



21世纪全国中等职业技术学校规划教材



焊工工艺学

HANGONGGONGYIXUE

何建钢 主编

中央民族大学出版社

QUANGUOZHONGDENGZHIYETECHNICALSCHOOLPLANNINGTEXTBOOKS

21 世纪全国中等职业技术学校规划教材

焊工工艺学

主 编 何建钢
副主编 孙 颖 张月娥
编 委 王让军 贾 越
方建京 孙利辉

江苏工业学院图书馆
藏书章

中央民族大学出版社
· 北京 ·

内容简介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《焊工工艺学教学大纲》(2000),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:绪论、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、气体保护电弧焊、气焊与气割、其他焊接与切割方法、常用金属材料的焊接、焊接检验与质量控制。每章进行了知识点划分,并配有习题册。

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训和工人自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺学/何建钢主编. —北京:中央民族大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-81108-402-3

I. 焊… II. 何… III. 焊接工艺—专业学校—教材
IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 119098 号

焊工工艺学

主 编 何建钢

责任编辑 红 梅

封面设计 杨玉兰

出 版 者 中央民族大学出版社

北京市海淀区中关村南大街 27 号 邮编:100081

电话:68472815(发行部) 传真:68932751(发行部)

68932218(总编室) 68932447(办公室)

发 行 者 全国各地新华书店

印 刷 者 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本 787×1092(毫米) 1/16 印张:13.5

字 数 346 千字

版 次 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-81108-402-3

定 价 18.80 元

版权所有 翻印必究

前 言

本书是根据劳动和社会保障部培训就业司于2000年8月颁发的《焊工工艺学教学大纲》和当前焊接技术发展状况编写的。本书共十二章:绪论、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、气体保护电弧焊、气焊与气割、其他焊接与切割方法、常用金属材料的焊接、焊接缺陷与检验。

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

2007年8月

目 录

绪 论	(1)
第一章 焊接电弧	(5)
第一节 焊接电弧的引燃及主要特性	(5)
第二节 焊接电弧的组成及热量分布	(9)
第三节 焊接时的极性和偏吹	(11)
本章知识要点小结	(14)
第二章 弧焊电源	(15)
第一节 对弧焊电源的基本要求	(15)
第二节 弧焊电源的分类及型号	(18)
第三节 常用的弧焊电源	(19)
第四节 弧焊电源的安装、使用及维护	(23)
本章知识要点小结	(26)
第三章 焊条电弧焊	(27)
第一节 焊条电弧焊焊缝形成过程和应用特点	(27)
第二节 焊条	(28)
第三节 焊接接头类型及焊缝形式	(36)
第四节 焊缝符号及标注方法	(40)
第五节 焊接工艺参数	(46)
第六节 提高焊条电弧焊生产率的方法	(48)
第七节 焊条电弧焊安全技术	(50)
本章知识要点小结	(52)
第四章 金属熔焊冶金过程	(54)
第一节 电弧焊的熔滴过渡	(54)
第二节 焊接冶金过程	(57)
第三节 焊缝结晶过程	(62)
第四节 焊接热影响区	(65)
第五节 焊缝中的气孔	(67)
第六节 焊缝裂纹	(69)
本章知识要点小结	(74)
第五章 焊接应力和变形	(75)
第一节 焊接应力与变形的概念及影响	(75)
第二节 焊接应力与变形产生的原因	(76)
第三节 焊接残余应力	(78)
第四节 焊接残余变形	(81)
本章知识要点小结	(91)
第六章 埋弧焊	(92)

第一节	埋弧焊概述	(92)
第二节	埋弧焊设备	(93)
第三节	埋弧焊焊接材料	(99)
第四节	埋弧焊工艺	(102)
	本章知识要点小结	(105)
第七章	气体保护焊	(106)
第一节	气体保护焊原理和分类	(106)
第二节	氩弧焊	(108)
第三节	二氧化碳气体保护焊	(116)
第四节	新型气体保护焊	(123)
	本章知识要点小结	(127)
第八章	气焊与气割	(128)
第一节	气焊、气割所用材料	(128)
第二节	气焊、气割设备及工具	(131)
第三节	气焊	(137)
第四节	气割	(140)
	本章知识要点小结	(144)
第九章	其它焊接与切割方法	(145)
第一节	电渣焊	(145)
第二节	电阻焊	(149)
第三节	钎焊	(156)
第四节	等离子焊接与切割	(158)
第五节	碳弧气刨	(165)
第六节	先进焊接方法与技术简介	(167)
	本章知识要点小结	(169)
第十章	常用金属材料的焊接	(170)
第一节	金属的焊接性	(170)
第二节	碳素钢的焊接	(171)
第三节	低合金结构钢的焊接	(174)
第四节	珠光体耐热钢的焊接	(176)
第五节	铬镍奥氏体不锈钢的焊接	(178)
第六节	铸铁焊补	(184)
第七节	铝及铝合金的焊接	(188)
第八节	铜及铜合金的焊接	(191)
	本章知识要点小结	(193)
第十一章	焊接缺陷及检验	(194)
第一节	焊接接头常见缺陷的分析	(194)
第二节	焊接质量检验	(197)
第三节	焊接缺陷预防与返修	(204)
	本章知识要点小结	(208)

绪 论

一、焊接的概念和焊接方法的分类

在金属结构和机器的制造中,经常需要将两个或两个以上的零件按一定形式和位置连接起来,通常可以根据这些连接的特点,将其分为两大类:一类是可拆卸连接,即不必毁坏零件就可以拆卸,如螺栓连接、键连接等,如图 0-1 所示;另一类是永久性的连接,其拆卸只有在毁坏零件后才能实现,如铆接、焊接等,如图 0-2 所示。

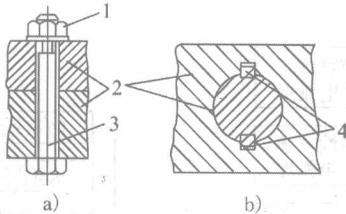


图 0-1 可拆连接

a) 螺栓连接 b) 键连接

1. 螺母 2. 零件 3. 螺栓 4. 键

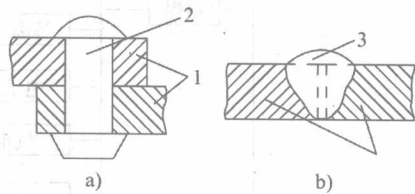


图 0-2 永久连接

a) 铆接 b) 焊接

1. 零件 2. 铆钉 3. 焊缝

焊接是通过加热、加压,或两者并用,并且用或不用填充材料,使焊件达到结合的一种加工方法。金属的焊接则是对金属材料而言。要使两部分金属材料达到永久连接的目的,就必须使分离的金属相互非常接近,只有这样才能使原子间产生足够大的结合力,形成牢固的接头。这对液体来说是很容易的,而对固体来说则比较困难,需要外部给予很大的能量,以使金属接触表面达到原子间的距离。为此,金属焊接时必须采用加热、加压或两者并用的方法。焊接能量可来自电能、化学能、机械能、光能、超声波能等。

焊接不仅可以使金属材料永久地连接起来,而且也可以使某些非金属材料达到永久连接的目的,如玻璃焊接、塑料焊接等,但最广泛的是用于金属的焊接。

按照焊接过程中金属所处的状态不同,可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三类。

1. 熔焊是在焊接过程中,将焊件接头加热至熔化状态,不加压力完成焊接的方法。由于在加热的条件下,增强了金属原子的动能,促进原子间的相互扩散,当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间可以充分扩散和紧密接触,因此冷却凝固后,即可形成牢固的焊接接头。常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护电弧焊等都属于熔焊的方法。

2. 压焊是在焊接过程中,必须对焊件施加压力(加热或不加热),以完成焊接的方法。这类焊接有两种形式:

一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态,然后加一定的压力,以使金属原子间相互结合而形成牢固的焊接接头,如锻焊、电阻焊、摩擦焊和气压焊等;

二是不进行加热,仅在被焊金属的接触面上施加足够大的压力,借助于压力所引起的塑性变形,而使原子间相互接近直至获得牢固的压挤接头,如冷压焊、爆炸焊等均属此方法。

3. 钎焊是采用比母材熔点低的金属材料作钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料的熔点,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方法。钎焊是一种古老的金属连接工艺,但其金属结合的机理与熔焊和压焊是不同的,并且具

有一些特殊的性能,所以在现代焊接技术中仍占有很重要的地位,目前已形成了一个独立的体系。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊等。

近百年来,随着社会生产和科学技术的发展,对金属的焊接也提出了越来越高的要求,为了满足工业生产和尖端技术的焊接需要,今后各种新的焊接方法仍将不断出现。目前金属焊接的简单分类如图 0-3 所示。

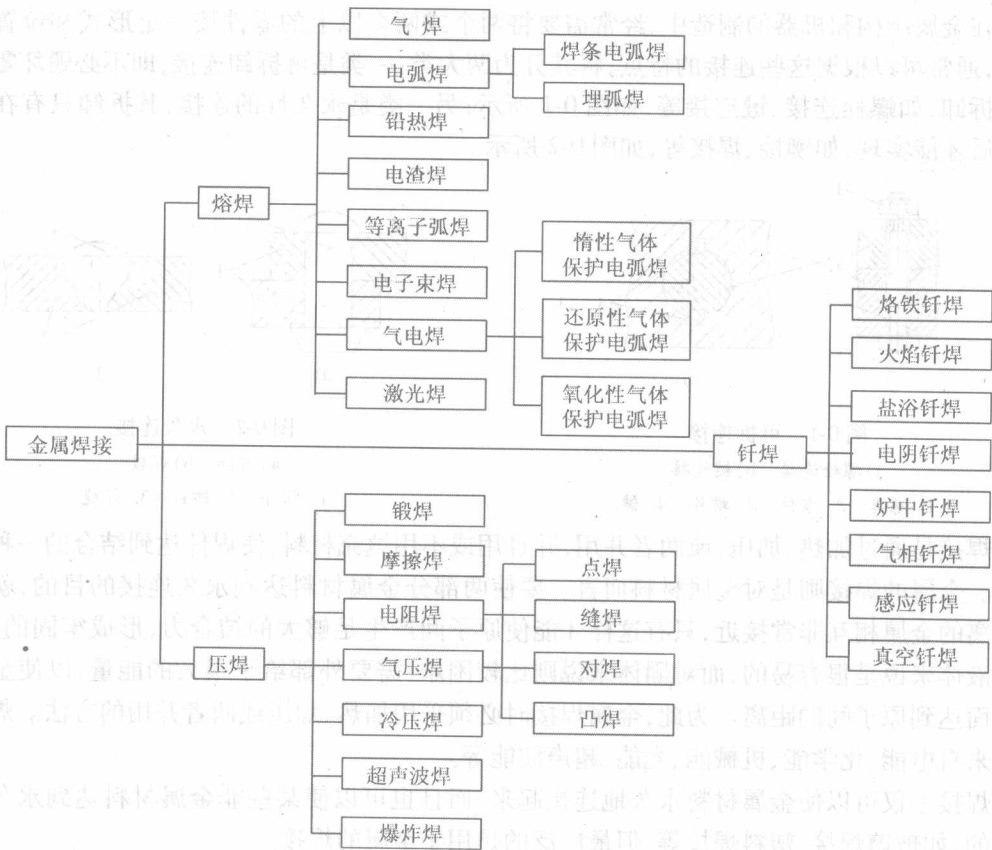


图 0-3 焊接方法的分类

二、焊接技术的特点

焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方法,用焊接方法制造的金属结构叫焊接结构。焊接结构已在许多工业部门的金属结构中,如船体、锅炉、压力容器、起重运输机械等几乎全部取代了铆接结构;在机械制造业中,不少过去一直用整铸、整锻方法生产的大型毛坯改成了焊接结构,大大简化了生产工艺,降低了成本;目前在许多尖端技术,如宇航、核动力等高科技领域中如不采用焊接结构是不可能的。目前,世界各国平均生产的焊接结构用钢已占钢产量的 45% 左右,焊接结构之所以能迅速地发展,是因为它本身具有一系列优点:

1. 焊接结构与铆接结构相比,首先可以节省大量金属材料,减轻结构的重量。例如起重机采用焊接结构,其重量可以减轻 5% ~ 20%, 建筑钢结构可以减轻 10% ~ 20%。其原因在于焊接结构不必钻铆钉孔,材料截面能得到充分利用,也不需要象角钢那样的辅助材料,如图 0-4 所示;其次简化了加工与装配工序。焊接结构生产不需钻孔,划线的工作量较少,因此比较省工,劳动生产率高;另外焊接设备一般也比铆接生产所需的大型设备(如多头钻床等)的投资低;焊接结构还具有比铆接结构更好的密封性,这是压力容器特别是高温、高压容器不可缺

少的性能;焊接生产与铆接生产相比还具有劳动强度低,劳动条件好等优点。

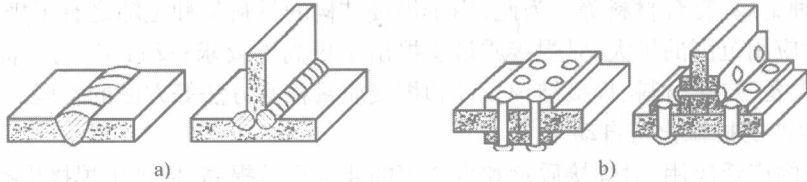


图 0-4 焊接结构与铆接结构比较

a) 焊接结构 b) 铆接结构

2. 焊接结构与铸造结构相比,首先它不需要制作木模和砂型,也不需要熔炼和浇注,工序简单,生产周期短,对于单件和小批量生产特别明显。其次,焊接结构比铸件节省材料。通常,其重量比铸钢件轻 20%~30%,比铸铁件轻 50%~60%,这是因为焊接结构的截面可以按需要来选取,不必像铸件那样因受工艺条件的限制而加大尺寸,且不需要采用过多的肋板和过大的圆角。另外,采用轧制材料的焊接结构材质一般比铸件好,即使不用轧制材料,用小铸件拼焊成大件,小铸件的质量也比大铸件容易保证。

3. 焊接结构具有一些用别的工艺方法难以获得的优点。例如,焊接结构可以根据不同要求,在同一零件上采用不同的材料或分段制造来简化工艺。如大型齿轮的轮缘可用高强度的耐磨优质合金钢,而其他部分则可用一般钢材来制造。

生产中有时也会发生焊接结构失效和破坏的事例,这往往是焊接结构本身存在的一些缺点所致。这些缺点主要是:焊接结构存在较大的焊接应力和变形,应力集中比较大,焊缝中存在有一定数量的焊接缺陷,焊接结构的止裂性没有铆接结构好,焊接接头的不同区域具有不同的性能,焊接过程中还会产生有毒有害物质等。

上述焊接结构存在的缺点,在生产实践中可采取一些有效的工艺措施加以克服。

三、焊接技术的发展概况

近代焊接技术是从 1882 年出现碳弧焊开始发展起来的。由于它具有一系列技术和经济上的优越性,所以发展很快,二十世纪六十年代以后,随着工业的发展,焊接新能源的开发和焊接新工艺的应用有了更大的进展。目前已有几十种焊接方法,焊接技术的发展主要表现在以下几方面:

1. 新焊接能源的应用

焊接方法的发展依赖于能源的开发与应用。从 20 世纪开始,几乎每隔 10 年就出现一种新的焊接能源或焊接工艺方法,当前,除了以电弧为能源的各种常规焊接方法外,还有以电阻热为能源的电阻焊和电渣焊等在生产中亦得到广泛的应用。另外,以高速运动电子束为能源的电子束焊接;以激光为能源的激光焊;以等离子弧为能源的等离子弧焊等高能密度的焊接方法,也越来越多地应用于各个生产领域。

2. 焊接技术应用范围的扩大

随着新能源的开发与焊接质量的提高,焊接技术的应用范围有了明显的扩展。目前一些现代化的大型设备,如大型高参数的压力容器与贮罐、大吨位油轮、超音速飞机、大功率的核发电设备、超临界火力发电机组等,都大量采用了焊接结构。焊接技术还用于电子元器件、火箭、宇宙飞船等尖端技术产品的制造。

随着产品向高参数、大容量、长寿命、大型或微型化的方向发展,要求采用一些具有特殊性

能的结构材料,如高强度钢、耐蚀钢、耐热钢、超高强度钢、各种有色金属及其合金、难熔金属和活性金属、异种金属、复合材料等。为此,用于焊接结构的材料品种也随之有了极大的发展。

焊接技术应用范围的扩大,对焊接质量也提出了更高的要求;反过来,它又促进了焊接工艺方法、焊接设备、焊接材料、焊接结构设计和焊接质量检测方法等方面的发展。

3. 焊接生产的机械化与自动化

焊接技术的广泛应用,对焊接质量和生产率的要求日益提高,促进了焊接生产的机械化和自动化。目前,除了一些机械化程度较高的专用机械和专业生产线外,很多发达国家均建成了带程序控制的自动焊接生产线,计算机技术也已用于焊接生产中的数据处理和程序控制。计算机辅助焊接、焊接机器人、计算机集成制造系统等的蓬勃发展,正从信息化、集成化、系统化、柔性化等几个方面改变着焊接技术的生产面貌。数字化焊接更进一步促进了焊接生产自动化、智能化的发展,并使焊接生产利用 Internet 实现远程控制成为现实。

我国的焊接技术得到了迅速发展,现已作为一种基本工艺方法,应用于舰船、桥梁、车辆、航天、航空、锅炉、电机、电子、冶金、能源、石油化工、矿山机械、起重机械、建筑及国防等各个工业部门,并成功地焊接了不少重大产品,如一万二千吨水压机、直径 80m 的 10 万立方米巨型浮顶油罐、世界最大最重的长江三峡不锈钢水轮机焊接转轮,(直径 10.7m,高 5.4m,重达 440t,每个转轮消耗 12t 焊丝,如图 0-5 所示);世界最大的穹顶 - 位于北京的国家大剧院(其椭圆形穹顶长轴 212.2m,短轴 143.64m,高 46.28m,焊接钢结构的总重量达 6475t)、最大载重量之一的 30 万吨超大型原油船(长 333m,宽 58m,如图 0-6)以及“神舟”号载人飞船和长征系列运载火箭的燃料箱,都是全焊接的铝合金结构。

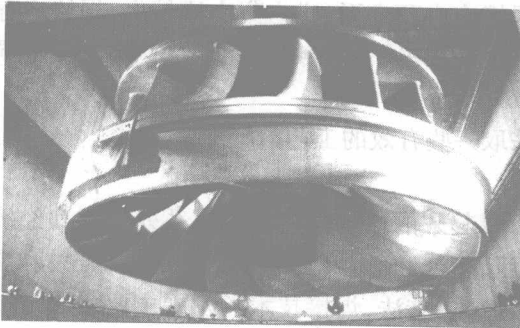


图 0-5 三峡不锈钢水轮机焊接转轮

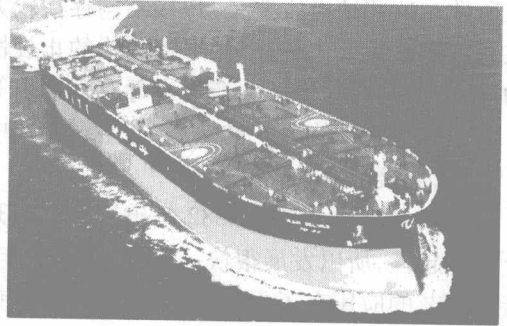


图 0-6 30 万吨超大型原油船

上述的一些大型结构例子都是我国近年来焊接的最大、最重、最长、最高、最厚、最新的具有代表性的重要产品。它们的制造成功表明我国焊接技术水平有了明显的提高,但是与世界先进水平相比仍然存在着一定差距。我们必须树雄心、立壮志,更加努力地工作,不断攀登焊接科学技术的新高峰,为建设有中国特色的社会主义强国,积极努力追赶国际先进水平,为 21 世纪我国工业的腾飞而认真学习,努力工作。

第一章 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的把电能转化为焊接过程所需要的热和机械能。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。本章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。

第一节 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。

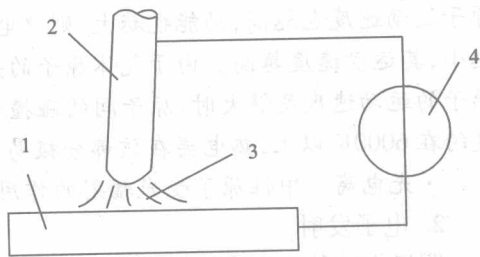


图 1-1 焊接电弧示意图

1. 焊件 2. 焊条 3. 电弧 4. 焊接电源

1. 气体电离

自然界的一切物质,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,电子则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,以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,需要供给一定的能量。供给气体电离的能量有:

电离电位:消耗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。消耗在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 是表示各种元素所具有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,各作定向高速运动,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,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。其实质是由于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 6000K 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。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,在焊条中由于涂药含有较多的钾、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,所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。增大两电极的电压或减小两电极间距离都能增加电子发射。电场强度越大,电场发射作用就越大。

· 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

我们把开始造成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 1mm ~ 2mm 的间距,这时如果在两电极间加有很高的电压(约在 1000V 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 3mm ~ 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。

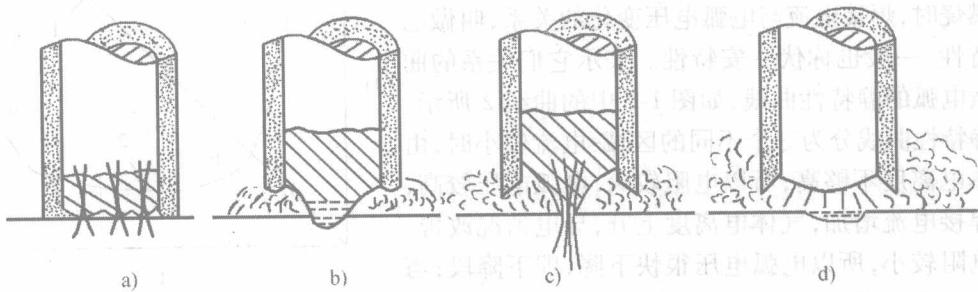


图 1-2 焊接时电弧的引燃过程

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

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,使带电质点的数量猛增,大量电子通过空间流向阳极,电弧便引燃了。电弧引燃后,在不同的焊接电源条件下,电离和中和是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。

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时欲使电弧偏离焊丝轴向时,电弧自身磁场作用则有抵抗这种干扰的能力,使电弧尽量保持在焊条的轴向方向。同时电弧的等离子流、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 等气氛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。

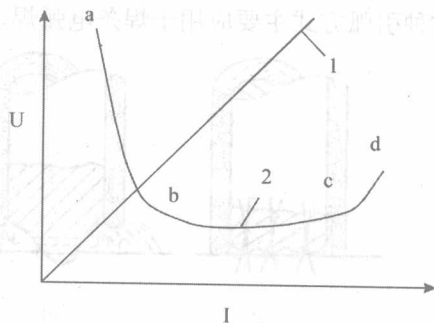


图 1-3 普通电阻静特性与电弧的静特性
1. 普通电阻静特性 2. 电弧的静特性

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。

第二节 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,整个电弧呈圆锥形,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,约为 $10^{-5}\text{cm} \sim 10^{-6}\text{cm}$ 。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空间(约为 $10^{-5}\text{cm} \sim 10^{-6}\text{cm}$)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空间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,使阴极区造成局部的强电场(约为 $10^7\text{V/m} \sim 10^8\text{V/m}$),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。

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;当它撞击到阴极表面时也析出能量。这些能量都传给阴极,使阴极温度升高。

阴极消耗的能量有:阴极发射电子要消耗一些能量;同时阴极金属材料的加热、熔化和蒸发要消耗很多能量。

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的提高。

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,约为 $10^{-3}\text{cm} \sim 10^{-4}\text{cm}$,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吸引向阳极移动,运动着的电子在阳极表面的空间(约 $10^{-3}\text{cm} \sim$

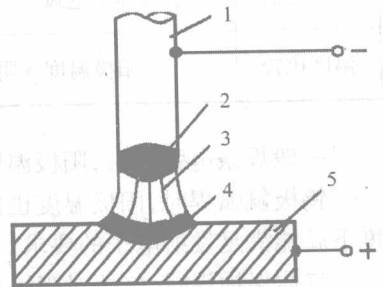


图 1-4 焊接电弧的构造

1. 焊条 2. 阴极区 3. 弧柱
4. 阳极区 5. 焊件

10^{-4}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:电子对阳极撞击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,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 $2330^{\circ}\text{C} \sim 3930^{\circ}\text{C}$,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过程特点不同,因而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,焊接时生产率能提高。

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。

弧柱的温度由于不受材料沸点限制,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,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(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);

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 $20\text{V}/\text{cm} \sim 40\text{V}/\text{cm}$;

l_h —电弧长度/(cm)。

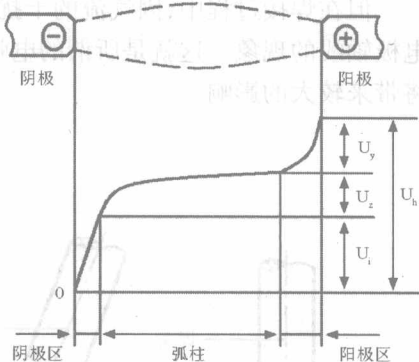


图 1-5 电弧结构与电压分布示意图

第三节 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,称正接也叫正极性;焊件接电源负极,电极接电源正极的接线法,称反接也叫反极性,如图 1-6 所示。

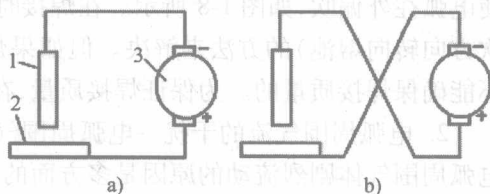


图 1-6 极性

a. 正极性 b. 反极性

1. 焊条 2. 焊件 3. 直流弧焊机

2. 焊接时极性的应用

焊接时极性的选用,主要根据焊件所需的热量和焊条的性能而定。直流弧焊时,为获得较大的熔深,可采用正接。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,可采用反接。

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。

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。随着焊条变换倾斜角度,电弧的轴线也跟着焊条的轴线方向而改变,如图 1-7 所示。因此我们就得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。