

TC4 薄板 TIG 焊喷流保护焊接工装的设计

哈尔滨工业大学现代焊接生产技术国家重点实验室(150001) 张 勇 杨建国 刘雪松 方洪渊

摘要 钛合金是一种具有高的比强度和较好的耐腐蚀性,低温下能保持良好的塑性和断裂韧性的合金。在焊接过程中尽管钛合金的残余应力低于屈服极限,但是其物理特性导致焊接过程中产生较大的变形,阻碍了焊接的进行。同时钛合金在焊接过程中表现出较强的化学活性,焊后在焊缝区存在着大量的气孔,表面由于氧化严重会呈现蓝色,焊件塑、韧性急剧下降,导致产品报废。文中在原有的焊接工装设计经验基础上,根据随焊控制焊接变形的工艺要求,设计出一种采用喷流保护的焊接工装,用于钛及钛合金焊接过程。通过试验验证了该焊接工装的实用性和操作时的便利性。

关键词: 喷流保护 焊接工装 TC4 TIG 焊
中图分类号: TG431

0 前 言

由于航空航天工业发展的需要,使钛工业以平均每年约 8% 的增长速度发展,钛合金牌号近 30 种。使用最广泛的钛合金是 Ti-6Al-4V(TC4),Ti-5Al-2.5Sn 和工业纯钛(TA1、TA2 和 TA3)。钛合金主要用于制作飞机发动机压气机部件,火箭、导弹和高速飞机的结构件。20 世纪 60 年代中期,钛及其合金已在一般工业中应用,用于制作电解工业的电极,发电站的冷凝器,石油精炼和海水淡化的加热器以及环境污染控制装置等。此外还用于生产贮氢材料和形状记忆合金等^[1-4]。

钛合金的焊接残余应力低于其屈服强度,但其绝对值并不低。在薄壁构件上,如果焊后残余应力相当的话,由于钛合金的弹性模量小,钛合金构件在焊接过程中发生的变形会比一般钢结构严重些^[5]。为了保证焊接质量和焊接过程的顺利进行,需要设计专用的焊接工装来保证上述的要求。工装是用以安装加工对象,使之占有正确的位置,以保证零件和产品的质量,并提高生产效率的装备。焊接工艺装备就是在焊接结构生产的装配与焊接过程中起配合及辅助作用的夹具、机械装置或设备的总称,简称焊接工装。其中夹具主要包括定位器、夹紧器、推拉装置等;机械装置或设备主要包括焊接变位机、焊接操作机、焊接升降台等。大多数焊接工装是为某种焊接组合件的装配焊接工艺

而专门设计的,属于非标准装置,往往需要根据加工件的结构特点、生产条件和实际需要自行设计制造^[6,7]。

TC4 不仅在焊接过程中发生较大的变形,而且由于钛的化学活性强,随着温度的增高,其化学活性也将迅速增大,并在固态下能强烈地吸收各种气体。例如:将纯钛板加热到 300 °C 时,在钛板表面就会吸附氢气;而加热至 400 °C 时即吸收氧气;600 °C 时吸收氮气。含有氧、氮、氢等杂质元素的纯钛,焊接接头的强度显著提高,而塑性和韧性急剧下降。TIG 焊是焊接薄板钛及钛合金最常用的方法。研究发现,双相 $\alpha + \beta$ 合金的焊缝,较之单相的 β 合金的焊缝形成气孔的倾向性更大。增加多层焊中焊道的数量,则使气孔数量增加。焊缝的多孔与焊接时的热输入有关:随着热输入增加到一定的数量范围,则气孔的数量便急剧地增加。气孔对焊接接头的疲劳强度产生不良影响,也会降低焊缝的静载强度。所以应特别注意保护被焊的零件和焊接熔池,使其不与空气相互作用^[8-11]。一般可以采取三种主要的保护措施:零件的整体保护,局部保护和喷流保护^[12]。

在焊接活性较强的钛及钛合金中,使用整体和局部保护的密闭箱(盒)被广泛使用。对全部零件进行整体保护时,通过消除可能遭到的偶然破坏,从而使保护变得很可靠。这种方法,通常配用专门的仪器——气体分析仪来监测气氛的组成。这些密闭箱的主要缺点是容积有限,操作复杂,焊接时焊工在箱体外操作。

试生产或单件生产庞大的焊接组件时,采用整体密闭箱,从经济观点考虑是不适宜的。在这种情况下,为保护焊缝及近缝区的金属不与空气相互作用,可以

收稿日期: 2008-10-24

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20070410900)

使用局部密闭盒。一般来说可以分成两种类型:预抽真空的及不预抽真空的。对密闭盒来说,在一定的惰性气体流量下都有气氛纯度及通气时间的关系图表。这些图表都是在密闭盒投产时通过试验测定的。

在钛及钛合金的定位焊时经常采用喷流保护法。此种保护方法在单件生产的焊接中获得应用。为提高喷流保护的效率,采用的措施有:增加喷嘴的气体流量,减少电极伸出长度,引进与喷嘴的主流同心的补充气流,使气体通过多孔性材料或细孔筛网的衬垫。从气体保护效率来看,圆柱喷嘴优于锥形喷嘴,为了获得层流,建议使用长圆柱形喷嘴。

所以对于以 TC4 为代表的钛及钛合金薄壁结构的焊接工装不仅要考虑工装的选型、夹紧和定位等,同时由于钛及钛合金在焊接过程中较强的化学活性还应考虑保护的问题。

1 工装设计的选择

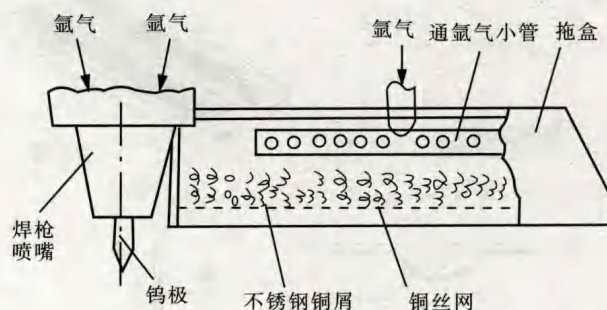
焊接件为薄板件时,其刚性比较差,极易变形,如果仍然按刚体的六点定位原理,即 3-2-1 定位,工件就可能因自重或夹紧力的作用,定位部位发生变形而影响定位精度。此外,薄板焊接主要产生波浪变形,为了防止变形,通常采用比较多的辅助定位点和辅助夹紧点。因此,薄板焊接工装不仅要满足精确定位的要求,还要充分考虑薄板件的易变形的特点,所以在第一基面上的定位点数目 N 允许大于 3,即采用 $N-2-1$ 定位原理。

$N-2-1$ 定位原理是 Cai W. 等人于 1996 年在采用变分法确定传统 3-2-1 定位夹具定位点位置的基础上,针对柔性薄板零件易变形的特点提出来的。 $N-2-1$ 定位原理是一种新的定位原理,该定位原理与广泛应用于刚性件的 3-2-1 定位原理相比,更适用于薄板件的定位^[6]。

图 1~图 3 分别为中国、美国和前苏联的焊接工作者在焊接钛及钛合金时所采用的焊接工装。图 1a 中喷嘴的结构是由在一个普通氩弧焊枪上,加一个通有氩气的拖盒组成。拖盒内部加上一层铜丝网,以增加氩气流的稳定性。拖盒的尺寸一般取 $40\text{ mm} \times (100 \sim 250)\text{ mm}$ 。拖盒的外形要根据产品形状制作,以能与产品表面良好配合为原则。附加保护装置(图 1b)是由带沟槽的紫铜板、通氩气的紫铜管组成,用它来保护焊缝背面。如果工件是封闭的筒状物,就可以在筒内充以氩气保护。

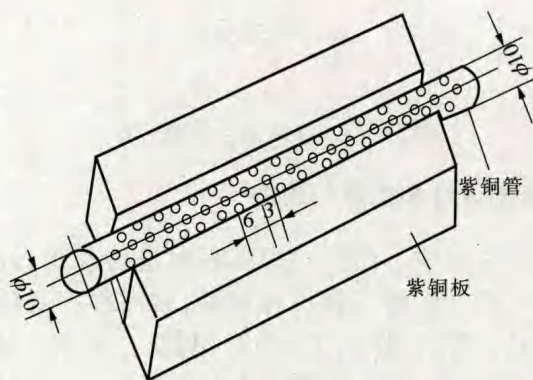
图 2 中焊枪的喷嘴直径常大于通常使用的喷嘴直

径,目的在于提高输出氩气的量,加强焊接区域的惰性保护气氛。比如 0.8 mm 的钨极其所对应的喷嘴的直径约为 16 mm , 1.6 mm 的钨极其所对应的喷嘴的直径约为 19 mm 。保护气同时可以通过两边的压板来输入,在焊接过程中将焊缝周围的空气吹走,从而起到了保护上表面的作用。背面的金属在较高温度的状态下同样需要进行保护,氩气通过背面的圆孔输入到待保护部位,起到背面保护的作用。



焊钛时氩弧装置示意图

(a) 焊炬



焊缝背面附加保护装置

(b) 垫板

图 1 中式焊接钛合金的工装

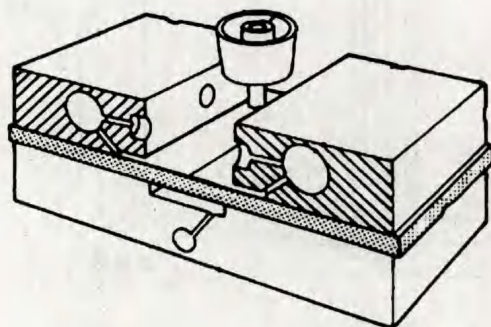


图 2 美式焊接钛合金的工装

图3所示的保护方式不仅适用于钛合金的焊接,同样也适用于各种活性金属的焊接。带保护气槽的垫板(图3a)形式可以根据接头形式的不同而进行相应的修改,具有较强的适应性。采用橡胶密封条的垫板(图3b)和采用密封材料制作的衬带,可以在较大程度上改善焊缝背面通气保护的效果,而且具有较强的适应性。采用的焊炬与图1a中的相似。

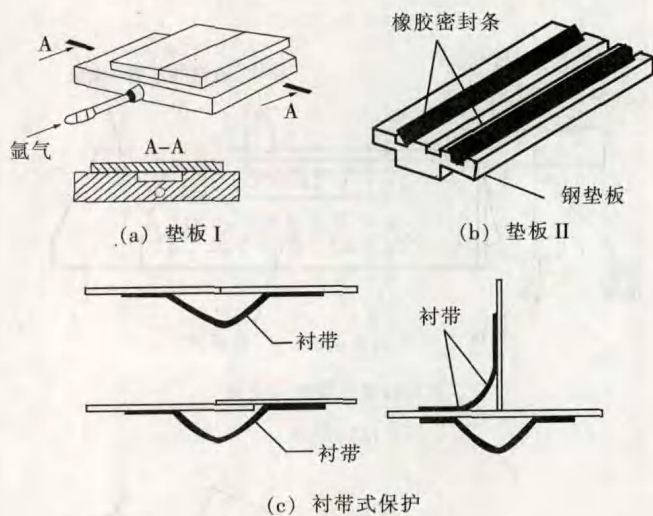


图3 苏式焊接钛合金的工装

2 工装的设计和相应的功能

焊接过程中不仅要对焊接板材进行保护,同时要给与一定的变形矫正和机械加载,故而根据具体的焊接工艺技术要求提出了新的设计想法。采用的是喷流保护方式,同时考虑到焊接过程中热输入的控制,将TC4的焊接工装分为三个部分:下垫板、上垫板和压板。图4和图5是相应的示意图和实物图。

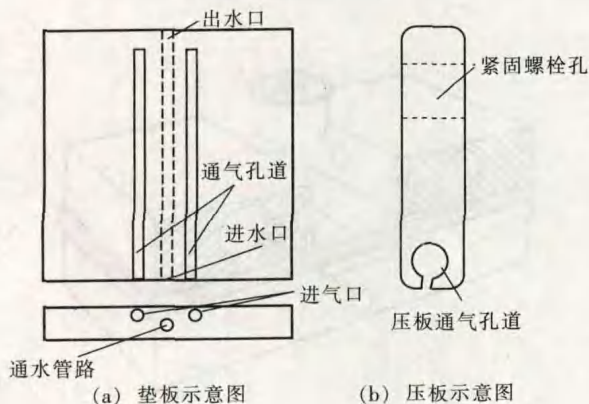


图4 工装夹具示意图

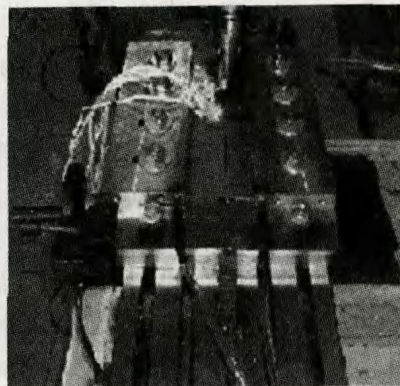


图5 喷流保护工装夹具实物图

下垫板主要的功能包括通水(改变焊接过程中的冷却速度)和通气(对背面进行保护)。通水是在下垫板的底部预铣出一个通槽,然后手工电弧焊的方式将其封闭起来,中间空通部分可作为冷却水的通道。在下垫板离中心3~4 mm部位铣出2~3 mm的槽,在端部车出内螺纹,内螺纹可车至铣槽头部,便于将氩气输入到待保护的焊缝及近缝区。在两端钻出12个 $\phi 18$ mm的通孔,便于将下垫板固定在行走机构的槽内。

上垫板与下垫板的结构形式基本相同,主要的功能包括导气(防止气体扩散出去)、保护下垫板(可以对误操作有一定的裕量)和定位的作用。导气的功能是通过与下垫板对应的位置铣出底部略窄、顶部较宽的两条距中心3~4 mm的槽,槽宽可根据需要加以选择。上垫板可在底部距焊接区域较远的部位铣出一周凹陷部位,在此部位可嵌入密封的胶条,起到防止氩气通过上下垫板间的间隙泄露到周围气氛中,强化了保护焊接区及近缝区的作用。上垫板的板厚为10 mm,可对焊接过程中的过多的热输入熔透钛板继而损坏下垫板的负作用起到防护。使用一段时间后可对上垫板进行打磨,保持其与底面的平行度和自身的平面度。另在上垫板上钻了离中心和端部一定距离的孔,加上定位销后可以起到限定位置的作用。定位销有沿着焊件的长度方向分布的,从而对板的横向位置进行约束,便于焊件的对中。这里可以根据常用板材的宽度进行位置的选定。在通气槽周围横向布置的四个孔,加入定位销后可以保证板材在纵向上的约束,从而反应了N定位的特性。

压板主要的功能包括夹紧和两面通气保护。为了保证夹紧力分布的均匀性,在板上按均匀间距钻了4个通孔,通过穿过该孔的螺栓及配套的螺帽起到了加紧和固定焊件的作用。采用线切割的方式进行了板侧

长缝的加工。采用 TIG 焊的方式将该部分封闭起来,将一端车出内螺纹,然后与接氩气的管路连接起来。氩气流过长缝,斜吹向焊接区域,起到了保护焊缝区及近缝区的作用。

3 试验及结果

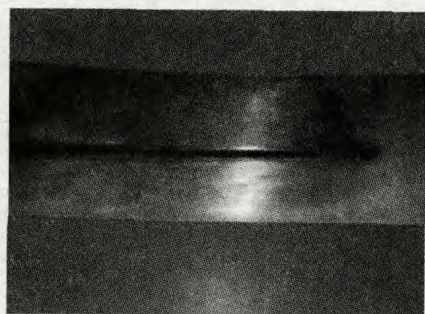
为了验证焊接工装的实用性,进行了相应的 TIG 焊试验。表 1 为 TC4 自动钨极氩弧焊的焊接工艺参

表 1 TC4 自动钨极氩弧焊工艺参数

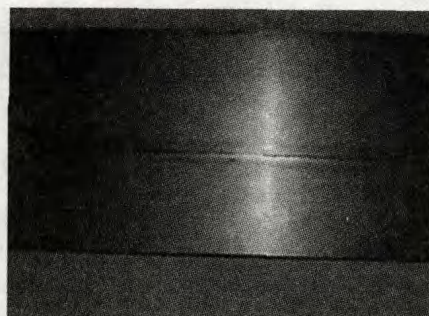
板厚 δ/mm	钨极直径 d/mm	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	氩气流量 $Q/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$			焊接 层数
					焊枪	下垫板	压板	
1	2	80	12~15	470	10	6	12	1

数,焊机为 COMPA-500P,采用直流正极性的接法。预紧力通过预紧力扳手施加,为 $50 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

通过试验,焊后钛板背面为银白色,正面为金黄色,说明背面的保护优于正面的保护。如图 6 所示。



(a) 焊缝正面



(b) 焊缝背面

图 6 焊后焊缝形貌

这种情况的出现与正面的电弧和压板侧缝吹出的氩气对保护气氛的扰动有关。背面的保护区处于一个较封闭的状况下,说明只要预先通气一段时间就可以保证保护效果,另外背面接触的金属将输入的热量较快的传导出去,降低了该区域的高温阶段的时间,减少了与周围气氛反应的时间,所以背面的保护效果一般要优于正面。

4 结 论

(1) 参考各种钛合金焊接工程的设计资料,结合随

焊过程的加载工艺的要求,设计出了一套采用喷流保护方式的、合于使用的焊接工装夹具,该夹具能够保证焊接过程的顺利进行。

(2) 该工装夹具具有在焊接过程中保护被焊区域和调整焊缝冷却速度的作用。垫板和压板通保护气的措施保证了焊接过程中对钛合金高温区域的保护,从而保证了焊缝的质量,达到了设计要求。

参 考 文 献

- [1] 李殿魁. 钛合金近期发展趋势[J]. 上海钢研, 1996(6): 48-53.
- [2] 石玉峰, 江河, 刘振球, 等. 钛技术与应用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1990.
- [3] 赵敬东. 钛合金焊接的常见缺陷及其预防[J]. 航空制造技术, 2000(5): 56.
- [4] 《中国航空材料手册》编委会. 中国航空材料手册(第一版)[M]. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- [5] 刘朝晖. 关桥论著选编[M]. 北京: 北京航空制造工程研究所, 2002.
- [6] 陈焕明. 焊接工装设计基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 2004.
- [7] 王 政. 焊接工装夹具及变位机械[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [8] 顾曾迪, 陈根宝, 金心溥, 等. 有色金属焊接(第二版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- [9] 米泽河男. 钛及钛合金的焊接[J]. 稀有金属快报, 1989(1): 48-56.
- [10] 戚运莲, 洪 权, 刘 向, 等. 钛及钛合金的焊接技术[J]. 钛工业进展, 2004(6): 25-29.
- [11] 赵红凯, 王春亮, 任 飞, 等. 钛合金焊接的研究进展[A]. 成都: 2007 高技术新材料产业发展研讨会暨《材料导报》编委会年会论文, 2007(5): 342-343.
- [12] 古列维奇. 高强度钛合金的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 1980.

作者简介: 张 勇, 1977 年出生, 博士研究生, 主要从事焊接结构可靠性评价的研究, 已发表论文 3 篇。