

# 汽车用结构件7108挤压铝合金预时效制度研究

杨明 李春柳 祝哮 潘岩 蒋鑫伟

(辽宁忠旺集团有限公司,辽阳 111000)

**摘要:**为稳定汽车用7系挤压铝合金结构件产品挤压状态下的力学性能,提高后续深加工的成材率,采用某新能源汽车用结构件7108挤压铝合金型材作为试验用料,进行3个阶段处理,分别是自然时效、预时效及预时效+人工时效,并确认了适用于汽车用结构件7108挤压铝合金的最优预时效制度及预时效对后续人工时效后力学性能及晶间腐蚀性能的影响,结果表明:预时效可有效控制7108铝合金型材自然状态下的力学性能涨幅,提高产品可加工性能。

**关键词:**7108铝合金 预时效方法 力学性能 晶间腐蚀

**中图分类号:**U465.2\*2 **文献标志码:**B **DOI:**10.19710/J.cnki.1003-8817.20240413

## Study on Pre-Aging System of 7108 Extruded Aluminum Alloy for Automotive Structural Parts

Yang Ming, Li Chunliu, Zhu Xiao, Pan Yan, Jiang Xinwei

(Liaoning Zhongwang Group, Liaoyang 111000)

**Abstract:** To stabilize mechanical property of automotive structural components made of 7-series extruded aluminum alloy, and enhance the finished product rate for subsequent deep processing, this study uses the 7108 extruded aluminum alloy profile of the structural part for new energy vehicles as the test material, conducts three stages of processing, including natural aging, pre-aging and pre-aging + artificial aging, and confirms the influence of the optimal pre-aging system and pre-aging of 7108 extruded aluminum alloy profile of automotive structural part on the mechanical properties and intergranular corrosion resistance of subsequent artificial aging. The results indicate that pre-aging can effectively control the increase in mechanical properties of 7108 aluminum alloy profiles under natural conditions, thereby improving the machinability of the product.

**Key words:** 7108 aluminum alloy, Pre-aging method, Mechanical properties, Intergranular corrosion

## 1 前言

随着环境及能源问题日益突出,节能减排是未来汽车行业的发展方向,铝代替钢可有效减轻汽车质量,达到节约能源的目的,因此,汽车用结构件采用铝合金已得到国内外汽车主机厂的广泛认可<sup>[1-3]</sup>。汽车用结构件铝型材通常需要弯曲、冲压及拉铆接等深加工工序,而7系Al-Zn-Mg合

金挤压成型后自然停放力学性能涨幅较大,导致成型性较差,影响深加工效果。为避免铝合金自然时效的不利影响,针对铝合金自然时效过程,提出了预时效概念<sup>[4-5]</sup>。目前,国内预时效制度的研究大多针对6系铝合金,对7系铝合金的预时效制度研究较少,因此,本文探究了一种预时效制度,抑制7108铝合金自然时效涨幅的效果,优化了汽车用结构件7108合金型材的加

**作者简介:**杨明(1990—),男,高级工程师,硕士学位,研究方向为铝挤压产品工艺开发。

**参考文献引用格式:**

杨明,李春柳,祝哮,等.汽车用结构件7108挤压铝合金预时效制度研究[J].汽车工艺与材料,2025(7):62-66.

YANG M, LI C L, ZHU X, et al. Study on Pre-Aging System of 7108 Extruded Aluminum Alloy for Automotive Structural Parts[J]. Automobile Technology & Material, 2025(7): 62-66.

工性能。

## 2 试验材料与方法

### 2.1 试验材料及准备

以某新能源汽车用结构件挤压铝型材作为试验用料,合金成分满足 EN-573 Aluminium and aluminium alloys—Chemical composition and form of

wrought products—Part 3: Chemical composition and form of products 中 7108 铝合金成分要求,在 2 000 t 卧式单动挤压机上进行挤压生产,模具采用蝶形组合模设计结构,铸锭渣含量满足 GB/T 32186—2015《铝及铝合金铸锭纯净度检验方法》中的二级要求,并充分均匀化处理,7108 合金成分如表 1 所示,挤压工艺参数如表 2 所示。

表 1 试验材料的化学成分(质量分数)

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr	Al
质量分数	0.10	0.10	0.05	0.05	0.9~1.3	4.6~5.3	0.05	0.18~0.23	余量

表 2 挤压工艺参数

铸锭类别	铸锭温度 $T$ / $^{\circ}\text{C}$	挤压速度 / $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	入淬温度 / $^{\circ}\text{C}$	淬火方式
7108	475~505	3~6	$\geq 510$	穿水

### 2.2 试验方法及检测设备

将挤压成型并在线淬火后的 7108 合金试验料样分 3 个阶段进行处理,分别是自然时效、预时效及预时效+人工时效,其中,预时效需型材在线挤压成型后的 24 h 内测试,将预时效之后的料样分别停放 1~10 天并测试力学性能,以评价预时效制度抑制自然时效性能涨幅的效果,确定适用于汽车用结构件 7108 挤压铝合金的最优预时效制度。然后,将经预时效的试验料样经双级人工时效处理,并进行力学性能测试,验证预时效是否会对终端人工时效的产品性能产生不利影响。最后,选取最优预时效制度+人工双级时效处理后的料样进行晶间腐蚀性能测试,为终端产品的综合性能分析提供参考依据,具体试验预时效处理及人工时效处理制度如表 3 所示。

采用日本岛津的电子拉力试验机(型号为 AG-X, 250 kN),按照 GB/T 228.1—2021《金属材料拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》对型材试样进行力学性能检测,拉伸试样夹持端宽度为 20 mm,平行段长度为 70 mm,拉伸段宽度为 12.5 mm,拉伸速率为 5 MPa/s。按照 ISO 11846: 1995 Corrosion of metals and alloys—Determination of resistance to intergranular corrosion of solution heat-treatable aluminium alloys 中的方法 B 对试验料样进行晶间

腐蚀试验,先将试样进行预处理,在温度为 50~60  $^{\circ}\text{C}$  的 NaOH 溶液(质量分数为 5%~10%)中浸泡 2~5 min,再在浓  $\text{HNO}_3$  溶液(密度为 1.4 g/mL)中浸泡 2 min,最后用水洗净,完成预处理后将试样在室温下浸泡 24 h,浸泡溶液含有 30 g/L 的 NaCl 和 10 mL $\pm$ 1 mL 的浓盐酸(密度为 1.19 g/mL),随后按照 GB/T 3246.1—2024《变形铝及铝合金制品组织检验方法 第 1 部分:显微组织检验方法》处理试样并采用光学显微镜高倍观察腐蚀深度。

表 3 不同预时效处理制度

时效方法	序号	时效制度
自然时效	1	停放 1~10 天
低温预时效	2	(60~80 $^{\circ}\text{C}$ ) $\times$ (1~3 h)+停放 1~10 天
中温预时效	3	100 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ (1~3 h)+停放 1~10 天
高温预时效	4	120 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ (1~3 h)+停放 1~10 天
低温预时效+人工时效	5	(60~80 $^{\circ}\text{C}$ ) $\times$ 3 h+(105 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 8 h+175 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 7 h)
中温预时效+人工时效	6	100 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 3 h+(105 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 8 h+175 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 7 h)
高温预时效+人工时效	7	120 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 3 h+(105 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 8 h+175 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 7 h)
未预时效+人工时效	8	105 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 8 h+175 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 7 h

## 3 试验结果及分析

### 3.1 自然时效性能检测结果

试验材料经挤压成型和在线淬火后,室温停放 1~10 天后的力学结果如表 4 所示。

表4 自然时效处理后力学性能结果

停放时间/天	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
1	167	310	16
2	195	321	20
3	203	336	19
4	207	340	20
5	209	340	22
6	211	346	24
7	218	344	22
8	222	356	19
9	229	362	19
10	233	370	18

由表4可知:自然时效停放10天,力学性能呈递增趋势,屈服强度提高66 MPa,涨幅约为40%;停放前5天,屈服强度提高42 MPa,涨幅约为25%。汽车用结构件7108挤压铝合金型材,自然停放涨幅较大,原因为7108铝合金属于高合金化硬质铝合金,淬火敏感性较高,高温固溶并快速冷却后,基体中固定了大量空位,在高浓度空位的驱动下,过饱和固溶体迅速析出溶质团簇,导致自然停放状态力学性能迅速提高,对后期型材深加工工艺的稳定性产生了不利影响,所以研究一种预时效制度抑制自然停放涨幅效果势在必行。

### 3.2 预时效制度研究

试验料样经低温预时效60 °C×1 h、60 °C×2 h、60 °C×3 h、80 °C×1 h、80 °C×2 h、80 °C×3 h处理后,停放1~10天的力学性能结果如图1a、图1b所示;经中温预时效100 °C×1 h、100 °C×2 h、100 °C×3 h处理后停放1~10天的力学性能结果如图1c所示;经高温预时效120 °C×1 h、120 °C×2 h、120 °C×3 h处理后停放1~10天的力学性能结果如图1d所示。

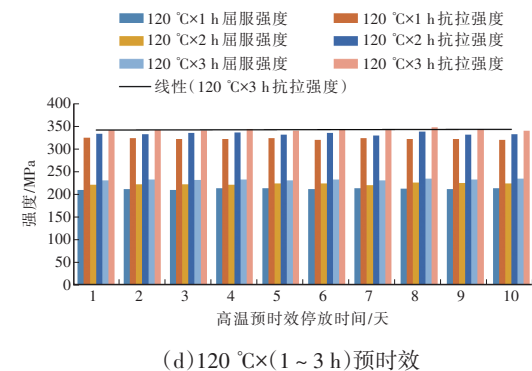
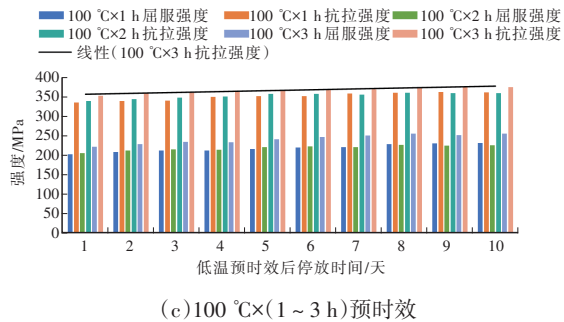
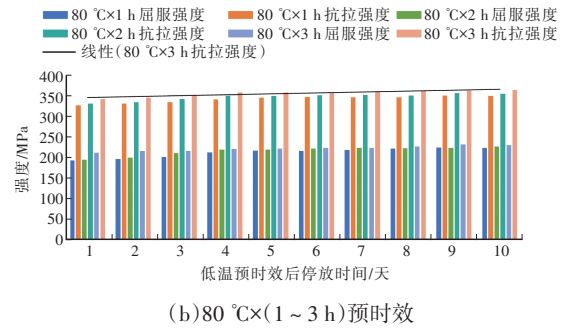
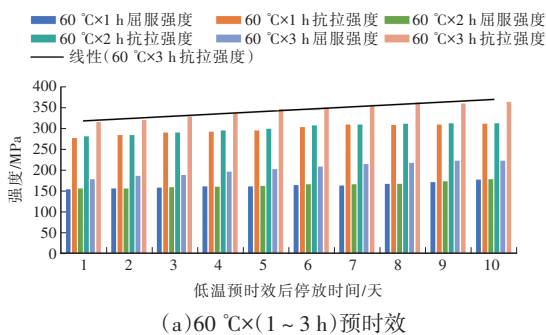


图1 预时效处理后停放1~10天的力学性能

由图1可知,随着预时效温度的升高及保温时间的延长,力学性能逐渐升高。试验料经中、高温预时效制度处理后停放1~10天,力学性能无明显变化,呈现平稳态势,可有效抑制自然停放涨幅。而低温预时效制度对试验料自然停放涨幅的抑制能力较中、高温预时效低,停放10天后,屈服强度涨幅约为15%,抗拉强度涨幅约为12.5%,但均优于未预时效处理的料样。

以上结果的原因为7108挤压成型后的铝合金经预时效后,基体中会优先析出一部分溶质团簇,形成早期的原子团簇,即早期β"相,此时,铝合金固溶体中的过饱和程度有所降低,进而在后期停放过程中,第二相的析出动力减弱,表现出比自然时效更稳定的增长趋势。低温预时效阶段,过饱和固溶体中的溶质析出较少,溶质原子的析出动力没有完全释放,在后期停放过程中会

有小幅提升,随着时效温度的升高及保温时间的延长,第二相析出形成的原子团簇会更加密集,浓度更高,从而使固溶体过饱和程度更低,后期力学性能会更加稳定。因此,高温预时效可使7108挤压铝合金型材性能更加稳定,但汽车用结构件产品均需后期深加工,如冲压、弯曲及铆接等,预时效温度较高会使型材初始力学性能偏高,塑性及韧性降低,后期深加工易造成裂纹、橘皮等质量缺陷。

综上所述,鉴于汽车用结构件的特定属性,中温预时效制度即100℃×3h为适用于汽车用结构件7108挤压铝合金的最优预时效制度。

### 3.3 预时效+人工时效处理后的力学性能

汽车用结构件铝合金制品通常经深加工制备为总成产品后需经人工时效,使产品具有较优的力学性能,但汽车用结构件7系挤压铝合金产品经预时效后,是否对最终人工时效后的力学性能产生影响的研究较少,因此,对7108挤压铝合金制品经预时效+人工时效后的力学性能进行试验,结果如表5所示。

由表5可知,未预时效及经低、中、高温预时效试验料样再经双级人工时效后,力学性能无明显变化,说明预时效对终端人工时效后的力学性能无明显影响。分析其原因因为在预时效阶段,过饱和固溶体中溶质原子析出形成的原子团簇或初始吉尼尔·普雷斯顿(Guiner Preston, GP)区仅为少量

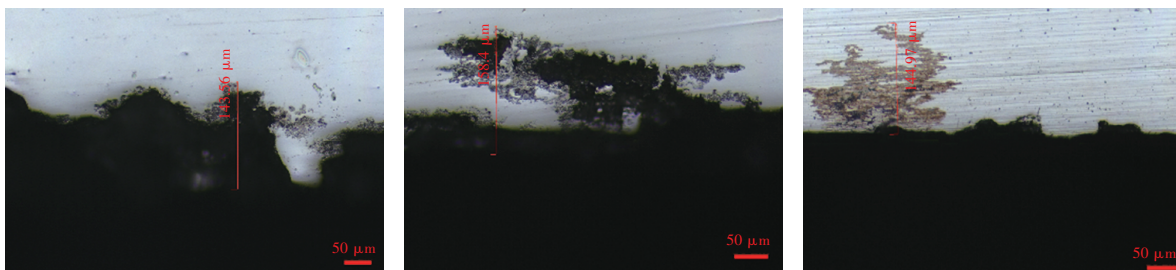
的第二相析出,在双级人工时效阶段,先期析出的溶质团簇经历回溶再析出的过程,从而抵消预时效第二相的析出过程,对最终人工时效未产生较大的影响。

表5 预时效+人工时效后力学性能结果

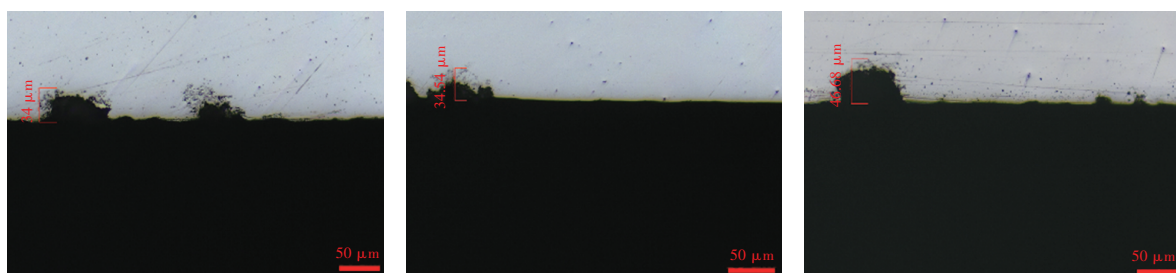
时效方法	时效制度	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
低温预时效	(60℃×3h)+(105℃×8h+175℃×7h)	303	345	22
	(80℃×3h)+(105℃×8h+175℃×7h)	302	345	20
中温预时效	(100℃×3h)+(105℃×8h+175℃×7h)	303	346	19
高温预时效	(120℃×3h)+(105℃×8h+175℃×7h)	304	346	22
未预时效	105℃×8h+175℃×7h	303	346	20

### 3.4 预时效+人工时效处理后的晶间腐蚀性能

7108合金属于Al-Zn-Mg系铝合金,主要强化相为MgZn<sub>2</sub>相,电极电位较低,与基体极易产生电极电位差,降低材料耐腐蚀性能,因此,大部分主机厂对7系铝合金制品均有晶间腐蚀性能要求,图2为未预时效+人工时效及预时效(100℃×3h)+人工时效处理后的晶间腐蚀高倍照片,人工时效制度为105℃×8h+175℃×7h。



(a)未预时效+人工时效晶间腐蚀照片



(b)预时效+人工时效晶间腐蚀照片

图2 未预时效及预时效经人工时效后晶间腐蚀性能

由图2可知,未预时效经人工时效后的晶间腐蚀深度平均值为148.68  $\mu\text{m}$ ,而预时效(100  $^{\circ}\text{C}\times 3\text{ h}$ )+人工时效(105  $^{\circ}\text{C}\times 8\text{ h}+175\text{ }^{\circ}\text{C}\times 7\text{ h}$ )处理后的7108合金型材晶间腐蚀平均深度为38.41  $\mu\text{m}$ ,因此,经预时效处理后的试样耐腐蚀性能优于未经预时效处理的试样。原因为经预时效处理后,铝基体中会形成更加弥散且尺寸较小的GP区,再经人工时效后,第二相会依附于弥散细小的GP区作为析出核心,最终析出相分布会更加均匀,第二相与基体的电位差随之减小且呈不连续分布,不会形成连续成片的腐蚀斑点。然而,未经预时效处理的试样,析出的第二相分散程度不如预时效处理的料样,且因为聚集导致电极电位差较大,所以形成更为严重的腐蚀斑点<sup>[6-7]</sup>。

#### 4 结论

- a. 中温预时效制度即100  $^{\circ}\text{C}\times 3\text{ h}$ 为适用于汽车用结构件7108挤压铝合金的较优预时效制度;
- b. 预时效对人工时效后的7108挤压铝合金制品力学性能无明显影响;
- c. 经预时效处理后的7108挤压铝合金制品耐

腐蚀性能优于未经预时效处理的产品。

#### 参考文献:

- [1] 张泽东, 刘晓滕, 申中宝, 等. 固溶和预时效工艺对6016铝合金汽车用板材力学性能的影响[J]. 轻合金加工技术, 2019, 47(2): 45-49.
- [2] 刘静安, 盛春磊, 刘志国, 等. 铝材在汽车上的开发应用及重点新材料产品研发方向[J]. 铝加工, 2012(5): 4-16.
- [3] 甘卫平, 许可勤, 范洪涛. 汽车车身铝化的研究及其发展[J]. 轻合金加工技术, 2003(6): 14-15+20.
- [4] 李辉, 罗杰, 尹登峰, 等. 固溶及预时效处理对6022铝合金组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2017, 42(7): 76-79.
- [5] 刘宏, 赵刚, 刘春明, 等. 自然时效及预时效6000系合金人工时效析出行为[J]. 材料热处理学报, 2008(4): 74-78.
- [6] 刘秋平, 刘志勇, 赵俊, 等. Zn含量及回归热处理对7075铝合金性能的影响[J]. 金属热处理, 2016, 41(2): 11-15.
- [7] SHEN C H, OU B L. Pre-Ageing to Improve the Microstructure and Tensile Properties of Al-0.72Mg-0.42Si-0.1Cu Artificially Aged Alloy[J]. Canadian Metallurgical Quarterly, 2008, 47(4): 449-458.