

文章编号: 1000-6893(1999)03-0285-02

技术简讯

表面疲劳裂纹监测与寿命预测

王东方, 尹明德, 李保成, 欧阳祖行

(南京航空航天大学 机械工程学院 501 教研室, 江苏 南京 210016)

THE SUPERVISION AND CRACK GROWTH LIFE PREDICTION OF SURFACE FATIGUE CRACK

WANG Dong-fang, YIN Ming-de, LI Bao-cheng, OUYANG Zu-xing

(Dept. of Mechan. Engin., Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

根据损伤容限设计理论, 在零件有初始缺陷或在使用寿命中出现裂纹, 发生破损时, 只要保持有一定的剩余强度, 仍能够正常使用, 则可不立即更换^[1,2], 但为确保使用安全, 必须随时掌握裂纹扩展状态, 对裂纹扩展剩余寿命有正确的估计。无损探伤方法多只能在机械检修时, 对零部件进行静态检测。无法及时了解带裂纹机械结构件在工作过程中的裂纹扩展情况。表面疲劳裂纹监测系统研制的目的, 就是可对使用中的易损机械结构件, 特别是对高空的、大型的隐蔽结构件进行定期或长期监测, 实时观察疲劳裂纹扩展情况, 及时获取裂纹扩展信息, 以确保机械结构件的安全工作和最大限度地延长机械结构件的使用寿命, 对工程实际有现实意义。

1 表面疲劳裂纹监测^[3]

(1) 监测系统硬件配置 表面疲劳裂纹监测系统主要用于对结构件表面疲劳裂纹进行监测, 系统硬件包括直流恒流源、放大电路、A/D 采集板和 IBM-PC 计算机系统。图 1 为表面疲劳裂纹监测系统工作原理图。



图 1 疲劳裂纹监测系统框图

(2) 监测系统软件 表面疲劳裂纹监测系统软件全部由 C 语言编程。系统特点如下:

通过人机对话方式对采样参数进行设定, 操作简便;

数据采集采用实时时钟中断方式进行, 采集过程中可对采样数据进行实时处理、实时显示

采样数据、波形和图形, 不影响数据采集的连续性;

采样监视阶段, 可对采样数据的漂移做进一步的调零处理, 使采样精度大大提高;

实现了对采样时间的累加与再现, 为疲劳寿命预测提供了依据;

根据设定报警限实时报警, 以测得的裂纹值作为初始裂纹, 按照损伤容限设计理论实时预测疲劳裂纹剩余寿命;

采用裂纹片测试裂纹, 既可用于金属, 亦可用于非金属。其输出只与裂纹长度有关, 而与试件形状无关。因而可设计成各种外形以适应不同部位的测试要求。

2 裂纹扩展寿命预测^[1,4]

裂纹扩展寿命指由初始裂纹扩展到临界裂纹的应力循环数。临界裂纹长度 a_c 可由断裂韧度 K_c 确定。对于 I 型断裂情况

$$K_I = F \sigma \sqrt{\pi a_c} \quad (1)$$

式中: F 为几何修正系数; σ 为均匀拉伸应力; a 为裂纹尺寸。

当 $K_I = K_{Ic}$ 时, 可得临界裂纹尺寸^[3]

$$a_c = \frac{1}{\pi} \left(\frac{K_{Ic}}{F \sigma} \right)^2 \quad (2)$$

由求得的临界裂纹长度 a_c , 即可根据 Paris 公式和 Forman 公式对疲劳裂纹扩展寿命进行估算。Paris 疲劳裂纹扩展速率计算模型为

$$da/dN = C (\Delta K)^m \quad (3)$$

式中: ΔK 为应力强度因子范围; C, m 为材料常数。

Paris 公式的不足之处是未考虑平均应力的影响, 以及裂纹在接近临界应力强度因子时的失稳状态。为此 Forman 提出了如下的裂纹扩展速率计算模型

$$da/dN = C (\Delta K)^m / [(1 - R) K_c - \Delta K] \quad (4)$$

式中: R 为应力比。

收稿日期: 1998-05-19; 修订日期: 1998-08-20

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目



在等幅应力状态下,对于半无限大受拉平板,式(1)中几何修正系数 F 为常数, $F = 1.12^{[5]}$,而与裂纹尺寸 a 无关,将式(1)代入式(3)或式(4)并积分即可求得疲劳裂纹扩展寿命。

对于变幅应力状态,若每个循环块的裂纹扩展速率为

$$da/d\lambda = \sum_{i=1}^n [n_i (da/dN)_i] \quad (5)$$

则以循环块计的裂纹扩展寿命为

$$\lambda = \frac{a_c}{a_0} \frac{da}{\sum_{i=1}^n [(da/dN)_i n_i]} \quad (6)$$

表面疲劳裂纹监测系统设计,以一定的时间间隔下实测的裂纹值作为初始裂纹长度 a_0 ,选定材料常数 C 和 m 值,由上述公式对构件剩余寿命进行实时预测^[4]。

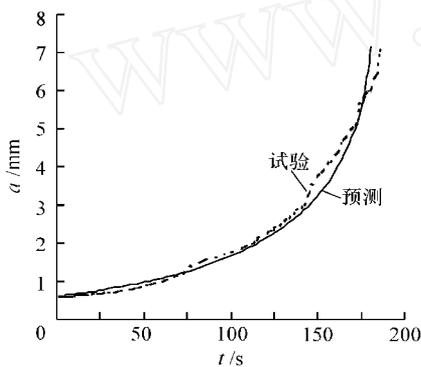


图2 $a-t$ 关系曲线

3 模拟试验

(1) 试验过程的监测 模拟试验在高频疲劳试验机上进行。采样监测过程分为两个阶段,第一阶段为采样监视过程,可对零漂作进一步的处理。当试件出现裂纹并大于设定初始裂纹值时,程序自动报警,实时预测剩余寿命并转入实时采集过程。

(2) 试验结果分析 图2给出了模拟试验以及预测的裂纹-时间($a-t$)关系曲线,图3为 $da/dt-a$ 关系曲线。试验结果表明,微机监测过程所反映的裂纹扩展情况与实际观察结果基本相符,实测裂纹值与标定结果基本一致,裂纹扩展寿命预测结果与试验数据比较接近。说明监测系统可行。

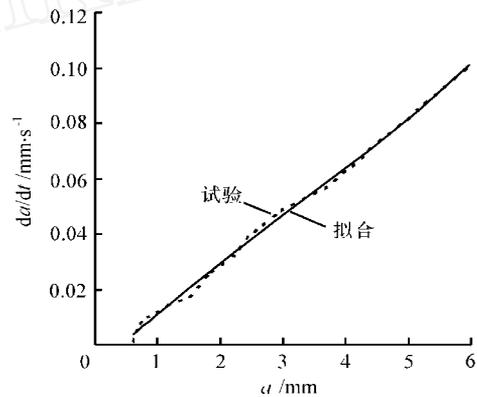


图3 $da/dt-a$ 关系曲线

参 考 文 献

- [1] 赵少沛. 抗疲劳设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994. 158~170
- [2] 高镇同, 熊峻江. 疲劳/断裂可靠性研究现状与展望[J]. 机械强度, 1995, 9(3): 61~78
- [3] 王东方. 表明疲劳裂纹检测系统研制[D]. 南京: 南京航空航天大学, 1997.
- [4] Bloom J M, Daniewicz S R, Hechmer J L. Plane strain crack growth models for fatigue crack growth life predictions[J]. Journal of Pressure Vessel Technology Trans ASME, 1996, 118: 78~85
- [5] 颜鸣皋, 欧阳辉, 吴素英, 等. 航空金属材料疲劳裂纹扩展速率手册[M]. 北京: 北京航空材料研究所, 1984. 3~6

作者简介:

王东方,男,讲师,1961年4月出生,1982年8月毕业于重庆建筑大学,1997年3月获得南京航空航天大学硕士学位,现在南京建筑工程学院任教。

尹明德,男,1963年生,副教授,从事机械优化、故障诊断、机械强度等方面的研究,发表论文10余篇,参编教材2本。

李保成,男,1958年生,工程师,从事机电一体化试验技术、机械疲劳强度等方面的研究工作,发表论文近10篇。

欧阳祖行,男,1936年生,教授,从事机械设计及理论、机械可靠性、摩擦学等方面的研究,发表论文20多篇,主编教材1本,专著1本。