

等离子焊接技术的研究现状与展望

李天奇

宁波明欣化工机械有限责任公司 浙江宁波 315800

摘要: 在真空条件下,可大幅增加等离子焊的熔深,有效地降低了焊缝的形状和气孔等缺陷,从而达到传统等离子焊无法达到的优异性能。最近几年,关于真空等离子焊接过程机理,以及在低真空甚至是局部负压环境下的等离子焊接装置的研究越来越成熟。目前,该技术已在舰船、核电和压力容器等大型工程中表现出了很好的发展潜力。同时,还对国内外有关真空焊接工艺的相关文献进行了综述,并提出了今后的发展方向。

关键词: 等离子;焊接技术;铝合金

Research Status and Prospects of Plasma Welding Technology

Tianqi Li

Ningbo Mingxin Chemical Machinery Co., Ltd. Zhejiang Ningbo 315800

Abstract: Under vacuum conditions, the penetration depth of plasma welding can be significantly increased, effectively reducing defects such as weld shape and porosity, thereby achieving excellent performance that traditional plasma welding cannot achieve. In recent years, research on the mechanism of vacuum plasma welding process and plasma welding devices in low vacuum or even local negative pressure environments has become increasingly mature. At present, this technology has shown great potential for development in large-scale projects such as ships, nuclear power, and pressure vessels. At the same time, relevant literature on vacuum welding technology at home and abroad was reviewed, and future development directions were proposed.

Keywords: Plasma; Welding technology; aluminium alloy

引言:近年来,不锈钢因其美观的外观、优异的防腐性能以及良好的冷热加工性,成为了众多领域的研究热点。当前,中国每年的不锈钢产量接近9百万吨,将会是全球最大的不锈钢生产及不锈钢设备制造大国,而作为不锈钢生产和制造的核心技术,也正在从传统的加工工艺逐步过渡到高效率的自动化工艺,而在众多的加工制造工艺中,等离子体焊接技术是应用较多的一种工艺。在国外,等离子体加工技术已经被广泛地应用于不锈钢中薄板的制造。

1. 等离子焊接原理

1.1 等离子焊接定义

等离子体焊接是利用高密度的离子束来实现对基体材料的有效融化。一般情况下,等离子弧的产生与气体的流速、喷口的加压作用以及所用的电流有关。一般的电弧射流的速度是80~150m/s,而等离子电弧射流的速度是300~2000m/s,与TIG电弧相比,TIG电弧在无约束条件下的能量密度可达到105~106W/cm²,而TIG电弧的中心则达到50~100W/mm²;而TIG电弧的中心则达到24000K,

而TIG电弧的核心则达到5000~8000K。所以,等离子体电弧焊接被认为是与电子束(105W/mm²的能量密度)和激光束(105W/mm²的能量密度)一样的高能量密度焊接。

1.2 等离子电弧的分类

从供电方式上看,等离子弧分非转移弧,转移弧,联合型等离子弧三种。三种型态均为钨电极为负值,而工件或喷嘴为正值。

非转移弧是指在钨电极和喷嘴间产生的一道电弧,在离子气体的压力作用下,从喷嘴喷射出一道火焰,从而产生一种离子火焰,它主要适用于具有良好导热性能的材料焊接。适用于非金属的焊接与切割,但在金属焊接中很少使用。

转移式电弧是指在喷嘴和被加工件间产生的一道弧线,因为很难直接产生,所以首先在钨电极和喷嘴间产生一道不能产生的小弧线,再向不能产生的弧线转变,在产生转移弧线时,将不能产生弧线的弧线也一并截断。由于它能较地向工件输送电能,因而被广泛地用于金属材料的焊接与切割。

联合型等离子弧是一种既有传输又有不传输的混合电弧,在微束等离子体焊接、粉体堆焊中得到广泛应用。根据等离子体电弧的形态或形成机理,可将等离子体电弧划分为三种主要方式,即:微束等离子体电弧、透射等离子体电弧和穿孔等离子体电弧。微束等离子体在低电流(小于30A)条件下,采用熔化的方式实现了对焊缝的穿透。主要用于微细材料、金属箔片等的焊接,广泛应用于传感元件、电子元件、马达接头、网筛加工等^[1]。

熔透性等离子体是利用极低的等离子体气体和微弱的电弧压力,使被母材完全熔透而不产生穿孔。该类型的焊接电弧与TIG具有相似的形态及能量,多用于金属板材的单面焊接及双面成型。而小孔式电浆技术,就是通过电浆的高能量密度及较大的电浆流作用力,使被焊件充分地融解,在被焊件上形成一个穿孔。当电极的厚度增大时,电极的电流密度增大时,电极的电流密度也随之增大。

一般情况下,碳钢、不锈钢、镍基合金等在平焊位置一次单面焊双面焊成型板厚不超过8mm,钛合金板厚不超过10mm。通过专用的喷嘴及气流,不锈钢的厚度可以增加至10mm,而钛合金板的厚度可以达到12mm。在此基础上,将弱电等离子体(TIG)特性与小孔等离子体效应相融合,提出了一种新型的双枪式同步焊技术,从而提高了焊缝的成形效率与品质。该方法适用于大直径、长焊缝纵环缝焊管的焊缝^[3]。

2. 等离子技术的应用行业

2.1 不锈钢管道的加工行业

不锈钢管的生产有两种方法:一是采用连续成形工艺,二是采用板料按尺寸进行卷边焊接。在连续成形生产线上,对 $\Phi 114\text{mm}$ 以下、壁厚2mm以下的小口径薄壁管道,一般都是采用TIG焊或微束等离子体焊接,该技术已得到广泛应用。为了进一步减少产品的制造费用,一些企业在使用三支TIG焊枪同时进行的情况下,采取了三支TIG焊枪同时进行的方式,以达到既提高产量又节约成本的目的。但因其承载力不高,多作为装潢管线或不需要特别严格的供水管线^[4]。

但是,在 $\Phi 114\text{--}\Phi 325\text{mm}$,2-6mm壁厚的工业承压管上,就应该使用等离子体或等离子体+TIG双枪焊技术,该技术不仅能确保良好的焊接品质,而且还能提高焊接效率。在火力发电厂、化学工业和造纸工业中,一般作为主要的给水和供气管线。但由于受到机械及装备成本的制约,焊接钢管的直径也不能变大。比较大直径的管子,其成批生产的数量很小,通常都是按照项目的需要进行订制,多种类,小批次的生产模式,一般都是由UOE定尺焊接钢管机组来实现的。焊接钢管的长度通常在6米以上,焊接钢管的直径在 $\Phi 159\text{--}\Phi 1220$ 毫米之间。这种方式更容易适应项目的要求,但其

缺点是对交付与存货的不利影响。

2.2 不锈钢储运罐箱

在用于储存各种气体、液体和干粉类的移动罐箱中,一般情况下,罐体的材质是不锈钢SUS304/316,其厚度为3-8mm,长度为5000-7000mm,使用等离子+TIG加丝的双枪复合焊接工艺,可以得到很好的焊缝质量和效率。在罐体的生产过程中,按照钢板的尺寸,通常会有三道拼板的纵向缝隙,一道罐内纵向缝隙,两道罐体与封头之间的环形缝隙焊接^[5]。

2.3 不锈钢染整设备

在染整机械工业中,织物的着色应该由染整单元实现全流程的自动化,以达到所要求的着色效果,而染整单元是其中的重要装置。染色和整理设备全部采用2-6mm的不锈钢。而圆筒纵向环形焊缝的焊接工艺又是一个重要环节。使用了等离子焊接技术之后,可以显著地提升焊接的品质和工作效率,相较于传统的焊接方法要快4到5倍左右,并且可以更加可靠地保证圆筒的内壁成形的均一和平滑,不会导致布料挂丝,同时还可以节省大约24万元/年的生产费用。

3. 主要根据工厂现场工艺制定等离子设备的关键技术

3.1 等离子电源

在焊接时,需要有一个可靠的焊接电源,以保证在焊接时,能够有一个稳定的等离子体输出,并有一个稳定的压力电弧。常见的供电方式有三种:可控硅,三极管和逆变器。在逆变器技术迅速发展的今天,逆变器等离子体电源的电流输出性能良好,由于具有较大的网络补偿功能、较好的电流可控性和较易实现的微机综合和操作,所以这是目前最受欢迎的一种新型等离子体电源。通常的等离子源有300A、400A、500A三种类型,其中有两个主要的组成部分:一是等离子主电弧器,二是维持电弧的电源,维弧电压通常为20A以内^[6]。

3.2 等离子焊枪

等离子体喷头是实现焊接能源最后输出的关键设备,其主要由电极、水冷式枪身、喷嘴、防护罩等构成。钨极要有良好的对中性,枪体和等离子喷嘴要有良好的冷却水通道和流量,流量最起码要在7L/min,喷嘴压缩效果要好,要有良好的气体通道和防护罩,以保证焊接时的保护效果。电浆喷的质量主要从三个角度来评价:钨电极与电浆喷管的接触,电浆喷管的散热,电浆喷管的压力。

3.3 等离子气体模块

由于对等离子体的精准调控,将会对等离子体的渗入性能及结果产生很大的影响,因此,对等离子体的流速及电流的涨落进行精准调控是目前该领域的研究热点。特别是当电浆喷嘴时,为了保证在电弧收缩时有一个很好的开口,需要采用一种调节技术,即在放

电过程中,放电速度随放电速度的变化而变化。利用程序控制模组,实现了对质子流量计的准确的流量输出。等离子体气流的有效冲程为 2-10L/min。

3.4 温控水箱

等离子焊使用的是压缩电弧的工作原理,这就要求在焊接的时候,要保证对焊接喷嘴的压力是一个稳定的结果,所以,在焊接的时候,要不断地用冷却水来把喷嘴的温度给带走,假如使用的是没有循环系统的外部水道,那么会造成极大的水资源的浪费,而且,在不同的季节,因为温度的差异,焊接标准也会有很大的差异,这对焊接质量的控制不利。若按其它焊接方法使用同样的水槽,则因受水槽容积所限,导致水槽降温效率较低,且压力不能维持稳定。所以,在焊接过程中,对枪身及喷嘴的温度控制是十分必要的。温度控制水槽是利用压缩机群进行冷却和辐射,以维持水中温度的稳定。

4. 等离子焊接工艺分析

4.1 焊接电流

与其它类型的电弧焊相比,在等离子体的熔化作用下,熔池电流增大,电弧的穿透力增大。焊接时,应按板材厚度和熔深的需要来选择,太少时,则无法产生小孔,太多时,则会导致熔池中的金属脱落。另外,在较高的电压下,还会产生二次电弧。所以,当选择了焊枪和焊口的构造之后,所得到的电流就会被限制在某一特定的区域,该区域的大小与其它焊接工艺参数,例如:离子气体的流率、焊接速率等等都有关系。当其它工艺条件确定后,该工艺条件与其它工艺条件之间的相互影响规律是:随着焊接速率的增大,该工艺条件下的工艺条件也随之增大;应减少焊速,减少焊电流。在增大等离子体气量的同时,降低了焊接电流;降低了熔池中的离子气体含量,提高了熔池中的熔池电流。

4.2 等离子气流量

在等离子焊接中,等离子气组成及流量是一个关键的焊接参数,由于其与 TIG 焊的区别是:得到了压缩过的等离子气流,通过电离化气体发出一种能穿透电弧的气体流,从而形成等离子,因此,其对电弧的穿透力的影响很大。当离子气体的流速越高,则离子气体的作用力越强,穿透能力越强,在一定的条件下,要形成一个小孔,就需要一定的气体,但气体的浓度越高,则越容易造成焊接接头的孔径越大,从而影响到焊接接头的成形。在选择了喷头尺寸以后,通过对焊接电流、焊接速率的分析,来决定等离子气体的流量大小,并与其相适应。

4.3 焊接速度

另外,焊接速率对穿孔效果也有一定的影响。在其它参数不变

的情况下,随着焊接速率的提高,熔池中的热量逐渐减少,熔池中的孔径逐渐变小,直至完全消失。相反,若焊接速度过慢,则会使基板温度过高,造成焊接后表面凹陷,乃至渗出熔池等不良现象,熔化速率与熔化电流、熔化气体的流率有密切的联系。

4.4 喷嘴距离

由于等离子体的平直程度较好,因此,TIG 焊的平直角度为 45° ,而离子体焊的平直度则较低,且基本呈圆筒状。如果间距太大,则不利于渗碳;间距太短会导致喷嘴被飞溅的物质沾上,通常选择 4-8mm。

4.5 正面保护气流量

前部的保护气体与等离子气体的流量要保持合适的比率,如果离子气体的流量过少,则会引起流场的混乱,从而影响到电弧的稳定及防护效果,通常情况下,正面保护气的流速为 15-30L/min。

结论:

伴随着国家经济的快速增长,中国的工业生产也在飞速发展,中国工业生产的市场已经从原来的单一的国内市场转向了国际市场。一个产品的品质好坏,不仅包含了它的内在品质,还包含了它的外部品质。如果仅仅是依靠低廉的劳动力成本来体现一个产品价值,产品发展并不会长远。而且还要依靠先进的设备与过程来保障,以期实现高效,优质,环保。因此,使用先进的装备和技术,配合先进的经营理念,才能让企业在国内、国际上的知名度得到更大的提升,从而增强其在市场中的竞争力,这就变得非常关键。所以,大力推动先进的、高效率的、高性能的等离子焊接技术和装备,对于我国的相关产业来说,是非常有意义的。

参考文献:

- [1]何宏宇,郑建能,刘玉平,李莉,李厚彬,范磊.小孔型等离子自动焊接技术在不锈钢薄壁容器中的应用[J].大型铸锻件, 2022(04):42-46.
- [2]王福全,王素环,李刚卿,丁明飞.等离子焊接技术在轨道车辆密封焊方面的应用研究[J].材料保护, 2022, 55(06):182-185.
- [3]刘甲,徐家磊,马照伟,雷小伟,高奇,崔永杰.钛合金等离子和 MIG 复合焊接技术研究[J].材料导报, 2021, 35(S2):358-360.
- [4]广东科学院中乌焊接所改进中厚板铝合金高效等离子焊接技术[J].铝加工, 2021(01):72.
- [5]冯聪.激光—等离子电弧复合焊接技术工艺及机理研究[D].北京化工大学, 2019.
- [6]郑世达,高端铝制船体等离子-MIG 复合焊接技术.广东省,广东省焊接技术研究所, 2018-07-05.