

搅动摩擦焊的特点和应用

Feature and Application of Friction Stir Welding

张峥 (北京航空材料研究院)

Zhang Zheng (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 搅动摩擦焊是在摩擦焊基础上派生出来的。它不受焊件必须是旋转对称体的限制,适于焊铝合金等熔点较低材料,焊缝为固态组织,避免了普通熔焊可能产生的各种缺陷,是解决 Al-Li 合金、金属基复合材料焊接问题的好方法。

关键词 搅动摩擦焊 铝合金 铝锂合金 金属基复合材料

[Abstract] Friction stir welding releases the process from restriction to rotationally symmetrical bodies. A tool positioned above the center line of the joint is rotated fast enough to produce thermal plasticity and moved along the joint. Friction stir welding, unlike fusion welding, involves no melting and resolidification and therefore does not create the cast microstructure, comparatively large HAZ potential distortion, and residual stress typical of fusion welds. The article overviews the advantages and current status of friction stir welding.

Keywords friction stir welding aluminum alloys Al-Li alloys MMCs

1 前言

摩擦焊是利用焊件接触端面相对旋转运动中相互摩擦所产生的热,使端部达到热塑性状态,然后迅速顶锻,完成焊接的一种压焊方法,被公认为是一种快速而可靠的方法,在航空发动机压气机转子的制造中得到广泛应用。搅动摩擦焊是在传统摩擦焊的基础上派生出来的,并由英国人 C. J. Dawes 和 W. M. Thomas 获得发明专利。它是自激光束焊以来最为引人注目的新工艺,在航空航天界引起极大兴趣,以期用该工艺解决铝锂合金厚板的连接,继而解决金属基复合材料及不能焊的 7075 等 7000 系铝合金的焊接问题。

2 工作原理及工艺特性

搅动摩擦焊设备的关键是一个作高速旋转的台肩刀具,刀头由硬质合金制成,依焊件不同制成特定形状,其长度比焊缝深度略浅。焊前,首先将待焊母材固定在底板上,刀具的轴线对准焊缝。焊接开始后,刀具以一定的速度做圆周运动并插入到焊缝中,并沿焊缝方向移动。由于摩擦,母材局部温度升高到 500℃ 左右,达到热塑性状态,另一方面,由于刀头的旋转,对母材也有搅动、碾压和锻造等作用,随着刀具的移动,在其后形成一道焊缝^[1]。

搅动摩擦焊具有以下工艺特点:(1) 固相连接在合金中保持母材冶金性能,可焊金属基复合材料、快速凝固材料等采用熔焊会有不良反应的材料;(2) 对挤压型材进行焊接,可制成大型结构,如船板、框架、平台等;(3) 实现不同材料的连接,如铸件与挤压件;(4) 残余应力比熔焊低(即使是长焊缝);(5) 不需焊料;(6) 设备简单,能耗低,功效高(如单道 12.5mm 厚 6000 系铝合金总能耗 3kW);(7) 操作人员不需受特殊训练;(8) 不需焊前除氧;(9) 适于自动化生产;(10) 不需开专门的坡口,可用于几种接头形式:对接,搭接和角焊;(11) 可焊热裂纹敏感的材料。

3 焊缝显微组织及力学性能

搅动摩擦焊整个过程是在固态下完成的,不会得到铸造组织,避免了采用熔焊时因熔化和凝固而形成的孔隙、微裂纹、变形和残余应力,也不会有任何元素丢失,且焊缝组织较母材更细密,接头强度一般不低于母材,且同时具有很好的弯曲韧性。如在焊缝根部受拉时,可将 2014AT6 合金弯曲 180°;做拉伸试验时,断口出现在靠近母材一侧的热影响区;厚度分别为 1.6mm、6.4mm、12.7mm 的 6082T6 铝合金均可弯曲 180°;5083 O 状态合金同样可弯曲 180°;且拉伸断口在焊缝和

热影响之外，具体试验结果见表1^[2]。

表 1 O 态 6mm 厚 5083 铝合金焊件拉伸试验结果
Table 1 Tensile test data for welds made
in 6mm thick alloy 5083 in the O condition

试样	取样位置	试样尺寸/mm		0.2 /MPa	b /MPa	/10 ⁻²
		横截面	标距			
1	垂直于焊缝	19.98×5.92	62	137	302	24.0
2	垂直于焊缝	19.95×5.90	62	142	298	24.0
3	垂直于焊缝	19.98×5.86	62	143	297	21.0
4	母材	19.76×6.02	62	148	298	23.5

4 应用现状和不足

铝锂合金因其具有高比强度、高比刚度，低密度等特性成为理想的航空航天用结构材料。限制其实际应用的障碍，除材料自身因素外，主要就是焊接问题，因为锂是活泼金属元素，在熔融状态极易挥发。采用普通熔焊方法，焊缝中的 Li 元素会全部挥发，而采用搅动摩擦焊，局部最高温度只有 ~500℃，即在中温表面上进行，可以阻止 Li 的挥发^[3]。

另外，采用熔焊方法焊接金属基复合材料时，在焊缝周围，增强材料的分布会发生变化。而采用搅动摩擦焊，就能解决 SiC 增强金属基复合材料的焊接问题^[3]。

搅动摩擦时也存在一定缺点：（1）对板材进行单道连接时，焊接速度低于电弧焊（尽管 18mm 厚板材单道焊件采用摩擦搅动焊）；（2）焊件的夹持要求较高；（3）

焊缝端头形成一个洞眼；（4）难以对焊缝进行修补；（5）刀头因磨损消耗太快。人们正尝试用更为耐磨的陶瓷材料替代目前使用的硬质合金，如钴基高温合金等。这一工作相当困难，因为陶瓷材料很难达到所需的韧性^[3]。

搅动摩擦搅动焊适于各种铝合金制件，包括铝锂合金、铝基复合材料制件的连接，为铝锂合金在航空航天中应用创造了条件。据估计，此法在工业上应用尚需一至两年时间。

参考文献

1 Karl-erik Knipstrom, Bertil Pekkarl. Friction Stir Welding Process Goes Commercial. Welding Journal, 1997, (9): 55 ~ 57
2 Dawes C J, Thomas W M. Friction Stir Process Welds Aluminum Alloys. Welding Journal, 1996, (3): 41 ~ 45
3 Brown Alan S. Advanced Materials Move to Larger Structure. Aerospace America, 1997, (6): 23 ~ 25
4 Paul S. Fielding, George J. Wolf. Aluminum - Lithium for Aerospace. Advanced Materials and Processes, 1996, (10): 21

收稿日期: 1998-12-04

张 峥，女，1963 年 4 月生，编辑，现从事《航空材料学报》编辑工作。联系地址：北京 81 信箱 62 分箱（邮编 100095）。

粉末冶金的近期发展动向

面对 21 世纪即将来临的今天，世界粉末冶金市场迅猛发展。从整体上说，美国仍居世界领先地位，但近五年来，欧洲和亚洲许多国家粉末冶金业的兴起，已使市场竞争的态势更趋激烈。其中，欧洲粉末冶金业在材料的改进、先进工艺技术开发、粉末冶金新领域的开拓等方面，均处于领先地位。欧洲粉末冶金协会专门做出决定，要在结构件与轴承、硬质合金与难熔金属、磁性材料等方面加大投入，尤其是黑色结构件批量生产方面乃是今后工作重点。

从工艺技术发展方面讲，近五年来，压缩烧结粉末冶金的发展较快，其增长速度达 10%。在西欧，汽车业所用粉末冶金制品几乎占了 1 年全部粉末冶金制品的 80%，欧洲的汽车大约每辆含粉末冶金件 7kg。东欧各国（包括前苏联）在此方面也有快速发展，而且其产品质量已经达到或接近西欧的水平。此外，飞机发动机、石油化工、电子集成料、运动器材、计算机辅助设备和医疗器械等领域，如 Boeing 777 飞机和 Airbus 330 飞机的喷汽涡轮发动机，均已采用了 Ni-Co 基高温合金粉末冶金件。

金属粉末喷射成型（MIM）工艺进行粉末冶金件生产的技术，最近五年在太平洋周边国家发展十分迅速，采用 MIM 工艺生产的零件重量从几克到几千克都有。可见，开拓粉末冶金制件应用的新领域、研制新型工艺技术应引起国内有关人士关注。

（王庆绥）