

# 摩擦塞焊及其研究现状

## The Current State of FPW

北京航空制造工程研究所 季亚娟

**[摘要]** 阐述了摩擦塞焊的原理、优点,说明了该技术在国内外外的研究现状和应用情况,指出了深入研究该技术的必要性。

**关键词:** 焊接 摩擦塞焊 应用

**[ABSTRACT]** Some knowledge such as the basic theory, advantages and the current state of FPW at home and abroad are introduced in this paper. The application of this technology is represented, and the necessity of going deeper on the subject is pointed out.

**Keywords:** Weld Friction plug welding

### Application

摩擦塞焊(Friction Plug Welding, FPW)是固相焊接技术的一种<sup>[1-2]</sup>,可用于零件焊接、缺陷修补和搅拌摩擦焊尾孔的消除。其原理是利用可消耗的特型棒(可称之为塞棒)在一定的压力或拉力条件下,通过驱动装置带动塞棒旋转,塞棒边旋转边下降,使塞棒与塞孔(待焊的孔)接触、摩擦,形成塑化金属,然后顶锻、塞棒停转,完成焊接。作为一项固相的焊接技术和修复技术,摩擦塞焊具有很多优点,如环保、焊速快(填充 100mm 深的孔只要 20s)、可在恶劣环境中进行焊接等<sup>[3-4]</sup>。

根据主轴压力施加方向的不同,可以将摩擦塞焊分为推式摩擦塞焊(Friction Push Plug Welding)<sup>[5]</sup>和拉式摩擦塞焊(Friction Pull Plug Welding)<sup>[6-12]</sup>(见图 1)。

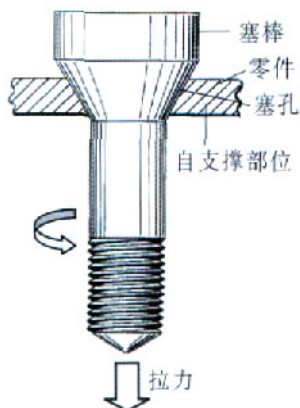


图 1 拉式摩擦塞焊<sup>[6]</sup>

Fig.1 Friction pull plug welding

推式摩擦塞焊根据待焊接的孔的尺寸和形状又可分为柱形塞棒摩擦塞焊(Friction Hydro Pillar Processing, FHPP)<sup>[13]</sup>和锥形塞棒摩擦塞焊(Friction Taper Plug Welding, FTPW)。当待焊缺陷的尺寸大于塞棒直径时,需要多个塞棒叠加完成缺陷修补,该方法称为摩擦叠焊(Friction Stitch Welding, FSW),见图 2<sup>[14]</sup>。

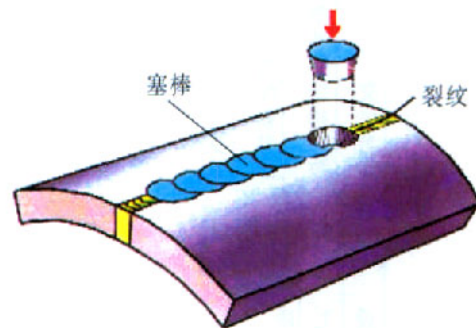


图 2 摩擦叠焊<sup>[14]</sup>

Fig.2 Friction stitch welding

## 1 塞焊的研究现状

### 1.1 国外研究现状

TWI 的 Thomas 和 Nicholas 对 FHPP 和 FTPW 两种推式摩擦塞焊进行了研究,发现钢和一些非铁合金的 FHPP 有很好的拉伸、弯曲和冲击性能。摩擦塞焊试件见图 3,图 3(a)为低碳钢塞棒与不锈钢管进行的塞焊,图 3(b)为 6082 铝合金塞棒和工业纯铝的塞焊,从图中可以看出存在一些剪切环,这是焊缝性能良好的标志。



(a) 低碳钢-不锈钢



(b) Al-Al

图 3 摩擦塞焊试件

Fig.3 Friction plug welding specimens

Circle Technical Service 公司开发了 HMS3000 摩擦塞焊设备,可实现空气和水中的焊接,可以焊接的塞棒尺寸为  $\phi 12\sim 24\text{mm}$ ,该设备可以进行多种材料的焊接,如铝-铝、铝-钢、铝-陶瓷、铜-铜以及钢-钢等<sup>[15]</sup>。

美国 Lockheed Martin 公司对拉式摩擦塞焊进行的研究表明,塞棒的锥度和形状与待焊孔存在一定的匹配关系,如果参数选择不合适,则会出现塞棒被拉出、塞棒上部分离及未实现有效连接等缺陷,如图 4<sup>[6]</sup>所示。

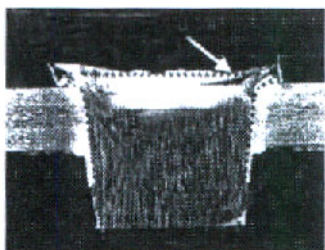
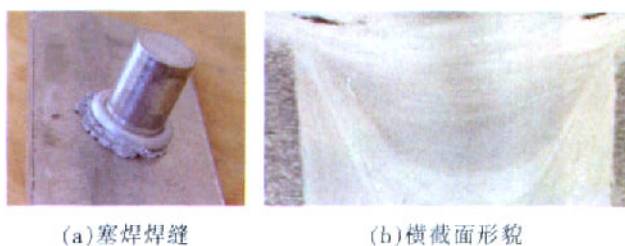


图 4 塞棒缺陷

Fig.4 Plug defects

## 1.2 国内研究现状

国内进行摩擦塞焊研究的单位比较少。北京航空制造工程研究所对 LY12 的摩擦塞焊进行了研究,发现如果工艺参数合适,可以得到致密的塞焊焊缝,见图 5;反之,则不能实现有效的连接,见图 6。国内还有其他的单位对 2A14 及 2219 铝合金的摩擦塞焊进行了研究,研究结果表明,塞焊接头设计、塞棒和待焊孔的对中度等是塞焊的关键因素。

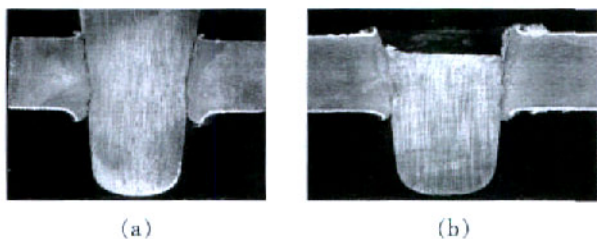


(a)塞焊焊缝

(b)横截面形貌

图 5 塞焊焊缝

Fig.5 Friction plug welding seam



(a)

(b)

图 6 工艺参数选择不当时出现的缺陷形式

Fig.6 Defects due to improper process parameters

## 2 塞焊应用

塞焊技术是一项固相的连接技术,与熔焊相比具有显著的优点,尤其在焊接熔焊方法不易实现焊接的材料和环境。Circle Technical Service 公司已将 HMS3000 用于试验件的焊接并进一步将该技术用于水下石油管道的修复<sup>[16-17]</sup>。TWI 和 Lockheed Martin 公司已将该技术用于搅拌摩擦焊尾孔消除。由于摩擦塞焊技术的优点,该技术在下水石油管道的修复、部分难于用熔焊方法焊接的铝合金缺陷修复以及铝合金搅拌摩擦焊尾孔的消除等方面必然会得到更广泛的应用。

## 3 结论

- (1)摩擦塞焊是一种固相连接技术,具有许多优点,可以用于缺陷修补和搅拌摩擦焊尾孔消除;
- (2)摩擦塞焊接头的机械性能良好;
- (3)摩擦塞焊对焊接环境要求较低,可在恶劣环境中进行焊接;
- (4)国内进行摩擦塞焊的研究较少,有必要进行更深入的研究该技术。

注:本文有参考文献 17 篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要,请向编辑部索取。

(责编 淡蓝)

(上接第 73 页)

## 参 考 文 献

- [1] 贾晓亮,田锡天,黄利江,等.飞机制造工艺技术信息系统关键技术研究及实现.航空制造技术,2007(11):86-89.
- [2] 张旭辉,宁汝新,张旭,等.基于 PDM 的动态 BOM 管理技术.航空制造技术,2007(6):86-89.
- [3] 刘晓冰,黄学文,马跃,等.面向产品全生命周期的 xBOM 研究.计算机集成制造系统-CIMS,2002,8(12):983-987.
- [4] 蒋辉,范玉青.面向 BOM 的制造工艺系统.航空制造技术,2003(19):33-35.
- [5] 赵嵩正,殷茗,梁工谦,等.基于 .NET 的特大型飞机质量评估系统的设计与实现.航空学报,2005,25(90):2 155-2 158.
- [6] 贾晓亮,张振明,朱名铨,等.基于 Web 的飞机产品制造 BOM 管理系统研究与实现.组合机床与自动化加工技术,2003(4):18-20.
- [7] Ji Guoli, Gong Daxin, Freddie Tsui. Analysis and implementation of the BOM of a tree-type structure in MRPII. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 17(1): 71-77.

(责编 侧卫)