

铸造铝合金 ZL114A 的热处理工艺

贺晓军 何智勇 刘洋 尤逢海 吴凯

(北京航星机器制造有限公司,北京 100013)

文 摘 对铸造铝合金 ZL114A 开展热处理试验,研究了固溶温度、固溶时间、淬火水温、时效温度和时效时间等工艺参数对力学性能的影响,比较了铸态和固溶热处理后的组织变化,并优选出最佳的热处理工艺制度,540℃×14 h/水冷(55℃)+155℃×7.5 h/空冷,为后续的工业化生产提供了参考。

关键词 ZL114A,热处理,工艺参数,组织,力学性能

Heat Treatment Process of ZL114A Cast Aluminum Alloy

He Xiaojun He Zhiyong Liu Yang You Fenghai Wu Kai

(Beijing Hangxing Machinery Co., Ltd., Beijing 100013)

Abstract The effect of solution temperature, holding time, quenching water temperature, aging temperature and time on the mechanical property of ZL114A was investigated by heat treatment experiments. The microstructure of ZL114A before and after heat treatment was compared. The desirable heat treatment process was optimized: 540℃×14h/water quenching(55℃)+155℃×7.5h/air cooling, and could be the reference for the following industrial production.

Key words ZL114A, Heat treatment, Processing parameter, Microstructure, Mechanical property

0 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]。随着产品性能指标的提高,对 ZL114A 合金的综合性能尤其是塑性,提出了更高的要求。ZL114A 合金通过固溶时效热处理,可以提高材料的综合力学性能。目前,国内学者已研究不同工艺参数对 ZL114A 合金的铸造工艺、抗腐蚀和焊接性能的影响^[3-5],但尚未见对其固溶时效热处理工艺进行系统研究^[6],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、淬火水温、时效温度和时效时间等工艺参数对力学性能的影响,比较了铸态和热处理后组织的变化,并提出了最佳的热处理工艺制度。

1 实验

1.1 材料

材料为同一炉批号的铸造铝合金 ZL114A,其实测的化学成分如表 1 所示,该成分符合 HB5480^[7] 标准的相应要求。

表 1 ZL114A 合金的实测化学成分

Tab.1 Tested chemical compositions of ZL114A alloy wt%

Cu	Si	Fe	Mg	Mn	Ti	Be	Zn	Al
0.1	7.2	0.2	0.56	0.1	0.14	0.07	0.1	base

1.2 试验方法

试验材料在抽底式铝合金淬火炉进行淬火,在烘箱进行时效处理。调整其热处理工艺参数,分析不同工艺参数对 ZL114A 合金的力学性能和组织的影响,具体的热处理试验方案见表 2。

表 2 ZL114A 合金的热处理试验方案

Tab.2 Heat treatment processes of ZL114A alloy

方案	固溶温度 /℃	固溶时间 /h	冷却水温 /℃	时效温度 /℃	时效时间 /h
1	540	14	55	155	7.5
2	545	14	55	155	7.5
3	550	14	55	155	7.5
4	540	16	55	155	7.5
5	540	18	55	155	7.5
6	540	14	55	150	7.5
7	540	14	55	160	7.5
8	540	14	55	155	9
9	540	14	55	155	11
10	540	14	45	155	7.5
11	540	14	65	155	7.5

拉伸性能实验采用直径为 10 mm 的标准试样,在室温下通过 CMT5504 型电子万能试验机依据 GB/T228.1—2010 要求进行拉伸性能实验。表 2 中的每种试验方案各取三根测试样,测定其平均抗拉强度和

收稿日期:2013-05-03

作者简介:贺晓军,1976 年出生,高级工程师,主要从事金属材料及热处理工艺研究。E-mail:13621397236@139.com

延伸率,要求合金的力学性能需满足以下要求: $\sigma_b \geq 320$ MPa, $\delta_5 \geq 8\%$ 。采用江南 XJL-03 金相显微镜对试样进行显微组织观察,试样经机械研磨、抛光和浸蚀后进行观察,所用的浸蚀剂为 2% HF+3% HCl+5% HNO₃ 溶液,浸蚀时间为 10~20 s。

2 结果与分析

2.1 固溶温度的影响

图 1 为 ZL114A 合金铸态和不同固溶温度热处理后的组织。从图 1(a) 看出灰色片状是 Si 相,花纹及球状是 α +Si+Al₂Cu 或 α +Si+Mg₂Si 复杂共晶相。ZL114A 铸态合金经固溶热处理后,原枝晶状 Si 或长

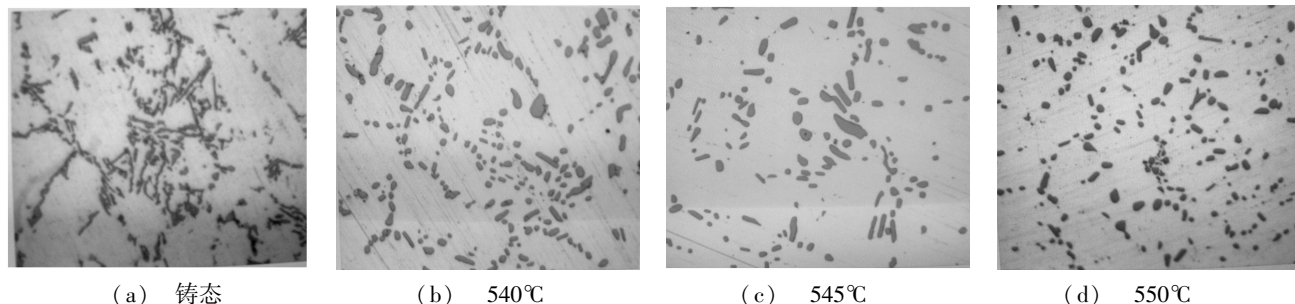


图 1 ZL114A 合金铸态和不同固溶温度热处理后的组织

Fig. 1 Microstructure of ZL114A alloy before and after solution treatment at different temperatures

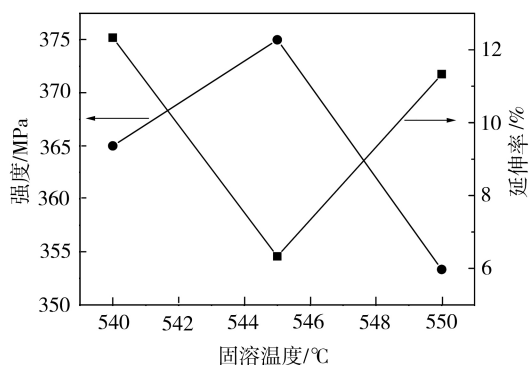


图 2 不同固溶温度对 ZL114A 合金力学性能的影响

Fig. 2 Mechanical property vs solution temperature of ZL114A alloy

2.2 固溶时间的影响

ZL114A 合金选用的固溶温度为 540°C,分别保温 14、16 和 18 h。图 3 为不同固溶时间对 ZL114A 合金力学性能的影响。

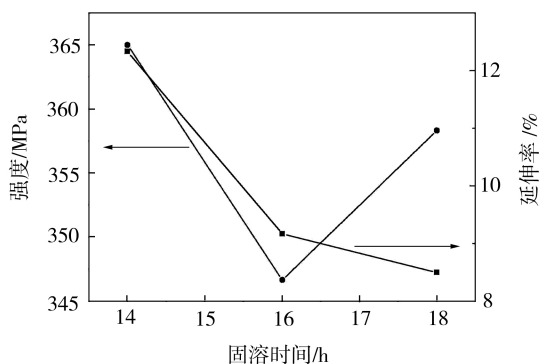


图 3 不同固溶时间对 ZL114A 合金力学性能的影响

Fig. 3 Mechanical property vs solution time of ZL114A alloy

条形 Si 相变成轮廓圆滑的球状 Si 相,局部浅灰色为 AlFeMnSi 相,Al₂Cu、Mg₂Si 等强化相溶入 α 基体。随着固溶温度的提高,共晶 Si 相的颗粒圆整度逐渐增加。540~550°C 固溶热处理后均无过烧组织。

图 2 为不同固溶温度对 ZL114A 合金力学性能的影响。由图 2 可知,随着固溶温度的提高,其抗拉强度先升高后降低,延伸率呈现相反的变化规律。当固溶温度为 550°C 时,ZL114A 合金的抗拉强度最高,而固溶温度为 540°C 时,其塑性最好。综合考虑强度和塑性的要求,ZL114A 合金的固溶温度取 540°C 为宜。

由图 3 可知,随着固溶时间的延长,其抗拉强度先降低后升高,而延伸率呈逐渐降低的变化规律。显然,在保温 14 h 的情况下,ZL114A 合金的强度和塑性同时为最高。

2.3 淬火水温的影响

ZL114A 合金采用相同的固溶处理制度:固溶温度为 540°C,固溶时间为 14 h,分别在 45、55 和 65°C 的水中进行淬火冷却,并在同一时效制度下进行工艺试验。图 4 为不同淬火水温对 ZL114A 合金力学性能的影响。由图 4 可知,随着淬火水温的提高,其抗拉强度先升高后降低,且在 55°C 时,ZL114A 合金的抗拉强度最高;而其延伸率呈逐渐提高的变化规律,当淬火水温为 65°C 时,其延伸率为最高。综合考虑强度和塑性的要求,ZL114A 合金的淬火水温取 55°C 为宜。

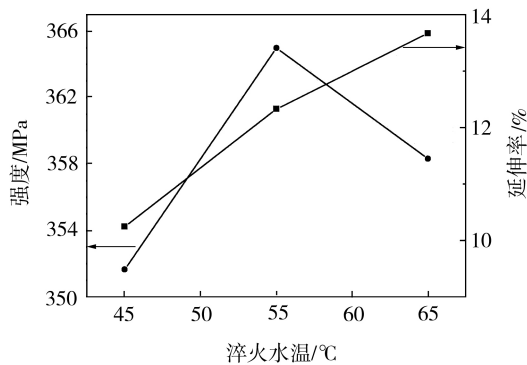


图 4 不同淬火水温对 ZL114A 合金力学性能的影响

Fig. 4 Mechanical property vs quenching temperature of ZL114A alloy

2.4 时效温度的影响

ZL114A 合金采用相同的固溶处理制度:固溶温度为 540℃,保温时间为 14 h,在 55℃ 水中进行淬火冷却,采用 150、155 和 160℃ 等时效温度和 7.5 h 时效保温时间进行试验。图 5 为不同时效温度对 ZL114A 合金力学性能的影响。由图 5 可知,随着时效温度升高,其抗拉强度和延伸率均呈现先升高后降低的变化规律。显然,ZL114A 合金的综合力学性能在 155℃ 时最好,在 160℃ 时效时,其延伸率低于 8%。

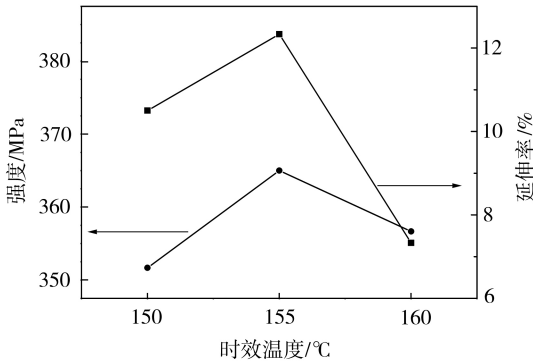


图 5 不同时效温度对 ZL114A 合金力学性能的影响

Fig. 5 Mechanical property vs aging temperature of ZL114A alloy

2.5 时效时间的影响

ZL114A 合金采用相同的固溶处理制度:固溶温度为 540℃,固溶时间为 14 h,在 55℃ 水中进行淬火冷却,采用 155℃ 时效温度,分别在 7.5、9 和 11 h 下进行试验,然后在空气中冷却。图 6 为不同时效时间对 ZL114A 合金力学性能的影响。由图 6 可知,随着时效时间的延长,其强度呈先降低后升高的变化规律,而延伸率则逐渐降低。在时效时间为 9 和 11 h 时,其延伸率均低于 8%。因此,ZL114A 合金的时效时间取 7.5 h 为宜。

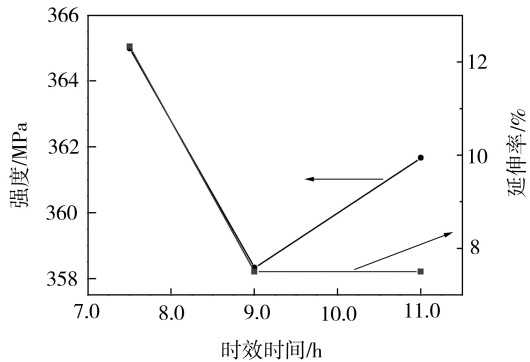


图 6 不同时效时间对 ZL114A 合金力学性能的影响

Fig. 6 Mechanical property vs aging time of ZL114A alloy

2.6 综合分析

表 3 为 ZL114A 合金不同热处理试验方案下的力学性能比较,其具体的性能结果见表 3。由表 3 可知,ZL114A 合金在 11 种不同热处理试验方案下的抗拉强度均大于 320 MPa,而第 2、7、8 和 9 方案下的延伸率均低于 8%,综合考虑强度和塑性的要求以及工业化生产的需要,建议 ZL114A 合金采用如下的热处理制度:固溶温度为 540℃,固溶时间为 14 h,淬火水温为 55℃,时效温度为 155℃,时效时间为 7.5 h。

表 3 不同热处理工艺方案对应的强度和塑性

Tab. 3 Tensile strength and plasticity of ZL114A alloy after different heat treatments

工艺方案序号	σ_b /MPa	δ_5 /%
1	365	12.3
2	375	6.33
3	353	11.3
4	347	9.17
5	358	8.50
6	352	10.5
7	357	7.33
8	358	7.50
9	362	7.50
10	352	10.3
11	358	13.7

3 结论

基于热处理工艺试验的结果,优选出最佳热处理工艺制度如下:540℃×14 h/水冷(55℃)+155℃×7.5 h/空冷。

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] 李卫超. 固溶温度和时间对 ZL114A 合金组织的影响[J]. 机械工程材料,2008,32(11):25-27
- [7] HB5480—91《高强度铝合金优质铸件》

(编辑 李洪泉)