

铝合金弹底产生缺陷原因分析

褚小菲, 杨有才, 石燕, 柯美武, 冯军海, 毛永, 张然

豫西工业集团河南北方红阳机电有限公司 河南南阳 474678

摘要: 某型号产品弹底采用7A04铝合金挤压而成, 在热处理后发现弹底有起层、掉渣、裂纹现象, 经理化分析确定是由于材料过烧引起的, 并通过一系列排查找到了引起材料过烧的原因。

关键词: 弹底; 铝合金; 过烧

1 序言

铝合金比强度高, 具有较好的耐腐蚀性能和较高的韧性且易于加工, 广泛应用于各种飞机、导弹和火箭的高强度结构零件, 是航空航天领域的重要材料。豫西工业集团河南北方红阳机电有限公司某型号产品弹底采用7A04铝合金挤压而成, 其中一炉产品在热处理后发现弹底存在缺陷, 弹底部有起层、掉渣现象, 外表面锥体部分可见沿圆周形成环状裂纹, 内孔圆弧过渡处也发现有沿圆周形成的环状裂纹, 为了找出引起弹底缺陷的原因, 对铝合金弹底产生缺陷原因进行了分析。

2 故障分析及定位

结合弹底加工过程, 按故障树分析法, 对弹底缺陷进行分析, 列出故障树如图1所示, 并对故障树上影响弹底质量的因素进行逐一排查。

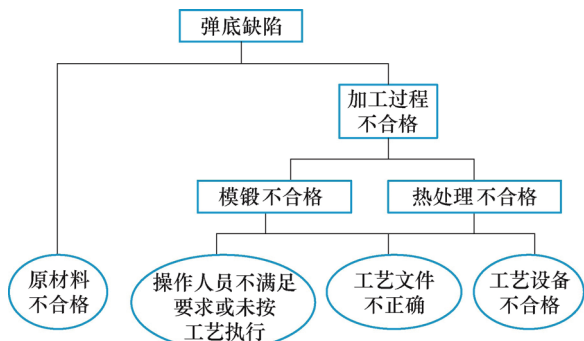


图1 弹底缺陷故障树

(1) 人员 操作人员经培训考核, 做到了持证上岗, 均是有经验的操作工。

(2) 原材料 原材料为7A04棒料, 进厂验收化

学成分、力学性能、金相组织、低倍组织均合格。

(3) 工艺 弹底加工工艺使用多年, 沿用至今, 工艺参数合理、有效。工艺流程: 生产前准备→上料→模锻→粗加工→热处理→精加工; 铝合金热处理方式为T6处理, 其中固溶处理的淬火温度为470℃。

(4) 设备 对热处理设备进行排查, 经询问操作工得知本炉弹底出炉时工件颜色通红, 而以前未出现此现象。

(5) 故障定位 结合故障树进行排查分析, 排除了人员、材料、工艺方面可能存在的问题, 基本确定弹底缺陷是由于热处理设备存在问题引起的。

3 理化检验

为了查找缺陷原因, 挑选缺陷明显的弹底解剖进行理化检验。

(1) 宏观观察 沿弹底轴线剖开, 根据 GB/T 3246.2—2012 《变形铝及铝合金制品组织检验方法 第2部分: 低倍组织检验方法》规定要求, 对失效铝合金弹底进行低倍组织分析, 浸蚀后发现试面上存在大量裂纹, 在内壁圆弧过渡处分别有向内延伸的裂纹。同时, 外圆锥表面发现有2.5mm深的粗晶环, 粗晶环与基体交界处存在裂纹, 底面心部有纵向裂纹。

(2) 显微组织分析 在弹底圆弧过渡处取金相试样, 根据 GB/T 3246.1—2012 《变形铝及铝合金制品组织检验方法 第1部分: 显微组织检验方法》规定要求, 对试样磨制后, 用混合酸水溶液进行腐蚀, 显微组织如图2所示, 经观察试样显微组织中

出现复熔共晶相，并存在大量的与复熔三角形相近的组织特征，且富集在晶界上，具有晶界加宽的特征，是典型的过烧组织^[1]。

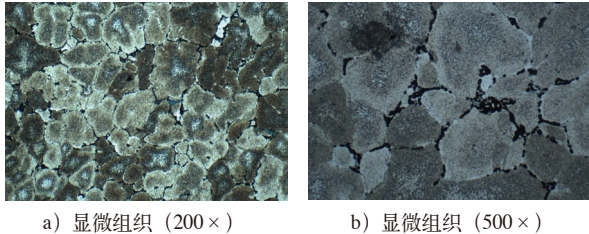


图2 弹底显微组织

4 炉温检测

为了查找过烧原因，依据GB/T 9452—2012《热处理炉有效加热区测定方法》对热处理炉装料时炉内温场进行检测，测试设备的5号测点与热电偶连接，其余5个测点放置于工件处，测点位置如图3所示。

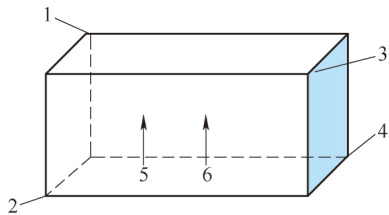


图3 炉温检测位置
注：1~6为测温点

按图3放置测点对热处理炉炉内温场进行检测，炉温设定为470℃，保温70min，记录各个测点温度变化情况，检测结果见表1。

表1 热处理炉炉温检测结果 (℃)

点数	最大值	最小值
1	507.68	488.61
2	475.77	473.93
3	521.13	502.29
4	504.43	488.89
5	525.04	500.33
6	491.57	481.32
设备温度设定	470	

检测结果：炉内最高温度与最低温度相差超过50℃，且温度波动较大，炉内实测温度与设定温度不一致，炉内温度均高于设定温度。

随即对热处理炉进行检修，发现炉膛内壁右侧

内衬板开裂，且缝隙较大，炉内风扇松动，转速过慢。

5 分析与讨论

热处理炉最高温度达525.04℃，超过了7A04铝合金低熔点共晶体Al+T ($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$)的熔点489℃，会使铝合金晶界和晶内 $\text{Al}_6(\text{MnFe})$ 、 AlMnFeSi 等不溶相形成团聚状，并在局部晶界以团聚状不溶相为核心形成复熔球，产生过烧组织^[2]。过烧组织使铝合金晶界脆化、强度降低，在后续的淬火冷却过程中受到高强度应力而产生裂纹，降低工件的疲劳性能和腐蚀性能。因此，热处理后的铝合金件不允许有过烧现象^[3]，粗大的枝晶偏析还可能在随后的加工过程中形成带状组织，造成工件在使用过程中失效。

由分析过程可以看出，弹底产生缺陷的原因为热处理炉温度异常致使淬火加热温度过高，造成材料过烧，晶内偏析和多余脆性相的存在使塑性明显降低，引起材料强度下降，水冷时在圆弧过渡、尖角及粗晶环等应力集中处形成裂纹，并在内应力作用下发生开裂。

6 结论及改善措施

- 1) 弹底产生缺陷的原因为热处理炉炉内温度过高导致了材料的过烧，造成了产品的早期失效。
- 2) 维修故障设备，对热处理炉内衬板进行焊接，并对炉内风扇进行更换，对密封部位进行补焊。
- 3) 加强管理，定期对热处理炉进行校检，并在工件入炉前使用红外测温仪测试炉内实际温度。

参考文献：

- [1] 刘淑凤，夏雯，左玉婷，等.7XXX铝合金过烧组织判定方法的比较研究[J].中国体视学与图像分析，2015，20（1）：47-51.
- [2] 宁爱林，曾苏民，蒋寿生，等.7A04铝合金高温固溶的微观组织和力学性能[J].轻合金加工技术，2005，33（5）：48-51.
- [3] 《有色金属及其热处理》编写组.有色金属及其热处理[M].北京：国防工业出版社，1981：98-99.

MW 20210415