

No quiero que me llamen "experto"

"Después de 22 años de trabajar como ingeniero de SKF para la industria papelera, todavía estoy en clima de aprendizaje. Habiendo dicho esto, digo también que durante ese período desarrollé algunos principios que me ayudan en la vida profesional y en la personal".

Mi primer principio es que "solo porque se ha hecho siempre así" no significa que sea una buena manera de hacerlo. El segundo principio se basa en una cita de Gandhi. "Un error no se convierte en verdad porque se propaga y multiplica, ni la verdad se convierte en error porque nadie la ve". El tercer y último principio es que "al iluminar el pasado, el presente se vuelve más claro".

Hace algunos años, recuerdo haber tenido que supervisar el montaje de algunos rodamientos de cilindro secador. Los técnicos instaladores provenían de una empresa de mantenimiento tercerizada. ¡Algunos habían trabajado en panaderías la semana anterior! Una persona mayor a quien todos llamaban "patrón" estaba a cargo del equipo. El patrón explicaba al equipo cómo utilizar las galgas de espesores para comprobar el juego de rodamientos y cómo montar los rodamientos sobre asientos cónicos. Les dijo que redujeran el juego a su valor mínimo residual permisible.

Sin querer contradecirlo frente a su equipo, esperé hasta que estuviéramos solos para explicarle que no teníamos que tener como objetivo el juego mínimo residual permisible porque eso podía llevar a fallas prematuras - hasta grietas en aros interiores - especialmente con rodamientos de cilindros secadores con clase de juego C4 ó C5.

El patrón me explicó que había trabajado durante más de 20 años para un fabricante de grúas, que siempre había montado los rodamientos de rodillos a rótula de esa manera y que nunca había recibido quejas. No tenía mucho tiempo para el joven ingeniero de SKF, recién salido de la universidad, quien le dijo que los rodamientos de la grúa no tenían juego C4 y que el riesgo de obtener un ajuste apretado era mucho menor.

El patrón posteriormente se jubiló. Se convirtió en capacitador en montaje de rodamientos y le enseñaba a los educandos su manera de hacer las cosas. El catálogo de rodamientos no advertía a los lectores con respecto al juego radial mínimo permisible y que se podía interpretar erróneamente con mucha facilidad. Por lo tanto, el error se convirtió en verdad por un tiempo.

En estos días, no se encuentra información sobre juego radial mínimo permisible en los nuevos catálogos de rodamientos SKF. Aprendimos, y no los incluimos más. Sin embargo, a partir de aquel día nunca estoy del todo cómodo cuando un colega me presenta como un experto.

*Atentamente,
Philippe Gachet
Consultor Técnico Senior
Philippe.gachet@skf.com*



Rodamientos para cilindros secadores y Yankee – Su lubricación (Parte II)

En esta edición de Prácticas SKF para Celulosa y Papel continúo con el tema de rodamientos para cilindros secadores y Yankee que comencé en la edición anterior. Así, recomiendo que lean nuevamente la edición 6 para refrescar la memoria.

Como les prometí la última vez, abordaré una cantidad de tópicos importantes: tratamiento térmico y acero de rodamientos, clase de juego, selección de aceite y velocidades de flujo del aceite.

Acero de rodamientos y tratamiento térmico

Como vimos en la edición anterior, los aros interiores de los rodamientos en aplicaciones de cilindros secadores y Yankee tienen que tolerar alta tensión circunferencial, especialmente durante el arranque del equipo. Esto los puede agrietar, aunque el riesgo es mayor con ciertos tipos de acero y métodos de tratamiento térmico que con otros.

Consideremos primero el acero martensítico revenido. Se utiliza en la amplia mayoría de rodamientos fabricados, dado que proporciona la dureza adecuada a costo comparativamente bajo. Desafortunadamente, en ese acero hay esfuerzos de tracción residuales cerca de la superficie. Esto se debe a que la estructura del acero se modifica durante el tratamiento térmico y su volumen aumenta a medida que se enfría, pero la superficie se enfría más rápidamente que el núcleo. Esto lleva a una situación en la que es necesario que el núcleo incremente su volumen, en tanto la superficie ya está endurecida y no se puede deformar. Esto crea esfuerzos de tracción cerca de la superficie, donde se pueden desarrollar microgrietas debido a fatiga clásica o iniciada en la superficie. Si el ajuste del rodamiento sobre su asiento es muy apretado, o –como en aplicaciones de cilindro secador– el asiento está a mucha más temperatura que el aro interior, aumenta el esfuerzo de tracción.

Tomar como ejemplo el rodamiento de un cilindro secador fabricado con acero martensítico con esfuerzo de tracción residual, cerca de la superficie, de 80 MPa (11.600 psi). Asumir que un ajuste apretado produce tensión circunferencial de 50 MPa (7250 psi) y que la expansión térmica del eje radial debido al vapor le agrega otros 50 MPa (7250 psi).

Esto suma 180 MPa (26100 psi) de esfuerzo de tracción total, que es levemente superior al máximo 175 MPa (25 375 psi) que recomendamos para aros revenidos. En tanto 175 MPa (25375 psi) no es un máximo absoluto dado que los rodamientos nuevos sin ningún daño superficial pueden tolerar más, es un máximo práctico basado en la experiencia en campo donde, como sabemos, los aros no permanecen siempre en condición de nuevos.

Comparar el ejemplo precedente con respecto al acero bainítico revenido o cementado, que tenga esfuerzos de compresión residuales cerca de la superficie después del tratamiento térmico. Con

acero bainítico premium de rodamientos, por ejemplo, con esfuerzos de compresión de, digamos, 125 MPa (18.125 psi), el esfuerzo de tracción total –asumiendo las mismas condiciones– es 25 MPa (3 625 psi). Esta es la razón por la que las microgrietas por debajo de la superficie se propagan más lentamente en esos aceros, y por qué son más resistentes a agrietarse.

Se debe tener en cuenta, sin embargo, que no todo los aceros bainíticos se crean iguales. Consideremos, por ejemplo, las dos últimas generaciones de acero bainítico revenido utilizado en nuestros rodamientos de rodillos a rótula, CARB y rodamientos axiales de rodillos a rótula. En tanto los esfuerzos de compresión residuales son más o menos los mismos, la última generación tiene cuatro veces más granos por unidad de área y una estructura más fina. Como tal, la resistencia al resquebrajamiento es mucho mayor que la de la generación anterior. Si está interesado, puede leer más sobre este tema en la edición cuatro de Prácticas SKF para Celulosa y Papel.

Es difícil –aunque no imposible– que los aceros cementados se agrieten, dado que tienen un núcleo blando. En tanto nunca encontré un rodamiento de rodillos a rótula de acero cementado montado sobre un cilindro secador o Yankee con un aro interior agrietado, lo he visto en rodamientos de otros fabricantes. Otro hecho digno de recordar con respecto a los rodamientos fabricados con aceros cementados es que no necesariamente se reduce el riesgo de daño superficial o fatiga subsuperficial. En realidad, algunos tienen menor resistencia a la fatiga que los aceros bainíticos revenidos modernos.

Otro problema importante es la estabilización térmica. Los rodamientos SKF utilizados en aplicaciones de cilindros secadores y Yankee están estabilizados térmicamente a 200 °C (392 °F). Esto no significa que no habrá ningún cambio dimensional debido a la temperatura. Más bien, significa que tales cambios son limitados y aceptables. Para SKF, aceptable significa cambios dentro de los siguientes límites:

Medidas métricas:

0 a +10 $\mu\text{m}/100\text{ mm}$ con estabilización de 150 °C a 150 °C durante 2500 horas

–15 a +5 $\mu\text{m}/100\text{ mm}$ con estabilización de 200 °C a 200 °C durante 2500 horas

Medidas imperiales:

0 a +0.0254 pulg /10 pulg con estabilización de 302 °F a 302 °F durante 2500 horas

–0,0381 pulg a +0,0127 pulg /10 pulg con estabilización de 392 °F a 392 °F durante 2500 horas

Los rodamientos de acero martensítico con baja estabilización térmica (100-120 °C o 212-248 °F) se expandirán, después de un corto período de funcionamiento a 120 °C (248 °F). Hace algunos años, cuando se acostumbraba montar dichos rodamientos en cilindros secadores, muchos perdían el ajuste apretado de su aro interior y a veces rotaban sobre el muñón, originando desgaste. Esto llevaba a que el personal de mantenimiento incrementara el drive-up en el asiento cónico para alcanzar un ajuste más apretado, y así se incrementaba el esfuerzo de tracción y la incidencia de aros interiores agrietados.

Consideremos el ejemplo de un rodamiento de rodillos a rótula, 23052 CCK/CW33, en un cilindro secador sin aislación y una temperatura de vapor de 130 °C (266 °F). Los cambios dimensionales del aro interior variarán de manera significativa según el acero utilizado y el nivel de estabilización térmica (ver **figura 1**)

Considerando el esfuerzo residual, la resistencia al resquebrajamiento y la estabilidad dimensional, se podría concluir que los rodamientos para aplicaciones de cilindros secadores y Yankee deben ser estabilizados a 200 °C (392 °F) y cementados. En realidad, las cosas no son tan simples.

Hace 60 años, SKF propuso en Suecia rodamientos de acero bainítico revenido -estabilizados térmicamente a 200 °C (392 °F)- para aplicaciones de cilindros secadores y Yankee. Se convirtieron en el estándar para este servicio, y posteriormente para todos los rodamientos de rodillos a rótula SKF fabricados en Suecia. En contraste, SKF en los Estados Unidos mantuvo como estándar los rodamientos de acero martensítico revenido, y ofreció rodamientos con aros interiores cementados para secadores y Yankee.

Como consecuencia, durante varias décadas la mayoría de las máquinas de fabricar papel diseñadas en Europa utilizaban rodamientos de rodillos a rótula fabricados con acero bainítico, en tanto los diseñados en los EEUU utilizaban rodamientos de acero martensítico y cementado para los cilindros calientes de la sección secado. Para complicar aún más el tema, las subsidiarias europeas diseñaron algunas máquinas Beloit y utilizaron rodamientos de acero bainítico, y SKF Suecia tenía la capacidad de ofrecer rodamientos de acero cementado si el cliente lo requería.

En función de la coherencia, y porque los equipos europeos con frecuencia se vendían a mercados que favorecían los rodamientos de acero cementado, SKF comenzó a recomendar rodamientos con aros interiores cementados para cilindros calientes a principios de la década de 1990. Muchos clientes estaban satisfechos con el acero bainítico estándar y no cambiaron, pero algunos sí.

Hasta aquí la lección de historia, pero las épocas y las tecnologías avanzan. Según nuestros últimos desarrollos de tratamiento térmico y la base de máquinas de fabricar papel equipadas con rodamientos estándar SKF en las secciones de secado, actualizamos nuestras recomendaciones al finalizar 2010.

Entonces ¿cuáles son las recomendaciones actuales de SKF? Muy sencillo:

- 1 Si los muñones están aislados, no se necesitan rodamientos con aros interiores cementados y se pueden utilizar los rodamientos de rodillos a rótula y CARB estándar de SKF.
- 2 Si los muñones no están aislados se pueden utilizar los rodamientos de rodillos a rótula estándar y CARB de SKF si las temperaturas del vapor son inferiores a 170 °C (8,35 bars) o 338 °F (121 PSI). Si no, deben montarse rodamientos con aros interiores cementados.

En SKF, los rodamientos de rodillos a rótula y los CARB con aros interiores cementados se designan con el sufijo HA3. La excepción es para los rodamientos de rodillos a rótula fabricados en los EEUU que tienen el prefijo ECB.

Ejemplo de un rodamiento 23040 con orificio cónico y clase de juego C4:

- 23040 CCK/C4W33 (acero bainítico revenido estándar)
- 23040 CCK/HA3C4W33 o ECB 23040 CCK/C4W33 (rodamiento con aro interior cementado)

Una última palabra de advertencia: tenga cuidado si incrementa la velocidad de sus antiguos cilindros secadores sin aislación y al mismo tiempo se incrementa la temperatura del vapor por encima de 170 °C. Esto podría originar problemas salvo que los rodamientos montados sean adecuados.

Fig. 1 – Expansión dimensional del aro interior en $\mu\text{m}/100\text{ mm}$ (pulg/10 pulg).

Tiempo de funcionamiento	Dimensionalidad del acero martensítico estabilizado a 120 °C (248 °C)	Dimensionalidad del acero martensítico estabilizado a 200 °C (392 °C)	Acero martensítico templado en sal SQS estabilizado dimensionalmente a 200 °C (392 °F)	Acero bainítico nuevo de SKF estabilizado dimensionalmente a 200 °C (392 °F)
10000 horas	17 (0.0432)	5 (0.0127)	0,07 (0.0002)	0,05 (0.0001)
100.000 horas	70 (0.1778)	13 (0.0330)	0,31 (0.0008)	0,35 (0.0009)

Clase de juego

Si desmontamos un rodamiento de cilindro secador y observamos las marcas causadas por el funcionamiento en el camino de rodadura del aro exterior, podemos ver que la zona de carga con frecuencia es aproximadamente un tercio de la circunferencia. Esto muestra que el rodamiento ha funcionado con mayor juego que el necesario, y que la distribución de carga no está optimizada para una vida de fatiga más larga. Como sabemos, si se desea una vida de fatiga más larga, es mejor una precarga leve (ver **figura 2**).

Sin embargo, es necesario que el juego sea el suficiente para evitar precarga excesiva durante el arranque en frío, cuando -debido al vapor que pasa a través del orificio del muñón- hay una gran diferencia entre la temperatura del aro interior y la del aro exterior del rodamiento, y una subsiguiente reducción del juego. La consecuencia es una zona cargada más pequeña una vez que el equipo ha alcanzado su temperatura operativa en régimen permanente.

En teoría, una precarga pequeña no es una preocupación dado que incrementa la vida de fatiga, pero no debemos olvidar que la fricción aumenta y, en consecuencia, la precarga puede aumentar -a veces de manera descontrolada- con riesgo de que se atasquen los rodamientos. Además, se deben considerar otras cosas:

- 1 Posible errores de forma del soporte y del muñón
- 2 El método de montaje utilizado para obtener el ajuste correcto

Todavía se utiliza mucho el método de la galga de espesores para el montaje, que puede originar distintas reducciones de juego.

Además, el montaje incorrecto es relativamente común, en el que los técnicos instaladores tratan de alcanzar el juego mínimo residual recomendado que se muestra en los antiguos catálogos de rodamientos. En los cilindros secadores, esto ocasiona demasiada reducción del juego.

Considerando todo, no es un problema jugar a lo seguro y tener mayor juego operativo que el necesario en estas aplicaciones, puesto que el tamaño de cilindros secadores y Yankee por lo general está sobredimensionado.

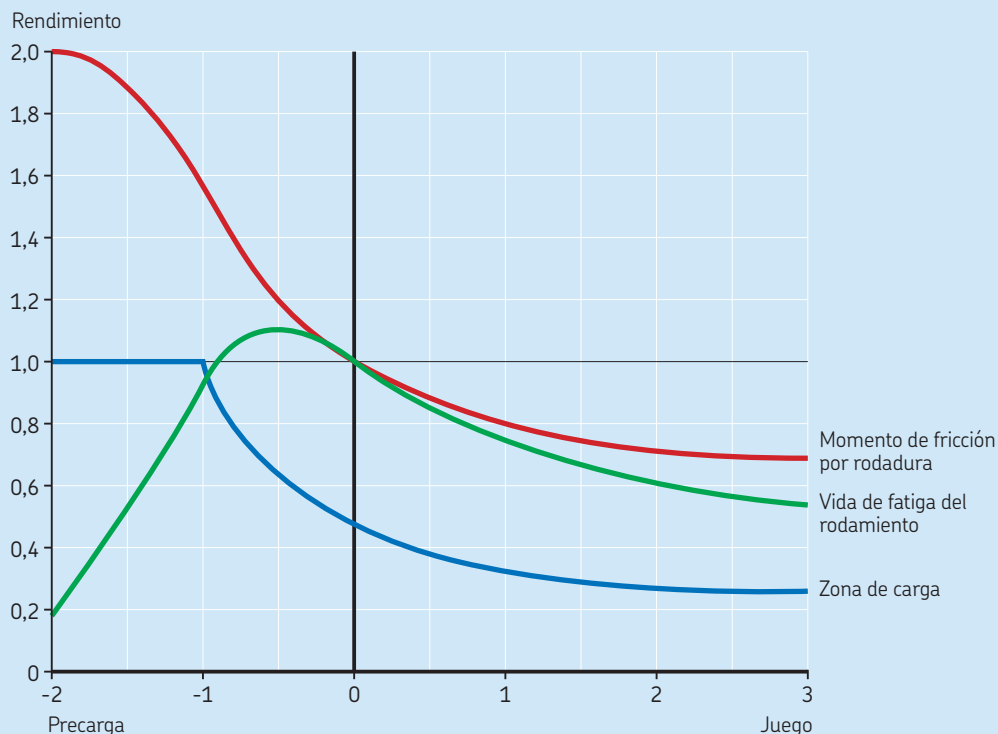
A través de los años, la clase de juego C4 se ha convertido en el estándar de la industria para cilindros secadores y Yankee, aunque la clase C3 es la óptima en algunos casos. Sin embargo, para los casos en que no hay aislación del muñón y las temperaturas del vapor superan los 165–170 °C (320–338 °F), recomendamos juego C5.

Antes de continuar hablando sobre lubricación, necesito decir algunas cosas más sobre selección de rodamientos. Primero, no quería abarcarlo puesto que hay mucha confusión con respecto a la vida de los rodamientos, y porque el tema realmente necesita un artículo propio; de todos modos, quiero remarcar cuatro puntos.

Uno, para el cálculo de carga, siempre se consideran la masa del cilindro y la carga de la prensa del Yankee, pero con frecuencia se olvidan las cargas creadas por la tensión del fieltro y el agua dentro del cilindro.

Dos, por lo general se acepta que la vida nominal básica (L10h), que solo considera la carga y la velocidad rotacional, debe ser superior a 200.000 horas para los rodamientos de cilindros secadores y Yankee. Esta es una pauta antigua, mayor que la de los

Fig. 2 – Influencia del juego interno del rodamiento en la vida de fatiga y la fricción.



rodamientos de otras aplicaciones de máquinas para fabricar papel. Lleva a utilizar rodamientos de tamaño excesivo; tenía sentido en viejas épocas para compensar la lubricación inadecuada y la contaminación. En la actualidad, la vida nominal SKF (L10mh) permite un cálculo de vida más realista, ya que toma en cuenta la contaminación sólida (eficiencia del filtro de aceite), la separación de la superficie en el contacto rodante (proporción de viscosidad) y el límite de carga de fatiga del material. Sin embargo, la industria no ha alcanzado acuerdo sobre cuál debe ser la vida nominal SKF. Algunos fabricantes dicen que más de 100.000 horas está bien, pero otros adhieren a la antigua vida de 200.000 horas. Mi opinión personal es que L10mh debe superar las 100.000 horas y que el contenido de agua se debe mantener por debajo de 200 ppm, con 500 ppm permisibles solo durante el funcionamiento.

Tres, cuando se calcula la vida nominal, no se tiene en cuenta el contenido de agua en el aceite ni su influencia. El agua disuelta influye en la vida del rodamiento, pero distintos estudios muestran distintos resultados. Como no hay resultados consistentes, no se incluye en ningún cálculo de vida nominal.

Cuatro, la vida nominal calculada no es la vida de servicio. La vida nominal calculada se utiliza para seleccionar un rodamiento para una aplicación, en tanto la vida de servicio es la vida real de un rodamiento en una aplicación. La vida de cada rodamiento solo se puede calcular estadísticamente, y el cálculo de vida solo se refiere a una población de rodamientos con un cierto grado de confiabilidad. Además, las fallas de rodamientos en cilindros secadores y Yankee por lo general no son el resultado de fatiga normal, sino que se deben principalmente a la corrosión y a la lubricación inadecuada.

Lubricación

La lubricación con grasa, por baño de aceite y por goteo de aceite no se recomienda para los cilindros secadores ni Yankee. SKF recomienda sencillamente la lubricación por circulación de aceite en los equipos modernos para maximizar la confiabilidad.

En algunos casos se utiliza el mismo aceite para lubricar los rodamientos utilizados en los cilindros secadores, los rodillos de vacío, los rodillos de fieltro y los engranajes integrados. Esto es un problema, dado que los aceites adecuados para engranajes y cilindros secadores tienen distintas características. Los aceites para engranajes necesitan aditivos EP que no recomendamos para las aplicaciones de cilindros secadores.

Con respecto a los cilindros Yankee, SKF recomienda sistemas de lubricación separados para los rodamientos Yankee, la caja de engranajes externa y la prensa de succión o rodillo prensa. Se trata de aplicaciones totalmente diferentes y es mejor lubricar cada una con los aceites que tengan las propiedades adecuadas. Dicho enfoque también previene la contaminación cruzada. Por ejemplo, el aceite que lubrica el rodillo de la prensa de succión podría estar contaminado con agua y con los aditivos EP necesarios para los engranajes, que aceleran el envejecimiento del aceite y reducen drásticamente la vida del rodamiento.

Pasemos a observar la lubricación con más profundidad, teniendo en cuenta que lo que sigue aplica solo a rodamientos para cilindros secadores y Yankee.

Flujo y viscosidad del aceite

Claramente, se necesita cierta velocidad de flujo del aceite para enfriar los rodamientos de la sección secado y asegurar que el aceite del contacto rodante tiene la suficiente viscosidad para crear una película de espesor adecuado.

SKF utiliza el valor κ (kappa) como indicador de la separación de superficies en el contacto rodante. Es una proporción de viscosidad.

$$\kappa = v/v_1$$

Donde:

κ = proporción de viscosidad

v = viscosidad operativa real del aceite, en mm^2/s , a temperatura de operación del rodamiento

v_1 = viscosidad nominal que depende del diámetro medio y de la velocidad rotacional del rodamiento, en mm^2/s .

El Catálogo General de SKF muestra que la viscosidad nominal es la viscosidad mínima con lubricación adecuada en el contacto rodante, y también cómo se calcula. Cuanto mayor es el valor de κ , mejor es la separación de superficies. Para κ superior a 4, las superficies están completamente separadas.

Como pauta general para máquinas de fabricar papel, SKF recomienda un valor κ entre 2 y 4. En el caso de los cilindros secadores y Yankee, debido a la alta temperatura de operación y a la velocidad relativamente baja de los rodamientos, la mayoría de los rodamientos para estos cilindros funcionan con κ inferior a 1. A veces puede ser hasta inferior a 0,2, lo que da como resultado lubricación por capa límite con deterioro de la superficie y/o desgaste abrasivo. Esto es especialmente cierto para equipos antiguos en los que los muñones no están aislados. Estos equipos antiguos con frecuencia funcionan por encima de la velocidad de diseño, con mayor temperatura de vapor. Para equipos con muñones sin aislación, sistemas antiguos de circulación de aceite y temperaturas de vapor superiores a 170 °C (338 °F), no es extraño que las fábricas se quejen con respecto a la corta vida de servicio de los rodamientos, coacción y fuga del aceite por encima de ciertas velocidades de flujo.

El flujo y la viscosidad del aceite se seleccionarán basados en un cálculo de κ . Para ello, SKF utiliza software de dominio privado, llamado Drycyl. Con ese software, las comparaciones entre cálculos y mediciones hechas por un fabricante líder de máquinas papeleras mostraron un alto nivel de precisión.

Como la temperatura del rodamiento está influida principalmente por la temperatura del vapor, se puede ignorar la influencia de la carga. La información necesaria es:

- 1 Referencias del rodamiento
- 2 Velocidad de rotación
- 3 Temperatura del vapor
- 4 Temperatura de entrada del aceite
- 5 El grado de aislación, p.e. la falta de aislación, aislación solo en orificio, o en cara del muñón y orificio.
- 6 Si se utiliza vapor saturado o sobrecalentado para casos en los que no hay aislación.

Tomemos un ejemplo:

- Rodamiento: 23148 CCK/C4W33
- Velocidad: 200 rpm
- Temperatura del vapor (saturada): 177 °C (350 °F)
- Temperatura de entrada del aceite: 55 °C (130 °F)
- Aceite: ISO VG 220 (la clase de viscosidad del aceite más común en las secciones de secado)

Primero, para un muñón sin aislación, se puede observar que el valor k es inferior a uno aún con velocidades de flujo elevadas (ver **figura 3**).

La primera mejora podría ser disminuir la temperatura de entrada del aceite, pero esto significa poner en riesgo la condensación en el soporte del rodamiento. Además, cuando el muñón no está aislado, disminuir la temperatura de entrada del aceite en 5, a 10 °C (de 9 a 18 °F) tiene solo pequeña influencia sobre la tem-

Fig. 3 – Muñón sin aislación (1 litro = 0,2642 gal US).

Resultado

Flujo de aceite l/ min	Prop.de viscosidad kappa	Viscosidad mm ² /s	Temp.del rodamiento °C
0,5	0,27	8,2	136
1,0	0,31	9,3	130
2,0	0,35	10,8	123
3,0	0,38	11,5	120
5,0	0,40	12,0	118
10	0,41	12,3	117

Fig. 4 – Muñón sin aislación y mayor viscosidad del aceite (1 litro = 0,2642 US gal)

Resultado

Flujo de aceite l/ min	Prop.de viscosidad kappa	Viscosidad mm ² /s	Temp.del rodamiento °C
0,5	0,37	11,2	141
1,0	0,42	12,7	135
2,0	0,48	14,6	128
3,0	0,52	15,7	126
5,0	0,54	16,4	124
10,0	0,55	16,8	123

peratura del rodamiento. En forma alternativa, podríamos probar incrementar la clase de viscosidad del aceite de ISO VG 220 a ISO VG 460, por ejemplo (ver **figura 4**)

La mayor viscosidad significa que habrá más fricción en el rodamiento y se incrementará su temperatura. Aun si seleccionamos aceite con el doble de viscosidad, en este caso la mayor viscosidad a temperatura de operación del rodamiento es menor que 40%. Además, se incrementan los riesgos de fuga debido a la resistencia al flujo en los conductos y tuberías de retorno, lo que puede significar que habría que modificar el sistema de circulación de aceite. Por lo tanto, tratemos de mantener el aceite según la ISO VG 220 y una buena aislación en el orificio y en la cara del muñón (ver **figura 5**)

Como se puede ver, con solo una buena aislación del muñón podemos alcanzar el valor k recomendado en el Catálogo General de SKF con un flujo de aceite apenas superior a 3 l/min (0,79 US gal/min).

Habiendo dicho esto, la experiencia demuestra que muchos rodamientos de cilindros secadores y Yankee funcionan con valores κ_{min} inferiores a 1 aunque no sigan las recomendaciones generales de SKF. Por lo tanto, basado en experiencia de campo, SKF creó un concepto κ_{min} que es solo válido para máquinas de fabricar papel. κ_{min} es el mínimo valor k por encima del cual la experiencia muestra que la vida de servicio todavía es satisfactoria.

$$\kappa_{min} = n \cdot d_m / 80000$$

n = velocidad rotacional del rodamiento

d_m = diámetro medio del rodamiento (diámetro del orificio + diámetro exterior, dividido por dos).

Si la fórmula da un valor inferior a 0,25, entonces $\kappa_{min} = 0,25$.

En nuestro ejemplo:

- Diámetro del orificio del rodamiento: 240 mm
- Diámetro exterior: 400 mm
- Velocidad: 200 rpm

$$\kappa_{min} = [200 \times (240 + 400) / 2] / 80000 = 0.80$$

En este caso, es necesario que el muñón esté aislado para alcanzar una k superior a 0,80. Para este ejemplo, recomendaría un flujo de aceite entre 3 y 3,5 l/min (0,79 y 0,92 US gal/min), con una alarma si dicho flujo cae por debajo de 2 l/min (0,53 US gal/

Fig. 5 – Muñón con aislación (1 litro = 0,2642 US gal)

Resultado

Flujo de aceite l/ min	Prop.de viscosidad kappa	Viscosidad mm ² /s	Temp.del rodamiento °C
0,5	0,67	20,4	98
1,0	0,81	24,7	91
2,0	0,95	28,8	87
3,0	0,99	30,2	85
5,0	1,03	31,3	84
10,0	1,03	31,3	84

min). Otro ingeniero de SKF podría dar recomendaciones levemente diferentes, basadas en los cálculos precedentes.

Con frecuencia me preguntan en las fábricas donde se experimenta fuga de aceite a través de los sellos del soporte, debido a resistencia al flujo en los ductos y tuberías de retorno, en qué medida se puede reducir el flujo del aceite. Un punto a considerar es que el valor k cae cuando se reduce el flujo del aceite, por lo tanto, el límite sería cuando el flujo del aceite alcanza el valor k_{\min} . Otro punto es el límite por debajo del cual no hay suficiente aceite en el rodamiento. Este límite no está muy bien documentado y depende de muchos factores. Entonces, para hacerlo sencillo y conservador, se puede utilizar la regla del pulgar que damos a continuación.

Flujo de aceite mínimo = $0,00002 \text{ DB}$.

D = diámetro exterior del rodamiento (mm)

B = ancho del rodamiento (mm)

Para un rodamiento 23148 CCK/C4W33, el flujo de aceite mínimo sería $0,00002 \times 400 \times 128 = 1,02 \text{ l/min}$. Así, en el ejemplo, un flujo de aceite de k_{\min} está justo por debajo de 1 l/min (ver **figura 5**) y el flujo de aceite mínimo está apenas por encima de 1 l/min . Por lo tanto, parece adecuado dar 1 l/min como límite inferior, pero no modifica mi recomendación para el ejemplo precedente.

Si en la planta de un cliente existe una fuga de aceite a $1,5 \text{ l/min}$ ($0,40 \text{ US gal/min}$) y se requiere tener 3 l/min ($0,79 \text{ US gal/min}$) para ser superior a k_{\min} hay un problema. O bien las tuberías de retorno no se dimensionaron para 3 l/min ($0,79 \text{ US gal/min}$) a esa viscosidad de aceite (lo que sucede con los equipos antiguos cuando la temperatura del vapor se incrementa) o se contaminaron por lodo de aceite negro envejecido. Esto me recuerda el caso de un cliente que trató de utilizar aceite para motor diesel como lubricante, con la esperanza de que los aditivos detergentes limpiaran su sistema de circulación de aceite. También recuerdo a otro cliente que mezcló aguarrás y tricloroetileno y lo circuló por el sistema durante una parada. En la mayoría de los casos, la solución realmente efectiva es cambiar las tuberías de retorno del aceite.

Otro problema es el flujo de aceite cuando arranca un equipo. El aceite frío, o el aceite caliente enfriado al pasar a través de tube-

rías de entrada frías tienen viscosidad demasiado elevada. Sugiero que le den otra mirada a la historia de John Yolton en las Prácticas SKF de Celulosa y Papel 2 puesto que incluye una solución para este problema.e.

Nótese que cuanto más bajo es el valor k , más importante es la eficiencia de filtrado.

- La caracterización de filtros $\beta_{12}=75$ es un mínimo
- La caracterización de filtros $\beta_6=200$ es actualmente el promedio en las máquinas de fabricar papel; se consideraba un muy buena eficiencia de filtración hace 20 años cuando comencé a trabajar en SKF.
- La caracterización $\beta_3=1000$ es el estado actual de la técnica.

¿Qué aceite?

Bien, déjenme comenzar diciendo que SKF no recomienda un aceite o marca específica, y que acostumbrábamos sencillamente dejar que los clientes y los proveedores de aceite seleccionaran los lubricantes. Esto cambió después de una avalancha de fallas de rodamientos de cilindros secadores y Yankee en la década de 1980, que los estudios indicaron se relacionaban con las formulaciones de aceite inadecuadas.

SKF y un fabricante líder europeo de máquinas de fabricar papel trabajaron en estrecha colaboración para resolver el problema, y en 1988 SKF propuso un conjunto de ensayos para validar los aceites para las secciones de secado de esas máquinas. Por cuestiones de practicidad, solo se seleccionaron ensayos sencillos o bien conocidos que se podían realizar en un laboratorio estándar. Muchos aceites que se comercializaban para las secciones de secado de máquinas de papel fallaron.

Como resultado, SKF concluyó que las propiedades importantes de los aceites para la sección secado son las siguientes:

- Estabilidad térmica y química
- Viscosidad estable
- Protección contra corrosión
- Capacidad de separación de agua
- Limpieza

Fig. 6 Ensayo de rodillos SKF (rodillos nuevos a la izquierda). Los rodillos se colocan en aceite y luego en un horno durante 8 semanas. Este ensayo brinda información sobre corrosión química y formación de depósitos. Los aceites ensayados son adecuados para los dos rodillos del medio, pero no para los dos de la derecha.



Los ensayos de estabilidad térmica y química son críticos. El aceite para la sección secado tiene que evitar o reducir la formación de depósitos en la circulación de aceite, en los sistemas de suministro de aceite y en los rodamientos de rodillos. Aun después de estrés térmico prolongado, el aceite lubricante o los productos envejecidos que se forman no deben corroer químicamente a las piezas de los rodamientos de rodillos. El decapado, los depósitos o incrustaciones incipientes (producto del resquebrajamiento) interfieren en la lubricación y, en última instancia, dañarán la superficie del contacto rodante.

A medida que envejece, el aceite se ennegrece por acción de materias finamente suspendidas provenientes del aceite, carbón, productos del resquebrajamiento y como resultado, los flujómetros e indicadores de flujo visible se obstruyen o ya no indican correctamente el flujo de aceite. (Ver **figuras 6 y 7**)

Las películas de aceite delgadas no deben resinificarse ni formar lacas bajo estrés térmico (ver **figura 8**), dado que este puede deteriorar el sistema de lubricación por obturación de las líneas de suministro de aceite o de los indicadores de flujo visible. Si se utilizan jaulas de bronce en los rodamientos de rodillos, o si las piezas de los equipos se fabrican de cobre o bronce, el aceite no debe oxidar ni corroer estos metales no ferrosos.

Fig. 7 Dos aceites minerales distintos después de 8 semanas a 120 °C (248 °F). El aceite de la izquierda es adecuado, en tanto el de la derecha no lo es.



Fig. 8 Ensayo de envejecimiento de aceite SKF. A la izquierda, se muestra aceite sintético después de 4 semanas a 140 °C (284 °F), se ha laqueado y la pérdida de evaporación es 93%. A la derecha se muestra aceite mineral después de 4 semanas a 120 °C (248 °F) con una pérdida de evaporación de solo 2%.



Los ensayos de estabilidad térmica y química se realizan a 120 °C (248 °F) y 140 °C (284 °F). En los casos en que la temperatura de operación de los rodamientos supere 120 °C (248 °F), se deben considerar los resultados a 140 °C (284 °F). Por ejemplo, en un equipo moderno con muñones aislados y donde el rodamiento opera a una temperatura inferior a 100 °C (212 °F), los resultados a 140 °C (284 °F) no son críticos. Se debe observar que, por lo general, los aceites minerales no se recomiendan para temperaturas de rodamientos superiores a 120 °C (248 °F).

Se puede aceptar la menor de las tolerancias correspondientes a los parámetros de capacidad de protección contra corrosión, desgaste y separación de agua bajo condiciones controladas. El requisito relativo a la protección contra la corrosión es de menor importancia si se elimina todo el agua libre y se mantiene siempre el contenido de agua cerca de 200 ppm mediante separadores agua/aceite adecuados, por ejemplo.

Examinar todos estos ensayos y explicarlos llevaría varias ediciones de Prácticas SKF para Celulosa y Papel, por lo tanto no lo haré. La mayoría son ensayos estandarizados ISO o DIN. En su lugar, adjuntaré una copia de los resultados de un aceite sometido a ensayo. Se debe considerar que el agua de proceso artificial utilizada para el ensayo EMCOR y de protección contra corrosión se basa en cinco formulaciones distintas de agua de diferentes máquinas de fabricar papel de Alemania. El ensayo FE8 es opcional.

En tanto SKF no recomienda ningún aceite específico para máquinas de fabricar papel, podemos realizar ensayos para nuestros clientes a fin de determinar si el aceite es adecuado o no. Para poder efectuar todos los ensayos, necesitamos 10 litros de aceite nuevo. Debe considerarse que si, como resultado de los ensayos, se califica al aceite como adecuado, ello no significa que SKF lo recomiende para la sección de secado. Significa sencillamente que la muestra ensayada es adecuada. El motivo para enfatizar este punto es que las formulaciones de aceite pueden modificarse sin que se de otro nombre el producto. En consecuencia, el espectro infrarrojo que se incluye en el informe es muy importante, porque nos permite comparar lotes de aceite, simplemente volviendo a realizar este ensayo. Como tal, recomiendo que se guarden dos litros de lotes nuevos de aceite por precaución.

En conclusión, aunque hayamos dedicado dos ediciones del Prácticas SKF para Celulosa y Papel a los rodamientos de cilindros secadores y Yankee, podríamos escribir mucho más. Habiendo dicho esto, y a juzgar por las preguntas que me formulan en las fábricas, se han considerado los problemas más importantes.

08-10- 2012	Informe de Ensayo Nro. C0000/12	SKF Werkstofftechnik
Pág. 1 de 3		

Solicitado por:	Cliente
muestra:	1 aceite XYZ

Análisis de lubricante

[Ensayo de aceite según requisitos de SKF para aceites circulantes en máquinas de fabricar papel](#)

Investigación: Según la especificación de SKF "Requisitos que deben satisfacer los aceites para lubricación por circulación de las secciones de secado de máquinas de fabricar papel"

Resultados: Ver adjunto 1



Análisis infrarrojo: Ver adjunto 2

Evaluación:

XYZ	Ensayo de rodillos SKF (rodillo)	120°C	140°C	Protección contra desgaste (ensayo de cuatro bolas)	
	Ensayo de rodillos SKF (aceite)	+	+	SKF Emcor	-
	Ensayo SKF de envejecimiento de aceite	+		H2O destil. agua de proceso artificial	+
	Protec. frente al cobre	+		Capacidad de separ. del agua	+
	Ensayo FE 8	No solicitado		limpieza	-
	Evaluación del material del sello	+		filtrabilidad	+

Ensayo Aprobado: +
Reprobado: -

Conclusión:

El aceite investigado mostró estabilidad térmica y química pobre a 120°C y 140°C, aunque no se produjeron incrustaciones, formación de lodos ni ataque al rodillo, el incremento de la viscosidad fue excesivo, por lo tanto no se aprobó el ensayo de rodamiento.

La protección contra corrosión en presencia de agua destilada fue excelente, en tanto la protección contra corrosión en presencia de agua de proceso artificial fue insuficiente.

La protección contra el desgaste se determina con el ensayo de cuatro bolas, y los resultados obtenidos estaban fuera de especificación. Se pueden exceptuar resultados similares cuando se realizara, además, el ensayo FE 8, que no fue solicitado por el cliente.

También la clase de limpieza estaba fuera de especificación, y por lo tanto, se recomienda filtrar el aceite cuando se carga la máquina de fabricar papel.

Los restantes resultados de ensayos fueron aceptables.

Debido al incremento de la viscosidad durante el ensayo de rodillos, y la protección contra corrosión insuficiente, no se puede recomendar el aceite para lubricación por circulación del rodamiento de la sección secado de las máquinas de fabricar papel.

Escrito por: Ch. Greubel STW4

distribuido a: Cliente, Celulosa y Papel de SKF
Segmento, STW4

Adjunto 1

Resultados del ensayo

Designación del aceite: C3301/12 XYZ

material: desconocido

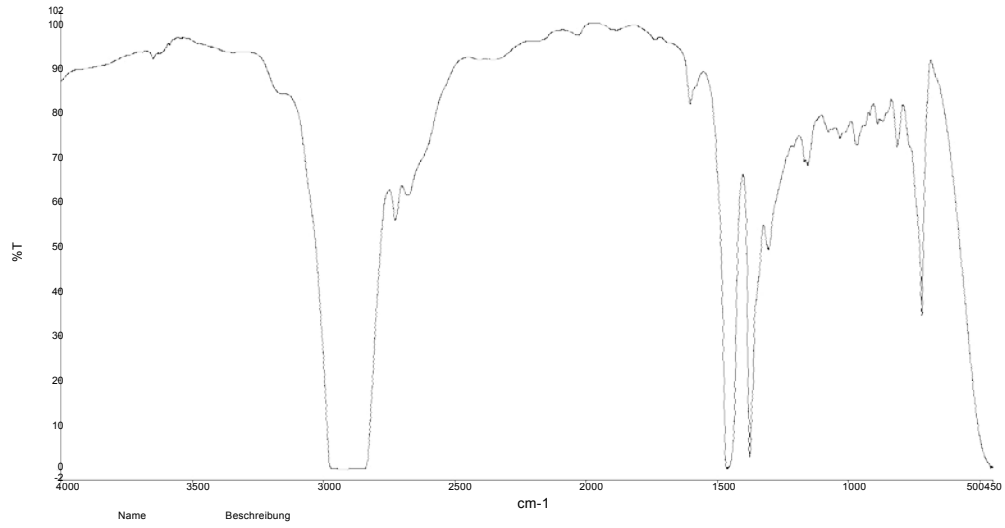
Ensayo		método	unidad	resultados		requisitos	
estabilidad química y térmica a 120°C	Corrosión de rodam.de rodillos	Ataque al rodillo después de	Ensayo de rodillo SKF	caracterización	120°C	140°C	máx. 2
		2 semanas			1	1	
		4 semanas			1	2	
		6 semanas			1	2	
	Envejec.del aceite	Viscos.cinemática a 40°C después de envejecimiento	DIN EN ISO 3104	mm ² /s [% desvío]	245,1	265,5	máx. +/- 20% de aceite nuevo
		Formación de lodo	visual	-	no	no	rastros
		Incrustaciones	visual	-	no	no	no
	Estabil.pelic.de aceite	Color después de Dilución 1:50 con n-Heptano	Según carta de colores VDEW	Nro. de colorante	3...4	5...6	máx. 6
		Pérdida evaporación	Método SKF	[m-%]	7,0		máx. 20 a 120°C
	corrosión de bronce 120°C	Después de 4 sem.	(solo a 120°C)	Caracterización	1		más. 20 a 120°C
Ensayo con tira de cobre 48 h		DIN 51.759	Número de caracterización	1		máx. 2	
Viscosidad cinemática a		DIN 51.562-1	[mm ² /s]	187,5			
40°C				18,6			
100°C							
Protección contra corrosión:		SKF EMCOR DIN 51802	Grado de corrosión	0 / 0		máx. 1	
Agua destil.				2 / 2			
Agua de proceso artificial							
Protección contra desgaste bajo 600 N/hora		DIN 51.350-3	[mm]	2,0		máx. 1	
Capacidad de separación del agua		DIN ISO 6614	[minutos]	15		máx. 20	
Compatibilidad del material del sello		Método SKF después de 200 h NBR a 120°C FKM a 150°C	Cambios en dureza Shore A peso [%]	dureza: NBR: +5,9 FKM: +2,2 peso: NBR: -4,7 FKM: -0,1	dureza: NBR +/-10Shore FKM +/-10Shore peso: NBR: +/- 10% FKM: +/- 5%		
limpieza	Clase de: contén.agua Contaminación del Fluido	DIN 51.777-2 ISO 4406	[ppm]	<100 22/21/17		máx. 200 máx. 18/15/12	
filtración		Método SKF 12 µm	[minutos]	10		máx. 15	

evaluación:

Requisitos	Satisfechos	Satisfechos condicionalmente	No satisfechos x
Observaciones			

Adjunto 2

Análisis infrarrojo



Autor: Ch. Greubel STW4

distribuido a: Cliente, Segmento Celulosa
& Papel SKF, STW4



El poder del conocimiento industrial

Sirviéndose de cinco áreas de competencia y de la experiencia específica para cada aplicación recogida durante más de 100 años, SKF ofrece soluciones innovadoras para fabricantes de equipo original y plantas de fabricación de los principales sectores en todo el mundo. Estas cinco áreas de competencia incluyen rodamientos y unidades de rodamientos, sellos, sistemas de lubricación, mecatrónica (combinación de mecánica y electrónica en sistemas inteligentes), así como una amplia gama de servicios, desde el diseño informático en 3D hasta el monitoreo de condición avanzado y sistemas de confiabilidad y gestión de activos. Su presencia en todo el mundo garantiza a los clientes de SKF niveles de calidad uniformes y distribución universal de los productos.

© SKF y CARB son marcas registradas del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2013

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 72/59 11147/6 ES · Marzo 2013

Algunas imágenes se utilizan bajo licencia de Shutterstock.com

Segmento Celulosa y Papel
Global de SKF

Contacto/Editor responsable
philippe.gachet@skf.com

