



BOLETIM TÉCNICO

Agosto de 99

Nº 01

FALHAS PREMATURAS DE ROLAMENTOS

Endereço:

Av. Rio bandeira, 81

Gravatá – Camaçari-Ba

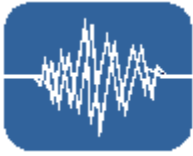
Tel.: (71) 621-4553

Fax : (71) 621-4191

Email:

tecvib@tecvib.com.br

Homepage: www.tecvib.com.br



BOLETIM TÉCNICO

FALHAS PREMATURAS DE ROLAMENTOS

1. INTRODUÇÃO

- A grande maioria dos equipamentos em operação na indústria é fornecida com rolamentos, sendo estes responsáveis por perdas anuais de milhões de reais com lucro cessante e gastos de manutenção, devido a falhas prematuras.
- Estudos realizados em diferentes indústrias tem demonstrado que apenas 10 a 20% dos rolamentos atingem sua vida de projeto. Os principais fatores que contribuem para estas falhas prematuras são: deficiências de lubrificação, uso de lubrificantes errados, contaminações com sujeira ou outras partículas estranhas, armazenamento impróprio fora da embalagem original, entrada de umidade, impressões nas pistas (false brinelling) causados por vibrações externas enquanto a máquina está parada ou durante o transporte, montagem imprópria, erro de especificação do rolamento, etc.

2. VIDA DE MANCAIS DE ROLAMENTO

- A vida normal do rolamento é calculada através de uma das fórmulas abaixo:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^P \quad \text{ou} \quad L_{10h} = \frac{16.667}{N} \left(\frac{C}{P} \right)^P$$

Sendo:

L_{10} = Vida nominal em milhões de revoluções

L_{10h} = Vida nominal em horas

N = Rotação em RPM

C = Capacidade de carga dinâmica em Kgf

P = Carga dinâmica equivalente

$p = 3$ para rolamentos de esferas e 3,33 para rolamentos de rolos.

$$P = X F_r + Y F_a$$

Sendo:

F_r = Carga radial real em Kgf

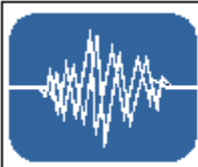
F_a = Carga axial real em Kgf

X = Fator de carga radial (ver catálogo de rolamentos)

Y = Fator de carga axial (ver catálogo de rolamentos)

- Estas equações nos mostram que quanto maior a rotação e a carga menor será a vida esperada para o rolamento. Mostram ainda que a influência da carga é bem mais significativa que a rotação porque a vida esperada varia com o inverso da carga elevada à 3ª potência (rolamentos de esferas).
- Se o cálculo de vida foi feito com base apenas nas cargas estáticas sobre os rolamentos, tais como: peso, tensões de correias e forças de engrenamento, poderemos ser surpreendidos com uma frequência de falhas anormalmente elevada, decorrente das forças dinâmicas impostas pelas vibrações.
- Para exemplificar, suponhamos que um rotor de 800,0 kg girando com 3.600 RPM tenha um desbalanceamento de 45,0 g num raio de 750,0 mm. A força centrífuga gerada por este desbalanceamento é:

$$F_c = m.r. (2 \pi N / 60)^2 = 0,045 \times 0,75 (2 \pi 3600 / 60)^2 = 4.790,0 \text{ N} = 489,0 \text{ Kgf}$$



TECVIB
ENGENHARIA
LTDA.

Desmagnetização de Turbomáquinas, Medição de Magnetismo, Análise de Vibrações, Análise Dinâmica de Rotores e Tubulações, Análise de Fluxo, Pulsação de Pressão e Flexibilidade, Correção de "Run-Out", Balançamento Dinâmico, Análise de Ruído, Implantação e Execução de Plano de Manutenção Preditiva.

Esta força será transmitida aos mancais, somando-se à carga estática do peso, ou seja,
 $(800,0 + 489,0) / 2 = 644,50 \text{ Kgf}$

A vida do rolamento será:

$$L_{10 \text{ corrigido}} = L_{10 \text{ inicial}} \times (400,0 / 644,5)^3 = 0,239 \times L_{10 \text{ inicial}}$$

- A vida real do rolamento será apenas 23,9% da vida inicial de projeto, sem considerar as forças dinâmicas geradas por outros defeitos, tais com: desalinhamento, folgas, cavitação, pulsação de pressão do fluido, etc.
- O exemplo acima mostra porque é tão crítico minimizar as cargas dinâmicas impostas aos rolamentos. Se outras influencias, tais como “pé-manco”, lubrificação inadequada, problemas de correias, instalação imprópria e desalinhamento forem corrigidas, certamente teremos rolamentos operando por muito mais tempo sem apresentar falhas.

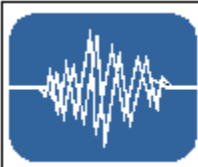
3 - OUTRAS CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

- Além das cargas dinâmicas, temos outros fatores que afetam a vida do rolamento. Os principais são: a temperatura de funcionamento, viscosidade do lubrificante na temperatura de trabalho, contaminação do lubrificante, ajustes inadequados com eixo e caixa, erros de forma do eixo e caixa, e procedimentos inadequados de montagem e desmontagem.

***Temperatura de funcionamento**

Em temperaturas elevadas a capacidade de carga dinâmica (C) do rolamento diminui, conforme mostrado abaixo:

Temperatura do rolamento (°C): 150 200 250 300



TECVIB
ENGENHARIA
LTDA.

Desmagnetização de Turbomáquinas, Medição de Magnetismo, Análise de Vibrações, Análise Dinâmica de Rotores e Tubulações, Análise de Fluxo, Pulsação de Pressão e Flexibilidade, Correção de "Run-Out", Balançamento Dinâmico, Análise de Ruído, Implantação e Execução de Plano de Manutenção Preditiva.

| | | | | |
|-------------------------------|----------|---------------|---------------|---------------|
| Coeficiente de temperatura: | 1,0 | 0,90 | 0,75 | 0,60 |
| Capacidade de carga dinâmica: | C | 0,9C | 0,75C | 0,60C |
| Redução de vida: | L_{10} | $0,73 L_{10}$ | $0,42 L_{10}$ | $0,22 L_{10}$ |

Uma outra consideração importante à respeito da temperatura é seu efeito sobre a vida do lubrificante. Altas temperaturas destroem o lubrificante pela decomposição catalítica e aceleração da oxidação (o índice de oxidação do óleo dobra a cada elevação de 8° a 11° C da temperatura), o que requer uma troca mais freqüente do lubrificante. Em geral recomenda-se que para graxa o intervalo de relubrificação seja reduzido à metade a cada 15° C de aumento de temperatura acima de 70° C (desde que não exceda o limite de temperatura da graxa utilizada) e para lubrificação com banho de óleo o intervalo de relubrificação deve ser anual para temperaturas até 50° C, trimestral para temperatura de 100° C e mensal para temperaturas de 120°. Adotar as recomendações dos fabricantes dos rolamentos para determinar o intervalo de relubrificação ideal para cada situação em particular. Para lubrificação a graxa uma boa prática é remover toda a graxa velha uma vez por ano, independente do intervalo de relubrificação adotado.

* Viscosidade do lubrificante na temperatura de trabalho

A eficiência da lubrificação, associada ao grau de separação entre as superfícies, só pode ser assegurada se o lubrificante mantiver uma certa viscosidade mínima na temperatura de trabalho do rolamento. A vida nominal ajustada é calculada pela expressão:

$$L_{na} = a_1 \times a_{23} \times L_{10}$$

sendo:

a_1 = Fator para confiabilidade (1 para L_{10} ou confiabilidade de 90%)

a_{23} = Combinação dos fatores a_2 (material) e a_3 (condição de funcionamento), sendo $a_2 = 1$ para rolamentos SKF, exceto quando fabricados com aços especiais, e $a_3 = 0,07$ a $2,5$, sendo calculado em função da relação entre a viscosidade real do lubrificante v e a viscosidade v_1 necessária para uma lubrificação adequada,

$$K = v/v_1.$$

A vida nominal ajustada pode variar de $0,07 L_{10}$ a $2,5 L_{10}$ em função da eficiência de lubrificação, desde que a temperatura não seja muito elevada, a condição de limpeza seja boa e que o rolamento tenha sido instalado sem nenhum dano e com os ajustes corretos.

*Contaminação do lubrificante

A influência da contaminação na vida do rolamento é muito grande, sendo função do tamanho do rolamento, espessura relativa do filme lubrificante, tipo de contaminante, tamanho das partículas sólidas, etc.

Testes efetuados com rolamentos com e sem vedadores em ambiente contaminado mostraram que os rolamentos sem vedadores alcançaram 10% da vida calculada L_{10} e que os rolamentos com vedadores operaram sem nenhuma falha após funcionar 30 vezes mais que a vida atingida pelos rolamentos sem vedadores.

Uma prática que recomendamos para evitar a contaminação do lubrificante é fechar hermeticamente as caixas de mancais, substituindo os retentores, respiros e copo repositor de óleo por selos tipo GBS da CHESTERTON ou similar, câmara de expansão e visor de nível. Como as variações de volume do ar no interior das caixas, causadas pelas variações de temperatura, são compensadas pela câmara de expansão,

não há penetração de contaminantes ou umidade nas caixas, o que resultará em aumento da vida dos rolamentos.

***Ajustes inadequados com eixo e caixa**

Para que um rolamento tenha um bom desempenho, o ajuste entre o anel interno e o eixo e o ajuste entre o anel externo e a caixa devem ser adequados para a aplicação. Por exemplo, um ajuste muito folgado pode resultar em corrosão e também superaquecimento e desgaste abrasivo no furo do rolamento e superfície do eixo devido ao deslizamento do anel interno, enquanto um ajuste muito apertado pode resultar em redução excessiva da folga interna do rolamento, causando superaquecimento e desgaste prematuro devido ao aumento da pré-carga interna.

Normalmente um dos rolamentos que suportam o eixo deve ser travado axialmente (fixados com o eixo e com a caixa) e o outro deve ser livre, ou seja, deve ter folga com o eixo ou com a caixa (depende do anel que recebe a carga rotativa), para possibilitar a dilatação térmica do eixo sem provocar sobrecarga axial e aquecimento dos rolamentos. Rolamentos de rolos cilíndricos com um dos anéis sem flanges são exceção a esta regra, porque permitem o deslocamento axial dos rolos.

É importante ressaltar que não existe substituto para o ajuste correto do rolamento com eixo e caixa. Se você quer obter a máxima vida útil para seus rolamentos, nunca adote soluções paliativas como: recatilhar ou puncionar o eixo, usar adesivo tipo loctite ou colocar calços entre o anel externo e a caixa.

***Erros de forma do eixo ou caixa**

Se um eixo foi projetado corretamente, os aspectos da qualidade de fabricação que irão afetar a performance dos rolamentos são: precisão dimensional e geométrica, acabamento da superfície e deflexões.

As tolerâncias para precisão geométrica são mostradas abaixo:

1. Tolerância de cilindricidade e conicidade: Metade da tolerância de diâmetro do eixo.
2. Erro de perpendicularidade do encosto do rolamento: Igual à tolerância de diâmetro do eixo.
3. Concentricidade do assento de um rolamento com relação ao outro: igual à tolerância do diâmetro do eixo.
4. Conformidade do assento do rolamento com uma barra de bordas retas: 80%

Erro de cilindricidade do eixo (por exemplo, ovalização) pode afetar a precisão dinâmica do rolamento, gerando vibração, e provocar pré-carga nas áreas de maior diâmetro, acelerando seu desgaste. Este mesmo problema pode ocorrer com o furo da caixa.

Erro de tolerância na localização do encosto pode resultar em carregamento axial excessivo dos rolamentos. Encostos com erro de perpendicularidade pode resultar em desalinhamento do anel interno e, conseqüentemente, severa sobrecarga da gaiola, esferas/rolos e anéis.

***Procedimentos inadequados de montagem e desmontagem**

Para que um rolamento funcione bem é preciso que se use métodos de montagem corretos e preferivelmente a montagem deve ser feita em uma sala seca e limpa, longe de fornos e máquinas que produzam cavacos ou poeira. Todas as ferramentas e componentes (eixo, caixas, porcas, buchas, etc.) deverão ser limpos cuidadosamente.

Havendo entalhes com protuberâncias na superfície do eixo ou encosto, estes devem ser removidos com uma pedra abrasiva fina e o eixo deve ser limpo com um pano que não solte fiapos.

Só remover o rolamento de sua embalagem original no momento em que for montá-lo. Não deixe o rolamento tomar pancadas ou cair e evite sua exposição a grandes variações de temperatura porque pode provocar a formação de condensado.

Os três métodos básicos usados para montar rolamentos são as montagens a frio, com temperatura e com dispositivos hidráulicos.

Na montagem a frio a força deve ser aplicada diretamente no anel com ajuste de interferência, através de uma bucha com faces planas paralelas e livres de saliências e rebarbas. Este método é adequado para rolamentos com diâmetro externo de até 4". Para os rolamentos autocompensadores de rolos ou esferas montados sobre buchas ou eixos cônicos deve-se ter um cuidado especial com a redução da folga interna. O aperto excessivo da porca de fixação poderá reduzir a folga interna do rolamento até um ponto onde ocorrerá sobrecarga e, conseqüentemente, desgaste prematuro. Para assegurar-se que a redução da folga esteja de acordo com a recomendação do fabricante, adotar os procedimentos abaixo:

*Rolamentos autocompensadores de rolos: Meça a folga interna original do rolamento com um calibrador de laminas, determine a redução da folga seguindo as instruções do fabricante e aperte a porca de trava até que a folga final seja atingida (folga inicial menos a redução da folga recomendada).

*Rolamentos autocompensadores de esferas: A folga interna original não pode ser medida neste tipo de rolamento. Usar uma chave de aperto SKF série TMHN que possui indicação do angulo que a porca de trava deve ser girada após um pequeno aperto inicial suficiente para assegurar o contato entre as superfícies cônicas do rolamento e eixo/bucha. Não sendo disponível esta ferramenta deve-se assegurar o encosto das superfícies cônicas e então girar a porca de trava 90°. Verificar posteriormente se o rolamento está girando e oscilando livremente.

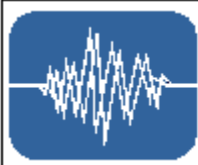
Uma outra alternativa para assegurar a correta redução da folga interna destes rolamentos é através do deslocamento axial do rolamento. Após assegurar o contato entre as superfícies cônicas os rolamentos com conicidade de 12:1, quando montados diretamente sobre o eixo, devem ser deslocados axialmente 0,016” para cada 0,001” de redução de folga, e quando montados sobre buchas cônicas, devem ser deslocados 0,018” para cada 0,001” de redução de folga.

Ao apertar porcas de trava de rolamentos nunca use talhadeira ou punção. Usar uma chave gancho ou uma chave de batida, para evitar que pequenas limalhas da porca caiam dentro do rolamento.

Assegurar-se de que as superfícies de apoio das caixas de mancais sejam planas e lisas, para evitar a deformação das caixas e anéis externos dos rolamentos.

Na montagem com temperatura uma das partes deve ser aquecida, resfriada ou uma aquecida e a outra resfriada. Os principais métodos de aquecimento de rolamentos são banho de óleo, placa quente e aquecedor indutivo. O rolamento deve ser aquecido uniformemente até uma temperatura máxima de 125° C. Os rolamentos com placas de proteção ou de vedação não devem ser aquecidos para não afetar a graxa com a qual são lubrificados.

No aquecimento com banho de óleo o reservatório e o óleo devem estar limpo, o volume de óleo deve ser bem maior que o volume do rolamento e deve-se usar um suporte de tela para apoiar o rolamento 3” acima do fundo do reservatório, para evitar seu contato com a região inferior que é mais quente e para separar o rolamento de contaminantes que podem ter sido depositado no fundo do reservatório. Após o aquecimento deve-se montar imediatamente o rolamento e fixá-lo com a porca de trava ou comprimir o anel interno contra o ressalto do eixo, evitando que se afaste do ressalto durante o resfriamento.



TECVIB
ENGENHARIA
LTDA.

Desmagnetização de Turbomáquinas, Medição de Magnetismo, Análise de Vibrações, Análise Dinâmica de Rotores e Tubulações, Análise de Fluxo, Pulsação de Pressão e Flexibilidade, Correção de "Run-Out", Balançamento Dinâmico, Análise de Ruído, Implantação e Execução de Plano de Manutenção Preditiva.

Nunca use tocha para aquecer o rolamento. Pontos quentes no anel interno podem causar amolecimento da pista, provocando falha prematura. Se o aquecimento for feito com aquecedores indutivos, desmagnetizar posteriormente o rolamento para evitar que atraia partículas metálicas.

Quando os rolamentos vão ser reutilizados, a força de desmontagem não deve ser aplicada através dos corpos rolantes. Primeiro deve-se desmontar o anel com ajuste mais folgado e depois o anel com ajuste interferente. Para desmontar o anel com ajuste interferente usar os acessórios e ferramentas recomendadas pelos fabricantes do rolamento.

4. NOVA TEORIA DA VIDA

- Uma nova teoria de vida foi desenvolvida pela SKF, levando em consideração a carga limite de fadiga e outros fatores relacionados com a lubrificação e contaminação. A carga limite de fadiga P_u representa a carga abaixo da qual não haverá fadiga no rolamento.

A vida nominal ajustada pela nova teoria da vida é calculada pela expressão:

$$L_{naa} = a_1 \cdot a_{skf} \cdot L_{10}$$

Sendo a_{skf} calculado como função de n_c (P_u/p), para diferentes valores de $K=v/v_1$. O fator n_c varia de 1,0 para lubrificante sem contaminação até 0,0 para lubrificante muito contaminado.

A vida nominal ajustada pela nova teoria da vida L_{naa} pode atingir valores até 50 vezes a vida nominal L_{10} , desde que não existam cargas adicionais sobre o rolamento, a lubrificação seja adequada e não exista contaminação.

5 - CONCLUSÕES

Para que a vida nominal do rolamento seja atingida, é necessário que as cargas estáticas e dinâmicas sejam mantidas dentro dos limites previsto no projeto e que sejam adotados os procedimentos de manuseio, armazenagem, montagem e lubrificação recomendados pelos fabricantes. É possível aumentar em até 2,5 vezes a vida nominal do rolamento, assegurando uma viscosidade adequada do lubrificante na temperatura de operação, desde que a temperatura não seja muito elevada e que não haja contaminação.

Em resumo, um rolamento nunca deve falhar prematuramente. Todos os rolamentos que falharem devem ser examinados para determinar a(s) causa(s). A menos que alguma alteração seja feita para corrigir a causa raiz da falha, provavelmente o rolamento substituído também irá falhar prematuramente.

A TECVIB possui todos os recursos técnicos necessários para analisar e corrigir, em parceria com seus clientes, problemas de falhas crônicas de rolamentos. A causa raiz da falha será determinada através de análise de vibrações, avaliação dos procedimentos de montagem e desmontagem, inspeção dos componentes danificados, avaliação das cargas estáticas e dinâmicas, contaminação do lubrificante e determinação da viscosidade do lubrificante na temperatura de operação.

BIBLIOGRAFIA:

1. How to track rolling element bearing health with vibration signature analysis – James E. Berry, Technical Associates of Charlotte, Inc.
2. Bearing Life Improvement Course – Raymond A. Guyer, Rolling Bearing Institute
3. Catálogo geral da SKF