

发动机变速器壳体裂纹失效分析

■ 王其荣, 李克

摘要: 通过对变速器壳体裂纹断口分析, 确定了壳体裂纹性质为疲劳开裂; 同时结合显微组织、化学成分、硬度等综合分析, 找到了引起壳体疲劳开裂的根本原因是零件局部Si元素偏析严重, 导致局部硬度偏低, 降低了零件疲劳强度, 在循环载荷作用下导致裂纹萌生并扩展, 并针对性地提出了提高裂纹部位冷速、控制Si元素偏析的措施。

关键词: 变速器壳体; 硬度; 循环载荷; 疲劳裂纹

ADC12是一种Al-Si-Cu系压铸型铝合金, 其成形性能好, 强度高, 常用于铸造模具受尺寸和形状限制的零件。Si作为合金中的主要合金元素加入到Al基体中, 可提高合金的流动性, 降低合金的收缩量和热裂倾向, 减少疏松、缩孔和热裂纹等缺陷, 并提高气密性, 从而获得致密的优质铸件。但在生产过程中, 合金容易产生Si元素偏析, 严重时会影响合金的使用性能和零件安全。

某航空发动机变速器壳体采用该材料压铸成形, 在试验过程中发现壳体加强筋板与本体转接部位出现一条贯穿性裂纹。本文针对变速器壳体裂纹性质及产生原因开展了相关冶金分析, 确定了引起变速器壳体裂纹的原因, 并针对性地提出了措施。

1. 冶金分析

(1) 外观检查 经目视检查: 裂纹位于零件加强筋板与本体转接部位, 已裂透零件壁厚,

外表面侧裂纹长约48mm, 内表面侧裂纹长约23mm, 两端较细小, 呈弯折状, 表面及附近未见击打及碰磨痕迹, 形貌如图1、图2所示。

(2) 断口分析 将裂纹打断后观察: 裂纹断面较平坦, 呈浅灰色, 其上可见明显的疲劳台阶和疲劳弧线。由疲劳台阶及弧线的收敛方向判断, 裂纹起始于外表面拐角部位表面, 呈线源, 源区未见冶金缺陷, 如图2所示。经扫描电镜观察, 大部分断

液进行加热, 从而淘汰了锅炉, 生产中在常温状态就直接将经抛丸除锈后的材料吊入皂化池进行皂化, 起到了减少辅助工序的作用, 做到了低碳环保生产。同时由于过饱和脂肪酸、氢氧化钠本身具有非常好的润滑性, 反应后形成优质润滑脂黏附在钢材表面, 利于钢材拉拔润滑。钢材在经过拉拔后, 表面同时还保存较好的润滑脂, 为下道工序缩杆起

到了良好的润滑作用, 减少了缩杆模的损坏, 降低了成本。不足之处是原来由于用锅炉对液体加热, 钢材及皂化液都是热的, 钢材表面涂敷润滑层水分很快挥发, 由于淘汰了锅炉, 钢材及皂化液都是常温, 所以钢材在经过皂化后, 应及时将钢材摆放开, 从而利于钢材表面涂敷润滑层中水分挥发。

经过几年的使用和观察, 产

品质量得到有效提升, 环境得到了有效改观, 模具费用得到降低, 同时由于车间内没有酸雾, 车间内设备使用寿命增长几倍, 工人身体健康得到了保证, 锅炉加热和废酸中和的淘汰, 为公司节约了较高费用。

作者简介: 廖宗军, 中铁隆昌铁路器材有限公司。

MW 20170312

面微观形貌为准解理，局部可见疲劳条带，形貌见图3。

(3) 金相剖切检查 在零件裂纹相邻部位切取试样进行金相检查，壳体基体显微组织未见异常疏松等冶金缺陷，无过烧现象（见图4）。

(4) 成分分析 经化学成分分析，符合相关技术条件要求，但裂纹部位成分中Si元素含量偏下限，与其远离裂纹部位相比明显偏低。成分分析结果见附表。

(5) 硬度检测 在零件多个部位取样进行硬度检测：裂纹部位硬度偏低，为65.5~69.5HBW，不符合设计要求（设计要求75~105HBW），距离裂纹较远的薄壁部位硬度为91.2~93.9HBW。

2. 裂纹原因分析

(1) 裂纹性质分析 通过断口观察可知，裂纹断面较平坦，呈浅灰色，其上可见明显的疲劳台阶和疲劳弧线，扫描电子显微镜下观察，裂纹断面大部分断面微观形貌为准解理，局部可见疲劳条带。因此，分析认为变速器壳体裂纹性质为疲劳裂纹。

(2) 裂纹原因分析 由冶金分析发现变速器壳体裂纹部位成分中Si元素含量明显偏下限，

与远离裂纹部位相比存在明显的偏析现象，硬度检测也发现存在不均匀现象，裂纹部位硬度与设计要求明显偏低。根据强度理论，硬度与抗拉强度呈正比关系，疲劳强度与抗拉强度也呈正

比关系。零件局部硬度明显偏低，大大降低了局部抗拉强度和抗疲劳强度。在循环载荷的作用下，裂纹则容易在低硬度部位及应力集中部位（转接R）萌生并扩展。



(a) 壳体外观



(b) 表面裂纹形貌

图 1

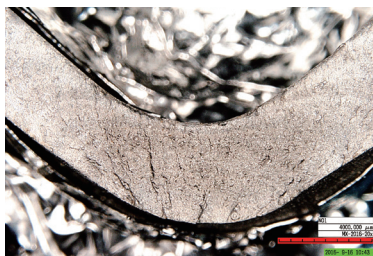


图2 裂纹断口源区形貌

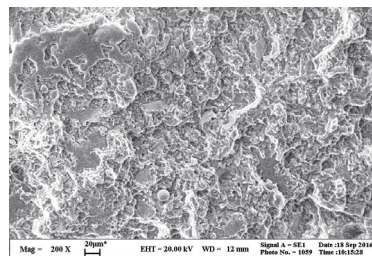


图3 裂纹扩展区微观形貌

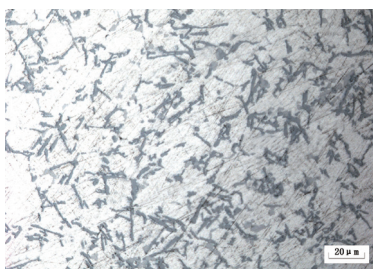


图4 壳体显微组织形貌

为疲劳开裂，疲劳裂纹萌生与零件局部Si元素偏析严重而导致局部硬度偏低有关。

(2) 建议提高裂纹部位铸件冷速，细化晶粒，控制零件Si元素偏析现象。

参考文献

- [1] 张栋，等.机械失效的实用分析[M].北京：国防工业出版社，1997.

3. 结论及建议

(1) 变速器壳体裂纹性质

ADC12化学成分分析（质量分数）

(%)

元素	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Pb	Al
裂纹部位	1.68	9.62	0.18	0.59	0.81	0.23	0.04	0.007	0.034	—
远离裂纹部位	1.75	11.67	0.21	0.68	0.87	0.18	0.04	0.011	0.028	其余
技术要求	1.5~3.5	9.6~12.0	≤0.3	≤1.0	≤1.3	≤0.5	≤0.5	—	—	其余

作者简介：王其荣、李克，中国航发南方航空工业有限公司。

MW 20170316