



中等职业教育特色精品课程规划教材
中等职业教育课程改革项目研究成果

电焊工工艺与技能训练

dianhangong gongyi yu jinengxunlian

■ 主编 童庆东



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践、职业技能鉴定的需求和焊接技术的发展状况编写而成,主要内容包括:焊接电弧、弧焊电源、焊条电弧焊、金属熔焊冶金过程、焊接应力和变形、埋弧焊、气体保护焊、气焊与气割、其他焊接与切割方法、常用金属材料的焊接、焊接缺陷及检验。每章进行了知识点划分,并配有习题。

本书供中等职业技术学校机械类焊接专业、热加工工种的师生使用,也可作为中级技能人才培养和工人自学用书。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电焊工工艺与技能训练/童庆东主编. —北京:北京理工大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 2330 - 0

I. 电… II. 童… III. 电焊—焊接工艺—专业学校—教材 IV. TG443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 095930 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13.5

字 数 / 340 千字

版 次 / 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 21.00 元

责任校对/陈玉梅

责任印制/母长新

图书出现印装质量问题,本社负责调换

出版说明

中等职业教育是以培养具有较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的初级阶段。目前,中等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据教育部关于要求发展中等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,北京理工大学出版社组织编写了《21 世纪中等职业教育特色精品课程规划教材》。该系列教材是中等职业教育课程改革项目研究成果。坚持以能力为本位,以就业为导向,以服务学生职业生涯发展为目的的指导思想。主要从以下三个角度切入:

1. 从专业建设角度

该系列教材摒弃了传统普通高等教育和传统职业教育“学科性专业”的束缚,致力于中等职业教育“技术性专业”。主体内容由与一线技术工作相关联的岗位有关知识所构成,充分体现职业技术岗位的有效性、综合性和发展性,使得该系列教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融于一炉。

2. 从课程建设角度

该系列教材规避了现有的中等职业教育教材内容上的“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上的“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上的“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向,力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学和能力的培养,使职业能力的提升贯穿于教学的全过程。

3. 从人才培养模式角度

该系列教材为了切合中等职业教育人才培养的产学结合、工学交替培养模式,注重有学就有练、学完就能练、边学边练的同步教学,吸纳新技术引用、生产案例等情景来激活课堂。同时,为了结合学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的实际,注重对新知识、新工艺、新方法、新标准引入,在培养学生创造能力和自我学习能力的培养基础上,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了贯彻和落实上述指导思想,在本系列教材的内容编写上,我们坚持以下一些原则:

1. 适应性原则

在进行广泛的社会调查基础上,根据当今国家的政策法规、经济体制、产业结

构、技术进步和管理水平对人才的结构需求来确定教材内容。依靠专业自身基础条件和发展的可行性,以相关行业和区域经济状况为依托,特别强调面向岗位群体的指向性,淡化行业界限、看重市场选择的用人趋势,保证学生的岗位适应能力得到训练,使其有较强的择业能力,从而使教材有活力、有质量。

2. 特色性原则

在调整原有专业内容和设置专业新兴内容时,注意保留和优化原有的、至今仍适应社会需求的内容,但随着社会发展和科技进步,及时充实和重点落实与专业相关的新内容。“特色”主要是体现为“人无我有”,“人有我精”或“众有我新”,科学预测人才需求远景和人才培养的周期性,以适当超前性专业技术来引领教材的时代性。结合一些一线工作的实际需要和一些地方用人单位的区域资源优势、支柱产业及其发展方向,参考发达地区的发展历程,力争做到专业课内容的成熟期与人才需求的高峰期相一致。

3. 宽口径性原则

拓宽教材基础是提高专业适应性的重要保证之一。市场体制下的人才结构变化加快,科技迅猛发展引起技术手段不断更新,用人机制的改革使人才转岗频繁,由此要求大部分专门人才应是“复合型”的。具体课程内容应是当宽则宽,当窄则窄。在紧扣本专业课程内容基础上延伸或派生出一些适应需求的与其他专业课相关的综合技能。既满足了社会需求又充分锻炼学生的综合能力,挖掘了其潜力。

4. 稳定性和灵活性原则

中职职业教育的专业课程都有其内核的稳定性,这种内核主要是体现在其基本理论,基础知识等方面。通过稳定性形成专业课程教材的专业性特点,但同时以灵活的手段结合目标教学和任务教学的形式,设置与生产实践相切合的项目,推进教材教学与实际工作岗位对接。

为了更好地落实本教材的指导思想和编写原则,教材的编写者都是既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强实践技能的专家,他们分别是:相关学科领域的专家;中等职业教育科研带头人;教学一线的高级教师。同时邀请众多行业协会合作参与编写,将理论性与实践性高度统一,打造精品教材。另外,还聘请生产一线的技术专家来审读修订稿件,以确保教材的实用性、先进性、技术性。

总之,该系列教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本系列教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

北京理工大学出版社

前言



本书是根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲和当前焊接技术发展状况编写的。本书共十二章：焊接电弧、弧焊电源、焊条电弧焊、金属熔焊冶金过程、焊接应力和变形、埋弧焊、气体保护焊、气焊与气割、其他焊接与切割方法、常用金属材料的焊接、焊接缺陷及检验。

在教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：

(1) 坚持中等技能人才的培养方向，从职业（岗位）需求分析入手，强调实用性，使学生掌握一定理论知识，培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际，提高学生操作技能水平。

(2) 紧密结合中等职业培训学校的教学实际情况，化繁为简，化难为易，力求使教学内容让学生“好学”。同时，坚持以国家职业资格标准为依据，使教材内容覆盖职业技能鉴定的各项要求，满足企业对中等技能人才的需求。

(3) 突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容，较全面地反映焊接技术发展趋势。

(4) 打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，强调培养学生自主学习能力。在每章后面列出了知识要点，并配有相应的习题册，便于学生复习与思考。

编者

目 录

模块一 焊接电弧	1
项目 1 焊接电弧的引燃及主要特性	1
项目 2 焊接电弧的组成及热量分布	5
项目 3 焊接时的极性和偏吹	8
模块二 弧焊电源	12
项目 1 对弧焊电源的基本要求	12
项目 2 弧焊电源的分类及型号	15
项目 3 常用的弧焊电源	17
项目 4 弧焊电源的安装、使用及维护	20
模块三 焊条电弧焊	25
项目 1 焊缝形成过程和应用特点	25
项目 2 焊条	26
项目 3 焊接接头类型及焊缝形式	35
项目 4 焊缝符号及标注方法	39
项目 5 焊接工艺参数	46
项目 6 提高焊条电弧焊生产率的方法	49
项目 7 焊条电弧焊安全技术	50
模块四 金属熔焊冶金过程	54
项目 1 电弧焊的熔滴过渡	54
项目 2 焊接冶金过程	57
项目 3 焊缝结晶过程	62



项目 4 焊接热影响区	65
项目 5 焊缝中的气孔	68
项目 6 焊缝裂纹	70
模块五 焊接应力和变形	76
项目 1 焊接应力与变形的概念及影响	76
项目 2 焊接应力与变形产生的原因	77
项目 3 焊接残余应力	79
项目 4 焊接残余变形	83
模块六 埋弧焊	94
项目 1 埋弧焊概述	94
项目 2 埋弧焊设备	96
项目 3 埋弧焊焊接材料	102
项目 4 埋弧焊工艺	105
模块七 气体保护焊	110
项目 1 气体保护焊的原理和分类	110
项目 2 氩弧焊	111
项目 3 二氧化碳气体保护焊	120
项目 4 新型气体保护焊	128
模块八 气焊与气割	133
项目 1 气焊、气割所用材料	133
项目 2 气焊、气割设备及工具	136
项目 3 气焊	143
项目 4 气割	147
模块九 其他焊接与切割方法	152
项目 1 电渣焊	152
项目 2 电阻焊	157
项目 3 钎焊	165
项目 4 先进焊接方法与技术简介	167

模块十 常用金属材料的焊接	170
项目 1 金属的焊接性	170
项目 2 碳素钢的焊接	172
项目 3 铬镍奥氏体不锈钢的焊接	175
项目 4 铝及铝合金的焊接	181
项目 5 铜及铜合金的焊接	184
 模块十一 焊接缺陷及检验	 188
项目 1 焊接接头常见缺陷的分析	188
项目 2 焊接质量检验	191
项目 3 焊接缺陷预防与返修	199

模块一

焊接电弧



电弧是所有电弧焊接方法的能源到目前为止,电弧焊所以能在焊接领域中占据着主要地位,一个主要的原因就是电弧能有效而简便地把电能转化为焊接过程所需要的热能电弧焊就是利用它的热能来熔化填充金属和母材的因此,焊接时电弧的稳定性及热特性等性质对焊接质量有着直接的影响本模块就是从理论上对焊接电弧的性质及作用进行分析通过学习,使我们能把焊接电弧的理论知识应用到实际的焊接工作中去,从而达到提高焊接质量的目的。



1. 了解焊接电弧的概念,产生条件和气体电离的基本知识。
2. 掌握焊接电弧的引燃,各种焊接方法的静特性曲线。
3. 掌握焊接电弧的组成及温度分布。

* * * * *

项目 焊接电弧的引燃及主要特性

一、焊接电弧的概念

焊接电弧是一种气体放电现象,它与日常所见的气体放电现象(如拉合电源刀开关时产生的火花,自然现象闪电)有所不同:焊接电弧不仅能量大,而且持续稳定。因此我们将由焊接电源供给的具有一定电压的两电极间或电极与焊件间的气体介质中,产生的强烈而持久的放电现象称为焊接电弧,如图 1-1 所示。

一般情况下,气体的分子和原子是呈中性的,气体中没有带电粒子(电子、正离子),因此,气体不能导电,电弧也不能自发地产生。要使电弧产生和维持稳定燃烧,两电极(或电极与母

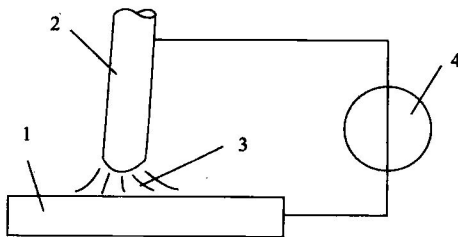


图 1-1 焊接电弧示意图

1—焊件;2—焊条;3—电弧;4—焊接电源

材)之间的气体中就必须要有导电的带电粒子,而获得带电粒子的方法就是气体电离和阴极电子发射。所以,气体电离和阴极电子发射是焊接电弧产生和维持的两个必要条件。

1. 气体电离

自然界的绝大部分物质,都是由原子组成的。原子本身又由带正电荷的原子核及带负电荷的电子组成,其中电子是按照一定的轨道环绕原子核运动。在常态下,原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等,这时原子是呈中性的。如果此时气体受到电场或热能的作用,就会使气体原子中的电子获得足够的能量,进而克服原子核对它的引力而成为自由电子。同时,中性的原子由于失去了带负电荷的电子而变成带正电荷的正离子。这种使中性的气体分子或原子释放电子形成正离子的过程叫做气体电离。

要使电子克服原子核对它的引力,需要供给足够的能量。供给气体电离的能量有:

- 电离电位:用于使电子与原子核分离的能,称为电离的功。用电子伏特来表示的功叫做电离电位或电离势。

- 激励电位:为了使电子转移到距原子核更远的轨道,应使电子具有一定的速度。用于使电子具有这种速度的能,叫做激励电位,用电子伏特来表示。

电离电位与激励电位的大小取决于各种元素原子的性质。电离现象不但发生于气体元素中,而且更容易发生在金属元素中。表 1-1 是表示各种元素的电离电位和激励电位的大小。

表 1-1 某些元素的电离电位、激励电位和电子逸出功

电位/eV	元 素													
	K	Na	Ca	Ti	Mn	Mg	Fe	W	H	O	N	Ar	F	He
电离	4.33	5.11	6.10	6.80	7.40	7.61	7.83	8.0	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	24.5
激励	1.60	2.10	1.90	3.30	3.10		4.79		10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	19.7
电子逸出功	2.26	2.33	2.90	3.92	3.76	3.78	4.18	4.54						

电弧焊时,造成气体电离的方式主要有:电场作用下的电离、热电离、光电离等。

- 电场作用下的电离 电场作用下的电离实质上就是带电质点与中性原子相互碰撞而发生电离的过程。带电粒子在电场作用下,作定向高速运动,产生较大的动能。当它们撞击中性原子时,就把部分能量传给中性原子,这时如果撞击的能量大于原子核与电子间引力,则使该原子发生电离。带电粒子不断与中性原子碰撞,则中性原子不断电离成电子和阳离子。

如果被电离气体原子的电离电位越低,阴极电子发射越强烈,则电离的作用越剧烈。当电弧长度不变时,两电极间的电压越高,电场力作用越大,则电离作用越大,电弧燃烧越稳定。

- 热电离 在高温下,由于气体原子受热的作用而产生的电离称为热电离。其实质是原子间的热碰撞而产生的一种电离。气体原子的运动速度与温度有关,当气体温度越高时,原子运动速度也越高,动能也越大,则热电离作用也越强烈。在某一温度下,气体原子的质量越小,其运动速度越高。由于气体原子的热运动是无规则的运动,原子间会发生频繁碰撞,当原子的运动速度足够大时,原子间的碰撞会引起气体原子的电离或激励。焊接电弧中心的温度约在 6 000K 以上,热电离在该部分极易发生。

- 光电离 中性原子受光辐射的作用而产生的电离,称为光电离。

2. 电子发射

阴极表面的原子或分子,吸收了外界的某种能量而发射出自由电子的现象,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。要使电子逸出金属表面而产生电子发射,就必须给电子一定的能量,使它足以克服电极金属内部正电荷对它的静电引力。所加的能量越大,促使阴极产生电子发射的作用就越强烈。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。不同金属其逸出功是不一样的(表1-1)。若所加的能量相同,则逸出功小的金属其阴极电子发射程度就越大。如电极中或电极表面含有稀土金属、碱金属或碱土金属元素的物质时,就能增强阴极的电子发射作用。例如,由于在焊条涂药中含有较多的钾、钠、钙等化合物,有利于阴极电子发射,从而促使电弧燃烧稳定。

焊接时,根据阴极所吸收能量的不同,产生的电子发射有热发射、电场发射、撞击发射等。阴极发射电子后,又从焊接电源获得新的电子。

- **热发射** 焊接时,电极金属表面因受热能作用而产生的电子发射现象,称为热发射。电弧焊时,阴极表面的温度很高,阴极中的电子运动速度也很快,当电子的动能大于电极内部正电荷对它的静电引力时,电子就会冲出阴极表面而产生热发射。电极加热温度越高,则从其表面逸出电子的数量也就越多,电子发射的能量就越强,从而促使电弧空间气体的碰撞电离也越剧烈,因此就越有利于电弧的稳定燃烧。

- **电场发射** 当电极金属表面空间存在一定强度的正电场时,金属内的电子受此电场的作用,从金属表面发射出来,这种现象称为电场发射。增大电场强度、增大两电极的电压或减小两电极间距离都能增加电子发射。

- **撞击发射** 高速运动的阳离子撞击金属表面时,将能量传给金属表面的电子,使其能量增加而逸出金属表面,这种现象称为撞击发射。电场强度越大,在电场的作用下正离子的运动速度也越高,则产生的撞击发射作用也越强烈。

在电弧焊时,以上几种电子发射作用常常同时存在,相互促进。但在不同的条件下,它们所起的作用可稍有差异。例如,在引弧过程中,热发射和电场发射起着主要作用;电弧正常燃烧时,如采用熔点较高的材料(钨或碳等)作阴极,则热发射作用较显著;若用铜或铝等作阴极时,撞击发射和电场发射就成为主要因素;而钢作阴极时,则和热发射、撞击发射、电场发射都有关系。

二、焊接电弧的引燃过程

我们把引起两电极间气体发生电离及阴极电子发射而引起电弧燃烧的过程叫做电弧的引燃过程。电弧的引燃可以用如下两种方法。

1. 非接触引弧

将两电极互相靠近到1~2 mm的间距,这时如果在两电极间加有很高的电压(约在1 000V以上),那么在强电场作用下,阴极上的电子即可以克服内部正电荷对它的静电引力而逸出阴极表面,产生电场发射,造成空气中放电而形成电弧。这种引弧方式主要应用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。

2. 接触引弧

先将两电极互相接触,然后迅速拉开至3~4mm的距离来引燃电弧。这种引弧方式主要应用于焊条电弧焊、埋弧焊和熔化极气体保护焊。

焊条电弧焊时,当焊条末端与焊件接触时,它们的表面都不是绝对平整的,只是在少数突出点上接触,接触部分通过的短路电流密度非常大,而接触面积又很小,这时产生大量电阻热,使电极金属表面发热、熔化,甚至蒸发、汽化,引起相当强烈的热发射和热电离。随后在拉开电极的瞬间由于电场作用的迅速增强,又促使产生电场发射。同时,已经形成的带电质点在电场



的作用下加速运动,并在高温条件下相互碰撞,出现了电场作用下的电离和撞击发射。这样,带电质点的数量猛增,大量电子通过空气流向阳极,电弧便引燃了。电弧引燃后,在不同的焊接电源条件下,电离和中和处于不同的动平衡状态,弧焊电源不断地供给电能,新的带电粒子不断得到补充,维持了电弧的稳定燃烧,如图 1-2 所示。焊接电弧能否顺利的引燃,还与焊接电源的特性、电弧特性、焊接电流的大小和种类、焊条药皮的成分及电弧长度等因素有关。

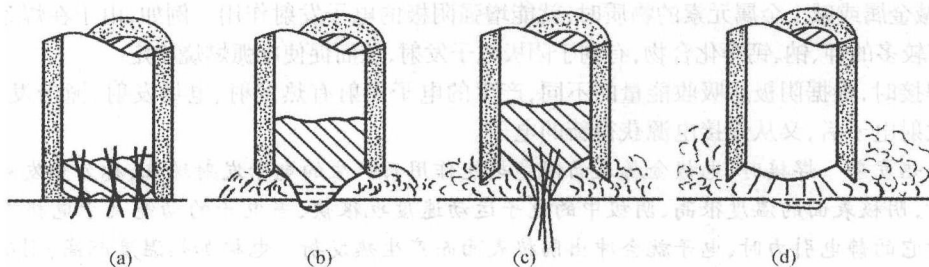


图 1-2 焊接时电弧的引燃过程

(a)焊条与焊件接触;(b)熔化,蒸发,汽化;(c)进一步熔化,蒸发,汽化,形成细颈;(d)引燃时

三、焊接电弧的主要特性

1. 焊接电弧的稳定性

焊接电弧的稳定性是指电弧保持稳定燃烧(不产生断弧、漂移和磁偏吹等)的程度,即在电弧燃烧过程中,电弧能维持一定的长度、不偏吹、不摇摆、不熄灭、电弧电压和焊接电流保持一定。焊接电弧的稳定性主要取决于焊工技能以及焊接电源的种类和极性、焊条药皮成分、气流特点、磁偏吹和焊接处的清洁程度等因素。通常情况下,直流电源比交流电源稳定;焊条药皮中含低电离电位的物质越多越稳定;焊机的空载电压越高越稳定;环境气流流速越小越稳定;焊接处的铁锈、氧化皮、油污、水分等杂物越少越稳定;电弧偏吹越小越稳定。

2. 焊接电弧的挺度

焊接电弧的挺度即电弧作为一个柔性导体抵抗外界干扰、力求保持焊接电流沿焊条轴向流动的性能。这种性能是由电弧自身磁场决定的。电磁收缩力是产生电弧挺度的主要原因。当电流通过电弧空间流动时,带电离子的流动在电磁力作用下,有尽量向焊条轴向方向集中的倾向。因此当电弧受到风等机械作用电弧偏离焊丝轴向时,电弧由于自身磁场作用产生抵抗这种干扰的力,使电弧尽量保持在焊条的轴向方向。同时电弧的等离子流力、高速气流和周围气流的冷却作用,也有助于电弧挺度的提高。由于电弧具有这种挺度,所以当焊条与工件倾斜时,电弧仍能保持在焊条轴线方向,而不是始终垂直于焊件表面。电弧磁场强度取决于焊接电流大小。电流越大,电弧自身强度越大,电弧越受约束,电弧的挺度就越大。保护气体的种类也影响电弧的挺度,如 CO_2 、 H_2 、 N_2 、 He 等气体均有利于提高电弧的挺度。

3. 焊接电弧的静特性

在电极材料、气体介质和弧长一定的情况下,电弧稳定燃烧时,焊接电流与电弧电压变化的关系,叫做电弧静特性,一般也称伏-安特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线,如图 1-3 中的曲线 2 所示。电弧静特性曲线分为三个不同的区域:电流较小时,由于气体电离度不够高,所以电阻较大,电弧电压较高,随着焊接电流增加,气体电离度上升,导电情况改善,电弧电阻较小,所以电弧电压很快下降,即下降段;当焊接电流增大到某一值后,电弧电

阻减小变慢,电弧电压不再随电流的增大而变化,保持某一数值不变,即平直段;焊接电流更大时,由于电弧截面积受焊丝直径的限制,不再增大,电弧的电流密度很大,使电弧电阻增加,因而必须提高电压才能增大电流,即上升段。

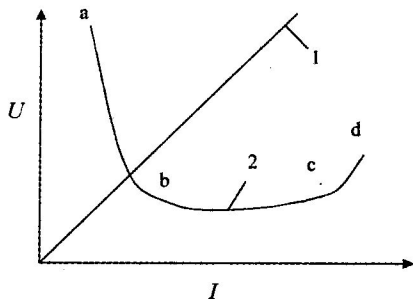


图 1-3 普通电阻静特性与电弧的静特性

1—普通电阻静特性;2—电弧的静特性



影响电弧静特性的因素

- 电弧长度的影响:当电弧长度增加时,电弧电压升高,其静特性的位置也随之上升。
- 气体种类的影响:电流值一定时,气体的导热系数增大,气体对电弧的冷却作用加强,即热损失增加,从而使电弧电压升高。
- 周围气体介质压力影响:其他参数不变,气体压力增加意味着气体密度的增加,气体粒子通过散乱运动从电弧带走的总热量增加,因此气体压力越大,冷却作用越强,电弧电压就越高。

4. 不同焊接方法的电弧静特性曲线

- 焊条电弧焊 焊条电弧焊时,由于使用的焊接电流受到限制(焊条电弧焊设备的额定电流值不大于 500A),所以其静特性曲线无上升特性区。
- 埋弧焊 在正常电流密度下焊接时,其静特性为平特性区;采用大电流密度焊接时,其静特性为上升特性区。
- 钨极氩弧焊 一般在小电流区间焊接时,其静特性为下降特性区;在大电流区间焊接时,其静特性为平特性区。
- 细丝熔化极氩弧焊 由于受电极端面积所限,电流密度很大,所以其静特性曲线为上升特性区。

项目 2 焊接电弧的组成及热量分布

焊接电弧是由阴极区、阳极区、弧柱三个部分组成的,这三部分所产生的热量和温度的分布是不均匀的,如图 1-4 所示。

一、阴极区

电弧紧靠负电极的区域称为阴极区,阴极区很窄,为 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm}$ 。在阴极区的阴极表面有一个明亮的斑点,称为阴极斑点。它是阴极表面上电子发射的发源地,也是阴极区温度最高的地方。

从阴极斑点发射出来的电子,受电场的作用迅速向阳极移动,电弧中被电离的微粒—阳离子则向阴极移动。由于阳离子的质量比电子的质量大,因此阳离子的运动速度比电子要慢得多,结果在阴极表面附近的区域(为 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm}$)每一瞬间运动着的阳离子的浓度比电子的浓度大得多,就使阴极表面附近所有阳离子的正电荷总和大大地超过所有电子的负电荷总和,所以在阴极表面附近的区域形成了一层阳离子层。这样从阴极表面到阳离子层之间就形成较大的电位差,这部分电位差称为阴极压降。由于阴极压降的存在,阴极区形成局部的强电场(为 $10^7 \sim 10^8 \text{V/m}$),加速了阴极表面的电子发射,同时也使阳离子加速进入阴极。

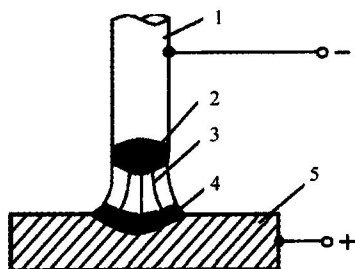


图 1-4 焊接电弧的构造

1—焊条;2—阴极区;3—弧柱
4—阳极区;5—焊件



阴极获得的能量主要有:阳离子到达阴极表面与电子复合成中性微粒时放出的能量;阳离子撞击阴极表面时析出的能量。这些能量都传给阴极,使阴极温度升高。

阴极消耗的能量有:阴极发射电子消耗的能量;阴极金属材料加热、熔化和蒸发消耗的能量。

阴极温度的高低主要是取决于阴极的电极材料,而且阴极的温度一般都低于阴极金属材料的沸点。阴极区的温度一般可以达到 $2130^\circ\text{C} \sim 3230^\circ\text{C}$,放出的热量占焊接电弧总热量的 36% 左右。此外,如果增加电极中的电流密度,那么阴极区的温度也可以相应地提高。

二、阳极区

电弧紧靠正电极的区域称为阳极区,阳极区较阴极区宽,为 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm}$,在阳极区的阳极表面也有光亮的斑点,称为阳极斑点。它是电弧放电时正电极表面上集中接收电子的微小区域。

电弧中的电子受阳极的引力向阳极移动,运动着的电子在阳极表面的区域(为 $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm}$)相应的浓度较大,形成一个空间电场,造成电位差,这部分电位差称为阳极压降。由于电子的质量小,运动速度大,所以电子在阳极表面附近聚集的浓度比阳离子在阴极表面附近聚集的浓度相应要小,因此阳极压降通常低于阴极压降。



阳极获得的能量主要是:电子撞击阳极时析出的能量和电子到达阳极发生复合时放出的能量。

阳极消耗的能量有:材料的熔化和蒸发消耗的能量,而不需消耗发射电子的能量。

因此在和阴极的电极材料相同时,阳极斑点的温度略高于阴极斑点。阳极区的温度一般达 2330℃ ~ 3930℃,放出热量占焊接电弧总热量的 43% 左右。

在生产实践中,还发现用不同的工艺方法焊接时,阳极与阴极的温度高低有变化(表1-2)。这是由于电弧各区域的电离过程特点不同,电弧的阴极和阳极所得到的能量也不同的缘故。

表 1-2 各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较

工艺方法	一般的焊条电弧焊	钨极氩弧焊	熔化极氩弧焊	CO ₂ 气体保护焊	埋弧焊
温度比较	阳极温度 > 阴极温度		阴极温度 > 阳极温度		

一般焊条电弧焊时,阳极温度比阴极温度高一些。

钨极氩弧焊时,阳极温度也比阴极温度高,这是因为钨极发射电子能力较强,在较低的温度下就能满足发射电子的要求。

气体保护焊时,气体对阴极有较强的冷却作用,这样就要求阴极具有更高的温度及更大的发射电子的能力。由于采用的电流密度较大,故阴极温度较阳极温度高。例如 CO₂ 气体保护焊或 Ar + CO₂ 气体保护焊时,采用直流电源、熔化电极接负极,焊接时能提高生产率。

在使用含 CaF₂ 焊剂的埋弧焊时,因氟等蒸气容易形成阴离子,则要求阴极能具备更强的发射电子的能力。由于这些阴离子在阴极区与正离子中和时能放出大量的能量,同时使用的电流密度也较大,所以阴极温度较阳极高。

三、弧柱电弧

阴极区和阳极区之间的部分称为弧柱。由于阴极区和阳极区的长度极小,故弧柱长度就可以认为是弧长。弧柱是自由电子、阴离子向阳极转移与阳离子向阴极转移过程的通路,也是发生电离作用以及电子、离子在转移的过程中发生相互复合的场所。

弧柱的温度不受材料沸点限制,因此通常高于阴极斑点和阳极斑点的温度,弧柱中心温度可达 6000K 以上,放出的热量占焊接电弧总热量的 21% 左右。在弧柱的径向温度分布是不均匀的,弧柱中心的电离度高、带电质点密度大、导电性好,因而温度最高,越到外围温度越低。但沿弧长方向,温度分布是均匀的。弧柱的温度取决于弧柱中的气体介质(如当介质为 Na₂CO₃ 蒸气时,弧柱温度约 5000K)和焊接电流。焊接电流越大,弧柱中电离程度也越大,弧柱温度也越高。

以上是直流电弧的热量和温度分布情况,而交流电弧由于电源的极性是周期性地改变的(50Hz),所以两个电极区的温度趋于一致(近似于它们的平均值)。

四、电弧电压

通常我们测量出的电弧电压是由阴极压降、阳极压降以及弧柱压降所组成的。当弧长一定时,电弧电压的分布如图 1-5 所示。电弧电压用下式表示:

$$U_h = U_y + U_{ya} + U_z = a + bl_h$$

式中: $a = U_y + U_{ya}$;

U_h —电弧电压, V;

U_y —阴极压降, V;

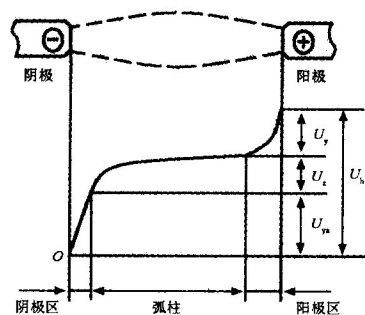


图 1-5 电弧结构与电压分布示意图

U_{ya} —阳极压降, V;

U_z —弧柱压降, V;

b —单位长度的弧柱压降, 一般为20~40V/cm;

l_h —电弧长度, cm。

项目3 焊接时的极性和偏吹

一、焊接时的极性及其应用

1. 焊接时的极性

极性是指直流电弧焊或直流电弧切割时, 焊件与电源输出端正、负极的接法。有正接和反接两种: 焊件接电源正极, 电极接电源负极的接线法, 正接也叫正极性; 焊件接电源负极, 电极接电源正极的接线法, 反接也叫反极性, 如图1-6所示。

2. 焊接时极性的选用

焊接时极性的选用, 主要根据焊件所需的热量 and 焊条的性能而定。直流弧焊时, 为获得较大的熔深, 刚采用正接。这是因为此时焊件处于电弧的阳极区, 温度较高; 在焊接薄板时, 为了防止烧穿, 则采用反接。

采用低氢型焊条焊接时, 必须用反接。这是因为在碱性焊条药皮中, 含有较多的氟石(CaF_2), 在电弧气氛中分解出电离电位较高的氟, 这会使电弧的稳定性大大降低。若采用正接, 在熔滴向熔池过渡时, 将受到由熔池方向射来的正离子流的撞击, 阻碍了熔滴过渡, 以致出现飞溅和电弧不稳的现象; 采用反接使熔池处于阴极, 则由焊条方向射来的氢正离子与熔池表面的电子中和形成氢原子, 减少了氢气孔的出现。

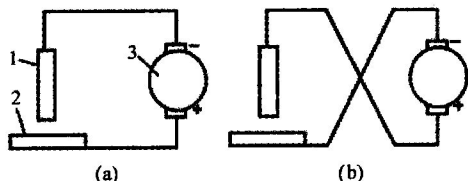


图1-6 极性

(a) 正极性; (b) 反极性

1—焊条; 2—焊件; 3—直流弧焊机



判断电源的正负极

在实际生产中, 由于某些直流弧焊机使用时间已久, 两次接线板上没有正负标记。在这种情况下, 可通过观察电弧的形态来判断电源的正、负极: 使用碱性焊条时, 如果电弧燃烧稳定, 声音较平静均匀, 飞溅也小, 则表明是反接。

二、焊接电弧的偏吹

一般在正常情况下焊接时, 电弧的中心总是沿着焊条轴线方向。焊条变换倾斜角度, 电弧的轴线也跟着焊条的轴线方向而改变, 如图1-7所示。因此我们就可以利用电弧这一特性来控制焊缝的成形, 吹去覆盖在熔池表面过多的熔渣。在焊接薄钢板的时候也经常利用电弧这一特性, 将焊条倾斜成适当的角度, 以防止焊件烧穿。

但在焊接过程中, 因气流的干扰、磁场的作用或焊条偏心的影响, 会出现电弧中心偏离电

极轴线的现象,这就是所谓的电弧偏吹。它不仅使焊接发生困难,甚至熄弧,对焊接质量也将带来较大的影响。

1. 焊条偏心度过大

这主要是焊条的质量问题。由于焊条药皮厚薄不匀,药皮较厚的一边比药皮较薄的一边熔化时需吸收更多的热,因此药皮较薄的一边很快熔化而使电弧外露,迫使电弧往外偏吹,如图 1-8 所示。在焊接时遇到这种情况,通常采用调整焊条倾斜角度(使偏吹方向转向熔池)的方法来解决。但如果焊条的偏心度过大时,仅依靠调整焊条倾斜角度是不能确保焊接质量的。为保证焊接质量,在焊条生产中对焊条的偏心度有一定的限制。

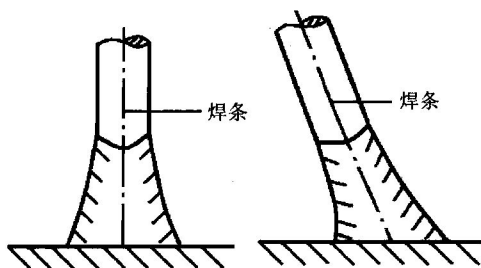


图 1-7 电弧的方向与焊条同一轴线

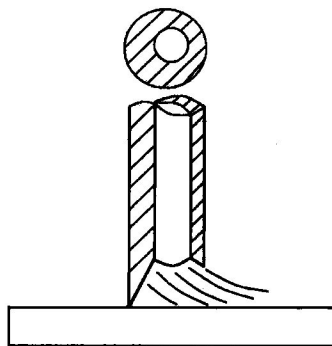


图 1-8 偏心度过大的焊条

2. 电弧周围气流的干扰

电弧周围气体的流动也会把电弧吹向一侧而造成偏吹。造成电弧周围气体剧烈流动的原因是多方面的。例如:在露天大风中操作或在狭窄焊缝处焊接时,电弧偏吹情况很严重,使焊接发生困难;在管子焊接时,由于空气在管子中流动速度较大,形成所谓“穿堂风”使电弧发生偏吹;在开坡口的对接接头第一层焊缝的焊接时,如果接头间隙较大,往往由于热对流的影响也会使电弧发生偏吹现象。一般由于气流干扰而产生的偏吹,只要根据具体情况查明气流来源、方向,进行遮挡即可解决。

3. 磁偏吹

使用直流弧焊机进行焊接时,因受到焊接回路所产生的电磁力的作用而产生的电弧偏吹,称为电弧的磁偏吹。

(1)造成磁偏吹的主要原因有下列几种:

- 接地线接线位置不当引起的偏吹 焊接时不仅电流通过焊条与电弧在空间产生磁场,通过工件的电流也会在空间产生磁场。如图 1-9 所示当焊条垂直于工件时,由于电弧通路在电弧处互相垂直,则在电弧左侧的空间,为两段导体周围产生的磁力线叠加,提高了该处磁力线的密度,而电弧右侧的空间只有电弧本身产生的磁力线,因此电弧右侧磁力线密度小。磁力线密度大的地方产生对电弧的推力,指向磁力线密度小的方向,使电弧偏离焊条轴向,形成电弧的磁偏吹。

- 电弧附近的铁磁物质引起的磁偏吹 当电弧的一侧放置一块钢板时,则电弧偏离焊条轴向指向钢板。因为电弧一侧放置钢板后,钢板是良导磁体,磁力线将力求走磁阻小的通路,使较多的磁力线集中到钢板中,电弧空间右侧磁力线的密度显著降低,破坏了磁力线的均匀