

# 常见变形铝合金的失效分析

郭海

西安航空制动科技有限公司 陕西 咸阳 713100

**摘要:** 本文主要描述常见的变形铝合金结构件不同的失效模式, 并通过对不同失效形貌的机理分析, 掌握结构件在使用中潜在失效的特征, 为不同变形铝合金结构件的使用提供了借鉴。

**关键词:** 变形铝合金; 失效模式; 断裂

## Failure analysis of common deformed aluminum alloy

Guo Hai

Xi'an Aviation Brake Technology Co., LTD., Xianyang City, Shaanxi Province 713100

**Abstract:** This paper mainly describes the different failure modes of common deformed aluminum alloy structural parts, and through the mechanism analysis of different failure morphology, grasps the potential failure characteristics of structural parts in use, which provides a reference for the use of different deformed aluminum alloy structural parts.

**Key words:** deformed aluminum alloy, failure mode, fracture

### 引言:

常用的变形铝合金广泛用于航空、航天等结构件中, 其中2A14、2A50、2014、2214、2024等为常用的结构件材料, 在结构件承载过程中出现的失效特征主要表现为过载失效、疲劳失效和应力腐蚀失效等模式。

#### 1 过载失效

该结构件材料为2A50, 断裂位置如图1所示, 断口未发现明显塑性变形, 断面干净, 断口源区无宏观可见冶金及机加缺陷, 裂纹自起裂点沿周向向两侧扩展, 断面可见清晰扩展棱线, 最后断裂区可见典型剪切唇形貌。

扫描电镜分析: 将断口经无水乙醇+超声波清洗后, 用扫描电子显微镜进行观察, 裂纹源为点源, 沿该机构件的

过渡R处表面起裂, 源区未见冶金及加工缺陷, 断口源区微观形貌以韧窝为主, 如图2所示, 断口源区断面上存在二次裂纹, 如图3所示。



图1 断口形貌

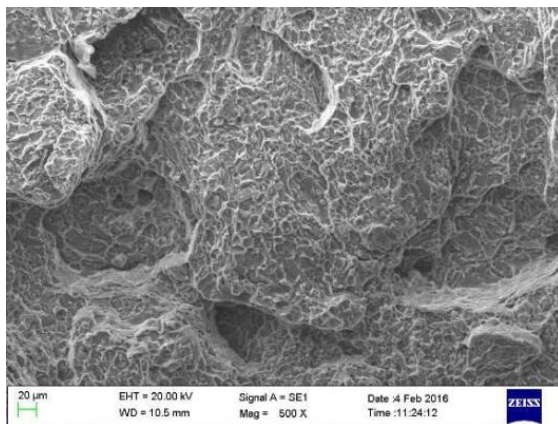


图2 源区韧窝形貌

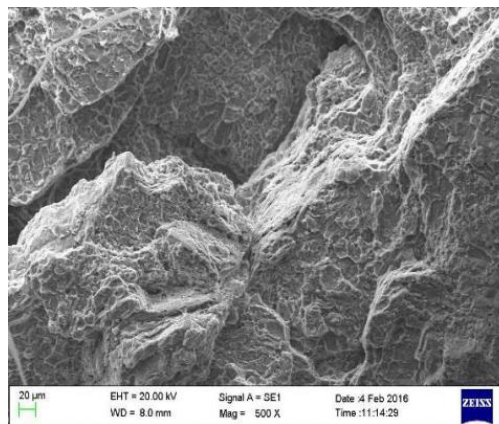


图3 源区附近二次裂纹

金相组织分析：对失效构件进行金相组织分析，强化相析出充分、弥散分布，组织正常，未见过热、过烧现象；结合该结构件的力学性能试验分析，结论为：

失效结构件断口为一次性断口，断面干净，无宏观塑性变形，裂纹扩展区域微观形貌均为韧窝形貌，并伴有二次裂纹，表明开裂时受力较大，符合过载失效的特征，裂纹性质为脆性裂纹。

## 2 应力腐蚀失效

该结构件材料为2A14,该裂纹沿结构件圆周方向扩展，裂纹长约20mm，裂纹为贯通裂纹，沿孔扩展至内壁，加压时有渗油现象，如图4所示。

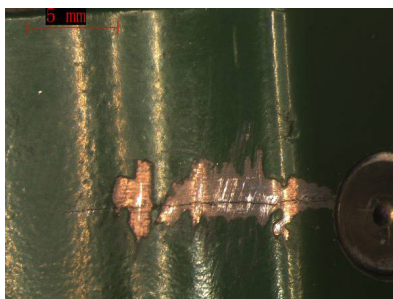


图4 裂纹形貌

扫面电镜观察：将失效结构件切割，打开裂纹观察断口，裂纹断口无明显塑性变形。裂纹断口起源于孔口部，裂纹源为多源、点源，原始裂纹断口呈暗灰色，断面覆盖有腐蚀产物，源区放大观察无明显冶金缺陷，裂纹扩展中期可见二次裂纹，局部可见泥纹花样，如图5所示。

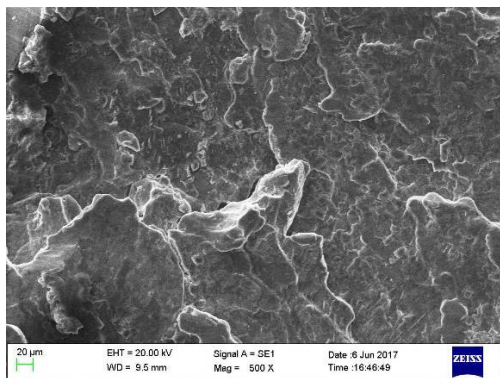


图5 裂纹断口泥纹花样

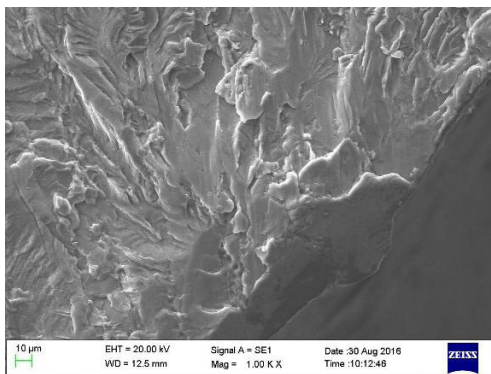


图7 源区条带形貌

能谱分析：为进一步分析原始裂纹断面断裂特征，对其进行能谱分析，能谱分析结果表明断口起裂源区、裂纹前沿除材料固有元素外均含有一定量的Cl、S、O、Ca、Na等元素，表明裂纹源区至裂纹前沿均被腐蚀。

金相组织检查：在失效件裂纹附近取样，经研磨、抛光、浸蚀后观察金相组织，金相组织为沿变形方向拉长的晶粒和成行排列的强化相，组织细小均匀，未见过热、过烧等组织缺陷。

结论：失效结构件裂纹断口断面平齐，无宏观塑性变形。裂纹断口形貌观察可见裂纹源为多源、点源，原始裂纹断口呈暗灰色，断面覆盖有腐蚀产物，原始裂纹断面微观可见二次裂纹，局部可见泥纹花样，平坦面上分布着龟裂裂纹，为典型应力腐蚀断裂特征。能谱分析结果亦表明原始裂纹断面上存在有一定量的Cl、S、O、Ca、Na等“盐污”元素，表明裂纹源区至裂纹前沿均被腐蚀。综合上述分析可知该裂纹为应力腐蚀裂纹。

## 3 疲劳裂纹

该结构件材料为2014，该结构件在开展试验时出现了断裂，裂纹沿结构件径向开裂，如图6所示，裂纹延伸长约20mm。

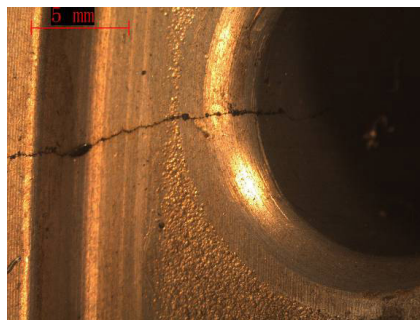


图6 裂纹形貌

扫面电镜观察：失效结构件裂纹断面光滑平坦，宏观可见疲劳弧线，表面呈深灰色，未见氧化夹杂等冶金缺陷，通过电镜扫描观察裂纹断口起源于孔过度R处，沿疲劳源区呈扇形发散，裂纹扩展区可见疲劳条带，如图7所示，裂纹扩展中后期可见疲劳条带+韧窝并伴有少量二次裂纹，如图8所示。

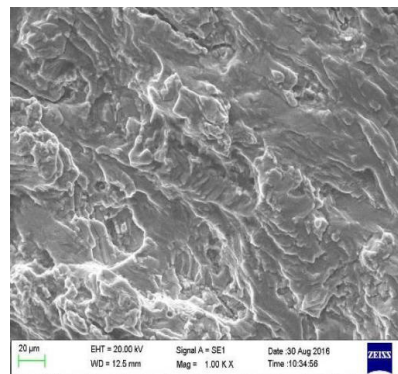


图8 条带+韧窝+二次裂纹

金相组织检查：在失效件裂纹附近取样，经研磨、抛光、浸蚀后观察金相组织，金相组织为沿变形方向拉长的晶粒和成行排列的强化相，组织细小均匀，未见过热、过烧等组织缺陷，裂纹沿强化相扩展，裂纹两侧未见组织差异。

结论：试验表明裂纹断口宏观可见疲劳弧线，微观可见疲劳条带，裂纹末端为韧窝，并伴有二次裂纹，依此判断该裂纹性质为疲劳裂纹。

#### 参考文献

[1]徐超, 杨尚磊.铝合金材料的疲劳研究进展.第十六次

全国焊接学术会议论文摘要集。

[2]杨海生, 常新龙.LD10铝合金疲劳裂纹扩展速率的研究.航天制造技术。

[3]颜鸣皋.金属疲劳裂纹初期扩展的特征及其影响因素.航空学报。

[4]王学术, 余寿文.载荷形式对疲劳寿命预测方法的影响.机械强度。