

文章编号:1673-9981(2011)03-0233-04

6061 合金时效及停放效应的工艺探讨

张洪辉,王 坤,刘景胜

山东南山铝业股份有限公司铝材总公司,山东 龙口 265706

摘 要:6061 铝合金挤压型材经在线淬火处理后,在 $(175\pm 5)^\circ\text{C}$ 、保温 8 h 的时效制度下进行人工时效时,发现停放时间对人工时效后型材的力学性能有较大影响。停放时间在 3 h 之内,经人工时效处理后,型材的强度较高,但延伸率偏低;在停放时间为 8~20 h 时,经人工时效处理后强度下降较大。根据客户对产品性能的不同要求,可选择适当的停放时间,合理安排生产,加强现场管理,监督员工及时转运进行人工时效,以获得理想的力学性能。

关键词:6061 合金;时效时间;停放效应

中图分类号: TG166.3

文献标识码: A

6061 铝合金属于 Al-Mg-Si 系合金,中等强度,具有良好的塑性、抗蚀性和优良的可焊性,且无应力腐蚀开裂倾向。但其淬火敏感性较高,无法实现在线风淬。该合金被广泛应用于汽车制造业、车体、集装箱和船舶等行业^[1]。

我公司给国外某客户提供的 6061-T6511 合金扁排,在人工时效后其屈服强度指标偏低(HW 硬度合格,拉伸性能指标不合格),但经二次时效后,可以达到标准要求。为查清力学性能偏低的原因,笔者根据大量的生产实践,总结了生产 6061 铝型材的相

关规律。本文重点阐述了 6061 合金的停放效应对该合金力学性能的影响。

1 实验部分

实验所采用的坯料是经均匀化处理的 6061 铝合金铸锭,合金成分列于表 1。在我厂 1350T 挤压机上进行挤压实验,产品为工业扁排,壁厚 6.35 mm。挤压加工工艺条件列于表 2。

表 1 6061 铝合金的化学成分

Table 1 Chemical composition of 6061 aluminum alloy

| 元素 | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Al |
|---------|-----------|------|-----------|------|-----------|-----------|------|------|----|
| 实测值 w/% | 0.60 | 0.15 | 0.21 | 0.05 | 0.99 | 0.16 | 0.08 | 0.04 | 余量 |
| 国标值 w/% | 0.40~0.80 | 0.70 | 0.15~0.40 | 0.15 | 0.80~1.20 | 0.04~0.35 | 0.25 | 0.15 | 余量 |

表 2 挤压加工工艺条件

Table 2 Technological conditions for extrusion processing

| 挤压系数 | 铸锭上机温度/ $^\circ\text{C}$ | 挤压速度/ $(\text{m}\cdot\text{min}^{-1})$ | 出口温度/ $^\circ\text{C}$ | 冷却方式 |
|------|--------------------------|--|------------------------|------|
| 40 | 480~500 | 8~10 | 510~530 | 水冷 |

收稿日期:2010-11-15

作者简介:张洪辉(1979—),男,山东龙口人,专科。

挤压实验结束后,分别在产品的头、中、尾部切取时效试样(分别标为B,C,D).采用如下工艺对产品进行时效:时效温度 175 °C,误差±5 °C,时效时间 8 h.对时效结束后的试样进行拉伸实验,测其力学性能.

在微机控制的 WES-300 型电子万能试验机上进行拉伸实验,加载速率为 0.3~0.4 kN/s.

2 实验结果与分析

2.1 停放时间对力学性能的影响

在实际生产中,型材在挤压后不可避免地要经过一定的存放时间(即停放时间),才进行人工时效处理.所谓停放时间,是指挤压制品经风冷或水冷淬火后到人工时效开始之间的时间,或挤压制品从淬火炉出来后到人工时效开始之间的时间.

停放时间不同会不同程度地影响时效后的强化效果,这种现象称为“停放效应”.对于 Al-Mg-Si 系合金,停放时间对合金力学性能的影响程度,还受合金化学成分的影响.当形成的 Mg_2Si 质量分数低于 1.0% 时,合适的停放时间将会使人工时效后合金的强度增加. Mg_2Si 含量高于 1% 时,将会使人工时效后合金的强度降低,而且 Mg_2Si 含量愈高,材料的力学性能降低愈大^[1].

Al-Mg-Si 系合金在人工时效前放置一段时间,出现强化效果降低的现象,国内外学者对此作了大量的研究工作^[2].他们相同的观点是:此现象与室温停放时产生的 G. P. 区重新溶解有关.随着停放时间的延长,G. P. 区将长大到人工时效温度下难以重溶的尺寸,减少了沉淀硬化物析出的数量,从而降低了合金的强度.停放时间对 6061 合金力学性能的影响如图 1 所示.

由图 1 可以看出,6061 合金经固溶热处理后,力学性能随停放时间的变化而发生显著变化.在 8~12 h 阶段,材料的强度随着停放时间的增加而逐渐下降,在 12 h 左右达到最低点;至 20 h 以后阶段,材料的强度出现反弹.

挤压变形出口处的温度一般是 500~530 °C.在变形程度较大或变形复杂的情况下,出口温度可达 560~570 °C. $CuAl_2$ 相、 Mg_2Si 相在高温下能够充分溶于固溶体中,经风淬或水淬冷却后,产生溶质原子和空位双重过饱和的固溶体,再经过自然时效

(100 °C 以下停放 2 h)形成球状 GP 区,其大小为 1~6 nm.对于 Al-Mg-Si 系合金,自然时效进行得非常缓慢,在室温下停留半个月,甚至更长的时间,也达不到最佳的强化效果,比人工时效的强化效果要差 30%~50%.因此,必须进行人工时效(100 °C 以上)使过饱和固溶体进一步分解脱溶^[4-6].

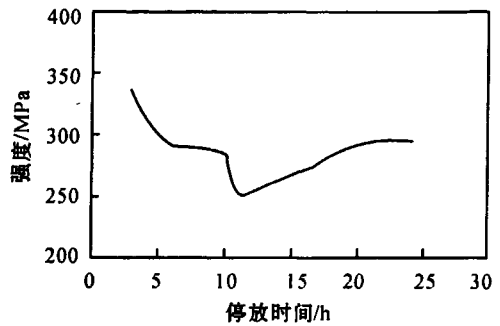


图 1 停放时间与强度变化的关系

Fig. 1 Relationship curve between stay time and strength change

2.2 停放时间对人工时效的影响

对 6061 合金挤压扁排,停放 6~24 h 后进行时效处理,处理后样品的力学性能列于表 3.由表 3 可知,由于停放时间的不同,时效后型材的力学性能波动较大,特别是屈服强度. A 和 E 组即停放 6 h 和 24 h 试样的力学性能完全符合标准要求. B, C 和 D 三组试样虽然抗拉强度达到要求,但屈服强度低于标准.这和 2.1 部分的实验结果基本一致.对合金成分、生产工艺进行分析,均符合表 1 和表 2 之要求.对产品尾部重新取样(D 组)进行二次时效,其力学性能列于表 4.由表 4 可知,挤压产品经二次时效后,其力学性能均达到要求.

对挤压车间生产的停放 3 h 的型材随机取样(F 组),然后进行时效处理,其性能列于表 5.从表 5 可看出, F 组试样的抗拉强度和屈服强度均高于标准的要求,但试样延伸率偏低,没有达到标准要求.

这说明停放时间在 3 h 之内,可获得较高的强化效果.因为此时获得了尺寸适当的 GP 区,人工时效时, Mg 和 Si 原子继续向硅偏聚团上迁移,大量的晶核继续成长,形成弥散的 Mg_2Si 强化相.同时, $CuAl_2$ 相也参加时效,型材的强度达到峰值^[4-6],但在此条件下,材料的延伸率处于标准值下限.

表3 时效后样品的力学性能
Table 3 Mechanical properties of specimens after aging

| 试样编号 | 供应状态 | 硬度(HW) | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 延伸率 $A_{50}/\%$ | 备注 |
|------------|-------|--------|----------|----------|-----------------|----------------|
| A1 | T6511 | 15 | 293.0 | 263.5 | 17 | 停放 6h, 合格 |
| A2 | | 15 | 292.3 | 261.9 | 20 | |
| A3 | | 14 | 285.2 | 260.2 | 16 | |
| A4 | | | | | | |
| B1 | T6511 | 15 | 285.1 | 233.3 | 13 | 停放 10h, 不合格 |
| B2 | | 15 | 282.6 | 237.9 | 14 | |
| B3 | | 15 | 281.2 | 230.2 | 13 | |
| C1 | T6511 | 14 | 254.2 | 224.7 | 14 | 停放 12h, 不合格 |
| C2 | | 14 | 252.3 | 217.1 | 15 | |
| C3 | | 14 | 256.3 | 220.5 | 16 | |
| D1-1 | T6511 | 14 | 290.9 | 231.2 | 20 | 停放 20h, 不合格 |
| D2-1 | | 14 | 287.1 | 239.1 | 23 | |
| D3-1 | | 14 | 293.3 | 238.8 | 20 | |
| E1 | T6511 | 15 | 296.6 | 247.1 | 20 | 停放 24h, 合格 |
| E2 | | 15 | 300.0 | 247.2 | 17 | |
| E3 | | 15 | 296.0 | 246.6 | 15 | |
| ASTM B 221 | T6511 | / | 262 | 241 | 10 | 标准值 |

表4 二次时效样品的力学性能
Table 4 Mechanical properties of specimens after secondary aging

| 试样编号 | 供应状态 | 硬度(HW) | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 延伸率 $A_{50}/\%$ | 备注 |
|------|-------|--------|----------|----------|-----------------|--------|
| D1-2 | T6511 | 14 | 297 | 257 | 16 | 二次时效合格 |
| D2-2 | | 15 | 295.1 | 258.6 | 15 | |
| D3-2 | | 15 | 297.6 | 266.6 | 17 | |

表5 停放3h时效后样品的力学性能
Table 5 Mechanical properties of specimens after staying for 3h

| 试样编号 | 硬度(HW) | 抗拉强度/MPa | 屈服强度/MPa | 延伸率 $A_{50}/\%$ |
|------|--------|----------|----------|-----------------|
| F1 | 15 | 334.4 | 315.9 | 9 |
| F2 | 15 | 332.5 | 312.8 | 10 |
| F3 | 15 | 342.0 | 321.5 | 9 |

3 结论

人工时效采用(175±5)℃、保温8h的制度较合适。停放时间在3h之内,型材的强度较高,但延伸率偏低;人工时效应避开8~20h这段停放时间。可根据客户对产品性能的要求,选择适当的停放时

间,合理安排生产,加强现场管理,监督员工及时转运进行人工时效,以获得理想的力学性能。

参考文献:

- [1] 肖亚庆,谢水生,刘静安,等. 铝加工技术实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2005.

(下转第238页)

参考文献:

- [1] 吕勇武,熊金平,沈磊,等. 铝合金表面无铬化学转化膜工艺研究[J]. 电镀与涂饰, 2007,26(12):25-28.
- [2] 陈东初,李文芳,龚伟慧,等. 铝合金表面无铬化学转化膜的制备及其性能[J]. 中国有色金属学报, 2008,27(12):25-29.
- [3] 肖围,满瑞林,彭天兰,等. 铝管表面硅烷稀土复合膜的制备及性能研究[J]. 稀有金属, 2010,34(2):192-196.

Performance assessment of powder coatings on aluminum alloy by chrome-free chemical conversion

YOU Yuping, TANG Weixue, LUO Shun

Analysis and Testing Center, Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510650, China

Abstract: Aluminum alloys, treated by chrome-free chemical conversion in titanium salt were powder coated. The adherence property, the corrosion property and the mechanical property of the powder coatings were tested according to related standards. The results showed that the properties of chrome-free chemical conversion coatings, except acetic acid salt spray resistance, all met the national standard requirements on chrome chemical conversion coatings.

Key words: aluminum alloy; chrome-free chemical conversion; powder coating; performance assessment

(上接第 235 页)

- [2] 祝伟忠,王虎臣,王煜,等. A6N01-T5 铝合金型材力学性能与停放效应的关系[J]. 轻合金加工技术, 2007, 35(9):27-29.
- [3] φ И 科瓦索夫, И Н 弗里德良捷尔. 工业铝合金[M]. 韩秉诚, 蒋香泉, 译. 北京:冶金工业出版社, 1981.
- [4] 王祝堂,田荣章. 铝合金及其加工手册[M]. 第 1 版. 长沙:中南工业大学出版社, 1989.
- [5] 《轻合金材料加工手册》编写组. 轻金属材料加工手册(下)[M]. 北京:冶金工业出版社, 1980.
- [6] 刘静安,付启明. 世界铝加工最新技术(上册)[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1991.

Technology discussion on the aging and stay time effect of 6061 alloy

ZHANG Honghui, WANG Kun, LIU Jingsheng

Shandong Nanshan Aluminium Co., Ltd., Longkou 265706, China

Abstract: An artificial aging on 6061 aluminum alloy extrusion profiles after online quenching is carried out at (175±5) °C for 8 hours. It is found that stay time has great influence on the mechanical properties of the profiles after artificial aging. When the stay time is 3 hours, the profile strength after artificial aging is higher but its elongation rate is lower; when stay time is 8-20 hours, the profile strength after artificial aging reduces largely. Therefore, according to the different requirements from customers on product properties, ideal mechanics performance can be obtained by choosing proper stay time and supervising the staff to transport materials in time for artificial aging.

Key words: 6061 alloy; time limitation; parking effects