

铝合金板材热处理过程控制

孙立君 杨江波

(江北机械工程有限公司, 孝感 432000)



摘要: 以某牌号铝合金板材热处理性能不合格问题为例, 介绍了材料特性和淬火时效热处理规律。结论认为淬火水温是影响固溶效果的重要因素, 高温季节水温过高是导致薄板产品淬火不充分以及时效后机械性能不合格的原因。

关键词: 铝合金板; 淬火时效; 过程控制

Heat-treatment Process Control about Aluminum Alloy Plate

Sun Lijun Yang Jiangbo

(Jiangbei Machinery Engineering Co., Ltd., Xiaogan 432000)

Abstract: Taking the unqualified performance after heat-treating of some aluminum alloy plate as an example, this paper introduces its material characteristic and quench-aging law when heat-treated. An conclusion is drawn that water temperature is an important factor which will work on solid solution effect when quenching. During high temperature season, excessively high water temperature can cause inadequate quenching and unqualified mechanic performance of the plate.

Key words: aluminum alloy plate; quench-aging; process control

1 引言

铝合金具有密度小、强度高、抗腐蚀、工艺成形性好等一系列突出优点, 是航空航天行业最常用的结构材料。本文以某牌号铝合金板材热处理性能不合格问题为例, 介绍了 7A09-H112 铝合金材料特性和淬火时效热处理规律。通过工艺试验对相关参数进行逐项分析, 优化工艺, 按新工艺对产品进行二次处理等一系列措施, 可以解决铝合金板材零件热处理性能不稳定的难题。

2 热处理情况介绍

某零件材料为 7A09-H112 $\delta 12$, 淬火时效后送随炉 3 片拉伸试片按照 GB/T3880—97 的要求做机械性能检测, 抗拉强度和屈服强度比标准值偏低; 按照工艺要求对一次淬火时效不合格的零件保温时间减半并进行二次淬火时效, 其机械性能仍然不合格, 具体数据见表 1。

表 1 二次淬火后材料的机械性能

要求	一次淬火时效			二次淬火时效		
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%
1	345	245	15	350	245	12
2	330	220	15	335	210	15
3	330	215	15	335	215	13
标准值	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4
工艺参数	475℃保温 50min, 30℃水温淬火; 135℃时效 8h30min			475℃保温 27min, 30℃水温淬火; 135℃时效 8h30min		

作者简介: 孙立君 (1973-), 本科, 机电一体化专业; 研究方向: 复合材料及其应用。
收稿日期: 2011-03-14

3 原因分析

对 7A09-H112 铝板淬火时效后机械性能不合格的原因进行了分析，主要因素为：a.淬火温度、保温时间选择不当；b.设备出现故障；c.过时效或欠时效；d.化学成分与标准不符；e.淬火冷却速度太慢。

3.1 淬火温度与保温时间

3.1.1 淬火温度

对于规格为 $\delta 12$ 的 7A09-H112 铝板，QJ/Z 127—84《变形铝合金的热处理》推荐的淬火温度为 $460\sim 475^{\circ}\text{C}$ ，保温时间为 $40\sim 80\text{min}$ 。工艺给定的淬火温度 $470\sim 475^{\circ}\text{C}$ 为上限范围。为验证淬火温度对淬火效果的影响，选取不同的淬火温度 475°C 、 490°C 、 510°C 对 $\delta 12$ 铝试片进行工艺试验，试验数据见表 2。

表 2 不同淬火温度下材料的机械性能

序号	475℃淬火保温 70min			490℃淬火保温 50min			510℃淬火保温 50min		
	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$
1	420	320	15	395	295	9	400	295	10
2	400	310	9.5	430	330	10	430	330	11
标准值	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4
其它参数	室温淬火（30~32℃），135℃时效 8h30min								

由表 2 可以看出， σ_b 、 $\sigma_{0.2}$ 均低于标准要求，说明当淬火温度达到满足固溶充分的温度范围后，在其它条件（如水温、时效制度等）不变的情况下，单纯地提高淬火温度对最终机械性能的改善效果不理想。为此判定工艺选定的淬火温度 $470\sim 475^{\circ}\text{C}$ 是合适的，不是导致淬火时效后机械性能偏低的原因。

3.1.2 保温时间

在其它参数不变的情况下，延长保温时间 20min，进行工艺试验，结果见表 3，机械性能变化不大。说明工艺选定的淬火保温时间亦是合适的。

表 3 不同保温时间后材料的机械性能

参数	保温 50min			保温 70min		
	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$
实测值	345	245	15	355	250	14
	330	220	15	360	245	14
	330	215	15	330	255	11.5
标准值	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4
工艺参数	475℃加热，30℃水温淬火；135℃时效 8h30min					

3.2 设备原因

铝合金热处理和检测设备均进行过测试和鉴定，满足国军标对设备的要求。同时，在生产该零件期间，也对其他铝合金零件进行过热处理，产品性能合格。因此可以判定设备不是导致零件淬火时效后机械性能不合格的原因。

3.3 过时效或欠时效

过时效或欠时效都可能导致零件的最终强度偏低。对于 7A09 铝板，QJ/Z 127—84《变形铝合金的热处理》推荐的人工时效参数为 $130\sim 140^{\circ}\text{C}$ ，保温 $8\sim 16\text{h}$ 。7A09 材料的零件选用参数为： 135°C 保温 8h30min。针对过时效和欠时效进行相应的工艺试验，具体情况见表 4。

表 4 过时效和欠时效材料的机械性能

序号	6h30min			8h30min			10h30min		
	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$
1	540	480	11.5	560	500	11	570	490	11
2	545	490	10	560	480	12	550	480	11
标准值	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4	≥ 490	≥ 410	≥ 4
其它参数	475℃保温 50min，22℃水温淬火，时效温度 135°C								

由表 4 的数据可以看出,时效时间在工艺选用的 $\pm 2\text{h}$ 范围内,均能使零件达到机械性能指标要求,同时也说明我们采用的 8h30min 为最佳时效参数。

3.4 化学成分

复查该炉批号材料,原材料化学成分符合标准要求,不是导致零件淬火时效后机械性能不合格的原因。

3.5 冷却速度太慢

冷却速度慢涉及两个因素:淬火转移时间过长、淬火水温偏高。

3.5.1 淬火转移时间

我厂选择淬火转移时间为 5~6s,标准要求 $\delta 12$ 规格的板材淬火转移时间一般应不大于 15s。因此设备淬火转移时间满足生产要求,不是导致产品机械性能不合格的原因。

3.5.2 淬火水温影响

水的淬火冷却特性与水温有关,冷却速度随水温的升高而降低。一方面,水温太低冷却能力大,工件内会产生较大的内应力,导致较大的淬火畸变或出现

淬火裂纹;另一方面,水温过高冷却能力小,固溶不充分得不到足够多的过饱和固溶体或者过饱和固溶体提前分解,会使时效后的强度显著下降。

根据观察和记录,夏季高温季节水温在 28~35℃ 波动。在 7 月高温季节生产的几炉产品机械性能均不合格,而在 5 月(水温 25℃ 左右)以相同参数处理的产品均合格。说明淬火水温是影响固溶效果的重要因素,高温季节水温过高是导致薄板产品淬火不充分,时效后机械性能不合格的主要原因。

4 工艺改进方案及试验情况

$\delta 12$ 规格铝板由于热容量较小,淬火冷却时表面和心部温度下降得都很快以至于过饱和固溶体容易分解,从而引起时效后强度偏低。为避免过饱和固溶体分解,可以进一步加快冷却速度即降低水温。为了验证判断,我们将水温分别调整为 20℃、24℃,其它参数保持不变,进行工艺试验,具体数据见表 5。

表 5 不同水温下材料的机械性能

淬火水温	机械性能			
	序号	σ_b/MPa	$\sigma_{0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$
24℃ (加冰)	1-1	570	500	10.5
	1-2	550	490	10
	1-3	570	500	10
	1-4	550	480	8
20℃ (加冰)	2-1	560	500	11
	2-2	560	480	12
标准值		≥ 490	≥ 410	≥ 4
工艺参数		475℃ 淬火保温 50min, 24℃、20℃ 分别淬火; 135℃ 时效 8h30min		

由表 5 可以看出,降低水温淬火,机械性能指标明显提高。说明水温高低是影响薄板淬火质量的重要因素,水温的高低直接决定是否固溶充分以及人工时效后的机械性能。

5 工艺改进措施

- a. 严格控制薄板($\delta 12$ 以下)淬火水温,将工艺规定的淬火前水温由 10~30℃ 调整为 10~25℃;
- b. 做好调整参数后产品机械性能的统计分析;
- c. 完善质量跟踪记录,把淬火水温作为一个重要

参数监控,并做好记录。

6 应用效果

对两件一次淬火时效不合格的零件同炉进行二次淬火时效,参数为: 475℃ 保温 25~27min, 22℃ 水温淬火; 135℃ 时效 8h30min。解剖其中一件加工为三片试片做机械性能检测,满足标准要求,判定合格,具体数据见表 6。由此可以确定经过二次淬火时效的另一件产品性能合格。

(下转第 47 页)

