

文章编号 1004-924X(2000)03-0246-04

表面横向波形点接触弹流动压性能的研究

王建设

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 物体的表面结构形态在有些场合下对润滑状况有重要的影响作用。本文研究了考虑表面粗糙度的点接触问题的特点,建立了点接触的分析模型和接触物体表面的横向波形数学模型,应用多网格重积分方法求解了在给定条件下其与时间相关的弹流动压性能的解。主要分析了表面横向波形的点接触的润滑性能,揭示了油膜压力、油膜厚度在油膜接触区上随参数变化的特征和规律。

关键词: 表面横向波形;点接触;弹流动压润滑

中图分类号: TH117 **文献标识码:** A

1 引言

许多重载集中接触的可靠性和耐用性主要依赖于薄膜润滑,旨在将作相互运动的两表面分开,则要求机构装置能提供和维持弹流动压润滑的条件。有些情况往往是油膜厚度的尺寸与表面粗糙度接近同一数量级。这时表面结构,特别是变形后的表面结构允许润滑剂从波峰和波谷间流动的性能,对于润滑状态或润滑条件的成败至关重要。表面粗糙度有多种型式,呈现着各异的润滑性能。这里采用多网格重积分法,着重于表面横向波形在纯滚动条件下的点接触的润滑性能的研究。

2 分析模型

2.1 接触模型

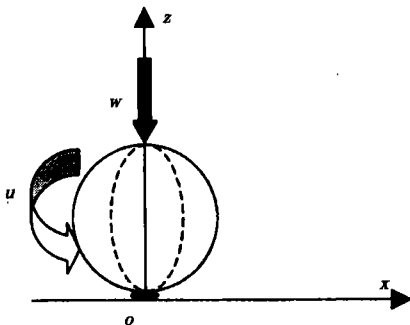


Fig. 1 Geometry of point contact

点接触问题的等效简化模型如图1所示。 $u = u_1 + u_2$, u_1, u_2 —— 分别为物体1与物体2的表面速度。 W 为外载荷,将该问题视为牛顿流体的等温条件求解。

2.2 流体运动控制方程

流体运动遵循的瞬态方程为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 12u_x \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) + 12 \frac{\partial}{\partial x} (\rho h) \quad (1)$$

式中: p —— 流体膜压力;
 h —— 流体膜厚度;
 η —— 流体粘度;
 ρ —— 流体密度;

$$u_x = \frac{u_1 + u_2}{2}$$

2.3 表面横向波形模型

表面波形定义为

$$\begin{aligned} x_{rw} &= x \cos(\theta) - y \sin(\theta) \\ x_{rn} &= (x_p + t) \cos(\theta) \\ r_{zy} &= amp [1 + \cos(2\pi \frac{x_{rw} - x_{rn}}{\omega})] \end{aligned} \quad (2)$$

式中: amp —— 表面波形幅值;
 ω —— 表面波形波长;
 t —— 时间参数;
 θ —— 表面波形与 ox 轴间的夹角。

当 $\theta = 0^\circ$ 时对应于表面横向波形的数学模型见图2。

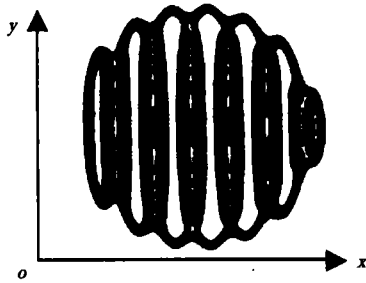


Fig. 2 Contour of transverse waviness

3 数值解法

3.1 方程无量纲化及其离散

采用下列无量纲化因子: $X = \frac{x}{a}, Y = \frac{y}{a}, P = \frac{p}{p_h}, H = \frac{h}{h_h}, A = \frac{am\dot{p}}{h_h}, \bar{t} = \frac{tu_c}{a}, \bar{\omega} = \frac{\omega}{a}$

其中: a ——赫兹接触区的半径; p_h ——赫兹压力的最大值; h_h ——赫兹变形的最大值。

式(1)的无量纲形式为

$$\frac{\partial}{\partial X}(\epsilon \frac{\partial P}{\partial X}) + \frac{\partial}{\partial Y}(\epsilon \frac{\partial P}{\partial Y}) - \frac{\partial}{\partial X}(\bar{\rho}H) - \frac{\partial}{\partial Y}(\bar{\rho}H) = 0 \quad (3)$$

式中: $\epsilon = \frac{\rho H}{\eta \lambda}, \lambda = \frac{12\eta_0 u_c R^2}{a^3 p_h}$

$$\frac{1}{2}[\varphi_i(\epsilon_{ij}\Psi_i) + \Psi_i(\epsilon_{ij}\varphi_i)]\{P_{ij}\} + \frac{1}{2}[\varphi_j(\epsilon_{ij}\Psi_j) + \Psi_j(\epsilon_{ij}\varphi_j)]\{P_{ij}\} - \varphi_i(\bar{\rho}_{ij}H_{ij}) - \nabla_i(\bar{\rho}_{ij}H_{ij}) = 0 \quad (4)$$

其中: Ψ ——前差分算子; φ ——后差分算子; ∇_i ——差分算子。

弹性变形的方程为

$$U_{\mu j}(X, Y) = \frac{2}{\pi^2} \sum_{l=1}^{n_x} \sum_{k=1}^{n_y} K_{\mu j l k} P_{l k} \quad (5)$$

$$K_{\mu \mu} = \int_{x_i - \frac{\bar{h}}{2}}^{x_i + \frac{\bar{h}}{2}} \int_{y_j - \frac{\bar{h}}{2}}^{y_j + \frac{\bar{h}}{2}} \frac{dX_l dY_k}{\sqrt{(X_i - X_l)^2 + (Y_j - Y_k)^2}} \quad (6)$$

流体膜厚度方程为

$$H_{ij} = H_0 + \frac{X^2}{2R} + \frac{Y^2}{2R} - R(X, Y, \bar{t}) + U_{\mu j}(X, Y) \quad (7)$$

流体压力的边界条件为

$P = 0$, 入口端及两侧边;

$$\frac{\partial P}{\partial X} = 0, \text{油膜破裂处} \quad (8)$$

流体膜反力与外载荷平衡遵循的条件为

$$\bar{h}^2 \sum_{i=1}^{n_x} \sum_{j=1}^{n_y} P_{ij} - \frac{2\pi}{3} = 0 \quad (9)$$

式(2)成为

$$X_{rw} = X \cos(\theta) - Y \sin(\theta)$$

$$X_{rw} = (X_p + \bar{t}) \cos(\theta)$$

$$R(X, Y, \bar{t}) = A \left[1 + \cos \left(2\pi \frac{X_{rw} - X_{rw}}{\omega} \right) \right] \quad (10)$$

3.2 求解方法

求解区域为 $-2.5 \leq X \leq 1.5, -2 \leq Y \leq 2$, 离散网格为 $\bar{h} = \Delta X = \Delta Y = 0.015625$, 时间步为 $\Delta \bar{t} = 0.0078125$, 采用多网格的相应松弛迭代方法求解上述方程。

求解过程:

(1) 由外载荷及给定的条件, 计算赫兹压力和变形;

(2) 对于时间 \bar{t} , 计算流体膜的厚度;

(3) 计算流体膜的压力;

(4) 计算弹性变形;

(5) 按照给定的运算精度要求, 判断迭代是否收敛。若不收敛, 返回第(2)步再行迭代运算;

(6) 将流体膜压力积分得油膜反力。根据力平衡条件, 判断油膜反力是否能抗衡外载荷。若能, 即得收敛解; 否则, 对于 h 新值, 返回第(2)步继续运算。

4 结果与讨论

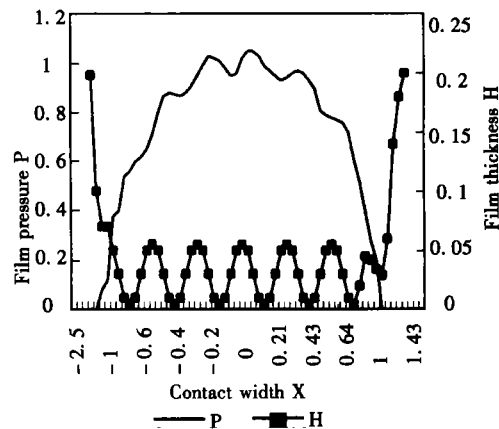


Fig. 3 Contours of film thickness and pressure at $\bar{t} = 0, Y = 0$ under pure rolling condition

现出一定的动压效应,流体膜的压力分布呈峰谷状曲线。

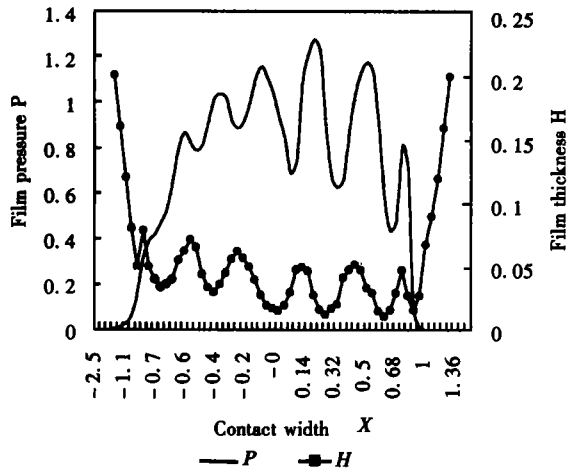


Fig. 4 Contours of film thickness and pressure at $\bar{i} = 0.78, Y = 0$ under pure rolling condition

关于无量纲表面横向波形的波长参数 $\omega = 0.32$, 材料参数 $L = G(2U)^{\frac{1}{2}} = 5.27$, 载荷参数 $M = W(2U)^{-\frac{1}{2}} = 235.8$, 球体半径 $R = 1.27 \times 10^{-2} \text{m}$, 赫兹压力 $P_h = 0.54 \text{GP}_a$, 对应 $\bar{i} = 0, \bar{i} = 0.78$ 和 $\bar{i} = 1.56$ 时 $Y = 0$ 的流体膜厚度分布和压力分布特性结果分别见图 3、图 4 和图 5。结果表明,表面横向波形在一定程度上改变了接触处流体膜的厚度和形状。流体膜厚度沿接触域的 ox 轴方向呈凹状波形分布,在靠近压力出口端出现最小油膜厚度;在接触区相应于流体膜厚度数值较小的范围内,流体膜产生压力,该压力在流入端随着膜厚的减小而增大;约在最小油膜厚度附近,流体膜内存在压力峰;在接近出口端,压力即刻减小。从流体膜压力特性曲线可见,表面横向波形表

参考文献:

- [1] Kaneta M, Sakai T, Nishikawa H. Effects of surface roughness on point contact EHL[J]. STLE Tribology Transactions, 1993, 36(4), 605-612.
- [2] Ai X, Cheng H S. The effects of surface texture on EHL point contacts[J]. J. Trib. (Trans. ASME F), 1995, 118, 59-66.
- [3] 王建设. 印刷流体非牛顿流体弹流动压性能的有限元分析[J]. 光学 精密工程, 1998, 6(6), 61-66.
- [4] 王建设. 软弹流体线接触的边界元分析[J]. 光学 精密工程, 1998, 6(6), 67-73.

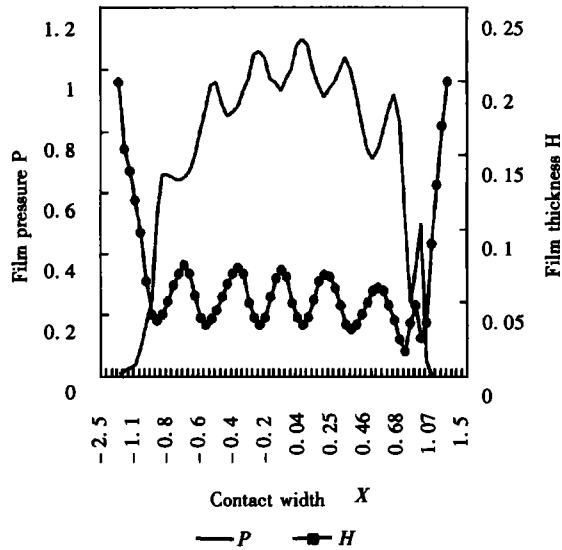


Fig. 5 Contours of film thickness and pressure at $\bar{i} = 1.56, Y = 0$ under pure rolling condition

5 结 束 语

本文建立了研究接触问题的表面横向波形弹流动压效应的分析模型,对于提出的表面横向波形的数学模型,得出了给定条件下与时间相关的问题的解。结果表明,物体的表面横向波形对其弹流动压性能具有一定的影响作用,在有些场合这种作用是不容忽视的,应在结构设计和分析时给予足够的重视。

Elastohydrodynamic behaviors of point contact with surface transverse waviness

WANG Jian-she

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

Abstract: The surface roughness has a considerable impact on the success of the lubrication conditions on some occasions. The model of point contact and mathematical model of surface transverse waviness are described on the basis of the study on the characteristics of point contact with regard to surface roughness. And time-dependent solutions are obtained employing a numerical method. The elastohydrodynamic lubrication behaviors of surface transverse waviness are analyzed in pure rolling conditions, and the characteristics of film pressure and film depth varying with parameters in contact area are revealed.

Key words: surface transverse waviness; point contact; elastohydrodynamic lubrication

作者简介: 王建设(1958—),男,山西侯马市人,博士。中国科学院长春光学精密机械与物理研究所副研究员。目前主要从事数值模拟分析与计算机仿真技术,工程力学,精密机械,结构设计,动压润滑,CAD/CAE,软件开发,空间光学传感器热分析计算、热设计和热实验等研究工作。已发表论文30余篇。



《光学 精密工程》从1996年始被中国科学引文数据库收录为来源期刊。凡列入中国科学引文数据库的来源期刊从总体上来看是核心期刊中的核心部分。

本刊被中国科学期刊全文数据库第一批收录为自然科学核心期刊。

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,我刊现已入网“万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据系统全文上网(网址:<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>)。凡有不同意见,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上因特网提供信息服务报酬,不再另付。

读者可上因特网进入万方数据系统查询检索本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据系统向我刊提出宝贵意见、建议、或征订本刊。

中国科学引文数据库利用该库的数据资源已开发出两种产品,即《中国科学引文索引》(光盘版)和(印刷版)。欲购者请与中科院文献情报中心中国科学院引文数据库联系。

电话:(010)62564354 传真:(010)62566846

《光学 精密工程》编辑部公告

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。

特此公告!

《光学 精密工程》编辑部
2000年6月