

CONHECIMENTO EM MOVIMENTO

O BOLETIM TÉCNICO DA NSK

NSK TF Tough Steel™ para Condições Severas

O Conceito NSK de vida útil otimizada para ambientes contaminados é único na indústria de rolamentos. A Equipe de Pesquisa da NSK foi a primeira a reconhecer a relação entre a austenita retida e a vida de fadiga em ambientes contaminados.

Controlando a falha de rolamentos em ambientes contaminados

Os rolamentos nos ambientes limpos operam com graxa limpa ou óleo filtrado, e eventualmente podem falhar devido à fadiga subsuperficial, caso instalado corretamente. Os rolamentos submetidos a um ambiente contaminado, falham devido à fadiga originada na superfície. Foi provado que o aço mais puro é eficaz no aumento de vida útil dos rolamentos que operam em ambientes limpos, enquanto os rolamentos vedados, são eficazes para promover vida útil em condições de contaminação.

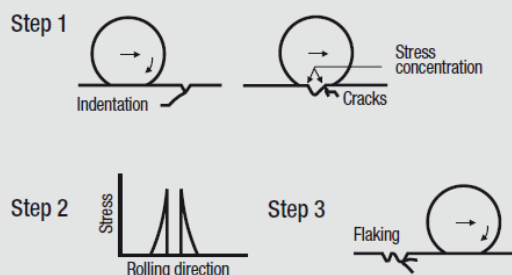
Os detritos nos rolamentos provenientes da indústria de mineração, aço, cimentos e agregados, geram fadiga superficial e causa uma vida útil mais curta. Rolamentos vedados utilizam vedações com contato para evitar a entrada de contaminantes, porém infelizmente eles não são viáveis em todas as aplicações, e as vedações nem sempre protegem contra os detritos. Para essas aplicações os rolamentos Tough Steel™ são necessários.



O Escamamento gerado por fadiga superficial

Diversos tipos de contaminantes podem causar indentações nas pistas dos rolamentos. A concentração de tensão é alta nas bordas das indentações, causando fadiga e danos ao rolamento.

Figure 1: Origin of Surface Originated Flaking



O Escamamento gerado por fadiga superficial

A seguinte equação, descreve a concentração de estresse nas "bordas" de uma indentação. A proporção do esforço de cisalhamento máximo t_c na indentação para a pressão de contato, p_o , no caso de não haver indentações é a seguinte:

$$t_c / p_o = a_1 (Co) a^2$$

Onde, $a_1 = 0.22$ e $a^2 = -0.24$

Co , é definido como o fator de severidade da ranhura, é encontrado usando a equação.

$$Co = (\pi^2 p_o / E^0) (r/c)$$

r = raio do borda da marca, mm

c = metade da largura da marca, mm

p_o = pressão de contato, N/mm²

E^0 = Modulo de Young, N/mm²

Na equação, o formato da indentação (r e c), aplica uma forte influencia na vida de fadiga, um valor r/c maior promove vida mais longa por conta da menor concentração de tensão na borda da indentação..

Figure 2: Enlarged View of Indentation Caused by Contamination

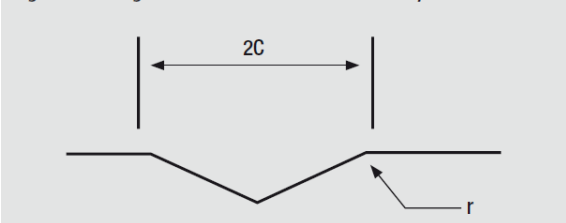
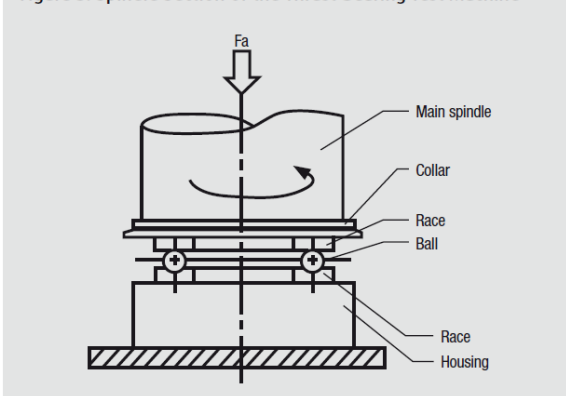


Figure 3: Spindle Section of the Thrust Bearing Test Machine



Evitando Indentações e Fator Material

As seguintes experiências foram realizadas para esclarecer a relação entre o contorno de indentação (r/c) e a porcentagem de austenita retida. Isto foi feito em uma máquina de teste de rolamentos axiais, usada para a avaliação de vida de fadiga em contato contínuo. A seção do desenho desta máquina, é mostrada na **fig. 3**.

Procedimento do Teste

1. As peças de prova de escora simples, que apresentaram uma ampla gama de dureza e austenita retida, foram preparadas a partir de uma variedade de materiais e processos de tratamento térmico.
2. Uma indentação Vickers foi feita em cada pista de teste.
3. Os valores r e c foram medidos.
4. Cada peça foi ajustada na máquina e submersa em banho de óleo, a carga especificada foi aplicada por esferas, rolando em cima da indentação.
5. Este contorno foi mapeado após a remoção da peça da máquina de teste.

A análise de r/c e ciclos mostrou que o valor se estabiliza após 3000 ciclos. Os resultados mostram que após um minuto (3000 ciclos) de teste, o valor r/c aumenta com as peças de maior austenita retida. O limite superior da austenita retida é regido pela estabilidade dimensional e será mencionado adiante neste artigo.

O teste foi realizado em três conjuntos, de diferentes amostras. O primeiro havia amostras contendo 32% de austenita retida, com valor de dureza Hv802, o segundo, 33% de austenita retida e valor de dureza Hv716, e o terceiro, amostras com 10% de austenita retida e valor de dureza Hv739. Ao comparar a primeira amostra com a segunda e terceira, foi revelado que o estresse repetido produziu um valor r/c maior em materiais mais duros que em materiais mais macios.

Também foi observado que o alívio de estresse no material mais macio e com um nível mais baixo de austenita retida é quase finalizado dentro de um tempo curto de poucos ciclos. O material mais duro e com maior nível de austenita continuaram a aumentar o valor de r/c e com isso o alívio de estresse.

Requisitos do Novo Material

Uma vez que a austenita retida é macia, é difícil produzir uma peça com alta dureza e alto volume de austenita retida. Assim, foi criada novas especificações de aço, como processos inovadores de tratamento térmico para superar os requisitos, aumentando o teor de cromo, resultando em maior número de carbonetos finos, distribuídos na matriz do material.

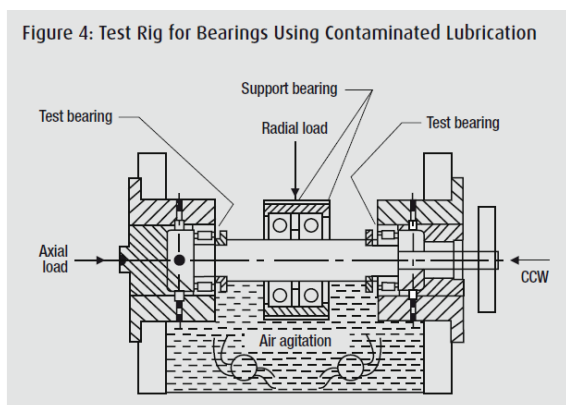
Os processos de tratamento térmico convencionais ainda não atingiram propriedades exigidas, como por exemplo, os rolamentos cementados, uma vez que os resultados de vida são semelhantes em ambientes contaminados. Os novos processos de tratamento foram desenvolvidos para refinar carbonetos após a cementação.

Com base nesses resultados, as especificações do ToughSteel™ foram formuladas, com seguinte conteúdo elementar:

C	Si	Mn	Cr
0.42%	0.39%	1.24%	1.23%

Vida de Fadiga Testada

Outro teste realizado foi em condições de lubrificação contaminada, os resultados indicam que um controlado aumento no volume de austenita retida leva uma vida mais longa. Se o volume da austenita retida é mantido mas sua dureza é elevada, uma vida ainda maior é possível. Para provar esses parâmetros, rolamentos foram preparados e testados com lubrificação contaminada. (fig. 4).



Os rolamentos neste teste utilizavam óleo de engrenagem contaminada. A contaminação foi completamente misturada ao óleo para passar pelo rolamento de teste. A temperatura do óleo foi controlada para manter a viscosidade. Os rolamentos ToughSteel™ funcionaram com sucesso com uma vida útil entre 7 a 11 vezes mais longa do que os rolamentos de rolos cônicos temperados convencionalmente.

Os resultados para os rolamentos fixo de esfera mostraram que o ToughSteel™ tem vida útil 6 vezes maior que rolamentos de esfera convencionais.

Progressão de Fadiga

Para analisar a vida útil dos rolamentos ToughSteel™, os seguintes testes foram realizados utilizando a máquina de teste, onde durante os testes de vida o progresso da fadiga na superfície da pista foi medido após um certo intervalo usando "Análise de Fadiga". Esta análise é um método desenvolvido pela NSK.

Usando tecnologia de difração de raio X, foi determinado o progresso da fadiga do material de forma semi-quantitativa, à medida que a fadiga avança, ocorre uma mudança na estrutura cristalina martensita e a austenita retida se converte em martensita. Medindo ambos os fatores por raio-X, é possível determinar o tipo de fadiga (superficial ou subsuperficial) e o estágio no progresso da fadiga. Qualquer inspeção destrutiva ou não destrutiva pode ser realizada em "Análise de Fadiga".

Depois de um intervalo em cada teste, uma inspeção não destrutiva foi realizada. Esta inspeção usava raio X nos contatos do rolo e foi confirmada mudanças na estrutura do material.

Após o teste de vida, uma inspeção destrutiva foi feita usando uma análise com raios-X. Isso requer a remoção de camadas finas do material de rolamento na região da indentação e registro das mudanças da estrutura do material dentro do rolamento. Esta investigação revelou que, sob as mesmas condições de carregamento e ambientais, os rolamentos ToughSteel™ exibem uma progressão mais lenta da fadiga do que os rolamentos convencionais.

O teste iniciou com uma indentação modelo e foi executado até que ocorressem escamamentos na pista, isso foi feito pressionando uma pirâmide Vickers na superfície, então o contorno da indentação foi medido.

Em seguida, o rolamento foi carregado e o teste de vida realizado com lubrificação limpa. Em certo intervalo, os rolamentos eram removidos do teste e a superfície observada com um microscópio, o contorno da indentação medido, este processo foi repetido até ocorrerem escamamento.

A NSK observou o ponto de partida das trincas e escamamento tanto em ToughSteel™ quanto em rolamentos convencionais. Em rolamentos ToughSteel™ as trincas possuem seu aparecimento e progressão mais lentos.

Os resultados revelaram que os rolamentos ToughSteel™ possuem um raio de borda maior nas indentações que os convencionais, também mostraram que os rolamentos ToughSteel™ tem maior vida em condições contaminadas, uma vez que existe menor concentração de estresse na borda da indentação. Essa diferença na forma do raio é a razão para o ToughSteel™ ter maior vida em ambientes contaminados.

Resistência ao Desgaste e Superaquecimento

Os rolamentos ToughSteel™ possuem uma grande quantidade de carbonos finos, que proporciona maior resistência ao desgaste e maior resistência ao superaquecimento. Os resultados do teste da taxa de desgaste e limite ao superaquecimento foram determinados por uma máquina de teste do tipo Sawin especificamente usada para avaliar resistência ao desgaste.

Os resultados mostraram que os rolamentos ToughSteel™ apresentaram também menor desgaste e limite de temperatura do que o convencional, através de materiais endurecidos. Embora a carga utilizada pareça pequena, a pressão de contato máxima é de 98N/mm². A máquina de teste do tipo Sawin foi usada porque pode simular uma condição sem lubrificantes. Isso é válido para ajudar a identificar o ponto de mudança do desgaste leve ao desgaste severo, reconhecido como limite ao superaquecimento.

Estabilização Dimensional

Outra característica importante do material do rolamento é a estabilidade dimensional. Vários rolamentos de rolos cônicos testados utilizando ToughSteel™ mantiveram-se endurecidos, onde o diâmetro externo do rolamento L44610 usado para este teste é de 50.292 mm.

Amostra de cinco diferentes tipos de materiais foram mantidas em um forno a 130°C, durante 4000 horas, e depois os diâmetros externos dos rolamentos foram medidos. Outro conjunto de amostras com outros cinco tipos de materiais foi mantido em um forno a 170 °C, durante 1000 horas. Os diâmetros externos dos rolamentos foram medidos, a estabilidade dimensional do ToughSteel™ está entre os rolamentos temperados e cementados.

Os resultados dos rolamentos temperados, cementados e carbonitretados, foram comparados com o ToughSteel™. O rolamento cementado mostrou resultados semelhantes, mas o rolamento carbonitretado mostrou uma expansão muito grande do anel externo em ambas faixas de temperatura.

Conclusão

1. Para rolamentos em aplicações com lubrificação contaminada, como é visto em mineração, siderurgia, agregados e cimentos, um material com alto volume de austenita retida e alta dureza proporciona vida útil maior.

2. Para obter as propriedades necessárias, as novas especificações de aço e tratamentos térmicos controlados foram desenvolvidos e implementados para produzir o novo aço ToughSteel™.

3. Os rolamentos ToughSteel™ tem vida útil 6 vezes maior que os rolamentos convencionais, sob mesmas condições de contaminação e carregamento.

4. Os rolamentos ToughSteel™ tem uma velocidade mais lenta de progresso de fadiga. O aparecimento de indentação é postergado e a propagação de trincas nas bordas da indentação é mais lento.

5. Os rolamentos ToughSteel™ tem vida útil 8 vezes maior que dos rolamentos convencionais, quando comparados em um real teste de vida útil.

6. Os rolamentos ToughSteel™ oferecem vantagens tanto na resistência ao desgaste quando a resistência ao superaquecimento.

7. A estabilidade dimensional está entre a dos materiais temperados e de materiais cementados.

1. Murakami, Y. and Matsumoto, Y. "Study of Long Life Bearing Materials" Preprints of JAST Tribology Conference, Okayama, (1988) 297 - 300. [in Japanese]

2. Chiu, Y.P. and Liu, J.Y. "An Analytical Study of the Stress Concentration Around a Furrow Shaped Surface Perfect in Rolling Contact," Trans. ASME, JOLT, (1970) 258-263.

3. Tanaka, E., Furumura, K. and Ohkuma, T. "Highly Extended Life of Transmission Bearings of Sealed-Clean Concept," SAE Paper 830570 (1983).

4. Yasuo Murakami and Takaaki Shiratani "Fighting Debris: Increasing Life with HTF Bearings for Transmissions," SAE Paper No. 940728 (1984)