

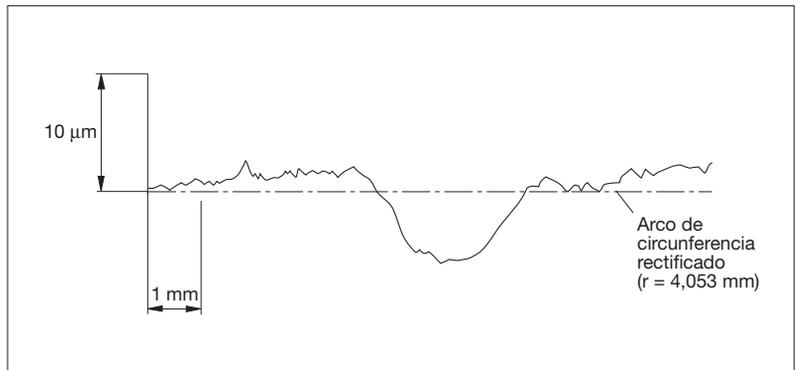
Posibilidades de investigación en FAG

Medición geométrica

4 Posibilidades de investigación en FAG

En la mayor parte de los daños de rodamientos que se dan en la práctica, las causas de estos se esclarecen a partir de un examen de las características del deterioro, unido al conocimiento de las condiciones de servicio. De los casos que quedan en principio sin explicación, la causa de los daños de una gran parte de ellos se puede esclarecer con ayuda de un estereomicroscopio. Sólo una parte muy pequeña de los fallos en rodamientos requiere una investigación más profunda de las características del deterioro y un análisis intensivo de las condiciones de empleo. Para ello, en FAG se cuenta con una gran diversidad de posibilidades de investigación de gran perfeccionamiento técnico, en parte muy específicas, que se aplican en el marco de la investigación y desarrollo. Como estas investigaciones también pueden requerir un gran coste, antes de su aplicación se ha de considerar cuidadosamente si el beneficio obtenido compensa los costes.

En las siguientes secciones se presentan las principales áreas de investigación con ayuda de algunos ejemplos.



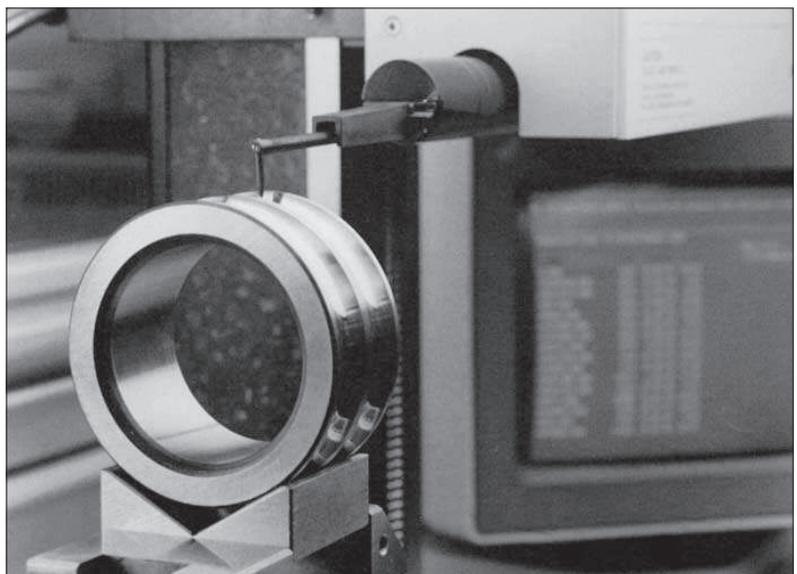
100: Forma del perfil del camino de rodadura de un rodamiento rígido de bolas con estrías de desgaste (curvatura del camino de rodadura compensada por el aparato de medición)

4.1 Medición geométrica de rodamientos o piezas de rodamientos

FAG se esfuerza continuamente por aumentar la calidad de fabricación de los rodamientos. Para ello, con objeto de asegurar la calidad tanto in situ como en un laboratorio propio, disponemos de un excelente equipamiento con los instrumentos de medición más diversos para el control de medidas y de formas:

- Medición de longitudes y diámetros con precisión micrométrica
- Verificación de contornos de forma y de radio con una ampliación de hasta 100 000 aumentos, figuras 69, 100 y 101

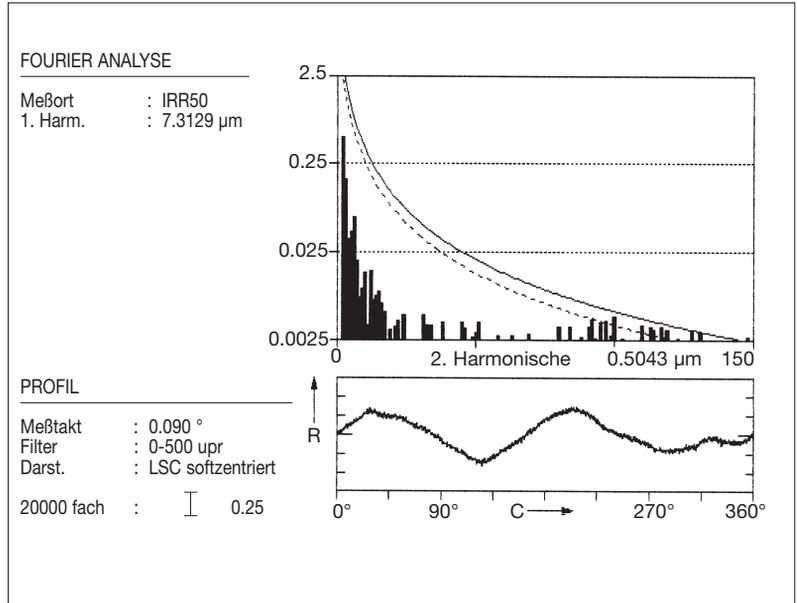
101: Aparato de medición de forma Talysurf



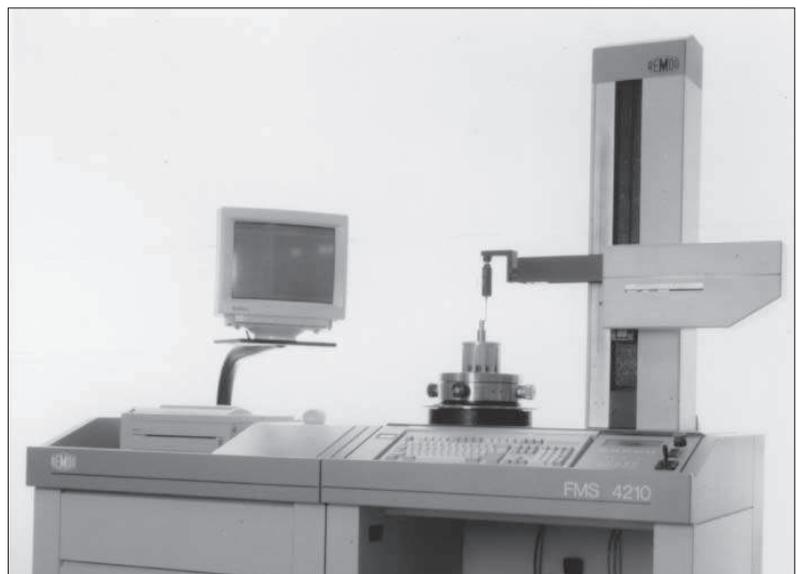
Posibilidades de investigación en FAG

Medición geométrica

- Control de la redondez con una ampliación de hasta 100000 aumentos, incluyendo análisis de la frecuencia de onda, figuras 102 y 103



102: Registro de la medida de redondez con análisis de la frecuencia de onda

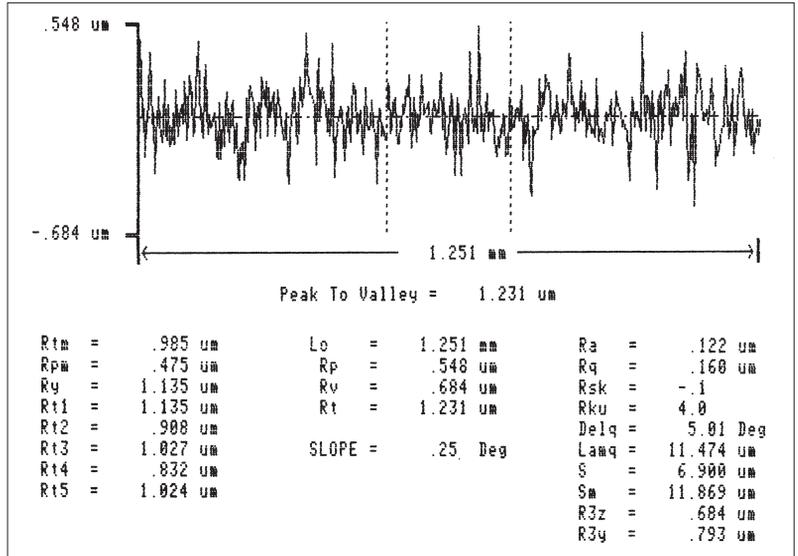


103: Sistema de medición de forma

Posibilidades de investigación en FAG

Medición geométrica

- Mediciones de la rugosidad hasta la centésima de micrómetro, figura 104
- Control de tolerancias de forma y de posición en sistemas de medición de forma (FMS) y máquinas de medición de coordenadas, incluso en piezas constructivas de forma muy irregular, como p. ej. alojamientos de fundición, figura 105
- Verificación de valores de juego interno de rodamientos y precisiones de giro en piezas individuales



104: Registro de la medida de rugosidad con valores característicos



105: Máquina de medición de coordenadas

Amplias posibilidades de investigación en FAG

Análisis y ensayos de lubricantes

4.2 Análisis y ensayos de lubricantes

Para la investigación de la calidad y la aptitud de los lubricantes para el empleo en rodamientos, FAG mantiene laboratorios y un campo de ensayos. Análisis de laboratorio de lubricantes procedentes de rodamientos averiados proporcionan a menudo las informaciones decisivas para el esclarecimiento de la causa del fallo. Entre las posibilidades de investigación más importantes se cuentan las siguientes:

- Cantidad y clase de impurezas
 - sólidas, figura 106 a
 - líquidas (humedad)
- Utilización de antioxidante
- Envejecimiento, figura 106 b
- Variación de la viscosidad
- Contenido de aditivos (disminución/degradación)
- Relación aceite/jabón en grasas
- En muchos casos, también determinación del tipo y clase de lubricante, p. ej., para la identificación de mezclas de lubricantes en el reengrase, figura 106 b

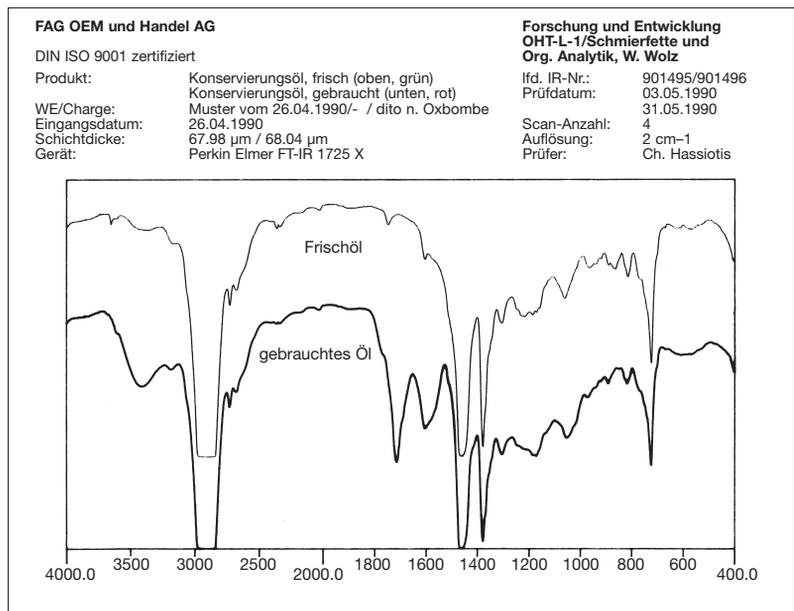
Sin embargo, para obtener informaciones fiables en base al estudio de lubricantes, el principal requisito es una toma de muestras adecuada (véase sección 2.2). A partir de los resultados de los análisis de impurezas se puede deducir casi siempre su origen. Así, por ejemplo, se obtienen datos indicativos directos sobre posibles medidas contra el desgaste. Asimismo, a partir del conocimiento del estado general de un aceite o una grasa tras un determinado tiempo de servicio se puede llegar a conclusiones sobre los plazos adecuados de cambio de aceite o de reengrase.

106 a: Investigación de contaminantes, análisis ICP-AES

Element	Wellenlänge	Faktor	Offset	Tiefprobe		Hochprobe	
				min	max	min	max
Kobalt	228,616	1,673	268	962	415	179515	107157
Mangan	257,610	1,318	-76	-121	-34	67816	51496
Chrom	267,716	1,476	381	669	195	76696	51688
Kupfer	324,754	0,834	-471	80	660	2297	3316
Molybdän	281,615	1,073	-17	89	99	47781	44543
Nickel	231,604	1,778	4	114	62	38487	21640
Vanadium	311,071	0,937	-37	5	45	64228	68560
Wolfram	400,875	0,742	-16	4	26	14129	19053
Silicium	251,611	2,173	310	509	92	2385	955

Probe: Verunreinigungen in Schmierstoffen					Methode: Stahl 1 M(3)				
	Co	Mn	Cr	Cu	Mo	Ni	V	W	Si
x	.0107	0.636	1.412	0.185	0.797	0.271	.327	.002	0.359 %
s	.0004	.0002	.011	.0002	.0032	.0063	.0007	.0099	.0006
sr	4.11	0.67	0.03	1.18	0.40	2.31	0.22	57.44	0.06

106 b: Análisis de lubricante FT-IR



Posibilidades de investigación en FAG

Análisis y ensayos de lubricantes

De vez en cuando, en casos especiales de aplicación se emplean también nuevos lubricantes, desconociendo su aptitud para la lubricación de rodamientos. Para comprobar las propiedades de tales grasas y aceites se han desarrollado en FAG bancos de pruebas, que se han ido normalizando y se emplean también en la industria de los lubricantes para el estudio de nuevos productos, figura 107.

107: Banco de pruebas para la determinación de la calidad de los lubricantes



Posibilidades de investigación en FAG

Control del estado del material

4.3 Control del estado del material

El estado del material de todas las piezas de un rodamiento es de importancia decisiva si se desea que el rodamiento alcance su máximo rendimiento. Si bien son muy poco frecuentes en los rodamientos los deterioros debidos a defectos del material o de fabricación, véase figura 11, sin embargo, en casos de duda, un ensayo de material puede proporcionar información al respecto. En una serie de casos se producen también variaciones del estado del material debido a condiciones de servicio del rodamiento imprevistas.

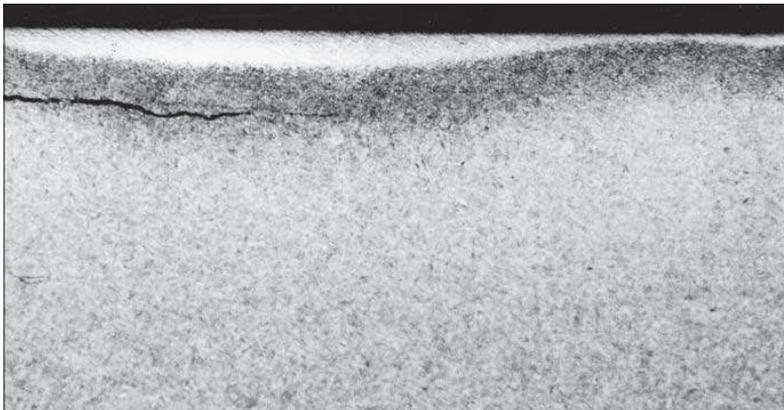
Las principales inspecciones en esta área son:

- Ensayo de la dureza, con menos frecuencia, también la resistencia a la tracción o resiliencia
- Valoración metalográfica de la estructura

- Visualización de zonas de calentamiento inadmisibles de las superficies de contacto mediante ácido
- Comprobación de fisuras por medio de ultrasonidos o corriente parasitaria
- Medición radiográfica del contenido de austenita residual
- Inspección del grado de pureza del material
- Análisis de material

Además de la detección de defectos de material, con estos estudios se pueden encontrar, p. ej., datos indicativos de estados de deslizamiento inadmisibles (zonas de calentamiento por deslizamiento, figura 108) o temperaturas de servicio inesperadamente elevadas (variación de la estructura de los componentes durante el servicio y, a consecuencia de ello, variaciones dimensionales).

108: Sección de la zona de influencia del calor



Posibilidades de investigación en FAG

Análisis radiográfico de la microestructura

4.4 Análisis radiográfico de la microestructura

La determinación radiográfica de la estructura reticular (véase medición del contenido residual de austenita, en la sección 4.3), proporciona también importantes informaciones sobre las tensiones propias “congeladas” en el material y sobre las sollicitaciones debidas a ellas. De esta forma, en casos de deterioro especialmente críticos, cuando la situación de carga efectiva no es registrable por cálculo, se puede determinar con buena aproximación la carga efectiva en rodamientos gastados por el servicio. Sin embargo, es condición indispensable para ello que las sollicitaciones específicas del camino de rodadura alcancen un nivel de aproximadamente 2.500 N/mm² durante un tiempo relativamente largo, pues sólo por encima de este nivel de carga se producen deformaciones plásticas del retículo del material que se puedan detectar o cuantificar por medio de difracción de rayos X, figura 109. Una explicación detallada del modo de funcionamiento de esta determinación de las tensiones propias y de la determinación de la sollicitación se encuentra, p. ej., en el artículo “Schadensuntersuchung durch Röntgenfeinstrukturanalyse” (Investigación de daños por análisis radiográfico de la estructura), en “Schadenskunde im Maschinenbau”, Expert Verlag 1990. Veamos a continuación un breve resumen.

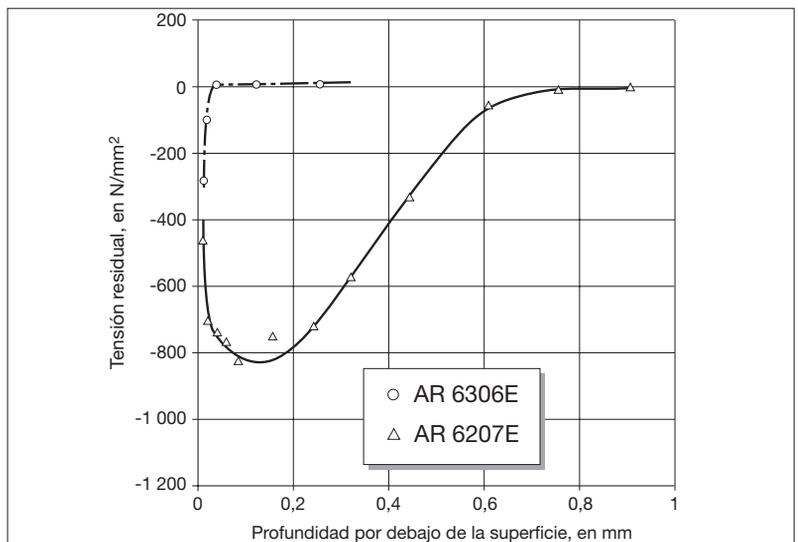
A partir de los dilatamientos de retículos medidos por difracción de rayos X se pueden deducir las tensiones residuales puntuales (en una superficie del orden de un milímetro cuadrado, y una profundidad del orden de 1/100 de milímetro) existentes. Mediante erosión electroquímica de la superficie, la medición se realiza por capas para distintas profundidades por debajo del camino de rodadura de un aro de rodamiento. Se obtiene una evolución del mismo tipo que la representada en la figura 110. A partir de la profundidad total de la deformación y de la profundidad en la que aparece el máximo de tensión se puede deducir, por una parte, la carga máxima externa, y, por otra, el porcentaje de una posible sollicitación por deslizamiento en el camino de rodadura. A veces, estos son importantes datos indicativos de las causas del deterioro, sobre todo si los valores medidos se desvían notablemente de los esperados mediante cálculo.

FAG | 66

109: Dispositivo para el análisis radiográfico de la microestructura



110: Curva de la tensión residual, determinada con ayuda del análisis radiográfico de la microestructura; elevado componente tangencial de fuerza en el aro exterior 6207E; ningún aumento de sollicitación en el rodamiento de referencia 6303E



Posibilidades de investigación en FAG

Investigaciones por microscopía electrónica de barrido

4.5 Investigaciones por microscopía electrónica de barrido (MEB)

Por lo general para la investigación de daños se emplea en principio, además de la observación a simple vista, un estereomicroscopio, a fin de poder reconocer las distintas características de los fallos. Sin embargo, en algunos casos, los detalles que son importantes para el deterioro son muy pequeños. Debido a la longitud de onda relativamente grande de la luz visi-

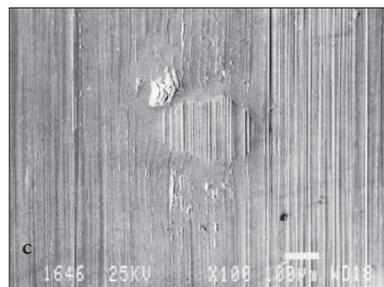
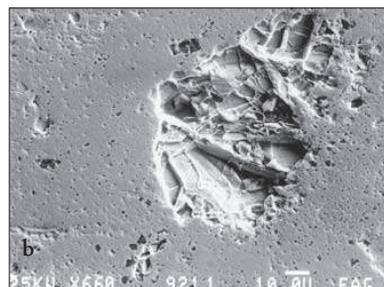
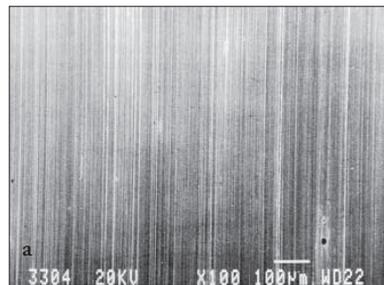
ble, la definición en profundidad está limitada por las representaciones ópticas. Por lo tanto, en las condiciones de irregularidad superficial habituales de los caminos de rodadura de rodamientos dañados, se obtienen imágenes nítidas sólo hasta una ampliación de aproximadamente 50 aumentos. Este obstáculo en la observación óptica de superficies se salva con la obtención de imágenes por medio de haces electrónicos de longitud de onda muy corta en el microscopio electrónico de barrido (MEB). Gracias a ello, la ca-

pacidad de reconocer detalles aumenta en muchos miles, figura 111.

Así pues, el microscopio electrónico de barrido es con frecuencia un importante instrumento auxiliar para la investigación visual precisa de caminos de rodadura desgastados o dañados por el paso de corriente, superficies de rotura, impresiones de cuerpos extraños o inclusiones de material, figuras 112a b y c.

112: Fotografías de estructura superficial obtenidas con el MEB a diferentes aumentos.
a: camino de rodadura intacto;
b: impresiones de cuerpos extraños duros
c: Daños por fatiga en su fase inicial

111: Microscopio electrónico de barrido

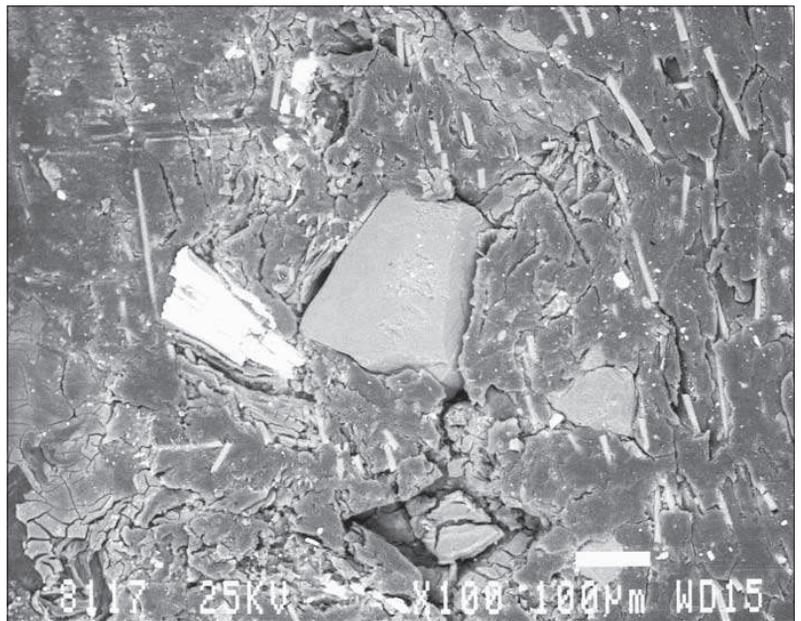


Posibilidades de investigación en FAG

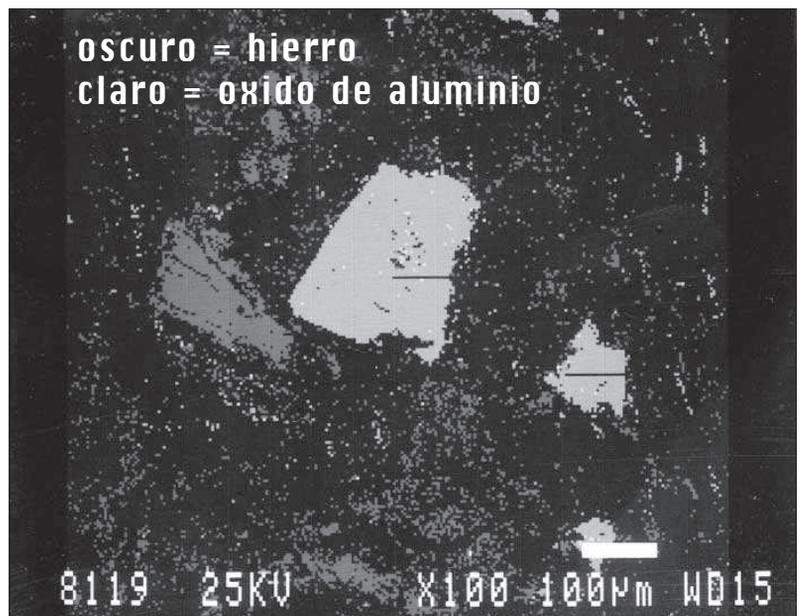
Investigación por microscopía electrónica de barrido

Además, si se usan también espectrofotómetros en combinación con el MEB existe la posibilidad de realizar lo que se denomina un microanálisis por haz electrónico. Con este procedimiento se puede investigar la composición del material en una zona de volumen de aproximadamente 1 micra³. Esto resulta útil, p. ej., cuando todavía están introducidos restos de cuerpos extraños en los alvéolos de la jaula de un rodamiento, y es preciso esclarecer su origen, figuras 113a y b. Otras posibilidades de empleo son la comprobación de revestimientos o de capas reactivas sobre las superficies de contacto, o el control de la composición del material en la zona microscópica.

113: Microanálisis de cuerpos extraños.
a: cuerpos extraños en el puente de la jaula



113b: Composición del material de los cuerpos extraños



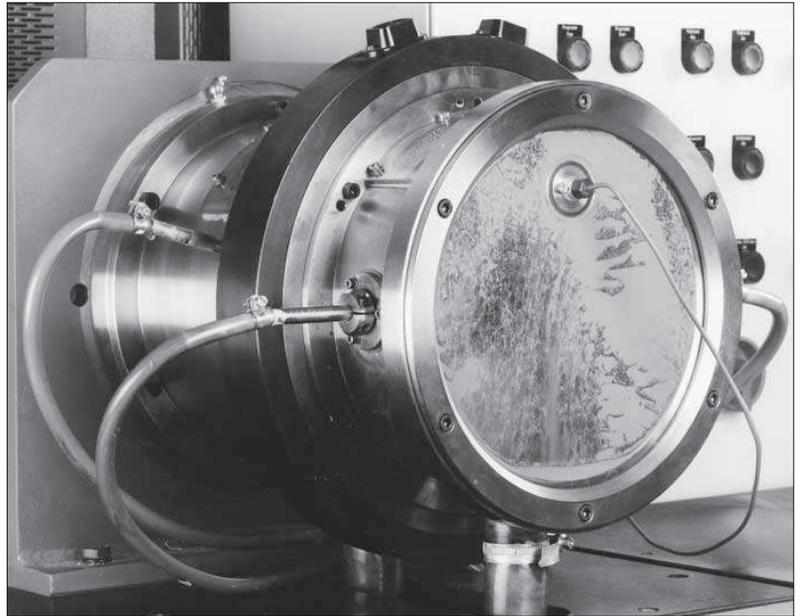
Posibilidades de investigación en FAG

Ensayos de componentes

4.6 Ensayos de componentes

En el área de desarrollo de FAG se emplean un gran número de bancos de pruebas para la verificación de la capacidad de rendimiento de productos de nuevo proyecto. En algunos casos, ensayos de este tipo pueden ser también aprovechados para el esclarecimiento de la causa del deterioro de un rodamiento. Se pueden mencionar aquí, por una parte, ensayos directos en grupos de los clientes, p. ej. mediciones de la deformación o de la vibración en máquinas, pero por otra parte, también ensayos de estanqueidad, mediciones del momento de fricción o ensayos de duración en bancos de pruebas, figuras 114 y 115. Los ensayos se realizan en condiciones definidas, en las que los resultados esperados son previsibles con un alto grado de fiabilidad. Si los rodamientos satisfacen las exigencias en el experimento, la investigación debe concentrarse a partir de entonces en la comprobación de las condiciones de servicio efectivas (cargas adicionales inesperadas, esfuerzos de montaje, etc.). En caso de que los rodamientos fallen tras tiempos de marcha inesperadamente cortos, los bancos de pruebas, gracias a sus dispositivos técnicos de vigilancia, ofrecen la posibilidad de reconocer daños en la primera fase de formación, lo que en la práctica representa con frecuencia un problema, pero que a menudo resulta decisivo para la localización de las causas.

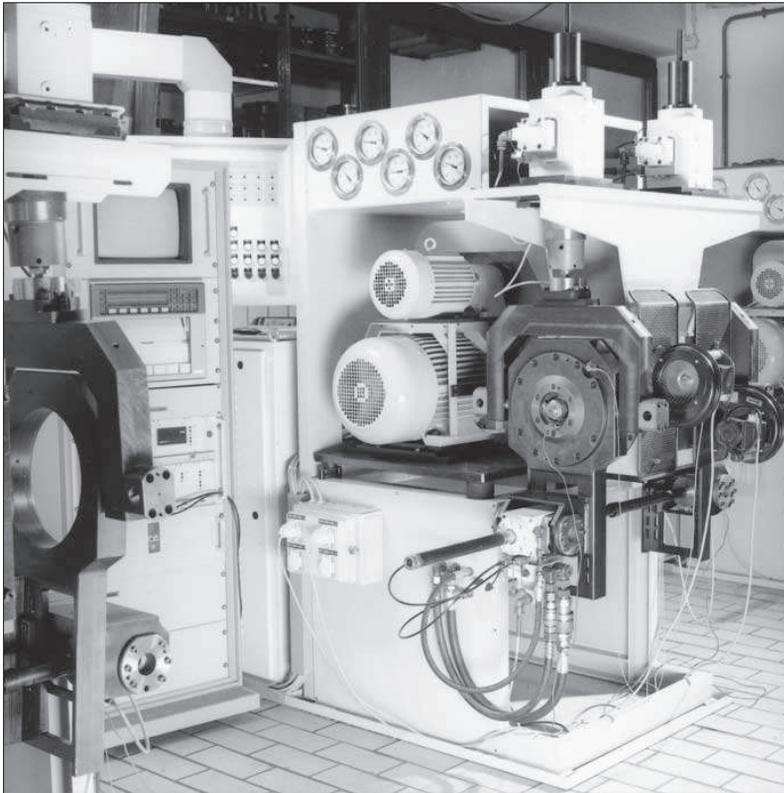
114: Banco de pruebas para el ensayo de la eficacia de obturaciones en rodamientos



Posibilidades de investigación en FAG

Ensayos de componentes

115: Banco de pruebas para la simulación de las solicitaciones de servicio en rodamientos de ruedas de automóviles



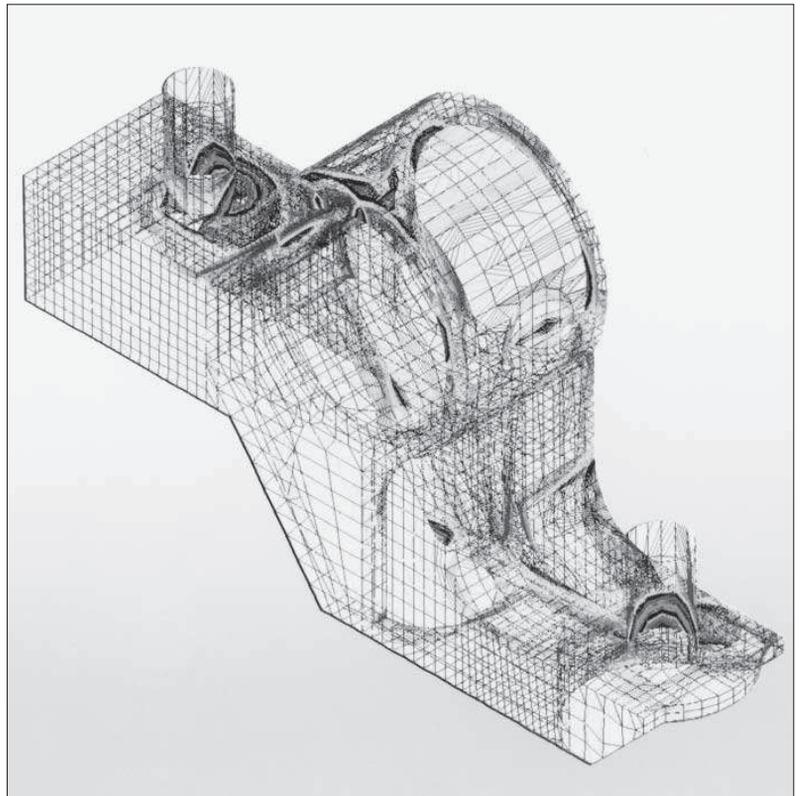
Posibilidades de investigación en FAG

Comprobación por cálculo de las condiciones de carga

4.7 Comprobación por cálculo de las condiciones de carga

En muchos casos, en construcciones nuevas, debido a experiencias con grupos similares más antiguos se prevén rodamientos cuya situación de carga no se conoce en detalle. Si más tarde se producen daños en los rodamientos, a menudo resulta útil una comprobación más exacta por cálculo de las condiciones de montaje para la localización de la causa. En este sentido es especialmente importante una comparación de la duración esperada por cálculo con la conseguida efectivamente, así como el control por cálculo de las condiciones de lubricación. Para ello se dispone en FAG de una amplia gama de programas de cálculo, con los cuales se pueden determinar, también en el caso de rodamientos sofisticados, los valores para la carga externa del rodamiento, el lado entre los aros en el montaje, las sollicitaciones internas, procesos cinemáticos desarrollados en el interior de un rodamiento, deformaciones de las piezas del entorno, curvas de temperatura y otros valores similares. La complejidad de los programas abarca desde la simple valoración de fórmulas analíticas, pasando por la realización de una gran diversidad de iteraciones numéricas para soluciones aproximadas no lineales, hasta extensos cálculos tridimensionales de resistencia mediante el método de elementos finitos, figura 116.

116: Determinación de tensiones en una caja de grasa con ayuda del método de los elementos finitos (FEM)





RODAVIGO, S.A.
RODAMIENTOS VIGO, S.A.

www.rodavigo.net

+34 986 288118
Servicio de Att. al Cliente

Notas



RODAVIGO, S.A.
RODAMIENTOS VIGO, S.A.

www.rodavigo.net

+34 986 288118
Servicio de Att. al Cliente



RODAVIGO, S.A.
RODAMIENTOS VIGO, S.A.

www.rodavigo.net

+34 986 288118
Servicio de Att. al Cliente



FAG Sales Europe-Iberia

Schaeffler Group Industrial

Polígono Pont Reixat

08960 Sant Just Desvern

BARCELONA

Tel. 93 480 34 10

Fax 93 372 92 50

www.fag.com

Todos los datos han sido elaborados y comprobados cuidadosamente.

No podemos asumir responsabilidad alguna por eventuales errores o faltas.

Nos reservamos el derecho de cambios en interés del desarrollo técnico.

© por FAG 2003. La reproducción, total o parcial, está prohibida sin la autorización del propietario.

D.L.: B. 24486-2004

WL 82 102/2 SB/98/04/04