

$\alpha + \beta$ 两相型钛合金中厚板箱体焊接变形控制方法

刘宁宁, 景建元, 赵海云, 王艳玲

北京金宇顺达科技股份有限公司 北京 100070

摘要: $\alpha + \beta$ 两相型钛合金中厚板箱体焊接会产生一定的变形, 严重影响箱体使用。通过设计一系列的方法控制变形, 对焊前的板材设计镶嵌式结构, 拼焊过程在焊接夹具中实现, 调节合适的焊接参数, 以及焊后真空热处理。经过一系列控制方法的应用, 焊接变形得到有效控制, 满足使用要求。

关键词: 钛合金; 箱体焊接; 变形控制

1 序言

$\alpha + \beta$ 两相型钛合金 (例如TC4) 是钛合金中最常用的材料。 $\alpha + \beta$ 两相型钛合金兼具良好的塑性和强度, 在工业生产中应用广泛。钛合金有化学性质活泼的特点, 在焊接过程中要注意焊接保护。另外钛合金还有低导热性的特点, 在焊后特别容易出现变形的情况^[1, 2]。由于 $\alpha + \beta$ 两相型钛合金中厚板箱体焊缝长度较大, 为了保证结构稳定性, 焊脚比较大, 因此箱体变形比较大。为保证箱体最终形状尺寸和后续使用, 必须对焊接变形进行控制^[3]。

我公司承接某TC4中厚板箱体批量生产项目, 对箱体形状尺寸有极高的要求。所用TC4板材化学成分和力学性能见表1。箱体外形尺寸820mm×780mm×425mm, 所用拼板厚度在5~12mm之间, 主要使用8mm和10mm厚的TC4板材。此长方形箱体在高度方向2/3处设计横向隔板, 将箱体分成上下两部分, 上部分是一个空腔, 下部分腔体增加两块贯穿的加强板, 箱体下空腔要求焊缝具有密封性。整个箱体的外部各板均有装配功能的方形或圆形孔, 焊接过程中要注意对孔的保护。

采用一系列方法控制箱体的焊接变形, 焊前

为箱体设计专门使用的焊接夹具, 夹具有定位和固定作用。箱体拼接之前在拼板边缘处分别加工出镶嵌凸台和镶嵌凹槽, 这对拼板有固定作用。在焊接过程中, 设定合理的焊接工艺, 采用小热输入的方式, 选用合理的焊接顺序^[4], 间断焊接充分散热。焊后对箱体整体采用真空热处理。

2 箱体镶嵌

为保证箱体拼接位置准确, 以及对焊接变形进行控制, 设计出箱体的镶嵌结构, 如图1所示。镶嵌结构设置在两块拼板上, 两块拼板是角接关系, 一块板侧面一部分搭接另一块板上。在立板的侧面设置加工出平键形状的结构, 平键与立板连成一体, 平键尺寸9mm×3mm。与立板对应的底板平面边缘位置设置键槽形状的结构, 键槽尺寸9mm×3mm。键与键槽为过盈配合。键和键槽各自的间距均在100~200mm, 键与键槽分别对应。

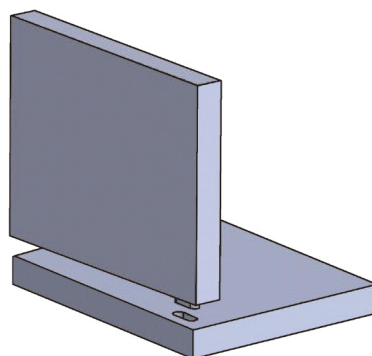


图1 箱体镶嵌结构

表1 TC4板材化学成分和力学性能

主要化学成分 (质量分数, %)				室温力学性能			
Al	V	Fe	O	状态	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	断后伸长 率 (%)
6.21	4.04	0.07	0.14	M	852	920	10

通过镶嵌结构的方式，立板紧密地固定在底板上，两板之间的贴合紧密，不存在缝隙（见图2）。两块板镶嵌好之后，保持垂直状态，然后进行焊接，要求双面焊接，内部焊缝焊接后对外部焊缝位置加工出坡口，最后完成焊接。由于镶嵌结构的存在，两板接触位置不会发生相对位移和变形等情况。镶嵌结构主要是应用于箱体外围拼板的拼焊。

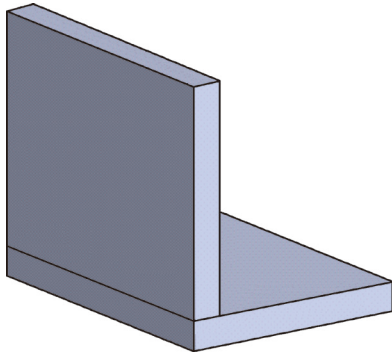


图2 箱体拼接后

3 焊接夹具

焊接夹具的主要功能是定位和固定。定位功能的实现要考虑夹具与箱体拼板的配合，利用拼板的边缘和中间孔的位置计算出夹具的位置，通过各拼板的相对位置计算，从而确定夹具零件的相对位置。箱体焊接夹具如图3所示，夹具设计整体固定于一个焊装平台上，焊装平台上有标准的定位孔、定位槽，夹具和箱体采用螺栓和抽销机构进行固定；夹具上设置滑动机构，其连接弹簧，使夹具固定板与箱体拼板靠紧，之后固定固定板，固定板的固定使用滑块与螺栓结构进行锁紧。固定板的面积尽量大，保证与箱体的大面积的贴合，受力均匀。夹具各零件的相对位置要严格保证，这是确保焊接位置的基础。

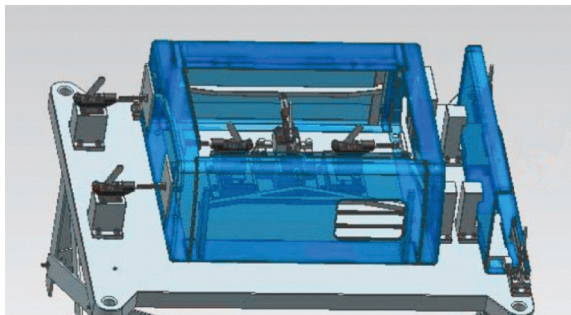


图3 箱体焊接夹具

箱体的拼板在焊装夹具上拼接点焊，然后进行焊接。焊接之后存在焊接残余热量，因此必须等残余热量全部散失之后，方可将箱体从夹具上拆卸。

4 焊接工艺控制

4.1 焊接参数选择

箱体焊接变形主要由焊接不均匀温度场引起，进而产生残余焊接应力和焊接变形。残余焊接应力不可避免，但可尽量减小。如果焊接热输入少，造成的不均匀温度场就小，进而产生的残余焊接应力就小。减小焊接热输入的主要方式就是减小焊接电流，并相应调节其他焊接参数，使其符合焊接功能实现。

此项目中箱体焊接使用手工氩弧焊的方法。采用直流正接，焊接位置大多数是角接，焊接一层即可，焊接过程使用氩气保护，在焊缝反面使用氩气背罩保护。对常规的5~12mm厚的板角接焊接的焊接参数进行调节，重点调节焊接电流。调节后实际采用的焊接参数见表2，所用焊丝化学成分和力学性能见表3。

表2 TC4中厚板箱体焊接参数

项目	板厚/mm	接头形式	焊接电流/A	焊丝直径/mm	层数	钨极直径/mm	氩气流量/L·min ⁻¹
实际参数	5~12	角接	40~60	1.2	1	2	10~12
常规参数	5~12	角接	100~120	2	1	2	16~20

表3 焊丝化学成分和力学性能

主要化学成分 (质量分数，%)				室温力学性能			
Al	V	Fe	O	状态	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率(%)
6.14	4.04	0.06	0.10	M	840	904	12

4.2 焊接顺序

箱体在焊接夹具上按照要求位置组装好后，氩弧焊点焊固定确定好位置。接下来在焊缝全焊接时，要按照一定的焊接顺序进行。整个施焊过程采用先间断焊后满焊的顺序。为减小不均匀温度场，控制残余焊接应力，要使焊接后焊缝热量尽快散

失。采用间断焊的方式,可使焊缝与空气相对接触面积增大,加快热量散失。间断焊缝长度为60~100mm,焊缝的间距同为60~100mm。间断焊接后对焊接接口位置进行清理。待热量完全散失之后,对焊缝间断缺口进行补全。

由于箱体中的焊缝比较长,因此对焊接的方向做出规定。箱体焊接时增加了之前镶嵌结构,还有焊接夹具,这为焊接时增加了约束。在有约束的情况下,如焊接方向为同一方向,纵向应力较大,则焊接变形沿焊接方向会更大。如图4所示,长方形示意作为箱体上的某一拼板,四边都有焊缝,四边上的焊缝都规定为自中间向两边的方向进行焊接,采用此焊接方向,焊缝纵向应力会小,可减小焊接变形。

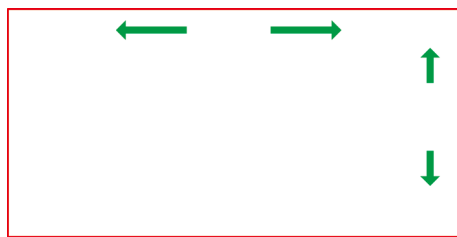


图4 焊接方向设计

5 去应力热处理

通过上述多种方法的改进,箱体焊接之后焊接变形控制问题基本得以解决。但是箱体中还存在着很大的残余应力,如果不消除会导致延迟变形,还可能引起冷裂纹,降低焊接接头的疲劳强度,因此焊后必须进行去应力热处理。

箱体焊后采用完全退火的方式,为避免箱体表面氧化污染,退火要在真空环境中进行,真空度 $\leq 1 \times 10^{-1} \text{Pa}$;在真空炉达到退火温度之后,将箱体放进炉中进行退火;保温一定时间后,箱体随炉冷

却或者冷却至300℃后空冷,去应力退火工艺参数见表4。箱体去应力退火之后,对其表面进行彻底清理。

表4 TC4中厚板箱体焊后退火工艺参数

温度 /℃	保温 时间/h	冷却方式
600±10	1.5~2	随炉冷或冷却至300℃后空冷

6 结束语

以TC4为代表的 $\alpha + \beta$ 两相型钛合金中厚板箱体焊接变形较大,影响最终使用,我公司承接中厚板箱体形状尺寸要求严格。本文为控制焊接变形,采用一系列的方法,箱体拼装时引入镶嵌结构、焊接过程夹具设计使用、焊接过程中进行工艺控制,包括焊接参数的控制和焊接方向的选择、箱体焊后去应力热处理。通过这一系列的特殊方法应用,项目中的箱体焊接变形得到有效的控制,焊接变形控制在1mm/1000mm以下。

通过控制方法的研究,使产品得以优质的状态进行交付,产品质量得到各方人员的肯定。此外,产品的良好使用效果,为这一系列方法在 $\alpha + \beta$ 两相型钛合金中厚板箱体焊接中的应用提供了明确的佐证,可为其他类似工程生产提供良好的借鉴。

参考文献:

- [1] 张喜燕,赵永庆,白晨光.钛合金及应用[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [2] 陈长军,张敏,马红岩.钛合金的焊接[J].金属加工(热加工),2007(5):52-53.
- [3] 李占文,李树立.焊接结构变形控制与矫正[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [4] 周燕妮,孙智.焊接顺序对焊接残余应力的影响[J].焊接,2011(12):12-14.

MW 20210715

《金属加工(热加工)》2021年第9期广告目次

单位名称	查询编号	位置
陕西博创电器有限公司	5325	封面
易孚迪感应设备(上海)有限公司	1492	封二
北京金威焊材有限公司	1161	封三
阿帕奇(北京)光纤激光技术有限公司	5356	封底
上海通用焊机股份有限公司	5174	前彩1
昆山京群焊材科技有限公司	5123	前彩2
天津天高感应加热有限公司	1943	前彩3

单位名称	查询编号	位置
北京中孚悦达真空科技有限公司	5378	前彩4
南通振康焊接机电有限公司	1362	前彩5
易格斯(上海)拖链系统有限公司	1298	前彩6
应达工业(上海)有限公司	1127	前彩7
深圳智创国际会展有限公司	5342	前彩8
慕尼黑展览(上海)有限公司	8039	Ⅲ
公益广告	8000	V