

7N01-T4 和 7N01-T5 铝合金焊接位置的选择对 搅拌摩擦焊接头性能的影响

Effect of 7N01-T4 and 7N01-T5 Aluminum Position Change on Friction Stir Welding Joint Properties

南车青岛四方机车车辆股份有限公司 孟立春
北京航空制造工程研究所 赵明书 栾国红

[摘要] 搅拌摩擦焊是实现材料固相连接的焊接方法,焊接前进侧与后退侧存在组织及性能上的差异。7N01 铝合金为 Al-Zn-Mg 系铝合金,为轨道车辆常用结构材料,通过对 7N01-T4 与 7N01-T5 两种状态材料的研究发现,焊接位置不同将对接头材料的融合状态及接头性能产生影响,将 7N01-T5 置于前进侧时,有利于焊缝材料的相互融合,并使接头冲击韧性显著提高。

关键词: 搅拌摩擦焊 7N01 铝合金 前进侧 后退侧

[ABSTRACT] Friction stir welding is the solid welding method, there are differences between advance side and retreating side in microstructure and mechanical properties. 7N01 aluminum alloy, which is belong to the Al-Zn-Mg series, is widely used in train structures manufacturing. The result shows that changing on welding position of 7N01-T4 and 7N01-T5 alloy can influence the material melting and mechanical properties, and a better result on material melting and impact toughness can be obtained when 7N01-T5 alloy is put in advance side.

Keywords: Friction stir welding 7N01 aluminum alloy Advance side Retreating side

7N01 铝合金为 Al-Zn-Mg 系铝合金,在铝合金中强度较高,多用于制造轨道车辆的结构件。7N01-T4 铝合金是固溶热处理后自然时效至基本稳定的状态,7N01-T5 铝合金是高温成型过程冷却然后进行人工时效的状态。

搅拌摩擦焊中存在前进侧与后退侧之分。焊接时搅拌头旋转线速度方向与焊接方向一致的一侧为前进侧,搅拌旋转线速度方向与焊接方向相反的一侧为后退侧。2 个区域经历的热力循环上的差异造成 2 个位置结构及组织的不同,进而影响接头性能。对于异种材料的搅拌摩擦焊接研究,结合区域材料的相互融合问题一直

受到关注^[1-2],同时异种材料焊接位置的选择将对接头性能产生影响。文献[3]中 AA6082 和 AA5083 搅拌摩擦焊接结果表明,当 AA6082 材料位于前进侧时,接头抗拉强度相对于其位于后退侧时可提高 10%,并且有利于弯曲韧性的提高。文献[4]认为将 AA5083 置于前进侧, A6N01 置于后退侧时的焊接工艺范围较广。相反,将 A6N01 置于前进侧时较难融合到 AA5083 材料中,焊缝成形困难。

尽管异种材料焊接位置的选择对接头性能会产生影响,但对于热处理状态不同的同种材料的搅拌摩擦焊接,接头性能与焊接位置相互关系的研究还未见报道。本研究针对列车常用 7N01-T5 和 7N01-T4 材料进行 FSW 焊接,研究焊接位置对接头性能的影响。7N01 铝合金主要化学成分见表 1。

表1 7N01铝合金主要化学成分 w/%

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.30	0.35	0.20	0.20~0.70	1.0~2.0	0.30	4.0~5.0	0.20	其余

1 试验方法

焊接材料为厚度 15mm 的 7N01-T5 和 7N01-T4,将 7N01-T5 置于前进侧的试验编号为 T5-AS (Advance Side),将 7N01-T4 置于前进侧的试验编号为 T4-AS。试验中对比研究 T5-AS 与 T4-AS 的焊缝组织特征及常温静载拉伸、夏比冲击性能。焊接参数为:焊接速度 200mm/min,转速 500 r/min,焊接倾角 2.5°。

本研究中焊接采用中国搅拌摩擦焊中心生产的 FSW-3LM-020 型号搅拌摩擦焊设备,搅拌头材料为 H13 工具钢。焊后采用 MG161 工业 X 射线探伤仪进行无损检测。拉伸试验采用 100kNCSS1110 电子万能试验机。冲击韧性试验采用 300J/150J JB-S300 数显摆锤式冲击试验机。

2 试验结果及讨论

2.1 焊接位置对材料融合程度的影响

对 T5-AS 和 T4-AS 焊缝进行 X 光无损检测。观察发现, T5-AS 和 T4-AS 检测结果存在明显差异。T4-AS 的焊缝中心位置存在 1 条清晰的分界线, 如图 1 (a) 所示, 分界线两侧材料亮度差异明显。而 T5-AS 的焊缝区域则相对均匀一致, 没有明显的分界线, 如图 1 (b) 所示。

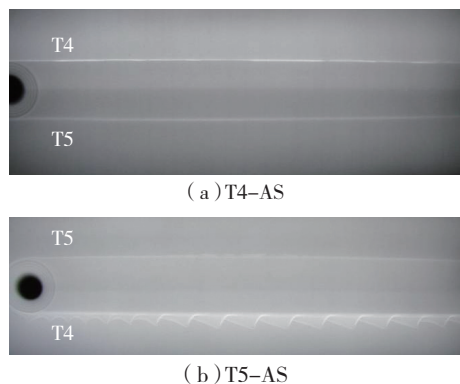


图1 X光无损检测底片
Fig.1 X-ray inspecting result

进一步观察发现, T4-AS 与 T5-AS 焊缝截面组织存在差异。T4-AS 焊缝中心分界明显, 分界线两侧材料互不融合, 如图 2 (a) 所示。T5-AS 焊缝材料相互融合程度增加, 在接近表面区域及焊核位置材料成层片状混合状态, 如图 2 (b) 所示。

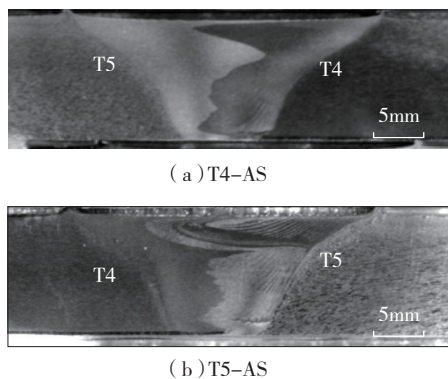


图2 焊缝横截面
Fig.2 Shapes of welding seam

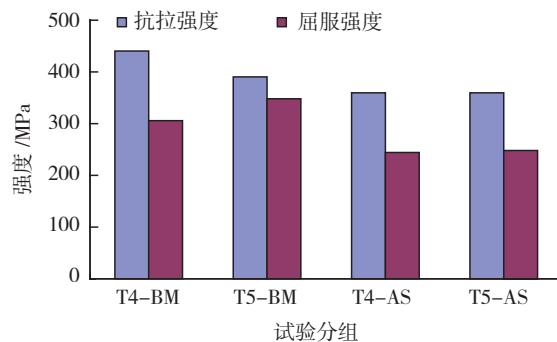
分析认为, 7N01-T5 和 7N01-T4 焊接位置的不同将对焊缝金属材料的融合程度产生影响, 将 7N01-T5 置于焊接前进侧时更有利于接头区域材料的相互融合。

2.2 接头抗拉强度

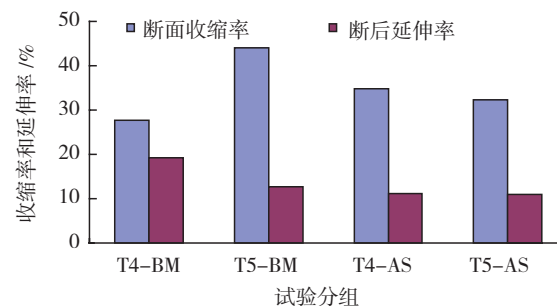
根据 GB/T228—2002《金属材料室温试验方法》进

行拉伸试验, 结果如图 3 所示。

7N01 铝合金搅拌摩擦焊接头强度系数较高, 为 7N01-T5 母材 T5-BM 的 92.1%。而 7N01-T4 与 7N01-T5 焊接位置的不同对接头强度基本不产生影响, T4-AS 与 T5-AS 的 FSW 接头抗拉强度分别为 360.4MPa 和 360.0MPa, 屈服强度分别为 243.9% 和 247.3MP, 见图 3 (a), 且 T4-AS 与 T5-AS 断后延伸率相当, 分别为 11.2% 和 10.9%, 见图 3 (b)。



(a) 抗拉强度和屈服强度



(b) 断面收缩率和延伸率

图3 7N01-T4与7N01-T5铝合金对接接头拉伸性能
Fig.3 Tensile properties of 7N01-T4 and 7N01-T5 aluminum alloy welding joint

2.3 接头冲击韧性

抗冲击性能是列车车体一个关键的性能指标。列车在高速运行条件下如发生碰撞事故, 具有较高冲击韧性的焊缝可以吸收更多的冲击载荷而不开裂, 从而帮助减少乘客伤亡程度。

试验依据标准 GB/T229—1994《摆锤式冲击试验方法》进行夏比冲击试验, V 型缺口位于焊缝中心并平行于焊缝方向, 结果如图 4 所示, 搅拌摩擦焊缝冲击韧性相对于 2 种母材均有了明显提高。T5-AS 相对 T5 母材 T5-BM 提高 323.0%, T4-AS 相对 T5 母材 T5-BM 提高 272.2%。

对比焊接位置对冲击韧性的影响, 可以发现 T5-AS

(下转第 138 页)