



全国“星火计划”丛书

王嘉玲 编著

焊接质量与焊条使用

焊接质量与焊条使用

王嘉玲 编著

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

图书在版编目(CIP)数据

焊接质量与焊条使用/王嘉玲编著. —北京:国防工业出版社,
1994

ISBN 7-118-01122-3

I. 焊…

II. 王…

III. ①焊接—质量控制②焊条—应用

IV. TG44

焊接质量与焊条使用

王嘉玲 编著

责任编辑 李永亨

*

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 529 千字

1994 年 6 月第 1 版 1994 年 6 月北京第 1 次印刷 印数 1—4000 册

ISBN 7-118-01122-3/TG·75

定价: 23.50 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

目 录

绪论.....	(1)
第一章 手工电弧焊的基本知识.....	(2)
第一节 焊接电弧	(2)
第二节 焊缝和焊接接头的基本型式与焊缝符号	(11)
第三节 焊条的熔化及熔滴过渡的形式和特征	(24)
第四节 焊接熔池的特征及焊缝的形成	(31)
第二章 焊接接头缺陷的形成和控制.....	(37)
第一节 焊接接头缺陷的类型及其特点	(37)
第二节 焊缝的结晶偏析和夹杂	(40)
第三节 焊缝中的气孔	(49)
第四节 焊接裂纹	(58)
第五节 焊接热裂纹	(62)
第六节 焊接冷裂纹	(78)
第七节 层状撕裂	(100)
第八节 再热裂纹	(106)
第九节 应力腐蚀裂纹	(115)
第三章 影响焊接质量的因素及提高焊接质量的方法	(125)
第一节 焊接化学冶金过程对焊缝质量的影响	(125)
第二节 焊接热循环对焊接接头组织和性能的影响	(161)
第三节 焊接应力与变形对焊接质量的影响	(185)
第四节 焊接方法和工艺对焊接质量的影响	(201)
第四章 焊条及其使用	(227)
第一节 焊条的组成、分类及特性	(227)
第二节 常用典型焊条的冶金性能	(237)
第三节 常用典型焊条的工艺性能	(244)
第四节 焊条的合理选用	(249)
第五节 超低氢型焊条	(273)
第五章 焊接质量的检验	(281)
第一节 焊前及焊接过程的质量检验	(281)
第二节 焊接接头的外观检查	(286)
第三节 焊接接头的无损检验	(287)
第四节 焊接接头的机械性能试验	(314)
第五节 焊接接头的金相组织检验	(326)
第六节 焊缝金属和熔敷金属的化学成分检验	(328)
第七节 焊接成品的致密性检验	(329)

第八节	受压容器焊接接头的强度检验	(330)
第九节	焊接质量管理	(332)
第六章	焊接断口分析	(337)
第一节	金属断裂类型	(337)
第二节	断口的宏观分析	(339)
第三节	典型断口的微观分析	(345)
第四节	焊接裂纹断口形貌	(353)

绪 论

焊接技术已广泛应用于国民经济的各个部门,如机械、桥梁、建筑、压力容器、船舶、电子以及尖端的航天、海洋和核动力工程等,在世界主要工业国家每年生产的焊接结构占全部钢产量的 45%左右,所以一个国家的焊接技术的发展水平,标志着一个国家工业和科学技术现代化的进程。

随着工业生产和高新技术的日益发展,焊接结构朝着大型化、复杂化、高容量、高参数方向发展(动载、弹韧性、高压、高温、低温、耐蚀、耐磨和微型精密焊接等),其复杂程度越大,工作条件越苛刻,造成焊接事故也越频繁,事故的危害性也越为严重,所以提高和保证焊接质量已成为当前焊接生产中的关键问题。

焊接结构或焊件的不能满足使用要求,或造成破坏事故,它们总是在内因或(和)外因的条件下形成的。内因是指焊接缺陷、设计不当和制造不良;外因主要指外界载荷、温度等工作条件以及焊接质量的检验。为了找出酿成事故的原因,提高焊接质量,就需要系统地分析焊接质量,所以本书综合焊接冶金学、焊接金属学、焊接金相学和焊接力学的基本理论,以及焊接质量与正确合理使用焊条的相关问题,作了系统全面地介绍。《焊接质量与焊条使用》即是为保证和提高焊接质量而撰写的。

本书共六章,第一章手工电弧焊的基本知识,第二章焊接接头缺陷的形成和控制,第三章影响焊接质量的因素及提高焊接质量的方法,第四章焊条及其使用,第五章焊接质量的检验,第六章焊接断口分析。其中第五章由杨玉玲编写,其余各章均由王嘉玲编写。

本书在编写过程中,曾得到太原工业大学徐璞教授的热情帮助和指导,王宝教授的审稿,在此表示谢意。

由于编者水平有限,书中若有错误和不足之处,敬请大家批评指正。

编者 1992.10

第一章 手工电弧焊的基本知识

手工电弧焊,简称手弧焊。由于它所需要的设备简单,操作灵活,方便,对空间不同位置、不同接头型式、不同焊缝都能简便地实现优质焊接,因此,直到目前为止,手弧焊在焊接生产中的应用仍占据着很重要的地位。本章主要介绍手弧焊过程中的一些基本知识和基本规律,从而能够解析和保证手弧焊的焊接质量。

第一节 焊接电弧

电弧是电弧焊的能源。电弧焊能够在焊接领域中仍占主导地位,就是因为电弧焊能够简便而有效地实现将电能转变成焊接时所需要的热能和动能,以达到连接金属的目的。为了更好地认识电弧和电弧焊接过程中的一些现象,以及更好地应用电弧,指导焊接实践,现对焊接电弧的微观过程、构造和它的特性,作一概要阐述。

一、焊接电弧的微观过程

焊接电弧是由两个电极和它们之间的气体空间组成的一种持续强烈的气体放电现象。电弧燃烧时,有电流从一极通过气体介质流向另一极,就是说,在两个电极之间的气体介质中存在着很多带电质点(电子、正离子、负离子),这些带电质点在两极之间的电场作用下向两极作连续的定向运动,于是形成了连续燃烧的焊接电弧。

一般情况下,气体介质以分子或原子的状态存在,因而它是不导电的。两极间带电质点的产生,主要依靠气体空间的电离和电极的电子发射两个微观过程。

(一)气体电离

气体电离就是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。由于电源将电压加于两极形成电场,电子在电场力的作用下急速运动,碰撞中性的气体分子或原子,将部分能量给予气体分子或原子中的电子,使它完全脱离原子核的束缚而逸出,则使气体分子或原子电离为电子和正离子,这种电离叫碰撞电离;气体分子或原子在高温下高速运动,具有很大的动能,它们相互碰撞也会发生电离,这种电离叫热电离。

电弧中的不同气体介质及元素的电离能力不同,也就是它们产生电离时,所需要的能量大小不同。使中性气体分子或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(eV)就是一个电子通过一伏特电位差空间所取得的能量,其数值等于 $1.6 \times 10^{-19} \text{J}$ 。电弧气氛中常见气体及元素的电离能,列于表 1-1。

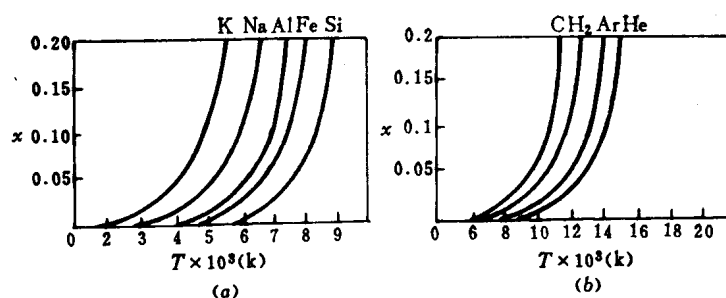
气体电离能的大小,说明电子脱离原子或分子所需外加能量的高低。在相同的外加能量条件下,电离能小的气氛提供电子、离子较容易,有利于电弧的稳定。由表 1-1 可知,碱金属和碱土金属 K、Na、Ca 等电离能很小,如果电弧气氛中有这些元素存在,则电弧空间的电子、离子就容易形成,气体的导电性就好,电弧就稳定。因此,在焊条生产中,常常在焊

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	5.98	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	I	10.45
CO ₂	13.8	Fe	7.87	Br	11.84
CO	14.01	W	7.98	Cl	13.01
HF	15.57	Si	8.15	F	17.42
		C	11.26		

条药皮中加入含这些元素的物质(如长石、碳酸钙等)。焊接时,由于电弧空间的气体介质中存在着低电离能的 K、Na 蒸汽,从而达到电弧稳定的目的,以保证焊接质量。卤族元素 F、Cl、Br 等电离能很大,使电弧不稳定。在实际应用的焊条焊剂中,常常为了焊接冶金的要求,或为了改善焊接熔渣性能而加入萤石(CaF_2),结果使电弧气氛中有 F 的蒸汽存在,对电弧的稳定性不利。这时,只能用直流电进行焊接。应该说明的是,电离能的大小,只是影响电弧稳定的许多因素之一,而不是唯一的因素。由表 1-1 可知惰性气体 Ar、He 等电离能都很大,但很稳定,故常用作焊接时的保护气体。

在焊接电弧中,由于电弧温度非常高,弧柱部分的温度高达 $5000 \sim 30000\text{K}$,手弧焊时电弧温度约 6000°C ,气体温度越高,气体分子或原子的运动速度也越高,即动能也越大,所以热电离是弧柱部分气体电离的主要途径。热电离的电离度 x 与温度 T 的关系,如图 1-1 所示。

图 1-1 某些元素热电离的电离度 x 与温度 T 的关系

电离度,即单位体积内被电离的粒子数(电子、离子)与气体电离前中性质点总数的比率,以 x 表示。图 1-1 指出电离度的大小,主要决定于温度高低和元素的电离能大小,元素的电离能越小,温度越高,则电离度越大。

(二)电子发射

阴极表面的分子或原子,接受外界的能量而释放出自由电子逸出到电弧空间的现象,称为电子发射。产生电子发射所需要的最低外加能量,称为逸出功,其单位也用电子伏特。逸出功的大小,与金属材料种类、金属表面状态有很大关系。几种金属及其表面具有吸附薄膜时的逸出功,列于表 1-2。由表 1-2 可见,若金属表面存在氧化物或其它杂质的吸附薄膜时,则其逸出功减小。如在钨极上加入钽或铈的氧化物时,其电子发射能力明显提高,所以可以提高引弧性能。

表 1-2 几种金属及其表面具有吸附薄膜时的逸出功

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。

电子发射是形成焊接电弧(即引弧)和维持电弧稳定燃烧的一个很重要的因素。根据外加能量形式的不同,电子发射机构可分为热发射、强电场作用下的自发射、光发射和重粒子碰撞发射。在焊接电弧中,电极的热发射和强电场作用下的自发射,起着十分重要的作用。金属表面受热后,某些电子具有大于逸出功的动能而产生电子发射现象,称为热发射。随着金属表面的温度越高,电子获得的动能越大,逸出的电子数量越多,热发射作用就增强。当金属表面的温度不高,但存在强电场并在表面附近形成较大的电位差时,在电场力的作用下,使阴极有较多的电子发射出来,这种现象称为强电场作用下的自发射,简称自发射。电场越强,发射出的电子形成的电流密度就越大。

在焊接电弧中,电子发射的形式,与电极材料有关。当使用沸点较高的钨或碳作阴极材料时(其沸点分别为 5950K 和 4830K),电极可能被加热到很高的温度,这时阴极区主要靠热发射来提供电子;当使用沸点较低的铜、铝等作阴极材料时(其沸点分别为 2868K 和 2333K),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发射提供足够的电子,这时阴极区主要靠自发射来提供电子;当使用铁作阴极材料时,其沸点(沸点为 3013K)介于以上两者之间,这时热发射和自发射都起着重要作用。

焊接电弧的微观过程,如图 1-2 所示。

图中,电弧的阴极和阳极,分别与电焊机的负极和正极联接,阴极在热和电场作用下,不断地从阴极斑点(即阴极表面特别明亮的高温区)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”。二次电子在电场力作用下,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

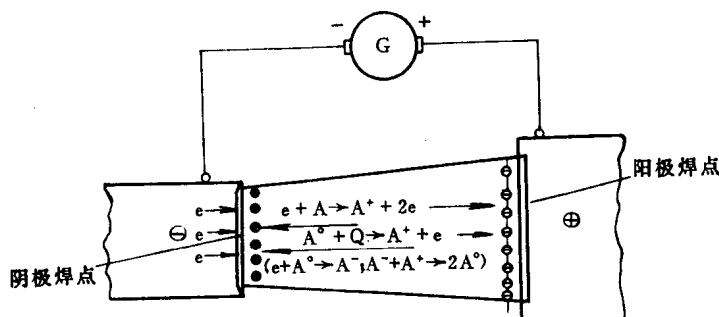


图 1-2 焊接电弧中微观过程示意图

G—电焊机； e^- —电子； A° —中性原子； A^+ —正离子； A^- —负离子；“ e^- ”——电子流；“ A^+ ”——离子流。

中的气体(包括金属和复杂化合物的蒸汽)在电弧的高温下,发生一系列的热分解过程(从复杂化合物→简单化合物→分子→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(电焊机)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。焊接电弧的引燃(引弧)也说明了这一点。

电弧焊时,一般采用接触引弧(短路引弧)。以手弧焊为例,弧焊电源接通后,首先使焊条与工件直接短路接触,使焊接回路短路,然后迅速将焊条提起,从而引燃起弧。由于焊条端面和工件表面,并不是绝对平整的,在短路接触时,实际上只是在个别突出点上相互接触,如图 1-3 所示。这时,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,所以产生了大量的电阻热,使焊条和工件接触部分的温度迅速升高而熔化甚至蒸发,在高温作用下,使接触点周围的气体发生热电离;使高温金属发生热发射。然后,当提起焊条时,由于两极间隙极小,电焊机加于两极的空载电压在间隙中造成了强电场,因而自发射很强烈。在强电场作用下,又使已产生的带电质点得到加速、互相碰撞,引起介质的碰撞电离。随着温度的增加,热电离进一步增强,同时,焊条与工件间已充满了高热的、易电离的金属蒸汽和焊条药皮产生的气体,受到具有较大动能的电子撞击和气体分子或原子间的相互碰撞,使电弧中的带电质点的数量猛增,进一步提高了气体的导电能力,使电弧得以稳定的燃烧。电弧引燃后,电离和中和(带电粒子的复合)粒子处于动平衡状态。中性质点因吸收能量而电离成为带电质点,带电质点在复合过程中则析出能量(热能和电磁波)。这种过程在焊接电弧中是极迅速的,不断反复进行,就形成了具有强烈光和大热量的焊接电弧。

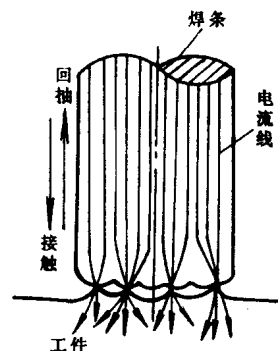


图 1-3 电弧的引燃

在强电场作用下,又使已产生的带电质点得到加速、互相碰撞,引起介质的碰撞电离。随着温度的增加,热电离进一步增强,同时,焊条与工件间已充满了高热的、易电离的金属蒸汽和焊条药皮产生的气体,受到具有较大动能的电子撞击和气体分子或原子间的相互碰撞,使电弧中的带电质点的数量猛增,进一步提高了气体的导电能力,使电弧得以稳定的燃烧。电弧引燃后,电离和中和(带电粒子的复合)粒子处于动平衡状态。中性质点因吸收能量而电离成为带电质点,带电质点在复合过程中则析出能量(热能和电磁波)。这种过程在焊接电弧中是极迅速的,不断反复进行,就形成了具有强烈光和大热量的焊接电弧。

二、焊接电弧的构造及热量和温度的分布

为了更好地认识和合理地使用电弧,指导焊接实践,应该掌握焊接电弧的构造、热量和温度分布。

焊接电弧是由沿着其长度方向的三个区域组成的,如图 1-4 所示。

由图 1-4 可见,沿电弧长度方向各个区域的电压降分布,并不是均匀的。电弧与电源负极所接的一端为阴极区,其电压称为阴极电压降;与正极相接的一端为阳极区,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;它们组成了总的电弧电压 U_a ,用下式表示:

$$U_a = U_A + U_K + U_C$$

阴极区和阳极区沿电弧长度方向的尺寸皆很小,阴极区的宽度约为 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm}$,阳极区的宽度比阴极区大些,约为 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm}$,因此,弧柱的长度近似等于电弧的长度。

焊接时,电弧将电能转变为热能,阴极区和阳极区的热量是焊接过程中,可以直接利用的热量,利用这热量来加热、熔化焊条与工件,使之熔合,以达到焊接的目的。电弧中各个区域的热量和温度分布,是不均匀的。阴极区和阳极区两个电极上的温度较低,而弧柱温度较高,这是因为阴极区和阳极区温度的升高受电极材料熔点和沸点的限制,通常情况下,它们的温度低于电极材料的沸点。表 1-3 为不同电极材料时阴极、阳极的温度。

表 1-3 不同电极材料时阴极与阳极的温度

电极材料	阴极温度 (K)	阳极温度 (K)	电极材料沸点 (K)
碳	3500	4200	4830
铁	2400	2600	3013
铜	2200	2450	2868
镍	2370	2450	2730
钨	3640	4250	5950

由表中的数据可以看出,阳极的温度高于阴极的温度,这是因为阳极区的电流全部是电子流,电子到达阳极时将其动能和位能(逸出功)给予阳极,使阳极发热;阴极区提供的电子流与总电流相近,这些电子在阴极压降的作用下跑出阴极并受到加速作用,而获得能量,这是阴极区热能的主要来源,但这些电子从阴极表面逸出时要克服阴极表面的束缚而消耗能量,故阴极获得的能量比阳极小,温度也比阳极低。一般情况下,阳极区产生的热量约为电弧总热量的 43%,阴极区产生的热量约为电弧总热量的 36%。因此,在用直流电焊接时,有正接法(将工件接到电焊机正极,焊条接至负极)和反接法(与正接法相反)之分。极性的选择,应考虑焊条的性质和焊件所需的热量多少。当使用碱性焊条(如 E5015)焊接时,为了使电弧稳定,采用直流反接法;而使用酸性焊条,交直流均能使电弧稳定,如若使用直流电焊接,则通常采用正接为宜,因为电弧正极的热量高,工件能获得较大的熔深。

弧柱温度在 $5000 \sim 30000 \text{K}$ 之间变化,一般电弧焊时,弧柱温度为 $5000 \sim 8000^\circ\text{C}$ 。弧

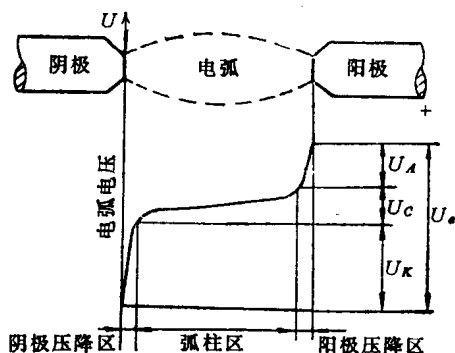


图 1-4 电弧的构造和电压分布

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。

柱的热量和温度受气体介质种类、电流大小、电极材料等因素的影响。凡存在易电离的气体介质时,弧柱温度就有所降低,如焊条药皮中含有易电离的钾、钠等稳弧剂,电弧中有钾、钠蒸汽时,则弧柱温度较低。易电离气体介质与空气比较对弧柱温度的不同影响,如表 1-4 所示。相反,若存在降低电弧燃烧稳定性的难电离物质,特别是形成负离子的氟(F),由于氟与电子结合形成 F^- ,则能补充释放能量,因而能显著提高弧柱的热量和温度。

表 1-4 易电离气体介质与空气比较对弧柱温度的影响

电极材料	气体介质	电流(A)	弧柱温度(K)
低碳钢	空气	280	6100
低碳钢	Na_2CO_3 蒸汽	280	4800
低碳钢	K_2CO_3 蒸汽	280	4300

弧柱温度的分布并不是均匀一致的,中心轴温度最高,远离弧柱中心逐渐降低;焊接电流的大小,对弧柱温度高低的影响,如图 1-5 所示。焊接电流增大,弧柱温度增加。

提高气体介质的压力,也能使弧柱温度增加,例如在 10A 电流下,介质氮的压力为 1 大气压时,弧柱温度为 6400K;当介质氮的压力为 10 大气压时,弧柱温度为 7470K;当介质氮的压力为 100 大气压时,弧柱温度则为 8800K。等离子弧焊接或切割时,其弧柱温度高达几万度以上,其中就有气体压力的作用。

弧柱部分的热量对流损失约占 80% 以上,传导和辐射约占 10% 左右,所以一般电弧焊接过程中,弧柱的热量只有很少一部分通过辐射传给焊条和工件,大部分热量都散失于周围气体介质中。

以上阐述的是直流电弧的热量和温度的分布。在交流电弧中,是由 50Hz 按正弦规律变化的电源供电,电弧电流每秒种有 100 次过零点,所以两个电极的温度趋于一致,近似于它们的平均值。

总结以上的讨论可知,焊接电弧作为焊接热源,其特点是温度很高,热量非常集中,所以金属的熔化速度快。使金属熔化的热量,主要来自于两极,弧柱温度虽高,但大部分的热量都散失于周围气体中,对金属熔化不起主要作用。

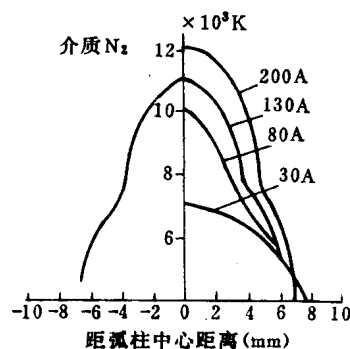


图 1-5 电流变化与弧柱温度的分布

三、焊接电弧的静特性

以一定弧长稳定燃烧的电弧,其电弧电压与电弧电流之间的关系,称为焊接电弧的静态伏安特性,简称伏安特性或静特性。在一定弧长下,当电弧电流高速变动,使电弧达不到稳定状态时,电弧电压与电弧电流之间的关系,称为焊接电弧的动特性。

焊接电弧作为焊接回路中的负载,是非线性负载,即电弧电压与电弧电流之间不成正比例关系。电弧的静特性曲线近似呈 U 形曲线,如图 1-6 所示,由三段组成。当电流较小时(图中 ab 段),电弧是负阻特性,电弧电压随电流的增加而减小,电弧呈下降特性段;当

电流增大时(图中 bc 段),电弧电压不随电流变化,电弧呈等压特性(平特性);当电流更大时(图中 cd 段),电弧电压随电流增加而增高,电弧呈上升特性。当各种工艺因素变化时,使电弧的静特性曲线虽有不同的数值和变化规律,但都是如图 1-6 那样近似呈 U 形曲线的规律。电弧电压(U_a)是阴极压降(U_K)、弧柱压降(U_c)和阳极压降(U_A)之和,即 $U_a = U_K + U_c + U_A$ 。电弧电流较小时(ab 段),弧柱断面随电流的增加而增大,同时电流的增加,使弧柱的温度及电离度均增高,因而弧柱的电导率增强,因弧柱的电流密度基本不变,使 U_a 下降,所以 ab 段呈下降特性。当电流稍有增大时(bc 段),弧柱断面随电流的增加而按比例增大,弧柱的电流密度不变,此时随电流的稍大,弧柱温度的进一步上升有限,即电离度增高有限。故 U_a 几乎不变,所以 bc 段是平特性。在电流很大的情况下(cd 段),随电流的增加弧柱断面不能再增大了,弧柱的电流密度随电流的增加而增加,弧柱的电导率基本不变,所以在电流很大的情况下,随着电流的增加,电弧电压 U_a 升高, cd 段呈上升特性。

对于各种不同的弧焊方法,由于采用的气体介质、电极材料以及电弧燃烧条件的不同,因而它们的电弧静特性曲线有所不同;而且,在其正常使用范围内,并不包括电弧静特性曲线的所有段。电弧静特性曲线的下降段由于电弧燃烧不稳定,所以很少应用。对手弧焊、埋弧焊在其应用的电流范围内,可以认为电弧电压仅与电弧长度有关,而与焊接电流大小关系很小,故其主要工作在静特性曲线的平特性段,如图 1-7 所示。非熔化极气体保护焊,等离子弧焊、微束等离子弧焊,也主要工作在平特性段;当焊接电流较大时,才工作在上升特性段;熔化极气体保护焊主要工作在上升特性段,如图 1-8 所示。

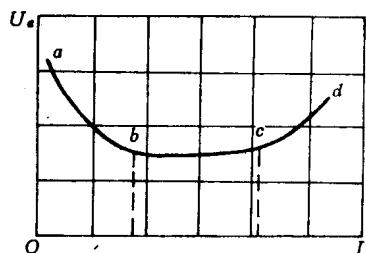
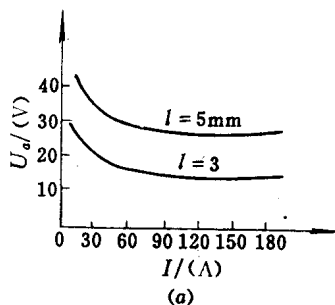


图 1-6 焊接电弧的静特性曲线



(a)

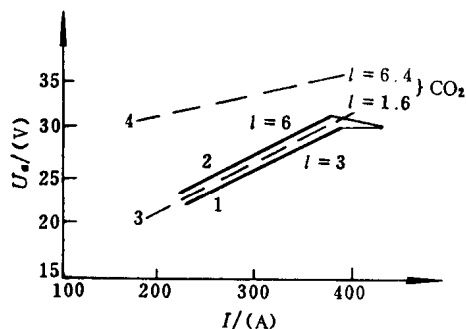
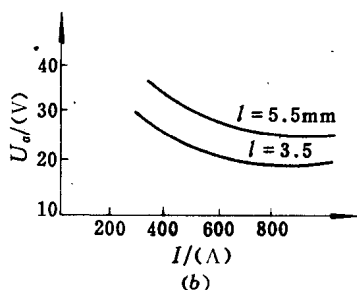


图 1-8 熔化极气体保护

焊电弧静特性曲线

l —弧长;1,2—氩弧焊电弧静特性曲线;
3,4—二氧化碳气体保护焊电弧静特性曲线。



(b)

图 1-7 手弧焊与埋弧焊的电弧静特性曲线

(a)手弧焊;(b)埋弧焊(直流电源,焊丝 $\phi = 2.4\text{mm}$)。

l —弧长。

四、影响焊接电弧稳定性的因素

电弧焊时,因电弧不稳定使焊道与母材之间或焊道与焊道之间,熔合不良、焊缝成形不好、并易产生气孔和夹渣等焊接缺陷。所以,焊接电弧是否稳定燃烧,能直接影响焊接过程的稳定性和焊接质量的优劣。若在保证焊接电弧的稳定,必须把焊接材料(焊条、焊丝等)、焊接电源和焊接工艺等条件,应有恰当地匹配。影响电弧稳定性的因素,除操作技术不熟练外,主要有如下几方面:

(一)弧焊电源的影响

弧焊电源的种类和特性,都会影响电弧的稳定性。弧焊电源有直流弧焊电源、交流弧焊电源、脉冲弧焊电源和逆变弧焊电源(新型弧焊电源)。因此,相应的焊接电流,有直流、交流和脉冲三种基本种类。目前,脉冲弧焊电源,主要用于要求较高的焊接工作;在生产实际中广泛使用直流和交流弧焊电源。直流电源的电弧稳定性,明显优于交流电源,这是因为用交流电施焊时,电弧电流每秒钟有100次经过零点并改变极性,当电弧电流经过零点时,电流瞬时值为零,电弧熄灭,下半周必须重新引燃。这样使电子发射和气体电离减弱,造成电弧不稳。用直流电施焊时,不存在上述现象。尽管交流电焊机在焊接回路中,都有合适的电感缩短电弧熄灭时间来提高交流电弧的稳定性,但与直流电弧相比,还是远远不够的。所以稳弧性差的碱性低氢焊条和高氟型焊剂,一般采用直流电源才能进行焊接。

此外,空载电压过低,使电弧熄灭时间加长,也使电弧稳定性下降。空载电压过低的原因,可能是电焊机本身结构特点造成,其输出空载电压过低,也可能是供电网路电压太低,造成焊接电源空载电压过低,不仅使电弧稳定性下降,甚至造成引弧困难。

(二)焊接材料(焊条、焊剂等)成分的影响

如果在焊条药皮或焊剂中不加入稳弧剂,则焊接电源的空载电压必须大于100V,才能获得稳定的交流电弧。但空载电压高,则会带来对人身的不安全,增加材料消耗,降低功率因数等不利后果,所以,提高空载电压是有限度的。一般应通过改善焊接材料的性能,来解决这个问题。焊接材料的稳弧性,与它的化学成分有关。前已述及不同元素的电离能不同,元素的电离能越小,越易电离。焊接材料中如含有易电离元素及其化合物,则电弧稳定性好。最常用的办法,是在焊条药皮或焊剂中,加入电离能比较小的物质,如钾、钠、钙的氧化物,以降低电弧空间的电离能,提高电弧气氛的导电性。酸性焊条药皮中,含有较多的云母、长石、钛铁矿及钾钠水玻璃等易电离的物质,因此一般情况下采用交流电施焊,电弧稳定性也好。碱性低氢型焊条和高氟型焊剂,一般只适于采用直流电焊接。其原因在于,焊条药皮或焊剂中总是存在氟化物(萤石 CaF_2)。卤族元素不仅电离能高,而且与电子亲和力大,能夺取电子而形成负离子,因此影响电子流的正常运动,恶化电弧燃烧稳定性,以致无法用交流电焊接。

此外,焊条药皮偏心、焊条药皮熔点过高等,都会造成电弧不稳定。焊条药皮偏心,焊接时焊条端部会产生“马蹄形”套筒;焊条药皮熔点过高,焊接时在焊条端部会产生过长的套筒,因而使电弧燃烧不稳定。

(三)焊接电流的影响

电弧温度随焊接电流的增大而提高,电弧温度高,则弧柱气体的热电离增高,热惯性作用显著,导致引燃电压降低,有利于电弧稳定。实验测定表明:随着电流的增大,引燃电压下降;随着电流的增大,自然断弧的最大弧长也增大。当然焊接电流过小,就会降低弧柱

气体的电离,使电弧不稳;电流过大,会产生焊接缺陷。所以,焊接时要选用大小适宜的电流,才能使焊接过程顺利进行,保证焊接质量。

(四)焊接区清洁度和气流的影响

焊接区若有油漆、氧化皮、油污等过多,或在强大气流中进行焊接,气流能吹偏电弧而拉长,这些都会降低电弧的稳定性。

(五)电弧的磁偏吹影响

任何载流导体周围,都要产生磁场。电弧是导通电流的导体,所以电弧周围也产生磁场,这种自身磁场不仅使电弧挺直,而且有力。当沿电弧轴线周围磁场强度对称时,即电弧周围磁力线的分布密度对称时,电弧才能保持轴向对称。若由于某些原因使电弧周围磁力线分布的对称性受到破坏,则使电弧四周受力不对称,致使电弧偏向一侧,这种现象称电弧的磁偏吹。用直流电焊接时,经常产生磁偏吹,造成电弧不稳,操作难以控制,影响焊接过程和焊接质量。造成电弧周围磁场分布不对称,概括有以下原因:

1. 导线接线位置引起的磁偏吹

这种情况可由图 1-9 说明。如图所示,焊条与工件垂直,导线接在工件的一侧。焊接时,电流只从工件的一侧通过,造成通过工件的电流产生的磁力线,与通过电弧和焊条的电流产生的磁力线在电弧左侧的空间相叠加,增大了该处磁力线密度,而电弧右侧的空间只有电流通过电弧本身产生的磁力线,因此,右侧磁力线密度小。根据“左手定则”磁力线密度大的一侧产生对电弧的推力,并指向磁力线密度小的一侧,使电弧偏离焊条轴向,形成电弧的磁偏吹。

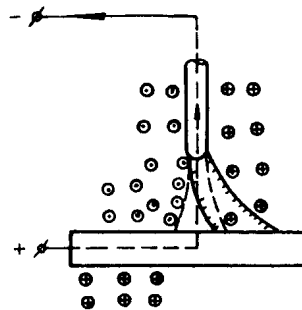


图 1-9 导线接线位置引起的磁偏吹

2. 电弧附近的铁磁物质引起的磁偏吹

当电弧一侧有大的铁磁物质存在时,则电弧偏离焊条轴线指向铁磁物质,如图 1-10 所示。在电弧一侧有铁磁物质时,铁磁物质是良导磁体,磁力线力求走磁阻小的通路,使较多磁力线由铁磁物质中通过,因而使该侧空间的磁力线密度显著降低,引起磁场在电弧两侧分布不均匀,致使电弧偏向有铁磁物质的一侧。电弧一侧的铁磁物质越大或距离越近,引起磁力线密度分布不均匀越加剧,故电弧的磁偏吹越严重。这种磁偏吹对坡口中的电弧尤为明显,如图 1-11 所示。如图中 V 型坡口对接焊缝时,在

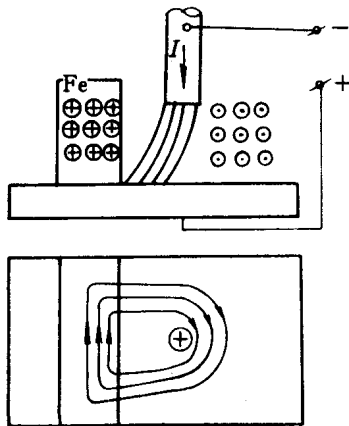


图 1-10 铁磁物质引起的磁偏吹

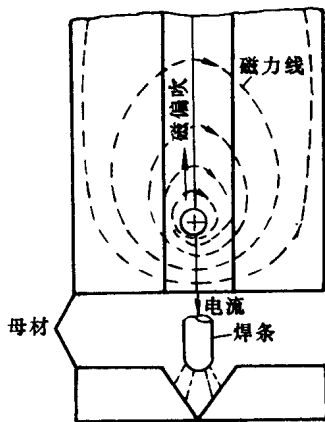


图 1-11 接头型式对磁偏吹的影响

运条过程中焊条摆向哪一侧,电弧就向哪一侧偏吹;或焊接一个工件时,当电弧走到工件的端部时,也容易发生电弧向工件一侧的磁偏吹现象,如图 1-12 所示。这都是由于上述的空间磁力线密度的不均匀而造成的。

焊接过程中可采用以下措施,消除和减少磁偏吹。尽可能用短弧焊进行焊接,因为短弧时,磁场对电弧的作用力减弱,磁偏吹现象也要减弱,电弧越短,磁偏吹越小;调整焊条倾角,将焊条朝着磁偏吹的方向倾斜;选择恰当的接线位置,如图 1-13 所示,工件两侧都接线,焊接电流从两侧流过,电弧两侧产生的磁场均匀,故不会产生磁偏吹。

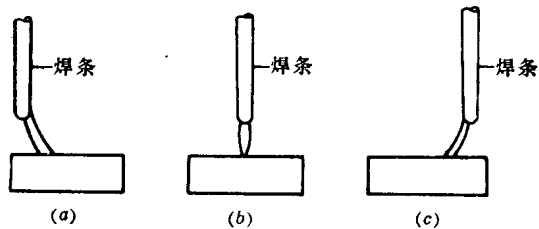


图 1-12 工件端部的磁偏吹

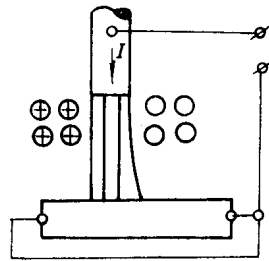


图 1-13 工件两侧接线磁场均匀

实践证明,如采用交流电焊接时,交流电弧的磁偏吹比直流电弧的磁偏吹要弱得多,不影响焊接操作。

第二节 焊缝和焊接接头的基本型式与焊缝符号

焊缝与焊接接头的型式多种多样,由于结构特征、板材厚度、工作条件、载荷性质以及对焊接质量的要求不同等,所以要选择最合适的焊接接头型式。不合理的焊接接头型式,不但可能使结构制造困难,提高焊接结构的生产成本,而且往往可能降低结构的承载能力和使用寿命,焊接质量很难保证达到预期要求。因此,焊接人员必须熟悉焊缝和焊接接头的型式。

一、焊缝的基本型式

焊缝金属是由焊条金属及部分母材金属(焊件金属)熔融结晶组合而成的,它是组成焊接接头的主要部分。焊缝的基本型式,有对接焊缝和角接焊缝。

1. 对接焊缝

对接焊缝焊接边缘,可分为卷边、平对。根据板厚、焊接方法、对焊接质量要求和生产条件等,可加工成 V 形、U 形、X 形和 K 形等坡口型式,如图 1-14 所示。坡口尺寸,应按国家标准(GB—985—80 和 GB—986—80)确定。

图 1-14(a)为卷边接头,一般用于薄板金属,焊前将接头边缘卷边。焊接时,可以不加填充金属,靠电弧将卷边熔化,待金属凝固后即形成焊缝。这种焊缝的主要特点是生产率高,但承载能力低。图 1-14(b)为不开坡口的对接焊缝,一般适用于小于 8mm 钢板的对接。为了保证焊透,接边之间需留 1~2mm 间隙,随板厚增大,间隙也需相应增大。这种焊缝的接边制备和装配较方便,消耗焊条量少,生产率高。对于比较厚的工件,为了确保焊缝质量,接边先开坡口。图 1-14(c)为 V 形坡口,适用于板厚为 3~26mm 的工件。图 1-14

(d)为U形坡口,适用于板厚为12~60mm的工件。图1-14(e)为X形坡口,适用于板厚为20~60mm的工件。图1-14(f)为K形坡口,适用于板厚为大于12mm的工件。

一般情况选择坡口时,应主要考虑以下问题:

首先,考虑是否能够保证熔深和便于焊接操作,例如,对内径很小的容器、轴和转子等的对接焊缝,应尽量选用V形或U形坡口,使焊接工作在外部进行。还应根据具体生产条件,考虑坡口型式应易于加工,例如V形和X形坡口可用机械切削加工,亦可用气割或等离子切割等加工方法,但U形和双U形坡口,一般需用刨边机加工。其次,应考虑焊条的消耗量,对于厚度相同的工件,采用X形坡口比V形坡口能节省较多的焊条、工时和电能。同时,还应考虑焊接时工件的变形尽可能小些,采用适宜的坡口型式,例如,选用焊缝金属少的坡口型式,对减少变形是有利的,再配之合理的工艺,能有效地减小焊接变形;若采用不适宜的坡口型式,则容易产生较大的焊接变形。

2. 角焊缝

角焊缝是一种应用广泛的焊缝。与对接焊缝相比,角焊缝的实际受力情况在具体结构上是比较复杂的,存在较高的应力集中、动载强度较低。按截面形状,角焊缝可分为四种,如图1-15所示。在这四种角焊缝中平形角焊缝应用最为广泛,各种截面形状的角焊缝的承载能力与载荷性质有关;当承受静载荷时,若母材塑性良好,角焊缝的截面形状对承载能力没有明显影响;当承受动载荷时,凹形角焊缝比平形角焊缝承载能力高,凸形的最低;对于不等腰的角焊缝,当长边平行于载荷方向时,承受动载荷效果较好。

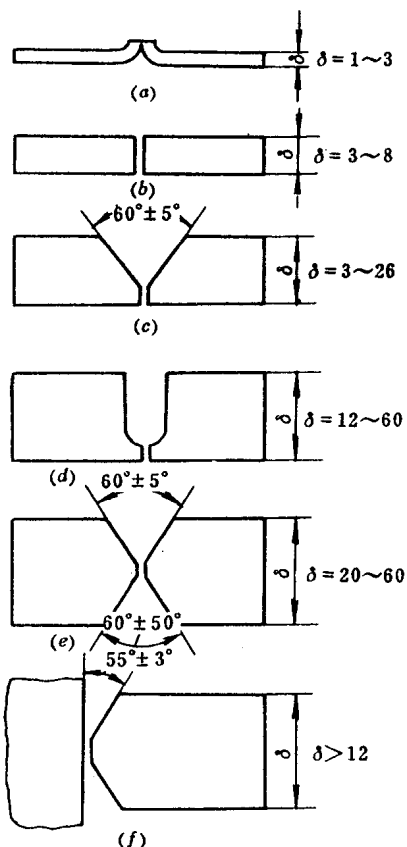


图 1-14 对接焊缝典型坡口型式

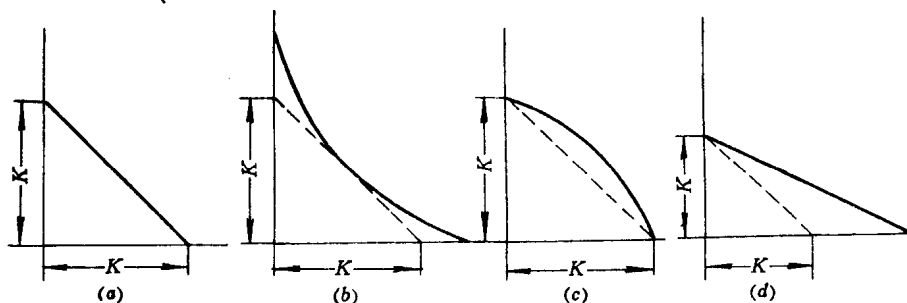


图 1-15 各种截面形状的角焊缝

(a)平形角焊缝;(b)凹形角焊缝;(c)凸形角焊缝;(d)不等腰的角焊缝。

K—焊脚。

按角焊缝承载方向,角焊缝可分为三种,如图1-16所示。焊缝与载荷 P 相垂直的角焊缝,称为正面角焊缝,如图中 l_3 段;与载荷 P 相平行的角焊缝,称为侧面角焊缝,如图中 l_1 和 l_5 。