

# 复合材料滚动轴承的疲劳试验研究\*

Test Research on the Fatigue of the Composite  
Material for Rolling Bearings

张力 杨勇 张恒 (洛阳工学院)

Zhang Li Yang Yong Zhang Heng (Luoyang Institute of Technology)

[摘要] 通过对复合材料滚动轴承的疲劳试验,研究了短纤维注射成型工艺研制的玻纤/尼龙66滚动轴承的疲劳寿命和失效形式,为复合材料滚动轴承的设计和应用提供有价值的参考。

关键词 复合材料 滚动轴承 疲劳试验 失效分析

[Abstract] This paper deals with a fatigue test of the composite material for rolling bearings, and analyses the fatigue life and fatigue failure of glass-fiber/nylon 66 composite rolling bearings formed by injection. The valuable testing method is obtained for the design and application of composite rolling bearings.

**Keywords** composite rolling bearings fatigue test fatigue failure

## 1 前言

复合材料滚动轴承具有良好的耐磨损性、耐腐蚀性、耐热性及尺寸稳定性,并能减振降噪且成本低,因此在许多工业领域中获得愈来愈广泛的应用。但复合材料的疲劳性能与金属材料有明显不同<sup>[1]</sup>。复合材料对加载频率和试验温度很敏感,而且疲劳寿命实测数据更离散,所以把金属疲劳的试验方法用于复合材料显然是不适合的。本文对复合材料滚动轴承进行了疲劳试验研究,提供了一种简单方便的测试方法,以保证复合材料滚动轴承的安全可靠性,促进复合材料滚动轴承在工业上的应用和发展。

## 2 试验研究

### 2.1 试件和试验设备

试验采用25套204型复合材料滚动轴承,试验复合材料滚动轴承由短玻纤增强的尼龙66制成,制作工艺采用可熔性合金型蕊注射成型<sup>[2]</sup>。

试验设备选用JB-30型滚动轴承疲劳试验机。

### 2.2 试验方法

轴承疲劳寿命是非常离散的,要用数理统计方法处理数据。本试验采用简单方便的截尾试验法。

设试验轴承为 $n$ 套,其中有 $r$ 套轴承已破坏,其寿命分别为 $L_1, L_2, \dots, L_r$ 。其余的 $(n-r)$ 套轴承已分别试验了 $L_{r+1}, L_{r+2}, \dots, L_n$ 时间,尚未破坏。此时可以不再进行试验,用已得到的试验数据计算原寿命分布的参数估计值。截尾试验法有定时和定数两种,本试验采用定数截尾法。设事先给定应得到疲劳破坏的轴承套数 $r$ ,又称为截尾数,试验到所给定的截尾数后停试,且应使未疲劳破坏轴承的寿命大于疲劳破坏轴承中寿命最长的值。

在204型复合材料滚动轴承上施加径向载荷588N,油润滑,给定截尾数为15。试验机转速为12800r/min,所有试件的试验频率和温度环境相同。另外,为了便于比较,同时对25套尼龙66制成的204塑料轴承进行试验,施加径向载荷为392N,20 $^\circ$ 油润滑,给定截尾数和试验机转速与复合材料轴承相同。

### 2.3 处理试验数据

对疲劳寿命的研究发现,韦布尔(Weibull)分布比正态分布更接近于疲劳破坏规律。大量的试验结果表明,滚动轴承的寿命符合两参数韦布尔分布。轴承寿命 $L_0$ 的破坏概率用韦布尔函数表示为<sup>[4]</sup>:

$$F(L_0) = 1 - \exp[-(L_0/\beta)^e]$$

其中 $L_0 = 10^6$ 转, $e$ 是斜率参数, $\beta$ 为特征寿命参数。本文

\* 国家自然科学基金资助项目(编号:59375194)

采用最佳线性不变估计法估算参数  $e$  和  $\beta^{[3]}$ , 对复合材料轴承,  $e = 5.756$ ,  $\beta = 4.467 \times 10^6$ ; 对塑料轴承,  $e = 3.02$ ,  $\beta = 7.104 \times 10^6$ 。

2.4 疲劳破坏的监测

本试验使用表面温度计, 采用温升监测法及声响判断法来判断滚动轴承的疲劳破坏。

轴承运转后, 各相对运动表面之间产生摩擦热, 轴承的温度从原始温度逐渐上升。轴承运转一定时间后产生的热和散发的热达到平衡, 温度保持不变。轴承发生疲劳破坏时, 摩擦加剧, 产生的热也增加, 温度再逐步上升。轴承运转过程的温度变化如图1所示。 $T_1$ 为室温, 18 左右;  $T_2$ 为轴承正常运行时的温度, 38 左右;  $t_1$ 为初始运行时间, 约50min;  $t_2$ 为正常运行时间, 约150min。

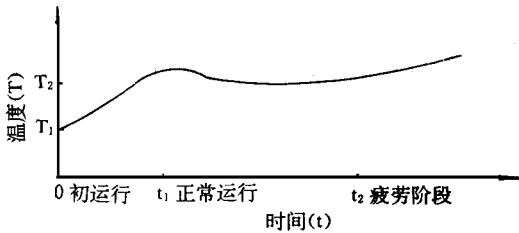


图1 轴承运转过程与温度变化图

Fig. 1 The effects of the time and the temperature on the bearing

为了保证疲劳破坏的判断准确无误, 同时采用声响判断法。在试验时, 用传声工具接触安装轴承的零件, 听轴承转动时的声音变化, 根据轴承疲劳破坏前后声音的变化来判断轴承是否破坏。

3 试验结果与分析

3.1 疲劳寿命

对方程 (1) 取两次自然对数, 在双对数坐标上, (1) 式变为直线方程。根据试验结果, 作出204型复合材料和工程塑料滚动轴承的疲劳破坏概率图, 如图2所示。

根据国际标准对轴承疲劳寿命的规定<sup>[5]</sup>, 一批轴承中90%的轴承在疲劳剥落前能够达到和超过的运转总转数 (以 $10^6$ 转计)。

由图2可知, 对10%的破坏概率, 204型复合材料滚动轴承在施加588N的载荷下的额定疲劳寿命为 $3.1 \times 10^6$ 转。而204型工程塑料滚动轴承在施加392N的载荷下的额定疲劳寿命为 $2.2 \times 10^6$ 转<sup>[6]</sup>。显然, 复合材料滚动轴承的负荷能力相对于塑料轴承提高了50%, 而疲劳寿命仍有较大的提高。

3.2 疲劳断口特征

根据复合材料滚动轴承的疲劳破坏试验, 对疲劳断口进行了微观观察, 提出复合材料滚动轴承的四种失效形式。

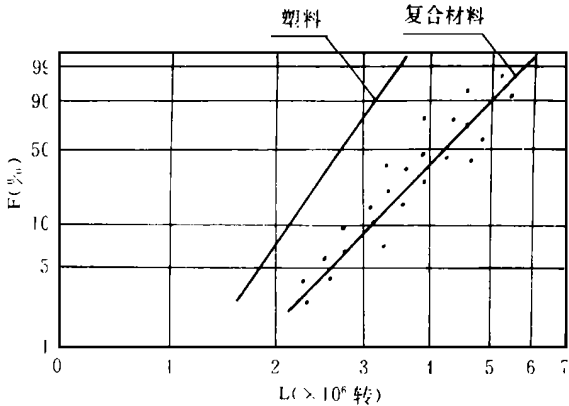


图2 204型复合材料滚动轴承的疲劳破坏概率图

Fig. 2 The probability of fatigue failure of model 204 composite material rolling bearings

3.2.1 表面疲劳

表面疲劳包括滚动接触疲劳、点蚀、片状脱落和片状剥落。

滚动轴承的滚动接触疲劳失效是由反复多次超过材料表面或次表面忍耐强度的应力造成的。这些重复应力导致复合材料外圈滚道表面或次表面附近产生裂纹, 这些裂纹的扩展延伸导致滚道材料碎屑剥落下来, 留下点蚀。点蚀现象由表面接触应力和循环次数决定。随着应力或循环次数的增加, 一种类似点蚀的现象——剥落发生了, 如图3所示, 剥落破坏具有不规则的象弹坑那样较大凹坑的特点。

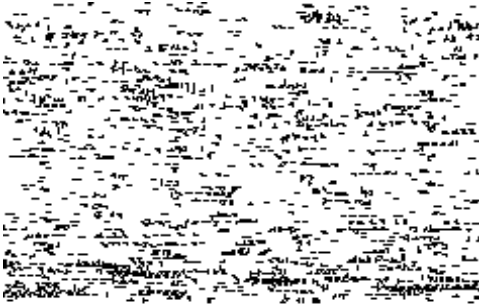


图3 片状剥落 10 ×

Fig. 3 The sheet breaking-off

3.2.2 塑性流动

塑性流动发生于钢球和滚道的接触应力超过其表面和次表面忍耐强度并导致轴承几何变形之时, 表面变形是塑性流动的一种形式。其它的塑性流动有空腔和涂抹等。在重载和高速条件下, 轴承的温度将会变得很

高,使内外圈发生过热现象,引起滚道和轴肩的塑性融化,如图4所示。



图4 滚道和轴肩的塑性融化  $\times 10$

Fig. 4 Plastic melting of roll way nest and shaft shoulders

### 3.2.3 磨损

磨损是大量的轴承材料从接触表面均匀或不大均匀地磨下来,这种失效形式的特点是在润滑液中和接触表面上存在着磨损的废渣,它能引起钢球和滚道的间隙增大。

### 3.2.4 相关失效

磨损也可能发生于轴承外圈和轴承夹具之间,由它们之间的相对运动引起。

对一套轴承而言,其失效形式可超过一种,即可能同时发生两种或两种以上的失效。

## 4 结论

(1) 本文选用25套复合材料滚动轴承进行疲劳试验,采用定数截尾试验法,用最佳线性不变估计法进行数据处理来估算轴承寿命的韦布尔分布两参数,方法简

\* \* \* \* \*

(上接第37页)

- 6 Wukusick C S. Patent GBP 22365697A, 1991, 1
- 7 Schweizer F A, Hartford N Y and Xuan N D. USP 5077004, 1991, 12
- 8 Durber G. Strength & Stability Considerations in Alloy Formation. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Superalloys, Seven Springs Mountain Resort, PA, 1996, 111 ~ 115
- 9 Wukusick C S and Leo B. USP 5154884 1992, 10
- 10 Erickson G L. the Development and Application of CMSX-10. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Superal-

loy, Seven Springs Mountain Resort, PA, 1996, 35 ~ 44

(2) 玻纤增强尼龙66的204型复合材料滚动轴承在载荷588N, 转速12800r/min, 油润滑的条件下, 其额定疲劳寿命为 $3.1 \times 10^6$ 转, 证明了复合材料制造滚动轴承的可行性。

(3) 对疲劳破坏的复合材料滚动轴承进行了观察, 提出了表面疲劳、塑性流动、磨损和相关失效四种失效形式。为复合材料滚动轴承的性能、使用寿命和可靠性设计提供有价值的参考。

## 参考文献

- 1 J. W. Whitney, I. M. Danid, R. B. Pips 著. 王弘胜等译. 纤维增强复合材料试验力学. 北京: 科学出版社, 1990
- 2 张茹彦等译. 塑料注射成型与模具. 北京: 轻工业出版社, 1987
- 3 万长森. 滚动轴承的理论和设计. 北京: 机械工业出版社, 1985, 192 ~ 214
- 4 浙江大学高等数学教研室编. 概率论与数理统计. 北京: 高等教育出版社, 1997, 127 ~ 140
- 5 洛阳轴承研究所译. 滚动轴承国际标准译文集. 北京: 科学技术文献出版社, 1979, 56
- 6 杨勇. 复合材料滚动轴承的力学性能分析. 硕士学位论文, 洛阳: 洛阳工学院, 1996

稿件收到日期: 1998.3.22.

张力, 女, 1959年生, 洛阳工学院副教授, 现为武汉工业大学博士生。主要从事机械学和复合材料高技术产品的研究和开发工作, 在国内外发表学术论文20余篇。联系地址: 河南洛阳工学院机械设计系 (邮编471039)。

- 11 Walston W S, OHara K S, Ross E W et al. Rene N6: Third Generation Single Crystal Superalloy. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Symposium on Superalloys, Seven Springs Mountain Resort, PA, 1996, 27 ~ 34

稿件收到日期: 1998.8.28

陈志强, 男, 1970年10月出生, 博士研究生, 现从事单晶高温合金设计方面的研究工作。联系地址: 北京81信箱1分箱 (100095)。