

高低周复合载荷燕尾型榫联接微动疲劳的试验研究

许琦 孙志国

(盐城工学院化学工程系 盐城 224003)

摘要 分析了国内外对发动机轮盘和叶片的燕尾型榫联接微动疲劳的研究现状,对榫联接构件进行受力分析,设计了实验装置并做了一定量的调试性实验,认为该实验装置是可行的。

关键词 榫联接 微动疲劳 复合载荷 实验装置

分类号 V26

前言

涡轮发动机中叶片和轮盘榫联接处的微动疲劳是主要的失效形式之一,研究和预测微动疲劳寿命的试验方法是一个重要课题。英国 Rolls Royce 公司曾用实物作试验,因价格昂贵,难以作批量试验;牛津大学利用结构模型研究燕尾型联接的微动磨损^[1],国内多数实验方法是建立在桥式微动疲劳组件试验基础上^[2],它们所加的高低周载荷,都是在同一方向或是单一循环载荷,故只能近似反映榫头和榫槽受力状况。本文根据航空发动机燕尾型榫联接构件的载荷谱,是在 PW3-10 型疲劳试验机的基础上,设计了一种能很好地模拟高低周复合微动疲劳试验装置,利用与某型号航空发动机燕尾型榫联接构件的尺寸、材料相同的试件进行调试性实验,证明了该实验装置的可行性。

1 试验装置

航空发动机在工作时,涡轮的榫联接构件受到多种载荷的作用。飞机在一次起飞到降落的工作循环中,轮盘和叶片受离心力、燃气的压力、阻力等形成低周载荷,叶片的高频振动形成了一个高周载荷,同时,工作构件还受温度的影响。对于高低周载荷共同作用引起的复合损伤,并非两种载荷单独作用时的

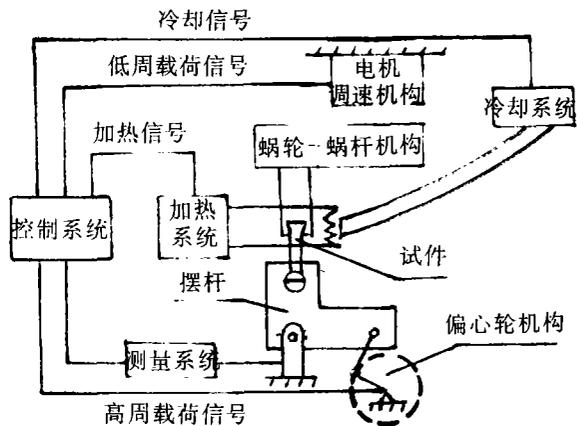


图1 主试验机工作原理

简单迭加,其寿命预测也不宜用单一的疲劳寿命值为标准,这种复合微动疲劳有其许多特有的规律和特征,寻找其特有的规律和特征,必须有相配套的实验装置。本文研究的高低周复合微动疲劳试验机,是由以下几部分组成的:(1)主试验机;(2)控制测量系统。

1.1 主试验机

主试验机工作原理如图1。它主要包括高低周加载系统,加热和冷却系统。低周拉伸载荷

是通过一立式疲劳试验机拉伸产生,其大小由直流电机运转时间的长短调节,其数值由应变仪测定,而高周载荷是由一偏心轮机构产生,其数值的大小由偏心轮的偏心量调节,其载荷应力谱如图 2,加热系统采用高频电磁感应加热,冷却系统是用冷却液冷却。

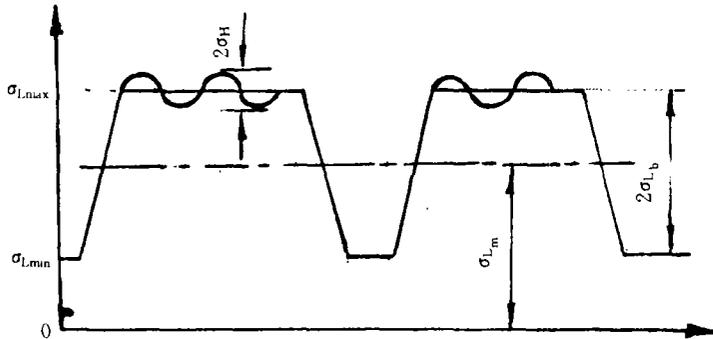


图 2 复合载荷应力谱

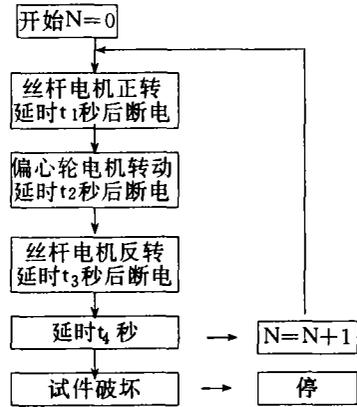


图 3 控制系统原理

1.2 控制测量系统

高低周加载系统和加热冷却系统都是由 Z80 单板机控制,使其有序叠加,其控制原理如图 3。

t_1 是由低周载荷的幅值确定; t_2 是根据高低周载荷频率比确定; t_3 是卸除低周载荷所需的时间; t_4 由循环周期的长短确定。

1.3 常温下调试性试验的试件及材料

试验机改装后,选用 TC11 作为榫头和榫槽的材料,其结构尺寸选用航空发动机中某一系列结构尺寸,如图 4。

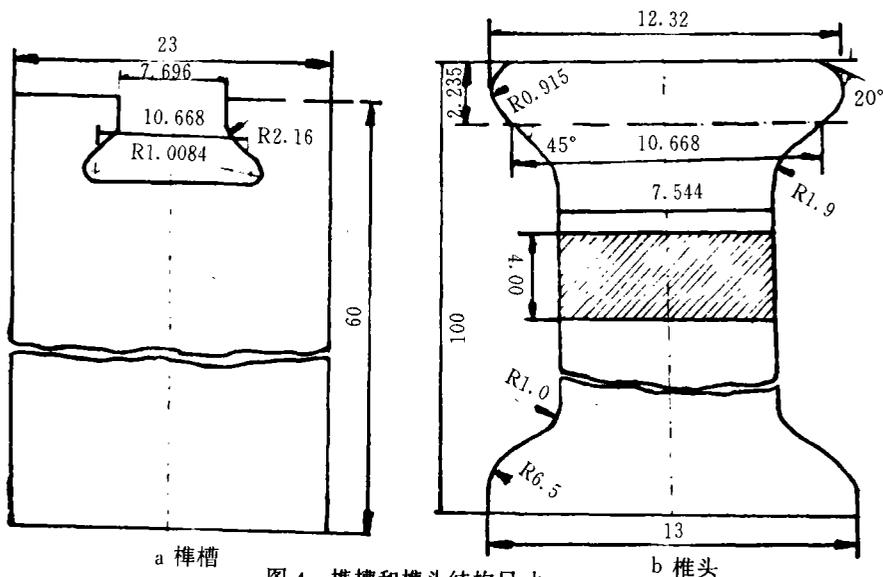


图 4 榫槽和榫头结构尺寸

2 结果和讨论

2.1 调试性试验结果

进行一组调试性试验,得到表1:

表1 调试性试验数据表

试件号	1	2	3	4	5	6
$\sigma_{L,mix}$ (MPa)	54	88	44	77	48	66
$\sigma_{L,max}$ (MPa)	171	265	154	276	161	225
高周频率(Hz)	47.08					
低周频率(Hz)	0.23	0.21	0.21	0.17	0.20	0.21
破坏循环次数	2382	3223	1186	1124	805	710
σ_H (MPa)	86					

对所得数据,可利用边界元法或有限元法求出各接触单元的当量应力,根据接触单元的相对滑动量和循环次数,求出摩擦功,从而建立微动疲劳寿命和当量应力、摩擦功之间的关系。

在这一批六件试件中有四件榫槽破坏,两级榫头破坏,破坏位置在接触部位和过渡圆弧之间,有两件在榫头的接触部位。如图5。

2.2 试验分析

在J. A. 柯林斯《机械设计中的材料失效的分析、预测、预防》中,对微动疲劳作如下定义:“微动作用的最新定义已经扩大并包含互相接触表面周期的分离和再接触的情况,以及摩擦所引起的不断变化的表面牵引力产生应力场,最终导致失败的情况。”^[3]在何明鉴著的《机械构件的微动疲劳》中,把微动疲劳定义为“分析表明,在接触区内的滑动与不滑动区域边界上以及在接触与非接触的边界上及靠近这些边界的非接触区一侧的附近区域,只有较高的使扩展性裂纹萌生的应力和使这种裂纹扩展的应力。因此,如裂纹在这些区域萌生和扩展,应考虑为微动疲劳。”^[4]从试件破坏的位置上看,和上述二种微动疲劳论点相一致。

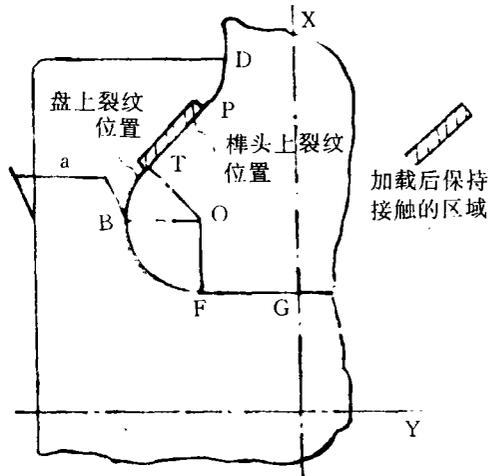


图5 破坏部位

3 结论

上述试验装置,经过调试性实验,认为整个试验方案是可行的,能充分利用现有的实验设备加以改进。通过大量的实验,可对某型号发动机燕尾型榫联接的设计,提供有用的实验数据,能满足高低周复合微动疲劳试验要求。

参考文献

- 1 Chen K. C. Study of Fatigue Life of Dovetail Joints. D. phil. Thesis, Oxford University 1986
- 2 何明鉴. 微动磨损疲劳——燕尾联接应力分布及裂纹位置预测. 航空动力学报.
- 3 J. A. 柯林斯. 机械设计中的材料失效的分析、预测、预防. 机械工业出版社. 1984
- 4 何明鉴. 机械构件的微动疲劳. 国防工业出版社. 1994