

## Cálculo da espessura e perfil de pressão em contactos altamente carregados sob lubrificação elastohidrodinâmica

BATISTA, J.A.<sup>1</sup>, RICCI, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Tecnologia Espacial-Divisão de Mecânica Espacial e Controle – DMC.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

jobanet@uol.com.br

**Resumo.** Neste trabalho abordaremos a aplicação de modelagem e simulação numérica para o cálculo da espessura de filme de fluido lubrificante e o perfil de pressão nos contactos lubrificadas elastohidrodinamicamente, tendo como base o paper publicado em 1986 pela NASA e de autoria de Houpert e Hamrock, cuja metodologia foi o cálculo numérico por aproximação com malhas, que apresentou como resultado espessura de ordem de valor abaixo de 0.1 micrometros com resistência mecânica em uma faixa de 0.5 a 3.0 Gpa. Pretendemos estender este projeto a outros modelos e às aplicações espaciais.

**Palavras-chave:** Lubrificação; Espessura; Filme; Deformação elástica.

### 1. Introdução

A lubrificação, considerando cargas elevadas que operam próximas do limite elástico dos materiais em contacto, cria mecanismos elastohidrodinâmicos que mantêm a integridade entre as superfícies, promovendo meios que previnem o desgaste e a fadiga. Sob tais aspectos, busca-se estudar e aplicar estes limites a diversos modelos, inclusive de cunho espacial, com simulações numéricas, dentro de uma tese de doutorado, devido ao elevado grau de precisão encontrado nos resultados fornecidos.

### 2. Metodologia

Foram apresentados os métodos numéricos desenvolvidos por Hamrock e Houpert, e comparados com a aproximação numérica de Okamura, considerando-se:

1. O módulo de elasticidade, baseado em um parâmetro diferenciado, chamado de “Módulo de elasticidade efetivo”, dado por:

$$E' = \frac{2}{\frac{1-\nu_a}{E_a} + \frac{1-\nu_b}{E_b}} \quad [\text{Pa}] \quad (1)$$

Onde:  $\nu_a$  e  $\nu_b$  são respectivamente as razões de Poisson para as superfícies “a” e “b”.

$E_a$  e  $E_b$  são os valores para os módulos de elasticidade das superfícies “a” e “b”.

2. A deformação elástica dada por:

$$\delta = - \left( \frac{2}{\pi E'} \right) \int_{X_{MIN}}^{X_{END}} P \ln(X - X')^2 dx' \quad (2)$$

Onde:

P é uma função de  $x'$ , com  $x'$  variando entre  $X_{MIN}$  e  $X_{END}$ ,  $E'$  é o módulo equivalente de Young. Neste trabalho, a aplicação destas equações se insere após o estudo dinâmico sobre o modelo físico escolhido, constituído de um cilindro de aço, girando com deslize sobre filme de óleo lubrificante em uma placa plana e retangular, também construída em aço. Este sistema é passível de sofrer carregamento variável e controlado.

### 3. Resultados e Discussão

Na sua primeira fase do movimento, foi previsto por cálculo dinâmico, que o cilindro deve girar com aceleração angular constante de  $14,7 \text{ rd/s}^2$ , gerando um esforço de  $2407,86 \text{ N}$ , necessário para vencer o atrito, atingindo estabilidade, após  $0,68 \text{ s}$  com velocidade angular constante de  $9,33 \text{ rd/s}$  e  $96,52 \text{ RPM}$  com deslize. Nesta fase, o cálculo da espessura de óleo apresentou um resultado de  $1,09 \text{ mm}$ , considerando-se apenas o peso próprio do cilindro e óleo sintético de viscosidade dinâmica  $500 \text{ cp}$  a  $100 \text{ F}$ . Na segunda fase do movimento, a partir do instante  $0,68 \text{ s}$ , o movimento deve permanecer com velocidade constante. Na terceira fase, em determinado instante, por aplicação de uma carga igual a  $1,60 \times 10^6 \text{ N}$  (incluso o peso próprio do cilindro) o esforço compensado pelo atrito deverá ser de  $720000 \text{ [N]}$  para uma espessura de óleo de  $1,52 \times 10^{-3} \text{ mm}$ .

### 4. Conclusão

Hamrock e Houpert calcularam a espessura de filme e o perfil de pressões utilizando-se de uma versão de aproximação melhorada de Okamura. Esta nova aproximação gerou como resultado muita precisão no cálculo da deformação elástica. O mais importante é que tal precisão é completamente controlada pela escolha do tipo de malha e do número de nós utilizados. Nossos cálculos de espessura de filme baseados simplesmente na Lei de Newton comprovaram o aumento de viscosidade em função do aumento de carga. Este trabalho será de importância relevante no desenvolvimento de projetos de equipamentos que utilizam rolamentos e ou engrenagens.

*Agradecimentos: A meu orientador, Prof Dr. Mario Ricci.*

### Referências

Houpert, Luc G. and Hamrock, Bernard J. (1985) "Fast Approach for Calculating Film Thicknesses and Pressures in Elastohydrodynamically Lubricated Contacts at High Loads", Edited by The NASA Center for Aerospace Information (CASI)

Ferdinand. Beer and Johnston Jr, E. Russell (1978) "Mecânica Vetorial para Engenheiros Volume II", Editora Mc Graw-Hill do Brasil Ltda.

Hamrock, Bernard J. and Schmid, Steven R. and Jacobson, Bo O. (2004), "Fundamentals of Fluid Film Lubrication", 2<sup>th</sup> edition.

Wind Turbine Tribology Seminar, (2011) "Elastohydrodynamic Lubrication Fundamentals", Edited by Wedeven Associates, Inc and National Renewable Energy Laboratories.