

# 钨极氩弧焊技术及其在空空导弹加工中的应用

Application of Argon Arc Welding Technology in Air-to-Air Missile Machining

中国空空导弹研究院 樊兆宝 安绍孔 王英健



樊兆宝

中国空空导弹研究院研究员,国际焊接工程师,首席专家。1982年毕业于西北工业大学,主要从事焊接工艺工作,曾获部级成果二等奖2项、三等奖1项,发表论文30余篇。

钨极氩弧焊是以氩气作为保护气体,利用钨电极与工件之间的电弧热熔化母材和填充焊丝的一种焊接方法。钨极氩弧焊的热源和填充焊丝可分别控制,热量容易调节,是实现单面焊双面成形的理想方法。自20世纪40年代问世以来,发展迅速,适合空空导弹中像助推壳体、钛合金

钨极氩弧焊已经发展成为一种较为成熟的焊接技术,它所具有的电弧功率小、热量集中且容易调节、适用于薄壁零件的焊接、可实现单面焊双面成形等特点而使其在空空导弹的焊接加工中显示出了优势,但由于空空导弹焊接组件结构的特殊性、尺寸精度的高要求和所用材料较差的可焊性,都对钨极氩弧焊技术提出了新的技术难题,需要我们努力进行研究和探索。

舱体等薄壁组件的试制焊接,而且焊前只要打磨清洗干净,一般都能够焊接出符合航空、航天标准质量要求的I级焊接接头。

缝和热影响区的侵蚀和污染,而氩气本身是惰性气体,不和金属反应,能够避免合金元素的烧损,从而获得高质量的优质焊缝,如图1所示。

## 钨极氩弧焊的原理、特点及焊接方法分类

### 1 钨极氩弧焊的原理

焊接时氩气连续喷出后高频震荡器工作,在钨极和工件之间形成高频高压电场将氩气击穿产生电弧来熔化母材和焊丝,随着电弧的移动,液态熔池凝固结晶后形成焊缝。焊接时氩气在电弧和熔池周围形成气体保护层来隔绝空气,防止空气对焊

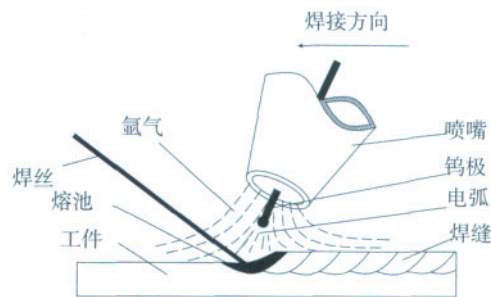


图1 钨极氩弧焊原理示意图

### 2 钨极氩弧焊的特点

与其他焊接方法相比,钨极氩弧

焊有如下特点:

(1) 用金属钨作电极: 非熔化极焊接时, 电极只起发射电子、产生电弧的作用, 本身不熔化, 故常用熔点较高的金属钨作电极, 这也是钨极氩弧焊名称的由来。为了提高钨极的电子发射能力, 降低发射功, 在钨极中常常加有稀土元素钍或铈, 所以又叫做钍钨极或铈钨极;

(2) 一般采用直流正接法: 由于氩弧焊时电弧的正极温度和发热量都高于负极, 而钨极的体积小, 热容有限, 为了避免其过快烧损, 除焊接铝、镁及其合金用交流外, 焊接其他金属材料一般都采用直流正接法, 这时工件接正极, 电弧正极较高的温度和较大的发热量可使熔深增大, 焊接效率提高; 直流反接时, 不但焊接熔深降低, 而且会使钨极烧损过快, 寿命缩短, 故很少采用。因为钨极的电流容量有限, 因而仅适用于 4mm 以下薄板的焊接;

(3) “阴极雾化”或“阴极破碎”作用: 在焊接铝、镁及其合金时, 其表面有一层致密难溶氧化膜 ( $Al_2O_3$  的熔点为  $2050^\circ C$ , 而纯铝的熔点仅为  $660^\circ C$ ), 焊接时若不消除, 会形成未熔合、夹渣、焊缝表面形成皱皮及内部气孔等缺陷。采用直流反接时, 被焊零件是负极, 电弧中的氩气被电离后产生的正离子会高速地撞击作为负极的熔池, 使熔池表面的氧化膜被击碎, 因此焊成的焊缝表面光滑美观, 成型良好, 即所谓的“阴极雾化”或“阴极破碎”作用。但直流反接时, 由于钨极是正极, 温度高, 消耗快, 寿命短, 所以通常不采用这种方法而是使用交流焊接, 当电流处于负半周时, 同样会产生“阴极雾化”作用, 在正半周时钨极可以得到冷却。所以在用钨极氩弧焊方法焊接铝、镁及其合金时, 一般应采用交流进行焊接。

(4) 焊前清理要求严格: 氩气是一种惰性气体, 其作用是把空气排开, 保护电弧和熔池区域免受空气

的侵蚀, 但对于电弧区域内部所出现的氢、氧、氮等有害气体, 却毫无法除的能力, 因为它不像电焊条药皮那样含有脱氧除氢剂。如果清洗不净, 残存的氧化皮、油脂和水分就会进入到熔池及电弧区域中去, 它们在电弧的高温作用下, 迅速分解为氢气和氧气, 这不但会烧损有益的合金元素, 而且会出现气孔、夹渣和氢脆。因此, 焊前必须认真清理焊件, 严防氢、氧等有害气体进入焊接区域。

(5) 引弧困难且对焊工的身体有害: 由于氩气的电离势较高, 造成引弧困难, 所以通常采用高频震荡器产生的高频高压电来引弧, 交流焊接时还必须配备稳弧装置; 氩弧焊时产生的紫外线是焊条电弧焊的 5~30 倍, 生成的臭氧对人体有害, 应加强防护。

### 3 钨极氩弧焊的焊接方法分类

钨极氩弧焊按操作方式可分为手工钨极氩弧焊和自动钨极氩弧焊两种。

(1) 手工钨极氩弧焊。手工钨极氩弧焊时, 焊枪的运动和添加焊丝完全靠手工操作, 灵活多变, 一般多用于零件的定位焊及无规律焊缝和角接焊缝的焊接, 例如空空导弹中发动机壳体的吊挂、翼筋座、固定片等功能性零件都是用手焊方法进行焊接的, 其缺点是焊缝的质量完全取决于操作人员的技术水平, 焊接质量的一致性不好。

(2) 自动钨极氩弧焊。自动钨极氩弧焊时, 焊接的启动、供气、引弧、收弧、电弧电压、焊接速度、送丝速度等完全靠人工预设设备自动控制, 焊缝质量特别是外观质量高且一致性较好, 多用于空空导弹中舱体零件的直焊缝、圆周焊缝等规则焊缝的焊接, 其缺点是对形状复杂且无规律的焊缝缺乏跟踪能力。图 2 为自动钨极氩弧焊示意图。

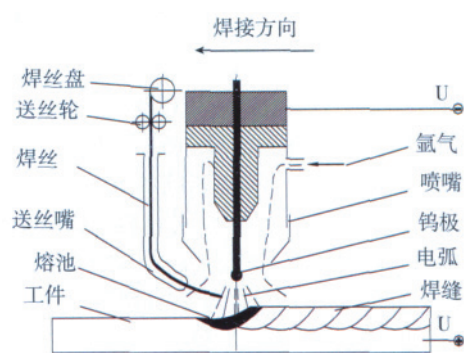


图2 自动钨极氩弧焊示意图

## 钨极氩弧焊工艺

### 1 选择焊接方法

选择适当的焊接方法是获得优质焊接接头的基本措施之一。直流正接钨极氩弧焊由于可加大熔深, 多用于焊接时效钢、钛合金等材料; 脉冲钨极氩弧焊的电弧能量较为集中, 对熔池具有冲击和搅拌作用, 可提高接头的抗裂性能, 减少气孔, 有利于全位置焊接和单面焊双面成形, 而且会大大降低焊接热量的输入, 减小热影响区宽度和焊接变形, 故多用于时效钢、钛合金制成的筒形薄壁对接零件的焊接; 交流氩弧焊具有较好的“阴极破碎”作用, 多用于铝、镁及其合金的焊接。

### 2 选择焊接材料

焊接材料主要包括钨极、保护气体和焊丝。氩弧焊时一般不用纯钨极, 最好选用铈钨极, 它不仅放射性较小, 而且引弧可靠、电弧稳定、烧损降低, 同时还要根据焊接电流选择钨极直径; 对于易出现气孔的钛合金、铝合金等材料及质量要求较高的重要零件的焊接, 应选择纯度不低于 99.99% 的高纯氩作为保护气体; 确定焊丝时, 首先要使其化学成分和性能与母材的相匹配, 还要具有良好的工艺性, 保证焊缝具有良好的质量, 等强度、等同性、等条件是焊丝的选择原则。

### 3 焊前准备

(1) 焊前清理: 对于钨极氩弧焊

来讲,焊接的成功与否主要取决于焊前清理。焊前清理分为化学清理和机械清理两种方法,清理后到焊接有时限要求。为防止清理后的焊件和焊丝被重新污染,周转和施焊时,操作者均应戴洁净的手套,同时为防止焊接材料表面附着水分,应尽量避免在潮湿的环境下焊接,必要时应将零件放置在烘箱中保持干燥。

(2)坡口制备:薄板一般不开坡口,但对于大于3mm的厚板,为保证焊透,减少热输入,就必须开坡口,坡口的大小和种类视零件的材料、结构、几何形状等具体情况而定,一般有“U”形坡口、“V”形坡口等,还必须设计钝边,以防焊漏和烧穿。

(3)工装设计:为控制焊接变形、保证焊件的尺寸精度和各零件之间的位置精度要求,必要时须设计焊接夹具。夹具的设计原则应有利于防止焊接变形、方便操作和减轻劳动强度。单面焊双面成形时,若焊接铝合金或表面余高要求严格,就必须在成形垫板上焊接,垫板材料以不锈钢为宜,它能较好地保证焊缝背面按垫板焊漏槽成形,同时垫板还应具有通气保护焊缝背面的功能。

#### 4 装配定位

焊接前,焊件中所有的零件都应根据结构尺寸和形状位置的要求,在焊接夹具上按一定顺序组合、装配、定位成一个整体。装配时应准确到位,保证接口处间隙和错位的要求,自动焊时一定用夹具压紧,使焊件接口与垫板贴合紧密;定位焊是在焊前保持零件相对位置的一种固定方法,定位焊点应均匀分布、对称定位,尽量避免应力集中部位。

#### 5 调试焊接参数

调试焊接参数是整个焊接工作中较为重要的工作。对于自动氩弧焊,焊接参数的调试主要以减少气孔和夹渣、保证单面焊双面成形和提高保护效果为目的。焊接参数主要包括焊接电流、电弧电压、焊接速度、氩

气流量、焊丝直径和送丝速度等。其中焊接电流与焊接速度是两个比较重要的工艺参数,焊缝的外观成形、内部质量及背面成形需要它们之间的良好匹配。有时为了降低线能量,减小热影响区宽度和焊接变形,对于薄壁零件,常常采用脉冲焊,其参数有脉幅、脉宽和频率。

(1)焊接电压:为了提高保护效果和增大熔深、保证背面焊透,电弧应尽量缩短,电压应尽量降低。

(2)焊接电流和焊接速度:焊接电流与焊接速度的联合作用,决定了焊接熔池存在时间的长短。当熔池存在时间很短时,因氢的扩散不充分,即使有气泡核存在,也来不及长大成气泡,这时焊缝中没有气孔存在。当熔池存在时间逐渐延长后,氢得以向气泡核扩散而长大成宏观气泡,于是焊缝气孔逐渐增多,气孔多到一定程度后再进一步延长熔池存在时间,则气泡有充分的时间溢出熔池,故进一步增长熔池存在时间,气孔逐渐减少。

(3)脉冲焊可明显减少焊缝气孔,脉冲电流的通断比以1:1为宜。

#### 6 零件焊接

焊接零件时,必须严格执行工艺规程,人、机、料、法、环必须符合有关规定的要求。只有在试件焊缝的外观检验、X-光探伤、接头强度全部符合设计要求,并通过了小批量的焊接验证后,才能进行正式的焊接生产。

## 钨极氩弧焊技术在空空导弹加工中的应用

### 1 钛合金薄壁舱体的焊接

#### 1.1 钛合金薄壁舱体简介

钛合金薄壁舱体是某型号导弹中重要的焊接受力件,它由前连接环、壳体圆筒和后连接环通过2条圆周焊缝连接为1个整体,3个零件全部由TC4钛合金制成,如图3所示。其中前、后连接环用于和其他舱段的连接,并可增加弹体的刚性,一般由棒材或锻环通过车削加工而成,焊前留有加工余量;壳体圆筒则用板材通过展开料加工、冷卷成型、母线对接直焊缝焊接、热校形等工序加工而成;圆周焊缝用自动脉冲钨极氩弧焊方法进行焊接。可以看出,它是一个筒型焊接结构件,具有筒壁薄、刚性差、易变形的特点,焊接难度较大。

#### 1.2 焊接技术难点

(1)尺寸精度问题:焊接是一种局部快速加热和冷却的过程,伴随出现的焊接变形将是不可避免的,加之壳体圆筒靠冷卷成型,其直径和圆度很难与两端的连接环相匹配,圆周焊缝的对接错位量很难保证。由舱体壁薄、刚性差的结构特点可知,易变形,工艺性能不好,焊接与热处理变形难以控制,其形状尺寸精度的保证难度很大。

(2)焊接保护问题:钛及钛合金的化学性质在高温下极为活泼,试

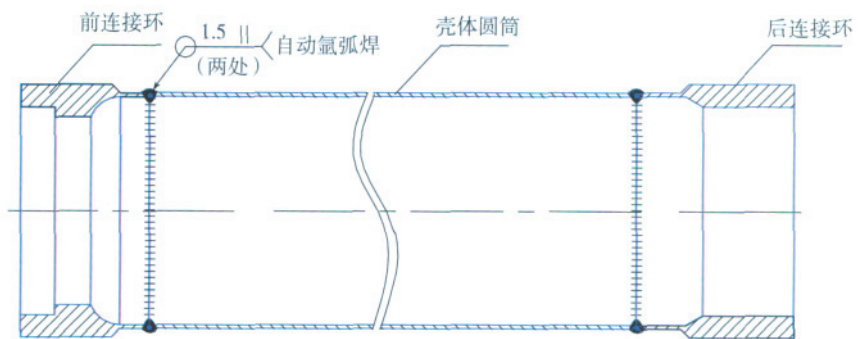


图3 钛合金薄壁舱体结构示意图

验表明:钛从 250℃ 开始吸收氢,从 400℃ 开始吸收氧,从 600℃ 开始吸收氮,而空气的主要成分就是氧和氮,故焊接时钛最易氧化。氮、氢、氧的增加不但会引起焊缝气孔的增加,而且使焊缝塑性下降、变脆,故焊接时超过 250℃ 的区域都必需加以保护。如果缺乏保护或保护效果不好,氮、氢、氧等有害元素就会被吸入熔池或近缝区,使其性能变坏,应保证焊接接头焊后表面为银白色或金黄色。

(3) 焊缝气孔问题:钛合金重量较轻,比重为  $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ ,仅为钢材的 57%,故焊接时对熔池中相同体积气泡的浮力仅为钢熔池的一半,气泡上浮速度慢,来不及逸出而形成气孔,这是钛合金焊缝中气孔时常超标而又难以消除的原因之一。

### 1.3 工艺措施

(1) 控制焊接变形的措施:采用自动脉冲钨极氩弧焊,较低的焊接热输入使焊接变形量降低到最小程度。在焊接壳体圆筒的母线对接直焊缝时,采用了琴键式焊接夹具,焊后用芯棒进行了热校形,通过对壳体圆筒展开料的精确计算、加工和反复试验,使其直径、圆度都达到了设计要求;在焊接圆周焊缝时,首先进行了定位焊,利用连接环增加刚性;由于内撑夹具设计困难,焊后通过热校形来最终保证尺寸精度。

(2) 焊接时的保护措施:为了提高保护效果,除利用大喷嘴慢速焊的方法及采用纯度为 99.99% 的高纯氩进行保护外,还进行了背面保护和拖罩保护,其中圆周焊缝的背面保护装置示意于图 4,直焊缝的拖后保护装置示意于图 5,这些措施较好地解决了焊接时的保护问题,焊缝和热影响区表面基本上都能达到银白色和金黄色的要求。

(3) 防止焊缝气孔的措施:其一是限制氢、氧、氮等有害气体的来源,特别是氢的来源。首先对零件和焊丝进行除氢处理,将含氢量限制在合

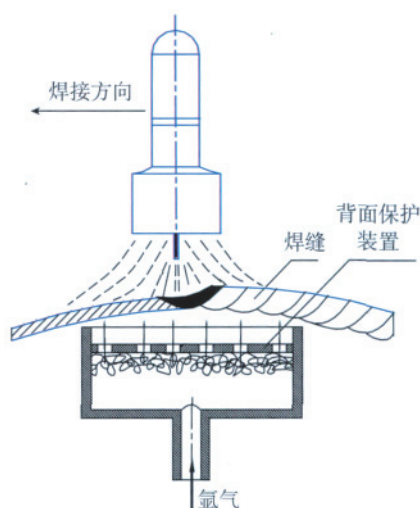


图4 圆周焊缝的背面保护装置示意图

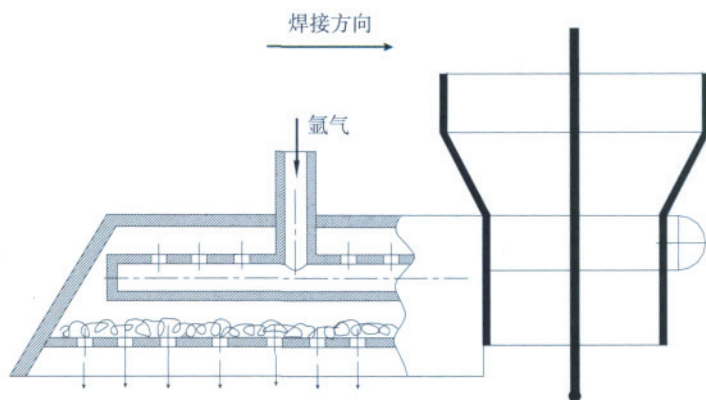


图5 直焊缝的拖后保护装置示意图

格的范围之内;焊前对零件和焊丝进行酸洗、打磨和清洗,并保持干燥。其二是焊接时加强保护,严防空气中氮、氢、氧的侵蚀和污染。其三是采用脉冲焊,利用电流脉冲对熔池的搅拌作用来加速气体的逸出,同时掌握好焊接线能量的输入,在不引起过大变形和晶粒长大的前提下,适当延长熔池的存在时间,以有利于气泡浮出熔池。采取以上措施后,所有焊缝都能达到航天标准 I 级的技术要求。

## 2 助推壳体的焊接

### 2.1 助推壳体简介

助推壳体是用多条圆周对接焊缝和角接直焊缝将众多辅助零件连接在薄壁圆筒上的焊接组合件,它们全部由 Ni18% 马氏体沉淀硬化时效钢棒材、板材或管材制成。根据设计

要求,所有焊缝必须按照行业标准 I 级进行制造和验收,并 100% 地进行 X-光探伤,焊接接头的强度必须大于母材强度的 90%。而且对诸如圆度、直线度、同轴度及各零件之间的相互位置等尺寸精度都有很高的要求。

### 2.2 助推壳体的焊接

我们选择了自动脉冲钨极氩弧焊方法焊接圆周对接焊缝,选择了手工钨极氩弧焊方法焊接角接直焊缝,全部采用直流正接电源,在保证焊透的前提下,尽量减少线能量的输入,但由于薄壁圆筒是强力旋压件,存在

较大的内应力,焊接变形仍然较大,为此专门设计了焊接夹具。在用手工焊方法焊接辅助零件时,其技术难点是薄壁圆筒容易焊漏和烧穿,要求工人具有较高的操作技能。

## 结束语

钨极氩弧焊已经发展成为一种较为成熟的焊接技术,它所具有的电弧功率小、热量集中且容易调节、适用于薄壁零件的焊接、可实现单面焊双面成形等特点而使其在空空导弹的焊接加工中显示出了优势,但由于空空导弹焊接组件结构的特殊性、尺寸精度的高要求和所用材料较差的可焊性,都对钨极氩弧焊技术提出了新的技术难题,需要我们努力进行研究和探索。(责编 小城)