la temperatura del rodamiento, deberá calcular los factores de refrigeración.

El rodamiento 231/750 mencionado anteriormente, montado en un rodillo de prensa, lubricado con un aceite ISO VG 150 con una carga radial de 2,8 MN, tendría una velocidad de referencia ajustada de 66 r. p. m. durante el arranque (cuando el aceite y el rodamiento todavía están fríos) y de 94 r. p. m. durante el funcionamiento en condiciones estables.

¿La velocidad de referencia ajustada es un límite? No, no lo es. En la aplicación real, el rodamiento gira a 280 r. p. m. Esto es posible porque un sistema de lubricación por circulación de aceite disipa el calor creado por el rodamiento. Si, en cambio, hubiera lubricación por baño de aceite, sería muy riesgoso hacerlo funcionar al doble o más de la velocidad de referencia ajustada, ya que el rodamiento creará más calor del que puede eliminarse. Puede encontrar más información sobre esto en las **páginas 118 a 128** del *Catálogo de rodamientos SKF* (número de publicación 10 000).

Si la aplicación está lubricada por grasa, se debe calcular el factor de velocidad A . Esto da una idea de la velocidad periférica de los rodillos. Para aplicaciones con giro del aro interior, utilice la siguiente ecuación.

$$A = n \times \frac{d+D}{2}$$

Para aplicaciones con giro del aro exterior, como los antiguos rodillos aspirantes lubricados por grasa, utilice la siguiente ecuación como un cálculo aproximado. Para un cálculo más preciso, se necesita información sobre la geometría interna del rodamiento, es decir, el ángulo de contacto y el diámetro de los rodillos.

$$A = n \times D$$

n : velocidad de giro en r. p. m.

d : diámetro del agujero del rodamiento en mm

D : diámetro exterior del rodamiento en mm

Compare esto con los valores que aparecen en la **tabla 5** de la **página 257** del *Catálogo de rodamientos SKF*. Se indican los límites recomendados para el factor A con lubricación por grasa. Estos no son límites absolutos, pero mi experiencia me lleva a recomendar encarecidamente que los respete. Con la relubricación manual, es muy fácil engrasar en exceso, y esto termina generando un sobrecalentamiento.

¿Ya le está dando un dolor de cabeza? Simplifiquemos con un dibujo (→ figura 6).

Una velocidad muy baja no es una situación sencilla, puesto que los rodamientos no giran lo suficientemente rápido como para acumular una película de aceite entre los rodillos y los caminos de rodadura. En tales casos, se necesitan aceites de alta viscosidad con aditivos antidesgaste o para presión extrema (Extreme Pressure, EP). Tenga en cuenta que esta situación también se puede producir a mayores velocidades si la temperatura de funcionamiento es demasiado elevada y la viscosidad del lubricante es demasiado baja. Esto se suele ver en cilindros calentados con ejes sin aislamiento.

Con lubricación por grasa y a muy baja velocidad, el rodamiento puede no alcanzar una temperatura suficiente para que el lubricante separe el aceite necesario. Tenga cuidado cuando lubrique los rodillos de fieltro en la parte inferior de la sección de secado con grasa para alta temperatura, ya que es posible que no haya suficiente separación de aceite a la temperatura de funcionamiento de esa zona.

Las velocidades por debajo de la velocidad de referencia ajustada resultan muy fáciles de implementar para los ingenieros de aplicaciones, ya que las indicaciones que aparecen en el *Catálogo de rodamientos SKF* suelen poder utilizarse. Recuerdo la consulta de un cliente que quería saber si sus rodamientos de rodillos de fieltro todavía podían lubricarse con grasa después de un proyecto de incremento de la velocidad, ya que era reacio a gastar más dinero en la conversión a un sistema de lubricación por aceite. Después de conocer el tipo de grasa que utilizaba y la carga en los rodamientos,

el cálculo manual con ayuda del catálogo llevó menos de cinco minutos. El resultado fue que la velocidad incrementada seguiría siendo inferior a la velocidad de referencia ajustada y el factor A estaba por debajo del límite recomendado. Por lo tanto, le dije que podía seguir con la lubricación por grasa, pero que tendríamos que conocer la carga mínima. Explicaré el motivo más adelante.

Por encima de la velocidad de referencia ajustada, las cosas empiezan a complicarse. Tiene que pensar cuidadosamente sobre el intercambio de calor. Si el rodamiento se relubrica manualmente con grasa y si la velocidad es superior a la velocidad de referencia ajustada, puede ser necesario un sistema centralizado de grasa o un sistema de circulación de aceite. Por encima de una velocidad determinada, la lubricación por aceite es la única opción. Además, puede ser necesario aumentar la clase de juego del rodamiento. Como el *Catálogo de rodamientos SKF* no contiene toda la información necesaria para tomar esta decisión, necesita el asesoramiento de un ingeniero de SKF con acceso al software especializado.

Cerca de la velocidad de referencia y por encima de esta, no solo tiene que tener en cuenta la clase de juego, la lubricación y la evacuación del calor, sino también las tolerancias de variación de los rodamientos y demás componentes que giran, p. ej., el eje o el cilindro. Los rodamientos deben montarse directamente sobre asientos cilíndricos o cónicos en lugar de sobre manguitos de fijación o de desmontaje. El asiento del rodamiento debe fabricarse también con tolerancias más ajustadas. Por razones de rectitud y redondez, se recomienda que las tolerancias dimensionales tengan dos grados IT

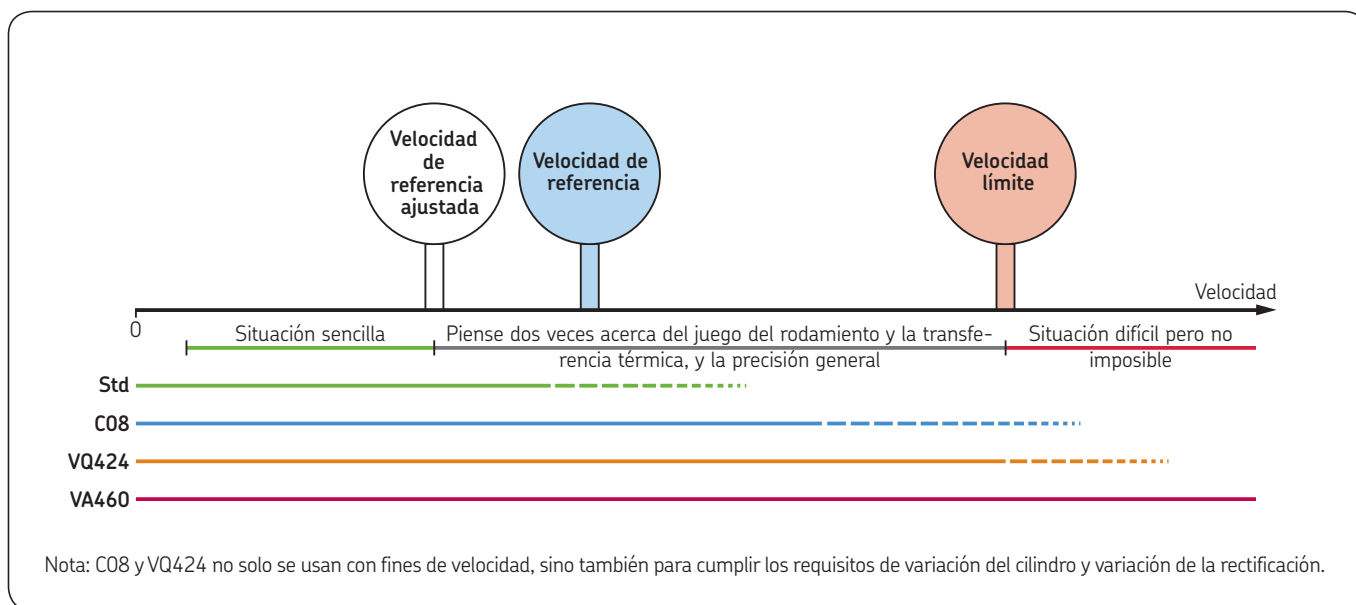


Fig. 6 Versiones recomendadas de rodamientos por velocidad.



Fig. 7 Una máquina de rectificado de rodillos con el rodillo girando sobre sus rodamientos principales.

más que las tolerancias dimensionales especificadas. Se deben montar rodamientos con tolerancias de variación reducidas. Aunque los rodamientos SKF estándares tienen una variación menor que la ISO normal, suelo recomendar rodamientos con sufijo C08, VQ424 o VA460 (→ **tabla 1**). Mi recomendación se basa en la aplicación y la velocidad específicas, por lo que algunas veces sugiero los rodamientos SKF estándares. Tenga en cuenta que para los rodamientos lubricados por grasa montados sobre manguitos de desmontaje o de fijación, puede ser necesario cambiar a un rodamiento lubricado por aceite con un sufijo especial, montado sobre un nuevo asiento cónico directo.

A la velocidad límite, como los rodamientos funcionarán en condiciones diferentes a las de laboratorio, recomiendo los rodamientos VQ424 o VA460 y ponerse en contacto con un ingeniero de aplicaciones de SKF local.

En conclusión, el límite de velocidad de funcionamiento no depende del estrés mecánico debido a las fuerzas centrífugas, sino principalmente de cómo se disipa el calor creado por la fricción interna. Dicho esto, las tolerancias de variación y la clase de juego interno del rodamiento también son importantes.

Tabla 1

Rodamientos C08, VQ424 y VA460

- Un sufijo C08 indica una clase de tolerancia de variación P5. La variación radial circular es una cuarta parte de la de la clase ISO normal. Recuerde que todos los rodamientos SKF estándares con diámetro de agujero del aro interior inferior a 320 mm tienen una variación P5, incluso aunque no tengan un sufijo C08.
- El VQ424 tiene, además de las características de C08, tolerancias especiales en el espesor de la pared del aro. La norma ISO cubre la máxima desviación de precisión de giro permitida mientras que el VQ424 también considera el nivel de desviación. Fue desarrollado por Valmet a principios de la década del noventa para rectificar de manera más rápida y precisa los rodillos apoyados sobre los rodamientos (→ **figura 7**).
- El VA460 es esencialmente un rodamiento VQ424 modificado para soportar los efectos de las fuerzas centrífugas debido a las velocidades muy altas.

3. Otros problemas relacionados con las velocidades más elevadas

Hay otras cosas importantes que se deben tener en cuenta cuando se incrementa la velocidad de la máquina. Imaginemos por ahora que no cambian las condiciones de funcionamiento, como las cargas en los rodamientos.

Cuanto mayor sea la velocidad, mayor será la diferencia de temperatura entre los aros interior y exterior, y mayor será la temperatura del rodillo. El aro interior, por lo general, está más caliente que el aro exterior. Por lo tanto, mayor velocidad significa mayor reducción del juego. Por encima de la velocidad de referencia ajustada, se necesita una clase de juego más alta (véase la **página 5** de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel, edición 2*). Al acercarse a la velocidad límite, podría ser necesario un aumento adicional de la clase de juego. Además, la relación entre el juego de un rodamiento sin montar y el tamaño del rodamiento no es lineal. Por lo tanto, para rodamientos muy grandes, como los que se encuentran en los rodillos de prensa de máquinas modernas de alta velocidad, puede ser necesaria una clase de juego más alta que la que se hubiera seleccionado para un rodamiento de tamaño medio.

Para girar sin deslizamientos, un rodillo debe estar apretado entre el aro interior y el aro exterior. El rodillo tiene una masa determinada y, por lo tanto, una inercia que depende de la velocidad de giro que se opone a su aceleración. Al salir del área cargada del rodamiento, el rodillo disminuye la velocidad porque existe fricción contra la jaula y en el lubricante en el área sin carga. Cuando entra nuevamente en el área cargada, se aprieta entre los aros y se ve forzado a acelerar. Si existe una gran diferencia entre la velocidad de los rodillos en las áreas cargadas y sin cargar, y si la carga es insuficiente en el área cargada, se acelerará más lentamente de lo necesario y creará marcas de adherencias en la entrada al área cargada (→ **figuras 8 y 9**).

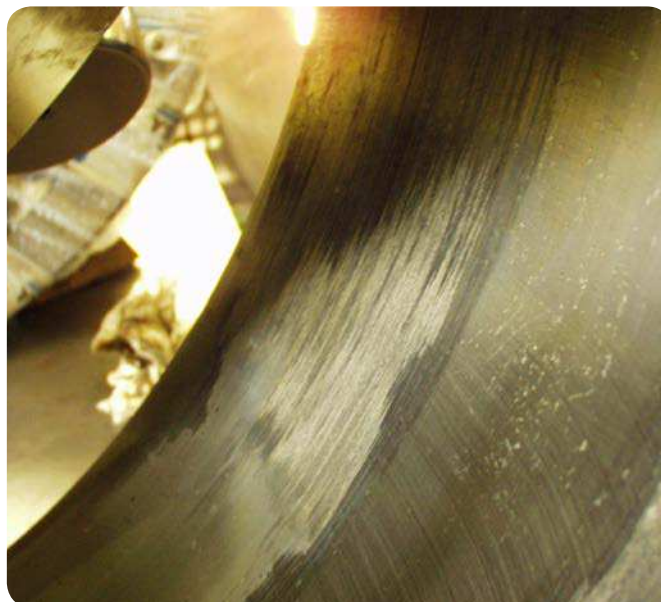


Fig. 9 Marcas de adherencias en la entrada al área de carga de un rodamiento de rodillos de prensa sólido.

El otro caso se da cuando el área de carga tiene cargas muy bajas en el rodillo o cuando el área de carga no está bien definida debido al peso del rodillo o del cilindro que está soportado por la carga de los rodillos en lugar de por los rodamientos. Esto sucede en algunos rodillos de prensa de compensación de la deflexión, porque la carga radial la soportan tanto las zapatas hidrostáticas como los rodamientos de rodillos. En función de la presión del aceite en las zapatas hidrostáticas, los rodamientos de rodillos podrían enfrentarse a una situación de carga indefinida, con posibilidad de carga nula.

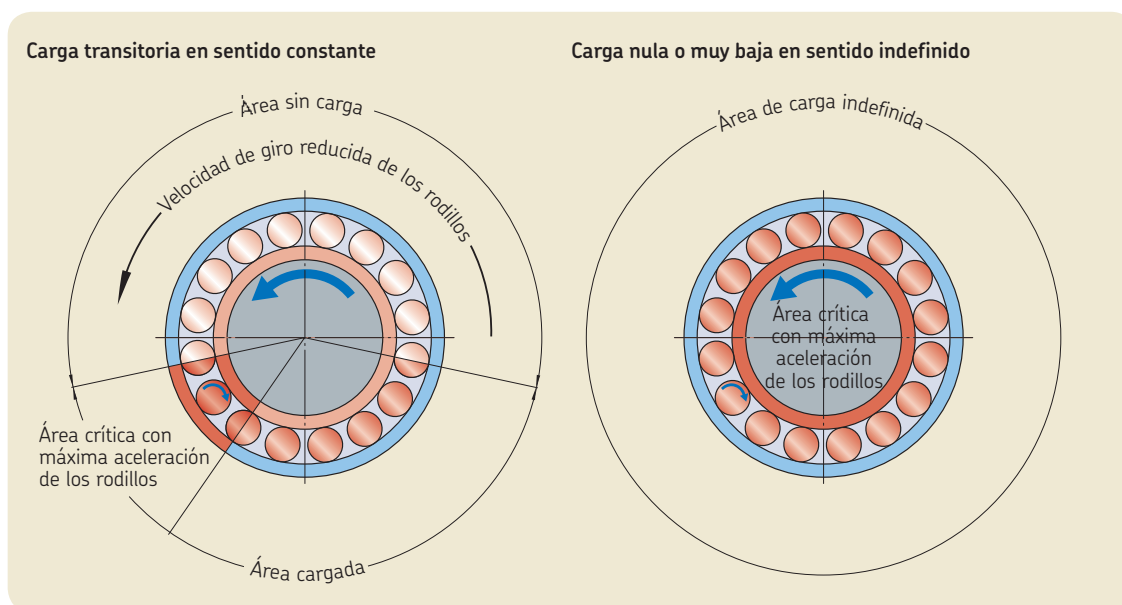


Fig. 8 Deslizamiento del rodillo y el riesgo de adherencias.

Como la carga es baja, existe el riesgo de que los rodillos no siempre se vean forzados a girar a una velocidad adecuada. Los rodillos se deslizan, aceleran y desaceleran en el área de carga insuficientemente cargada o en el área de carga indefinida (→ figuras 8 y 10). Tenga en cuenta que esto también puede ser un problema para los rodamientos en algunos rodillos aspirantes, rodillos de prensa, calandrias y, en casos menos frecuentes, rodillos de fieltro y cables.

Incrementar la velocidad de la máquina también aumenta la velocidad del rodamiento y la inercia del rodillo, lo que da lugar a un mayor riesgo de adherencias debido a problemas de cargas bajas. A cada velocidad le corresponde una carga mínima que debe aplicarse al rodamiento. Incrementar la velocidad de la máquina sin cambiar la carga puede llevar a una falla prematura si ya se estaba cerca del mínimo requerido para la velocidad original.

Además, incrementar la velocidad de la máquina también puede hacerla trabajar en una de sus frecuencias naturales. Puede generarse una gran amplitud de vibración. Nunca he visto que se rompa una máquina papelera, pero he visto soportes de balancines caerse de los balancines, balancines con desgaste prematuro, facetado en cilindros o rodillos e incrementos de papel rechazado. Pero en otras aplicaciones, en otras industrias, he visto fallas prematuras de rodamientos debido a que la grasa se vuelve más blanda con la vibración y soportes de hormigón para la máquina fracturada.

Tenga presente que, en un caso, después de una mejora de la máquina papelera, sin incremento de la velocidad de la máquina, la nueva carga de los rodillos junto con el cambio del diámetro de un rodillo hizo que el rodillo de prensa funcionara cerca de su frecuencia natural. Se pusieron en contacto conmigo porque el cliente creía que la causa raíz eran los rodamientos de rodillos.

4. La influencia del cambio de carga sobre los rodamientos

Como se mencionó en la sección uno, los incrementos de la velocidad de la máquina también dan lugar a cambios de las cargas. Las cargas pueden aumentar o disminuir en los rodillos, en función de su posición en la máquina.

Cuando se reduce la carga, puede existir el riesgo de problemas por cargas bajas, como se explicó en la sección tres. Estos, por lo general, se pueden resolver utilizando rodamientos con recubrimiento NoWear para evitar las adherencias o mediante la reducción del número de rodillos, de manera que aumente la presión de contacto por rodillo.

Cuando la carga aumenta, hay que tener en cuenta varias cosas.

Un aumento de carga del 10% reduce un 30% la vida nominal básica calculada L_{10h} . Si también aumenta la velocidad, la vida nominal básica se reduce aún más. Afortunadamente, las capacidades de carga dinámica básicas de los rodamientos han aumentado con los años. Una máquina diseñada a principios de la década del setenta puede sustituir los rodamientos de rodillos de fieltro originales SKF 22314 CK/W33 por los actuales SKF 22314 EK y aumentar la carga en un 57% sin reducir la vida nominal básica. Esto explica por qué no se producen más fallas por fatiga a pesar del importante aumento que han tenido las tensiones en cables y rodillos de fieltro con los años. En algunos casos inusuales, algunos rodillos diseñados hace muchos años se rompen debido a la fatiga antes de experimentar problemas graves de fatiga con los rodamientos.

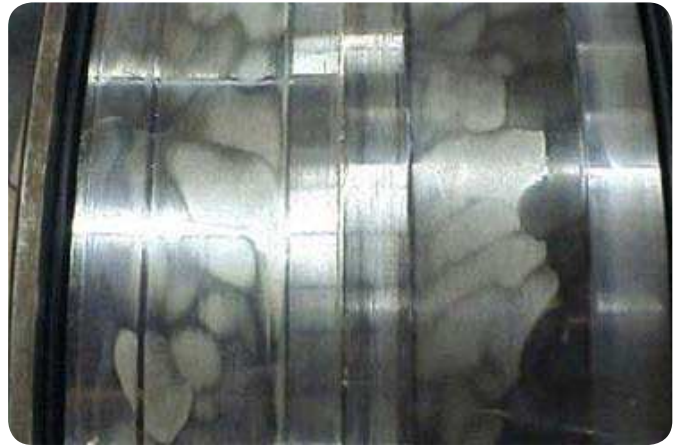


Fig. 10 Daño en el aro interior de un rodamiento de rodillos aspirante debido a un área de carga indefinida después de un incremento de velocidad y/o un incremento del vacío de aspiración.



Fig. 11 Corrosión por contacto en el agujero de un manguito de fijación de un rodamiento de rodillos de fieltro de la sección de secado como consecuencia de un ajuste insuficientemente apretado en relación con la carga.

A pesar de los aumentos de las capacidades de carga básicas de los rodamientos, todavía necesita un ajuste más apretado si aumenta la carga. Las altas presiones entre los rodillos y los caminos de rodadura crean deformaciones en el aro y pueden provocar micro-movimientos entre el aro y su asiento. Esto genera corrosión por contacto y también puede dar lugar a deslizamiento y desgaste si el aro empieza a girar sobre su asiento.

En la figura 11, se muestra un rodamiento de rodillos de fieltro de la sección de secado montado sobre un manguito de fijación. La planta había sustituido el engranaje por una transmisión silenciosa, por lo que los cilindros secadores estaban impulsados por algunos de los rodillos de fieltro a través del fieltro. Se había incrementado la tensión del fieltro y la vida útil del rodamiento disminuyó drásticamente. Se descubrió que los rodamientos funcionaban flojos en sus asientos y giraban junto con sus manguitos de fijación, lo que ocasionaba mucho desgaste. Esto puede provocar fallas catastróficas (→ figura 12). Otro problema puede ser la deformación del giro del eje, que crea tensión y flexión de manera alternada cerca del asiento del rodamiento. Al aumentar el calado del rodamiento más allá de la

recomendación general y utilizar el método de calado de rodamientos SKF Drive-up en lugar del método de la galga de espesores, se aumentó la vida útil del rodamiento.

Si se tiene que aumentar las cargas en los rodamientos, se deben revisar los ajustes y procedimientos de montaje. Tenga en cuenta que, si se utilizan ajustes más apretados, puede ser necesario utilizar un rodamiento con una clase de juego interno más alta.

Aunque se aumente la carga y no se incremente la velocidad, la temperatura de funcionamiento del rodamiento seguirá aumentando.



Fig. 12 Desgaste avanzado con giro del manguito de fijación en el eje de un rodamiento de rodillos de fieltro de la sección de secado. La alta temperatura asociada redujo el juego del rodamiento, lo que dio como resultado una precarga descontrolada y, finalmente, agarrotamiento.

do. También aumentará la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior del rodamiento. En esos casos, puede ser necesario un juego radial interno mayor.

Aumentar la carga puede deformar el soporte del rodamiento, el bastidor de la máquina y el eje o el rodillo. Esto puede tener un efecto positivo o negativo, en función de la manera en que la deformación cambia la distribución de cargas en los rodamientos. Normalmente, los soportes del rodillo de fieltro y de los cables son suficientemente rígidos en relación con las cargas que soportan, pero este no es el caso para algunos soportes de rodamientos de rodillos de prensa. Para ellos, puede valer la pena realizar el cálculo por el método de elementos finitos (Finite element method, FEM) durante un proyecto de incremento de velocidad de la máquina (→ figura 13).

5. Las tres fases de un estudio

En función de mi experiencia y para evitar las fases que suelen olvidarse durante un incremento de velocidad de la máquina, siempre recomiendo un estudio de tres fases: estudio previo, análisis, ejecución.

La fase uno de estudio previo consiste en determinar el grado de dificultad. Por ejemplo, si requiere cálculos avanzados o simplemente los de un catálogo. Sin duda, se necesitarán algunos cálculos rápidos y básicos durante esta fase, además de una estimación de las horas-hombre necesarias para llevar a cabo la fase dos.

Como mínimo, el ingeniero de aplicaciones de SKF necesitará la siguiente información de su cliente:

- Un dibujo de la disposición de rodamientos, incluidos el soporte y el eje. Tenga en cuenta que es recomendable un dibujo detallado del soporte y el eje, ya que puede ser necesario para algunos cálculos.

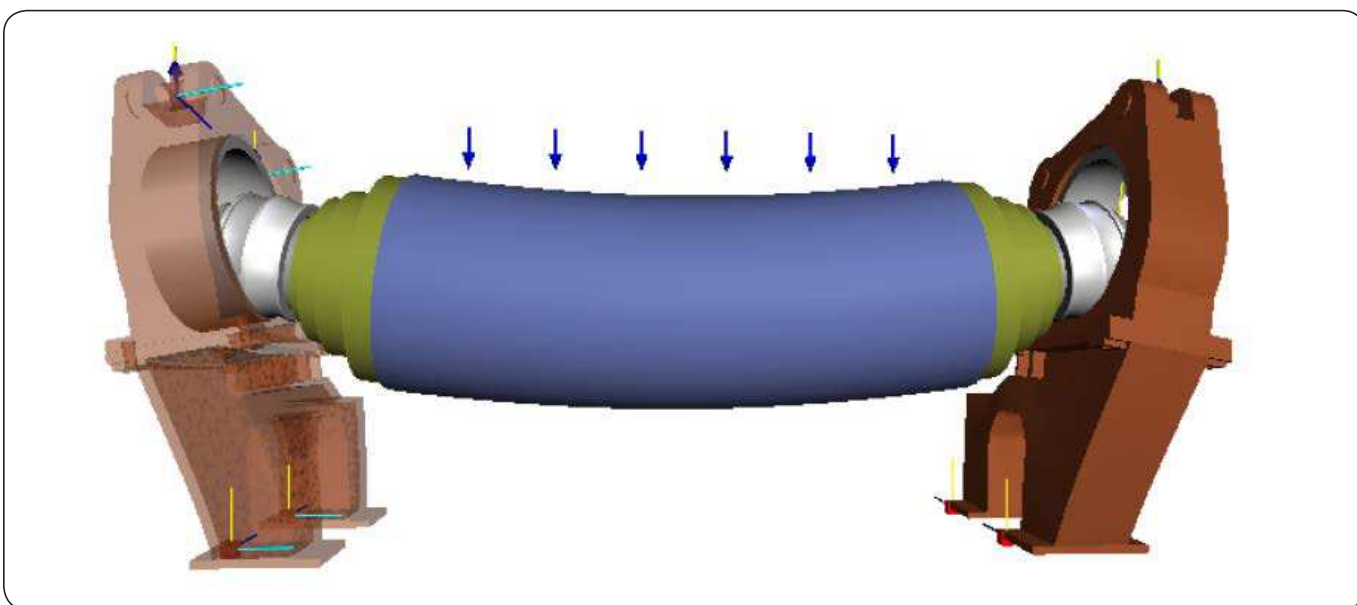


Fig. 13 Cálculos de FEM de SKF que muestran la deformación del rodillo sólido en una prensa de zapata bajo carga de trabajo. Tenga en cuenta que se ha aplicado un gran aumento para visualizar claramente las deformaciones.

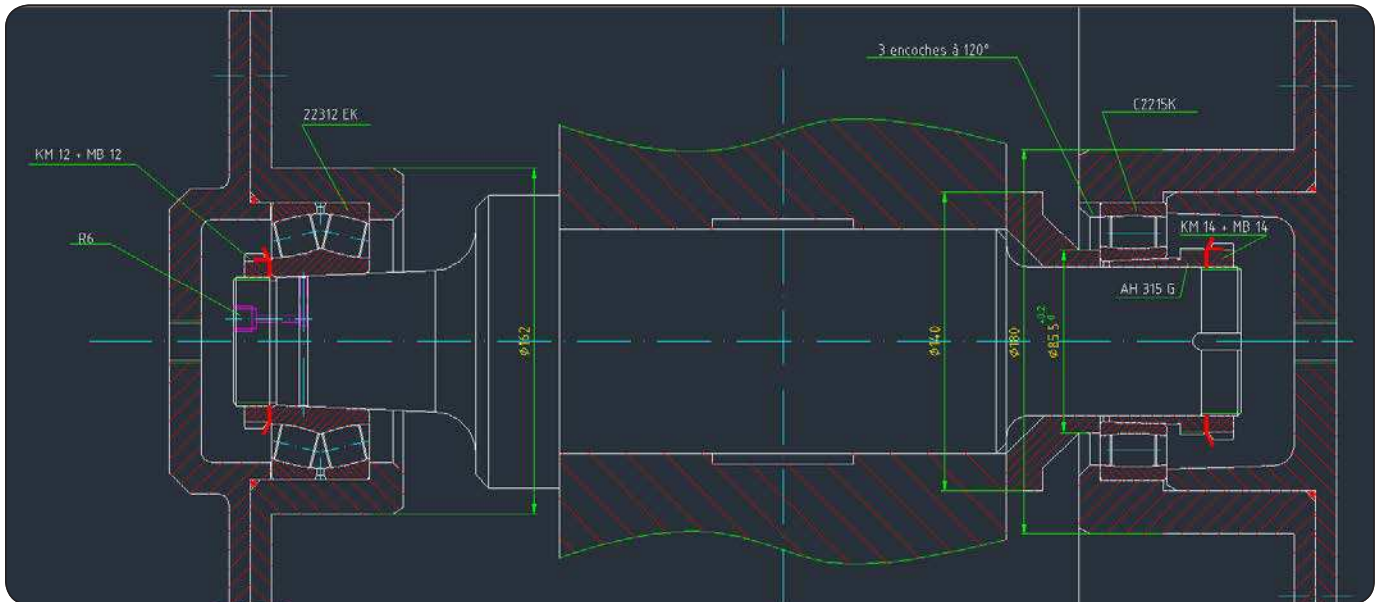


Fig. 14 Disposición modificada de rodamientos de engranaje intermedio con un rodamiento de rodillos a rótula y un rodamiento de rodillos toroidales CARB. Ambos tienen ajustes apretados en sus aros interior y exterior. El diseño original contaba con dos rodamientos de rodillos a rótula con ajuste flojo en los aros exteriores. Como el engranaje accionaba o era accionado, se producían cambios de sentido de la carga en los aros exteriores. Esto provocaba un desgaste debido a los microdesplazamientos y al deslizamiento de los aros exteriores en sus asientos.

- Un dibujo del cilindro o rodillo completos.
- Cargas mínima y máxima, existentes y futuras, para todas las posiciones. Se deben marcar en los planos el sentido y la posición de las cargas.
- Velocidad de giro existente y futura del rodamiento, en lugar de la velocidad de la máquina, para todas las posiciones.
- Temperatura ambiente mínima y máxima para todas las posiciones.
- Temperatura del fluido de calentamiento, existente y futura, para los cilindros secadores, cilindros Yankee y calandrias, junto con la información sobre el lubricante existente, el sistema de lubricación, el intervalo de relubricación, los flujos de aceite, etc.
- El historial de sustitución de rodamientos y todas las fallas recurrentes de los rodamientos, durante al menos los últimos cinco años.

Recopilar toda la información técnica anterior, en especial las cargas, es lo que lleva más tiempo. Se necesitan varias semanas o incluso meses para hacerlo correctamente. A menudo, debido a la falta de información, el ingeniero de aplicaciones de SKF debe realizar suposiciones acerca de las condiciones de funcionamiento. Estas siempre deben ser analizadas y acordadas con el cliente.

Al final del estudio previo, se debe hacer una estimación de las horas-hombre necesarias para la fase dos. No se hacen recomendaciones técnicas, ya que se necesita la conformidad del cliente para realizar los análisis necesarios para las recomendaciones más importantes.

Suponiendo que existe conformidad del cliente para continuar, el ingeniero de SKF se encargará de realizar otros cálculos y análisis en la fase dos. Durante esta fase, se descubrirán las modificaciones necesarias para los rodamientos, soportes, procedimientos de montaje y/o lubricación, etc. En algunos casos, no es necesario realizar modificaciones.

Al final de la fase dos, el cliente recibirá la información técnica y las recomendaciones de si son necesarios los cálculos de FEM, un trabajo especial de diseño del soporte y/o nuevos sistemas de lubricación. Por ejemplo, el ingeniero de SKF podría:

- 1 Aconsejar el uso de rodamientos de rodillos toroidales CARB en lugar de rodamientos de rodillos a rótula en los cilindros secadores libres.
- 2 Especificar la designación del rodamiento recomendada y la vida nominal del rodamiento SKF.
- 3 Describir la viscosidad requerida del aceite y el flujo de aceite, además de los requisitos de aislamiento para el eje.
- 4 Proponer la modificación del soporte existente para que acepte un rodamiento CARB o que se utilice un soporte nuevo.
- 5 Indicar las posibles consecuencias si no se adoptan las recomendaciones, p. ej., mantener un antiguo sistema de circulación de aceite con flujo de aceite limitado y filtración inadecuada.
- 6 Recomendar un nuevo procedimiento de montaje y/o nuevos ajustes (de ser necesario).

Tenga en cuenta que cualquier trabajo de diseño necesario para el soporte, aislamiento del eje o sistema de lubricación por circulación de aceite se realizará en la fase tres.

Se presentan los resultados de la fase de análisis al cliente. A menudo, esto da lugar a varias preguntas del tipo "¿qué pasa si...?". Esto es bastante normal, ya que el cliente necesita entender y equilibrar los beneficios de la propuesta frente a las inversiones necesarias. La fase termina con una decisión del cliente sobre la conveniencia de pasar a la fase tres.

En esta fase, la fase de ejecución, se realizan todas las modificaciones de diseño. Esto puede incluir, por ejemplo, soportes especiales, diseñar nuevos sistemas de lubricación y modificar las disposiciones de rodamientos existentes (→ figura 14). También incluye todas las modificaciones necesarias *in situ*. Todo este trabajo puede

realizarlo SKF, el mismo cliente, un fabricante de equipos, un sub-contratista o puede dividirse entre estas distintas partes.

Para resumir, un proyecto de incremento de velocidad de una máquina no es tan simple desde el punto de vista de un rodamiento. No se trata simplemente de ver si un rodamiento puede soportar el incremento de velocidad. Espero que esta edición de Prácticas SKF para Celulosa y Papel ayude a los interesados a saber lo que hay que tener en cuenta y cómo trabajar con SKF en tales proyectos.

Como nota final, recuerde que el límite real de velocidad para los rodamientos de rodillos a rótula y los rodamientos de rodillos toroidales CARB se alcanza cuando no se puede disipar el calor generado por la fricción interna. Según mi experiencia, si la disposición está bien diseñada, los rodamientos SKF nunca alcanzan los límites mecánicos debido a las tensiones en los componentes del rodamiento como resultado de las fuerzas centrífugas en aplicaciones de máquinas papeleras.

*Atentamente,
Philippe Gachet
Consultor técnico sénior
Philippe.gachet@skf.com*



Segmento Global Celulosa y
Papel SKF

Contacto/Editor responsable
philippe.gachet@skf.com

® SKF es una marca comercial registrada del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2014

El contenido de esta publicación es propiedad de los editores y no puede reproducirse (incluso parcialmente) sin autorización previa por escrito. Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar la exactitud de la información contenida en esta publicación, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicha información.

PUB 72/S9 11147/11 ES · Septiembre 2014

