

# FGH95 粉末盘剩余循环寿命的裂纹源制作及测定

## Manufacture of Crack Source and Determination of Residual Cycle Life for FGH95 Powder Metallurgical Turbine Disk

吴家梅 谢济洲 (北京航空材料研究院)

Wu Jiamei Xie Jizhou (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 应用电火花加工技术, 制作出宽度为  $0.05\text{mm} \pm 0.025\text{mm}$ 、深度为  $0.25\text{mm} \pm 0.013\text{mm}$ 、长度为  $1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$  的裂纹源, 预制出长度为  $1.50\text{mm} \pm 0.13\text{mm}$  的疲劳裂纹, 然后对剩余循环寿命进行了测定。

关键词: 剩余循环寿命 裂纹源 粉末盘

[Abstract] The specimen which was used for predicting residual cycle life of turbine disk had been machined by electrical discharge machining technique. The size of precracking source is width  $0.05\text{mm} \pm 0.025\text{mm}$ , deep  $0.25\text{mm} \pm 0.013\text{mm}$  and length  $1\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ . A fatigue crack of length  $1.50\text{mm} \pm 0.13\text{mm}$  on the specimen was made by fatigue testing, and the residual cycle life of specimen with precracking source had been determined.

**Keywords:** residual cycle life crack source powder metallurgical turbine disk

### 1 前言

粉末合金涡轮盘是当今国内外先进航空发动机所采用的涡轮盘件, 其剩余循环寿命是该盘考核的重点力学性能指标。但在进行剩余循环寿命的测定中, 试件必须是个裂纹体, 这就引出了两个必须解决的关键技术问题。第一, 剩余循环寿命试样裂纹源微槽的制作。第二, 在规定的循环载荷下, 预制规定长度的表面疲劳裂纹, 然后在规定的载荷和应力比下, 测定其剩余循环寿命。

针对上述问题, 进行了反复的试验研究, 解决了这两个问题, 并以此测定了 FGH95 粉末涡轮盘的剩余循环寿命。

### 2 裂纹源微槽的制作

剩余循环寿命试样中部的表面裂纹源, 要求用电火花技术进行加工, 但其宽度只有  $0.05\text{mm}$ , 而被加工的又是 FGH95 这样较硬的材料, 这给加工带来了极大的困难, 而电极的选材与制造更显得重要。

#### 2.1 电极的选材与加工

对于电火花加工, 不同的金属材料应选用不同的工具电极材料, 如黄铜、紫铜、各种钢材、石墨等。对于 FGH95 粉末镍基高温合金来说, 所用的工具电极需先

在线切割机床上加工作。因电极细小, 又太薄, 而线切割瞬时放电温度高达上万度, 切割过程中电极很快被氧化或熔化, 采用铜或钢料制作, 不是太软易变形, 就是太脆无法使用。经多次试验, 终于找到了一种硬度、刚性均为理想的材料, 加工出工具电极, 不变形不弯曲, 强度也好, 尺寸控制在图纸所要求范围内。

#### 2.2 电火花参数选择

利用加工出来的工具电极, 在国产 D7140 电火花机床上加工微槽。该机床用的是 HYNIC-50 脉冲电源、高低压复合回路晶体管脉冲电源, 功率级采用浅饱和式开关回路, 脉冲宽度、脉冲间隔及峰值电源电压均较高, 经反复试验, 槽宽仍达  $0.11 \sim 0.15\text{mm}$ 。经分析, 这是由于电极积炭、拉弧、回弹所致, 电极损耗也很大, 槽变形, 难于控制在  $0.05\text{mm}$  左右。

为解决这一问题, 关键应控制好电参数的转换, 严格控制脉冲宽度和峰值电流的比值。对于粉末件材料, 根据实际加工情况, 确定最佳电参数。为此应遵循下面三个因素: (1) 电极损耗要小; (2) 双面间隙要小; (3) 电极不能有积炭。“电极头”本身很微小, 一旦损耗过大, 便使加工无法进行下去。改变电极损耗从两方面进行, 一是使整体电极在加工中只发生正常损耗(指面积大的); 另一是因加工中并非整个电极同时与工件

接触,当某一部位首先已加工出花纹、继续往下加工另一部位花纹时,已加工出的花纹便可能继续被加工,导致间隙变大,电极损耗。若要保持电极在加工中尽量损耗小甚至不损耗,必须将加工电源控制在 0.2A 左右,峰值电流控制在 0.5A 以下,双面间隙也要在 0.02mm 以下,才能加工出槽宽 0.05mm 清晰而美观的电火花槽,如图 1 所示。

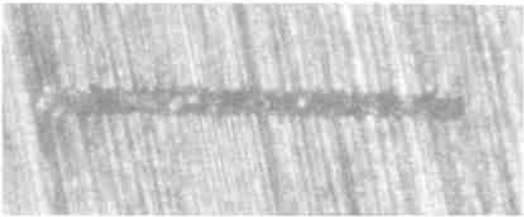


图1 表面裂纹源外形 52×

2.3 消除积炭

电火花加工过程中,由于电极头体积很小,在其通过尖端放电进行加工时,若电参数选择不当,极易产生瞬时短路现象,结果使电极顶部积炭。碳黑颗粒质坚而不导电,使工具电极短路严重,同时也使伺服电极的机头发生反弹,导致加工深度变浅,结果加工出的槽形变宽且不规则。

防止如此微细电极的积炭,必须采用两种方法,一是全部更换冷却液,使冷却液中无残余金属漂浮物和碳氧化物;二是提高电极表面粗糙度,用线切割加工出的电极表面粗糙度为  $Ra1.6\mu m$ ,毛刺大,应将电极头再磨削抛光提高电极表面粗糙度到  $Ra0.8\mu m$ ,并将头上毛刺打掉,又经过反复试验,终于使槽宽控制在 0.05~0.07mm 得到满意效果,各项尺寸达到图纸要求,最后加工出来的裂纹源如图 1。

3 预制疲劳裂纹及剩余循环寿命测定

表面裂纹源按要求制作出来后,接下来就是按  $1.5\text{ mm} \pm 0.13\text{ mm}$  预制疲劳裂纹。试验在疲劳机上进行,  $\sigma_{\text{max}} = 600\text{ MPa}$ , 应力比  $R = 0.95$ 。这里的技术关键是在试验期间裂纹长度的测量与控制。

3.1 裂纹的测量与监控

测量裂纹有许多方法,诸如肉眼观察、移动显微镜、电位法、复型等。本文对各种方法都作了尝试,经过反复实践,最后采用了反复停机用放大 50 倍的工具显微镜测量的办法,达到了规定的表面裂纹长度要求。获得的结果如图 2 所示。从图中可以看出,裂纹沿两边

扩展长度基本相等。



图2 预制后的表面裂纹照片

3.2 剩余循环寿命测定

按照要求试验温度为 538 ,应力比  $R = 0.95$ ,加载频率  $f = 0.1 \sim 0.5\text{ Hz}$ ,当试样的断裂循环数  $N_f = 5000$  时该盘就符合设计要求。本文严格按照这些条件在 MTS809 疲劳机上进行试验,测得的结果接近 5000 循环。得到剩余循环寿命试样断口如图 3 所示,图 4 为实物断口照片。

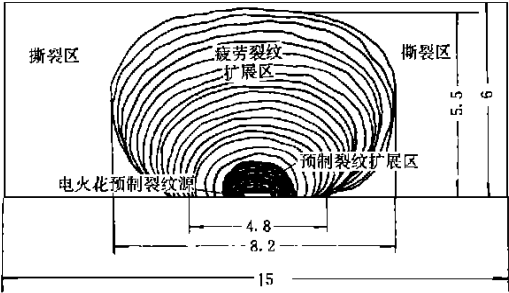


图3 剩余循环寿命试样表面裂纹源预制疲劳裂纹、裂纹扩展及断裂图

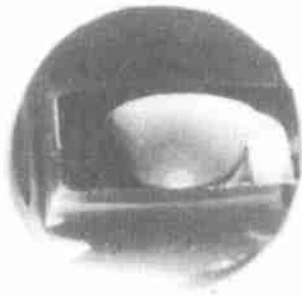


图4 剩余循环寿命试样断口照片

4 结束语

按照要求,首次对 FGH95 粉末合金涡轮盘,从实物轮盘上弦向取样,用电火花加工技术制作出表面裂纹源,然后预制疲劳裂纹并测定其剩余循环寿命,为我国先进航空发动机 FGH95 粉末涡轮盘的应用提供了一种新的力学性能测定技术。