

螺柱焊 焊接技术及其应用

张 义 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

螺柱焊焊接技术及其应用

张 义 张景林 申英强 陈 晗 王 英 武士越等 编著
张瀚文 审校

TG453
2223



机械工业出版社

本书系统地介绍了螺柱焊焊接技术及其应用,共分5章。第1章绪论,讨论了电弧法螺柱焊焊接方法的分类,简介了瓷环境保护电弧螺柱焊、电容放电螺柱焊、拉弧式电容放电螺柱焊及短周期螺柱焊等四种基本焊接方法的原理、工艺特点;第2章系统介绍了瓷环境保护电弧螺柱焊的原理、工艺、设备及应用,也讨论了工艺评定程序和质量检验,同时介绍了电弧螺柱焊在建筑钢结构中的变形应用——一步法穿透焊、埋弧螺柱焊、空间位置螺柱焊和有色金属的惰性气体保护螺柱焊的特点;第3章讨论了以电解电容为二次电源的以适用于小直径螺柱在薄钢板上植焊为特征的电容放电螺柱焊;第4章分析了拉弧式电容放电螺柱焊焊接技术及其应用,并就其应用选择与电弧螺柱焊、电容放电螺柱焊进行了比较,强调了拉弧式电容放电螺柱焊在植焊镀锌钢板方面的优势;第5章分析了短周期螺柱焊的原理、工艺、设备及其应用,介绍了短周期螺柱焊在汽车制造中应用的特殊优势。在第2、3、4、5章的四种焊接方法的设备部分介绍了国内外常见螺柱焊焊机的构成、原理和应用特征,并初步解读了螺柱焊电源设备的发展历程及方向。

本书给出了尽可能多的信息量,使读者尽可能多地查到所需的参考资料、数据。

本书是一本涉及螺柱焊工艺、设备及应用的专业著作,可作为相关焊接工程师必备的工具书,大专院校焊接专业教学科研参考书,以及从事螺柱焊工程的技术人员和高级技工培训教育参考书。

图书在版编目(CIP)数据

螺柱焊焊接技术及其应用/张义等编著. —北京:机械工业出版社, 2009.9
ISBN 978-7-111-27977-8

I. 螺… II. 张… III. 螺柱焊 IV. T044

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第138239号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:何月秋 责任编辑:俞逢英
版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云
封面设计:姚毅 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年10月第1版·第1次印刷
169mm×239mm·18.5印张·355千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-27977-8
定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

序

自从改革开放以来,我国的国民经济建设得到了飞速的发展,2007年钢产量达到4.89亿t,而焊接结构的用钢量也已超过1.7亿t,成为了名副其实的世界最大的焊接大国。众所周知,钢材必须通过焊接才能成为具有一定功能的部件,焊接对结构的生产效率与成本、产品的质量与可靠性有着重要的影响。我国经济建设中的各项成就,无论是航天飞船、大型飞机、远洋巨轮、高速列车、核电设备、三峡工程,还是家用电器和日常金属用品都离不开优质的焊接技术。焊接在国民经济建设中是一种不可轻视的重要工艺技术。

焊接有不同的方法,各种方法都有其特点和应用领域,螺柱焊就是焊接大家族中的一员。尽管螺柱焊的应用范围不如焊条电弧焊或气体保护焊那样的量大面广,但是它们已经在火箭、汽车、轨道车辆、化工设备、冶金炉窑、建筑钢结构、电站锅炉、造船、仪表和家电等重大产品或日用商品的生产中得到了广泛的应用,成为一种关键的工艺。目前有关焊接技术的书或手册不少,唯独缺少螺柱焊方面的专著。在这焊接产业与技术大发展的春天里,希望有更多的焊接专著面世,形成百花齐放的新景象。

张义教授,原吉林工业大学(现吉林大学)焊接专业的教授,长期从事螺柱焊技术的研究与工程应用开发,具有深厚的理论功底与丰富的实践经验。他在退休后将多年积累的成果与经验和收集的宝贵材料整理成册,出版这本目前国内还是第一本全面介绍螺柱焊焊接技术的专著,实在是难能可贵。希望今后有更多的专家能出版更多的专一工艺技术的专著。

《螺柱焊焊接技术及其应用》一书较系统地介绍了电弧螺柱焊、电容放电螺柱焊、拉弧式电容放电螺柱焊和短周期螺柱焊的特点,分析了不同方法的焊枪结构、电源种类、控制原理、螺柱形式、工艺参数、焊接过程、接头组织与性能、质量控制与检验方法、配套设备与自动化系统、选择原则与工程应用领域等。这本专著理论与应用实例相结合,图文并茂,论述翔实生动,不仅对生产一线的工程技术人员或操作工人是一本很好的参考工具书,而且对在校的大学生或正在从事螺柱焊技术开发的研究人员也是一本很好的参考书。希望这本书的出版对我国螺柱焊技术的发展起到进一步的推进作用。

中国工程院院士



编写说明

我在原吉林工业大学（现吉林大学）焊接专业教学、科研数十年，20世纪80年代中期曾和吉林省粮食钢板仓公司（国营企业）合作，主持电弧螺柱焊机研究开发，该产品曾在吉林省粮食部门的几个工地代替了日本抽头式螺柱焊机投入使用。90年代中期主持的一个科研项目的《轿车车身螺柱焊机组成套设备国产化开发》（简称汽车螺柱焊机），被列为国家“九五”重点科技攻关项目（见原国家计划委员会“计发科技函1996—12—120”号文件），项目投资570万元，组织了数届十几名研究生和外聘科技精英开发了近三年的时间，并于1997年通过了“阶段验收”。1997~2005年期间在吉林、河北、广东等地数次组织公司，拟将科研成果转化为生产力，用了近十年时间进行二次开发和产业化中间试验。历经坎坷，反复开发-反复实践-反复推向市场进行考验。把从实验室走出的产品推向市场，在严酷的生产现场进行血淋淋的碰撞，产品曾经从海南的马自达，经广州花都、芜湖、长沙、武汉市场一直推广到沈阳、长春等地的汽车制造厂，几经进退不断在完善自我，不断和进口焊机进行较量。

如果从1994年螺柱焊机作为自选科研项目（或从1996年原国家计划委员会立项）起，整整15年的心血都洒在了螺柱焊的理论研究、开发试验及市场实践上。本书的出版也许会为我十几年的努力画个句号。

十几年的螺柱焊机的开发实践，已经远远超出了汽车用螺柱焊机领域，它覆盖了四大类螺柱焊接技术。

近两年来同我的朋友及合作者天津的张景林先生，我的学生及合作者北京的王军波博士，还有云南的陈晗高工、深圳的王英硕士（高级工程师）、武士越硕士（高级工程师）和申英强（高级工程师）等共同策划了这本书的编写，我只是被这个作者群推到前面的“头羊”而已。

电弧法螺柱焊（stud arc welding）在焊接专业是一个新兴的学科或分支。20世纪80年代才传到中国大陆，当时只限于用在建筑钢结构及化工设备、冶金炉窑等领域的电弧螺柱焊（arc stud welding）和电容放电螺柱焊（capacitance discharge stud welding）。1992年才从国外引进第一批汽车用的短周期螺柱焊机（short cycle stud welder），当时国内几乎没有任何参考资料，包括研究论文，至今仍然没有系统的教科书或专著。

《焊接手册》第2版第1卷由本人编写的第十章螺柱焊以及《焊接设备选用

手册》第八章螺柱焊机是目前唯一的、最系统的螺柱焊接技术及螺柱焊机的介绍，这两本手册分别已于2001年8月和2006年3月由机械工业出版社出版。这两章由于受到篇幅的限制，所以编写的比较浅陋，甚至还有诸多不妥之处。

我曾于1996~2001年间在京、津、沪及郑州组织过本行业学术讲座以及编写过培训教材，但总感觉有缺憾，还有未尽之言。

中国钢结构学会曾经组织委托天津张景林先生编写行业用的《电弧螺柱焊培训教材》，这是编写这本《螺柱焊焊接技术及其应用》的契机。

以上四点是组织策划编写本书的直接动因。

本书旨在成为一本国内唯一的、最系统的螺柱焊焊接工艺与设备、技术与应用的专著，既不同于手册，也不是教科书，更不是科研论文集，是具有教材特征的专业著述，侧重系统化和实际应用，并有一定的理论深度。读者对象是从事建筑钢结构设计和钢结构螺柱焊焊接施工的设计师、焊接工程师和高级技工（第1、2章）；从事船舶制造、化工设备及冶金炉窑制造、电站和电力设备制造的焊接工程师和高级技工（第1、2章）；从事汽车制造工艺设计的焊接工艺师和现场工程师（第1、4、5章）；从事家电、厨具、五金制造、幕墙装修及其他薄壁金属结构装潢装修的焊接工程师和高级技工（第1、3、4、5章）；也可以作为大学相关专业本科生及研究生的教学和科研参考书。当然也可作为焊接高级技工培训的参考教材。

本书共分五章，主要内容如下：

第1章 绪论

螺柱焊是电弧焊发展极快的年轻分支，在螺柱焊接方法十几个成员的新家族中，采用族系法、簿记法和坐标法分别进行了分类。最后确认：以焊接区的保护途径为工艺特征，并采用二元坐标法将之分成四个基本型是较为科学的分类方法，这种分类方法澄清了概念上的混乱，特别是国内资料用语的混乱。

与传统电弧焊进行比较，阐释了四种基本型螺柱焊焊接方法的工艺特点，并对每种基本方法的称谓术语进行了正名。国内焊接名词术语标准（1994年版）仍然停留在十几年前的情况，基本上没有反应近十年螺柱焊和螺柱焊机发展的现状。国内没有相关通用螺柱焊的国家工艺标准，唯一有关螺柱焊机的国家行业标准《螺柱焊机》（JB/T 8323—1996）因为受时代的限制，未能覆盖全部的螺柱焊机品种。

本书导论根据国际上主要国家和地区（美国、德国、俄罗斯、日本和我国的台湾省）有关螺柱焊的资料，对螺柱焊四大基本方法的通用名称提出了可供参考的汉语称谓，并在括号中用英语进行了标注，力图引导螺柱焊用术语的规范

化,在之后几章的编写中也遵循了这些专业术语的统一。

第2章 电弧螺柱焊

电弧螺柱焊(arc stud welding)是电弧法螺柱焊(stud arc welding)中的基本型方法之一,也是国内应用领域最广的方法之一,主要应用于高层建筑(大跨桥梁)、大型金属构件(化工设备、冶金炉窑、电力、造船等)建造中钢结构的植焊作业。特点是采用 $\phi 13 \sim \phi 25\text{mm}$ 大直径螺柱(也称焊钉),而且每项工程要植焊数十万到上百万个焊钉(螺柱)。

电弧螺柱焊的变型应用方法也比较多,如用于钢结构的穿透螺柱焊、用于有色金属或不锈钢的惰性气体保护螺柱焊、用于建筑预埋件的埋弧螺柱焊以及瓷环保护的空間位置螺柱焊等。本章占了本书较大的篇幅(40%~50%),但是这个比例也是比较合适的。电弧螺柱焊国内的发展比较成熟,无论工艺还是设备和国外的差距并不大,基本上处于相同的发展水平,有些工艺甚至超过国际平均水平,本章设备部分较少引用国外资料。

用图表等形象地阐述了电弧螺柱焊的基本原理和过程,介绍了电弧螺柱焊的辅助材料——螺柱和瓷环,引用了公开发布的最新国家相关标准,对于没有国际规范的异形螺柱(碳钢和不锈钢异型锚固件)引用了北京某公司的企业标准。介绍了天津某公司提供的瓷环品质企业标准资料,分析了螺柱和瓷环配合关系对接头质量的影响。

电弧螺柱焊焊接设备部分,综述了国内电源结构的通用模式,对典型控制系统详尽地作了线路分析。列举了国内主要螺柱焊机生产厂家典型产品的技术数据,特别介绍了成都斯达特焊接研究所的几种特色焊机。分析了国内常用带有S-S系统(电磁铁-弹簧装置)的焊枪结构及其缺点,提出并介绍了国内外焊枪的浸入阻尼和电动式微处理器控制焊枪的开发应用现状与前景。讨论了设备焊接能力的影响因素,介绍了天津某公司在解决生产现场长距离植焊大直径螺柱时如何使焊接设备的焊接能力与之相适应的有效途径,正面分析了焊接参数之间的配合关系和使用规范,回避了行业标准JB/T 8323—1996中有争议的公式。

介绍了国外的定位技术、磁偏吹的控制方法和国际通用的接头质量控制方法,提出了金属材料螺柱焊工艺适应性等级的概念,引用了国家标准《钢结构施工质量验收报告》(GB 50205—2001)的规定,并以钢结构螺柱焊接为例讨论工艺评定及其实验方法,指出了常见的接头焊接缺陷产生的原因。

以较大的篇幅讨论了各种金属材料电弧螺柱焊的焊接性特点,包括常用的碳素结构钢、低合金结构钢、不锈钢、铝合金等。异形断面螺柱(锚固件)在化工设备、冶金炉窑中的应用,在“耐热奥氏体不锈钢螺柱焊接”一节进行了介绍。气体保护螺柱焊在“铝合金螺柱焊”中进行了分析。由于国内缺乏相应标

准, 只能部分引用了德国 DIN5411 标准中, 有关不锈钢锚固件螺柱焊接头的实验方法和美国对铝合金接头的实验方法。本节内容 (各种金属材料的螺柱焊) 不仅适用于电弧螺柱焊, 也适用于第 3、4、5 章的电容放电螺柱焊、行程引弧式 C. D. 螺柱焊和短周期螺柱焊。

电弧螺柱焊在建筑钢结构中的应用单独写了一大节进行讨论分析, 因为国内只有在建筑钢结构的建造领域技术立法最完善, 不仅其工艺评定程序和实验方法被其他行业所借鉴或套用, 包括焊钉在结构中的受力分析试验结论也被其他应用领域 (技术行业) 所接受。

本节介绍了一般钢-混凝土组合结构中对焊钉承载能力的实验计算及结构要求。电弧螺柱焊的变型应用方法 (派生方法) 也在本节中进行了介绍: 一步法电弧穿透螺柱焊在压型钢板-混凝土组合楼板的施工技术中进行了讨论分析; 埋弧螺柱焊在“建筑预埋件”制造中进行了讨论; 空间位置螺柱焊在“钢-混凝土组合柱 (桥桩)”的制造中进行了介绍。

第 3 章 电容放电螺柱焊

电容放电螺柱焊 (capacitance discharge stud welding) 也简称 C. D. 螺柱焊。电容放电螺柱焊在国内是一种发展比较快、应用比较广的电弧法螺柱焊焊接方法之一。其特点是:

(1) 小直径 ($\leq \phi 10\text{mm}$) 短螺柱在薄壁金属结构上植焊而形成 T 形接头; 焊接区不采用任何保护方法, 而是靠电弧的爆炸效应进行自我保护, 与电弧螺柱焊差异极大, 主要应用于小型金属构件的连接或不锈钢、铝合金幕墙薄板的装饰连接, 小型构件如五金、厨具、家电、仪表壳等。

(2) 所植焊的螺柱形状特殊, 即螺柱的焊接端部要求必须加工出一个大于螺柱直径 1mm 左右、厚度 1mm 左右的法兰, 并在法兰中心加工有引弧凸起。引弧凸起相当于电弧螺柱焊的大直径焊钉的引弧结, 所以电容放电螺柱焊也称做尖峰放电螺柱焊。根据电容放电时的螺柱初始位置, 电容放电螺柱焊又分为接触式和间隙式两种电容放电螺柱焊焊接方法。

(3) 电容放电过程不可控和电弧燃烧时间极短 (0.5 ~ 2.0ms)。

后两个特点是这种螺柱焊焊接方法接头质量分散性较大的根本原因。

通用的经济型电容放电螺柱焊机 (充电电源的模式为 220V 变压器降压-整流-限流电阻) 制造简单、成本低。所以国内生产制造这种焊机的厂家特别多, 互相转抄停留在同一平均水平上, 与国外技术水平相比差距较大。

本章综述了国内常见的普通型电容放电螺柱焊机主电路的几种结构模式, 并对一台典型焊机结构进行了电路分析, 指出了这类焊机的缺点, 提出了二次放电方法。同时对电容一次和二次放电过程进行了数学分析, 介绍了三相可控整流恒流充电方式的螺柱焊机的电器原理、逆变式电容放电螺柱焊机的微机控制。分析

了焊接参数设定方法及其有限性,根据接头质量分散的原因介绍了焊接过程“电压特征曲线”的概念,并采用“电压特征曲线”作为焊接过程检测的依据,提出了焊接过程接头质量检测的几种方案和装置。讨论了焊后接头质量检验,引入了“现场剥离”方法,特别提出了螺柱背面薄板上的烧痕和凹凸的避免条件,依据薄板植焊方法(电容放电螺柱焊、行程引弧式 C. D. 螺柱焊和短周期螺柱焊)的“应用极限”,讨论了接触式和间隙式电容放电螺柱焊方法选择使用的推荐条件。

第4章 拉弧式电容放电螺柱焊

行程引弧式电容放电螺柱焊(process routing arc capacitance discharge stud welding)也称做拉弧式电容放电螺柱焊(draw arc capacitance discharge stud welding)或简称拉弧式 C. D. 螺柱焊或 C. D. D. 螺柱焊,这是在第3章电容放电螺柱焊的基础上升级的一种焊接方法。引弧凸起的加工偏差、电容放电过程的不可控及焊接电弧燃烧时间太短这三个因素是电容放电螺柱焊的焊接接头质量不稳定、分散性较大的根本原因,而拉弧式电容放电螺柱焊基本上解决了上述这三个不利因素。后者采用了没有引弧凸起的带法兰和小锥度的螺柱;电容放电过程可以“半控”;焊接电弧燃烧时间从0.5~2.0ms延长到了6~8ms,使焊接质量的稳定性和焊接参数的再现性大大提高了。但是拉弧式电容放电螺柱焊又取代不了电容放电螺柱焊,因为植焊0.6mm以下的薄钢板,拉弧式电容放电螺柱焊并无优势,而植焊带厚(15~25 μm)镀锌层的薄钢板(0.7~3.0mm),则采用拉弧式电容放电螺柱焊机,才可能实现,同时由于焊接周期延长,使得能够实现搭配长距离气吹式送料机实现半自动或自动焊接,焊接生产率从手动装钉的每分钟10个左右提高到了每分钟40~60个,主要应用场合是大批量高节拍生产的汽车制造业,所以 C. D. D. 螺柱焊机也叫做汽车螺柱焊机。

本章叙述了拉弧式电容放电螺柱焊焊接方法的原理和特点。介绍了所采用的设备构成;主机(电源及控制系统)、焊枪(手动和半自动)和普通经济型送料机以及三者的连接。分析了三种不同档次的主电源及其控制系统的电器原理,即便携式傻瓜机、带自动送料系统的可以在自动生产线上使用的经济型半自动焊机,以及带有焊接参数自动优化功能的逆变式半自动汽车螺柱焊机和通用微机控制逆变式 C. D. D. 螺柱焊机,介绍了焊接参数(包括电参数和焊枪与送料机的机械参数)的设定方法和焊后接头质量检验,讨论了应用极限条件,并与电容放电螺柱焊和短周期螺柱焊进行了比较。

本章还介绍了一种近几年刚问世的、全新的双电层结构的超级电容器在螺柱焊机中的应用。与传统电解电容器比较,超级电容器有极高(高出100倍)的储电能力,能量密度和功率密度分别可达0.2~20kWh/kg和100~10000W/kg,实现了电容量由微法级向法拉级的飞跃,这是一种可提供强大脉冲功率的物理

二次电源。其应用范围正在向点焊机和螺柱焊机领域延伸。采用超级电容器作为储能单元的螺柱焊机具有极为诱人的前景,将彻底改变螺柱焊机的设计理念。本章最后介绍了几种较为成熟的采用超级电容器作为储能单元的螺柱焊机的电器原理。

第5章 短周期螺柱焊

短周期螺柱焊(short cycle stud welding)和第3、4章所介绍的C. D. 螺柱焊及C. D. D. 螺柱焊等三种螺柱焊接方法,同属于“小直径螺柱($\phi 3 \sim \phi 8\text{mm}$) 在薄金属板($0.5 \sim 3.0\text{mm}$) 上植焊”的方法。

后三种方法有共同的应用极限,这就是小直径螺柱在带涂层的薄钢板上植焊的,同时要求钢板背面无损伤。对于这个应用极限,短周期螺柱焊是更为理想的植焊方法。不采用带引弧凸起的螺柱,预焊时间(先导电流时间)和焊接电弧燃烧时间可以随意调节、随意延长,焊接过程完全可控,因而也是汽车制造用的理想的螺柱焊焊接方法。

汽车车身正是带有“厚镀锌层”($15 \sim 25\mu\text{m}$)的薄钢板($0.6 \sim 1.2\text{mm}$),同时自动化程度要求高,是目前搭接机器人进行螺柱焊的唯一的行业。本章分析了短周期螺柱焊的原理和工艺特点,因为焊接时间可以随意延长和过程完全可控,所以短周期螺柱焊也延伸进入了长周期螺柱焊的边界(第2章的电弧螺柱焊也称做长周期螺柱焊)。短周期螺柱焊不仅可以植焊小直径螺柱和薄钢板(直径 $\phi 3 \sim \phi 10\text{mm}$,板厚 $0.6 \sim 3.0\text{mm}$),在气体保护条件下还可以植焊较大直径螺柱和较厚的钢板(直径 $\phi 12 \sim \phi 16\text{mm}/\phi 19\text{mm}$,板厚 $4 \sim 8\text{mm}$)。四种螺柱焊接方法通过短周期螺柱焊连接了起来,形成了一个闭环或封闭的技术链。

分析了电弧爆炸效应在保护焊接区效果上的有限性,介绍了较大直径螺柱的气体保护短周期螺柱焊及其焊接参数。虽然可以解决电弧螺柱焊因为采用瓷环保护而不能实现自动化填料焊接的问题,但范围也是有限,更厚的钢板(10mm 以上)或更大直径螺柱的焊接,仍然是电弧螺柱焊具有的优势。

讨论了短周期螺柱焊螺柱的提升-浸入特性及其对焊接质量的影响,采用表格对比方式反复对比了三种和四种螺柱焊焊接方法特点、焊接参数、应用等方面的异同,确定了短周期螺柱焊的合理位置。介绍了短周期螺柱焊的设备构成,仍然按高、中、低三档分析了几种便携式、带自动送料系统的半自动焊和自动焊焊机的主电源及其控制系统的电气原理。对国内汽车制造企业使用的汽车用短周期螺柱焊机的使用性能进行了比较,讨论了汽车制造用自动焊枪(包括焊接机器人用自动焊头)的参数范围及其设定。

本书在编写中突出了以下特色:

(1) 资料来源有据 采纳了国内公开发布的几乎全部相关国家标准和行业标准的数据、概念和方法。对于没有国标的技术措施实施方法部分引用了国外标

准；选择性地采用了国内权威机关和行业内知名人士公开发表的论文资料，包括专业学术会议的文章；国内引进外国产品所附带的相关实验资料 and 培训资料；国内外最新（截止到2007年9月）产品样本资料；本书作者及其合作者在近十几年来研究开发、设计制造和生产中积累的设计实验资料以及公开发表的论文、参编各种手册的书稿和作者自编的强化培训教材等。

(2) 书中专业技术术语、概念统一 国内资料的用语比较混乱，因此本书统一采用了国家相关标准规范的名词术语和国际上通用的英语称谓。除本书作者及其合作者之外的人士能够提供的汉语资料外，在国内很难找得到第4、5章的内容，所以技术术语的汉语名称后面都加了括号，用英文作了标注。

(3) 编写的思路使用了相对比较法 第1、2章用螺柱焊与传统电弧焊进行了比较，突出电弧法螺柱焊的工艺特点。第3章电容放电螺柱焊和第2章电弧螺柱焊比较，强调两者原理工艺和应用的差异，第3章又和第4章拉弧式电容放电螺柱焊进行比较，强调两者的异同，合理定位其应用范围。第4章拉弧式电容放电螺柱焊与电容放电螺柱焊比较，又与短周期螺柱焊比较，强调三者不存在相互取代和淘汰的关系。第5章短周期螺柱焊既与第3章第4章进行同类比较，都是小直径螺柱在薄金属板上植焊的工艺类型，又与第2章电弧螺柱焊进行比较，因为短周期螺柱焊在气体保护条件下能够向长周期自由延伸，但又有“有限性”。应用比较法来科学地定位各自合理的应用场合，使读者在根据产品选择焊接方法时有个明确清晰的概念。

(4) 最大的信息量 本书既不是手册，也不是科研论文集，更不是焊机使用说明书。它不同于典型的培训教材，本书不能回答螺柱焊焊接技术中的所有问题。但是本书力图给出尽可能多的信息量，涉及到各种螺柱焊焊接工艺的几乎所有问题都作了最简明的阐述，使读者尽可能多地查到所需的可参考的资料、数据、信息和选择。本书应该是一本具有大学教材某些特征的系统的专业著述，是一本教学（包括自学）参考书，是一本焊接工程师必备的工具书。是交给读者的一把钥匙，以此来开启读者的智慧，获得螺柱焊焊接专业的自由，任凭读者自由应用、发展、开发和创造新的知识。

(5) 参考文献资料的应用 参考文献共引用了17种相关标准，21种学术期刊以及3套相应手册和4种名家专著，还有5种学术会议论文集等约70名第一作者的文献。参考文献编排顺序未按照出版时间的先后编排，而是按章节引用的顺序和类别排列。

书稿在成书之前曾用了近一年的时间游走在长春、天津、北京、上海、成都、青岛、深圳和珠海之间，征求、听取和接受从事螺柱焊施工及螺柱焊机制造、使用的专家们的批评和修改意见。感谢焊接界的专家和朋友为本书提供了宝贵的意见和资料，特别感谢清华大学聂建国教授对本书编写给予的热情支持和期

望。感谢成都斯达特焊接研究所黄贤聪先生、张瑞昌先生和孙松岭硕士对本书的编写提供的帮助和支持。感谢张瀚文女士在本书的编写和成稿过程中所付出的劳动和心血。

最后，感谢原吉林工业大学课题组的同仁和学子们的支持，他（她）们是：白志范老师、李兆魁先生、李洪文、邓占峰、孙威威、李静、符占宣、蒋志宏和王伟明等年青的硕士和博士们。

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Wang Wei' (王伟), written in a stylized, cursive manner.

目 录

序

编写说明

第1章 绪论 1

1.1 电弧法螺柱焊及其 分类 1

1.1.1 螺柱焊和电弧法螺 柱焊 1

1.1.2 电弧法螺柱焊的分类 2

1.1.3 电弧螺柱焊 6

1.1.4 电容放电螺柱焊 8

1.1.5 拉弧式电容放电螺 柱焊 9

1.1.6 短周期螺柱焊 11

1.2 螺柱焊的工艺及设备 特点 14

1.2.1 焊接区的保护 14

1.2.2 螺柱焊能植焊的板厚 范围 16

1.2.3 螺柱焊的径厚比 17

1.2.4 热压焊的特征 17

1.2.5 电弧法螺柱焊的专用 焊接设备 17

第2章 电弧螺柱焊 20

2.1 焊接过程及原理 20

2.1.1 过程及时序 20

2.1.2 电弧螺柱焊用螺柱 22

2.1.3 焊接螺柱直径与最小 板件的厚度 31

2.1.4 焊接螺柱与保护瓷环 32

2.2 焊接设备 38

2.2.1 焊接电源及控制 38

2.2.2 焊枪 52

2.2.3 焊接电缆和电弧螺柱 焊机的焊接能力 58

2.3 焊接条件 60

2.3.1 焊接参数及其设定 60

2.3.2 螺柱的定位技术和电 弧磁偏吹的控制 64

2.4 常用金属材料对电弧螺 柱焊的适应性 67

2.4.1 电弧螺柱焊的工艺焊 接性特点 68

2.4.2 常用金属材料的螺柱 焊焊接适应性 69

2.5 焊接的质量控制及接头 检验方法 81

2.5.1 焊接质量的控制方法 82

2.5.2 焊接工艺评定及试验 84

2.5.3 焊后外观检查及现场 锤击弯曲试验 90

2.5.4 电弧螺柱焊接头的典 型外观缺陷分析 91

2.6 电弧螺柱焊在建筑钢结 构中的应用 92

2.6.1 建筑结构的演变与电 弧螺柱焊 92

2.6.2 钢-混凝土组合结构 的工作原理 96

2.6.3 钢-混凝土组合梁的 构成和焊钉的作用 99

2.6.4 焊钉的承载能力设计 及结构要求 101

2.6.5 压型钢板的电弧穿透 螺柱焊	108	3.4.1 电容放电螺柱焊的应 用极限	166
2.6.6 螺纹钢预埋件的电弧 螺柱焊	119	3.4.2 电容放电螺柱焊的应 用领域及特点	168
2.6.7 建筑立柱、桥墩等结 构中的空间位置电弧 螺柱焊	126	3.4.3 电容放电螺柱焊机的主要 技术参数和铭牌	171
2.6.8 建筑结构中电弧螺柱 焊的质量控制和管理	127		
第3章 电容放电螺柱焊	129	第4章 拉弧式电容放电螺 柱焊	173
3.1 电容放电螺柱焊的原理 及特点	129	4.1 拉弧式电容放电螺柱焊 的原理及特点	174
3.1.1 电容放电螺柱焊(C. D. 螺 柱焊)的工艺特点	129	4.1.1 过程原理	174
3.1.2 电容放电螺柱焊的分 类及其焊接过程	134	4.1.2 工艺特点	176
3.2 电容放电螺柱焊的焊 接设备	137	4.2 拉弧式电容放电螺柱焊 的焊接设备	177
3.2.1 设备构成	137	4.2.1 电源及其控制	177
3.2.2 电源及其控制	140	4.2.2 焊枪及送料机	193
3.2.3 焊枪	155	4.3 拉弧式电容放电螺柱焊 焊接参数的设定及质量 控制	198
3.2.4 振动式送料机	156	4.3.1 焊接过程参数的设定	198
3.3 电容放电螺柱焊的焊接 参数设定、接头质量控 制与检验	156	4.3.2 焊接接头的质量控制 及检验	201
3.3.1 电容放电螺柱焊焊接 参数的设定	156	4.4 拉弧式电容放电螺柱焊 的应用	203
3.3.2 电容放电螺柱焊的电 压特征曲线与接头质 量的分散性	158	4.4.1 应用极限与方法选择	203
3.3.3 电容放电螺柱焊接头 的质量控制	160	4.4.2 应用领域及特点	206
3.3.4 电容放电螺柱焊接头 的质量检验	162		
3.4 电容放电螺柱焊的应用 及方法选择	166	第5章 短周期螺柱焊	208
		5.1 短周期螺柱焊的焊接过 程及原理	208
		5.1.1 焊接过程的四个阶段	208
		5.1.2 焊接工艺及其特征	212
		5.1.3 螺柱的提升-浸入特性和 接头质量	220
		5.1.4 短周期螺柱焊在电弧法 螺柱焊中的位置	228

5.1.5 汽车制造最常用的标准螺柱	232	式短周期螺柱焊机的电	
5.2 短周期螺柱焊的焊接设备	235	气原理	250
5.2.1 短周期螺柱焊机在不同使用场合的应用与选择	235	5.3 汽车制造业中的短周期螺柱焊	260
5.2.2 手提式轻便焊机的电气原理	239	5.3.1 汽车螺柱焊焊接的特点	260
5.2.3 带自动送料系统的可控整流式半自动螺柱焊机的电气原理	244	5.3.2 国内汽车制造业中的螺柱焊机	263
5.2.4 带自动送料系统的逆变		5.3.3 汽车制造用自动焊头及其参数设定	269
		参考文献	273

第 1 章 绪 论

1.1 电弧法螺柱焊及其分类

1.1.1 螺柱焊和电弧法螺柱焊

20 世纪中后期, 由于金属结构加工制造业的高速发展和技术进步, 对金属螺柱或类似的紧固件 (如栓钉、T 形钉、保温钉及 V 形钉等) 快速焊接到板件或管件上用以形成 T 形接头的方法不断地提出了新的要求, 于是逐渐产生并形成了一种特殊的焊接技术, 即螺柱焊 (stud welding), 也称植焊或螺柱植焊。这种方法犹如在钢板上种植螺柱一样; 也有人称为栽钉焊, 即栽种螺柱到钢板上。螺柱焊可以代替铆接和钻孔螺钉紧固, 它已被广泛地应用在建筑、桥梁、汽车、化工设备、电站锅炉、电力变压器、造船、铁路客车、家电、仪表等行业的建造和制造。

根据焊接热源的不同, 实现螺柱焊焊接的方法有电阻法、摩擦法、氧乙炔火焰法、爆炸法及电弧法等, 这里指的是电弧法螺柱焊 (stud arc welding)。电弧法螺柱焊在使用设备及焊接接头形成等焊接技术和工艺方面有其特殊性, 而其他螺柱焊焊接方法都是采用传统设备, 仅仅焊接夹具有所改变, 比如电阻法螺柱焊其实就是电阻焊中的 T 形焊, 是凸焊的一种, 采用传统的固定式电阻点焊机, 仅仅在上、下机臂上将电极略加改装, 并装置一个专用夹具就可以实现电阻点焊的 T 形接头的连接。因而, 采用电阻热来实现 T 形接头的连接方法一直没有能够从电阻焊焊接方法中衍生出来以形成一种独立的电阻法螺柱焊 (stud resistance welding)。

电弧法螺柱焊是以焊接电弧作为热源的螺柱焊焊接方法, 它将螺柱焊到板件上形成 T 形接头, 而不是用药皮焊条或者其他填充金属的电弧焊方法 (如 TIG 焊、MIG 焊/MAG 焊和埋弧焊等)。螺柱及其类似的紧固件本身既是焊件又是作为一个电极, 电弧在螺柱端部和板件 (金属板件、管件) 之间引弧燃烧, 螺柱下落插入熔池加压而形成 T 形接头, 是一种高速度电弧连接方法。电弧法螺柱焊虽然是电弧焊的方法之一, 但是其焊接设备不能和传统电弧焊设备通用, 焊接工艺也有其特殊性, 是目前唯一称做螺柱焊的 T 形接头连接方法。

螺柱焊通常可以取代铆接、钻孔和攻螺纹连接, 可以在任何时刻施焊而不影

响焊件背面的工作，且无须为螺钉紧固件的螺纹深度而预留凸台或法兰。焊件重量轻，并且节省材料，提高了生产率，在承受相同力的条件下，螺柱焊所能接受的板厚要比螺钉钻孔紧固或攻螺纹紧固小得多。图 1-1 是不同连接方法的比较。

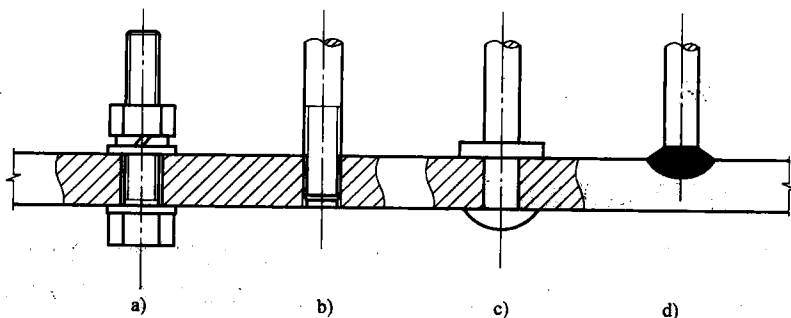


图 1-1 螺柱焊接头和钻孔紧固、铆接或攻螺纹连接的比较

a) 螺钉钻孔紧固 b) 攻螺纹连接 c) 铆接 d) 螺柱焊

如果没有特意注明，则螺柱焊一般情况下指的就是电弧法螺柱焊。

螺柱焊和焊螺柱是两回事，图 1-2 是几种焊接螺柱时采用其他非螺柱焊焊接方法把螺柱焊在钢板上而形成 T 形接头的示意图。

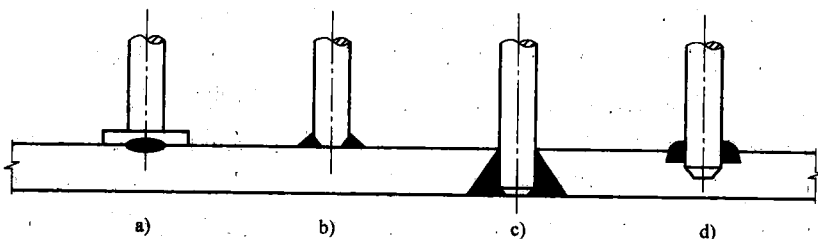


图 1-2 各种非螺柱焊焊接的 T 形接头

a) 电阻焊 (T 形焊) b) 电弧角焊 c) 背面塞焊 d) 正面塞焊

1.1.2 电弧法螺柱焊的分类

电弧法螺柱焊也是以电弧作为热源的电弧焊焊接方法中熔化极热压焊的一种。为了了解电弧法螺柱焊的工艺特征和本质，我们按族系法、二元坐标法和簿记法对螺柱焊进一步分类如下：