

# 螺柱焊接技术及工艺

龚胜峰

(珠海科盈焊接器材有限公司, 广州 珠海 519015)

**摘要:**阐述了储能式螺柱焊接工艺和拉弧式螺柱焊接工艺的原理、特点和相关技术参数及其控制;介绍了螺柱焊接技术的一些已成熟的新工艺和正急需研究解决的新工艺;对比了当前国内外螺柱焊接设备和工艺的发展现状;探讨了今后螺柱焊接设备及其工艺的发展方向。

**关键词:**螺柱焊接工艺;储能式螺柱焊机;短周期拉弧式螺柱焊机;拉弧式螺柱焊机

**中图分类号:** TG453+.3 **文献标识码:** C **文章编号:** 1001-2303(2006)01-0011-05

## Technology of stud welding

GONG Sheng-feng

(Zhuhai Cowin Welding Equipment & Consumables Co., Ltd., Zhuhai 519015, China)

**Abstract:** This paper describes the principle, characteristics, parameters and its controll way of capacitor discharge stud welding and drawn arc stud welding, introduces some new technology of stud welding technology, also compares the development of stud welding equipment and technology at home and abroad. Finally, it discusses the future of stud welding.

**Key words:** stud welding technology; capacitor discharge stud welding machine; short-cycle drawn arc stud welding machine; drawn arc stud welding machine

随着现代工业的快速发展,螺柱的使用率越来越高,需要焊接的螺柱数量也随之增加。螺柱焊接技术及工艺具有快速、可靠、简化、操作简便、降低成本等众多优点,可替代铆接、钻孔、手工电弧焊、电阻焊和钎焊等螺柱的连接工艺,可焊接碳钢、不锈钢、铝、铜及其合金等金属材料。因而,这种新工艺自20世纪20年代初出现在工业制造业以来,引起了世界各国的普遍关注,现已广泛应用于汽车、船舶、锅炉、航空航天、电器、建筑装修、电子、仪表、厨房设备、空调、医疗器械等行业。近年来,随着我国经济建设平稳健康、快速发展,螺柱焊接涉及的领域日益广泛。为了提高焊接质量,促进螺柱焊接工艺的发展,在此简单地阐述了螺柱焊接设备和工艺。

螺柱焊接是指将螺柱一端与待焊工件(板件或管件)表面接触,在这2者之间产生电弧,待接合面熔化时迅速给螺柱施加一定压力,从而形成牢固连接的工艺方法。螺柱焊接技术发展到今天,在技术发达国家的应用已经比较成熟,是工业制造发展中一种重要的加工手段,并已扩展到螺母的焊接、单

机单枪双螺柱焊接、一机多枪螺柱焊接,如图1所示,这些都是螺柱焊接工艺发展的新飞跃。

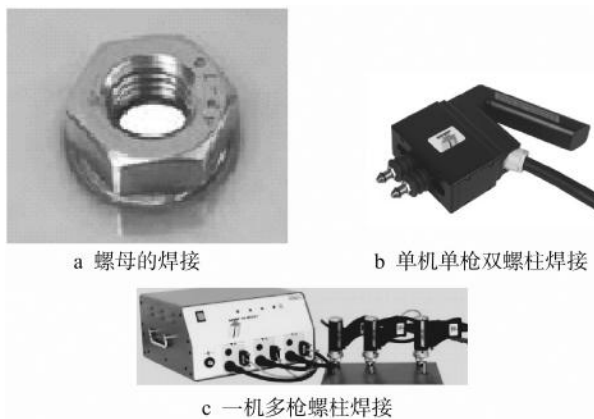


图1 螺柱焊接技术

## 1 螺柱焊机的分类

螺柱焊机按工作原理可分为储能式(电容放电式)和拉弧式螺柱焊机。国外又将拉弧式螺柱焊机细分为短周期拉弧式螺柱焊机和拉弧式螺柱焊机。其中,储能式螺柱焊机按照焊枪的配置不同,分为接触式和间隙式两种。

## 2 储能式螺柱焊机及工艺

工作原理如图2所示。螺柱尖端接触工件,电

收稿日期:2005-12-30

作者简介:龚胜峰(1982—),男,广西桂林人,学士,主要从事螺柱焊接技术和数字化电弧焊接技术的市场推广工作。

弧引燃,通过螺柱与工件之间的尖端放电引燃电弧,电弧在螺柱和工件间形成小范围熔化区,螺柱与工件的表面均被熔化,然后螺柱沉入液体熔池,

在千分之几秒内,熔化金属迅速凝固,产生高强度的焊接接头。

## 2.1 储能式螺柱焊机

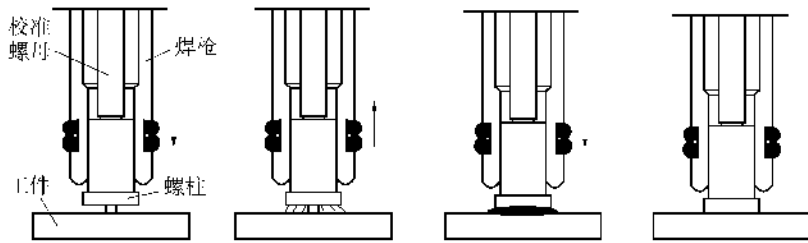


图 2 储能式螺柱焊工作原理

**a. 组成及结构。**储能式螺柱焊机由焊接电源、焊枪、地线钳等部分组成,增加自动送钉机等配件可配置成半自动和自动焊螺柱焊设备(主要用于要求高精度、高生产效率的场合)。根据焊接电源和所需焊接的螺柱的规格不同,手工焊效率可达 18 个/min,自动焊可达 60 个/min。操作简单、灵活、设备轻巧,适合用于直径小于等于 10 mm、普通强度要求的螺柱焊接。

**b. 工艺特点。**螺柱尖端放电,焊接时间短,约千分之几秒;焊接接头牢固可靠;正面无焊缝;背面无压痕、变形、变色;不需要气体或陶瓷环保护;熔深浅,约 0.1 mm,适于 0.5 mm 以上薄板焊接;可焊接螺柱、内螺纹螺柱、销钉及异型螺钉等;可用于碳钢、不锈钢、铝、铜及其合金等金属的焊接;板厚与螺柱直径比 1:10。

## 2.2 焊接工艺参数

储能式螺柱焊机的工艺参数在焊机面板上大都已标明参考值。涉及的主要参数有:螺柱直径、焊接电压、焊接时间和螺柱伸出长度。焊接时间(1~3 ms)不可调节;螺柱伸出长度(夹套端部与螺柱台阶之间的距离)根据经验值也基本确定,如图 3 所示。所以实际操作中影响焊接效果主要还是焊接能量。焊接能量的输入依赖于储能式螺柱焊机的电容量和充电电压

$$W=CU^2, \quad (1)$$

式中  $W$  为焊机的额定储存能量(单位:J); $C$  为电容器组的总电容量(单位:F); $U$  为充电电压(单位:V)。

储能式螺柱焊机的瞬间焊接电流峰值约为 1 000~10 000 A,这取决于焊机电容器组的电容量、充电电压、焊接回路电阻和电感。当然,电容器的放电快慢也是一个重要的影响因素,这是电容器本身的品质问题,也是众多储能式螺柱焊机性能差异的

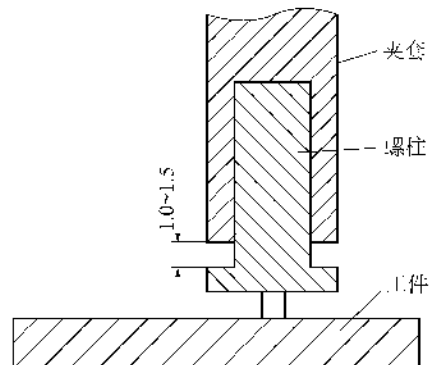


图 3 螺柱伸出长度

一个很重要的原因。一般来讲,从保护操作者和设备本身的安全性考虑,充电电压在 200 V 以下,且不同的焊机能在这个最高值的一定范围内可调;另外,储能式螺柱焊机都设有限电流保护装置或恒电流充电装置和自动放电装置。

电容量出厂时就已经固定。所以在实际焊接时,根据式(1),只需调节电压大小即可。根据实际螺柱直径和板厚,选择合适的电压值,操作者可快速掌握。

## 3 拉弧式螺柱焊机及工艺

储能式螺柱焊机以电容器储存的能量瞬间放电实现焊接,而拉弧式螺柱焊机则是采用晶闸管控制的或逆变式的弧焊整流器作为电源进行焊接。

拉弧式螺柱焊接的工作过程与储能式螺柱焊接过程类似,如图 4 所示。不同之处是:拉弧式螺柱焊接工艺的螺柱和工件的金属熔化量比储能式螺柱焊接多,熔深较深,直接影响焊接质量的参数也较为复杂,螺柱所能承受的强度也更大。

### 3.1 拉弧式螺柱焊机

拉弧式螺柱焊机根据焊接时间的长短又分为短周期拉弧式螺柱焊机和长周期拉弧式螺柱焊机(通常简称拉弧式螺柱焊机)。2 者的区别:一是焊接



专题讨论

螺柱焊接技术及设备



图4 拉弧式螺柱焊接工作过程

电流和焊接时间范围不同;二是可焊接的螺柱直径范围不同,但工艺特点基本相同。

#### a. 组成及结构。

拉弧式螺柱焊机主要由焊接电源、控制系统、焊枪、地线钳等部分组成。一般控制系统都与焊接电源合二为一,为主电源。焊机控制部分较为先进地采用了微处理器控制和液晶显示屏,能更直观、精确地设置和适时控制焊接参数。大部分焊机电源采用的是晶闸管控制弧焊整流器,而较先进的拉弧式螺柱焊接电源则采用了逆变式变压器电源,并能实现螺母的焊接,具有 TIG 焊和 MMA 焊功能。但是无论哪种螺柱焊机,都必须符合相关的安全规定。直流螺柱焊接电源还要求具备以下特性:焊接主电源具有下降外特性,这样才能维持电弧的稳定性,保证焊接质量;焊接主电源应该有预引弧电流(有的焊机上调节预引弧电流的持续时间 30~270 ms),以确保引弧的高成功率;焊接主电源有较高的空载电压。大直径时空载电压甚至超过 100 V。这样能在需要较大的提升高度时满足需求;焊接主电源要有较高的负载(补偿)电压;焊接用电缆还应符合 ISO14555 规定的焊接电缆截面积配制,以保证焊接电缆较长,甚至达 50 m 时补偿线路上的电压降损失;焊接主电源的内阻抗要较小,否则主电路的功耗增加将严重减小输出的焊接功率,影响焊接能力,目前,主电路主要采用 H 级和 B 级耐热等级;焊接电流要有陡升阶段,螺柱焊接的最大特点是瞬间大电流,所以要求焊接电源在接通后的很短时间内焊接电流达到峰值,短周期拉弧式螺柱焊机的这个攀升时间更短;供电电网电源的容量要足够满足螺柱焊接的瞬间功率,否则在焊接时,由于供电电网电源的容量不够而导致电源电压的降低超出额定值的波动范围,将会出现电压不稳的情况,这就很难保证焊接质量,一些焊机可能会报警迫停。

#### b. 工艺特点。

操作简单、快捷;对螺柱和工件表面无太高要求;熔深较深,接头强度高,适用于 0.6 mm 以上板厚的焊接;焊接 M6 以上的螺柱需气体或陶瓷环保

护;可焊接多种规格形状的螺柱焊接(逆变式拉弧螺柱焊机还能实现螺母的焊接);可焊接碳钢、不锈钢、耐热钢、铜、铝;短周期板厚与螺柱比为 1:8,长周期为 1:4。

### 3.2 焊接工艺参数

拉弧式螺柱焊接工艺参数相对而言较储能式复杂。主要有:焊接电流、焊接时间、预引弧电流(或时间)、提升高度、螺柱伸出长度、保护方式等。

a. 焊接电流主要根据螺柱的直径选定,各种不同机型能调节的范围也不同,在 300~3 000 A 内连续可调(逆变式电源螺柱焊时最小可低至 150 A, TIG 焊和 MMA 焊时可低至 40 A)。就非合金钢而言,焊接电流和螺柱直径的关系为

$$I=(75\sim 85)d, \quad d=3\sim 16 \text{ mm}, \quad (2)$$

$$I=(85\sim 95)d, \quad d=16\sim 30 \text{ mm}. \quad (3)$$

对于合金钢,焊接电流相应地降低 5%左右。当然,在实际的焊接过程中要视板厚和强度要求而定。

短周期拉弧式螺柱焊机的焊接电流一般是固定的,大小与电源有关(600~1 500 A)。所以,这类焊接电源在使用中的焊接能量由焊接时间来控制。当然,短周期拉弧式螺柱焊机的大机型也有通过焊接电流和焊接时间来调节热输入量。

b. 焊接时间  $T_w$ (单位:ms),又称焊接电流持续时间。主要是影响焊接热输入量。可用式(4)、(5)进行估算

$$T_w=(2\sim 4)d, \quad d \leq 12 \text{ mm}, \quad (4)$$

$$T_w=(4\sim 5)d, \quad d > 12 \text{ mm}. \quad (5)$$

这个参数与焊接电流配合调节。

c. 预引弧电流(时间)很大程度上决定了母材的熔深。预引弧电流一般为 40~50 A,可调范围较窄。很多品牌的焊接电源的预引弧电流是固定的,是在面板上设置预引弧时间来替代。短周期焊接电源的预引弧时间约为 40~100 ms,长周期的预引弧时间调节范围更宽。

d. 提升高度是维持稳定的焊接电弧和获得良好焊缝外观成形的一个重要的焊接参数。它与螺柱直径成正比,约 1.5~8 mm。提升高度能有效防止因熔滴过渡时短路所造成的电弧不稳和焊缝质量不佳。特别是穿透焊时,由于弧柱的温度要比阳极和阴极的温度高,通过增加提升高度获得的高温电弧烧穿镀锌板,从而得到良好的焊缝接头。但是,过高的提升高度也有不利的一面:一是由于电弧的增长易发生磁偏吹现象,影响成形;二是增加焊缝气孔;

三是降低优良焊缝的重现性。特别是在焊接铝材料时,这是一个较为敏感的影响焊接质量的因素。

e. 螺柱伸出长度实际是螺柱的熔化长度,也与螺柱直径成正比,经验值约为 1.5~6 mm。当所选保护方式为陶瓷环保护时,此长度也与要求的焊脚高度有关。另外,在焊接时,这个参数常常和提升高度配合调节。因为螺柱提升后,电弧的长度可以认为等于提升高度减去螺柱伸出长度。当提升高度值确定后,螺柱伸出长度过短,则电弧变长,金属熔化量不够,焊缝成形不良;螺柱伸出长度过长,电弧太短不稳定,造成未熔合、飞溅、夹渣等焊接缺陷。

f. 保护方式。螺柱焊接的保护方式主要有无外加保护、气体保护和陶瓷环保护 3 种。其中,无外加保护方式主要是用于储能式螺柱焊接工艺和直径小于等于 6 mm 的拉弧式螺柱焊接工艺;后 2 种保护方式则常用于拉弧式螺柱焊接工艺中,如图 5 所示,使用的气体主要有  $\text{CO}_2$ 、Ar;陶瓷环的形式则根据螺柱焊脚的外观要求而选择。

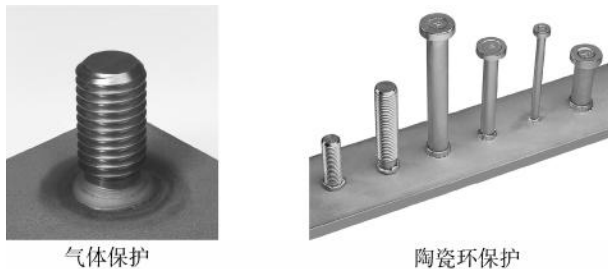


图 5 螺柱焊接的保护方式

焊接电流、焊接时间、提升高度、伸出长度是拉弧式螺柱焊接工艺的 4 个主要参数,在实际焊接中,应根据螺柱直径和母材厚度、材质匹配。有些厂家已经在焊机面板上标明对照表,便于人机交流。但是,不同制造商的焊接工艺参数也有所差别,因此要进行多次试焊,对焊缝外观成形、力学性能(弯曲、拉伸、抗扭)等方面综合评定,调节出适合的工艺参数。

### 3.3 拉弧式螺柱焊接工艺的磁偏吹现象

虽然螺柱焊接时许多时候采用了 2 根地线钳以平衡磁场,但是在施焊工件上往往由于结构的不对称性和地线钳的夹持点不合理,使得焊接点周围磁场分布不均匀,从而造成电弧的偏移,致使被焊螺柱周围熔化的金属分布不均匀、不对称,这种现象就是磁偏吹,常常出现在气体保护的拉弧式螺柱焊接工艺中。陶瓷环保护方式中,由于有陶瓷环的强迫成形,所以磁偏吹不明显。出现磁偏吹,看到的焊缝现象是一边没焊肉、少焊肉,或者某边有大量

气孔、飞溅,在螺母焊接时更严重。解决的办法有:  
a. 改变电线钳的夹持位置,使被焊螺柱处于磁场的中心点;  
b. 在焊肉多或气孔多的那边增加额外的导磁性金属物体,以平衡螺柱周围磁场;  
c. 撤除焊肉多或气孔多的那边的地线钳;  
d. 将焊接电缆绕圈放置焊接点;  
e. 使用磁场均衡器。

需要指出的是,并不是所有的焊缝不均匀现象都是磁偏吹造成的。

## 4 拉弧式螺柱焊接技术新工艺

当前,拉弧式螺柱焊接工艺的新工艺有螺栓穿透焊、横焊和仰焊等。横焊和仰焊工艺还处于工艺研究待成熟阶段,而螺栓穿透焊工艺则在实践运用中逐渐成熟。

螺栓穿透焊在钢筋—混凝土组合楼盖板结构中又叫栓钉穿透焊,是将栓钉焊透镀锌板,并与镀锌板、钢体牢固结合为一体的工艺方法。这种方法又分两种:

a. 穿孔法。即先在镀锌板上焊接点冲孔,然后在将螺栓焊接在钢体上。优点:质量易保证,装配要求降低;缺点:费时。国外多采用。

b. 穿透法。即依靠电弧将镀锌板装配间隙要求高烧穿,然后将螺栓焊接在钢体上。优点:穿孔和螺栓一次完成,简单省时;缺点:焊接质量不好保证,焊接设备要求更高,焊接技术问题突出。

1)需要的焊接能量大,造成锌的烧损大。由于需要焊透镀锌板后在焊接螺栓,所以需要的焊接能量更大,否则会出现未熔合等缺陷;而参数的加大必将增加锌层的烧损、蒸发,影响电弧稳定和增加产生气孔的可能性、降低结构的抗蚀能力。

2)装配间隙要求高。镀锌板与钢体之间的间隙按照焊接工艺要求应不大于 1 mm。但是,在实际施工中,这个要求很难得到保障。机械方法能适当地解决间隙问题,但无疑也增加了施工难度。

3)需要在施工前考虑本工序与其他工序的矛盾,做好系统工程的统筹安排。钢梁表面质量处理工序、钢梁防腐涂层的厚度及涂层材料的选择工艺等,都将直接影响焊接质量的可靠性和增加连接工序的施工难度。

## 5 螺柱焊接技术的发展趋势

螺柱焊接技术的发展趋势主要是提高自动化水平、逆变式焊接电源的推广和扩大

