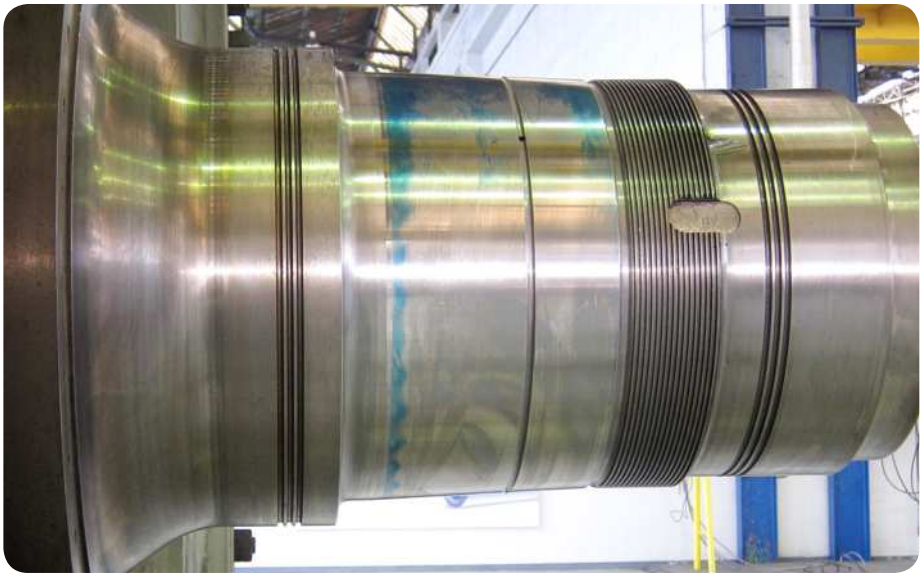
Segmento Global Celulosa y Papel | Volumen 3 | Núm. 13 | Enero 2015

Prácticas SKF para Celulosa y Papel

No hablamos de micras en el taller de planta



Prueba defectuosa con azul de Prusia debido a la poca carga axial en el rodamiento

Cuando era adolescente usaba herramientas de medición tan baratas que nunca estaba seguro de que los asientos de los rodamientos del cigüeñal de mi moto estuviesen dentro de tolerancias. Usaba azul de Prusia para comprobar la planitud de la culata y del bloque motor, y pensaba que todo sería distinto en el sector industrial. Pensaba que se usarían herramientas de alta precisión con una baja incertidumbre de medición respecto a las tolerancias de fabricación. Y creía que no volvería a necesitar el azul de Prusia salvo, quizás, cuando me tocase trabajar con engranajes.

Después aprendí que la realidad era bien distinta. Vi usar cinceles en lugar de llaves de impacto para apretar tuercas de fijación, aceite caliente e incluso llamas en vez de calentadores de inducción, galgas de espesores dobladas en lugar de tuercas hidráulicas y comparadores para montar rodamientos de agujero cónico. Usar estas herramientas poco adecuadas tiene un coste, que se traduce en una menor vida útil del equipo, un aumento en las horas que los operarios tienen que dedicar al mantenimiento, asientos de rodamientos dañados, pérdidas de producción, etc. Es sorprendente que la respuesta de muchas empresas sea la de aceptar estos costes.

Los equipos de mantenimiento no siempre tienen acceso a las herramientas de medición necesarias y, en caso de tenerlas, no siempre están bien calibradas. Ya he perdido la cuenta de cuántas veces he tenido que verificar el diámetro del asiento de un rodamiento usando un micrómetro no calibrado. Incluso si se tienen las herramientas y están bien calibradas, no siempre se realizan las mediciones. Esto se debe a que la prioridad suele ser montar las máquinas y que éstas empiecen a funcionar lo antes posible.

También tenemos que considerar el factor humano. Por ejemplo, es probable que los resultados a los que lleguen dos mecánicos que midan con galgas el juego de unos rodamientos de rodillos a rótula sean distintos. En el mundo de los rodamientos estamos acostumbrados a hablar de micras, pero no es un término que se use mucho en talleres. De hecho, muchas de las decisiones que se toman se basan en sensaciones. El problema es, ¿cómo medimos lo precisas que son las corazonadas de un mecánico experimentado?

Imagínese lo incierto que resulta medir el asiento de los rodamientos en un rodillo prensa utilizando un calibre para asiento cónico. ¿No dispone de calibre para asiento cónico? ¿Y tiene azul de Prusia?

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

Verificar la geometría de un eje cónico

*La mayoría de las preguntas sobre los asientos cónicos de los rodamientos tienen que ver con cuestiones superficiales (como indentaciones, corrosión por fricción, corrosión, desgaste provocado por rodamientos que rotan sobre su asiento y marcas de adherencias). La cuestión de la geometría a menudo se olvida porque muchos asumen que las formas de los componentes no cambian. Sin embargo, el daño superficial puede alterar la geometría del asiento (**fig. 1**) y los ejes pueden estar fuera de tolerancia incluso nuevos.*

He visto casos de fallos en rodamientos provocados por asientos cónicos fuera de tolerancia que generan cambios en la distribución de la carga y en el ajuste. Por eso, sean nuevos o no, recomiendo comprobar los asientos antes de montar los rodamientos. Sirvan como excepción los ejes que llevan un tiempo funcionando y no muestren marcas de contacto desigual, ni al desmontar el rodamiento se aprecien señales extrañas o distribuciones inusuales de la carga.

Aunque existen muchos métodos para comprobar el estado de los asientos cónicos, en este número no me voy a detener a analizar los métodos de medición láser o los que requieren asistencia por ordenador. En su lugar, voy a centrarme en el azul de Prusia y en otros métodos antiguos pero fiables, que no se quedarán sin batería y que seguirán funcionando incluso sumergidos en aceite.

Antes de entrar en detalle, me gustaría compartir unos consejos sobre cómo preparar el terreno antes de una verificación:

1 Retirar cualquier partícula, grasa o aceite oxidado con una esponja especial para entornos difíciles. Pueden ser útiles los disolventes basados en productos derivados del petróleo, como el aguarrás.
2 Eliminar cualquier bulto (adherencias, metal elevado en los rebordes de las indentaciones, etc.) con una lima plana. Cuando pase la mano por la superficie del eje no tendría que notar ningún bulto. Son aceptables pequeñas indentaciones.
3 Limpiar la superficie del eje con un disolvente basado en algún producto derivado del petróleo (como aguarrás) y un paño limpio.

1. El método del azul de Prusia

El azul de Prusia es un pigmento azul oscuro que puede mezclarse con aceite para estudiar el contacto entre dos superficies de metal.

Así es como funciona: se tiñe de azul el agujero de un anillo patrón cuya geometría haya sido previamente verificada y calibrada. Este anillo se coloca luego en el eje cónico y se empuja axialmente con firmeza. Cuando se retira el anillo patrón, las superficies de contacto entre el eje y el anillo estarán azules.

Fig. 1 Corrosión de contacto y adherencias en un rodillo de prensa. Pero, ¿por qué aparecen sólo en el lado izquierdo?

En general:

- En ejes nuevos, el 90% de la superficie de contacto (como mínimo) debería ser azul.
- En ejes usados, el 80% de la superficie de contacto (como mínimo) debería ser azul.

En la práctica no suele haber anillos patrón para todos los diámetros de eje, especialmente los grandes. En estos casos, se puede usar un rodamiento nuevo que se vaya a montar luego. La mayor ventaja es que se puede verificar el grado de contacto entre las superficies de los dos componentes que van a operar conjuntamente.

Sin embargo, es necesario desembalar el rodamiento nuevo y esto supone una desventaja si éste no se va a montar inmediatamente después de hacer la prueba. Otro inconveniente es que, si el azul no marca una superficie de contacto del 80 o 90% mencionados anteriormente, puede ser difícil determinar qué pieza (eje o rodamiento) está fuera de tolerancia, o si ambas tienen la tolerancia correcta pero sus formas geométricas no ajustan lo suficiente como para que el azul de Prusia tiña las superficies de contacto.

Conviene recordar que los agujeros de los rodamientos se fabrican con tolerancias mayores a los de los anillos patrones calibrados, y que los rodamientos grandes pueden deformarse debido a su propio peso. También hay que destacar que el ángulo cónico máximo del agujero del rodamiento es mayor que el del eje y que el ángulo cónico mínimo del eje es menor que el del rodamiento. Por tanto, no resulta extraño que un rodamiento nuevo y un eje tengan una superficie de contacto menor al 80% (con un contacto circunferencial mínimo o inexistente en la parte superior del agujero), incluso si ambos están dentro de los parámetros de tolerancia.

Fig. 2 Comprobación del contacto entre el rodamiento y el eje con el azul de Prusia. Nótese que el martillo sirve para golpear ligeramente el aro interno y asegurarse de que hay contacto.

Fig. 3 El aro interno de un rodamiento de rodillo secador sin zona de carga entre las líneas rojas.

Las desviaciones que revela el azul de Prusia y que no son cónicas se deben, probablemente, a que una de las piezas está fuera de tolerancias. Pero, ¿cuál de ellas es? Para hacerse una idea basta con marcar la posición del aro interior con respecto al eje, desmontar el rodamiento, limpiar el eje, aplicar una nueva capa de azul de Prusia en el agujero del rodamiento y hacerlo girar para que el aro interior no se asiente en la misma posición. Si el eje tiene el mismo patrón de contacto, el problema está en esta pieza. Sin embargo, si el contacto es el mismo en el agujero del rodamiento, éste último es el que falla.

En la portada de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel* nº 11 se ve a un técnico comprobando el asiento cónico de un cilindro secador con el aro interno de un rodamiento desmontado (**fig. 2**). La zona de carga en el camino de rodadura del aro interior no era la normal, ya que no todo el camino estaba cargado. Esto es inusual cuando se trata de un aro que gira respecto a la dirección de carga (**fig. 3**).

Descubrimos que parte del eje no estaba en contacto con el aro interior y que su ancho coincidía con la superficie dañada en el camino de rodadura del rodamiento.

Tras rotar el aro interior del rodamiento en el asiento y volver a aplicar una capa de azul de Prusia, el patrón en el eje fue el mismo. Por tanto, la conclusión fue que el problema provenía de un defecto de forma en el eje (**fig. 4**).

En el caso de los rodamientos muy pesados que deben montarse con ayuda de una grúa, resulta casi imposible ajustarlos bien al eje coaxialmente. Esto se debe a que un rodamiento suspendido de una grúa al ser desplazado de su posición de equilibrio, se moverá hacia arriba trazando una curva equivalente a un arco de un círculo. Esto también supone un problema cuando se montan rodamientos pesados sobre asientos cilíndricos, ya que el rodamiento debe empujarse rápidamente hasta alcanzar su posición final antes de que éste se enfríe y se fije por completo. Para facilitar las cosas, se puede montar un muelle entre la eslinga y el garfio de la grúa (**fig. 5**).

Fig. 4 La ausencia de azul de Prusia demuestra que no hay contacto entre aro y eje.

Fig. 5 Con la ayuda de un muelle, los rodamientos pesados se montan más fácilmente.

La fotografía de la fig. 5 se tomó durante un examen con azul de Prusia (**fig. 6**). Aparecieron patrones extraños en el agujero del rodamiento desmontado y el eje (**fig. 7**). El aro se insertó en su asiento, pero no se caló más porque esto hubiese distorsionado los resultados. En este caso, se tuvo que inyectar aceite entre el eje y el aro interno para desmontar este último. Al final el problema tenía que ver con el eje, pero la lección para recordar es que no se debe insertar el rodamiento con demasiada fuerza.

Otro método que se puede usar para rodamientos pesados que se deforman bajo su propio peso es colocar el rodamiento en el eje y bloquearlo con una tuerca mecánica. La tuerca se aprieta usando una llave de impacto y un martillo hasta que el ruido que haga el martillo al golpear la llave se haga más metálico. Mi recomendación es no usar este método a menos que tenga experiencia previa.

En general, el método del azul de Prusia presenta ciertos inconvenientes:

- Da la impresión de que se produce cierto contacto entre las dos superficies, lo que puede dar lugar a malentendidos.
- Indica si existe contacto o no, pero no mide las desviaciones.
- El grado de transferencia depende de lo espesa que sea la capa de azul de Prusia.
- Rodamientos y ejes que se encuentren dentro de tolerancias pueden tener un contacto inferior al 80%.
- En el caso de rodamientos pesados que se deforman bajo su propio peso, conseguir colocar el rodamiento en el eje no es fácil. Si el rodamiento se empuja sin la fuerza necesaria, el contacto será insuficiente para que lo recoja la prueba. Por el contrario, si la fuerza empleada es excesiva, puede haber demasiado contacto.

A pesar de ello, el método azul de Prusia no debería desecharse como forma de comprobar las superficies entre el rodamiento y el eje. A menudo se mide el diámetro y circunferencia de un eje con tan sólo tres puntos de medida separados por 120 grados. En el caso del eje de la fig. 6, y dependiendo del posicionamiento axial de las medidas, la circunferencia podría haber estado tanto dentro como fuera del rango de tolerancias admisible. Sólo con el método del azul de Prusia se podían destacar las zonas fuera de tolerancia.

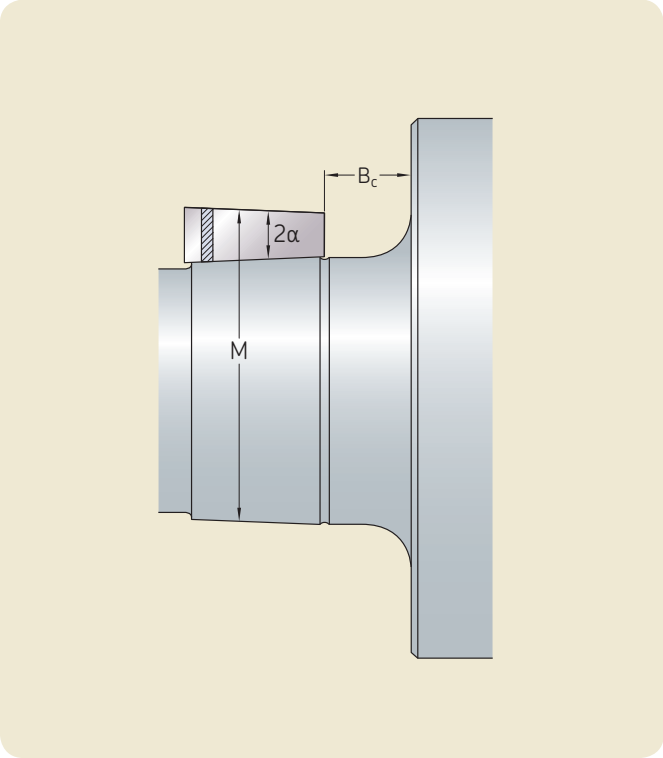


Fig. 8 Teoría del método con calibre

2. Métodos con calibre

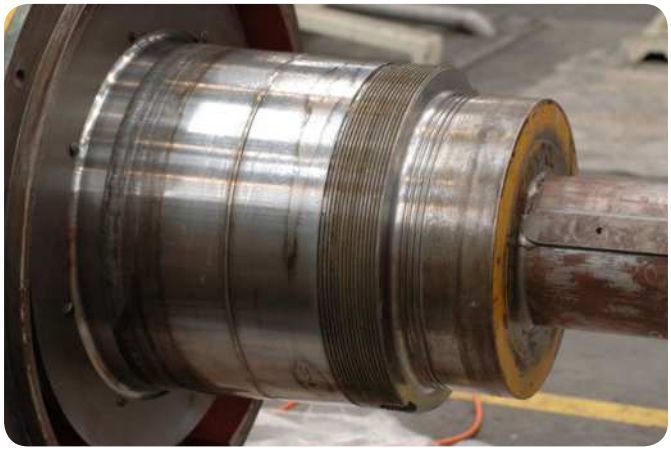
La teoría del método con calibre es muy sencilla. La fig. 8 lo ilustra bien, aunque de forma exagerada.

Se coloca sobre el eje una regla con el mismo ángulo que la conicidad de éste (2α). El borde superior de la regla será paralelo a la generatriz diametralmente opuesta del eje. El valor M es el mismo a lo largo de la regla y el eje. Este hecho es aplicable independientemente de la posición angular de la regla con respecto al eje. Si el valor M varía, esto significa que el ángulo del eje o del agujero no es de 2α y/o que el perfil del eje no está recto.

SKF tiene dos métodos con calibre: estadounidense y europeo.

Fig. 6 Un aro interior listo para ser insertado en un asiento previamente teñido con azul de Prusia.

Fig. 7 Un patrón de contacto extraño en un eje.



2.1 Herramienta de medición de asientos cónicos (EE. UU.)

La herramienta de medición de asientos cónicos de EE. UU. cuenta con una regla (llamada regla de senos) que se coloca de cara al extremo más estrecho del eje cónico (**fig. 9**).

Antes de colocar la regla de senos, deberá pasar una regla teñida con azul de Prusia por la superficie del asiento cónico (**fig. 10**). Si el azul cubre más del 90% de la longitud de asiento de los ejes nuevos, o del 80% en los usados, la desviación con respecto a la rectitud puede considerarse aceptable. Eso no garantiza que la rectitud esté fuera de tolerancia, sino que debe utilizarse un método más objetivo.

Éste consiste en colocar una regla sobre dos bloques calibrados (**fig. 11**). El espacio entre la generatriz del cono y la regla puede medirse con galgas de espesores. Si se eligen bloques de un grosor adecuado, la precisión se puede mantener en 0,005 mm +/- la de la herramienta utilizada. Sin embargo, tenga en cuenta que no se admiten desviaciones significativas (el IT5/2 para un eje con diámetro de 600 mm es de 0,015 mm) y que no es fácil alinear y fijar una regla en un plano axial exacto.

Una alternativa más rápida es colocar una regla sobre el eje y una luz tras ésta. Los montadores experimentados son capaces de estimar a ojo si el grado de desviación es aceptable para esa aplicación o no. Yo mismo uso ese método en ocasiones. Cuando lo hago, baso mis decisiones resultantes en el tipo de aplicación y en si la galga de espesor más fina cabe bajo la regla. El paso de una galga de espesores de 0,03 mm es inaceptable en todos los casos, pero se podría introducir una de 0,02 mm si el agujero del rodamiento superase los 800 mm. Sin embargo, como la galga de espesores de 0,02 mm tiene poca rigidez, lo mejor es colocarla sobre el eje y luego poner la regla encima antes de tirar suavemente.

Una vez se compruebe la rectitud, podrá medirse la desviación del cono. Esto se consigue midiendo la distancia desde cada extremo de la regla de senos con un micrómetro. En la literatura SKF al respecto, se habla de H_1 y H_2 (**fig. 12**). Si el ángulo cónico del eje se corresponde con el ángulo de la regla de senos, entonces $H_1 = H_2$.

Por cada tamaño de rodamiento por encima de un determinado diámetro, SKF proporciona una referencia de regla de senos, un valor nominal y tolerancia para H_1 y una tolerancia para H_2. H_2 es el valor real medido para H_1, no el valor nominal.

Usando el ejemplo de un rodamiento de rodillos a rótula 230/750 CAK/C083W33, H1 debería medir 31,3519" (-0,0045;+0,0) usando la regla de senos de SKF B-8491-4. Si el valor real medido de H_1 es de 31,3500", entonces el diámetro del extremo estrecho del asiento cónico estaría dentro de tolerancias. El ángulo del asiento cónico estará dentro de tolerancias si el valor medido para H_2 fuese equivalente a 31.3500" (-0,0010; + 0,0020), es decir, entre 31.3490" y 31.3520".

Si H_2 es mayor que H_1, el ángulo real del cono será mayor que el nominal (es decir, estará más abierto). Por el contrario, si fuese más pequeño, el ángulo estaría por debajo del valor nominal (es decir, estaría más cerrado).

Se debe repetir el procedimiento completo (tomar medidas del nivel de rectitud y de la desviación del ángulo de conicidad) al menos dos veces más, espaciadas a 120 grados.

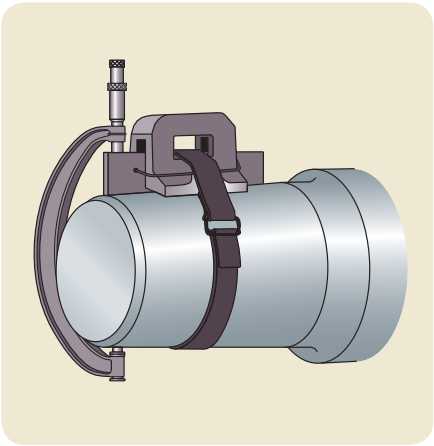


Fig. 9 Herramienta de medición de asientos cónicos (EE. UU.).

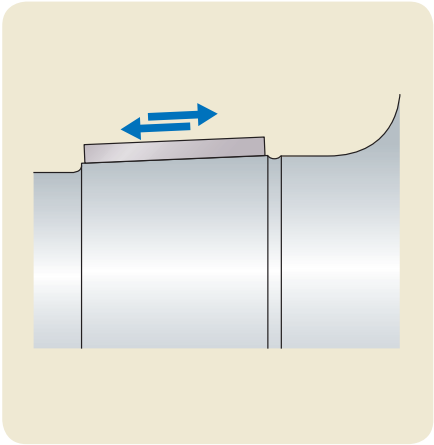


Fig. 10 Comprobar la rectitud usando una regla teñida con azul de Prusia.

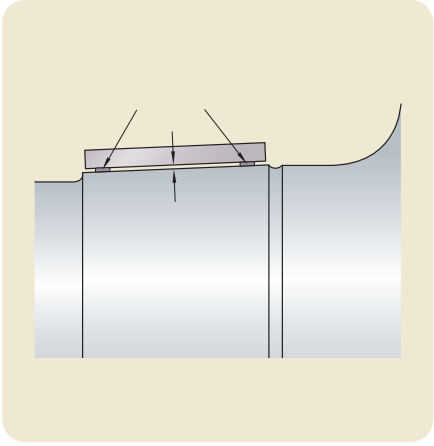


Fig. 11 Regla sobre bloques calibrados para realizar una medición objetiva de la rectitud mediante galgas de espesores.

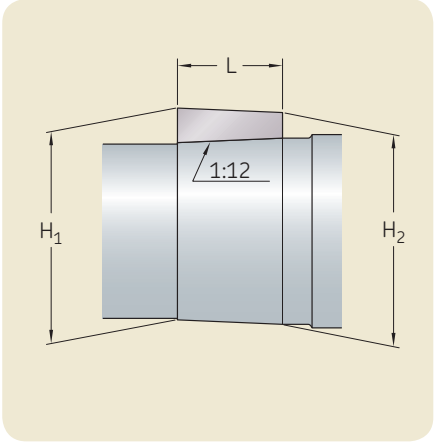


Fig. 12 Cuando el ángulo de conicidad del eje se corresponde con el ángulo de la regla de senos, $H_1 = H_2$

2.2 Herramienta europea de medición de asientos cónicos, SKF 9205

Antes de usar la herramienta SKF 9205, la rectitud del eje se verificará según el método mencionado en el apartado anterior.

La herramienta SKF 9205 está compuesta por dos pasadores calibrados que están posicionados y guiados con precisión en la regla (**fig. 13**). Tenga en cuenta que con este útil, la medición de la cota M deberá realizarse en la cresta del pasador.

Con la herramienta SKF 9205, la posición sobre el asiento cónico en el eje se basa en la distancia conocida (B_c) entre el útil y la cara de referencia. "M" se calcula para la posición deseada del rodamiento de rodillos en el eje medida desde el centro del rodamiento (B_a) con respecto a una cara de referencia (B_c) (**fig. 14**). Este tema se tratará de forma más detallada en el próximo número de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel*.

Como ocurre con el método de regla de senos, en el que el ingeniero mide H_1 primero y luego comprueba que está dentro de tolerancias, M se mide y el resultado se compara a los valores de tolerancias. Después, como sucede cuando se comparan los valores H_2 y H_1, M_1 se coteja con M.

He seguido la nomenclatura H_1, H_2, M y M_1 que usa SKF para mantener la coherencia con otros textos publicados.

La herramienta SKF 9205 tiene dos ventajas importantes con respecto al de regla de senos:

1 La posición del asiento cónico del rodamiento en el eje puede verificarse comparando el valor M medido y el valor M calculado. Si el valor M medido es menor que el valor M calculado, el asiento cónico estará más cerca de lo esperado de la cara de referencia (y viceversa).

2 Se puede fabricar un anillo distanciador, con un ancho igual a Bb, contra el que apoyar el rodamiento. No es necesario contar con el rodamiento físicamente, basta con medir la desviación del valor nominal M ya que conocemos de antemano la posición del rodamiento tras el calado axial. Este sistema tiene la ventaja añadida de simplificar el montaje del rodamiento. No hay necesidad de emplear galgas de espesores, o recurrir al método de calado axial de SKF, basta con desmontar el antiguo rodamiento, verificar si el asiento del mismo sufre algún daño y colocar el nuevo rodamiento contra el anillo distanciador.

El siguiente ejemplo de la industria cementera ilustra bien esta segunda ventaja de la herramienta SKF 9205.

Fig. 13 Herramienta SKF 9205 de SKF para medición de asientos cónicos.

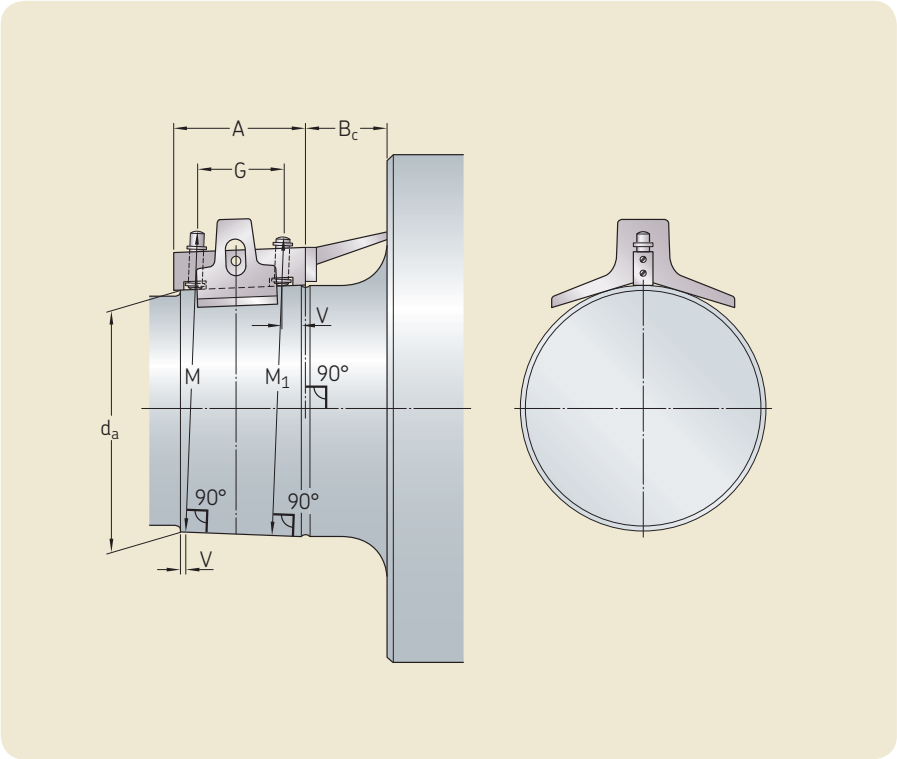
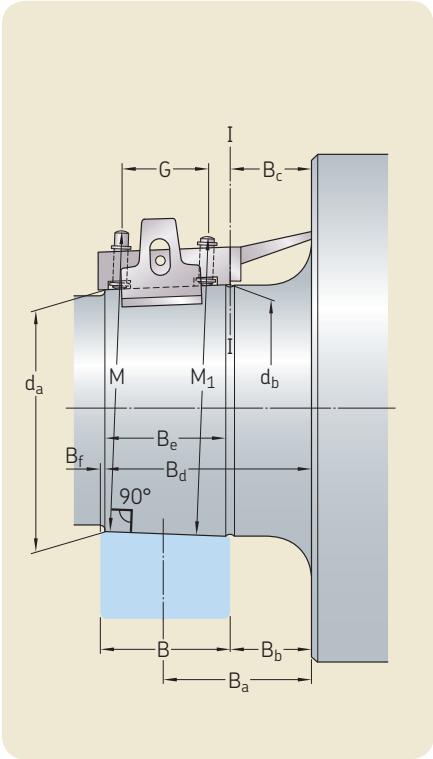


Fig. 14 El valor de M dependerá de la posición del rodamiento en el eje (B_a) y de la distancia (B_c) desde la cara de referencia.



Se tuvo que montar un rodamiento de rodillos a rótula 241/900 de 3.500 kg contra un anillo distanciador debido a fuertes cargas y a niveles altos de vibración. El procedimiento normal del cliente era:

1 Montar el rodamiento usando galgas de espesores para medir la reducción del juego.
2 Medir la distancia desde la cara lateral del rodamiento hasta el resalte del eje.
3 Desmontar el rodamiento y fabricar un anillo distanciador adecuado.
4 Montar el anillo distanciador y después el rodamiento contra éste.

Seguir este sistema supone correr un riesgo muy alto si se monta un rodamiento con el método de control de reducción de juego, ya que no siempre resulta sencillo realizar esa medición con rodillos de 24 kg. Es más, montar un rodamiento tan pesado dos veces desperdicia muchas horas de mano de obra.

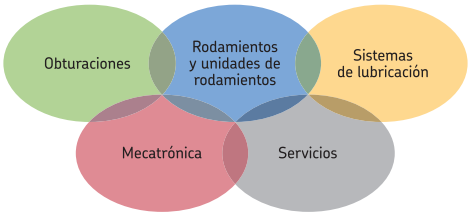
Recomendé al cliente que, tras la fabricación del eje, midiera el asiento cónico con el útil SKF 9205 y que me enviase los resultados. Con esta información, fui capaz de calcular el ancho de los anillos distanciadores que iban a necesitar en cada eje que fabricasen. Así, podrían fabricar los anillos al ancho adecuado y montar los rodamientos contra éstos en cuanto les llegaran. El cliente siguió mi consejo y, desde entonces, no hemos tenido que desmontar ningún rodamiento a causa de un ancho inadecuado del anillo distanciador. Creo que el resultado es excelente, si tenemos en cuenta que estamos hablando de 35 máquinas nuevas en los últimos 20 años (además de todos los rodamientos de sustitución que se han calado usando los mismos anillos distanciadores como apoyo).

No voy a seguir por el momento. Hablaré más sobre el útil SKF 9205 en el próximo número de *Prácticas para Celulosa & Papel de SKF*. En ese boletín abordaré el tema de cómo elegir el tamaño adecuado de útil, cómo calcular M y el ancho de los anillos distanciadores, así como algunas reflexiones sobre tolerancias e incertidumbre de medición.

Para terminar, por favor recuerde dos cosas:

1 Si el azul de Prusia no cubre el 80% o el 90% del componente, esto no significa que el rodamiento, su asiento, o ambos, estén fuera de tolerancias. Simplemente, supone que se deben tomar medidas de verificación más precisas.
2 Cuando use un micrómetro, asegúrese de que el aparato está calibrado antes, durante y después de realizar mediciones.

Atentamente,
Philippe Gachet
Consultor técnico jefe
philippe.gachet@skf.com



Gracias a una combinación de productos, personal y conocimientos específicos sobre aplicaciones, SKF proporciona soluciones innovadoras a los fabricantes de equipos y centros de producción de las principales industrias del mundo. La experiencia de SKF en múltiples sectores nos permite ofrecer el programa de Gestión del Ciclo de Vida, un método de eficacia probada para mejorar la fiabilidad del equipo, optimizar la eficiencia energética y operativa, y reducir el coste total de propiedad.

Somos especialistas en rodamientos y unidades de rodamientos, obturaciones, sistemas de lubricación y mecatrónica, además de ofrecer una amplia gama de servicios que van desde el diseño informático en 3D hasta la monitorización de estado avanzada y sistemas de fiabilidad y gestión de activos.

La presencia global de SKF garantiza a nuestros clientes unos niveles de calidad uniformes y la disponibilidad universal de los productos. Nuestra presencia local proporciona acceso directo a la experiencia, conocimientos e inventiva del personal de SKF.

Segmento Celulosa y Papel
Global de SKF

Contacto/Editor jefe
philippe.gachet@skf.com

® SKF es una marca registrada del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2015
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 11147/12 ES · Enero 2015