

飞机壁板先进焊接技术应用现状*

Application Status of Advanced Welding Technology of Aircraft Panels

南京航空航天大学材料科学与技术学院 占小红 欧文敏 魏艳红
上海飞机制造有限公司航空制造技术研究所 陈洁
哈尔滨工业大学先进焊接与连接国家重点实验室 陶汪 陈彦宾



占小红

博士后,副教授。主要从事焊接过程数值模拟及仿真、焊接工程软件、激光焊接技术等研究工作。曾任上海飞机制造有限公司航研所“民用飞机先进制造工艺技术中心”副主任,过去4年中一直在中国商飞上飞公司全面主持参与大型客机机身壁板激光焊接技术研究工作。

飞机壁板按制造技术来分,主要有机加壁板、铆接壁板、焊接壁板等,

* 国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金项目(SAMC12-JS-15-009)、中央高校基本科研业务费专项基金(NS2012111)资助。

整体机加壁板由于其生产效率低、材料利用率低等原因,目前在民用飞机制造中使用越来越少。相对于目前大量使用的铆接壁板而言,焊接壁板具有诸多优点,它不仅能极大地减轻构件的重量,同时具有良好的气密性,并能减少装配工作量,提高生产效率。

如图1所示。整体机加壁板由于其生产效率低、材料利用率低等原因,目前在民用飞机制造中使用越来越少。相对于目前大量使用的铆接壁板而言,焊接壁板具有诸多优点,它不仅能极大地减轻构件的重量,同时具有良好的气密性,并能减少装配工作量,提高生产效率。因此,基于焊接工艺制造的飞机壁板成为飞机——特别是民用飞机制造技术的发展趋势之一^[1]。目前,空中客车公司已经在A380等多种机型上采用了激光焊接的整体机身壁板制造技术。

然而,基于焊接的整体机身壁板制造技术,是当代民机制造技术中的

难点之一。在大型民用客机领域,目前仅有空客公司在其多个型号的机体结构中采用了激光焊接壁板制造工艺。

机身壁板激光焊接技术应用现状

针对大型客机焊接整体壁板制造技术,国外已经开展了大量的系统性研究工作。以波音787、空客A380、A350为代表的新型客机由于大量采用轻质高强整体壁板结构,在减轻结构重量、延长使用寿命、降低维修成本方面有了显著的进步,典型代表之一就是结合新材料新工艺的

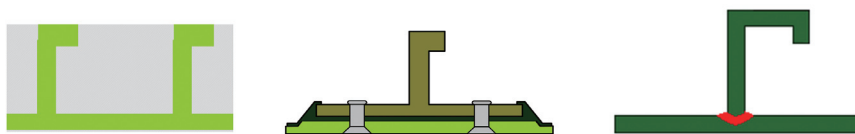


图1 机加壁板、铆接壁板与焊接壁板

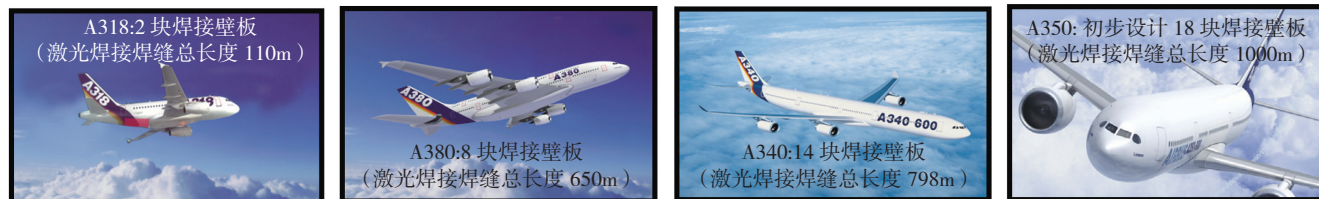


图2 空中客车公司不同机型中使用激光焊接情况

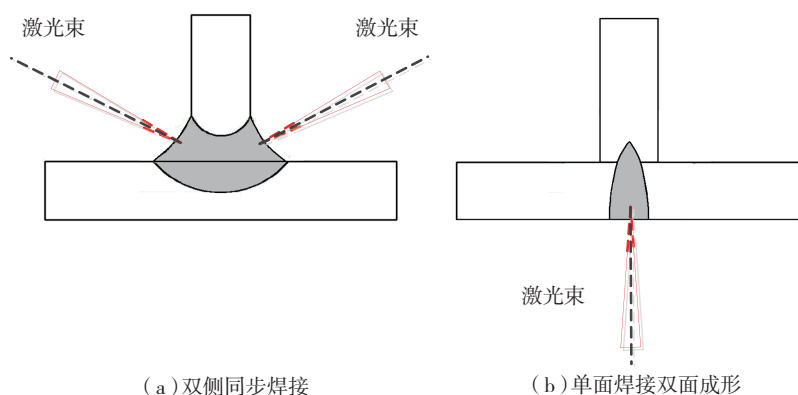


图3 双侧同步焊接与单面焊接双面成形工艺

新型高强度铝合金焊接壁板等机身结构。

经过近十年的研究,空客公司将激光焊接机身壁板首先在 A318 飞机上得到应用。空中客车公司采用激光焊接技术将 A318 机身两块下壁板的蒙皮与桁条焊接成整体机身壁板,焊缝长度达 110m,从而使激光双光束焊接技术在飞机整体壁板制造上有了突破性的应用。在后续的 A380、A340 等机型上,机体焊接结构用量不断增加, A350 上的焊缝总长度更是达到 1000m^[2-3],如图 2 所示。

相关资料表明,空中客车公司机身壁板采用的即是如图 3 (a) 所示的双激光束双侧同步焊接工艺。对于民用客机机身壁板而言,如图 3 (b) 所示的单面焊接双面成形工艺会对蒙皮完整性造成破坏,从而影响机身的气动外形;如果加以打磨

等处理后服役使用,则会影响其疲劳寿命性能。由于 T 型结构双激光束双侧焊接工艺避免了传统的 T 型结构单面焊接双面成形工艺对底板(蒙皮)完整性的破坏,同时该工艺对比传统的铆接工艺而言能极大地减轻构件的重量,因而在航空制造业中受到青睐。图 4 即为空中客车公司 A380 激光焊接机身壁板结构件。

机身壁板激光焊接是一个多系

统协调工作过程,一般认为至少包括激光器系统、工装夹具系统、运动系统、控制系统、焊接跟踪与定位系统、焊接质量在线保障系统等部分。单就激光器系统而言,据悉,德国和法

国的空客公司就分别采用了不同类型的激光器,其中法国空客采用的是 2 台 Nd:YAG 固体激光器,而德国空客采用了 2 台 CO₂ 激光器。目前,国产大型客机项目中,其机身激光焊接系统采用的是两台对称的光纤激光器^[4]。虽然空客公司多个主流型号都采用了铝合金焊接机身壁板结构,然而,至今尚没有其他企业完全掌握这一工艺。

飞机壁板搅拌摩擦焊接技术应用现状

搅拌摩擦焊接作为一种较新的技术,由于其加工过程峰值温度低于被连接合金液相温度,因而有常规熔化焊接所不具备的诸多优点。但同



图4 空中客车公司A380激光焊接机身壁板结构件

时,搅拌摩擦焊接在腔体内置焊缝的可达性、对于复杂曲线路径焊缝的稳定性等方面尚具有一定的局限性。然而,搅拌摩擦焊接在机体结构中的应用已经有诸多先例,主要应用在对接结构和搭接结构中。

大量报道显示,波音公司和洛克希德·马丁公司在其产品 C-17 和 C-130 运输机中分别使用了搅拌摩擦焊接的地板结构^[5-6]。同时,也有文献报道称,空客公司在其主流产品的机身结构中大量使用搅拌摩擦焊接技术,但截至目前尚未有可信的证据。

关于搅拌摩擦焊接在飞机主承力结构上的应用,另一个被广泛传颂的型号就是美国 Eclipse 公司制造的“全搅拌摩擦焊接 N500 商务飞机”,如图 5。

需要指出的是,“全搅拌摩擦焊接飞机”是一个不准确的概念。同时,

不可否认的是, N500 商务飞机的确在多个部位大量采用了搅拌摩擦焊接结构。

另外,根据中国搅拌摩擦焊接中心的相关宣传资料,我国正在研制的某型运输机中,其地板结构采用了 FSW 技术制造。但是,截止目前,在国产大型客机中,搅拌摩擦焊接机身结构的应用还有较为遥远的距离。

我国大型客机焊接机身壁板概况

我国大型客机项目研制方案中初步确定在机身部分位置壁板采用焊接制造工艺,考虑在前机身、中后机身的部分下壁板制造工艺中采用激光焊接工艺。针对目前我国大型客机设计方案中的机身壁板新型铝合金焊接技术,前期有两种备选方案,即激光焊接机身壁板与搅拌摩擦焊接机身壁板,如图 6 所示。

截止目前,中国商飞公司已经能够焊接出 1:1 的激光焊接机身壁板结构件和搅拌摩擦焊接机身壁板样件。

然而, C919 设计寿命为 9 万飞行小时,且正在严格按照欧美适航标准设计与生产,这在我们航空制造业中并无先例。因此, C919 机体焊接结构的应用,将面临前所未有的挑战。

展望

由于焊接壁板具有显著优点,在现代飞机制造领域已得到较为广泛地应用。近年来航空制造业为适应市场需求不断对机体实施薄壁轻量化的改进,飞机制造领域不断尝试采用焊接工艺生产机体壁板结构件。然而,铝合金大尺寸薄壁件的焊接工艺具有一定难度,特别是民用飞机近乎苛刻的质量要求对飞机壁板的焊接工艺提出了极高的要求。要实

现在机身壁板中大量采用焊接结构,还有待更深入的研究和更丰富完善的实验。

参考文献

[1] 陈洁,杨志斌,占小红,等. 铝合金 T 型接头激光双侧填丝焊接工艺研究. 应用激光, 2011,31(2):130-134.
 [2] Dittrich D, Standfuss J, Liebscher J, et al. Laser beam welding of hard to weld Al alloys for a regional aircraft fuselage design—first results. Physics Procedia, 2011: 113-122.

[3] 刘红兵,陈洁,占小红,等. 机身壁板结构双光束双侧激光焊接工艺及设备研究进展. 焊接, 2012(4):14-18.

[4] 李昊,陈洁,陈磊,等. 双光束激光焊接技术在民用飞机上的应用现状及发展. 航空制造技术, 2012,21:50-53.

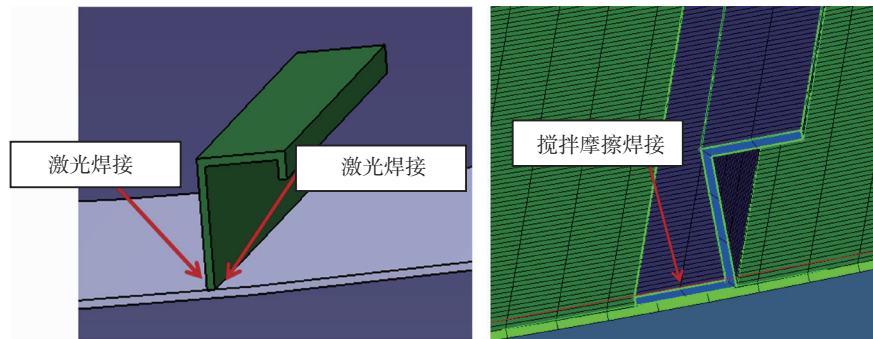
[5] 栾国红,柴鹏,孙成彬,等. 飞机制造的前景技术——搅拌摩擦焊. 航空制造技术, 2004,11:44-47.

[6] 薛松柏,张亮,皋利利,等. 航空器制造中的焊接技术. 航空制造技术, 2009,19: 26-29.

(责编 亿霖)



图5 搅拌摩擦焊接应用于N500商务飞机



(a) 蒙皮长桁 T 型结构激光焊接 (b) 蒙皮长桁 Z 型结构搅拌摩擦焊接

图6 大型客机机身壁板LBW和FSW焊接示意图