

# 热处理工艺对铸铝力学性能的影响

尚明辉<sup>1</sup> 兰起洪<sup>\*</sup>

航空工业洛阳电光设备研究所 河南 洛阳 471009

**摘要:** 通过拉伸试验、金相分析等方法,研究了固溶温度、固溶时间、时效温度和时效时间对ZL114A材料力学性能的影响。比较了不同参数处理后的组织变化,并选出力学性能最佳的热处理参数组合,为后续的工业化生产提供参考。

**关键词:** ZL114A; 力学性能; 组织; 热处理

## Influence of Heat Treatment Process on Mechanical Properties of Cast Aluminum

Shang Minghui<sup>1</sup>, Lan Qihong<sup>\*</sup>

Aviation Industry Luoyang Electro Optic Equipment Research Institute Luoyang Henan 471009 China

**Abstract:** The influence of solution temperature, solution time, aging temperature and aging time on the mechanical properties of ZL114A materials were investigated by tensile test and metallographic analysis. The tissue changes after different parameters were compared, and the combination of heat treatment parameters with the best mechanical properties was selected to provide reference for subsequent industrial production.

**Keywords:** ZL114A; Mechanical properties; Microstructure; Heat treatment

### 引言

ZL114A 具有良好的铸造工艺性能、较好的力学、抗腐蚀和焊接性能,已广泛应用于我国航空航天等领域[1-2]。随着产品的更新换代,对 ZL114A 合金的综合性能尤其是力学性能,提出了更高的要求。目前,国内学者已研究了不同工艺参数对 ZL114A 合金的铸造工艺、抗腐蚀和焊接性能的影响[3-5],但缺少对其固溶时效热处理工艺进行系统研究,尤其是各热处理工艺参数对 ZL114A 合金组织与力学性能的综合影响。

本文通过热处理试验研究了固溶温度、固溶时间、时效温度和时效时间等工艺参数对力学性能的影响,比较了采用不同参数处理后的金相组织变化,并提出了最佳的热处理参数,为后续的工业化生产提供参考。

### 1 试验

#### 1.1 试验材料

材料为同一炉批号的铸造铝合金 ZL114A,其化学成分(质量分数%)为7.00Si, 0.50Mg, 0.10Ti, 0.04Be, 92.36Al。该成分符合 HB962标准的相应要求。

#### 1.2 试验方案

本次试验考虑了固溶温度、固溶时间、时效温度、时效时间四个影响因子,每个影响因子设定三个变量。建立四因素三水平的正交实验因子水平表L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)<sup>[6]</sup>,如表1所示。共

需要做9组不同热处理工艺实验,如表2所示。

表1 ZL114A合金正交试验因子水平表

因子水平	固溶温度 (°C)	固溶时间 (h)	时效温度 (°C)	时效时间 (h)
1	530	10	155	5
2	535	12	165	6
3	540	14	175	7

表2 ZL114A热处理试验方案

实验方案	固溶温度 (°C)	固溶时间 (h)	时效温度 (°C)	时效时间 (h)
1	530	10	155	5
2	530	12	165	6
3	530	14	175	7
4	535	10	165	7
5	535	12	175	5
6	535	14	155	6
7	540	10	175	6
8	540	12	155	7
9	540	14	165	5

### 2 试验结果

#### 2.1 力学性能

每种工艺取5个拉棒试样,拉棒按φ10mm的标准拉棒加

工, 力学性能测试结果如表3所示, 每种实验方案的力学性能的实验数据均为平均值。

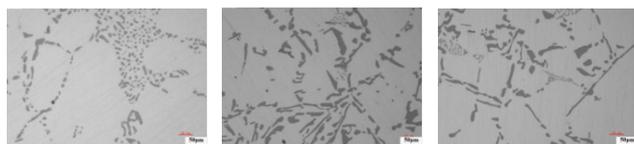
表3 不同热处理工艺下的力学性能

实验方案 (%)	样品处理工艺	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率
1	530°C×10h, 155°C×5h	209.8	245.2	0.64
2	530°C×12h, 165°C×6h	217.9	246.3	0.59
3	530°C×14h, 175°C×7h	219.7	271.1	2.46
4	535°C×10h, 165°C×7h	224.4	263.7	2.66
5	535°C×12h, 175°C×5h	268.7	312.4	3.73
6	535°C×14h, 155°C×6h	283.7	317	2.17
7	540°C×10h, 175°C×6h	234.3	254.1	1.36
8	540°C×12h, 155°C×7h	228	264.2	1.17
9	540°C×14h, 165°C×5h	240.1	316.7	1.72

## 2.2 微观组织

### 2.2.1 不同热处理工艺下的微观组织

从做过拉伸实验的拉棒试样上截取φ15mm×10mm的圆柱试样磨制金相进行微观组织观察, 部分结果如图1所示。

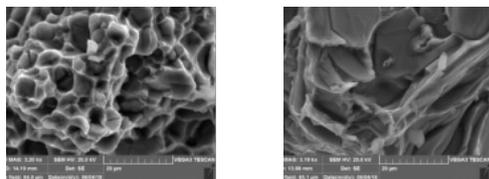


540°C×10h, 175°C×6h      530°C×12h, 165°C×6h      535°C×14h, 155°C×6h

图1 不同热处理条件下的微观组织(部分)

### 2.2.2 断口形貌

选取表1中第1、5、6、10种实验方案下的断口试样进行SEM断口扫描, 其中两种试样的3200倍断口形貌照片, 如图2所示。



535°C×12h, 175°C×5h      535°C×14h, 155°C×6h

图2 两种不同热处理工艺下的断口形貌

## 3 试验结果分析

### 热处理工艺对力学性能的影响

#### 3.1 屈服强度和抗拉强度

在ZL114A合金中, 影响屈服强度和抗拉强度的因素主要包括: Al基体的晶粒尺寸、第二相(共晶硅、含Mg强化相、杂质相)的尺寸和分布。主要机理就是阻碍位错运动导

致强度上升。本次拉伸实验试样为同一炉批号铸造, Al基体的晶粒尺寸相差不大, 所以造成屈服强度和抗拉强度差异的主要原因是不同的热处理参数导致第二相的尺寸和分布不同。在热处理参数为固溶535°C×14h, 时效155°C×6h时, 第二相的尺寸和分布最为均匀, ZL114A材料的屈服强度和抗拉强度最高。

#### 3.2 延伸率

通过对比不同方案下的延伸率, 可以看出不同热处理工艺下延伸率的变化比较大, 其中热处理工艺5(535°C×12h, 175°C×5h)下平均延伸率最高, 达到3.73%。

挑选延伸率最低(0.64%)的第1种工艺(530°C×10h, 155°C×5h)和延伸率最高(3.73%)的第5种工艺(535°C×12h, 175°C×5h)进行微观组织和断口形貌对比。可以发现: 第1种热处理工艺下, 微观组织中存在较多的长条状和块状共晶硅, 断口形貌中发现较多的准解理面, 从而导致了材料的脆性升高, 延伸率下降; 在第5种热处理工艺下, 共晶硅主要以球状存在, 断口形貌中以韧窝为主, 属于韧性断裂, 因此延伸率较高。

## 结论

(1) 535°C×12h+175°C×5h工艺下, 平均力学性能最好, 屈服强度为268.7MPa, 抗拉强度为312.4MPa, 延伸率为3.73%。(2) 影响ZL114A断裂方式的一个主要因素为共晶硅的尺寸, 当共晶硅为球状或短杆状时, 断裂形貌以韧窝为主, 断裂方式为韧性断裂, 表现出良好的延伸率; 当共晶硅存在块状和长杆状时, 会形成准解理断口形貌, 使得材料脆性升高, 延伸率下降。因而要改善ZL114A的延伸率, 控制共晶硅的形貌尺寸是一个重要途径, 另外一个途径是降低Al基体中含Mg强化相对延伸率的影响。

## 参考文献

- [1]张建兵, 平秀民. 高强度铝合金铸造及热处理工艺[J]. 航天制造技术, 2003, 12(6): 35-38.
- [2]张德恩. 新型高强度铸造铝合金的热处理工艺研究[J]. 贵州科学, 2009, 27(3): 20-22.
- [3]武文成, 郝启堂, 李强. 砂型低压铸造铸件充型及凝固过程的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2011, 31(5): 436-438.
- [4]何国强, 郑进城, 李卫超等. 时效制度对ZL114A合金腐蚀性能的影响[J]. 腐蚀与防护, 2009, 30(1): 50-52.
- [5]王志敏, 顾兰, 李宏伟等. 铝合金ZL114A的激光焊接工艺[J]. 宇航材料工艺, 2007, 37(4): 55-57.
- [6]刘振学、王力等. 试验设计与分析[M]. 北京: 化学工业出版社(第二版), 2015.

作者简介: 尚明辉, 男, 河南洛阳市人, 航空工业洛阳光电设备研究所工程师, 主要从事精密机械加工、数控加工编程、特种加工等方面的研究。