

双金属铆钉特点及安装工艺技术

Features and Installation Technology of the Bimetal Rivets

中航工业北京航空制造工程研究所 孙小雯 刘风雷 刘健光 王立东

[摘要] 双金属铆钉是一种铆接过程中钉杆不变形的新型铆钉,适用于复合材料等结构的连接。铆钉具有较高的抗剪性能,又具有良好的铆接性能,还具有重量轻、成本低、装配简单等特点,已经在航空航天等部门获得了应用。结合国内外双金属铆钉的发展状况,简单阐述其性能与结构特点,并简要介绍其安装工艺技术。

关键词: 双金属铆钉 钛合金 钛铌合金 惯性摩擦焊接 复合材料结构

[ABSTRACT] Bimetal rivets are new fasteners designed for composites structures or others which the shank has no deformation. The rivets combine a high shear strength shank with a ductile tail. They have the characteristics of light weight, low coast and simple in assembly, which had been used in the department of aerospace. Combining with the development of bimetal rivets in foreign and domestic, simply described their performance, structural features and installation technology..

Keywords: Bimetal rivets Titanium alloys Titanium-niobium alloys Inertia friction welding Composites structures

随着航空科技不断发展,宇航飞行器越来越多地使用复合材料来提高宇航飞行器的先进程度,因此复合材料结构的连接技术对飞机结构的安全和效率至关重要。由于复合材料在连接、装配、使用中易产生一系列问题,如复合材料有层间剪切强度低、抗冲击能力差、抗拉脱强度低、塑性低等弱点,从电位和比强度两个方面进行考虑,复合材料的结构连接最好选用具有密度低、比强度高、耐腐蚀、耐高温、无磁等优良性能的钛合金紧固件^[1-2]。双金属铆钉是连接复合材料等结构的一种新型钛合金紧固件,铆接时钉杆不变形,不易引起复合材料层压板孔内壁及表皮的损伤,并且剪切强度高,可替代抗剪型钛高锁螺栓,具有众多优良的性能。本文旨在对双金属铆钉的应用、特点、安装工艺等作简要阐述。

1 双金属铆钉的发展与应用

在国外,双金属铆钉最早是美国原 Cherry 公司于上世纪八十年代开发的产品,可替代双件套的抗剪型钛合金高锁螺栓和抗剪型钛环槽铆钉。1974 年美国对双金属铆钉申请了专利, Gapp、Roland Howard、Alazraki、Marcos Daniel 等人描述了双金属铆钉铆接前后的结构形状,对双金属铆钉不同焊缝位置形状进行了总结,列举了球形焊缝、弯曲焊缝、环形焊缝三种不同焊缝位置形状,并认为球形焊缝最经济实惠且易于加工成型,环形焊缝形状最难成型^[3]。1999 年,美国航天工业协会制定了 AIA/NAS NASM83459 双金属铆钉产品标准与技术规范,规定了双金属铆钉尺寸标准与质量标准。2006 年,美国 cherry 公司专门制定了不同型号的双金属铆钉尺寸标准和技术规范,为双金属铆钉的研制提供了重要参考与理论依据。目前,双金属铆钉在美国被应用于 F-15、F-14、B-2、F-22 以及直升机、发动机的钛合金、复合材料结构上,例如: F-14 战斗机机翼前缘使用了 4000 只该双金属铆钉,减轻了飞机结构重量,降低了成本^[4]。双金属铆钉不仅在军用飞机上取得了应用,并且波音公司在民用飞机中也选用了该双金属铆钉连接复合材料结构。近年来我国也相继研制开发了该型双金属铆钉,已经在新一代飞机的复合材料蒙皮铆接中获得了工程应用。2008 年中国航空工业标准件制造有限责任公司与中国航空综合技术研究所通过摩擦焊的方法



图1 试制样品
Fig.1 Trial sample

共同研制出一种双金属铆钉并申请专利技术,其轴向抗拉强度最低可以达到 550MPa,剪切强度达到 650MPa^[5]。2010 年,贵州航天精工制造有限公司也研制出一种双金属铆钉,其中,钉杆选用抗拉强度大于 1100MPa 的高强度金属材料,钉尾选用抗拉强度小于 550MPa 的低强度金属材料^[6]。近年,北京航空制造工程研究所也开始了双金属铆钉标准件的研制工作,试制的产品如图 1 所示。

2 双金属铆钉特点

目前 Cherry 公司已经研制了多种型号的双金属铆钉,有普通型的,也有大干涉型的,头型有沉头和平头的,产品形状如图 2 所示。

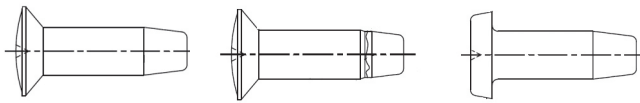


图2 3种型号双金属铆钉
Fig.2 Three kinds of bimetal rivets

双金属铆钉的主要特点是适用于复合材料结构的铆接,原因一是在铆接过程中,钉杆不变形,不会引起层压板的开裂,避免了复材板受撞击和孔壁因钉杆的胀粗而受损的情况;二是双金属铆钉钛合金材料的正电位性与碳纤维复合材料相匹配,可以有效地防止紧固件的电偶腐蚀,保证了接头质量,提高了连接件的使用寿命^[7]。在选材方面,双金属铆钉的特点是钉杆材料为 TC4 合金,钉尾材料为 Ti-45Nb 合金。钉杆 TC4 经固溶和时效处理后抗剪强度高,可达 655MPa 以上,抗拉强度可达 1100MPa 以上;钉尾钛铌合金塑性高,冷加工性能优异,在铆接时只需用较小的冲击力就可以使 Ti-45Nb 钉头产生塑性变形^[8]。此外,铆钉使用的钛合金增重少,疲劳强度高,应力集中敏感性低、抗腐蚀、无磁性、使用温度高,有利于提高飞机安全性能与先进程度^[2]。在结构方面,双金属铆钉结构简单,通过图 3 对比双金属铆钉和双件套高锁螺栓紧固件可以看出,铆钉可在 10° 材料斜面上直接铆接,铆接头部高度低于螺栓连接头部高度,方便易于安装在机体上,安装工艺简单,可使用压铆

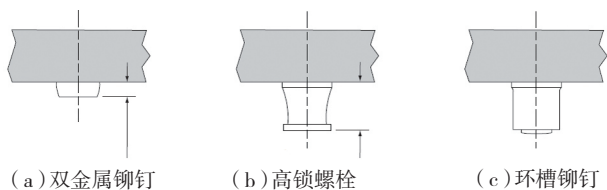


图3 三种紧固件可铆接截面坡度与安装钉头高度对比
Fig.3 Comparison of three fasteners about the installing slopes and the upset profile

或锤铆的方式进行铆接,适用于飞机某些安装空间小的部位的连接。

在双金属铆钉的制造方面,要求既要保证钉杆和钉尾的焊接质量和强度要求,又不能使金属大量外溢进而影响了整体长度。此外,由于紧固件直径较小,还需要保证界面金属的可控性。其中,惯性摩擦焊接头具有质量好且稳定、生产效率高、不需添加金属、环保无污染等特点^[9],是国外普遍采用的焊接双金属铆钉的方法。目前世界上紧固件生产公司普遍采购 MTI 公司生产的小型惯性摩擦焊机进行双金属铆钉钉杆和钉尾的焊接,工艺已经成熟。

3 双金属铆钉安装工艺

双金属铆钉和普通实心铆钉对于复合材料机械连接的工艺有显著不同。在复合材料上安装普通铆钉时,为防止产生产品分层的缺陷,孔的加工要求高,普通铆钉的钉杆膨胀不均匀,复材板易受损,接头疲劳寿命短。对比双金属铆钉在铆接时钉杆不向外膨胀,即不对孔壁产生挤压,复材只受到垂直于板材表面方向上的挤压力,避免了复材板受撞击和孔壁因钉杆的胀粗而受损的情况,因此复材的铆接应优先选择双金属铆钉^[10]。双金属铆钉的制孔要求可以借鉴美国 Cherry 公司应用的标准,沉头窝深度 B 与直径 C 、制孔直径 D 、沉头孔圆角 R 、平头孔圆角 P 等尺寸公差需要按标准制定,以保证铆钉安装质量,制孔尺寸位置如图 4 所示。

普通铝合金等材料的铆钉的标准镦头尺寸, HB/Z

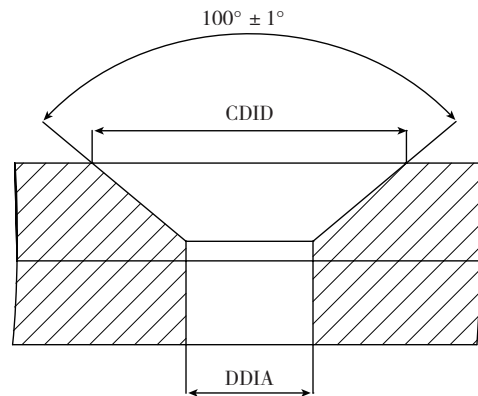


图4 双金属铆钉制孔尺寸位置
Fig.4 Hole preparation of bimetal rivets

223.3-2003 《飞机装配工艺,第 3 部分:普通铆接》标准中有公式确定,镦头最小高度为 $0.4d$,铆钉直径小于 5mm 时,镦头直径为 $(1.5 \pm 0.1)d$,铆钉直径大于 5mm 时,镦头直径为 $(1.45 \pm 0.1)d$,HB/Z 223.21-2003 《飞机装配工艺,第 21 部分:复合材料的铆接》指出复合材料

(下转第 129 页)

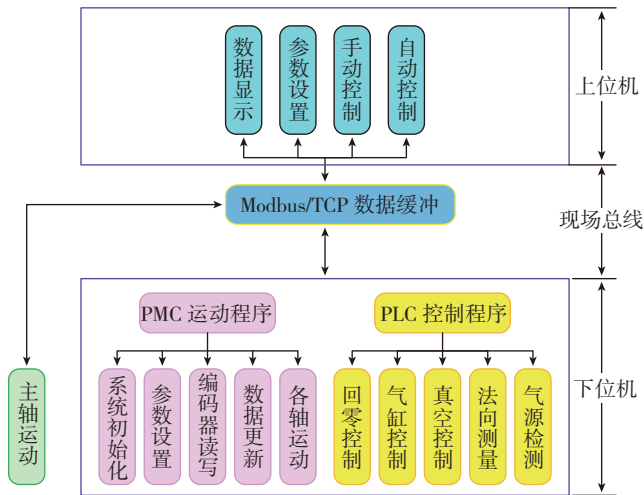


图4 爬行机器人制孔系统软件结构

Fig.4 Software architecture of crawling robot drilling system

2.3 下位机程序设计

UMAC 是一台具有独立内存、独立运算操作能力的计算机,它使用 DSP 数字处理芯片,内部有一套自己的编程语言,具有内置 PLC 和 PMC 运动控制程序,可以在后台同时运行 32 个异步 PLC 程序。在 UMAC 上运行运动程序前必须定义一个坐标系,多轴可以联动于一个坐标系下,也可以独立运行在不同的坐标系下。爬行机器人制孔系统中的各轴被分配到一个坐标系下。下面程序是把 X 轴进行坐标定义和参数配置的程序实例:

```

&1      ;定义坐标系
Close   ;关闭缓冲区
#1->X   ;缓冲区清零
LINEAR  ;采用线性插补
ABS     ;绝对值方式
TA500   ;设定加速度时间
F(2000) ;速度赋值
Z(500)  ;位置赋值
COMMAND "#1J-" ;第一轴运动
CLOSE   ;关闭缓冲
    
```

3 结论

本文通过对 UMAC 多轴运动控制器伺服控制功能的开发与研究,搭建了基于 UMAC 的多轴伺服控制系统,进行了爬行机器人制孔设备控制系统的设计,并开发了配套运动控制程序与操作软件。

参考文献

[1] 刘建东,张云志.UMAC 伺服同步控制技术在轨迹制孔上的实现 // 第五届柔性装配技术论坛论文集, 2013: 229-236.
 [2] 徐欣圻,杨世海.基于 UMAC 的精密伺服控制系统.安徽大学学报, 2005, 29(4): 41-45.

(责编 谷雨)

(上接第 126 页)

的铆钉墩头可参照普通铆接标准,可见复合材料结构普通铆钉的墩头尺寸至今还没有一个统一的标准,使用单位一般都在采用自己企业的标准。由于复合材料的脆性较大,更易发生挤压破坏,因而墩头不宜过大。参照金属结构的铆接,并考虑到复合材料层压板层间强度低的特点,双金属铆钉铆接后墩头尺寸可以参考 Cherry 公司的安装尺寸标准,墩头直径不小于 $1.3d$ (d 为铆钉直径),头部高度最小为 $0.34d$,如表 1 所示。

表1 双金属铆钉墩头尺寸

公称直径 (英制)	最小钉头直径 $1.3d$ /in	最小头部高度 $0.34d$ /in	顶锻力 /lbs
5/32 (-5)	0.213	0.056	3700
3/16 (-6)	0.246	0.065	5000
1/4 (-8)	0.325	0.085	8600
5/16 (-10)	0.408	0.106	15200
3/8 (-12)	0.488	0.128	22000

4 结束语

随着钛合金及其复合材料在宇航飞行器中用量的不断增加,钛合金紧固件的需求量将日益增长,这一产业也将不断得到发展。双金属铆钉作为用于复合材料等结构连接的特种紧固件,具有钉杆强度高、钉尾易于铆接、重量轻、成本低、安装简单的特点,可替代抗剪型高锁螺栓和钛合金环槽铆钉等紧固件,在宇航飞行器中的应用将越来越多。我国应加强对双金属铆钉的研究,使其成为一项完整的体系,以保障先进飞机研制的水平和质量。

参考文献

[1] 刘风雷,刘丹,刘健光.复合材料结构用紧固件及机械连接技术.航空制造技术,2012(1/2):102-111.
 [2] 倪沛彤,韩明臣,张英明,等.宇航飞行器紧固件用钛合金的发展.钛工业进展,2012(29/3):6-10.
 [3] Gapp R H, Alazraki M D, Harper J.Bimetal Rivets.United States ,utility, 3848389.1974/11/19.
 [4] 句庚麟.双金属钛铆钉.洪都科技,1983(01):23.
 [5] 龚少梅,隋明丽,龚力,等.一种双金属铆钉.中国,Y,ZL 200820096627.1,2009/7/8.
 [6] 谢丹贤,胡军林,谢仁军.一种双金属铆钉.中国,U,ZL 201020161612.2,2010/04/16.
 [7] 吕建坤.飞机复合材料结构件的连接技术.航空制造工程,1995(04):25-28.
 [8] 张利军,王幸运,郭启义,等.钛合金材料在我国航空紧固件中的应用.航空制造技术,2013(16):129-133.
 [9] 宁斐章,才荫先.摩擦焊.北京:机械工业出版社,1983.
 [10] 孙钢.抽芯铆钉用于复合材料夹层的研究与探讨.航空标准化与质量,2009(04):16-18.

(责编 叶枫)