

# 铝合金淬火使用聚合物淬火剂的应用研究

## Application Research of Using Polymer Glycols Quenching Medium in Heat Treatment of Al Alloy

史春玲<sup>1</sup>, 李海琴<sup>2</sup>

(1 西安飞机工业(集团)有限责任公司, 西安 710089;

2 青海民族学院, 西宁 810007)

SHI Chur ling<sup>1</sup>, LI Hai qin<sup>2</sup>

(1 Xi'an Aircraft Industry (Group) Company Ltd., Xi'an 710089,

China; 2 Qinghai National College, Xining 810007, China)

**摘要:** 针对铝合金淬火使用聚合物淬火剂进行了实验研究。配制了聚合物体积分数为 16% 和 33% 的淬火水溶液, 选择典型材料和零件进行了一系列对比实验。结果表明: 采用 33% 和 16% 两种体积分数的 AQ251 聚合物淬火剂得到的拉伸性能、电导率和耐蚀性与水淬比较无明显差别, 处于同一水平; 在聚合物冷却介质中淬火可以显著减小零件变形。

**关键词:** 聚合物淬火剂; 铝合金; 性能

**中图分类号:** TG166.3    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1001-4381(2010)01-0005-04

**Abstract:** The research of using the polymer glycols quenching medium in heat treatment of Al alloy was discussed. The water-polymer glycols quenching solution of concentration 16% and 33% were prepared. A series of comparative tests were carried out by using typical aluminum alloys and parts. The results show that the tensile performance, conductivity and corrosion resistance after heat treatment using polymer glycols quenching medium are in the same lever compared with quenching using water. Deformation of parts obviously decreased after quenching by using polymer glycols quenching medium.

**Key words:** polymer glycols quenching medium; aluminum alloy; property

在铝合金热处理中, 一般采用水作为淬火介质。但其冷却速度过快常造成零件严重变形和极大的内应力, 使校正工作量加大, 难度增加, 零件的表面质量也难以保证, 甚至会造成零件超差或开裂而报废, 这不仅造成巨大经济损失并且影响生产进度<sup>[1]</sup>。

使用聚合物水溶液淬火介质对铝合金零件淬火时, 会减小零件的初始冷却速度, 并且能对整个零件表面均匀冷却, 这样就能减小零件的变形和残余应力。因此, 聚合物淬火剂在国外航空工业获得了广泛应用。聚合物淬火剂可通过控制其在水中溶解的浓度使冷却速率在很宽的范围内变化, 这是其他淬火介质无可比拟的优点。用于铝合金薄板、带材、型材、管材和挤压制品淬火可显著地减小变形和残余应力<sup>[2]</sup>。

近代飞机破坏事故分析证明, 应力腐蚀的破坏占了很大比例, 减少残余应力以避免应力腐蚀是当前铝合金热处理工艺中急待解决的问题。采用聚合物淬火剂是否可以保证得到要求的淬火性能而且明显提高铝合金的抗应力腐蚀能力是本工作的研究重点。

## 1 实验内容及方法

### 1.1 实验用材料

2024 板材、7075 板材、7010 锻件和 LY12 两端收口的管子。

### 1.2 实验内容

#### 1.2.1 聚合物淬火剂的配制

采用好富顿公司的 AQ251 聚合物淬火剂, 分别配制聚合物体积分数为 16% ±1% 和 33% ±1% 的淬火水溶液, 以适应多种高强度铝合金锻件及不同厚度钣金件淬火的需要。

#### 1.2.2 性能检测

测试淬火后试样的电导率、拉伸性能、断裂韧性、应力腐蚀和晶界腐蚀等性能。

#### 1.2.3 管材变形量和表面残余应力测量

以 LY12 两端收口的管材零件为典型件, 测量聚合物与水淬后的变形量及表面残余应力状态。管件的尺寸为  $\phi 36\text{mm} \times 500\text{mm}$ , 壁厚 1.5mm。

### 1.3 实验设备

固溶处理和人工时效使用的设备是 RJJ-36-6 井式空气循环电炉。淬火介质分别为 20℃ 水和不同体积分数的聚合物。

采用 KHR-01 便携式冷却介质性能检测仪测试两种体积分数的聚合物冷却介质及 20、70℃ 水的冷却曲线。检测仪探头的加热温度为 500℃。

7010-T74 C 型环应力腐蚀实验在自制的简易试验机上进行, 试样的往复运动由步进电机执行, 浸入腐蚀介质的时间 (10min) 和在大气中的停留时间 (50min) 由仪表控制, 环境温度由仪表自动控制在 35℃ ± 1℃。腐蚀介质是用去离子水配制的 3.5% NaCl 水溶液。

2024-T42 和 7075-T73 拉伸应力腐蚀实验在自制的简易拉伸机上进行, 环境温度由仪表自动控制在 35℃ ± 1℃。加载应力按 0.75 $\sigma_{0.2}$  计算。

变量测量检测的是管件淬火后相对于理论外形的最大偏离量。LY12CZ 管子表面残余应力用 X 射线应力测量仪测定, 基本参数如下: Cu 靶,  $K_{\alpha 1}$ , 30kV, 8mA。测量时, 在测量管的左、中、右 3 个点上测量纵、横两个方向的残余应力。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 聚合物淬火剂与纯水的冷却性能

图 1 是 4 种冷却介质 500℃ 至室温的冷却曲线的综合比较。冷却介质的冷却特性可以从最大冷却速度

及其所对应的温度两个特征点进行比较。从图 1 可以看出, 水的最大冷速均大于聚合物, 20℃ 水的冷速最大, 为 91℃/s, 而 33% 体积分数聚合物的最大冷速最小, 为 51℃/s。20℃ 水最大冷速时的温度为 424℃, 33% 体积分数聚合物为 427℃, 16% 体积分数聚合物为 454℃。由此可知, 16% 体积分数聚合物最大冷速时的温度最高, 70℃ 水的最低, 20℃ 水和 33% 体积分数聚合物最大冷速时的温度只差 3℃。图 1 表明, 为降低冷却应力, 减少铝合金零件的变形, 33% 体积分数聚合物淬火介质的冷却特性在 4 种介质中是最好的。

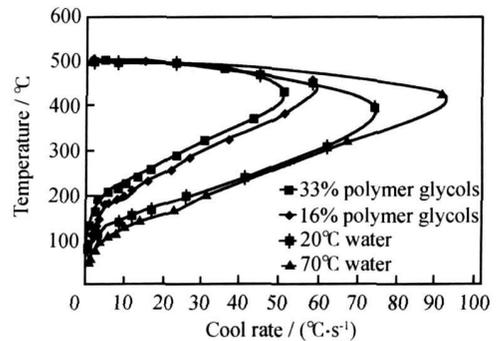


图 1 4 种冷却介质冷却曲线的比较

Fig. 1 Cooling curves of four kinds of quenching medium

### 2.2 电导率和拉伸性能

在每组试样上测量电导率值至少 5 点, 拉伸性能每组测量 3 个试样, 取其平均值。4 种铝合金热处理后电导率和拉伸性能测试结果见表 1。

表 1 热处理后铝合金的电导率和拉伸性能

Table 1 The tensile performance and conductivity after heat treatment

Material	Quenching medium	Conductivity / % IACS	$\sigma_t$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\delta$ / %
7010 T74	33% polymer glycols	38.9	546	493	12.6
	16% polymer glycols	39.2	541	484	9.5
	20℃ water	40.0	555	495	12.9
7075 T73	33% polymer glycols	41.3	528	469	10.5
	16% polymer glycols	41.7	526	464	10.9
	20℃ water	41.3	527	465	10.8
2024 T42	33% polymer glycols	31.9	459	285	21.6
	16% polymer glycols	32.0	458	284	20.9
	20℃ water	32.2	451	283	20.6
LY12CZ	33% polymer glycols	28.7	492		19.5
	16% polymer glycols	28.1	501		17.7
	20℃ water	28.7	510		18.0

从表 1 可以看出, 无论是电导率还是抗拉强度、屈服强度和延伸率都超过对应材料标准的规定。采用两种体积分数的聚合物淬火剂得到的电导率和拉伸性能与水淬比较无明显差别, 均处于同一水平。这说明采

用 33% 和 16% 两种体积分数的聚合物淬火剂能够满足这些材料和制品的淬火要求性能。

### 2.3 晶界腐蚀

采用 ASTM G 110—92( 对应 GB/T 7998—2005)

实验方法,对 2024-T42, 7075-T73, LY12CZ 三种铝合金进行了晶界腐蚀实验,结果见表 2。实验结果表明,

采用聚合物淬火剂使三种铝合金晶界腐蚀倾向稍微增大,但并没有使其抗晶界腐蚀能力级别降低。

表 2 三种铝合金晶界腐蚀实验结果  
Table 2 Test results of intergranular corrosion

Material	Quenching medium	Thickness / mm	Depth of intergranular corrosion / mm	Class	Requirement
2024-T42	33% polymer glycols	0.81	0.02-0.03	2	> 0.01-0.03
	16% polymer glycols		0.01-0.02	2	
	20°C Water		0.02-0.03	2	
7075-T73	33% polymer glycols	0.81	0.05-0.06	3	> 0.03-0.10
	16% polymer glycols		0.03-0.04	3	
	20°C water		0.03-0.04	3	
LY12CZ	33% polymer glycols	1.5	0		
	16% polymer glycols		0		
	20°C water		0		

### 2.4 断裂韧性

表 3 是 7010-T74 锻件的紧凑拉伸试样断裂韧性的测试结果。表 3 表明,在聚合物淬火剂和纯水中淬火试样的断裂韧性值都高于标准要求。

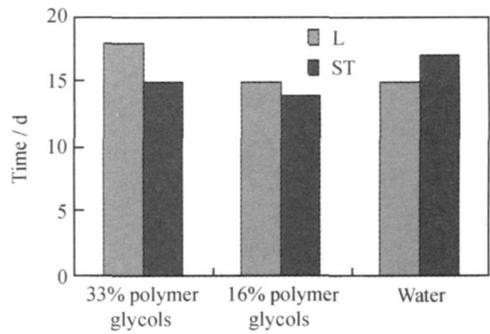


图 2 7010-T74 不同介质淬火、不同方向试样应力腐蚀出现裂纹天数比较

Fig. 2 Comparison of days of crack appearing on 7010-T74 specimens

表 3 7010-T74 锻件的断裂韧性的实验结果

Table 3 Fracture toughness test results of 7010-T74

No	Quenching medium	Direction	$K_{IC} / (MPa \cdot m^{1/2})$
1	33% polymer glycols	L	27.3
		ST	34.5
2	16% polymer glycols	L	30.9
		ST	41.3
3	20°C water	L	29.9
		ST	31.8
Requirement of		L	25
ABM3-403		ST	24

### 2.5 2024-T42, 7075-T73 和 7010-T74 的应力腐蚀性能

#### 2.5.1 7010-T74 C 型环应力腐蚀

图 2 是 7010-T74 不同介质淬火、不同方向试样 C 型环应力腐蚀出现裂纹的天数比较。可以看出,在纵向上 33% 聚合物的抗应力腐蚀性能高于 16% 聚合物和水,而 16% 聚合物和水的抗应力腐蚀性能没有差别。在短横向上水的抗应力腐蚀性能高于 33% 聚合物和 16% 聚合物,而 33% 聚合物和 16% 聚合物的抗应力腐蚀性能差别不大。

#### 2.5.2 2024-T42 拉伸应力腐蚀

2024-T42 拉伸应力腐蚀实验结果见表 4。结果表明,33% 体积分数的聚合物淬火试样的抗应力腐蚀性能最好,水淬试样的抗应力腐蚀性能最差。

表 4 2024-T42 拉伸应力腐蚀的实验结果

Table 4 Tensile stress corrosion test results of 2024-T42

No	Quenching medium	Time / h	Average / h
1		2052	
2	33% polymer glycols	2056	2057
3		2064 (no crack)	
4		2052	
5	16% polymer glycols	1840	1814
6		1641	
7		1722	
8		864	
9	20°C water	711	840
10		1014	
11		774	

#### 2.5.3 7075-T73 拉伸应力腐蚀

7075-T73 拉伸应力腐蚀实验结果见表 5。由此可见,33% 体积分数的聚合物淬火试样的抗应力腐蚀性能最好,水淬试样的抗应力腐蚀性能最差。

表 5 7075-T73 拉伸应力腐蚀的实验结果

Table 5 Tensile stress corrosion test results of 7075-T73

No	Quenching medium	Time / h	Average / h
1		1512(no crack)	
2	33% polymer glycols	1512(no crack)	1492
3		1512(no crack)	
4		1433	
5		1512(no crack)	
6	16% polymer glycols	1512(no crack)	1416
7		1328	
8		1315	
9		1512(no crack)	
10	20°C water	1512(no crack)	1376
11		1105	

表 6 LY12CZ 管子淬火变形量

Table 6 Deformation of LY12CZ tubes after quenching

Quenching medium	Deformation / mm	Quenching medium	Deformation / mm	Quenching medium	Deformation / mm
	0.28		0.95		1.27
33% polymer glycols	0.68	16% polymer glycols	0.38	20°C water	0.57
	0.47		0.42		0.45
	0.28		0.65		1.52
	0.90		0.78		2.02
Average	0.52	Average	0.64	Average	1.17

表 7 LY12CZ 管子表面残余应力测定

Table 7 Measurement for surface residue stress on LY12CZ tubes

Quenching medium	Direction	Stress / MPa (left)	Stress / MPa (middle)	Stress / MPa (right)
33% polymer glycols		- 65.82±63.86	- 30.35±30.91	67.34±49.30
16% polymer glycols	L	- 111.36±45.82	- 74.23±50.06	73.05±77.41
20°C water		26.21±42.51	- 24.73±77.03	- 33.26±30.95
33% polymer glycols		- 141.67±9.96	- 119.54±61.57	- 35.47±36.78
16% polymer glycols	ST	111.59±10.07	- 49.17±62.80	- 75.58±67.77
20°C water		- 0.71±50.10	- 94.73±40.23	- 23.86±97.54

### 3 结论

(1) 7010 锻件、7075 板材、2024 板材和 LY12 管材等铝合金及其制品在三种冷却介质中淬火得到的电导率、抗拉强度、屈服强度和延伸率都高于标准规定,而且处于同一水平。

(2) 两种体积分数的冷却介质使试样的晶界腐蚀倾向稍微增大,但并没有使其抗晶界腐蚀能力级别降低。

(3) 7010-T74 锻件在 16% 体积分数的聚合物冷却介质中淬火试样的断裂韧性优于纯水和 33% 体积分数的聚合物冷却介质,且都高于标准要求。

(4) 2024-T42 和 7075-T73 板材在 33% 体积分数的聚合物淬火试样的抗拉伸应力腐蚀性能最好,水淬试样的抗拉伸应力腐蚀性能最差。

### 2.6 聚合物淬火与水淬的变形量和表面残余应力状态的比较

LY12CZ 管子淬火后变形量测量结果见表 6。表 6 表明,33% 体积分数聚合物介质中淬火的管子的平均变形量最小,为 0.52mm,比 20°C 水中淬火的变形量减小了 55.5%;而 20°C 水中淬火的管子的平均变形量最大,为 1.17mm。

用 X 射线法测定了 LY12CZ 管子左端、中间、右端位置的表面残余应力,其测量结果见表 7。

表 7 表明,在 33% 体积分数聚合物介质中淬火的管子表面残余压应力最大,16% 的次之,在 20°C 水淬的管子表面残余应力为拉应力。

(5) 33% 体积分数聚合物介质中淬火的管子的平均变形量最小,20°C 水淬的管子的平均变形量最大。在聚合物冷却介质中淬火可以显著减小零件变形。

#### 参考文献

- [1] 胥维勋. 铝合金的淬火工艺与残余淬火应力 [J]. 航天工艺, 1989, (8): 12-15.
- [2] 吴瑞豪, 冯敏. B757 飞机铝合金零件聚合物淬火 [J]. 金属热处理, 2001, (1): 48-50.

收稿日期: 2009-05-19; 修订日期: 2009-10-27

作者简介: 史春玲(1965—), 女, 高级工程师, 长期从事金属材料及热处理的工艺研究和应用工作, 联系地址: 西安市阎良区西飞大道一号西飞公司制造工程部冶金室(710089), E-mail: scfshichunling@163.com