

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA À FADIGA DE ÓLEOS ADITIVADOS, ENSAIADOS NA MÁQUINA DE QUATRO ESFERAS

Moreira, L. F., Ferreira, L. A.
Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



RESUMO

Neste trabalho são estudadas as características de resistência à fadiga de superfícies em contacto, lubrificadas com óleos aditivados. Para fazer este estudo foi utilizada uma máquina de quatro esferas modificada. O método de ensaio seguiu a norma IP 300/82.

Como parâmetros deste estudo estiveram a percentagem de aditivo no óleo e a influência da viscosidade. São apresentados os resultados obtidos mais significativos dos ensaios realizados e feita uma análise crítica desses resultados.

INTRODUÇÃO

O primeiro objectivo deste estudo é o de avaliar as propriedades de óleos lubrificantes aplicados a mecanismos tais como rolamentos e engrenagens, no que diz respeito à protecção à fadiga que oferecem a esses componentes mecânicos.

Entre os componentes mecânicos mais solicitados nos equipamentos modernos, temos as transmissões mecânicas e as chumaceiras de rolamentos. São componentes sujeitos a cargas cada vez mais elevadas, para condições dinâmicas de funcionamento cada vez mais severas. Acresce ainda que nas caixas de transmissão o óleo lubrificante das engrenagens é, normalmente, o mesmo das chumaceiras de rolamentos.

Este facto implica que os óleos utilizados possuam boas características de

extrema-pressão, face às cargas em jogo (até 3 GPa), de desgaste e, também, de protecção à fadiga.

O fenómeno da fadiga é particularmente importante, já que é ele que normalmente determina a vida útil das chumaceiras de rolamentos (Tallian, 1996).

Em estudo anterior (Martins, 1996), foram estudadas as características de extrema-pressão e de desgaste de óleos aditivados, utilizando a máquina de quatro esferas.

Neste trabalho serão apresentados os resultados obtidos para os mesmos lubrificantes, utilizando uma máquina de quatro esferas modificada e seguida a norma IP 300/82.

Apesar de todas as limitações da máquina de quatro esferas, inerentes à sua geometria e condições de ensaio, demasiado severas quando comparadas com

as condições reais, permite obter dados muito úteis na comparação da capacidade de lubrificação de diferentes lubrificantes, estando estes submetidos a condições de ensaio semelhantes.

MÉTODO DE ENSAIO

A máquina de quatro esferas modificada é, como o seu nome indica, uma máquina que possui quatro esferas, em que três esferas rodam livremente numa pista de rolamento. A quarta é posta em contacto com estas três, estando carregada e sujeita a uma velocidade de rotação imposta à priori.

Na figura 1 está representado gráficamente o conjunto das quatro esferas e pista de rolamento.

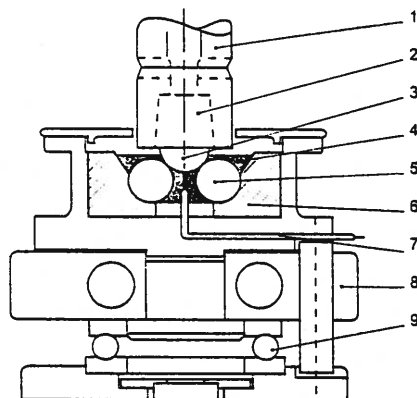


Figura 1: Representação esquemática do conjunto de ensaio.

Legenda:

- 1 – Veio de transmissão do movimento.
- 2 – Pinça para fixação da esfera superior.
- 3 – Esfera superior.
- 4 – Lubrificante a ensaiar.
- 5 – Esferas inferiores.
- 6 – Pista de ensaio.
- 7 – Termopar tipo k.
- 8 – Placa de aquecimento.
- 9 – Rolamento axial de apoio.

Em cada ponto de contacto da esfera superior com as esferas inferiores, exerce-se uma força normal que durante a rotação das esferas irá dar origem ao fenómeno de fadiga, pelas tensões cíclicas daí resultantes. Quando a esfera superior completa uma rotação, cada ponto de contacto desta esfera terá contactado três vezes com as esferas inferiores (uma vez cada uma), o que conduz a uma maior

probabilidade de formação de fadiga superficial (“pitting”) na esfera superior.

Especificações dos ensaios realizados:

- rotação 10.000 rpm
- carga aplicada 400 kg
- pressão de Hertz 7,61 GPa
- esferas de rolamentos ϕ 12,7 mm
aço 100 Cr6
- dureza das esferas 58 a 62 HRC
- quantidade de lubrificante 12-13 ml
- temp. de início dos ensaios $\pm 40^{\circ}\text{C}$

As esferas são todas retiradas do mesmo lote de fabrico, com rugosidades semelhantes. Como já foi indicado seguiu-se na realização dos ensaios a norma IP 300/82.

ENSAIOS REALIZADOS

Neste estudo foram usados óleos lubrificantes comerciais, de origem mineral e respectivos óleos base.

As propriedades gerais dos óleos base utilizados estão indicados na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades de referência dos óleos base utilizados nos ensaios.

Designação ISO	VG 68	VG 220	VG 680
Tipo	Parafínico		
Massa volúmica a 15°C (kg/dm^3)	0,888	0,900	0,921
Viscosidade a 40°C (cSt)	68	220	680
Viscosidade a 100°C (cSt)	8,9	23,3	36,0
Índice de viscosidade	100	90	86
Ponto de inflamação, ($^{\circ}\text{C}$)	230	235	304

O óleo comercial aditivado contém um aditivo de extrema pressão (E.P.) à base de enxofre e fósforo, o qual demonstrou ter boas propriedades de extrema pressão e anti-desgaste em ensaios anteriormente realizados (Martins, 1996).

A metodologia de ensaio consistiu no seguinte procedimento:

- Realização de ensaios com os três óleos base, para estudar a influência da viscosidade no comportamento à fadiga;
- Realização de ensaios com um óleo base (ISO VG 220) misturado com percentagens crescentes do óleo comercial aditivado: 25%, 50%, 75% e 100%.

A metodologia de análise dos resultados foi feita através da análise estatística dos resultados com a aplicação da distribuição de Weibull.

Este tipo de distribuição, muito aplicada em estudos de fiabilidade de equipamentos mecânicos, aplica-se normalmente aos estudos de duração dos fenómenos de fadiga (O'Connor, 1992). A análise realizada pode ser vista em Moreira, 1996. A expressão de fiabilidade é dada na lei de Weibull pela expressão:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Na expressão β , η e γ são parâmetros obtidos após a análise experimental. β é o parâmetro de forma, que permite avaliar as diferentes fases da vida do componente, η é o parâmetro de escala e representa a vida característica do componente, em que 63,2% da população atinge o colapso. O parâmetro γ , dito de posição, indica a data de início das avarias da população considerada. Se $\gamma = 0$, as avarias começam no início da análise, se $\gamma > 0$ então existe um período em que a probabilidade de avaria é zero.

Para a obtenção destes parâmetros foi utilizado o programa Weibull SMITH, que permite também o cálculo do valor de correlação r^2 dos dados obtidos. Considerou-se um intervalo de confiança para os dados experimentais de 95%.

O programa Weibull SMITH permite ainda o cálculo dos valores L_{10} e L_{50} , que representam respectivamente valores de $R(t) = 90\%$ e $R(t) = 50\%$ da população até

ao momento t , neste caso considerado em segundos.

Tabela 2: Parâmetros relativos aos ensaios com os óleos base.

TIPO DE ÓLEO	ISO VG 68	ISO VG 220	ISO VG 680
β	11,3	14,4	14,2
η	661,9	690,8	721,4
L_{10}	542,4	590,9	615,7
L_{50}	640,8	673,4	703,0
r^2	0,95	0,96	0,80

Nesta tabela apresentam-se os resultados obtidos, relativos aos ensaios realizados com os óleos base, para as diferentes viscosidades, considerando $\gamma = 0$, o que corresponde a uma linearização dos resultados obtidos.

Da análise destes resultados verifica-se que os coeficientes de correlação, sobretudo o respeitante ao óleo ISO VG 680, são muito baixos, o que se reflecte nos valores de β , demasiado elevados. Segundo a literatura (Monchy, 1987, O'Connor, 1992) os valores de β para ensaios de fadiga devem-se aproximar de $1,5 < \beta < 2,5$. Foi por isso necessário recorrer ao cálculo do valor de γ , fazendo o ajuste dos dados obtidos a uma curva dada por uma equação de segundo grau do tipo:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2$$

Para esta análise os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros relativos aos ensaios de óleos aditivados e não-aditivados, de grau de viscosidade ISO VG 220.

TIPO DE ÓLEO	ISO VG 68	ISO VG 220	ISO VG 680
β	2,8	2,8	2,7
η	194,9	162,2	189,0
γ	461,0	523,9	530,0
L_{10}	548,8	596,5	612,5
L_{50}	632,5	666,2	695,4
r^2	0,99	0,99	0,99

Nota-se uma melhoria sensível no valor de r^2 , o que significa uma melhor aproximação da curva polinomial aos resultados obtidos nos ensaios. Da análise destes resultados, verifica-se um aumento dos valores de L_{10} e L_{50} , com o aumento da viscosidade, o que está de acordo com os resultados expectáveis (Stachowick & all, 1993).

Realizaram-se em seguida o ensaio com o óleo comercial aditivado, ISO VG 220, com vários teores de diluição com o óleo base. As composições utilizadas foram as seguintes:

Tabela 4: Parâmetros relativos aos ensaios de óleos aditivados e não-aditivados, de grau de viscosidade ISO VG 220.

	100% Óleo base	75% Óleo base, 25% Óleo aditivado	50% Óleo base, 50% Óleo aditivado	25% Óleo base, 75% Óleo aditivado	100% Óleo aditivado
L_{10}	596,5	581,5	619,7	607,9	596,0
L_{50}	666,2	648,8	680,7	669,1	731,4
β	2,8	2,7	2,8	2,6	2,7
η	162,2	153,5	142,0	136,8	308,8
γ	523,9	514,8	556,1	550,3	461,8
r^2	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

- i) 25% de óleo aditivado e 75% de óleo base;
- ii) 50% de óleo aditivado e 50% de óleo base;
- iii) 75% de óleo aditivado e 25% de óleo base
- iv) 100% de óleo aditivado.

Os resultados respeitantes a estes ensaios estão reunidos na Tabela 4, na qual se incluíram também os que resultaram do ensaio do óleo base ISO VG 220.

ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS OBTIDOS

Da análise dos resultados obtidos podemos concluir que o parâmetro dominante na vida à fadiga dos mecanismos é a viscosidade do lubrificante. Quando a viscosidade aumenta, a vida à fadiga dos

mecanismos aumenta também, o que está de acordo com o esperado.

Os aditivos utilizados, à base de fósforo e enxofre, ditos de extrema-pressão, não apresentam uma vantagem evidente na vida à fadiga dos mecanismos. A variação dos resultados obtidos para L_{10} e L_{50} para as várias composições utilizadas de óleos com aditivos não são significativas.

Assim, sendo a fadiga um fenómeno muito dependente da espessura de filme lubrificante, pode-se afirmar que os aditivos utilizados não contribuem de forma

significativa para a sua alteração, sendo a viscosidade o parâmetro dominante.

Note-se ainda o valor de β , superior a 2,5 para todos os ensaios realizados. Tal deverá significar que, para além do fenómeno de fadiga, estará também presente um fenómeno de desgaste. A análise visual das picadas de fadiga obtidas mostram a existência de alguma deformação plástica, Figura 2.



Figura 2: Picada de fadiga – Corrida nº 3 do ensaio com o óleo base ISO VG 68.

A presença deste tipo de desgaste, que no essencial não altera a fisionomia dos resultados obtidos, poderá ser consequência de um binómio carga – velocidade de rotação que não será o ideal. Será de esperar que a realização de ensaios com cargas e velocidades inferiores permitirão obter resultados em que a deformação plástica desapareça e obter uma maior dispersão dos resultados.

Apesar de todas as suas limitações, a máquina de quatro esferas permite estabelecer uma hierarquia qualitativa dos lubrificantes ensaiados.

CONCLUSÕES

Deste trabalho tiraram-se como principais conclusões:

- a máquina de quatro esferas permite-nos comparar qualitativamente a influência dos lubrificantes na vida à fadiga dos mecanismos;
- a lei de Weibull descreve bem o fenómeno à fadiga, desde que haja o cuidado de obter um coeficiente de correlação correcto para os dados obtidos;
- a viscosidade dos lubrificantes é determinante na vida à fadiga dos mecanismos: aumentando a viscosidade, aumenta a sua vida útil;
- os aditivos de extrema-pressão utilizados não alteram de forma sensível o comportamento à fadiga dos mecanismos.

APÊNDICE

Apresenta-se, a título de exemplo, o gráfico obtido para o ensaio com um dos óleos, após tratamento estatístico com a lei de Weibull, utilizando o programa Weibull SMITH.

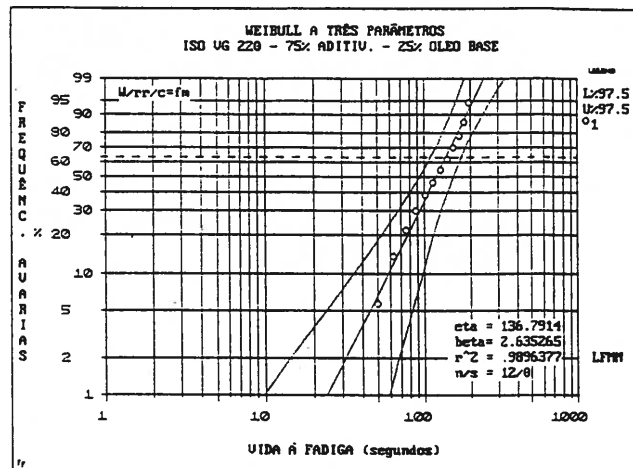


Figura 3: Gráfico de Weibull relativo ao ensaio com o óleo aditivado a 75%, após linearização da curva representativa dos pontos.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à PETROGAL, SA toda a colaboração prestada.

BIBLIOGRAFIA

- [1] IP 300/82 (1987), "Determination of rolling contact fatigue failure – Modified four ball machine".
- [2] Tallian, T. E., "A data-fitted rolling bearing life prediction model – Part I, II, III", Tribology Transactions, volume 39 (1996), 2, 249-275.
- [3] Moreira, L., Tese de Mestrado, "Estudo das características de resistência à fadiga de óleos lubrificantes aditivados ensaiados na máquina de quatro esferas", F.E.U.P., 1996.
- [4] Martins, I.; Ferreira, L. A., "Estudo das características de extrema-pressão e de desgaste de óleos aditivados ensaiados na máquina de quatro esferas", Mecânica Experimental, nº 1, 1996, 103-107.

- [5] O'Connor, P., "Practical Reliability Engineering – 3rd ed.", J. Wiley & Sons, Chichester, 1992 – ISBN 0471926965.
- [6] Monchy, F., "La Fonction Maintenance", Masson, Paris, 1989 – ISBN 2225807574.
- [7] Stachowiak, G. W., Batchelor, A. W., "Engineering Tribology", Elsevier – Tribology series, 24, Amsterdam, 1993 – ISBN 0444892354.