

船舶工人培训丛书

CHUANBO GONGREN PEIXUN CONGSHU

船舶焊接工艺学 (中级)

主 编 忻鼎乾 芮树祥

哈尔滨工程大学出版社

船舶焊接工工艺学 (中级)

主编 忻鼎乾 芮树祥

主审 吕文坤

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

船舶焊接工工艺学/忻鼎乾,芮树祥主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2006
ISBN 7-81073-814-3

I. 船… II. ①忻…②芮… III. 造船-焊接工艺
IV. U671.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 038553 号

内 容 简 介

本书主要介绍焊接基础理论、焊接设备、熔化焊工艺;常用金属材料的焊接、船体结构的焊接、焊接应力与变形、焊接结构的生产以及气割及碳弧气刨、焊接检验等内容。

该书可供船舶类技术院校焊接专业学生使用,也可作为船厂焊工技术培训教材及专业技术人员参考用书。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市东大直街 124 号
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
肇东粮食印刷厂印刷

*

开本 787mm × 1092mm 1/16 印张 26.25 字数 452 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

定价:35.00 元

前 言

本书是根据船舶电焊工国家职业标准和原中国船舶工业总公司职业技能鉴定规范“船舶电焊工考核大纲”组织编著的。作为船舶工业系统(中级)焊接工培训教材。

本书在编著的过程中,按照考核大纲和国家职业标准的教学内容和教学要求,注重理论联系实际的原则,较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术。并紧密结合船舶工业迅猛发展的生产实际与教学实际,做到科学性、先进性和实用性尽可能兼顾。本书不仅在焊接理论方面有一定的广度和深度,而且在焊接实践方面提供了大量经验性介绍,以适合中级电焊工的培训要求。

本书的第一章、第二章、第六章、第九章、第十章由忻鼎乾编著;第三章、第四章、第五章、第七章、第八章由芮树祥编著。本书由吕文坤审稿。

由于编者的学识水平和生产实践经验的局限,书中一定存在许多不足,恳请广大读者给予批评指正,并向借鉴的参考书作者表示诚挚的谢意。

编 者
2006年2月

目 录

第一章 焊接基础理论	1
第一节 焊接电弧	1
第二节 焊接冶金基础	11
第二章 焊接设备	32
第一节 焊条电弧焊设备	32
第二节 埋弧自动焊设备	59
第三节 CO ₂ 气体保护焊设备	76
第四节 氩弧焊设备	104
第五节 气电垂直自动焊设备	114
第三章 熔化焊工艺	122
第一节 焊条电弧焊工艺	122
第二节 埋弧自动焊工艺	145
第三节 气体保护焊工艺	173
第四节 气焊工艺	211
第五节 等离子弧焊接工艺	242
第四章 常用金属材料的焊接	255
第一节 碳素钢的焊接	255
第二节 低合金结构钢的焊接	262
第三节 奥氏体不锈钢的焊接	275
第四节 铸铁焊补	285
第五章 船体结构的焊接	297
第一节 船体结构用钢材和焊接材料	297
第二节 焊工资格考试	301
第三节 船体结构焊接	308
第六章 焊接应力与变形	321
第一节 应力与变形的基本概念	321
第二节 焊接应力与变形的种类	323
第三节 焊接应力与变形产生的原因	327
第四节 预防和减少焊接应力与变形的措施	331
第七章 焊接结构的生产	340
第一节 焊接结构生产的工艺流程	340
第二节 焊接胎夹具	343
第三节 焊接结构生产工艺规程	350
第四节 焊接时间定额	353
第五节 焊接材料定额	363

第八章 焊接缺陷及检验	368
第一节 焊接接头主要缺陷.....	368
第二节 焊缝中的气孔.....	372
第三节 焊接接头的裂纹.....	376
第四节 焊接质量检验.....	384
第九章 焊接与切割的安全生产和环境保护	403
第一节 预防触电的安全技术.....	403
第二节 焊条电弧焊的安全技术.....	404
第三节 埋弧自动焊的安全技术.....	406
第四节 气体保护焊的安全技术.....	406
第五节 气焊与气割及碳弧气刨的安全技术.....	407
参考文献	411

第一章 焊接基础理论

第一节 焊接电弧

一、焊接电弧的微观过程

1. 电弧的概念

电弧是电弧焊接方法的能源,电弧焊能有效地实现将电能转变为焊接时所需要的热能和动能,以达到连接金属的目的。

焊接时,将焊条与焊件接触后迅速分开一小段距离,此时,在焊条端部和焊件之间的气体间隙中仍有强大电流通过,产生了明亮的电弧,所以电弧是一种气体放电现象。但电弧与电火花不同,如用一根导线把普通电池的两极相接触时,也会产生电火花,它也属于气体放电现象(称为火花放电)。比较一下可以看出,电弧不但比电火花能量大,而且持续时间长。所以,在两电极之间的气体介质中产生高温而持续强烈的放电现象称为电弧。电弧放电时,一方面产生高温,同时也产生强光。

一般情况下,气体介质以分子或原子的状态存在,因而气体是不导电的,电流不能通过,电弧也不能自发地产生。要引燃电弧并使之持续燃烧,就必须使两电极间的气体变成能导电的,所以这是电弧产生和维持的重要条件。

使气体能导电的方法是把气体电离。气体电离后,原来气体中的中性粒子(分子或原子)都转变为电子、正离子、负离子等带电粒子,这时在电场作用下,分别向阳极和阴极移动,带电粒子的定向移动形成了电流,从而产生电弧。

2. 带电粒子的性质

在了解如何使气体电离前,首先简介带电粒子的基本性质。从原子结构中可以看出,原子是由原子核和核外电子所组成的,每一个原子的原子核所带正电荷数与核外电子的负电荷数相等,所以原子不带电,即称为中性粒子。若原子的核外电子数量有了变化,如这个原子得到或失去一个或几个电子,那么核外电子数和原子核所带正电荷数就不相等,此时这个原子就呈带电性,称为离子。

失去电子的原子带正电荷,称为正离子;而获得多余电子带负电荷的原子,则称为负离子。当原子中的电子要脱离原子时,需吸收一定能量以克服原子核对它的吸引力,而电子与原子等中性粒子相结合时,就放出一定能量。正常情况下,电弧中的带电粒子主要是电子和正离子。

使中性的气体分子或原子吸收外界能量(电场、热能等)释放电子,形成电子和正离子的过程,称为气体电离。由于形成电弧中的各种气体及元素的电离能力不同,所以它们产生电离时所需的能量大小也不同。使中性粒子(分子、原子)释放电子形成正离子所需的能量称为电离能,通常以电子伏特(eV)为单位。一个电子伏特就是一个电子通过电位差为伏特的电场所取得的能量。形成电弧的常见气体及元素的电离能见表1-1。

表 1-1 常见气体及元素的电离能

气体	电离能/eV	元素	电离能/eV	元素	电离能/eV
He	24.58	Al	5.95	K	4.34
Ar	15.76	Cr	6.76	Na	5.14
N ₂	15.50	Ti	6.82	Ba	5.21
N	14.53	Mo	7.10	Li	5.39
H ₂	15.60	Mn	7.43	La	5.61
H	13.60	Ni	7.63	Ca	6.11
O ₂	12.5	Mg	7.64	B	8.30
O	13.61	Cu	7.72	Cd	8.99
CO ₂	13.8	Fe	7.87	I	10.45
CO	14.01	W	7.98	Br	11.84
HF	15.57	Si	8.15	Cl	13.01
H ₂ O	12.59	C	11.26	F	17.42

气体电离能的大小表示电子脱离原子所需外加能量的高低。在外加能量相同的条件下,电离能小的气体提供电子、离子较容易,有利于电弧稳定燃烧。从表 1-1 中可知,碱金属和碱土金属 K, Na, Ca 等元素的电离能很小,若电弧中有这些元素存在,则电极空隙中的电子、离子就易形成,气体导电性就好,电弧就稳定。因此,在焊条药皮中将 K, Na 等元素的化合物或天然矿物质作为稳弧剂。而卤族元素 F, Cl, Br 等元素的电离能很大,会使电弧燃烧不稳定,如在焊条、焊剂中为了改善焊接熔渣性能而加入萤石(CaF₂),导致电极空隙中有 F 的蒸气存在,对电弧的稳定性是不利的。总之,电离能的大小,只是影响电弧稳定性的因素之一,而不是唯一的因素。又如惰性气体 Ar, He 等的电离能都很大,但很稳定,所以可用作焊接时的保护气体。由于电极空隙中的气体常是多种成分的复合物,所以常以平均电离能来衡量其电离的难易程度。这样当电极空隙中含高电离能的元素和其分量越多时,其平均电离能将越高。

3. 气体电离的方式

如上所述,气体的电离就是使气体的中性粒子转变为带电粒子的过程。要使气体的中性粒子电离,就必须给这些中性粒子提供能量,以克服原子核正电荷对核外电子的吸引力。焊接时根据气体的中性粒子产生电离的外加能量来源不同,可将气体电离的方式分为热电离和碰撞电离等。

(1) 热电离。气体粒子获得热能而发生的电离称为热电离。焊接时从引弧开始,两电极间就产生高温(弧柱温度高达 4 000 ~ 8 000 K),在高温下气体的各种粒子的运动速度加快,这些粒子中的原子核外电子也以很高的速度运动,如果温度高到上千摄氏度以上(相当于电弧温度),这时核外电子运动所产生的离心力大于原子核的正电荷对它的吸引力,电子就脱

离原子,而使原子变成正离子和电子。总之,热电离是弧柱部分产生带电粒子的最主要途径。

(2)碰撞电离。当高速运动的带电粒子撞击中性粒子时,就把能量传给中性粒子,此时,若撞击的能量大到足以使这个粒子电离时,则这个中性粒子就吸收此能量而电离成带电粒子。若电弧长度不变,两极间电压越高,则由于两极间电场的作用力,带电粒子的运动速度就越快,产生碰撞电离的作用越强烈。碰撞电离只在电弧的近极性区起着重要作用。

4. 阴极的电子发射

阴极的金属表面接收外界的能量而连续地向外发射电子的现象称为阴极的电子发射。焊接时,气体的电离是产生电弧的重要条件,但是若只有气体电离而两极间没有电压,或者阴极不能发射电子,没有电流通过,那么电弧还是不能形成。因此,阴极电子发射也与气体电离一样,两者都是产生电弧和维持电弧的重要条件。

正常情况下,电子是不能自由离开金属表面向外发射的,要使电子跳出电极金属表面而产生电子发射,就必须给电子一定的能量,使之克服电极金属内部正电荷对电子的吸引力,促使阴极产生电子发射作用,所加能量越大,则使电子发射就越剧烈。不同金属内部正电荷的吸引力是不一样的,若所加的能量相同,金属内部正电荷吸引力越小,则阴极电子发射程度就越大。

产生阴极电子发射所需的最低外加能量,即一个电子逸出金属表面时所需的最小能量称逸出功,单位也为电子伏特(eV)。逸出功代表着电极材料发射电子的难易程度。它的大小与金属材料的种类、性质、金属表面状态等因素有关。逸出功越大,则表示这种材料发射电子的能力越弱,相反逸出功越小的金属,其发射电子的能力越强。各种金属的逸出功见表1-2。

表 1-2 各种金属的逸出功

元素	逸出功/eV	元素	逸出功/eV
W	4.54(2.63)	Na	2.33(1.8)
Fe	4.48(3.92)	Mn	3.76
Al	4.25(3.95)	Ni	4.57(3.68)
Cu	4.36(3.85)	Ti	3.95
K	2.02(0.46)	Mo	4.33(3.22)
Ca	2.96(1.8)	C	4.45(4.2)
Mg	3.74(3.31)	Cs	1.81

注:括号内的数字为表面具有氧化物或吸附薄膜时的逸出功。

从表中可知,若金属表面具有氧化物或吸附薄膜时,其逸出功减小,如在钨极中加入钍或铈等氧化物时,其发射电子能力明显提高,从而可提高引弧性能。在焊条中由于药皮中含有较多的钾、钠、钙等的化合物,也有利于阴极的电子发射,从而促使电弧燃烧更稳定。

焊接时,根据阴极所吸收的能量的性质不同,所产生的电子发射作用类型有:热电子发射、场致电子发射及撞击电子发射等方式。阴极发射电子后,又以焊接电源获得补充的电

子,使焊接过程持续进行。

(1)热电子发射。对阴极表面加热后,由于阴极的金属表面温度升高,而使原子和电子的热振动速度增加,此时若金属中自由电子垂直于表面运动的能量大于电极金属内部正电荷的吸引力,电子就会跳出金属表面,而产生热电子发射。电极表面温度越高,则阴极产生的热发射作用就越剧烈。

(2)场致电子发射。在两电极间距离一定的情况下,如果提高两极间的电压,其电场强度也就增大,当电场强度达到 10^4 V/cm 以上时,即使在常温情况,也能将电子从阴极表面拉出来,从而产生电子发射,这种由于电场强度增大而产生的电子发射,称为场致电子发射。实际上在焊接时,因阴极温度很高,热发射作用较大,产生电子发射所需的电压并不用太高,这也说明电压的影响极大。两极间的电压越高,场致电子发射作用就越大,如金属表面有高低不平的部分时,也会使凸起处的电场强度提高,从而加强电子发射作用。

(3)撞击电子发射。当运动速度较高,能量较大的正离子撞击阴极表面时,可将其能量传给阴极而产生电子发射现象,这称为撞击电子发射。如果电场强度增大,正离子由于阴极的吸引,其运动速度也增快,所产生的撞击电子发射作用也越剧烈。

总之,阴极电子发射是形成焊接电弧和维持电弧稳定燃烧的一个重要因素。实际上在焊接时,上述几种电子发射作用常常是同时存在,互相促进的。但在不同条件下它们所起的作用可能稍有差异,如在引弧过程中,热电子发射和场致电子发射起着主要作用。电弧正常燃烧时,如果用沸点较高的阴极材料(如钨和碳,其沸点分别为 5 950 K 和 4 830 K),电极可能被加热到很高温度,阴极区主要靠热电子发射来提供电子,此时热电子发射作用显著。如果采用沸点较低的铜或铝等材料作阴极,(铜和铝沸点分别为 2 868 K 或 2 333 K),阴极加热温度受到材料沸点的限制不可能很高,阴极区不可能通过热电子发射提供足够的电子,此时阴极区主要靠场致电子发射提供电子。当使用铁(沸点为 3 013 K,介于上述两者之间)作阴极材料时热电子发射和场致电子发射都起着重要作用。

焊接电弧的微观过程示意图 1-1。电弧的阴极和阳极,分别与弧焊电源的负极和正极连接,阴极在热和电场作用下,不断地从阴极斑点放射出电子,此电子经过一段很短的距离后,即与气体空间的中性质点发生碰撞,使中性质点电离,图中以“ $e + A^{\circ} \rightarrow A^+ + 2e$ ”表示。电离后的正离子(A^+)流向阴极,而电子(e)则流向阳极。从阴极放射出来的电子,称为“一次电子”;被它碰撞出来的电子,称为“二次电子”。二次电子在电场作用下,加速向阳极移动,在积累了足够大的动能后,又能与中性质点碰撞,产生碰撞电离。弧柱中的气体(包括金属和复杂化合物的蒸气)在电弧的高温下,发生一系列的热分解过程(复杂化合物 \rightarrow 简单化合物 \rightarrow 分子 \rightarrow 原子),最后产生热电离成为电子和正离子,图中以“ $A^{\circ} + Q \rightarrow A^+ + e$ ”表示。其中, Q 表示热量。同样,电离出来的正离子和电子,在电场力作用下,分别流向阴极和阳极。

综上所述,焊接电弧燃烧的物理实质,就是在焊接电源不断供给能量的情况下,使得电极不断发射电子,并使电弧空间的气体介质不断电离的过程。焊接电弧的产生过程也就说明这一点。

5. 焊接电弧的产生过程

焊条电弧焊时,一般采用接触引弧,弧焊电源接通后,先将焊条与焊件相互接触而形成短路,如图 1-2(a)所示。由于焊条端面和焊件表面是不平整的,实际上是在个别突出点上相互接触。强大的短路电流从这些点通过,而接触点的面积又小,因此电流密度特别大,使

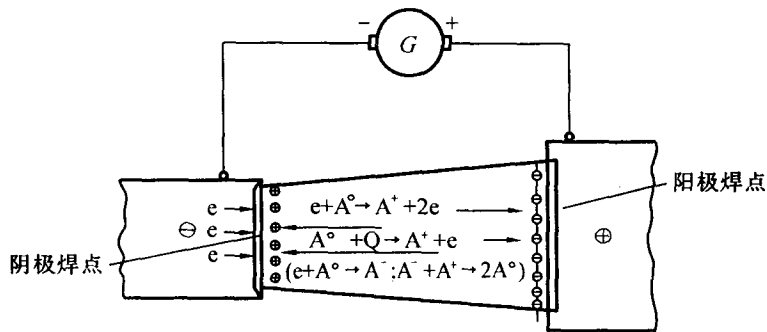


图 1-1 焊接电弧的微观过程示意图

G—弧焊电源；e—电子；A°—中性质点；A+—正离子；A-—负离子；
“e→”—电子流；“A+→”—离子流

两电极间的接触点产生大量电阻热，焊条末端和焊件迅速加热到熔化状态，如图 1-2(b)所示。然后将焊条稍微提起，在这瞬间大量的电流由熔化的金属细颈通过，如图 1-2(c)所示。此时，因大电流密度而产生的电阻热突然增大，使细颈部分的液体金属温度猛烈升高，随着焊条与焊件的迅速分开，两电极间的空气间隙，强烈地受热而发生热电离，使中性原子变成带电离子和电子。同时，被加热的阴极上有高速的电子飞出（热发射电子），撞击空气中的分子和原子，使空气发生碰撞电离，产生了正离子、负离子和电子。这时在电场的作用下，带电微粒按一定的方向移动。正离子移向阴极并与阴极碰撞；负离子和电子移向阳极并与阳极碰撞，碰撞结果更加速了电子的发射，最终使两电极间的空气剧烈电离而产生电弧，如图 1-2(d)所示。

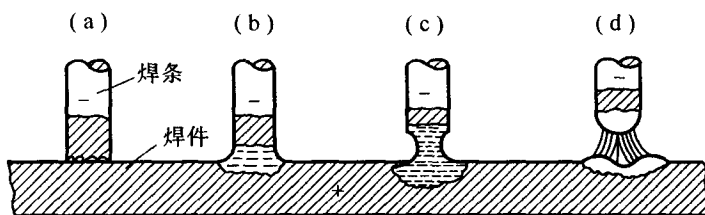


图 1-2 焊接电弧的产生过程

由于开始引弧时，两电极间的空气间隙受热还不够，为了使阴极上有高速度电子飞出，以撞击空气中的分子和原子，所以要求引弧开始时的电压，比电弧正常燃烧时的电压要高，也即引弧电压总是高于正常燃烧的电压。

焊条电弧焊时，为了使电弧容易引燃和保持稳定燃烧，焊条药皮中多含有易于电离的成分，如钾、钠、钙及钛等的化合物。

二、焊接电弧的结构和温度分布

焊接电弧是由沿着其长度方向的三个区域组成的，即阴极区、阳极区和弧柱区（见图 1

-3)。在阴极区的阴极表面有一个发射电子的明亮部分称为阴极斑点,其电压称为阴极电压降;在阳极区的阳极表面也有一个接受电子流的明亮部分称为阳极斑点,其电压称为阳极电压降。阴极区和阳极区之间的部分为弧柱区,其电压称为弧柱电压降。它们组成的电弧电压 U_a 用下式表示:

$$U_a = U_A + U_K + U_C$$

1. 阴极区

阴极区是电弧中最重要的区域。电子就是从阴极斑点发射出来的,这个区域的尺寸很小,它的厚度约为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ cm。从阴极斑点发射出来的电子,受阳极吸引很快就离开阴极向阳极移动。电弧中被电离的正离子也受阴极的吸引向阴极移动。但正离子的质量比电子大,运动速度较小,所以在阴极表面每一瞬间正离子的浓度都比电子大得多,这样就使得阴极表面附近所有正离子的正电荷总和远远超过所有电子的负电荷总和,因而造成阴极表面附近空间电荷呈正电性。也就使阴极表面到正离子密集处形成较大的电位差,这部分电位差称为阴极电压降(U_K)。

由于正离子飞向阴极时,对阴极的撞击和正离子与阴极发射出来的电子相结合中和成为中性粒子都要放出热量,这些能量都传给阴极,使阴极区的温度升高,但是因阴极发射电子要消耗一些能量以及阴极金属材料的熔化、蒸发要吸收很多热量,所以阴极区的温度一般都低于阴极金属材料的沸点(见表 1-3)。

表 1-3 不同电极材料阴极区和阳极区的温度分布

电极材料	材料沸点/K	阴极区温度/K	阳极区温度/K
铁	3 013	2 400	2 600
铜	2 868	2 200	2 450
镍	2 730	2 370	2 450
钨	5 950	3 640	4 250
碳	4 830	3 500	4 200

2. 阳极区

与阴极区的形成原因相似,阳极斑点就是电子对阳极表面撞击而形成的。但是电子的质量很小,运动速度大,所以在阳极表面聚集的电子浓度相对就很小。阳极区的厚度比阴极区大些,约为 $10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm。在普通情况下和阴极区相比,由于阳极不需消耗使电子发射的能量,而且电子运动速度很大,这样它对阳极撞击时传给阳极的能量也较大,所以阳极所获得的能量略多于阴极。在与阴极材料相同时,阳极斑点的温度高于阴极斑点

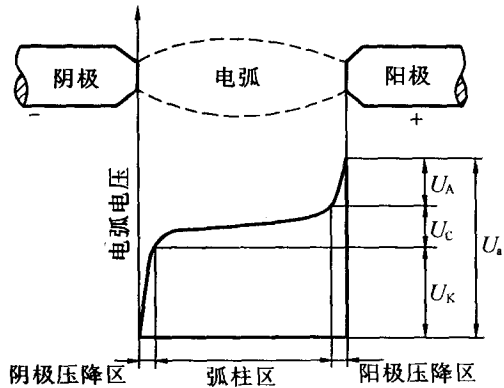


图 1-3 焊接电弧的结构和电压分布

U_A —阳极电压降; U_K —阴极电压降;

U_C —弧柱电压降; U_a —电弧电压

(见表 1-3)。

一般情况下,阳极区产生的热量约为焊接电弧总热量的 43%,阴极区产生的热量约为焊接电弧总热量的 36%。因此,在用直流弧焊电源焊接时,有正接极接法和反接极接法两种极性的选择,应考虑焊条的性质和焊件所需的热量。当使用碱性焊条焊接时,为使电弧稳定,采用直流反接;而使用酸性焊条时,交流、直流电源都能使用,在使用直流电焊接时,则通常使用直流正接为宜,因为焊接电弧正极的热量高,焊件能获得较大的熔深。

3. 弧柱区

弧柱区中主要是电子和正离子以及中性粒子的混合物,也有些负离子。若弧柱中负离子较多,则一个负离子与一个正离子结合形成两个中性粒子,结果减少弧柱中正离子的浓度,这会影响到电弧的稳定性。总之,弧柱中所进行的反应过程比较复杂,各种粒子不断发生复合和电离,反应非常剧烈。由于阴极区和阳极区的厚度很小,因此弧柱长度基本上等于电弧长度。弧柱电压降的大小与弧长成正比,一般为 20~40 V/cm。

弧柱温度由于不受电极材料沸点的限制,因此弧柱温度通常较高于阴极斑点和阳极斑点温度。一般电弧焊时,弧柱温度为 5 000~8 000 K。弧柱的温度受气体介质种类、焊接电流大小、电极材料等因素的影响。当焊接电流越大,弧柱中电离程度也越大,弧柱温度也越高。

应该指出,弧柱温度虽高,但大部分热量都散失于周围空气的气氛中,对金属熔化不起主要作用。焊接电弧作为焊接热源,使金属熔化的热量主要来自于阴极区和阳极区。

三、焊接电弧的静特性

以一定电弧长度稳定燃烧的电弧,其电弧电压与焊接电流之间的关系,称为焊接电弧的静态伏安特性,简称焊接电弧的静特性。表示它们关系的曲线,称为焊接电弧的静特性曲线(见图 1-4)。

1. 焊接电弧的静特性曲线

焊接电弧作为焊接回路中的负载,是非线性负载,即电弧电压与焊接电流之间不成正比例关系。焊接过程中,为了使电弧连续稳定地燃烧,必须在两电极间保持一定的电压,待电弧引燃后,气体电离,焊接电流增大,两极间维持电弧所需电压,即电弧电压便降低,如图 1-4 中的曲线所示,焊接电弧静特性曲线呈 U 形,由三段组成。*ab* 段是在焊接电流很小情况下产生的,增大焊接电流会使电弧的温度升高,结果气体电离和阴极电子发射就增强,这时维持电弧所需的电弧电压就随焊接电流的增大而降低,所以 *ab* 段呈下降特性。

在正常的焊接时,焊接电流通常从几十安培到二三百安培,这时的焊接电弧静特性为 *bc* 段,加大焊接电流只是增加对电极材料的加热和熔化程度,电极斑点的面积亦随焊接电流的增加而增大,但对电弧电压的影响极小,所以 *bc* 段呈平特性。

当焊接电流从曲线 *c* 点继续增加时,如电极直径仍然不变(电流密度很大时),则由于电极区(阴极或阳极区)电流密度过大,电极斑点受电极端面积限制,而相对地比正常状态有所减小,使电极区的电压降增大,所以在大的焊接电流区间随着它的增加,两极间维持电弧所需

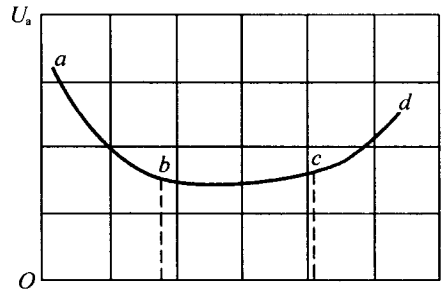


图 1-4 焊接电弧的静特性曲线

的电弧电压反而升高,所以 cd 段呈上升特性。

2. 不同焊接方法的电弧静特性曲线

对于不同弧焊方法,由于采用的电极材料、气体介质以及电弧燃烧条件和焊接电流的使用范围不同,因而它们的焊接电弧静特性曲线也有所不同,而且在正常使用范围内。并不包括电弧静特性曲线的所有段,而仅工作在 U 形特性的某一段。

由于焊条电弧焊和埋弧自动焊在其应用的焊接电流范围内,其电弧电压仅与电弧长度有关,而与焊接电流大小关系则很小,所以其主要工作在焊接电弧静特性曲线的平特性段(见图 1-5)。

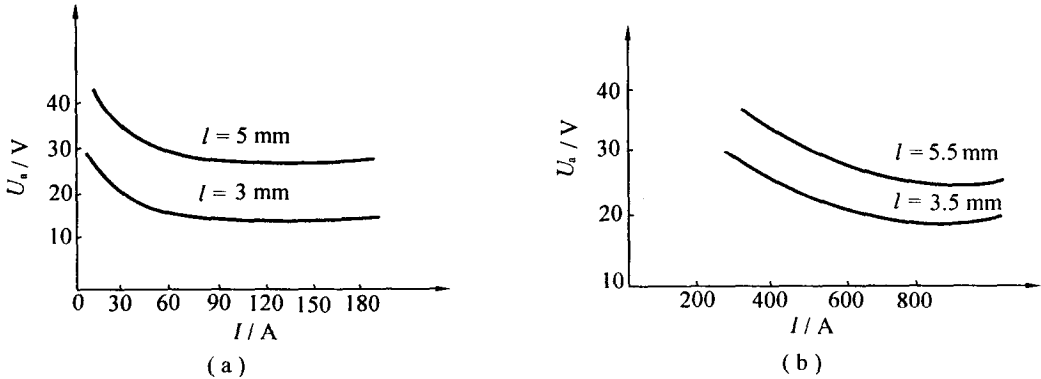


图 1-5 焊条电弧焊和埋弧自动焊的焊接电弧静特性曲线
(a)焊条电弧焊;(b)埋弧自动焊(直流电源,焊丝 $\phi 2.4$ mm); l —电弧长度

非熔化极钨极氩弧焊在小电流范围内焊接时,主要工作在下降特性段;当焊接电流较大时,则工作在平特性段,如图 1-6(a)所示。对于熔化极气体保护焊,由于保护气体(CO_2 , Ar)的冷却作用,弧柱截面不会扩大,当焊接电流增加时,电流密度增大,随着电弧电压也增高,所以主要工作在上升特性段,如图 1-6(b)所示。

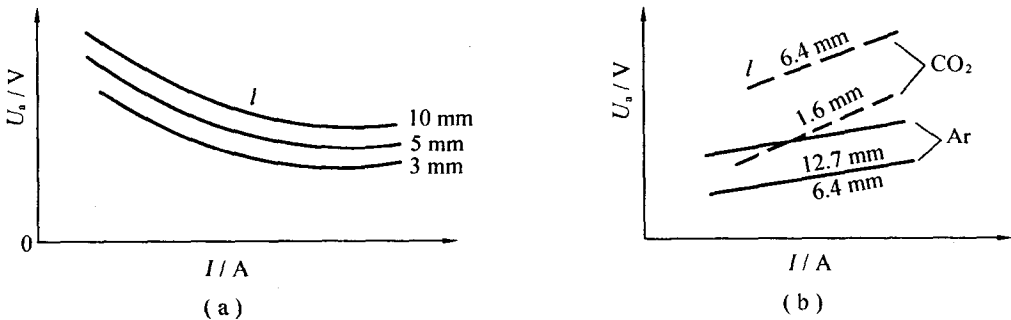


图 1-6 非熔化极和熔化极气体保护焊的焊接电弧静特性曲线
(a)非熔化极钨极氩弧焊;(b)熔化极气体保护焊

四、焊接电弧的分类

焊接电弧的性质与弧焊电源种类、焊接电弧状态、电极材料以及电弧周围的介质等有关。焊接电弧按弧焊电源种类不同可分为交流电弧、直流电弧和脉冲电弧(含高频脉冲电弧);按电弧状态可分为自由电弧和压缩电弧;按电极材料可分为熔化极电弧和非熔化极电弧。

1. 自由电弧

自由电弧可分为非熔化极焊接电弧和熔化极焊接电弧两种。

(1)非熔化极焊接电弧。电极材料在焊接过程中不熔化,没有金属熔滴过渡,焊接过程都采用氩气或氮气等惰性气体保护,因氮气价格昂贵,所以大多数情况下都采用氩气保护。电极采用纯钨、钍钨或铈钨等金属,这种电弧称为钨极氩弧,它又可分为直流电弧和交流电弧两种。矩形波交流电源比一般正弦波交流电源优越,能在无叠加稳弧高压脉冲或高频高压电源的情况下保证电弧稳定燃烧。

(2)熔化极焊接电弧。焊条(丝)作为焊接电弧一个极,在焊接电弧燃烧过程中不断熔化并过渡到焊接熔池中去,熔化极焊接电弧又可分为明弧和埋弧两大类。

明弧焊的电极有两种:一种是焊条电弧焊用的电焊条;另一种是采用光焊丝作为电极,一般均采用保护气体,如惰性气体(Ar等)或活性气体(CO₂等)。此外,还有在焊丝中掺入起保护作用的合金元素作为电极,而不必采用保护气体,这种电弧称为自保护电弧。

埋弧焊也采用光焊丝作为电极。焊接过程中,电弧埋在焊剂层下的气体中燃烧,因焊剂中含有稳弧元素,所以电弧燃烧也很稳定,这种电弧可以是直接电弧或交流电弧。

2. 压缩电弧

若把自由电弧的弧柱压缩而成高温、高能量密度及高焰流速度的电弧则称其为压缩电弧。

等离子弧就是一种典型的压缩电弧,它靠热收缩、磁收缩和机械压缩效应,所以弧柱截面积缩小,能量集中,从而提高了电弧的电离度,形成高温等离子弧。

等离子弧按电源的供电方式,可分为转移型、非转移型及混合型等离子弧三种形式,主要用于金属材料和非金属材的焊接和切割。

3. 脉冲电弧

焊接电流为脉冲波形的电弧,称为脉冲电弧。它可分为直流脉冲电弧和交流脉冲电弧。其特点是焊接电流周期性地从基本电流(维弧电流)幅值增至脉冲电流幅值,可以把它看成为由维持电弧和脉冲电弧两种电弧的组成。维持电弧用于脉冲休止期间来维持电弧的连续燃烧;脉冲电弧用于加热熔化焊件和焊丝,并使熔滴从焊丝脱落和向焊件过渡。

脉冲电弧按电流波形的不同可分为:矩形波脉冲、梯形波脉冲、正弦波脉冲以及三角形脉冲等形式。

脉冲电弧还有非熔化极脉冲电弧、熔化极脉冲电弧和脉冲等离子弧之分,它们既有共同之处,又各有其自身的特点。

五、焊接电弧的偏吹

焊接时,正常的焊接电弧其轴线基本上与焊条的轴线在同一中心线上,如图1-7(a)所示。但在焊接过程中,有时发现电弧左右或前后摆动,也即弧柱的轴线与焊条的轴线不在同

一中心线上,这样焊接电弧就产生了偏吹,如图 1-7(b)所示。

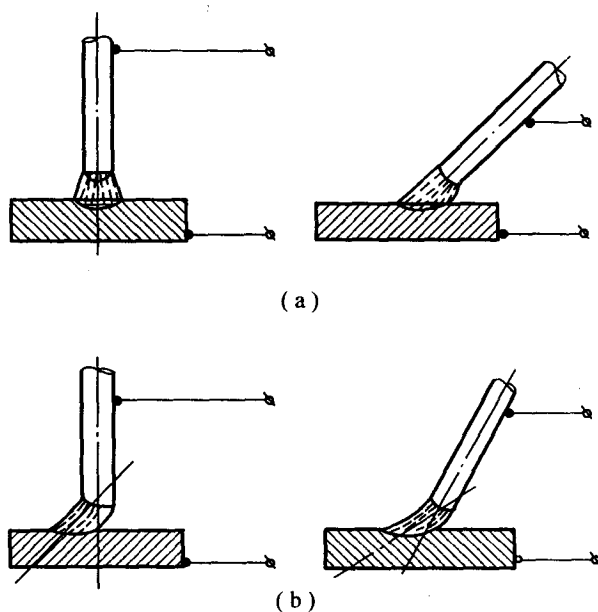


图 1-7 焊接电弧的磁偏吹影响
(a)正常的焊接电弧;(b)焊接电弧的偏吹

焊接电弧的偏吹使焊工难以控制电弧对熔池的集中加热及焊缝的成形,并会影响对熔池金属的保护作用,也会使焊缝焊偏,从而降低焊接质量。严重的电弧偏吹还会使电弧熄灭,无法进行焊接。因此,在焊接过程中,应注意防止产生电弧偏吹。

产生电弧偏吹的原因有气流的影响、焊条药皮的不均匀(即焊条偏心)、接头形式、接地线部位不对称以及电弧附近有铁磁体等引起的。但最常见的原因是采用直流电焊接时,由于接地线部位不对称使弧柱周围的磁力线分布不均匀,而迫使焊接电弧向一定的方向偏吹,这种现象称为焊接电弧的磁偏吹,如图 1-8(a)所示,从图中可以看出,在焊件连接焊接电缆的一侧,由于通过焊接电流而产生了磁力线;而焊件的另一侧不通过焊接电流,不产生磁力线。这样使电弧周围的磁力线分布很不均匀,弧柱受到磁力线分布较密一侧的作用力,产生了磁偏吹。当焊接电流越大时,电弧的磁偏吹也就越严重。磁偏吹会导致焊缝产生气孔、未焊透和焊偏等缺陷,必须采取措施加以消除。

焊接过程中,为防止和减少磁偏吹现象,可采用适当改变焊件接地线部位的方法,如图 1-8(b)所示,使弧柱周围的磁力线分布均匀。另外,尽可能采用短弧操作,使磁场对电弧的作用力减弱,或适当调整焊条的倾斜角度,使焊条朝电弧偏吹方向倾斜。

实践证明,在采用交流电焊接时,由于磁场变化不形成固定的磁力线疏密状态,因此,磁偏吹现象不明显。

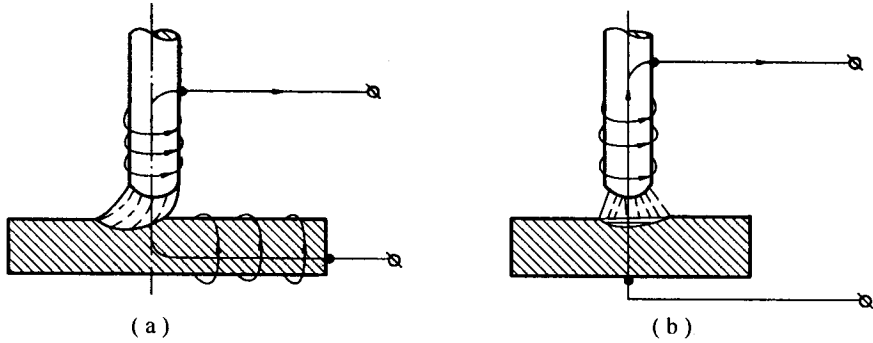


图 1-8 接地线部位对磁偏吹的影响

第二节 焊接冶金基础

一、焊接冶金的特点

1. 焊接熔池的构成

熔焊时在焊接热源作用下,焊件上所形成的具有一定几何形状的液态金属部分,称为焊接熔池。在电弧焊时热源就是电弧,当电弧移开时,熔池温度迅速下降,液态金属凝固后就形成焊缝金属,如图 1-9 所示。

焊接熔池是焊接过程冶金反应集中的部位。在一定的热功率条件下,焊接速度与焊接熔池存在时间的关系见表 1-4。从表中可以看出,降低焊接速度可增加焊接熔池的存在时间,即熔池存在时间与焊接热输入成正比关系。

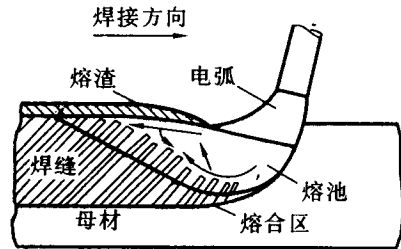


图 1-9 焊接熔池的构成示意图

表 1-4 焊接速度与焊接熔池存在时间的关系

焊接方法	焊条电弧焊					埋弧自动焊				
	3	5	7	9	11	30	40	50	60	70
焊接速度/(m/h)										
焊接熔池存在时间/s	30	18	13	10	8.2	12	9	7	6	5.2

焊缝金属是熔化了的基本金属和填充金属,经过相应的冶金反应后形成的合金。它的性能随着基本金属和填充金属在焊缝中的比例不同而改变,两者所占的比例与焊接方法、焊接规范、焊件厚度以及坡口形式等因素有关。焊条电弧焊和埋弧自动焊其焊缝中基本金属和填充金属所占比例见表 1-5。