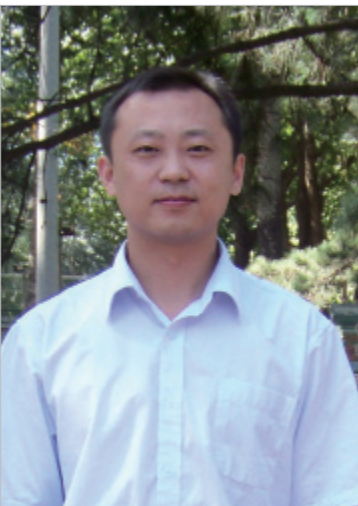


喷丸处理对飞机铝合金搅拌摩擦焊 接头性能及腐蚀行为的影响

Influence of Shot-Peening to Aircraft Aluminum Friction Stir Welding
Joint Property and Corrosion Behavior

北京航空制造工程研究所中国搅拌摩擦焊中心 佟建华 何 淼 董春林 栾国红



佟建华

硕士,毕业于北京科技大学,现就职于北京航空制造工程研究所中国搅拌摩擦焊中心,主要从事搅拌摩擦焊技术工艺及机理方面的研究。

搅拌摩擦焊(FSW)是英国焊接研究所发明的一种固相连接新工艺,具有连接温度低、焊后残余应力小以及接头性能高等一系列优点,在航空航天、船舶、汽车等领域,尤其是高强铝合金的连接方面具有广阔的应用前景^[1]。

超声喷丸(USP)是一种较新的材料表面改性方法,弹丸从各方

向以超声频撞击已被固定的材料表面。该方法具有实施方便、效果显著、适应面广和消耗低等优势,在飞机、坦克、汽车和各种机械设备的齿轮、轴承、焊接件、弹簧、涡轮盘、叶片及模具、切削工具等的表面清理和提高使用寿命与防腐能力方面发挥了重要的作用,取得了令人满意的效果^[2-4]。

7075 铝合金是一种可热处理强化的超硬铝合金材料,熔铸方便,成型性好,经轧制能获得比较理想的板材,通过固溶及回归再时效处理,可使它获得优良的综合性能。7075-T651 铝合金可广泛应用于航空航天工业,是典型的高强轻质材料。对于 7075 铝合金的搅拌摩擦焊,已有许多人对其接头组织及性能进行了研究^[5-8],而将超声喷丸技术用于改善搅拌摩擦焊接头性能还较为少见。

本课题选取 8mm 厚的 7075-

T651 铝合金平板进行单道搅拌摩擦焊对接,焊后对焊缝表面进行超声喷丸处理,研究超声喷丸技术对 7075-T651 搅拌摩擦焊接头机械性能及腐蚀性能的影响,具有重要的意义。

试验材料及方法

1 试验材料

1 试验材料

试验中所用材料为 T651 态 7075 铝合金,厚度为 8mm,其化学成分及机械性能如表 1、表 2 所示。

2 焊接参数

试验所用搅拌头轴肩为 $\phi 18\text{mm}$,搅拌针 $\phi 6\text{mm}$,针长 7.7mm。采用平板对接方式进行搅拌摩擦焊接,焊接前用专卡具将 2 块试板沿与板面垂直方向夹紧,以保证 2 板连接处的缝隙紧密结合,同时防止焊接时试板分开。焊接设备为中国搅拌摩擦焊中心自行研制的悬臂式搅拌摩擦焊专用设备,焊接工艺参

表1 7075-T651铝合金化学成分

Mn	Mg	Zn	Cu	Cr	Fe	Si	Ti	Al
1.8 ~ 2.3	4.5 ~ 5.6	5.1 ~ 6.1	1.2 ~ 2.0	0.18 ~ 0.28	<0.5	<0.4	<0.2	余量

表2 7075-T651铝合金机械性能参数

屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	延伸率 /%
545.92	593.03	11.9

表3 7075-T651铝合金超声喷丸强化参数

喷丸参数组合	冲击时间 /s	喷丸强度 /mm
M12	24	0.57A

数为,搅拌头旋转速度 320r/min,焊接速度 60mm/min。

3 超声喷丸加工参数

采用超声喷丸机对 7075-T651 铝合金搅拌摩擦焊试件进行处理。加工参数如表 3 所示。

4 接头性能测试方法

对搅拌摩擦焊接头进行金相试样制备,观察组织形貌。从喷丸前后试板分别截取 3 个拉伸试样,在 Z100 型电子万能试验机上进行拉伸机械性能测试。腐蚀试验在燕山大学进行,试验条件为 5%NaCl 溶液,按照 GB6459-86 标准执行。加冰醋酸将 PH 值调节到 3.1 ~ 3.3,冰醋酸含量在 0.1% ~ 0.3%,试验箱温度为 35℃,喷雾量控制在 1 ~ 2ml。

试验结果与讨论

1 金相组织

超声喷丸是一种材料表面改性方法,不会对材料内部组织及性能产生影响,搅拌摩擦焊接头宏观形貌如图 1 所示。从图中可以看出,7075 搅拌摩擦焊焊缝的宏观组织有明显的塑性变形流线,呈非对称形状。其宏观形貌分 5 个区域,图 1 中标注各点与图 2 中各区一一对应。图 2 (a) 为母材(BM) 组织,保持原有形貌,

呈明显的轧制状组织;图 2 (b)、图 2 (c) 分别为前进侧及后退侧热机械影响区(TMAZ),此区金属受到热及搅拌头挤压力的影响,晶粒发生变形,并且由于挤压力的不同,使得前进侧与后退侧呈现不同的形貌特征,前进侧挤压变形分界更为明显;图 2(d) 为热影响区(HAZ) 组织,受到热的影响较母材组织有所长大。

2 拉伸机械性能

在搅拌头旋转速度为 320r/min,焊接速度为 60mm/min 的焊接工艺参数下,7075-T651 搅拌摩擦焊接头强度达到 426MPa,低于母材强度。

经过超声喷丸处理后会在表面留下喷丸坑,在一定程度上会减小有效承载面积,可能降低接头机械性能。但通过试验测试发现(见表 4),超声喷丸未对接头强度产生明显影响,且拉伸断裂位置与喷丸前一致(见图 3),均断于焊缝以外前进侧的热机械影响区,呈 45° 斜口断裂。

3 腐蚀试验结果

将 7075 铝合金 FSW 焊接表面无喷丸处理的试样和经喷丸处理的试样置于酸性盐雾中,腐蚀时间分别为 60h 和

144h。所得的宏观腐蚀形貌如图 4 所示。由图 4 (a) 可见,腐蚀时间为 60h 时,未喷丸试样表面出现了不连续的点蚀,边缘有鼓泡现象,焊接表面 TMAZ 区腐蚀最严重,凹凸棱痕被明显腐蚀。图 4 (b) 是



图1 7075FSW接头宏观形貌

经喷丸处理的试样,腐蚀程度较图 4 (a) 有明显改善,但也出现了点蚀现象,两侧的 TMAZ 区腐蚀也较重。图 4 (c) 为腐蚀时间为 144h 时未喷丸试样,随着腐蚀时间的增加,蚀点连接成较大的点蚀坑,试样表面出现了红色的腐蚀产物,凹凸棱痕被腐蚀掉。7075 铝合金试样表面局部呈红褐色,这可能是由于该合金中存在 S 相 (Al₂CuMg) 和 θ 相 (CuAl₂),在

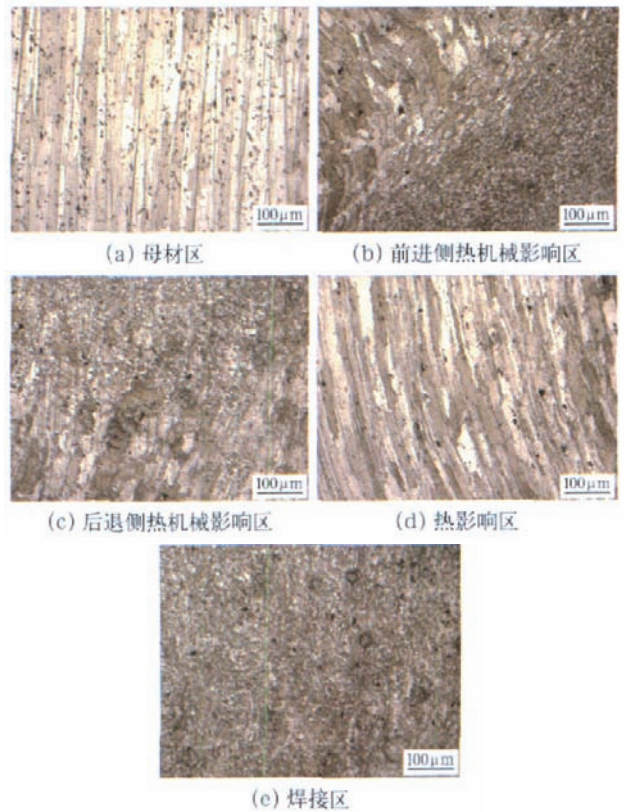


图2 7075FSW接头各区微观组织

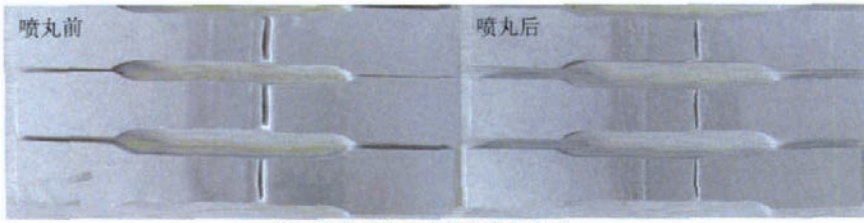


图3 超声喷丸前后拉伸断裂位置

表4 7075-T651搅拌摩擦焊接头喷丸前后力学性能对比

试样编号	处理状态	抗拉强度 σ_b / MPa	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ / MPa	延伸率 / %
L1	原始焊态	426	274.43	4.17
L2		426	279.67	4.30
L3		429	278.51	3.96
qhL1	超声喷丸	428	276.14	4.28
qhL2		426	273.51	4.88
qhL3		426	276.26	4.36

腐蚀环境下,第二相发生了阳极溶解,溶掉了其中的Al和Mg,出现了Cu元素富集,而Cu则作为阴极加速Al和Mg的溶解,同时Cu又被阴极吸氧腐蚀的中间产物所氧化,形成红褐色的铜的氧化物。图4(d)是经喷丸处理的试样,腐蚀形貌与图4(c)无明显的区别。

图5(a)为腐蚀时间144h母材的腐蚀形貌,由图可知,铝合金的剥落腐蚀现象比较严重,母材区表面蚀坑较多,有较多的白色腐蚀产物覆盖表面。图5(b)为无喷丸处理的试样,随着盐沉积量的增加,腐蚀产物

也随之增多,当盐的沉积量较大时,样品腐蚀产物密集地覆盖在焊接表面。图5(c)为经喷丸处理的试样,

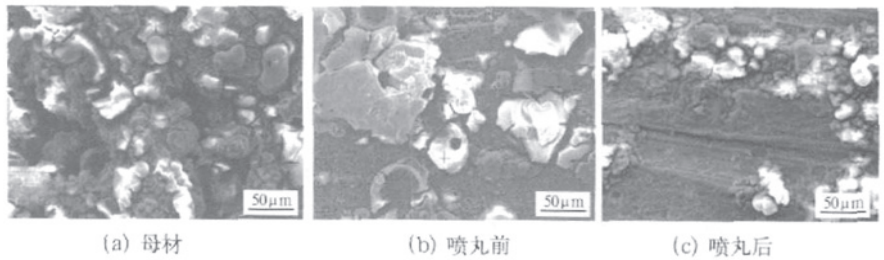


图5 腐蚀144h后焊缝截面宏观腐蚀形貌

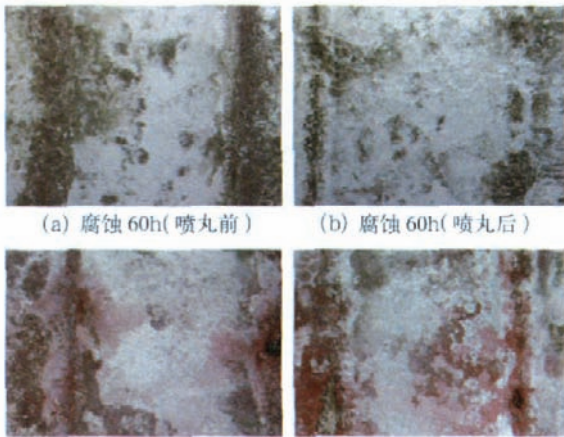


图4 喷丸前后焊缝表面腐蚀宏观形貌

白色的腐蚀产物也较多,且腐蚀形貌和无喷丸处理的试样并无太大区别,这说明当腐蚀时间延长时,喷丸处理不能有效地改善材料的抗腐蚀性能。

结论

(1) 超声喷丸处理对7075-T651铝合金搅拌摩擦焊接头拉伸机械性能不产生显著影响;

(2) 短时间腐蚀时,超声喷丸处理对7075-T651铝合金搅拌摩擦焊接头腐蚀性能有所改善,但在长时间腐蚀后,喷丸

处理并不能改善接头的腐蚀性能。

参考文献

[1] 栾国红,关桥. 搅拌摩擦焊——革命性的宇航制造新技术. 航天制造技术, 2003, 4(8):16-23.

[2] Guo F A, Trannoy N, Lu J. Characterization of the thermal properties by scanning thermal microscopy in ultrafine-grained iron surface layer produced by ultrasonic shot peening. Materials Chemistry and Physics, 2006, 96:59-65.

[3] Xing Y M, Lu J. An experimental study of residual stress induced by ultrasonic shot peening. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 152:56-61.

[4] Liu G, Lu J, Lu K. Surface nanocrystallization of 316L stainless steel induced by ultrasonic shot peening. Materials Science and Engineering A, 2000, 286:91-95.

[5] Venugopal T, Srinivasa Rao K,

Prasad Rao K. Studies on friction stir welding AA7075 aluminum alloy. Trans. Indian Inst. Met. 2004, 57(6):659-663.

[6] Mahoney M W, Rhodes C G, FLINTOFF J G, et al. Properties of Friction-Stir-Welded 7075 T651 Aluminum. Metallurgical and Materials Transactions A. 1998, 29A:1955-1964.

[7] Rhodes C G, Mahoney M W, Bingel W H, et al. Effects of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminum. Scripta Materialia. 1997, 36(1):69-75.

[8] Omar H, Preet M S, Hamid G. Corrosion susceptibility of peened friction stir welded 7075 aluminum alloy joints. Corrosion Science, 2009, 51:135-143.

(责编 玉龙)