

# 6mm厚6082-T6分流模挤压成形铝合金型材 焊合线疲劳性能研究

杨军, 刘华学, 段志华

中车长江车辆有限公司 湖北武汉 430212

**摘要:** 结合6mm厚6082-T6铝合金型材在铁路货车中应用的状态, 在已知6082-T6铝合金型材成分和性能分析的基础上, 通过脉动拉伸疲劳试验方法对分流模挤压成形的6mm厚6082-T6铝合金型材焊合线疲劳性能进行研究, 确定6mm厚6082-T6铝合金型材焊合线中值疲劳极限为115MPa, 疲劳试件断裂位置大多数位于母材位置。脉动拉伸疲劳试验完成之后, 通过SEM观察断口形貌, 剖析试件断裂原因, 为6082-T6铝型材的推广应用提供必要的技术支持。

**关键词:** 6082-T6铝合金型材; SEM; 疲劳性能

## 1 序言

随着轨道列车向高速化、轻量化方向的不断发展, 对高速轨道列车的车体制造材料有了更高的要求, 制造轻量化、更加节能环保的高速列车势在必行。铝合金作为一种密度小、熔点低、比强度大、抗氧化性能优异、易于加工的有色金属, 已经广泛应用于高速列车车体制造中<sup>[1]</sup>。6mm厚6082-T6铝合金(属Al-Mg-Si铝合金), 具有中等强度、较好的塑性以及较低的熔点, 通过连续挤压技术易于加工成复杂截面多孔中空型材, 适用于制造车体主体结构<sup>[2, 3]</sup>。生产此类产品断面复杂, 在挤压过程中采用分流模(桥式模)挤压成形, 铝料经过模具分流后, 成为两股或多股高塑性材料再经过模具焊合室重新焊合后流出模具成形, 但是由于模具和工艺参数设计不当等因素, 合金在挤压成形后极易引起焊合线部位焊合不良<sup>[4, 5]</sup>, 因此对型材的疲劳性能具有非常不利的影响。

## 2 试验材料及试验方法

### 2.1 试验材料

试验材料为6mm厚6082-T6铝合金型材, 其化学成分及力学性能分别见表1、表2。通过分流模挤压生产各种型材具有效率高、生产周期短、所生产

的型材壁厚差较大等优点, 因此通过分流模挤压生产的各种横截面不同的型材已经广泛应用于轨道交通制造业。在实际生产过程中, 高塑性材料在高温真空环境中经挤压模分成多股金属, 再经焊合室焊合后形成型材。在焊合过程中难免会出现孔洞、孔穴以及无损检测无法检测出的焊接缺陷, 焊合线存在缺陷对型材的疲劳性能影响很大, 对于高速行驶的列车来说存在安全隐患。因此, 对焊合线疲劳性能的研究十分必要。挤压成形型材的焊合线位置分布如图1所示(红色标记为焊合线)。

表1 6082-T6铝合金的化学成分(质量分数)(%)

| Si   | Fe   | Cu    | Mn    | Mg   | Gr   | Zn    | Ni    | Ti    |
|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 0.40 | 0.26 | <0.10 | <0.10 | 0.66 | 0.10 | <0.10 | <0.05 | <0.10 |

表2 6082-T6铝合金的力学性能

| $R_m$ /MPa | $R_{p0.2}$ /MPa | $A$ (%)  |
|------------|-----------------|----------|
| $\geq 300$ | $\geq 255$      | $\geq 9$ |

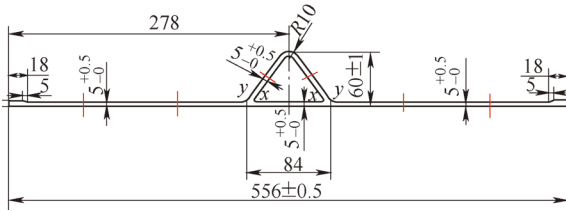


图1 6082-T6铝合金型材焊合线

## 2.2 试验方法

对6mm厚6082-T6铝合金型材焊合线脉动拉伸疲劳试验是按照GB/T 3075—2008《疲劳试验 轴向力控制方法》标准进行的。试验装置为PLG-100型微机控制高频疲劳试验机,其技术规格为:静态负荷精度 $\pm 1\%$ ,动态负荷平均波动度 $\pm 1\%$ ,动态负荷振幅波动度 $\pm 2\%$ 。试验过程中采用循环应力比 $R=0.1$ ,指定循环寿命取 $1 \times 10^7$ 次。在试验过程中疲劳裂纹出现触发疲劳试验机自保护机制时,机器自动卸载并停振,最后记录循环次数,试件安装如图2所示。脉动拉伸疲劳试验完成后,对断裂试件断口进行切割,通过JSM-6360LV型扫描电镜对脉动拉伸疲劳试验试件断口形貌进行观察,判断试件的断裂位置以及断裂形式,分析试件断裂的原因。6mm厚6082-T6铝合金焊合线疲劳试件尺寸如图3所示,焊合线在试件正中间(图1中左数第二个焊合线)。

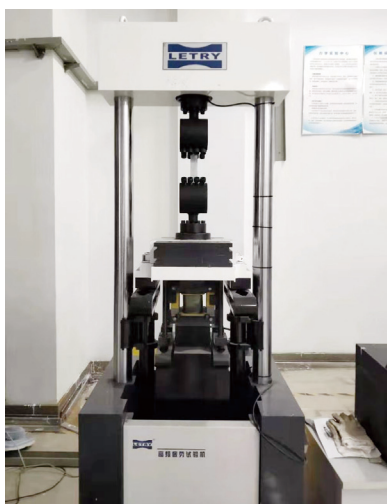


图2 试验过程试件安装

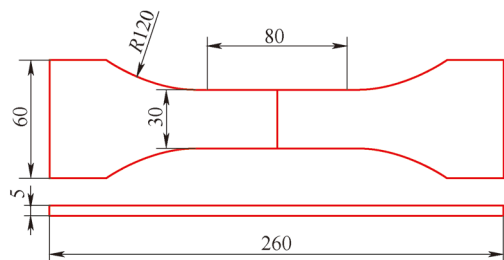


图3 脉动拉伸疲劳试验试件尺寸

## 3 6082-T6铝合金型材脉动拉伸疲劳试验结果及分析

为了判断焊合线对6mm厚6082-T6铝合金型材

疲劳性能的影响,对其进行脉动拉伸疲劳试验。疲劳试验中 $S-N$ 曲线测定均按常规方法进行,即 $S-N$ 曲线均是存活率为50%的中值 $S-N$ 曲线,且部分 $S-N$ 曲线测定时的试件数量没有严格按照有关要求。进行。 $S-N$ 曲线的高应力段(即左侧的斜线部分)是按每一应力水平取1个试件确定的; $S-N$ 曲线的水平段是通过升降法确定的指定寿命为 $1 \times 10^7$ 次时的中值疲劳极限 $\sigma_{0.1}$ <sup>[6]</sup>。通过升降法确定6mm厚挤压模成形的6082-T6铝合金型材指定寿命为 $1 \times 10^7$ 次循环下的疲劳极限,有4级应力水平,有效试件数11个,由图4可见共有5个子样对。因此,由升降法确定的6082-T6铝合金型材指定寿命 $1 \times 10^7$ 次循环下的中值疲劳极限为

$$\sigma_{0.1} = 1/n \sum n_i S_{ii} = (125 + 115 \times 3 + 105) / 5 \text{ MPa} = 115 \text{ MPa}$$

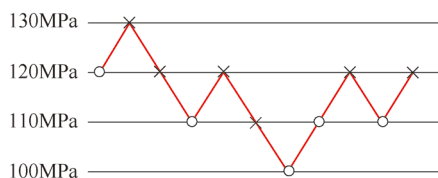


图4 6082-T6铝合金型材疲劳极限升降图

根据图4所示的试验结果,最终确定的6mm厚挤压模成形的6082-T6铝合金型材脉动拉伸疲劳(应力比 $R=0.1$ )的中值 $S-N$ 曲线,如图5所示。6mm厚6082-T6铝合金型材指定寿命为 $1 \times 10^7$ 次循环下的中值疲劳极限为115MPa。

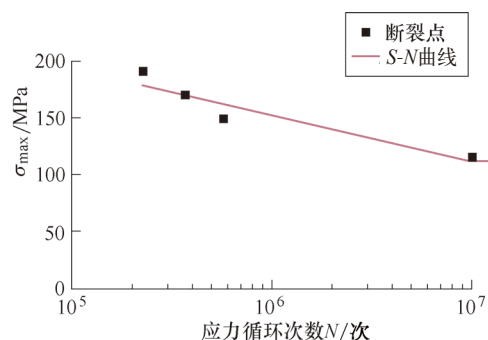


图5 6082-T6铝合金型材的中值 $S-N$ 曲线

图6所示为疲劳试验后发生疲劳断裂的试件宏观形貌,可以看出,6082-T6铝合金型材疲劳裂纹大多数产生于母材处,说明焊合线对6082-T6铝合金型材疲劳性能影响不大。

图7、图8所示为6082-T6铝合金型材疲劳断裂试样断口扫描形貌。由图7可以看出,各试件断口处均

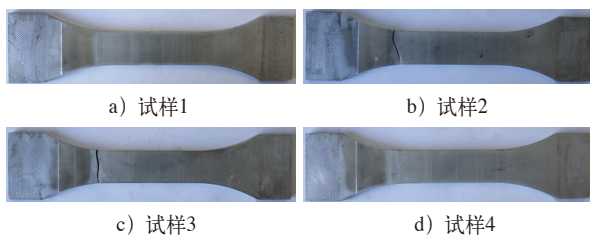


图6 6082-T6铝合金型材疲劳试件的宏观照片

无夹杂且没有明显的焊接缺陷,疲劳试件大多数从母材位置开裂,说明焊合线对疲劳性能影响不大。通过观察断口形貌,可以看出无明显起裂源(由焊接缺陷引起),各疲劳试件扩展区具有典型的疲劳断裂特征,疲劳裂纹清晰,整个扩展区的疲劳裂纹呈河流状<sup>[7, 8]</sup>分布;当疲劳裂纹扩展到一定程度时发生断裂,其终断区断口形貌均为大小不一的浅韧窝以及剪切韧窝,因此确定终断区为韧性断裂。

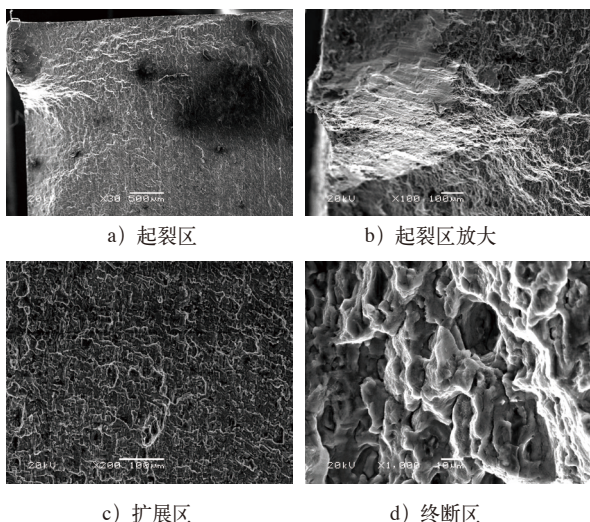


图7 典型试件疲劳断口形貌

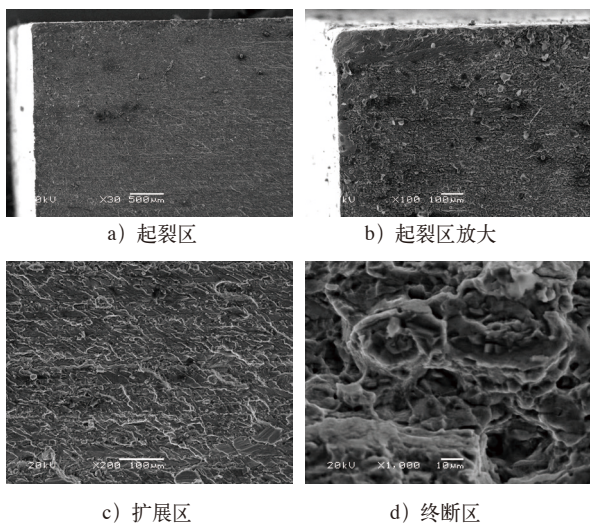


图8 典型试件疲劳断口形貌

## 4 结束语

1) 6mm厚挤压模成形的6082-T6铝合金型材在指定寿命为 $1 \times 10^7$ 次循环下的中值疲劳极限为115MPa;疲劳裂纹大多数是从试件母材边缘处起裂的,仅一个试件在焊合线边缘处断裂,说明焊合线对疲劳性能影响不大。

2) 通过JSM-6360LV型扫描电镜观察断口可以看出,6mm厚6082-T6铝合金型材疲劳断口无明显起裂源(由焊接缺陷引起);扩展区疲劳纹清晰且呈河流状分布;终断区存在大小不一的等轴浅韧窝以及剪切韧窝,断裂形式为韧性断裂。

### 参考文献:

- [1] 王小朋, 李小宇, 滕彬, 等. 高速列车6N01铝合金型材焊接接头疲劳性能[J]. 焊接, 2016 (9): 25-30, 73.
- [2] 鲁二敬, 钮旭晶, 侯振国, 等. 6082-T6铝合金大厚度板搅拌摩擦焊接头疲劳性能的研究[J]. 金属加工(热加工), 2019 (9): 8-10.
- [3] 侯振国, 张艳辉, 陈丽园, 等. 06Cr19Ni10不锈钢TIG焊接接头组织与疲劳性能的研究[J]. 热加工工艺, 2016, 45 (11): 22-24, 28.
- [4] 马清波, 黄显峰, 黄凤龙, 等. 铁路快捷货车焊接转向架典型接头疲劳性能研究与应用[J]. 电焊机, 2019, 49 (2): 72-75.
- [5] 吕艳荣, 高安江. 高速列车车体用A6N01铝合金型材焊接裂纹研究[J]. 热加工工艺, 2010, 39 (17): 169-170, 172.
- [6] 王远霏, 孙海荣, 朱忠尹, 等. A6005A-T6铝合金焊接接头P-S-N疲劳寿命研究[J]. 焊接技术, 2018, 47 (12): 41-46, 6.
- [7] 张明明, 刘静. 30CrMo合金钢摩擦焊接头疲劳性能的研究[J]. 热加工工艺, 2016, 45 (17): 208-210.
- [8] 王文先, 马征征, 左从进, 等. AZ31B镁合金电子束焊接接头显微组织及疲劳性能[J]. 西南交通大学学报, 2014, 49 (5): 848-854.

MW 20210702