



普通高校机械类专业“十三五”规划教材

焊接技术与设备

(第2版)

主 编 侯志敏 汤振宁
副主编 金 驰 聂国强 李晓政
主 审 孙乃坤



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



普通高校机械类专业“十三五”规划教材

焊接技术与设备

(第2版)

主 编 侯志敏 汤振宁

副主编 金 驰 聂国强 李晓政

主 审 孙乃坤



西安交通大学出版社

XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书根据高等职业教育需求,以培养专业人才为特色,紧密结合生产实际,突出应用能力和综合素质的培养。主要讲述了各种常用焊接方法的过程本质、焊接工艺及质量控制等。全书共分为八章:第1章集中介绍电弧焊的一些共性内容;第2章至第7章系统地介绍了焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、等离子弧焊接与切割以及电阻焊的原理、特点与工艺;第8章则对钎焊、高能密度焊、电渣焊、摩擦焊、扩散焊以及爆炸焊等作了简要介绍。本书力求通俗易懂,侧重讲解原理与应用,可以更好地配合实习教材。

本书可作为高等职业院校、成人高校、专科院校及本科院校焊接相关专业师生的教材,也可作为相关企业单位工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据			
焊接技术与设备/侯志敏,汤振宁主编.—2版.			
—西安:西安交通大学出版社,2016.7			
ISBN 978-7-5605-8693-9			
I. ①焊… II. ①侯…②汤… III. ①焊接工艺-高等职业教育-教材②焊接设备-高等职业教育-教材			
IV. ①TG44②TG43			
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 153669 号			
书 名	焊接技术与设备(第 2 版)		
主 编	侯志敏 汤振宁		
责任编辑	王 欣		
出版发行	西安交通大学出版社 (西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)		
网 址	http://www.xjtpress.com		
电 话	(029)82668357 82667874(发行中心) (029)82668315(总编办)		
传 真	(029)82668280		
印 刷	虎彩印艺股份有限公司		
开 本	787mm×1092mm	1/16	印张 12.25 字数 290 千字
版次印次	2016 年 7 月第 2 版 2016 年 7 月第 1 次印刷		
书 号	ISBN 978-7-5605-8693-9/TG·91		
定 价	28.00 元		

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

焊接方法与设备是根据高等院校焊接及相关专业(焊接方向)教学需要而开设的一门焊接专业基础课程,是焊接行业人员应掌握的技术基础。本书主要讲述了各种焊接方法的原理、相应焊接设备的构成、焊接工艺及质量控制措施,并对焊接方法及工艺的新发展作了概括介绍。全书分为八章:为了便于讨论,先在第1章集中介绍焊接热源的电弧的物理本质、热源和力源特性、焊丝的熔化及熔滴过渡、母材熔化及焊缝成形规律等。第2章至第7章中系统地介绍了焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、等离子弧焊接与切割以及电阻焊的原理、特点、工艺和应用。为了拓展专业知识,第8章则对钎焊、高能密度焊、电渣焊、摩擦焊、扩散焊以及爆炸焊等作了简要介绍。

本书的编写以多所院校课程改革成果为基础,吸取了众多同类教材的优点,突出了高校培养特色,遵循以应用为主的原则,着重介绍目前广泛应用的电弧焊,并紧密结合生产实际,着重讲述常用焊接方法应用中的基本理论和实践问题,列出了大量较实用的焊接工艺参数以供参考。本书力图反映近年来发展的高效、节能、低成本和绿色焊接等新的工艺方法,在取材上力求突出实用性,注重从理论与实践结合的角度阐明焊接技术理论。首先使读者建立起感性的认识,再引导读者进行理论学习,且在每章节后附有相应的练习,建议教师尽可能带学生到实训场进行理论实践一体化教学。本书体现了重点突出、实用为主、够用为度的原则,具有针对性、实用性和指导性。

本教材由侯志敏、汤振宁主编并对全书统稿,金驰、聂国强、李晓政任副主编,孙乃坤担任主审。本书在编写过程中,参阅了很多国内外的相关教材和资料,充分吸收了国内多所高校近年来的教学成功经验,得到了很多教授、专家的支持和帮助,特别是在整本教材的编写过程中沈阳理工大学孙乃坤老师提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书可作为高等院校、成人高校及高等职业院校机械类、机电类、汽车类专业学生培训的通用教材,也可供从事焊接相关工作的工程技术人员参考。

尽管我们在教材的编写方面作了很大的努力,力求完美,但由于水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏或不当之处,恳请使用本书的广大师生和读者不吝批评指正,多提宝贵意见和建议。

编者

2016年5月

目 录

第 1 章 焊接基础知识	(1)
1.1 焊接方法及其发展概述	(1)
1.1.1 焊接及其实质	(1)
1.1.2 焊接方法的特点	(2)
1.1.3 焊接方法的分类	(2)
1.1.4 焊接方法发展概况	(4)
1.1.5 焊接在制造业中的战略地位及其新发展	(5)
1.2 焊接的热源	(6)
1.2.1 焊接电弧及其形成	(6)
1.2.2 焊接电弧的构造及其导电特性	(8)
1.2.3 焊接电弧的工艺特性	(9)
1.3 电弧焊的熔滴过渡	(11)
1.3.1 熔滴过渡的作用力	(11)
1.3.2 影响过渡熔滴大小的因素	(12)
1.3.3 影响熔滴过渡的主要形式及特点	(12)
1.4 母材熔化与焊缝成形	(13)
1.4.1 焊缝形成过程	(13)
1.4.2 焊缝形状与焊缝质量的关系	(14)
1.4.3 焊接工艺参数对焊缝成形的影响	(15)
1.4.4 焊缝成形缺陷的产生及防止	(17)
1.5 焊接方法的安全技术	(19)
1.5.1 预防触电的安全技术	(19)
1.5.2 预防火灾和爆炸的安全技术	(20)
1.5.3 预防焊接方法有害因素的安全技术	(20)
1.5.4 特殊环境焊接的安全技术	(22)
复习思考题	(23)
第 2 章 焊条电弧焊	(24)
2.1 焊条电弧焊的原理及特点	(24)
2.1.1 焊条电弧焊的原理	(24)
2.1.2 焊条电弧焊的特点	(25)
2.1.3 焊条电弧焊的适用范围与局限性	(25)
2.2 焊条电弧焊的设备及工具	(26)
2.2.1 对弧焊电源的要求	(26)

2.2.2	弧焊电源的型号与主要技术参数	(28)
2.2.3	常用焊条电弧焊机简介	(30)
2.2.4	焊条电弧焊常用工具	(32)
2.3	焊条电弧焊工艺	(35)
2.3.1	焊接接头形式、坡口、焊件位置及焊前准备	(35)
2.3.2	焊接工艺参数及选择	(37)
2.3.3	焊条电弧焊基本操作技术	(39)
	复习思考题	(43)
第3章	埋弧焊	(44)
3.1	埋弧焊的工作原理及特点	(44)
3.1.1	埋弧焊的焊接过程及工作原理	(44)
3.1.2	埋弧焊的特点及应用	(45)
3.1.3	埋弧焊的自动调节原理	(47)
3.2	埋弧焊设备	(48)
3.2.1	埋弧焊机的功能和分类	(48)
3.2.2	典型埋弧焊机	(50)
3.2.3	埋弧焊机的常见故障及排除方法	(53)
3.3	埋弧焊的焊接材料	(54)
3.3.1	埋弧焊的焊丝和焊剂的选用	(54)
3.3.2	埋弧焊的冶金过程	(57)
3.4	埋弧焊工艺	(59)
3.4.1	埋弧焊焊前准备	(59)
3.4.2	埋弧焊工艺参数的选择	(60)
3.4.3	埋弧焊技术	(62)
3.4.4	埋弧焊的其他方法	(71)
3.4.5	埋弧焊的常见缺陷及防止方法	(72)
	复习思考题	(73)
第4章	熔化极气体保护焊	(74)
4.1	熔化极气体保护焊的原理及分类	(74)
4.1.1	熔化极气体保护焊的原理、特点及分类	(74)
4.1.2	常用的保护气体种类及用途	(75)
4.2	二氧化碳气体保护焊	(76)
4.2.1	二氧化碳气体保护焊原理及特点	(76)
4.2.2	二氧化碳气体保护焊的冶金特性	(77)
4.2.3	二氧化碳气体保护焊的焊接材料	(81)
4.2.4	二氧化碳气体保护焊设备	(82)
4.2.5	二氧化碳气体保护焊工艺	(86)

4.2.6 二氧化碳焊的焊接技术·····	(88)
4.3 熔化极惰性气体保护焊(MIG 焊)·····	(90)
4.3.1 熔化极惰性气体保护焊的原理及特点·····	(90)
4.3.2 熔化极惰性气体保护焊的设备·····	(91)
4.3.3 熔化极氩弧焊的焊接工艺·····	(92)
4.4 熔化极活性气体保护焊·····	(95)
4.4.1 熔化极活性气体保护焊的原理及特点·····	(95)
4.4.2 熔化极活性气体保护焊常用混合气体及应用·····	(95)
4.4.3 熔化极活性气体保护焊的设备及工艺·····	(96)
4.5 熔化极气体保护焊的其他方法·····	(97)
4.5.1 药芯焊丝气体保护电弧焊的原理及特点·····	(97)
4.5.2 药芯焊丝·····	(97)
4.5.3 药芯焊丝气体保护焊焊接工艺·····	(98)
复习思考题·····	(99)
第5章 钨极惰性气体保护焊(TIG 焊)·····	(100)
5.1 TIG 焊的原理、特点及应用·····	(100)
5.1.1 TIG 焊的基本原理·····	(100)
5.1.2 TIG 焊的特点及应用·····	(100)
5.1.3 TIG 焊的应用·····	(101)
5.2 电源种类和极性对 TIG 焊的影响·····	(101)
5.2.1 直流 TIG 焊·····	(101)
5.2.2 交流 TIG 焊·····	(102)
5.3 TIG 焊设备·····	(103)
5.3.1 TIG 焊设备分类及组成·····	(103)
5.3.2 TIG 焊设备常见故障及处理方法·····	(107)
5.3.3 常用 TIG 焊焊机型号及技术数据·····	(107)
5.4 TIG 焊工艺·····	(109)
5.4.1 焊前清理与保护·····	(109)
5.4.2 焊接工艺参数及选择·····	(110)
5.4.3 脉冲 TIG 焊·····	(114)
复习思考题·····	(116)
第6章 等离子弧焊接与切割·····	(117)
6.1 等离子弧的形成及其特性·····	(117)
6.1.1 等离子弧的形成·····	(117)
6.1.2 等离子弧的特性·····	(118)
6.1.3 等离子弧的类型及作用·····	(119)
6.1.4 等离子体的双弧现象及防止·····	(120)

6.2 等离子弧焊接与切割设备	(120)
6.2.1 等离子弧焊设备	(120)
6.2.2 等离子弧切割设备	(122)
6.3 等离子弧焊接	(124)
6.3.1 等离子弧焊接的原理和特点	(125)
6.3.2 等离子弧焊接的应用	(125)
6.3.3 等离子弧焊接工艺	(125)
6.4 等离子弧切割	(128)
6.4.1 等离子弧切割原理及特点	(128)
6.4.2 等离子弧切割工艺	(129)
6.4.3 空气等离子弧切割	(131)
6.4.4 等离子弧堆焊和喷涂	(132)
复习思考题	(134)
第7章 电阻焊	(135)
7.1 电阻焊实质、分类及特点	(135)
7.1.1 电阻焊的实质	(135)
7.1.2 电阻焊分类及特点	(135)
7.1.3 电阻焊的特点	(137)
7.1.4 电阻焊的应用	(137)
7.2 电阻焊的基本原理	(138)
7.2.1 电阻热的产生	(138)
7.2.2 影响电阻热的因素	(138)
7.2.3 热平衡及温度分布	(140)
7.2.4 焊接循环	(140)
7.2.5 金属材料电阻焊的焊接性	(141)
7.3 电阻焊工艺方法与应用	(142)
7.3.1 点焊	(142)
7.3.2 凸焊	(147)
7.3.3 缝焊	(149)
7.3.4 对焊	(152)
复习思考题	(155)
第8章 其他焊接方法	(156)
8.1 钎焊	(156)
8.1.1 钎焊的原理及特点	(156)
8.1.2 钎焊方法	(158)
8.1.3 钎焊材料	(161)
8.1.4 钎焊应用	(163)

8.2 高能密度焊 (164)

8.2.1 电子束焊 (164)

8.2.2 激光焊 (166)

8.3 电渣焊 (168)

8.3.1 电渣焊的原理及分类 (168)

8.3.2 电渣焊应用 (171)

8.4 螺柱焊 (171)

8.4.1 螺柱焊的特点、分类及应用..... (171)

8.4.2 电弧螺柱焊 (172)

8.4.3 电容储能螺柱焊 (173)

8.4.4 螺柱焊方法的选择 (175)

8.5 摩擦焊 (175)

8.5.1 摩擦焊的原理及特点 (175)

8.5.2 摩擦焊的分类 (176)

8.5.3 摩擦焊应用 (178)

8.5.4 摩擦焊的新发展——搅拌摩擦焊 (178)

8.6 扩散焊 (181)

8.6.1 扩散焊的特点 (181)

8.6.2 扩散焊的应用 (181)

8.7 超声波焊 (182)

8.7.1 超声波焊的原理及特点 (182)

8.7.2 超声波焊的应用 (183)

8.8 爆炸焊 (183)

8.8.1 爆炸焊的原理及特点 (183)

8.8.2 爆炸焊的应用 (184)

复习思考题..... (184)

参考文献..... (186)

第 1 章 焊接基础知识

【目的】

1. 认识焊接技术在现代工业中的地位、作用及发展概况。
2. 了解焊接方法、分类及相关基础知识。

【要求】

了解: 1. 电弧焊的导电特性及工艺特性。

2. 典型结构焊接工艺的选择, 对焊接参数有较深刻的理解。

3. 各种焊接设备特点及其构成, 对使用广泛的设备有深入了解。

掌握: 熔滴过渡形式, 母材熔化与焊缝成形。

应会: 1. 各种焊接方法的原理及特点。

2. 各种焊缝成形缺陷的产生及防止。

3. 焊接的安全技术。

焊接技术是机械制造工业中的关键技术之一。我国 40% 以上的钢都用于制造不同的焊接结构。在石油、天然气、煤炭等能源工业中的诸多领域以及核能、热能装备中, 焊接都是最主要、最关键的技术; 在造船工业中, 焊接高效化将达到 80% 以上; 我国汽车生产行业中需采用大量的先进焊接技术; 由于航空航天运输工具要求尽可能高的推力重量比, 必须采用轻型材料和结构, 因此也需要采取一些特殊的现代焊接方法; 另外, 在电子工业中广泛采用的组装技术就是焊接连接。因此可以说, 没有焊接技术的发展就没有现代工业, 焊接在国民经济建设和社会发展中的作用是无可替代的。

1.1 焊接方法及其发展概述

1.1.1 焊接及其实质

在工业生产中材料的连接方式可分为两类: 一类是可以拆卸式连接, 即不必破坏零件就可以拆卸, 如螺纹连接、键连接等, 如图 1-1 所示; 另一类是不可拆卸式连接 (也叫永久性连接), 即要拆卸就必须毁坏零件后才能实现, 如焊接、粘接、铆接等, 如图 1-2 所示。

焊接是通过加热、加压或两者并用, 并且用(或不用)填充材料, 使工件达到结合的一种加工工艺。其实质就是通过适当的物理-化学过程, 使两个分离表面的金属原子接近晶

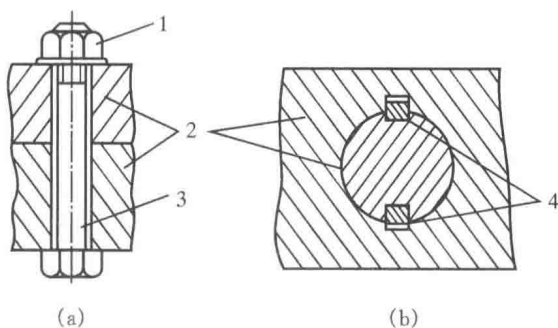


图 1-1 可拆卸连接

(a) 螺栓连接; (b) 键连接

1—螺母; 2—零件; 3—螺栓; 4—键

的一种加工工艺。其实质就是通过适当的物理-化学过程, 使两个分离表面的金属原子接近晶

格距离(0.3~0.5 nm)形成金属键,从而使两金属连为一体。当然,焊接也可以实现非金属材料的永久性连接,如玻璃连接、陶瓷连接、塑料连接等。在工业生产上焊接主要是指金属连接。

1.1.2 焊接方法的特点

焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方式,几乎已经全部代替了铆接。在机械制造中已经大量采用焊接结构代替以前的整锻、整铸,以简化工艺,降低成本。目前全世界焊接结构用钢已经占钢产量的40%以上,焊接工艺之所以得到飞速发展,是因为与铸造、锻压、铆接等方法相比,焊接具有如下特点。

1. 焊接的优点

①焊接结构简单、产品质量轻。由于焊接的强度较高,在同样的承载条件下可更轻、更薄,这个特点对交通运输工具来说更为有利。

②整体性、气密性、水密性好。焊接结构对水、油、气的密封性都很好,是理想的密封结构,适用于各类容器。

③制造周期短、成本低、见效快、经济效益好。焊接的制造工艺比铆接简单得多,可以省去钻孔和划埋头孔等工作。采用现代的焊接工艺很容易实现专业化和大批量生产。

④板厚限制小、设计简单灵活。焊接连接工艺特别适合于制造几何尺寸大而材料较分散的产品。

⑤可以焊接不同金属材料。焊接可以在不同部分采用不同性能的材料进行,充分发挥各种材料的特长,经济且优质。

2. 焊接的不足之处

①结构具有不可拆性。

②焊接时局部加热,焊接接头的组织和性能与母材相比发生变化,产生焊接残余应力和焊接变形。

③焊接缺陷的隐蔽性易导致焊接结构的意外破坏。

1.1.3 焊接方法的分类

焊接方法根据其焊接过程特点可分为熔焊、压焊、钎焊三大类。这三类焊接方法对比如图1-3所示。

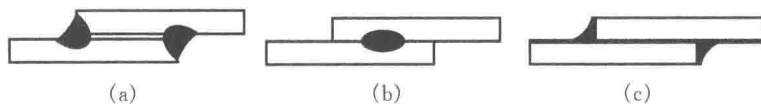


图 1-3 三类焊接方法的对比

(a)熔焊;(b)压焊;(c)钎焊

1. 熔焊

将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法称为熔焊。

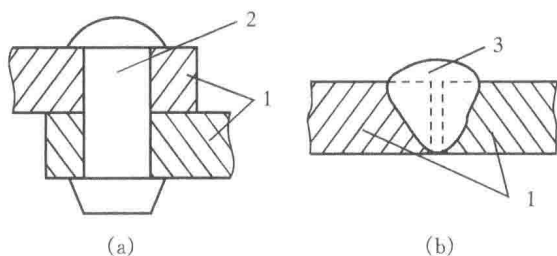


图 1-2 永久性连接

(a)铆接;(b)焊接

1—零件;2—铆钉;3—焊缝

常见熔焊有:电弧焊、气焊、电渣焊、铝热焊、电子束焊和激光焊等。

2. 压焊

焊接过程中,必须对焊件施加压力,以完成焊接的方法称为压焊。

常见的压焊有:电阻焊、摩擦焊、超声波焊、扩散焊、冷压焊、爆炸焊和锻焊等。

3. 钎焊

采用比母材熔点低的金属材料做钎料,将焊件和钎料加热使其高于钎料熔点、低于母材熔化温度,利用液态钎料润湿母材,填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接焊件的焊接方法称为钎焊。

常见的钎焊有:火焰钎焊、感应钎焊、电阻钎焊、盐浴钎焊和电子束钎焊等。焊接方法具体分类见表 1-1。

表 1-1 焊接分类法

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	代号	是否易于 实现自动化
熔焊: 利用一定的热源, 使构件的被连接部 位局部熔化成液体, 然后再冷却结晶成 一体的方法称为熔 焊。可根据热源进 行第二层次的分类	电弧焊	熔化极电弧焊	手工电弧焊	111	△
			埋弧焊	121	○
			熔化极气体保护 焊(GMAW)	131	○
			CO ₂ 焊	135	○
			螺柱焊		△
		非熔化极电弧焊	钨极氩弧焊 (GTAW)	141	○
			等离子弧焊	15	○
			原子氢焊		△
	气焊	氧-氢火焰		311	△
		氧-乙炔火焰			△
		空气-乙炔火焰			△
		氧-丙烷火焰			△
		空气-丙烷火焰			△
	铝热焊				△
	电渣焊			72	○
	电子束焊	高真空电子束焊		76	○
		低真空电子束焊			○
		非真空电子束焊			○
	激光焊		CO ₂ 激光焊	751	○
			YAG 激光焊		○
	电阻点焊			21	○
	电阻缝焊			22	○

续表 1-1

第一层次 (根据母材是否熔化)	第二层次	第三层次	第四层次	代号	是否易于 实现自动化
压焊： 利用摩擦、扩散和 加压等物理作用，克 服两个连接表面的不 平度，除去氧化膜及 其他污染物，使两个 连接表面上的原子相 互接近到晶格距离， 从而在固态条件下 实现连接的方法	闪光对焊			24	
	电阻对焊			25	○
	冷压焊				△
	超声波焊			41	○
	爆炸焊			441	△
	锻焊				△
	扩散焊			45	△
	摩擦焊			42	○
钎焊： 这种方法采用熔 点比母材低的材料 作钎料，将焊件和钎 料加热至高于钎料 熔点、但低于母材熔 点的温度，利用毛细 作用使液态钎料充 满接头间隙，熔化钎 料润湿母材表面，冷 却后结晶形成冶金 结合。钎焊可根据 加热方式进行第二 个层次的分类	火焰钎焊			912	△
	感应钎焊				△
	炉中钎焊	空气炉钎焊			△
		气体保护炉钎焊			△
		真空炉钎焊			△
	盐浴钎焊				△
	超声波钎焊				△
	电阻钎焊				△
	摩擦钎焊				△
	金属浴钎焊				△
	放热反应钎焊				△
	红外线钎焊				△
	电子束钎焊				△

○易于实现自动化；△难以实现自动化。

1.1.4 焊接方法发展概况

焊接是一种古老而又年轻的加工方法，我国古代就有使用锻焊和钎焊的实例。据记载，春秋战国时期，我们的祖先已经懂得以黄泥作为助熔剂，用加热锻打的方法把两块金属连接在一起。到公元 7 世纪唐代时，已应用锡钎焊和银钎焊来焊接了，这比欧洲国家要早十个世纪。

然而，目前工业生产中广泛应用的焊接方法却是 19 世纪和 20 世纪初期现代科学技术发展的产物。特别是冶金学、金属学以及电工学的发展，奠定了焊接工艺及设备的理论基础，而冶金工业、电力工业和电子工业的发展，则为焊接技术的长远发展提供了有利的物质和技术条件。焊接方法的发展简史见表 1-2。

表 1-2 焊接方法的发展简史

焊接方法	发明年代	发明国家	焊接方法	发明年代	发明国家
碳弧焊	1885	俄国	冷压焊	1948	英国
电阻焊	1886	美国	高频电阻焊	1951	美国
金属极电弧焊	1892	俄国	电渣焊	1951	前苏联
热剂焊	1895	德国	CO ₂ 气体保护电弧焊	1953	美国
氧-乙炔焊	1901	法国	超声波焊	1956	美国
金属喷镀	1909	瑞士	电子束焊	1956	法国
原子氢焊	1927	美国	摩擦焊	1957	前苏联
高频感应焊	1928	美国	等离子弧焊	1957	美国
惰性气体保护电弧焊	1930	美国	爆炸焊	1963	美国
埋弧焊	1935	美国	激光焊	1965	美国

1.1.5 焊接在制造业中的战略地位及其新发展

众所周知,机械制造业是国民经济的基础,它决定一个国家的工业生产能力和水平,而焊接技术则是机械制造工业中的关键技术之一。我国 40% 以上的钢都用于制造不同的焊接结构。在石油、天然气、煤炭等能源工业中的诸多领域以及核能、热能装备中,焊接都是最主要、最关键的技术。现代焊接方法得到了广泛的应用:在造船工业中焊接高效化将达到 80% 以上;在我国的汽车行业生产中,大量采用先进焊接技术,如机器人电阻焊、电弧焊、激光切割及焊接等;由于航空航天运输工具要求尽可能高的推力重量比,必须采用轻型材料和结构,因此采取了一些特殊的现代焊接方法,如电子束焊、激光焊、钎焊、超塑成型-扩散连接等;在电子工业中广泛采用的组装技术就是焊接连接。因此,可以说没有焊接技术的发展就没有现代工业,焊接在国民经济建设和社会发展中的作用是无可替代的。

随着工业和科学技术的发展,焊接方法也在不断进步和完善。焊接已经从单一的加工工艺发展成为综合性的先进的工艺技术,焊接方法的新发展主要体现在以下几个方面。

1. 提高焊接生产率,进行高效焊接

这可以通过采用新型焊接材料、焊接工艺方法实现。如焊条电弧焊中的铁粉焊条、重力焊条和躺焊焊条工艺,埋弧焊中的多丝焊、热丝焊及窄间隙焊接,气体保护电弧焊中的气电立焊、热丝 MAG 焊及 TIME 焊等,都是常见的高效化焊接方法。

2. 提高准备工序及焊接过程的机械化、自动化、智能化水平

这主要是将计算机、机器人等高新技术应用到焊接领域从而提高焊接生产率、提高产品质量、改善工人劳动条件,解决目前生产中存在的劳动条件差、依靠经验或实验进行开发和生产两大关键问题。

我国目前手工焊接所占比例还很大,而国外焊接过程机械化、自动化程度已达到比较高的水平。焊接机器人的应用是提高焊接过程自动化水平的有效途径,应用焊接专家系统、神经网络系统等都能提高焊接过程智能化水平。

3. 热源的应用和开发

焊接工艺几乎运用了世界上一切可以利用的热源。熔焊、压焊、钎焊三类焊接方法基本上都要用热源,如火焰、电弧、电阻、激光、电子束等。新的更好的更有效的热源也一直在研发中,每种热源的出现都会伴随焊接新工艺的发明,比如出现了激光就有了激光焊,出现了等离子就有了等离子焊。也可采用两种热源叠加,以获得更强的能量密度,如等离子束加激光,电弧中加激光,等等。

4. 复杂焊接产品质量的可靠检测与寿命评估

发展无损探伤技术,研究焊接结构可靠性及寿命的评估理论和方法。发展计算机模拟技术,使焊接技术得到进一步的提高和完善。

1.2 焊接的热源

要进行金属的焊接就必须提供能量。对于熔焊,主要是提供热源。常用的热源有电弧热、电阻热、化学热、摩擦热、激光束、电子束等。常见的焊接热源特点及对应的焊接方法见表 1-3。当然,目前应用最广的热源是电弧热。

表 1-3 常用焊接热源的特点及对应焊接方法与技术

焊接热源	特点	对应焊接方法与技术
电弧热	以气体介质在两电极之间或电极与母材之间强烈而持久的放电过程所产生的热能为焊接热源。电弧热是目前焊接中应用最广的热源	电弧焊,如焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、等离子弧焊、等离子弧切割等
化学热	利用可燃气体的火焰放出的热量或铝、镁热剂与氧或氧化物发生强烈反应所产生的热量为焊接热源	气焊、气割、钎焊、热剂焊(铝热剂)
电阻热	利用电流通过导体及其界面时所产生的电阻热为焊接热源	电阻焊、高频焊(固体电阻热)、电渣焊(熔渣电阻热)
摩擦热	利用机械高速摩擦所产生的热量为焊接热源	摩擦焊
电子束	利用高速电子束轰击工件表面所产生的热量为焊接热源	电子束焊
激光束	利用聚集的高能量的激光束为焊接热源	激光焊

电弧焊是以电弧作为热源的形式,将电能转变为热能来熔化金属,实现焊接的一种熔焊方法,是现代焊接方法中应用最为广泛,也是最为重要的一类焊接方法,可有效而简便地把弧焊电源输送的电能转换成焊接过程所需要的热能和机械能。电弧的这种能量转换和利用就成为电弧焊的基础,电弧焊接就是利用这种热能来熔化焊条和母材。因此,焊接电弧的稳定性及热特性等各种性质对焊接的质量有着直接的影响。这就需要深入了解焊接电弧的物理性质和各种特性。

1.2.1 焊接电弧及其形成

1. 焊接电弧的概念

焊接电弧是由焊接电源供给的,它是一种气体放电现象,是由带电粒子通过两电极之间气

体空间的一种放电过程。与其他气体放电相比,电弧放电的主要特点是电流最大、电压最低、温度最高、发光最强。图 1-4 为焊条电弧焊电弧示意图。

2. 焊接电弧的产生

正常状态下,气体不能导电,电弧也不能自发地产生,只有两极(或电极与母材)间的气体有带电粒子时,电弧才能产生并且稳定燃烧。自然获得带电粒子的方法就是使气体电离和金属电极(阴极)电子发射。这样电流才能通过气体间隙而形成电弧。

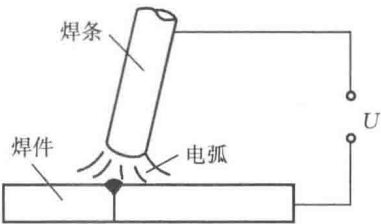


图 1-4 焊条电弧焊电弧示意图

(1)气体的电离 在外加能量作用下,使中性的气体分子或原子分离成电子和正离子的过程称为气体电离。其本质是中性气体粒子吸收足够的能量,使电子脱离原子核的束缚而成为自由电子和正离子的过程。使气体电离所需要的能量称为电离能,常见元素的电离能见表 1-4。不同的气体或元素由于原子构造不同,其电离能也不同,电离能越大,气体就越难电离。

表 1-4 常见元素的电离能

元素	K	Na	Ba	Ca	Cr	Ti	Mn	Mg
电离能/eV	4.34	5.11	5.21	6.11	6.76	6.82	7.40	7.61
元素	Fe	Si	H	O	N	Ar	F	He
电离能/eV	7.83	8.15	13.59	13.62	14.53	15.76	17.48	24.59

在焊接过程中气体电离主要有热电离、场致电离、光电离三种。

①热电离。气体粒子受热的作用而产生电离的过程称为热电离。其本质为粒子热运动激烈,相互碰撞产生的电离。

②场致电离。带电粒子在电场中高速运动,和其中的中性粒子发生非弹性碰撞而产生的电离。两电极之间的电压越高、电场作用越大,则电离作用越强烈。

③光电离。中性气体粒子受到光辐射的作用而产生的电离过程称为光电离。

(2)阴极电子发射 阴极金属表面的自由电子受到外加能量时从阴极表面逸出的过程称为阴极电子发射。

一般情况下,电子是不能自由离开金属表面向外发射的,要使电子逸出电极金属表面而产生电子发射,就必须加给电子一定的能量,使它克服电极金属内部正电荷对它的静电引力。电子从阴极金属表面逸出所需要的能量称为逸出功。电子逸出功的大小与阴极的成分有关。逸出功越小,阴极发射电子就越容易,常见元素的逸出功见表 1-5。

表 1-5 常见元素的逸出功

元素	K	Na	Ca	Mg	Mn	Ti	Fe	Al	C
逸出功/eV	2.26	2.33	2.90	3.74	3.76	3.92	4.18	4.25	4.34

焊接时,根据所吸收能量的不同,阴极电子发射主要有热发射、电场发射、撞击发射等。

①热发射。焊接时,阴极表面温度很高,引起部分电子的动能达到或超过电子从阴极金属表面逸出所需的能量时产生的电子发射。热阴极以热发射为主要的发射形式。

②电场发射。阴极表面受到电场力的影响,当电场力达到某一程度时电子逸出阴极表面形成电子发射。冷阴极以电场发射为主要的发射形式。

③粒子碰撞发射。电弧中高速运动的正离子碰撞阴极时,将能量传递给阴极使表面自由电子得到能量而逸出。电场强度越大,在电场的作用下正离子的运动速度越快,产生的撞击发射作用也越强烈。

在焊接过程中,上述几种电子发射形式常常同时存在,但是条件不同的时候每种发射所起的作用不同。

1.2.2 焊接电弧的构造及其导电特性

焊接电弧的构造可分为三个区域:弧柱区、阴极区和阳极区。电弧的热能由这三个区域产生,如图1-5所示。

1. 弧柱区的导电特性

弧柱区是电弧阴极区与阳极区之间的那部分。是大量电子、正离子等带电粒子和中性粒子等聚合在一起的气体,对外呈电中性。弧柱的长度基本上等于电弧的长度;弧柱的温度与弧柱气体介质和焊接电流大小等因素有关;焊接电流越大,弧柱中电离程度越高,弧柱温度也越高。焊条电弧焊时,弧柱中心温度为 $5\,370\sim 7\,730\text{ }^{\circ}\text{C}$,占放出热量的21%左右。

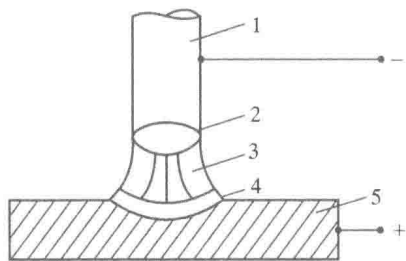


图1-5 焊接电弧的构造

1—焊条;2—阴极区;3—弧柱区;4—阳极区;5—焊件

2. 阴极区的导电特性

电弧紧靠负电极的区域称为阴极区。它的作用有:接受由弧柱传来的正离子流;向弧柱区提供电弧导电所需的电子流。在阴极区的阴极表面有一明亮的斑点,称为阴极斑点,它是阴极区温度最高的地方。当然,阴极区的导电特性主要取决于阴极的电极材料种类及工作条件(电流大小、气体介质等)。焊条电弧焊时,阴极区温度一般为 $2\,130\sim 3\,230\text{ }^{\circ}\text{C}$,占放出热量的36%左右。

这里要提一下,阴极斑点是电流最集中流过的区域。在采用铜、铝等材料作阴极材料时,阴极斑点有清除表面氧化物的作用,这在后面会详细介绍。

3. 阳极区的导电特性

电弧紧靠近正电极的区域称为阳极区。它的作用有:接受由弧柱传来的电子流;向弧柱区提供电弧导电所需的正离子流。在阳极区的阳极表面也有阳极斑点,它是电弧放电时正电极表面上集中接收电子的微小区域。阳极不发射电子,消耗能量少,因此当阳极与阴极材料相同时,阳极区的温度要高于阴极区。焊条电弧焊时,阳极区温度一般为 $2\,330\sim 3\,930\text{ }^{\circ}\text{C}$,占放出热量的43%左右。