

# 7055 铝合金锻件淬火开裂分析研究

郭海

西安航空制动科技有限公司 陕西省咸阳市 713100

**摘要:** 本文主要描述了 7055 铝合金的发展, 针对 7055 铝合金锻件采用固溶处理+双级时效工艺出现的开裂问题进行了分析, 描述了不同温度下的结构件残余应力变化, 结果表明: 淬火水温在 40-60°C 能够较大的降低结构件的开裂风险。

**关键词:** 7055 铝合金; 淬火; 开裂行为

## Analysis of 7055 aluminum alloy forgings

Guo Hai

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

**Abstract:** This paper mainly describes the development of 7055 aluminum alloy, analyzes the cracking problem of 7055 using solid solution treatment + two-stage aging process of aluminum alloy forgings, and describes the residual stress change of the structural parts at different temperatures. The results show that the quenching water temperature at 40-60°C can greatly reduce the cracking risk of the structural parts.

**Keywords:** 7055 aluminum alloy; quenching; cracking behavior

### 1.7055 铝合金的简介

7055 铝合金属于 Al-Zn-Mg-Cu 系超高强铝合金, 是实际使用强度相当高的铝合金, 其强度接近 600MPa, 该合金是在 7050 铝合金基础上增加 Zn 和 Cu 的含量、降低 Fe 和 Si 杂质的含量而开发出的一种新型铝合金, 其强度和断裂韧性都比 7075 铝合金有较大提高, 同时具有更好的塑性和抗应力腐蚀性能, 7055 铝合金比 7050 铝合金具有更高的强度, 同时具有较强的断裂韧性。并且 7055 合金有较高强度, 较低密度, 又具有良好的抗腐蚀性能, 因此具有较好的减重潜力。

### 2.试验背景

某环类结构件在研制过程中, 通过锻造工艺、热处理工艺的设计实现了组织性能的优化控制、达到了力学性能要求; 但试制过程中出现了热处理开裂的问题, 如图 1 所示。为了达成查明开裂原因、形成对策的目标, 本项目的研究旨在解决淬火过程中热处理工艺参数的合理设计。



图 1

### 3.试验方案

通过对构件结构特征和淬火水温及入水方向等三个方面进行仿真模拟, 通过应力的变化得到最优的工艺参数设计。

#### 3.1 建立模型

建立了 3 种结构模型, 方案 1 为边缘直角, 方案 2 为边缘倒角, 方案 3 为图 1 所示边缘圆角。

淬火过程仿真: 通过对构件淬火过程进行了工艺仿真。仿真过程模拟实际工艺, 即水温设定为 20°C、45°C、60°C, 构件加热到 475°C、小端向下垂直淬火。基于仿真过程对构件典型位置的温度变化以及构件整体的温度场信息进行采集分析。关于典型位置的选取, 考虑到开裂发生的位置以及角缘位置应力集中效应, 在三种结构方案中选定角缘位置进行温度变化过程的追踪、并进行对比。

图 2 所示为结构件小端角缘选定位置温度随时间变化的曲线, 可见, 三种方案下边缘位置温度降温曲线基本重合; 这表明, 小端底面结构的变化对降温过程的影响不显著。具体分析表明, 构件淬入水中之后, 在前两秒钟之内表面温度即降低至 170°C 左右; 之后, 温度缓慢下降, 至 60s 时降低至 25°C 左右。

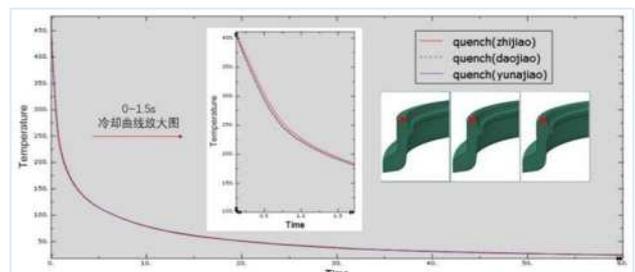


图 2 20° C 水淬过程中结构件小端底面表层温度的变化

#### 4. 结构特征的影响

为了分析表面开裂倾向,追踪了构件端面最大拉应力变化。无论结构如何,开裂边缘位置表面都经历了“拉应力急剧升高—逐渐转变为压应力”的过程;三种结构方案下,结构方案 1 中开裂边缘位置的拉应力水平最高、达到了约 142MPa;结构方案 2 与结构方案 3 的拉应力峰值接近、均在 120MPa。因此结构方案 1 的直角边缘位置存在最高水平的拉应力、分布较为集中,而圆角、圆弧端面位置应力分布更加均匀、比较而言,尖角结构的存在容易导致应力集中,从而诱发局域高应力状态、增加局部开裂风险。

#### 5. 淬火水温的影响

淬火水温是影响应力演化过程的重要参数。本研究选定淬火应力水平最高构型 1、进一步分析了淬火水温的影响。通过仿真模拟,在 20° C、45° C、60° C 水淬时,开裂部位在最初阶段存在显著差异,淬火水温越低则开裂边缘位置的冷速越快。淬火至 1s 时,开裂边缘位置的温度分别为 128° C、152° C、190° C,可见淬火水温对构件表面边缘位置的冷速有显著影响。

因为冷速不同,所以边缘位置拉应力也有显著差异。在本研究中,基于工艺过程仿真对边缘位置应力演化行为进行了追踪。其中构件中拉应力最大值的变化曲线如下图 3 所示。由图可见,在淬火至 0.58s 时,构件中形成额最高水平的拉应力;对照应力分布云图可知,最大拉应力出现在小端表面角缘位置和大端角缘位置。20oC 水淬时,这些位置的最高拉应力可以达到约 142MPa、当水温升高到 45oC 降低到 110MPa、水温升高到 60oC 降低到 98MPa。

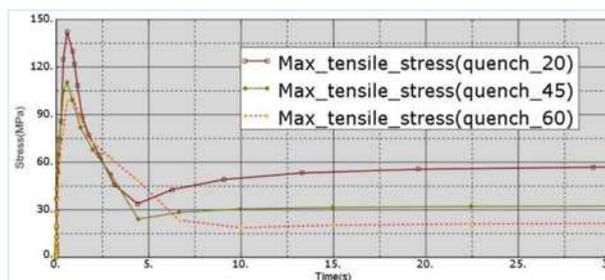


图 3 结构方案 1 在 20° C、45° C、60° C 水淬过程中构件中表面最大拉应力变化

对比表明,淬火水温升高时应力水平显著下降。角缘位置拉应力水平下降时开裂风险降低。因此,在保证构件力学性能的前提下合理提高淬火水温成为规避开裂风险最有效的手段。

#### 6. 入水方向的影响

图 4 所示为结构方案 1 不同淬火入水方向 20° C 水淬时该结构件温度的变化。由图中的曲线可以看出,大端、小端入水时淬火冷却曲线的差异很小。详细比较表明,大端入水时小端底部角缘位置的冷却速度稍快。这是由于在换热沸腾阶段,在深水处的下端气泡相比上端逃离构件慢。整体而言,这种差异对构件冷却过程的影响不大。

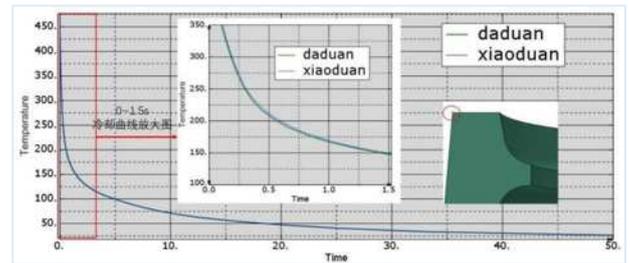
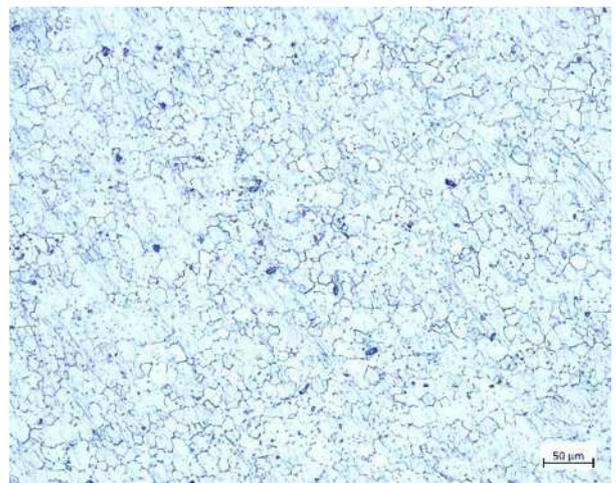


图 4 结构方案 1、不同淬火入水方向 20° C 水淬时温度的变化

#### 7. 试验分析

金相分析:将结构件断口清洗后在立体显微镜下观察可见:断口大部分区域覆盖一层柱状结晶,局部可见沿晶特征及二次裂纹,人为断口微观主要为韧窝形貌,局部可见沿晶特征。失效结构件无宏观塑性变形,微观可见沿晶分离特征,可判断失效结构件断裂性质为脆性裂纹。对开裂位置附近的组织进行观察、典型的组织如图 5 金相照片所示。可见,合金中存在晶界局部加宽现象、在晶粒内部存在复熔球、晶粒交界处呈现明显的三角形复熔区。并通过能谱分析结果可知,沿晶分离区域主要为 7055 材料固有元素,被轻微氧化;柱状覆盖物主要为 Al 氧化物,即高温氧化特征。这些特征表明,该结构件存在过热过烧的现象。



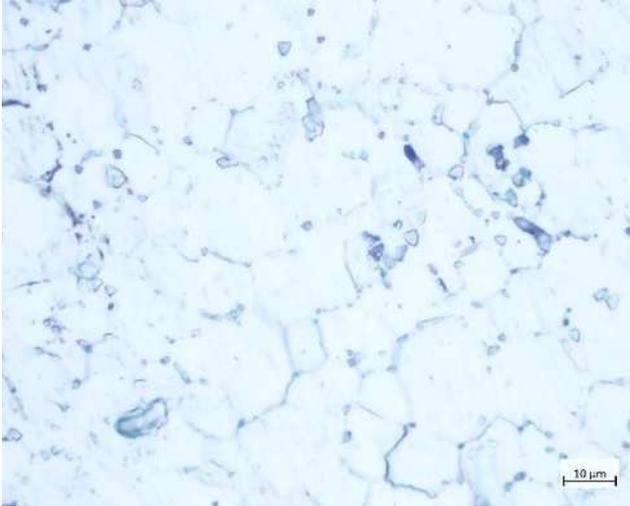


图 5 结构件小端位置过热/过烧组织特征

### 8. 试验结论

综合上述分析, 通过研究本结构件小端端面的开裂, 得出以下 4 个方面结论:

(1) 过热/过烧引起的晶界弱化/脆化以及应力集中效应, 这是淬火开裂的内在本因。原有工艺的固溶或加热温度

过高或累计加热时间过长所致。

(2) 原工艺淬火水温温度较低, 应将水温提高控制在 40-60°C 时, 能有效避免结构件边缘开裂的风险。

(3) 淬火入水方向对该结构件淬火冷却过程、应力演化过程的影响不显著; 大端入水时构件冷却速度稍高。

(4) 淬火过程中局部强烈拉应力, 这是该结构件局部淬火开裂的外在诱因。局部淬火应力过高的原因在于外表面拉应力的突变。

### 参考文献:

- [1] 闫明亮, 王志强等, 7055 铝合金的研究现状及展【J】. 材料导报, 2009. 23(5):69-73.
- [2] 赵新星, 工件淬火裂纹的原因分析与对策【J】. 纺织机械, 2006, (2):46-48.
- [3] 张颢, 合金元素对 Al-Zn-Mg-Cu 合金组织和性能的影响【D】. 中南大学, 2010.
- [4] 王路, 固溶过程中升温速率和淬火速率对 7055 铝合金的组织及性能的影响【D】. 重庆大学, 2016.