



Técnicas de Lubrificação



ROLAMENTOS





ÍNDICE

Lubrificação com Graxa -----	Pág 04
- Lubrificação com graxa – Graxas lubrificantes -----	Pág 04
- Lubrificação com graxa - Viscosidade do óleo base -----	Pág 05
- Lubrificação com graxa – Proteção contra corrosão -----	Pág 05
- Lubrificação com graxa – Miscibilidade -----	Pág 05
- Lubrificação com graxa - Capacidade de carga, aditivos EP e AW -----	Pág 06
- Lubrificação com graxa – Consistência -----	Pág 06
- Lubrificação com graxa – Quantidade de graxa -----	Pág 07
- Lubrificação com graxa – Fatores característicos de rotação (Fator DN) -----	Pág 07
- Lubrificação com graxa – Relubrificação -----	Pág 07
- Lubrificação com graxa - Relubrificação - Intervalos de relubrificação -----	Pág 08
- Ajustes dos intervalos de relubrificação devido às condições operacionais e aos tipos de rolamentos-----	Pág 09
- Temperatura de Funcionamento -----	Pág 09
- Eixo vertical -----	Pág 09
- Vibração -----	Pág 09
- Rotação do Anel externo -----	Pág 09
- Contaminação -----	Pág 09
- Velocidade muito baixa -----	Pág 10
- Velocidade Alta -----	Pág 10
- Carga muito alta -----	Pág 10
- Carga muito leve -----	Pág 10
- Desalinhamento -----	Pág 10
- Rolamento grande -----	Pág 10
- Rolamentos auto-compensadores de rolos -----	Pág 10
- Intervalos muito curtos -----	Pág 11
- Lubrificação com graxa - Relubrificação - Procedimentos para relubrificação ---	Pág 12
- Reabastecimento -----	Pág 12
- Renovando o preenchimento de graxa -----	Pág 13
- Relubrificação contínua -----	Pág 14
Lubrificação com óleo -----	Pág 14
- Lubrificação com óleo – Métodos para lubrificação com óleo -----	Pág 14
- Banho de óleo -----	Pág 14
- Anel de coleta de óleo -----	Pág 15
- Óleo circulante -----	Pág 15
- Jato de óleo -----	Pág 16
- Atomização -----	Pág 16
- Vapor de óleo -----	Pág 17
- Lubrificação com óleo – Seleção do óleo lubrificante -----	Pág 17
- Lubrificação com óleo – Troca do óleo -----	Pág 19





Lubrificação de Rolamentos

Se os rolamentos devem operar de maneira confiável, eles deverão estar adequadamente lubrificados para evitar o contato direto de metal com metal entre os corpos rolantes, pistas e gaiolas. O lubrificante também inibe o desgaste e protege as superfícies do rolamento contra corrosão. A escolha de um lubrificante adequado e do método de lubrificação para cada aplicação de rolamentos é, portanto, importante assim como a manutenção correta.

Uma ampla gama de graxas e óleos está disponível para a lubrificação de rolamentos e existem também lubrificantes sólidos, por exemplo, para condições de temperaturas extremas. A escolha de um lubrificante depende principalmente das condições operacionais, ou seja, da faixa de temperatura e das velocidades, bem como da influência do ambiente ao redor.

As temperaturas de funcionamento mais favoráveis serão obtidas quando a quantidade mínima de lubrificante necessária para uma lubrificação confiável do rolamento for fornecida. No entanto, quando o lubrificante tem funções adicionais, como vedação ou dissipação do calor, podem ser exigidas quantidades adicionais de lubrificante.

O lubrificante em um arranjo de rolamentos perde gradualmente suas propriedades de lubrificação como resultado de trabalho mecânico, envelhecimento e acúmulo de contaminação. Portanto, é necessário que a graxa seja recarregada ou renovada e que o óleo seja filtrado e trocado em intervalos regulares.

As informações e recomendações desta seção estão relacionadas aos rolamentos, sem placas de proteção ou vedantes integrados.

As unidades de rolamento e os rolamentos com placas de proteção e vedantes integrados em ambos os lados são fornecidos já engraxados. Informações sobre as graxas utilizadas pela como padrão para esses produtos podem ser encontradas nas seções dos produtos relevantes, juntamente com uma breve descrição dos dados de desempenho.

A vida útil da graxa nos rolamentos vedados frequentemente excede a vida do rolamento de forma que, com algumas exceções, não há previsão para relubrificação desses rolamentos.

Lubrificação com graxa

A graxa pode ser utilizada para lubrificar os rolamentos em condições operacionais normais na maioria das aplicações.

A graxa é mais vantajosa que o óleo por aderir mais facilmente no arranjo do rolamento, especialmente onde os eixos estão inclinados ou estão na vertical, e também contribui para vedar o arranjo contra contaminantes, umidade ou água.

Quantidades excessivas de graxa farão com que a temperatura de funcionamento do rolamento aumente rapidamente, especialmente ao trabalhar em velocidades altas. Como regra geral, na partida, apenas o rolamento deve estar totalmente preenchido, enquanto o espaço livre na caixa deve estar parcialmente preenchido com graxa. Antes de operar em velocidade total, deve-se deixar que o excesso de graxa no rolamento se acomode ou escape durante um período de funcionamento inicial. No final do período de funcionamento inicial, a temperatura de funcionamento cairá consideravelmente indicando que a graxa foi distribuída no arranjo do rolamento.

No entanto, onde os rolamentos devem operar em velocidades muito baixas e uma boa proteção contra contaminação e corrosão for necessária, é aconselhável preencher a caixa completamente com graxa.





Lubrificação com graxa - Graxas lubrificantes

As graxas lubrificantes são compostas de um óleo sintético ou mineral combinado com um espessante. Os espessantes geralmente são sabões metálicos. No entanto, outros espessantes, por exemplo, poliuréia, podem ser utilizados para desempenho superior em determinadas áreas, como aplicações em altas temperaturas. Os aditivos também podem ser incluídos para aprimorar determinadas propriedades da graxa. A consistência da graxa depende amplamente do tipo e da concentração do espessante utilizado e da temperatura de funcionamento da aplicação.

Ao selecionar uma graxa, a consistência, a faixa de temperatura de funcionamento, a viscosidade do óleo base, as propriedades de inibição de ferrugem e a capacidade de carga são os fatores mais importantes a serem considerados. A seguir, informações detalhadas sobre essas propriedades.

Lubrificação com graxa - Viscosidade do óleo base

A viscosidade do óleo base das graxas normalmente utilizadas em rolamentos situa-se entre 15 e 500 mm²/s a 40 °C. As graxas com base em óleos de viscosidades maiores do que 1 000 mm²/s a 40 °C separam óleo tão lentamente que o rolamento não é lubrificado adequadamente. Portanto, se uma viscosidade calculada bem acima de 1 000 mm²/s a 40 °C for necessária devido a velocidades baixas, é melhor utilizar uma graxa com uma viscosidade máxima de 1 000 mm²/s e boas propriedades de separação de óleo ou aplicar lubrificação com óleo.

A viscosidade do óleo base também determina a velocidade máxima recomendada na qual uma determinada graxa pode ser utilizada para lubrificação do rolamento. A velocidade rotacional permitida para a graxa também é influenciada pela tensão de cisalhamento da graxa, que é determinada pelo espessante. Para indicar a capacidade de velocidade, os fabricantes de graxa geralmente citam um "fator de velocidade"

$$A = n d_m$$

onde

A = fator de velocidade, em mm/min

n = velocidade de rotação, r/min

d_m = diâmetro médio do rolamento,
= 0,5 (d + D), em mm

Para aplicações que operam em velocidades muito altas, por exemplo, a $A > 700\,000$ para rolamentos de esferas, as graxas mais adequadas são as que incorporam óleo base de baixa viscosidade.

Lubrificação com graxa - Proteção contra corrosão, comportamento na presença de água

A graxa deve proteger o rolamento contra corrosão e não deve ser removida do arranjo de rolamentos em casos de penetração de água. O tipo de espessante determina exclusivamente a resistência à água: as graxas complexa de lítio, complexa de cálcio e de poliuréia geralmente oferecem muita boa resistência. O tipo de aditivo inibidor de ferrugem determina principalmente as propriedades das graxas inibidoras de ferrugem.

Em velocidades muito baixas, um preenchimento total com graxa é benéfico para proteger contra corrosão e para prevenir o ingresso de água.





Lubrificação com graxa - Miscibilidade

Se for necessário trocar de graxa, a miscibilidade (capacidade de misturar graxas sem efeitos adversos) deve ser considerada. Se forem misturadas graxas incompatíveis, a consistência resultante poderá mudar radicalmente, a ponto de causar danos nos rolamentos, por exemplo, em decorrência de vazamento intenso.

As graxas que contêm o mesmo espessante e óleos base semelhantes geralmente podem ser misturadas sem conseqüências prejudiciais, por exemplo, uma graxa de óleo mineral/espessante de lítio geralmente pode ser misturada com outra graxa de óleo mineral/espessante de lítio. Além disso, algumas graxas com espessantes diferentes, por exemplo, graxas complexas de cálcio e de lítio, são misturáveis entre si.

Nos arranjos de rolamentos em que uma consistência de graxa baixa possa levar ao escape de graxa do arranjo, a próxima relubrificação deve incluir a purgação de toda a graxa antiga do arranjo e dos dutos de lubrificação em vez de um reabastecimento.

O conservante com o qual os rolamentos são tratados é compatível com a maioria das graxas de rolamentos, com a exceção possível de graxas de poliuréia. As graxas de poliuréia modernas tendem a ser mais compatíveis com conservantes do que algumas das graxas de poliuréia mais antigas. Observe que graxas à base de óleo fluorado sintético com um espessante PTFE não são compatíveis com conservantes padrão e os conservantes devem ser removidos antes da aplicação da graxa.

Lubrificação com graxa - Consistência

As graxas estão divididas em várias classes de consistência de acordo com a escala NLGI (National Lubricating Grease Institute). A consistência da graxa utilizada para lubrificação de rolamento não deve ser alterada drasticamente quando operada em sua faixa de temperatura especificada depois do funcionamento mecânico. As graxas que amolecem sob temperaturas elevadas podem vazarem do

arranjo de rolamentos. Aquelas que endurecem em temperaturas baixas podem dificultar a rotação do rolamento ou ter uma separação de óleo insuficiente.

As graxas que ficam espessas com sabão metálico, com uma consistência de 1, 2 ou 3, são utilizadas para rolamentos. As graxas mais comuns têm uma consistência de 2. As graxas com consistência mais baixa são preferidas para aplicações em temperaturas baixas ou para um melhor bombeamento. As graxas com consistência 3 são recomendadas para arranjos de rolamentos com um eixo vertical, em que uma placa defletora é colocada abaixo do rolamento para evitar que a graxa saia do rolamento.

Em aplicações sujeitas à vibração, a graxa é muito agitada à medida que é continuamente lançada novamente no rolamento pela vibração. As graxas com consistência mais alta podem ajudar aqui, mas a rigidez sozinha não fornece necessariamente a lubrificação adequada. Portanto, devem ser utilizadas graxas mecanicamente estáveis.

As graxas espessadas com poliuréia podem amolecer ou endurecer, dependendo da taxa de cisalhamento na aplicação. Em aplicações com eixos verticais, há o risco de que uma graxa de poliuréia vaze em determinadas condições.

Lubrificação com graxa - Capacidade de carga, aditivos EP e AW

A vida do rolamento fica mais curta se a espessura da película do lubrificante não for suficiente para evitar o contato de metal com metal das asperezas nas superfícies de contato. Uma opção para superar isso é utilizar os chamados aditivos EP (pressão extrema). Altas temperaturas, induzidas pelo contato de aspereza local, ativam esses aditivos que favorecem o desgaste





moderado nos pontos de contato. O resultado é uma superfície mais lisa, menores esforços de

contato e um aumento na vida útil.

Muitos aditivos EP modernos são do tipo sulfuroso/fosforoso. Infelizmente, esses aditivos podem ter um efeito negativo na resistência da matriz de aço do rolamento. Se tais aditivos forem utilizados, a atividade química não poderá ser restrita aos contatos de aspereza. Se a temperatura de funcionamento e as tensões de contato forem muito altas, os aditivos poderão se tornar quimicamente reativos mesmo sem o contato de aspereza. Isso pode propiciar processos de corrosão/difusão nos contatos e levar a falhas prematuras no rolamento, geralmente iniciadas por microcorrosão. Portanto, recomenda-se o uso de aditivos EP menos reativos em temperaturas de funcionamento acima de 80 °C. Lubrificantes com aditivos EP não devem ser usados em rolamentos que operam em temperaturas superiores a 100 °C. Para velocidades muito baixas, aditivos lubrificantes sólidos, como grafite e Bissulfeto de molibdênio (MoS₂) são às vezes incluídos na embalagem do aditivo para aprimorar o efeito EP. Esses aditivos devem ter um nível de pureza alto e um tamanho de partícula muito pequeno; caso contrário, mossas decorrentes da sobre-rolagem das partículas poderão reduzir a vida de fadiga.

Os aditivos AW (antidesgaste) têm uma função semelhante à dos aditivos EP, ou seja, evitar contato direto de metal com metal. Portanto, os aditivos EP e AW freqüentemente não são diferenciados entre eles. No entanto, a forma como eles funcionam é diferente. A principal diferença é que um aditivo AW cria uma camada de proteção que adere à superfície. As asperezas estão, então, deslizando umas sobre as outras sem contato metálico. A aspereza não é reduzida pelo desgaste moderado como no caso dos aditivos EP. Deve-se tomar muito cuidado aqui; os aditivos AW podem conter elementos que, da mesma forma que os aditivos EP, podem migrar para o aço e enfraquecer a estrutura.

Determinados espessantes (por exemplo, complexo de sulfonato de cálcio) também proporcionam um efeito EP/AW sem atividade química e o efeito resultante na vida de fadiga do rolamento. Portanto, os limites de temperatura de funcionamento para aditivos EP não se aplicam a essas graxas.

Se a espessura da película do lubrificante for suficiente, geralmente não recomenda-se o uso de aditivos EP e AW. No entanto, existem circunstâncias nas quais os aditivos EP/AW podem ser úteis. Se um deslizamento excessivo entre os rolos e as pistas for esperado, eles poderão ser benéficos.

Lubrificação com graxa – Quantidade de graxa

Pode-se calcular a quantidade exata de graxa à ser utilizada em rolamentos utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Gr;} = 0,005 \times \text{DXB}$$

Sendo: G quantidade de graxa
D - diâmetro externo do rolamento em mm
B - Largura total do rolamento em mm.

Valores característicos de Rotação - Fator de rotação DN

Geralmente mancais de rolamentos são preenchidos de maneira que todas as superfícies sejam coberta com graxa o suficiente.

$$\text{DN} = \text{dm} \cdot \text{n}(\text{mm/mim})$$

Com $\text{dm} = (\text{d} + \text{dj})/2$ em mm diâmetro médio do rolamento





da em mm diâmetro externo do rolamento.

Dj em mm diâmetro interno do rolamento

N em 1 /mim rotação de funcionamento do rolamento

As seguintes quantidades são recomendadas em dependência com o valor característico de rotação DN

Até 50 000 mm/min 90 até 100 %

Até 800 000 mm/min 30 até 50 %

Até 1 500 000 mm/min 30 % de área livre do rolamento

Lubrificação com graxa – Relubrificação

Os rolamentos têm de ser lubrificados novamente se a vida útil da graxa for menor do que a vida útil esperada do rolamento. A relubrificação deve ser feita sempre no momento em que a condição do lubrificante existente ainda esteja satisfatória.

O momento em que a relubrificação deve ser feita depende de muitos fatores relacionados. Isso inclui o tamanho e o tipo de rolamento, velocidade, temperatura de funcionamento, tipo de graxa, espaço ao redor do rolamento e o ambiente do rolamento. Só é possível basear as recomendações em regras estatísticas; os intervalos de relubrificação são definidos como o período de tempo ao final do qual 99 % dos rolamentos ainda estão confiavelmente lubrificados. Isso representa a vida L_1 da graxa.

Recomenda-se utilizar a experiência com base em dados de aplicações e testes reais, juntamente com os intervalos de relubrificação estimados abaixo.

Lubrificação com graxa - Relubrificação - Intervalos de relubrificação

Os intervalos de relubrificação t_f de rolamentos com anel interno rotacional em eixos horizontais sob condições normais e de limpeza podem ser obtidos a partir da [figura 1](#) como uma função

– do fator de velocidade A multiplicado pelo fator do rolamento relevante b_f

onde

$$A = n d_m$$

n = velocidade de rotação, r/min

d_m = do diâmetro médio do rolamento
= $0,5(d + D)$, em mm

b_f = do fator do rolamento, dependendo do tipo de rolamento e das condições de carga

– da relação de cargas C/P

t_f , horas de funcionamento



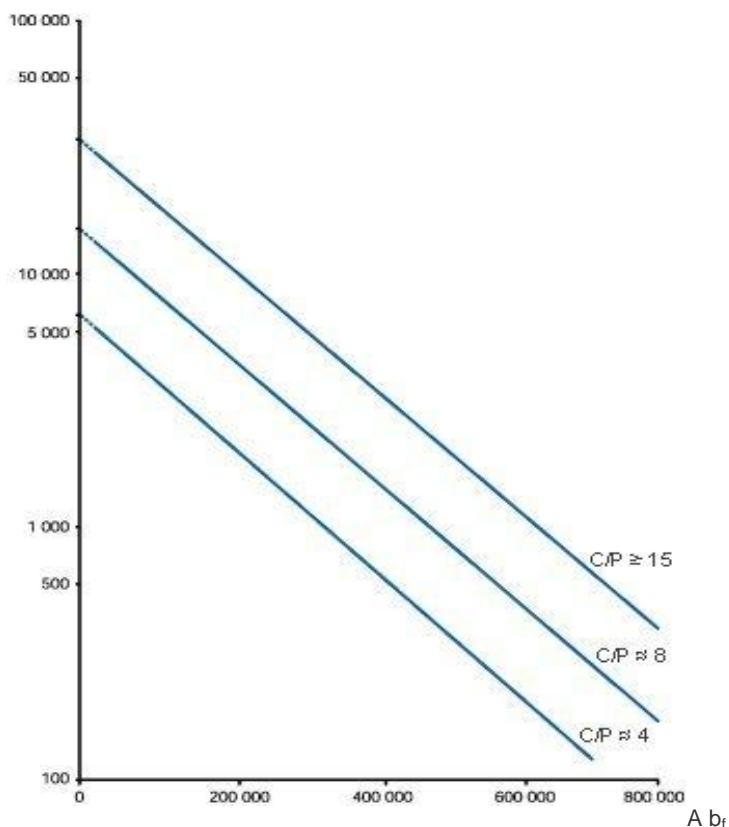


Figura 1: Intervalos de relubrificação em temperaturas operacionais de 70 °C

O intervalo de relubrificação t_r é um valor estimado, válido para uma temperatura de funcionamento de 70 °C, utilizando graxas de óleo mineral/espessante de lítio de boa qualidade. Quando as condições operacionais do rolamento forem diferentes, ajuste os intervalos de

relubrificação obtidos no [figura 1](#) de acordo com as informações fornecidas em "Ajustes dos intervalos de relubrificação devido às condições operacionais e aos tipos de rolamentos".

Ao utilizar graxas de alto desempenho, pode ser possível um intervalo de relubrificação maior e uma duração maior da vida da graxa. Entre em contato com o serviço de engenharia de aplicação da SKF para obter informações adicionais

Ajustes dos intervalos de relubrificação devido às condições operacionais e aos tipos de rolamentos

Temperatura de funcionamento

Para considerar o envelhecimento acelerado da graxa decorrente do aumento da temperatura,





recomenda-se dividir pela metade os intervalos obtidos na [figura 1](#) para cada aumento de 15 °C na temperatura de funcionamento acima de 70 °C, lembrando que o limite de desempenho de

graxas para temperatura alta para a graxa não deve ser excedido.

O intervalo de relubrificação t_r pode ser estendido em temperaturas abaixo de 70 °C se a temperatura não estiver próxima ao limite de desempenho de graxa para temperatura baixa. Um aumento total do intervalo de relubrificação t_r para mais que o dobro não é recomendado. No caso de rolamentos do tipo sem gaiola e rolamentos de rolos axiais, os valores t_r obtidos na [figura 1](#) não devem ser estendidos.

Além disso, não é recomendável utilizar intervalos de relubrificação que excedam 30 000 horas.

Para muitas aplicações, há um limite prático de lubrificação com graxa, quando o anel de rolamento com temperatura mais elevada excede uma temperatura de funcionamento de 100 °C. Acima dessa temperatura, graxas especiais devem ser utilizadas. Além disso, a estabilidade da temperatura do rolamento e falhas prematuras do vedante devem ser levadas em consideração.

Para aplicações de alta temperatura, consulte o serviço de engenharia de aplicação do Grupo Tecnolub.

Eixo vertical

Para rolamentos em eixos verticais, os intervalos obtidos na [figura 1](#) devem ser reduzidos à metade. O uso de uma boa placa de proteção de retenção ou vedação é um pré-requisito para evitar o vazamento de graxa do arranjo de rolamentos.

Vibração

Uma vibração moderada não afeta negativamente a duração da graxa, mas altos níveis de choque e vibração, como os de aplicações de telas vibratórias, provocam agitação da graxa. Nesses casos, o intervalo de relubrificação deve ser reduzido. Se a graxa se tornar muito mole, deve-se utilizar uma graxa com melhor estabilidade mecânica, por exemplo, a graxa especiais, ou uma graxa com maior rigidez, até NLGI 3.

Rotação do anel externo

Em aplicações nas quais há rotação do anel externo, o fator de velocidade A é calculado de maneira diferente: nesse caso, utilize o diâmetro externo D do rolamento em vez de d_m . O uso de um bom mecanismo de vedação é um pré-requisito para evitar a perda de graxa.

Sob condições de velocidades altas do anel externo (ou seja, mais de 40 % da velocidade de referência listada nas tabelas de produtos), deveriam ser selecionadas as graxas com uma tendência de vazamento reduzida.

Para os rolamentos axiais autocompensadores de rolos com uma arruela de caixa de rotação, recomenda-se a lubrificação com óleo.

Contaminação

No caso de entrada de contaminação, a relubrificação com mais frequência do que o indicado pelo intervalo de relubrificação reduzirá os efeitos negativos de partículas estranhas na graxa, enquanto reduz os efeitos danosos causados pela sobre-rolagem das partículas. Contaminantes fluidos (água, fluidos de processamento) também exigem um intervalo reduzido. No caso de contaminação grave, a relubrificação contínua deve ser considerada.

Velocidades muito baixas

Os rolamentos que operam em velocidades muito baixas sob cargas leves demandam uma graxa com consistência baixa, enquanto os rolamentos que operam em velocidades baixas e cargas altas precisam ser lubrificados com graxas de alta consistência e, se possível, com características EP muito boas.

Aditivos sólidos como grafite e Bissulfeto de molibdênio (MoS_2)





podem ser considerados para um fator de velocidade $A < 20\ 000$. A seleção da graxa adequada e o preenchimento com graxa são muito importantes em aplicações de velocidade baixa.

Velocidades altas

Os intervalos de relubrificação de rolamentos utilizados em velocidades altas, por exemplo, acima do fator de velocidade recomendado aplicam-se somente ao utilizar graxas especiais ou modelos de rolamentos modificados, por exemplo, rolamentos híbridos. Nesses casos, técnicas de relubrificação contínuas como óleo circulante, lubrificação por atomização, etc. são mais adequadas do que a lubrificação com graxa.

Cargas muito altas

Para os rolamentos que operam em um fator de velocidade $A > 20\ 000$ e que estão sujeitos a uma relação de cargas $C/P < 4$, o intervalo de relubrificação é ainda mais reduzido. Sob condições de carga muito alta, recomenda-se a relubrificação de graxa contínua ou a lubrificação de banho de óleo.

Em aplicações nas quais o fator de velocidade $A < 20\ 000$ e a relação de cargas $C/P = 1-2$, consulte informações em "Velocidades muito baixas". Para cargas altas e velocidades altas, geralmente recomenda-se lubrificação com óleo circulante com resfriamento.

Cargas muito leves

Em muitos casos, o intervalo de relubrificação pode ser estendido se as cargas forem leves ($C/P = 30$ a 50). Para obter uma operação satisfatória, os rolamentos devem estar sujeitos a, pelo menos, a carga mínima, indicada nas seções dos produtos relevantes.

Desalinhamento

Um desalinhamento constante dentro dos limites permitidos não afeta adversamente a duração da graxa em rolamentos autocompensadores de rolos, rolamentos autocompensadores de esferas ou rolamentos de rolos toroidais.

Rolamentos grandes

Para estabelecer um intervalo adequado de relubrificação para rolamentos de linha de contato, especialmente rolamentos de rolos grandes ($d > 300$ mm) utilizados em arranjos de rolamentos críticos em indústrias de processamento, recomenda-se um procedimento iterativo. Nesses casos, é aconselhável inicialmente relubrificar com mais frequência e seguir rigorosamente as quantidades de reaplicação recomendadas (consulte a seção "[Procedimentos para relubrificação](#)").

Antes de aplicar graxa novamente, a aparência da graxa utilizada e o grau de contaminação devido às partículas e água devem ser verificados. Além disso, o vedante deve ser totalmente verificado à procura de desgaste, dano e vazamentos. Quando a condição da graxa e dos componentes associados for considerada satisfatória, o intervalo de relubrificação poderá ser gradualmente aumentado.

Um procedimento semelhante é recomendado para os rolamentos axiais autocompensadores de rolos, máquinas de protótipos e atualizações do equipamento de energia de alta densidade ou onde quer que a experiência da aplicação for limitada.

Rolamentos auto-compensadores de rolos

Os intervalos de relubrificação na [figura 1](#) são válidos para rolamentos autocompensadores de rolos ajustados com

- uma gaiola moldada de poliamida 6,6 reforçada com fibra de vidro, sufixo de designação P
- uma gaiola de latão usinada em duas partes guiada pelos rolos, sufixo de designação M.

Para rolamentos com uma gaiola de aço estampado (sufixo de designação J) ou com uma gaiola centrada com anel interno ou externo (sufixos de designação MA, ML e MP), o valor do intervalo de relubrificação da [figura 1](#) deve ser reduzido à metade. Além disso, deve ser aplicada graxa com





boas propriedades de separação de óleo. Para os rolamentos com gaiolas MA, MB, ML ou MP, geralmente deve-se dar preferência à lubrificação com óleo.

Intervalos muito curtos

Se o valor determinado do intervalo de relubrificação t_r for muito curto para uma determinada aplicação, recomenda-se

- verificar a temperatura de funcionamento do rolamento,
- verificar se a graxa está contaminada por partículas sólidas ou fluidos,
- verificar as condições da aplicação do rolamento, como carga ou desalinhamento

e, por último, mas não menos importante, deve-se considerar o uso de uma graxa mais adequada.

Lubrificação com graxa - Relubrificação - Procedimentos para relubrificação

A escolha do procedimento de relubrificação geralmente depende da aplicação e do intervalo de relubrificação t_r obtido:

- O reabastecimento é um procedimento conveniente e preferido quando o intervalo de relubrificação é inferior a seis meses. Ele permite uma operação contínua e, quando comparado com a relubrificação contínua, proporciona uma temperatura estável e mais baixa.
- A renovação do preenchimento de graxa geralmente é recomendada quando os intervalos de relubrificação são superiores a seis meses. Esse procedimento costuma ser aplicado como parte de um programa de manutenção do rolamento, por exemplo, em aplicações ferroviárias.
- A relubrificação contínua é utilizada quando os intervalos de relubrificação estimados são curtos, por exemplo, devido a efeitos adversos de contaminação ou quando outros procedimentos de relubrificação forem inconvenientes devido à dificuldade de acesso ao rolamento. Entretanto, a relubrificação contínua não é recomendada para aplicações com velocidades rotacionais elevadas, uma vez que a agitação intensa da graxa pode levar a temperaturas de funcionamento muito altas e à destruição da estrutura espessante da graxa.

Ao utilizar rolamentos diferentes em um arranjo de rolamentos, é uma prática comum aplicar o menor intervalo de relubrificação estimado para ambos os rolamentos. As diretrizes e as quantidades de graxa para os três procedimentos alternativos são fornecidas a seguir.

Lubrificação com graxa - Relubrificação - Procedimentos para relubrificação - Reabastecimento

Conforme mencionado na introdução da seção de lubrificação com graxa, o rolamento deve estar, inicialmente, totalmente preenchido, enquanto o espaço livre na caixa deve estar parcialmente preenchido. Dependendo do método pretendido de reabastecimento, são recomendadas as seguintes porcentagens de preenchimento de graxa para este espaço livre na caixa:

- 40 % quando o reabastecimento é feito no lado do rolamento (fig. 2);

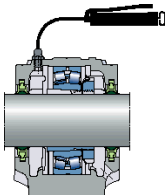




Figura 2

- 20 % quando o reabastecimento é feito pela ranhura e pelos furos de relubrificação no anel interno ou externo do rolamento ([fig. 3](#)).

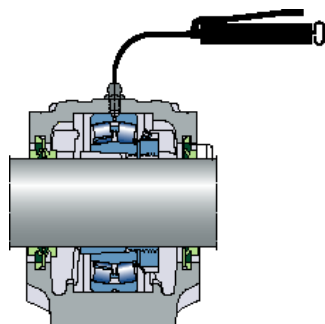


Figura 3

Quantidades adequadas para reabastecimento de um rolamento pela lateral podem ser obtidas a partir de

$$G_p = 0,005 D B$$

e, para o reabastecimento pelo anel interno ou externo do rolamento, a partir de

$$G_p = 0,002 D B$$

onde

G_p = quantidade de graxa a ser adicionada no reabastecimento, g

D = diâmetro externo do rolamento, mm

B = largura total do rolamento (para rolamentos axiais, utilize a altura H), em mm

Para facilitar o fornecimento de graxa utilizando uma pistola de graxa, um bocal de graxa deve ser fornecido na caixa. Se forem utilizados vedantes de contato, um orifício de saída na caixa também deve ser fornecido de forma que quantidades excessivas de graxa não se acumulem no espaço ao redor do rolamento ([fig. 2](#)), uma vez que isso pode causar um aumento definitivo na temperatura do rolamento. O orifício de saída deve estar tampado quando for utilizada água com alta pressão para limpeza.

O perigo do excesso de graxa acumulado no espaço ao redor do rolamento e os decorrentes picos de temperatura, com seu efeito prejudicial à graxa bem como ao rolamento, é mais evidente quando os rolamentos operam em velocidades altas. Nesses casos, é aconselhável utilizar uma válvula de escape de graxa em vez de um orifício de saída. Isso evita uma superlubrificação e permite que a relubrificação seja executada com a máquina em funcionamento. Uma válvula de escape de graxa é composta basicamente por um disco que gira com o eixo e que forma uma fresta estreita em conjunto com a tampa de extremidade da caixa ([fig. 4](#)).



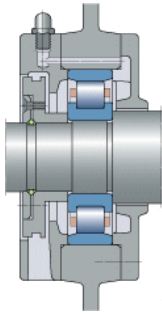


figura 4

O excesso de graxa e a graxa usada são lançados para fora do disco em uma cavidade anular e sai da caixa por uma abertura no lado inferior da tampa de extremidade. Informações adicionais a respeito do design e do dimensionamento das válvulas de escape de graxa podem ser fornecidas mediante solicitação.

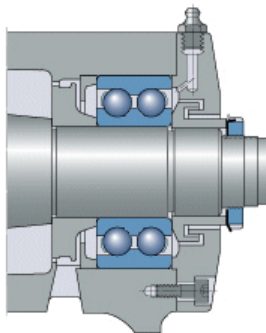


Figura 5

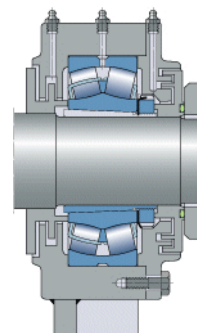


Figura 6

Para assegurar que a graxa nova realmente está atingindo o rolamento e substituindo a graxa velha, o duto de lubrificação da caixa deve alimentar a graxa adjacente à lateral do anel externo (fig. 2 e fig. 5) ou, melhor ainda, no rolamento. Para proporcionar uma lubrificação eficiente, alguns tipos de rolamentos, por exemplo, rolamentos autocompensadores de rolos, são fornecidos com uma ranhura e/ou orifícios de relubrificação no anel interno ou externo (fig. 3 e fig. 6).

Para que a troca de graxa velha seja bem-sucedida, é importante que a graxa seja reabastecida com a máquina em funcionamento. Nos casos em que a máquina não está em funcionamento, o rolamento deve ser girado durante o reabastecimento. Ao lubrificar o rolamento diretamente pelo anel interno ou externo, a graxa nova é mais eficaz no reabastecimento; conseqüentemente, a quantidade de graxa necessária é reduzida quando comparada com a relubrificação a partir da lateral. Considera-se que os dutos de lubrificação já foram preenchidos com graxa durante o processo de montagem. Se não foram, uma quantidade de relubrificação maior durante o primeiro reabastecimento será necessária para compensar os dutos vazios.

Onde forem utilizados dutos de lubrificação longos, verifique se a graxa pode ser bombeada adequadamente na temperatura ambiente prevalecente.





O preenchimento de graxa completo deve ser trocado quando o espaço livre na caixa não puder mais acomodar graxa adicional, por exemplo, aproximadamente acima de 75 % do volume livre da

caixa. Quando a relubrificação é feita pela lateral e ao começar com 40 % do preenchimento inicial da caixa, o preenchimento de graxa completo deve ser trocado após aproximadamente cinco reabastecimentos. Devido ao preenchimento inicial inferior da caixa e da quantidade superior reduzida durante o reabastecimento no caso de relubrificação do rolamento diretamente pelo anel interno ou externo, a renovação só será necessária em casos excepcionais.

Lubrificação com graxa - Relubrificação - Procedimentos para relubrificação - Renovando o preenchimento de graxa

Quando a renovação do preenchimento de graxa é feita no intervalo de relubrificação estimado ou após um determinado número de reabastecimentos, a graxa usada no arranjo de rolamentos deve ser completamente removida e trocada por graxa nova.

O preenchimento do rolamento e da caixa com graxa deve ser feito de acordo com as diretrizes fornecidas em "Reabastecimento".

Para permitir a renovação do preenchimento de graxa, a caixa do rolamento deve ser facilmente acessível e aberta. A tampa das caixas de divisão e as tampas de caixas de uma única parte geralmente podem ser removidas para que o rolamento fique exposto. Depois de remover a graxa usada, a graxa nova deve ser comprimida entre os corpos rolantes. Deve-se tomar muito cuidado para que os contaminantes não entrem no rolamento nem na caixa ao fazer a relubrificação e a própria graxa deve ser protegida. O uso de luvas à prova de graxa é recomendado para evitar reações alérgicas na pele.

Quando as caixas estão menos acessíveis, mas são dotadas de bocais de graxa e orifícios de saída, é possível renovar completamente o preenchimento de graxa relubrificando várias vezes em intervalos próximos, até que se possa considerar que toda a graxa velha foi expelida da caixa. Este procedimento exige muito mais graxa do que é necessário para a renovação manual do preenchimento de graxa. Além disso, este método de renovação tem uma limitação com relação às velocidades operacionais: em velocidades altas, levará a aumentos inadequados de temperatura causados por agitação excessiva da graxa.

Lubrificação com graxa - Relubrificação - Procedimentos para relubrificação - Relubrificação contínua

Este procedimento é utilizado quando o intervalo calculado para relubrificação for muito curto, por exemplo, devido a efeitos adversos de contaminação, ou quando outros procedimentos de relubrificação forem inconvenientes, por exemplo, quando o acesso ao rolamento for difícil.

Devido à excessiva agitação de graxa, que pode levar a um aumento de temperatura, a lubrificação contínua só é recomendada quando as velocidades rotacionais são baixas, ou seja, em fatores de velocidade

- $A < 150\ 000$ para rolamentos de esferas e
- $A < 75\ 000$ para rolamentos de rolos.

Nesses casos, o preenchimento inicial de graxa da caixa pode ser de 100 % e a quantidade de relubrificação por unidade de tempo é derivada das equações para G_p em "[Reabastecimento](#)", espalhando-se a quantidade relevante ao longo do intervalo de relubrificação.

Quando for utilizada relubrificação contínua, verifique se a graxa pode ser bombeada adequadamente através dos dutos na temperatura ambiente prevalente.

A lubrificação contínua pode ser conseguida através de lubrificadores automáticos multiponto ou de ponto único Maxionlub





Lubrificação com óleo

O óleo geralmente é utilizado para lubrificação de rolamentos quando as altas velocidades ou temperaturas de funcionamento impedem o uso da graxa, quando o calor de fricção ou aplicado precisa ser removido da posição do rolamento ou quando componentes adjacentes (engrenagens, etc.) são lubrificadas com óleo.

Para aumentar a vida útil do rolamento, todos os métodos de lubrificação de rolamento que utilizam óleo limpo são preferidos, ou seja, lubrificação com óleo circulante bem filtrado, método de jato de óleo e o método de lubrificação por atomização com óleo e ar filtrado.

Ao utilizar os métodos de óleo circulante e de lubrificação por atomização, devem ser fornecidos dutos corretamente dimensionados para que o óleo que sai do rolamento possa deixar o arranjo.

Lubrificação com óleo - Métodos de lubrificação com óleo

Banho de óleo

O método mais simples de lubrificação com óleo é o banho de óleo (fig. 7). O óleo, que é coletado através dos componentes de rotação do rolamento, é distribuído dentro do rolamento e depois derramado de volta para o banho de óleo. O nível de óleo deve quase alcançar o centro do corpo rolante inferior quando o rolamento estiver estacionário. O uso de niveladores de óleo é recomendado para que se tenha o nível correto de óleo. Ao operar em alta velocidade o nível de óleo pode cair significativamente e a caixa pode se encher demasiadamente pelo nivelador de óleo, sob essas condições consulte o serviço de engenharia de aplicação do Grupo Tecnolub.

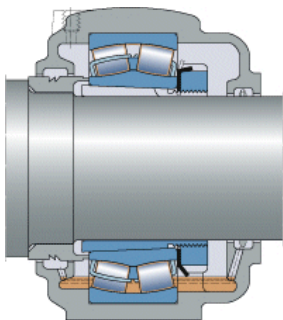


Figura 7

Anel de coleta de óleo

Para aplicações de rolamentos em que as velocidades e a temperatura de funcionamento fazem com que a lubrificação com óleo seja necessária e uma alta confiabilidade seja exigida, é recomendado o método de lubrificação de anel de coleta de óleo (fig. 8). O anel de coleta serve para produzir a circulação do óleo. O anel fica frouxamente pendurado em uma bucha no eixo em um lado do rolamento e mergulha no óleo na metade inferior da caixa. Conforme o eixo gira, o anel segue e transporta o óleo da parte inferior para um canal de coleta. Em seguida, o óleo flui através do rolamento de volta para o reservatório na parte inferior. Existem caixas de mancais que foram projetadas para o método de lubrificação de anel de coleta de óleo. Para obter informações adicionais, consulte o serviço de engenharia de aplicação do fabricante.



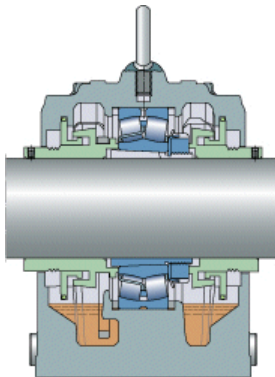
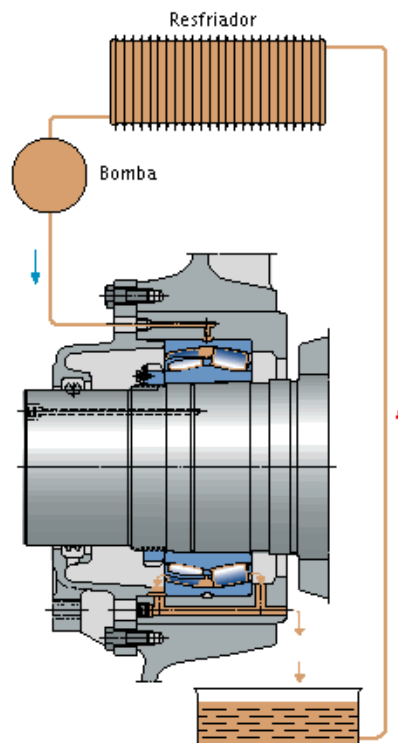


Figura 8

Óleo circulante

A operação em altas velocidades faz com que a temperatura de funcionamento aumente, acelerando o envelhecimento do óleo. Para evitar trocas freqüentes de óleo e para conseguir uma condição totalmente cheia, o método de lubrificação de óleo circulante geralmente é o preferido (fig. 9). A circulação normalmente é produzida com auxílio de uma bomba. Depois que o óleo passa pelo rolamento, ele geralmente é depositado em um tanque onde é filtrado e, se necessário, resfriado antes de ser retornado ao rolamento. Uma filtragem correta leva a altos valores para o fator η_c , estendendo com isso a vida útil do rolamento.

O resfriamento do óleo permite que a temperatura de funcionamento do rolamento seja mantida em um nível baixo.





Jato de óleo

Para uma operação em velocidade muito alta, deve ser fornecida ao rolamento uma quantidade de óleo suficiente, mas não excessiva, a fim de proporcionar a lubrificação adequada sem aumentar a temperatura de funcionamento mais do que o necessário. Um método particularmente eficaz para se conseguir isso é o de jato de óleo (fig. 10), onde um jato de óleo sob alta pressão é direcionado na lateral do rolamento. A velocidade do jato de óleo deve ser suficientemente alta (pelo menos 15 m/s) para penetrar na turbulência que envolve o rolamento rotativo.

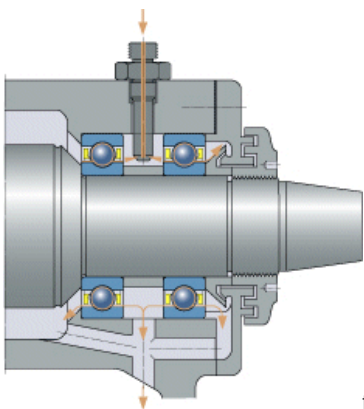


figura 10

Lubrificação por atomização

Com o método de lubrificação por atomização (fig. 11) - também chamado de método de ar lubrificado - quantidades precisamente medidas e muito pequenas de óleo são direcionadas para cada rolamento individual por ar comprimido. Esta quantidade mínima permite que os rolamentos operem em temperaturas inferiores ou em velocidades mais altas do que em qualquer outro método de lubrificação. O óleo é fornecido aos condutores por uma unidade medidora, em

intervalos determinados. O óleo é transportado pelo ar comprimido; ele cobre o interior dos condutores e se espalha por sua extensão. Ele é projetado para o rolamento através de um bocal. O ar comprimido serve para esfriar o rolamento e também produz um excedente de pressão no arranjo de rolamentos que evita a entrada de contaminantes.

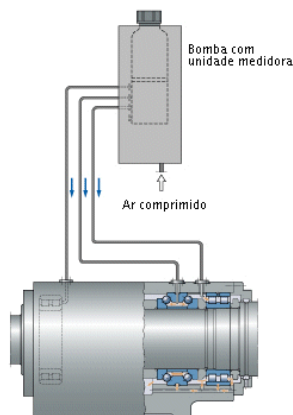




Figura 11

Vapor de óleo

A lubrificação por vapor de óleo não tem sido recomendada há algum tempo devido a possíveis efeitos ambientais negativos.

Uma nova geração de geradores de vapor de óleo permite produzir vapor de óleo com óleo em 5 ppm. Novos projetos de vedantes especiais também limitam a quantidade de desperdício de vapor a uma quantidade mínima. Caso o óleo sintético atóxico seja utilizado, os efeitos ambientais são reduzidos ainda mais. Atualmente, a lubrificação por vapor de óleo é utilizada em aplicações muito específicas, como na indústria petrolífera.

Lubrificação com óleo - Seleção do óleo lubrificante

A seleção do óleo é baseada principalmente na viscosidade necessária para proporcionar uma lubrificação adequada para o rolamento em sua temperatura de funcionamento. A viscosidade do óleo depende da temperatura, tornando-se inferior à medida que a temperatura aumenta. A relação viscosidade-temperatura de um óleo é caracterizada pelo índice de viscosidade VI. Para a lubrificação do rolamento, são recomendados óleos que tenham um índice de viscosidade alto (pouca alteração com temperatura) de pelo menos 95.

Para que seja formada uma película de óleo fina o suficiente na área de contato entre os corpos rolantes e as pistas, o óleo deve reter uma viscosidade mínima na temperatura de funcionamento. A viscosidade cinemática mínima v_1 exigida na temperatura de funcionamento para proporcionar uma lubrificação adequada pode ser determinada a partir do [figura 12](#), desde que seja utilizado um óleo mineral. Quando a temperatura de funcionamento for conhecida por experiência ou puder ser determinada de outra forma, a viscosidade correspondente na temperatura de referência padronizada internacionalmente de 40 °C (ou seja, a classe de viscosidade ISO VG do óleo) poderá ser obtida a partir do [figura 13](#), compilado para um índice de viscosidade de 95.

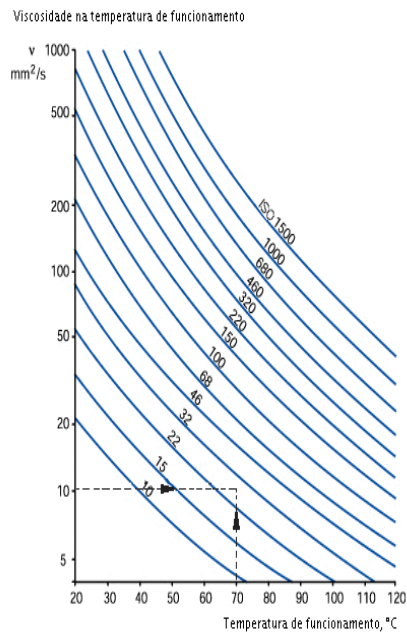


Figura 12 – Estimativa da Viscos. cinemática

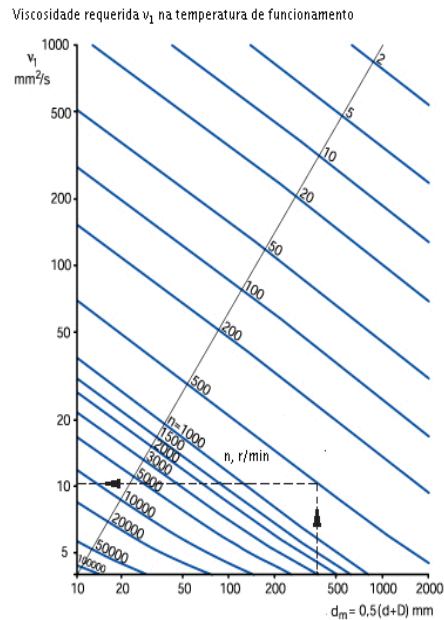


Figura 13 – Viscosidade cinemática da





Determinados tipos de rolamentos, por exemplo, rolamentos autocompensadores de rolos, rolamentos de rolos toroidais, rolamentos de rolos cônicos e rolamentos axiais autocompensadores de rolos, normalmente têm uma temperatura de funcionamento mais alta do que outros tipos de rolamentos, por exemplo, rolamentos rígidos de esferas e rolamentos de rolos cilíndricos, sob condições operacionais comparáveis.

Ao selecionar o óleo, os seguintes aspectos devem ser considerados:

- A vida do rolamento pode ser estendida pela seleção de um óleo cuja viscosidade cinemática v na temperatura de funcionamento seja maior que a viscosidade v_1 obtida no [figura 12](#). Um $v > v_1$ pode ser obtido pela escolha de um óleo mineral de classe de viscosidade ISO VG maior ou adotando-se um óleo com índice de viscosidade VI maior e que tenha pelo menos o mesmo coeficiente de pressão-viscosidade. Como a viscosidade aumentada eleva a temperatura de funcionamento do rolamento, freqüentemente há um limite prático no aprimoramento da lubrificação que pode ser obtido por esse meio.
- Quando a relação de viscosidade $\kappa = v/v_1$ for menor que 1, um óleo que contenha aditivos EP será recomendado e, se κ for menor que 0,4, um óleo com tais aditivos deverá necessariamente ser utilizado. Um óleo com aditivos EP também pode aprimorar a confiabilidade operacional em casos em que κ é maior que 1 e os rolamentos de rolos de tamanho grande e médio são considerados. Deve-se lembrar que alguns aditivos EP podem produzir efeitos adversos.
- Para velocidades excepcionalmente altas ou baixas, para condições críticas de carga ou para condições de lubrificação incomuns, consulte o serviço de engenharia de aplicação do Grupo Tecnolub.

Exemplo

Um rolamento com um diâmetro interno $d = 340$ mm e um diâmetro externo $D = 420$ mm deve operar a uma velocidade $n = 500$ r/min. Portanto, $d_m = 0,5 (d + D) = 380$ mm. Na [figura 12](#), a viscosidade cinemática mínima v_1 exigida para proporcionar uma lubrificação adequada na temperatura de funcionamento é de $10 \text{ mm}^2/\text{s}$. Na [figura 13](#), supondo que a temperatura de funcionamento do rolamento seja de $70 \text{ }^\circ\text{C}$, descobre-se que será necessário um óleo lubrificante para uma classe de viscosidade ISO VG 32, ou seja, com uma viscosidade cinemática v de pelo menos $32 \text{ mm}^2/\text{s}$ na temperatura de referência de $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lubrificação com óleo - Troca de óleo

A freqüência necessária para a troca de óleo depende principalmente das condições operacionais e da quantidade de óleo.

Com a lubrificação de banho de óleo, geralmente é suficiente trocar o óleo uma vez por ano, desde que a temperatura de funcionamento não exceda $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e haja pouco risco de contaminação. Temperaturas mais altas demandam trocas de óleo mais freqüentes, por exemplo, para temperaturas de funcionamento em torno de $100 \text{ }^\circ\text{C}$, o óleo deve ser trocado a cada três meses. As trocas de óleo freqüentes também são necessárias se outras condições operacionais forem árduas.

Com a lubrificação com óleo circulante, o período entre duas trocas de óleo também é determinado pela freqüência com que a quantidade de óleo total é circulada e se o óleo é ou não resfriado. Geralmente só é possível determinar um intervalo adequado por execuções de testes e pela inspeção regular da condição do óleo para ver se ele não está contaminado e se não está excessivamente oxidado. O mesmo se aplica à lubrificação com jato de óleo. Com a lubrificação por atomização, o óleo só passa pelo rolamento uma vez e não é circulado novamente.

Leonardo Cardoso Xavier da Silveira

Bibliografia





SUPREME

Lubrificantes

Artigo Técnico

SKF do Brazil / Livro - Lubrificantes e Lubrificação Industrial / Livro - Tribologia / NSK

