XXXIII Congresso de Iniciação Científica da Unicamp

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
LAMAR - Laboratório de Máquinas Rotativas

Análise dos gradientes de pressão e temperatura em um mancal hidrodinâmico cilíndrico com anel flutuante

Palavras-chave: Mancal hidrodinâmico; Simulação numérica

Aluno: Lucas Eduardo Giacomini Gomes
Orientadora: Profa. Dra. Katia Lucchesi Cavalca Dedini
Coorientador: Dr. Arthur Guilherme Mereles

1 Introdução

Os mancais hidrodinâmicos são amplamente utilizados em aplicações modernas, pois evitam o contato metal-metal, reduzindo atrito e desgaste por meio de um filme de fluido lubrificante. Este estudo aborda uma variação com anel flutuante, que divide o óleo em duas camadas (interna e externa), criando um sistema onde ambos os filmes atuam em série, necessitando o desenvolvimento de equações para sua análise. A lubrificação é essencial para o desempenho dos mancais, pois reduz atrito, dissipa calor e mantém a separação das superfícies metálicas. Contudo, o aumento da temperatura, causado pelo cisalhamento do fluido durante a operação, reduz a viscosidade, o que pode comprometer a sustentação e levar a contato metal-metal. Para mitigar esses efeitos, ferramentas computacionais e métodos numéricos são usados para estudar a distribuição de pressão na camada de óleo e melhorar o projeto dos mancais.

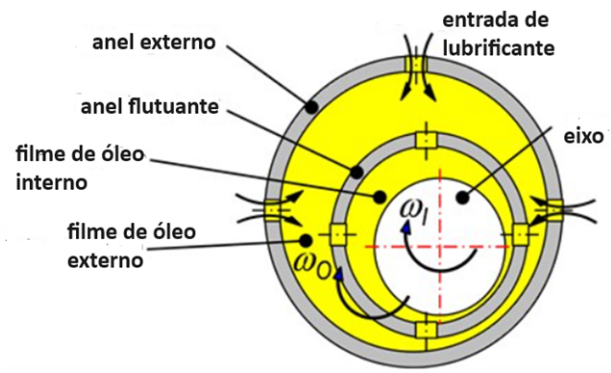

Figura 1: Esquema de mancal com anel flutuante

2 Objetivos

O presente trabalho visa apresentar os desenvolvimentos realizados pelo aluno até o momento, desenvolvendo um código para analisar o gradiente de pressão nos filmes interno e externo do mancal. As soluções devem ser apresentadas em gráficos 2D e 3D, de acordo com a necessidade da análise.

3 Metodologia

3.1 Modelagem do problema

Para a resolução do problema em questão, foi desenvolvido um sistema dinâmico complexo, composto por um rotor Laval acoplado a dois mancais hidrodinâmicos. Este arranjo incorpora a particularidade de um anel flutuante, o que adiciona uma camada de interação e complexidade ao modelo. Para solucionar o sistema de equações, optou-se pelo ODE15s, um integrador de equações diferenciais ordinárias (EDO) disponível no MATLAB. Este método é especialmente adequado para sistemas rígidos, que são caracterizados pela presença de diferentes escalas de tempo em suas dinâmicas. O sistema modelado, com suas interações complexas e não lineares entre o mancal, o eixo e o disco, além de incluir forças de excitação e efeitos dinâmicos, é um exemplo claro de problema rígido. Além disso, o integrador ajusta automaticamente o tamanho dos passos de integração com base no comportamento da solução, otimizando o tempo computacional e preservando a precisão. O método também oferece alta robustez para resolver

problemas não lineares, como as forças hidrodinâmicas nos referenciais y e z e os deslocamentos relativos entre os componentes.

$$M\ddot{U}_y + C\dot{U}_y + K(U_y - Y_m) = me\omega^2 \cos \omega t \tag{1}$$

$$M\ddot{U}_z + C\dot{U}_z + K(U_z - Z_m) = me\omega^2 \sin \omega t - Mg \tag{2}$$

$$m_j\ddot{Y_m} - K(U_y - Y_m) = 2F_{iy} \tag{3}$$

$$m_j\ddot{Z_m} - K(U_z - Z_m) = 2F_{iz} \tag{4}$$

$$F_{i_y} = \mu_i(\Omega_j)R_jL_i(\frac{R_j}{C_i})^2(\frac{L_i}{D_i})^2\bar{F_{i_y}} \tag{5}$$

$$F_{i_z} = \mu_i(\Omega_j)R_jL_i(\frac{R_j}{C_i})^2(\frac{L_i}{D_i})^2\bar{F_{i_z}} \tag{6}$$

$$\bar{F_{i_y}} = -\frac{\sqrt{(\bar{Z}_j + 2\bar{Y}_j')^2 + (Y_j - \bar{}2\bar{Z}_j')^2}(3\bar{Y}_jV_i - \sin\alpha_iG_i - 2\cos\alpha_iS_i)}{1 - \bar{Y_j}^2 - \bar{Y_j}^2} \tag{7}$$

$$\bar{F_{i_z}} = -\frac{\sqrt{(\bar{Z}_j + 2\bar{Y}_j')^2 + (Y_j - \bar{}2\bar{Z}_j')^2}(3\bar{Y}_jV_i + \cos\alpha_iG_i - 2\sin\alpha_iS_i)}{1 - \bar{Y_j}^2 - \bar{Y_j}^2} \tag{8}$$

Por fim, após integrar essas equações, todas as variáveis necessárias para obter os gradientes de pressão e a influência da temperatura nesses grandientes são obtidas.

4 Resultados e discussão

A partir das equações ilustradas e utilizando o método explicitado,diversos resultados gráficos foram obtidos. A tabela 1 ilustra os dados utilizados para gerar esses resultados.

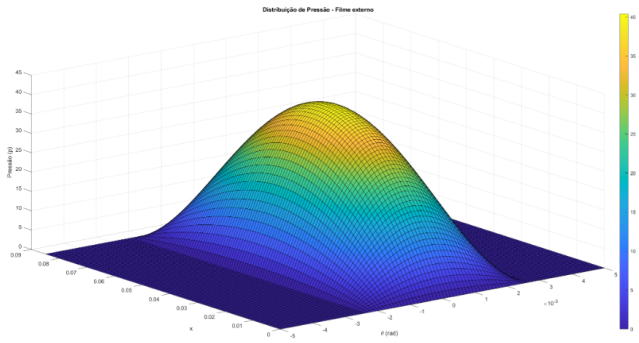

Figura 2: Gradiente de pressão no filme externo do mancal

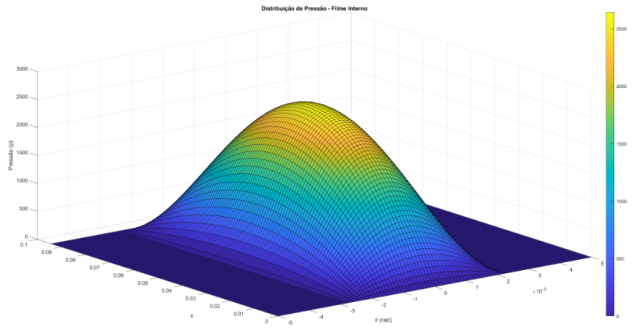

Figura 3: Gradiente de pressão no filme interno do mancal

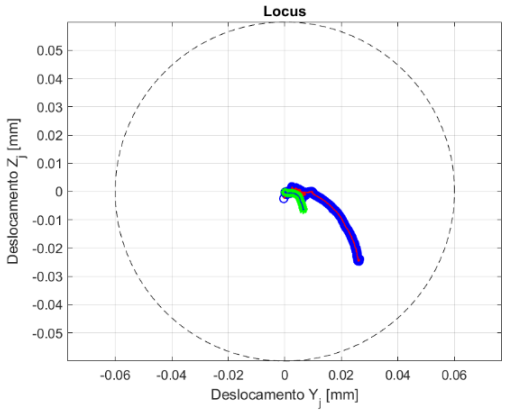

Figura 4: Locus

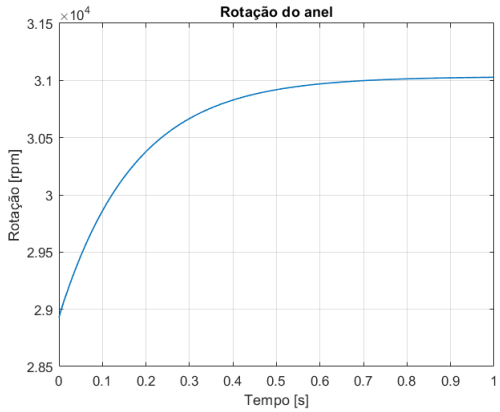

Figura 5: Rotação do anel flutuante

Variável	Valor	Unidade
Folga radial interna	27	μm
Folga radial externa	63	μm
Diâmetro do mancal	30	mm
Comprimento do mancal	10	mm
Viscosidade do fluido	0.07	Ns/m^2
Velocidade de operação	100000	RPM

Tabela 1: Condições de operação

Primeiramente, a partir da resolução das equações de movimento do rotor laval, pode-se obter o locus do mancal, como mostra 4. Analisando a imagem, é possível notar que a resposta obtida é satisfatória para o problema proposto, uma vez que o resultado numérico explicitou a estabilidade buscada no problema com a utilização do anel para altas rotações. A figura 5 ilustra o comportamento do anel dentro do mancal, tendo sua velocidade crescente com o tempo até estabilizar junto com a rotação do mancal.

Sendo assim, analisando os gráficos obtidos acima, conclui-se que o anel flutuante desempenha um papel fundamental na estabilidade do mancal para rotações elevadas, fato que pode ser evidenciado pela figura 4, que ilustra o comportamento do mancal para 100000 rpm. De forma resumida, a divisão do fluido de óleo, provocada pelo anel, em dois filmes aumenta a estabilidade do mancal, possibilidando a sua operação estável em condições de altas rotações.

5 Referências Bibliográficas

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. bookman editora, 2013.

PEIXOTO, Thales Freitas. **Dynamic analysis of turbochargers with thermo-hydrodynamic lubrication bearings: Análise dinâmica de turbocompressores com mancais a lubrificação termo-hidrodinâmica**. 2020. 1 recurso online (208 p.) Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

SAN ANDRÉS, L.; KERTH, J. **Thermal effects on the performance of floating ring bearings for turbochargers**. Tribomachinery Laboratory, Texas A&M University, Department of Mechanical Engineering, College Station, Texas, USA; Exxon Mobil URC Gas and Facilities, Houston, Texas, USA.