



国防特色教材·职业教育

特种焊接技术及应用

TEZHONG HANJIE JISHU JI YINGYONG

曹朝霞 主 编

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色教材·职业教育

特种焊接技术及应用

主 编 曹朝霞

副主编 王瑞乾

参 编 郜建中 王新民 武 丹

主 审 高 平 赵莉萍

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

为适应高等职业教育教学改革,满足焊接专业高素质技能人才培养的需要,拓展学生的职业岗位能力,本书从国防工业高素质技能型人才所需知识、能力、素质出发,根据职业能力要求设计相应的知识点、能力点,组织教学内容,同时,注重吸收前沿技术,反映当前特种焊接技术的应用现状,以适应焊接技术的新发展。

本书以典型材料焊接工艺的制定与实施为主线,主要讲授了等离子弧焊、电子束焊、激光焊、螺柱焊、扩散焊、摩擦焊等特种焊接方法及其在国防工业领域中的应用。

在编写过程中,邀请了企业专家参加编审工作,充实了许多典型的生产实践案例,使教材内容更贴近工程实际。

本书可作为高职高专、各类成人教育焊接专业教材或培训用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

特种焊接技术及应用/曹朝霞主编. —北京:北京理工大学出版社,2009.8

国防特色教材·职业教育

ISBN 978-7-5640-2351-5

I. 特… II. 曹… III. 焊接-技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TG456

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 101477 号

特种焊接技术及应用

曹朝霞 主编

责任编辑 张慧峰

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街5号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787毫米×960毫米 1/16 印张:15 字数:301千字

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷 印数:1~3000册

ISBN 978-7-5640-2351-5 定价:25.00元

前 言

为进一步贯彻落实《国务院关于大力发展职业教育的决定》(国发[2005]35号)和国防科技工业教育工作会议精神,加强军工职业教育,促进高素质技能人才的培养,根据国防科技工业教育“十一五”规划,紧密结合军工职业教育教学改革、课程建设和专业建设的实际,国防科工委开展了职业教育“十一五”规划教材建设工作。本书就是根据国防科工委职业教育“十一五”规划教材建设指导思想和相关会议精神要求而编写的。

随着现代工业的发展,铝合金、钛合金、镁合金、陶瓷、金属间化合物、复合材料等轻质高强材料正在成为各种国防装备的主要材料,由于这些材料物理化学性能的特殊性,采用常规的焊接方法很难实现其可靠连接。可见新产品、新结构和新材料对焊接技术提出了新的要求,促使传统焊接技术的不断改进与焊接技术的不断创新。在这种情况下,特种焊接技术的研究、开发和应用得到快速发展。

特种焊接技术是指除焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等常规熔焊方法之外的等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进的高能束流焊接技术,以及经济、高效、广泛应用的螺柱焊、摩擦焊、扩散焊、超声波焊、爆炸焊等固相焊接技术。特种焊接技术的推广应用,扩大了焊接技术在工业领域中的应用范围,带来巨大的经济效益和社会效益,推动了焊接技术向着高质量、高效率、低能耗、无污染的方向发展。

本书以满足国防科技工业人才培养需求为宗旨,结合国防科技工业生产实际,注重培养学生掌握特种焊接技术所需的基础知识和职业能力;坚持理论知识以应用为目的,以够用为度;注重内容的精选,力求突出科学性和实用性。同时,注重吸收前沿技术,以拓展学生视野,适应焊接技术的新发展。

本书共8章,第1章由西安北方华山机电有限公司王瑞乾编写,第2章由沈阳理工大学应用技术学院武丹编写,第4章、第6章由包头职业技术学院王新民编写,第7章、第8章由包头职业技术学院郜建中编写,其余由包头职业技术学院曹朝霞编写。全书由曹朝霞统稿,中国兵器第52研究所高平、内蒙古科技大学赵莉萍主审。

编写过程中,作者参阅了国内外出版的有关教材和资料,得到了有关专家和同行的有益指导,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,疏漏和不妥之处肯定存在,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第1章 等离子弧焊接	4
1.1 认识等离子弧焊	4
1.1.1 等离子弧及其特性	5
1.1.2 等离子弧焊原理	8
1.2 等离子弧焊接设备的选用	10
1.2.1 等离子弧焊机组成	10
1.2.2 典型等离子弧焊机	16
1.3 等离子弧焊接工艺的制定	19
1.3.1 接头形式设计	19
1.3.2 焊接材料的选择	20
1.3.3 焊接工艺参数的选择	22
1.4 等离子弧焊应用实例	25
1.4.1 板材对接焊	25
1.4.2 不锈钢焊管纵缝等离子弧焊	26
1.4.3 有色金属材料的等离子弧焊接	27
1.5 等离子弧焊的其他方法	30
1.5.1 等离子弧堆焊	30
1.5.2 等离子弧喷涂	33
1.5.3 等离子弧—MIG 复合焊接	35
综合训练	35
第2章 电子束焊接	37
2.1 认识电子束焊	37
2.1.1 电子束焊的原理及特点	38
2.1.2 电子束焊的分类及应用范围	40
2.2 电子束焊设备的选用	42
2.2.1 电子束焊机的组成	42

2.2.2 电子束焊机的选用	46
2.3 电子束焊接工艺的制定	48
2.3.1 焊前准备工作	48
2.3.2 焊接接头的设计	49
2.3.3 工艺参数的选择	52
2.3.4 操作技术要点	54
2.4 电子束焊的典型应用	56
2.4.1 不锈钢与工具钢的焊接	57
2.4.2 有色金属及难熔金属的焊接	57
2.4.3 异种金属的焊接	59
2.5 电子束焊的安全防护	59
2.5.1 防止高压电击的措施	60
2.5.2 X射线的防护	60
综合训练	61
第3章 激光焊	62
3.1 认识激光焊	62
3.1.1 激光与物质的作用	63
3.1.2 激光焊机理	64
3.1.3 激光焊的特点及应用	65
3.2 激光焊设备的选用	67
3.2.1 激光焊接设备的组成	67
3.2.2 激光焊机的选用原则	72
3.3 激光焊接工艺的制定	72
3.3.1 连续激光焊工艺	72
3.3.2 脉冲激光焊工艺	78
3.3.3 激光复合焊技术	79
3.4 激光焊的典型应用	81
3.4.1 钢的激光焊	81
3.4.2 有色金属的激光焊	82
3.4.3 异种材料的激光焊	84
3.5 激光焊接的安全防护	85
3.5.1 激光的危害	85
3.5.2 激光的安全防护	86

综合训练	87
第 4 章 螺柱焊	88
4.1 认识螺柱焊	88
4.1.1 螺柱焊的分类及原理	89
4.1.2 螺柱焊的特点及应用	92
4.2 电弧螺柱焊	94
4.2.1 电弧螺柱焊工艺	94
4.2.2 电弧螺柱焊设备	97
4.3 电容放电螺柱焊	100
4.3.1 电容放电螺柱焊工艺	100
4.3.2 电容放电螺柱焊设备	103
4.4 螺柱焊方法的选择与质量控制	105
4.4.1 螺柱焊方法的选择	105
4.4.2 焊接质量检验	106
综合训练	111
第 5 章 摩擦焊	112
5.1 认识摩擦焊	112
5.1.1 传统摩擦焊方法及其原理	113
5.1.2 摩擦焊的特点及应用	117
5.2 传统摩擦焊设备的选用	121
5.2.1 传统摩擦焊设备的组成	121
5.2.2 摩擦焊机的选用	121
5.3 传统摩擦焊工艺的制定	123
5.3.1 焊接过程及热源分析	123
5.3.2 传统摩擦焊工艺的制定	127
5.3.3 摩擦焊应用实例	135
5.4 传统摩擦焊质量控制与安全技术	137
5.4.1 焊接质量及其控制	137
5.4.2 安全技术	139
5.5 搅拌摩擦焊	139
5.5.1 搅拌摩擦焊原理及特点	139
5.5.2 搅拌摩擦焊工艺	142

5.5.3 搅拌摩擦焊设备	145
5.5.4 搅拌摩擦焊技术的应用	149
综合训练	156
第6章 扩散焊	158
6.1 认识扩散焊	158
6.1.1 扩散焊的原理及特点	159
6.1.2 扩散焊的类型及应用	161
6.2 扩散焊设备的选用	163
6.2.1 扩散焊设备的分类与组成	163
6.2.2 典型扩散焊设备及其技术参数	164
6.3 扩散焊接工艺的制定	166
6.3.1 接头形式设计	166
6.3.2 焊件表面的制备与清理	166
6.3.3 中间层材料及选择	168
6.3.4 工艺参数的选择	169
6.4 扩散焊的典型应用	173
6.4.1 有色金属及高温合金的扩散焊	174
6.4.2 异种材料的扩散焊接	176
综合训练	183
第7章 超声波焊	185
7.1 认识超声波焊	185
7.1.1 超声波焊接原理及特点	186
7.1.2 超声波焊的类型及应用	188
7.2 超声波焊接工艺的制定	192
7.2.1 焊前准备	192
7.2.2 焊接参数的选择	193
7.3 超声波焊接设备的选用	198
7.3.1 超声波焊接设备的组成	198
7.3.2 部分国产超声波点焊机的型号及技术参数	201
7.4 典型材料的超声波焊	202
7.4.1 同种材料的超声波焊	203
7.4.2 异种材料的超声波焊	207

综合训练	208
第8章 爆炸焊	210
8.1 认识爆炸焊	210
8.1.1 爆炸焊机理及特点	211
8.1.2 爆炸焊的类型及应用	213
8.2 爆炸焊工艺制定与实施	217
8.2.1 接头形式设计	217
8.2.2 焊接参数的选择	218
8.2.3 爆炸焊操作流程	220
8.3 爆炸焊的典型应用	222
8.3.1 钛—钢复合板的爆炸焊接工艺	222
8.3.2 锆合金—不锈钢管接头的爆炸焊接	225
8.4 爆炸焊质量控制及安全防护	226
8.4.1 爆炸焊接头的质量检验	226
8.4.2 爆炸焊安全与防护	228
综合训练	228
参考文献	230

绪 论

1. 焊接技术的发展

装备制造业是国民经济的基础,也是现代工业的支柱。能源工程、海洋工程、航空航天工程、石油化工工程等,无不依靠装备制造工业提供装备,因而它决定着整个国家工业生产的能力和水平。

焊接技术是装备制造业中关键技术之一,被视为“制造业的命脉,未来竞争力的关键所在”。之所以这样说,是因为焊接这种加工工艺方法在现代装备和工程结构的方方面面,都越来越多地显示出其适应性和优越性。首先体现在它的经济实用,符合高效率 and 低成本的要求;其次表现在它的质量可靠,焊接结构的安全可靠性能够得到保障和信赖。

近年来,焊接技术得到了突飞猛进的发展,已由传统的热加工工艺发展成为集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类学科为一体的焊接工程和焊接产业。这种技术发展的过程,根本上是缘于新材料的应用,作业环境、条件的变化,加工质量要求的提高,以及新时期工业生产模式的转变对企业带来的全方位、更苛刻的要求。这本身就是对焊接技术的挑战,而这种挑战也无处不在:如造船和海洋工程要求解决大面积拼板、大型立体框架结构的自动焊及各种低合金高强度钢的焊接问题;石油化学工业要求解决各种耐高温、耐低温及耐各种腐蚀性介质的压力容器的焊接;航空航天工业中要求解决铝、钛等轻合金结构的焊接;重型机械工业中要求解决大截面构件的拼接;电子及精密仪表制造工业要求解决微型精密焊件的焊接;兵器工业的装备制造和弹药产品开发要求不断提高高强金属、高温金属的焊接质量和可靠性;等等,加之现代企业已不单单着眼于企业经济运行状况的好坏,而是更加注重于发展的健康性、长久性以及社会效应,用优质、高效、节能的现代焊接技术逐步取代能耗大、效率低、工作环境恶劣的传统手工焊接工艺的呼声越来越高。

也正是在这种技术进步和产业挑战中,一些新型焊接技术或连接技术应运而生。它们的开发和应用,带来了材料可焊接性的定义和范围的明显变化及拓展,使我们对一些传统意义上不具备可焊性或焊接性极差的材料(包括一些新型材料)实施焊接作业成为可能,高强金属、高温合金、活性金属、难熔金属的焊接不再是难题,甚至半导体材料以及陶瓷、塑料等一些非金属材料的焊接也不再是难以逾越的禁区。新型焊接技术的开发和应用,使我们在焊接结构设计、接头形式选择以及工艺排列上摆脱许多禁锢和束缚,使一些大熔深构件,或者薄壁器件焊接起来游刃有余,使一些结构上位置条件差乃至密闭空间都不排除作业的可能。变壁厚接头、变径接头、异种金属接头、金属-非金属接头都可以放心地设计和使用,因为这些新的焊接方法在技术原理和实际操作方法上都有其独到之处,加上焊前焊后处理、能量输入、熔深

控制、保护方式等方面控制措施更为严密,可以明显提升焊接产品的质量稳定性,产品内在低缺陷、零缺陷成为可能,结构故障的几率大幅降低。这些新的焊接方法中,有些完全可以实现流水线作业和自动化生产,有些因其较高的能量密度,适宜于高速加工和专业化集中生产的组织,有些借助设备保证甚至近似于机械加工,明显缩短焊件的成型加工时间,无不体现了新型焊接技术的高生产率。新型焊接设备的操作自动化水平大幅提高,操作简便易学,极大地降低了工人的劳动强度、劳动密度以及残次品出现概率;这些新的焊接技术和焊接方法,更多地利用了光能、声能和机械能,明显降低了电能的消耗,在节省能源的同时降低了加工成本。此外,应用这些新的焊接技术,很大程度上规避了有毒、有害气体的产生和排放,降低了烟尘污染和噪声污染,对于焊接操作者而言,减少了职业病的损害,保护了他们的身心健康,同时在企业角度上,不仅减少了技术事故的发生频率,节省了企业的职业病防治的开支,而且使企业的发展更加符合资源节约型、环境友好型的时代要求,体现出良好的经济效益、环保效益和社会效益。

我们注意到,近年来,国防工业领域对这些新的焊接技术的掌握和应用给予了充分的重视,企业内高技能人员的能力考核以及焊工比武竞赛已将这些内容纳入进来。但在最终结果上,暴露出考生或参赛者对这些新型焊接技术的掌握情况不尽如人意,有些焊工不具备实际操作的经验阅历,甚至对这些新型焊接技术知之甚少。我们认为,任何新的专业技术的应用,最先要基于从业者理论认识和水平上的提高,而后才有可能呼吁、影响和带动企业的设备更新、新工艺引进和整体技术进步。这也正是我们尽管水平尚浅,但仍倾力编写出版这本教材的初衷,希望借此给更多的焊接从业者一个系统、全面的介绍和培训,为大家在焊接工作岗位上大胆开展新工艺实践和创新活动建立基础,为企业技术进步贡献力量。

2. 特种焊接技术简介

特种焊接技术是指除焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等传统焊接方法之外的非常规焊接技术,其主要包含等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进的高能束流焊接方法,和高效率、低成本、应用广泛的螺钉焊及扩散焊、摩擦焊、超声波焊、爆炸焊等固相焊接方法。特种焊接技术对于一些特殊材料及结构的焊接具有非常重要的作用,成为实现新材料选用、新结构设计和新产品制造不可或缺的技术保障。特种焊接技术在航空航天、核动力、电子信息等高新技术领域中得到广泛应用,并已扩展到工业生产的许多部门,创造了巨大的经济效益和社会效益,推动了社会和科学技术的进步。

高能束流焊是指利用高能量、高密度的束流,如等离子弧、电子束、激光束等作为热源的液相焊接技术的总称。高能束流功率密度在 $10^5 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ 内,远远高于常规的氩弧焊或 CO_2 气体保护焊,将其应用于焊接,则以高能量密度、可精确控制的微焦点和高速扫描技术等特性,实现对材料和构件的高质量、高效率焊接。高能束流焊接被誉为 21 世纪最具有发展前景的焊接技术,是当前发展较快、研究较多的领域。如电弧激光复合焊接技术的发展以及大功率激光器的出现,使激光焊接技术进入了长期以来一直被传统焊接工艺所垄断的汽车车身制造领域,

使其在汽车车身的制造过程中占据重要地位。

金属结构加工制造的高速发展和技术进步对把金属螺柱、栓、钉等焊到构件上形成 T 形接头的焊接方法不断提出新的要求,于是逐渐产生并形成了一种特殊的焊接技术,即螺柱焊。由于螺柱焊可以将不同规格的螺柱方便快捷地焊接在金属工件表面而不需复杂的传统焊接工艺及大量焊后处理,且焊接强度高于金属母材和螺柱本体,使其很快在航空航天、船舶制造、车辆制造、建筑等领域推广应用。

固相焊接可分为两大类。一类是通过加压使工件产生塑性变形,促进工件表面达到紧密接触,并破碎氧化膜,最终形成焊接接头。摩擦焊、爆炸焊和冷压焊均属于这类焊接技术。该类焊接技术的特点是温度低、压力大、时间短,塑性变形是形成接头的主导因素。另一类是在保护气氛或真空中进行,焊接时工件仅产生微量的塑性变形,通过界面原子扩散形成接头,如真空扩散焊、瞬间液相扩散焊、超塑性成形扩散焊等。该类方法的特点是温度高、压力小、时间相对较长,界面扩散是形成接头的主导因素。固相焊接方法的优点在于无熔化、凝固所导致的气孔、夹杂等各种缺陷,从而使接头区的力学性能接近母材,因此固相焊接技术以其独具的优势,在各种新型结构材料,如高技术陶瓷、金属间化合物、复合材料、非晶材料等的焊接中,显现出蓬勃生机。特别是近年来开发的搅拌摩擦焊新技术,使铝合金等有色金属的焊接技术发生重大变革。由于其具有焊接工艺简单、焊接接头晶粒细小、疲劳性能、拉伸性能和弯曲性能良好、无须焊丝、无须使用保护气体以及焊后残余应力和变形小等优点,在航空航天、交通运输和汽车制造等领域被广泛应用,并具有很好的发展前景。

3. 本教材的教学目标和要求

教学目标:通过本课程的学习,使学生能较好地掌握特种焊接方法的基本原理、工艺特点,能根据金属材料的性能分析焊接性,结合典型零件的结构特点制定焊接工艺,实施操作。

教学要求:

- (1) 掌握各类特种焊接方法的基本原理、工艺特点及应用范围;
- (2) 能合理选用焊接材料及设备;
- (3) 了解工程材料及典型结构件的焊接工艺特点,并能结合产品技术要求合理制定焊接工艺;
- (4) 掌握特种焊接方法的基本操作技术及安全操作规程;
- (5) 了解特种焊接技术的新工艺、新设备。

第1章 等离子弧焊接

【学习目标】

[1] 认识等离子弧焊接的原理、特点及应用范围；

[2] 能够合理选择使用等离子弧焊接设备；

[3] 分析制定等离子弧焊接工艺；

[4] 掌握典型材料及结构等离子弧焊接工艺实施要点。

【学习资讯】

[1] 焊接技术标准；

[2] 各类焊接手册；

[3] 焊接专业协会、设备生产企业的相关网页；

[4] 等离子弧焊接设备使用说明书；

[5] 安全操作规程。

【学习场所和设备】

[1] 实训室或企业车间；

[2] 个人劳保用品；

[3] 等离子弧焊设备和工具；

[4] 安全的工作环境和工作场所。

【单元学习程序】

为了实现学习目标，本单元安排的学习任务如下：

任务 1.1 认识等离子弧焊

任务 1.2 等离子弧焊接设备的选用

任务 1.3 等离子弧焊接工艺的制定

任务 1.4 等离子弧焊应用实例

任务 1.5 等离子弧焊的其他方法

1.1 认识等离子弧焊

等离子弧焊(Plasma Arc Welding, PAW)是在钨极氩弧焊基础上发展起来的,利用等离子弧作焊接热源的一种熔焊方法,由于等离子弧温度高、能量密度大,故此焊接方法属于高能束流焊接。目前,等离子弧焊已广泛用于工业生产,特别是航空航天等军工和尖端工业技术所用的铜及铜合金、钛及钛合金、镍及镍合金、不锈钢等金属的焊接。

1.1.1 等离子弧及其特性

1. 等离子弧

常规的电弧焊方法采用自由状态的电弧,其燃烧于电极与焊件之间,周围没有约束,当电弧电流增大时,弧柱直径也伴随增大,二者不能独立地进行调节,因此自由电弧弧柱的电流密度、温度和能量密度的增大均受到一定限制。焊接领域中应用的等离子弧实际上是一种压缩电弧,即借助外部拘束作用,使弧柱的横截面受到限制而不能自由扩大这样就可使电弧的温度、电离度、能量密度和焰流速度都显著增大。这种用外部拘束作用使弧柱受到压缩的电弧就是通常所称的等离子弧。

2. 等离子弧的形成

目前广泛采用的压缩电弧的方法是将钨极缩入喷嘴内部,并且在水冷喷嘴中通以一定压力和流量的离子气,强迫电弧通过喷嘴孔道,以形成高温、高能量密度的等离子弧,如图1-1所示。此时电弧受到下述三种压缩作用:

(1) 机械压缩效应。也称壁压缩效应。当把一个用水冷却的铜制喷嘴放置在电弧通道上,强迫“自由电弧”从细小的喷嘴孔中通过时,弧柱直径受到小孔直径的机械约束而不能自由扩大,从而使电弧截面受到压缩。这种作用称为“机械压缩效应”。

(2) 热收缩效应。水冷铜喷嘴的导热性很好,紧贴喷嘴孔道壁的“边界层”气体温度很低,电离度和导电性均降低。这就迫使带电粒子向温度更高、导电性更好的弧柱中心区集中,相当于外围的冷气层迫使弧柱进一步收缩。这种作用称为“热收缩效应”。

(3) 电磁收缩效应。这是由通电导体间相互吸引力产生的收缩作用。弧柱中的带电粒子流可被看成是无数条相互平行且通以同向电流的导体。在自身磁场作用下,产生相互吸引力,使导体相互靠近。导体间的距离越小,吸引力越大。这种导体自身磁场引起的收缩作用使弧柱进一步变细,电流密度与能量密度进一步增大。

电弧在这三种压缩效应的作用下,直径变小、温度升高、气体的离子化程度提高、能量密度增大。最后与电弧的热扩散作用相平衡,形成稳定的压缩电弧。这就是工业中应用的等离子弧。作为热源,等离子弧获得了广泛的应用,例如等离子弧焊接、等离子弧切割、等离子弧堆焊、等离子弧喷涂、等离子弧冶金等。

在上述三种压缩作用中,喷嘴孔径的机械压缩效应是前提;热收缩效应则是电弧被压缩的

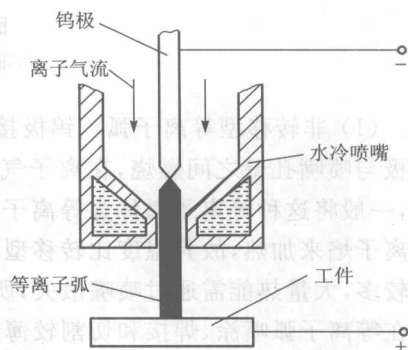


图 1-1 等离子弧形成示意图

最主要的原因;电磁收缩效应是必然存在的,它对电弧的压缩也起到一定作用。

3. 等离子弧的类型

等离子弧按接线方式和工作方式不同,可分为非转移型、转移型和混合型三种类型,如图1-2所示。

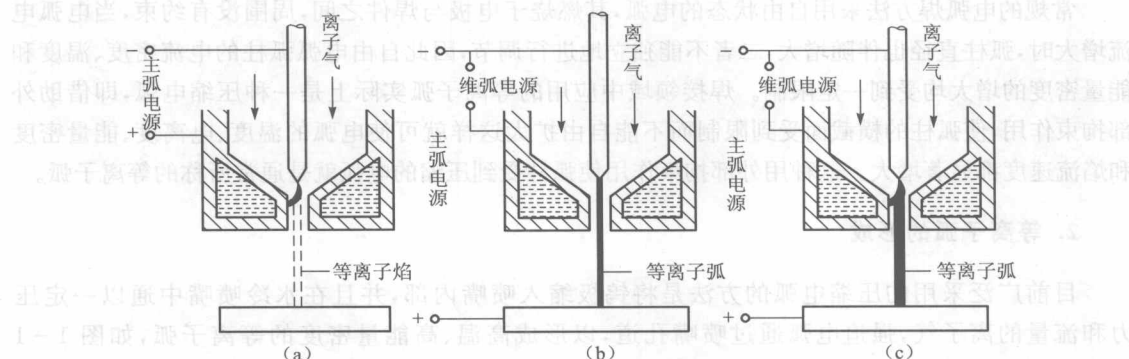


图 1-2 等离子弧的类型

(a) 非转移型;(b) 转移型;(c) 混合型

(1) 非转移型等离子弧。钨极接电源的负极,喷嘴接电源的正极,焊件不接电源,电弧在钨极与喷嘴孔壁之间燃烧,在离子气流的作用下电弧从喷嘴孔喷出,受到压缩而形成等离子弧,一般将这种等离子弧称为等离子焰,如图1-2(a)所示。由于焊件不接电源,工作时只靠等离子焰来加热,故其温度比转移型等离子弧低,能量密度也没有转移型等离子弧高。喷嘴受热较多,大量热能需通过喷嘴散失,所以喷嘴应更好地冷却,否则其寿命会降低。非转移弧主要在等离子弧喷涂、焊接和切割较薄的金属及非金属时采用。

(2) 转移型等离子弧。钨极接电源的负极、焊件接电源的正极,等离子弧燃烧于钨极与焊件之间,如图1-2(b)所示。但这种等离子弧不能直接产生,必须先在钨极和喷嘴之间接通维弧电源,以引燃小电流的非转移型弧(引导弧),然后将非转移型弧通过喷嘴过渡到焊件表面,再引燃钨极与焊件之间的转移型等离子弧(主弧),并自动切断维弧电源。采用转移弧工作时,等离子弧温度高、能量密度大,焊件上获得的热量多,热量的有效利用率高。常用于等离子弧切割、等离子弧焊接和等离子弧堆焊等工艺方法中。

(3) 混合型等离子弧。在工作过程中非转移型弧和转移型弧同时存在,则称之为混合型(或联合型)等离子弧,如图1-2(c)所示。两者可以用两台单独的焊接电源供电,也可以用一台焊接电源中间串接一定电阻后向两个电弧供电。其中的转移弧主要用来加热焊件和填充金属,非转移弧用于协助转移弧的稳定燃烧,和堆焊时对填充金属进行预热。混合型等离子弧稳定性好,电流很小时也能保持电弧稳定,主要用在微束等离子弧焊接和粉末等离子弧堆焊等工艺方法中。

4. 等离子弧的特性

(1) 温度高、能量密度大。普通钨极氩弧的最高温度为 $10\,000\sim 24\,000\text{ K}$, 能量密度在 10^4 W/cm^2 以下。等离子弧的最高温度可达 $24\,000\sim 50\,000\text{ K}$, 能量密度可达 $10^5\sim 10^8\text{ W/cm}^2$, 且稳定性好。等离子弧和钨极氩弧的温度比较如图 1-3 所示。

(2) 等离子弧的能量分布均衡。等离子弧由于弧柱被压缩, 横截面减小, 弧柱电场强度明显提高, 因此等离子弧的最大压降是在弧柱区, 加热金属时利用的主要是弧柱区的热功率, 即利用弧柱等离子体的热能。所以说, 等离子弧几乎在整个弧长上都具有高温。这一点与钨极氩弧是明显不同的。

(3) 等离子弧的挺直度好、冲力大。钨极氩弧的形状一般为圆锥形, 扩散角在 45° 左右; 经过压缩后的等离子弧, 其形态近似于圆柱形, 电弧扩散角很小, 为 5° 左右, 因此挺直度和指向性明显提高。等离子弧在三种压缩作用下, 横截面缩小, 温度升高, 喷嘴内部的气体剧烈膨胀, 迫使等离子体高速从喷嘴孔中喷出, 因此冲力大, 挺直性好。电流越大, 等离子弧的冲力也越大, 挺直性也就越好。当弧长发生相同的波动时, 等离子弧加热面积的波动比钨极氩弧要小得多。例如, 弧柱截面同样变化 20% , 钨极氩弧的弧长波动只允许 0.12 mm , 而等离子弧的弧长波动可达 1.2 mm 。等离子弧和钨极氩弧的扩散角比较如图 1-4 所示。

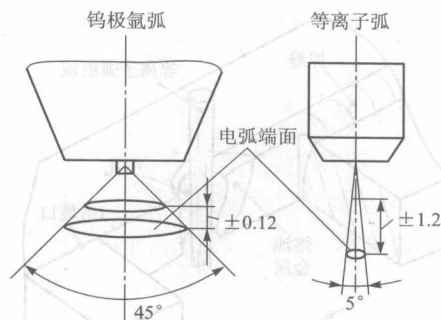


图 1-4 等离子弧和钨极氩弧的扩散角

(5) 等离子弧的稳定性好。等离子弧的电离度较钨极氩弧更高, 因此稳定性更好。外界气流和磁场对等离子弧的影响较小, 不易发生电弧偏吹和漂移现象。焊接电流在 10 A 以下时, 一般的钨极氩弧很难稳定, 常产生电弧漂移, 指向性也常受到破坏。而采用微束等离子弧, 当

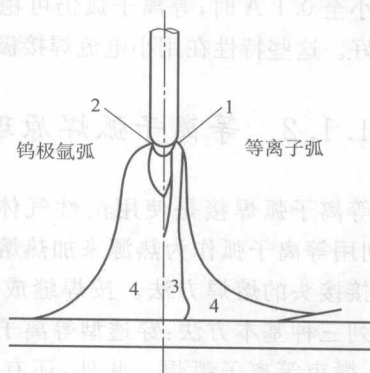


图 1-3 等离子弧和钨极氩弧的温度分布

1— $24\,000\sim 50\,000\text{ K}$; 2— $18\,000\sim 24\,000\text{ K}$;
3— $14\,000\sim 18\,000\text{ K}$; 4— $10\,000\sim 14\,000\text{ K}$

(钨极氩弧: $200\text{ A } 15\text{ V}$,

等离子弧: $200\text{ A } 30\text{ V}$ 压缩孔径: 2.4 mm)

电流小至 0.1 A 时,等离子弧仍可稳定燃烧,指向性和挺度均好。这些特性在用小电流焊接极薄焊件时特别有利。

1.1.2 等离子弧焊原理

等离子弧焊是使用惰性气体作为工作气和保护气,利用等离子弧作为热源来加热熔化母材金属,使之形成焊接接头的熔焊方法。按焊缝成形原理,等离子弧焊有下列三种基本方法:穿透型等离子弧焊、熔透型等离子弧焊、微束等离子弧焊。此外,还有一些派生类型,如脉冲等离子弧焊、交流等离子弧焊、熔化极等离子弧焊等。

1. 穿透型等离子弧焊

穿透型等离子弧焊接法又称小孔型等离子弧焊。该方法是利用等离子弧直径小、温度高、能量密度大、穿透力强的特点,在适当的工艺参数条件下实现的,焊缝断面呈酒杯状,如图 1-6 所示。焊接时,采用转移型等离子弧把焊件完全熔透,在等离子流力作用下形成一个穿透焊件的小孔,并从焊件的背面喷出部分等离子弧(称其为“尾焰”)。熔化金属被排挤在小孔周围,依靠表面张力的承托而不会流失。随着焊枪向前移动,小孔也随着焊枪移动,熔池中的液态金属在电弧吹力、表面张力作用下沿熔池壁向熔池尾部流动,并逐渐收口、凝固,形成完全熔透的正反面都有波纹的焊缝,这就是所谓的小孔效应,如图 1-7 所示。利用这种小孔效应,

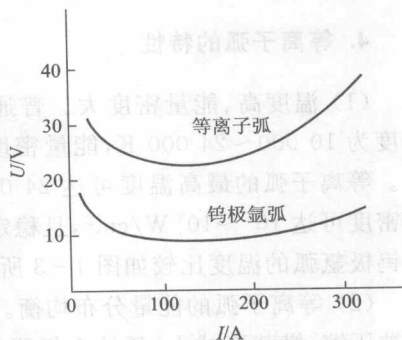


图 1-5 等离子弧的静特性

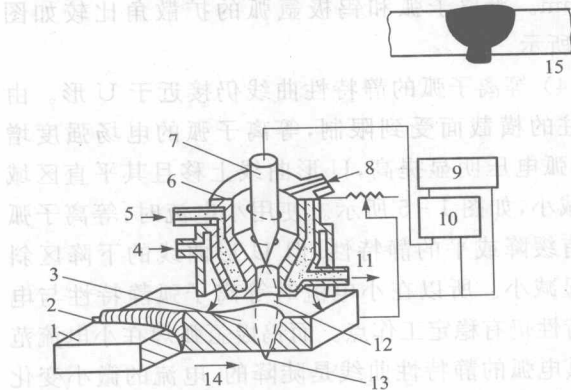


图 1-6 穿透型等离子弧焊示意图

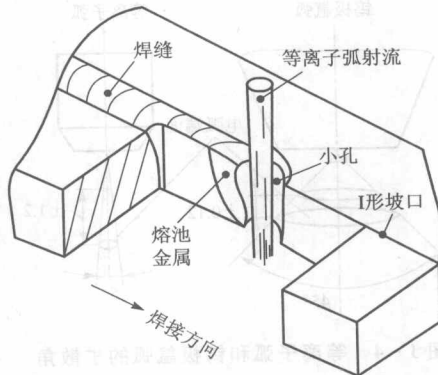


图 1-7 等离子弧的小孔效应

- 1—焊件；2—焊缝；3—液态熔池中的小孔；4—保护气；5—进水；
6—喷嘴；7—钨极；8—等离子气；9—焊接电源；10—高频发生器；
11—出水；12—等离子弧 13—尾焰；14—焊接方向；15—接头断面