

# 聚合物淬火剂 Aquatensid BW 工艺试验及应用

## Test and Application of Polymer Quenchant Aquatensid BW

成都飞机工业(集团)有限责任公司 李国庆 吴瑞豪

**[摘要]** 为了在铝合金热处理时使用聚合物淬火剂,对 Aquatensid BW 聚合物淬火剂进行了工艺试验:测定了冷却速度曲线、电导率、机械性能和冶金性能等,试验为正确使用聚合物淬火剂提供了依据,并在此基础上对 6061 铝合金零件进行了试生产。

**关键词:** 聚合物淬火剂 固溶+时效处理 热处理

**[ABSTRACT]** For using the polymer quenchant during the heat treatment of aluminum alloy, several tests of the polymer quenchant of Aquatensid BW are conducted, including the measurement of cooling rate curve, conductivity, mechanical properties and metallurgy properties, etc. The results provide a guideline to choose polymer quenchant, and on this basis Aquatensid BW is used in the heat treatment of 6061 Aluminum Alloy parts.

**Keywords:** Polymer quenchant Solution and aging Heat treatment

工件淬火时,能否获得所期望的组织与淬火时的冷却速度有很大的关系。淬火时,实际冷却速度与临界冷却速度间的关系,对特定成分钢的淬透层深度具有决定性的影响。对于铝合金热处理而言,合适的冷却速度应是既可以获得过饱和固溶体,又能使零件的变形降至最低。因此在热处理过程中,冷却速度取决于工件尺寸和淬火冷却技术。为满足铝合金零件热处理的需要,对由德润宝公司(PETROFER Industrial Oils And Chemical)生产的聚合物淬火剂 BW 进行测定、比较和评价,以便为进一步推广使用提供依据,并在 6061 铝合金零件热处理时投入使用。

### 1 铝合金热处理工艺和冷却介质

铝合金热处理的基本形式是退火和固溶(淬火)时效。淬火时效是铝合金的强化处理方式,铝合金淬火的目的是把合金在高温状态下的固溶体组织固定到室温,获得过饱和固溶体以便在随后的时效中使合金强化。为了达到这一目的,在热处理工艺参数中除

了对淬火加热温度和时间、时效温度和时间的基本工艺参数需控制外,淬火转移时间和冷却速度也很关键。为防止由于零件温度下降而导致固溶体部分分解,在生产中要求尽可能缩短淬火转移时间。如美国 MIL-H-6088《铝合金热处理》说明书中就对不同铝件的厚度规定了各自的最长淬火转移时间,一般在 5~15s 内,而为保证铝合金一定的冷却速度,在生产中通常用水作为淬火介质。水作为淬火介质有廉价、来源广、用途广泛且冷却迅速等优点,但对大多数铝合金零件来说,冷却速度过分迅速会造成严重变形和极大的应力,增加校形工时甚至引起零件超差和报废。

鉴于以上原因,聚合物淬火剂应运而生,这些淬火剂均需经水稀释后使用。近年来,聚合物水溶液淬火介质种类得到了较大的发展,大致为:聚乙醇、聚乙烯醇、聚丙烯酸钠、聚乙烯吡咯、聚乙烯恶唑林等,聚合物淬火剂的重要特性就是具有逆溶性,即在冷水中溶解而在大于 75℃ 的热水中反而不溶解。利用这一特性,当加热了的金属零件淬入聚合物淬火剂时,就在金属表面上沉积了一层起着隔热作用的均匀液态隔膜,故降低了零件的冷却速度。随着工件冷却,膜又逐渐溶解使工件表面导热均匀,从而减少了由于冷却不均匀而造成的变形、开裂现象。因此,聚合物淬火剂在国外航空领域获得了广泛应用。

### 2 工艺试验内容

在工艺试验中选择 Aquatensid BW 水基淬火液,该淬火液为粘性无毒的绿色溶液,不含亚硝酸盐,与水混合后配制成一定浓度的溶液即可使用,且对水的硬度无特殊要求。

#### 2.1 聚合物淬火剂的浓度配制

聚合物淬火剂的配制按体积百分比进行配制,将 Aquatensid BW 水基淬火剂与水按一定的比例混合,配制成不同浓度的聚合物淬火剂,充分搅拌后,用型号为 WYT-III 的手持折光仪测定其浓度。

#### 2.2 不同浓度聚合物淬火剂的运动粘度

为便于生产现场检测,我们借用涂料粘度测定方法,用 4 号标准运动粘度测试杯对不同浓度的聚合物

淬火剂进行运动粘度测试,结果见表1。

表1 20℃ Aquatensid BW 聚合物淬火剂的运动粘度

淬火剂浓度/ (%)	运动粘度/s			
	第1次	第2次	第3次	平均值
5	11.9	12.2	12.2	12.1
10	12.0	12.0	12.0	12.0
15	12.1	12.1	12.1	12.1
20	12.9	12.9	12.9	12.9
25	13.2	13.1	13.1	13.1
30	14.0	14.2	14.0	14.1
35	15.3	15.3	15.3	15.3
40	17.0	17.0	17.0	17.0
45	18.8	18.8	18.6	18.7
50	21.6	21.2	21.4	21.4

### 2.3 不同浓度的聚合物淬火剂的冷却曲线测定

用瑞典的 ivf quenchotest 冷却速度测量仪对不同浓度的聚合物淬火剂进行冷却速度测量。其冷却特性参数见表2。

### 2.4 热处理工艺及检测

选用国产铝合金材料 LY12、LC4 进行水淬和聚合物淬火的对比热处理试验。每种规格材料选6片试样,分为2组,每组3片,分别在固溶处理时进行水淬和聚合物(22%)淬火。又对 LY12-80.8 取6片,每组3片,分别做15%和32%浓度的聚合物淬火。热处理工艺数据见表3。

试样热处理后按以下顺序进行检测:变形检查→

表2 不同浓度下的冷却速度

浓度/ %	最大冷速/ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ )	最大冷速 对应温度/ $^{\circ}\text{C}$	800→300 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$	300 $^{\circ}\text{C}$ 冷速/ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$ )
5	227	696	3.1	75
10	199	700	4.0	50
15	185	707	4.4	49.1
20	156	722	4.9	45.0
22	155	721	4.9	45.4
25	109	667	6.2	46.5
30	84	646	7.5	46.2
35	73	453	9.5	45.7
40	62	418	9.7	44.3
45	52	503	10.6	35.4
50	41	397	14.6	32.2

表3 热处理工艺数据

试样 材料	厚度/ mm	固溶处理 工艺	时效	最终 状态
LY12	0.8	(495±5) $^{\circ}\text{C}\times 15\text{min}$	室温, ≥96h	MCZ
LY12	1.8	(495±5) $^{\circ}\text{C}\times 22\text{min}$	室温, ≥96h	MCZ
LY12	3.5	(495±5) $^{\circ}\text{C}\times 35\text{min}$	室温, ≥96h	MCZ
LC4	2.0	(470±5) $^{\circ}\text{C}\times 28\text{min}$	120 $^{\circ}\text{C}$ , 24h	MCS

电导率测试→硬度测试→力学性能测试→水(聚合物)淬火试片中屈服强度最低的试片作晶间腐蚀试验→水(聚合物)淬火试片中延伸率最低的试片做高温氧化试验。

### 2.5 试验结果和分析

试样电导率和硬度测试结果见表4;试样拉伸性能及冶金性能见表5。为对可能使用的聚合物淬火剂浓

表4 在 BW 淬火剂和水中淬火的铝合金电导率和硬度

试样材料	厚度/mm	电导率, IACS/%		硬 度	
		水	Aquatensid BW 淬火剂 22%	水	Aquatensid BW 淬火剂 22%
LY12-MCZ	0.8	31.5~32.5	31.1~32.0	HR15T 81.0~82.5	HR15T 80.5~82.5
		31.2~32.2	31.0~31.5	HR15T 80.5~82.0	HR15T 80.0~82.5
		31.2~32.2	31.2~31.5	HR15T 80.5~82.5	HR15T 80.0~82.0
LY12-MCZ	1.8	32.0~32.5	32.0~33.8	HRB 57.5~60.0	HRB 58.0~60.5
		32.0~33.0	32.2~33.2	HRB 57.5~60.0	HRB 58.0~60.0
		32.2~33.0	31.2~32.2	HRB 57.0~59.5	HRB 58.5~61.0
LY12-MCZ	3.5	33.0~34.0	33.2~35.5	HRB 60.5~64.5	HRB 63.0~65.0
		33.2~34.0	33.2~35.0	HRB 60.4~64.3	HRB 62.5~65.0
		33.0~35.0	33.5~35.0	HRB 60.5~64.5	HRB 63.0~65.5
LC4-MCS	2.0	33.5~34.8	33.2~35.2	HRB 79.0~84.0	HRB 79.0~84.0
		31.8~33.5	34.2~35.5	HRB 79.0~84.0	HRB 79.0~84.0
		33.2~34.5	33.8~35.5	HRB 79.5~84.5	HRB 79.0~84.0

表5 力学性能和冶金性能测试数据

试样材料及厚度/mm		$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_{0.2}$ /MPa		$\delta_{10}$ /%		晶间腐蚀		高温氧化	
		水	聚合物 22%	水	聚合物 22%	水	聚合物 22%	水	聚合物 22%	水	聚合物 22%
LY12-MCZ 0.8	435	440	265	270	23	23	无	无	无	无	
	440	440	275	265	21	22					
	440	445	270	275	21	19					
LY12-MCZ 1.8	425	430	265	270	21	22	无	无	无	无	
	425	430	265	270	20	22					
	420	435	265	270	21	20					
LY12-MCZ 3.5	440	455	275	285	21	22	无	无	无	无	
	440	455	280	285	21	22					
	445	455	280	290	21	21					
LY12-MCZ 2.0	535	535	470	470	15	14	无	无	无	无	
	535	535	475	470	14	14					
	540	535	475	465	15	14					
技术规范 GJB2053-99		$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_{0.2}$ /MPa		$\delta_{10}$ /%		晶间腐蚀 SAE-AMS-6088H		高温氧化 SAE-AMS-6088H	
材料	厚度/mm										
LY12-MCZ	0.5~0.8	$\geq 390$		$\geq 245$		$\geq 15$		无	无		
	>0.8~2.5	$\geq 390$		$\geq 255$		$\geq 15$					
	>2.5~6.5	$\geq 410$		$\geq 265$		$\geq 12$					
LC4MCS	1.0~2.5	$\geq 470$		$\geq 390$		$\geq 7$		无	无		

表6 在 15%和 32% BW 淬火剂中淬火的铝合金电导率和硬度

试样材料	厚度/mm	电导率,IACS/%		硬度	
		15% Aquatensid BW 淬火剂	32% Aquatensid BW 淬火剂	15% Aquatensid BW 淬火剂	32% Aquatensid BW 淬火剂
LY12-MCZ	0.8	32.5~33.0	33.0~33.5	HR15T 81.5~82.5	HR15T 80.5~81.5
		32.5~33.0	33.0~33.7	HR15T 81.0~82.0	HR15T 81.0~82.0
		33.0~33.5	33.0~33.2	HR15T 80.5~81.5	HR15T 80.0~82.0

表7 力学性能和冶金性能测试补充数据

试样材料及厚度/ mm	$\sigma_b$ /MPa		$\sigma_{0.2}$ /MPa		$\delta_{10}$ /%		晶间腐蚀		高温氧化	
	聚合物 15%	聚合物 32%	聚合物 15%	聚合物 32%	聚合物 15%	聚合物 32%	聚合物 15%	聚合物 32%	聚合物 15%	聚合物 32%
	LY12-MCZ0.8	435	430	275	275	19	19	无	无	无
	435	435	275	275	20	17				
	430	430	270	270	18	20				

度进行摸底试验,又选择了 15%和 32%浓度的聚合物淬火剂进行了对比试验。试验结果见表 6 和表 7。

### 3 应用实例

以某公司委托我公司进行的排风罩锻造零件热处理为例,该零件材料牌号为 6061。6061 属 Al-Mg-S 系合金,具有优良的热塑性,用于生产锻件,也用于要求耐腐蚀的大型结构件,一般在固溶处理+人工时效

状态下使用,该合金对冷速不如 2024 敏感。因此,国外也用喷雾淬火的方法来减少零件变形,但必须有专用设备。该零件数控加工为变截面,零件外形尺寸如图 1,要求按 AMS2770《变形铝合金零件的热处理》、AMS-H-6088《铝合金热处理》对该零件进行聚合物淬火并时效,并按 Hamilton Standard 454《对铝合金热处理程序规定》进行硬检和电导率检测。

