

# 焊接工艺学

湖北省电力建设技工学校 成汉华 主编



(京)新登字115号

### 内 容 提 要

本书介绍了焊接电弧的基本概念,常见的焊接与切割方法,焊接材料,金属熔焊原理,焊接应力与变形,焊接检验,电厂常用金属材料的焊接。常见的焊接与切割方法中,主要介绍了手工电弧焊,气焊与气割,气体保护焊;对埋弧自动焊、等离子弧切割与焊接、火焰钎焊、碳弧气刨等作了一般介绍。

本书是电力技工学校焊接技术专业的教科书,也可作焊接专业的培训教材。

技工学校教材

焊接工艺学

湖北省电力建设技工学校 成汉华 主编

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市地矿局印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 14.25印张 321千字

1995年5月第一版 1995年5月北京第一次印刷

印数 0001—4070册

ISBN 7-120-02320-9/TK·324

定价 11.80元

## 前 言

本书为1989~1993年电力技工学校教材建设规划中的新编教材之一，是按照原水利电力部1988年3月颁发的《水利电力技工学校教学计划及教学大纲》编写的，有些内容结合新工艺的出现作了适当的增减。

本书绪论、第一章、第四章、第八章和第十章由湖北省电力建设技工学校王碧聪老师编写，其他各章均由成汉华老师编写，全稿由山西省临汾电力技校田晓明老师主审。湖北省电建一公司徐忠林工程师、王维中工程师及锦州电力技校、北京电力技校、上海电力技校、牡丹江电力技校等学校的有关老师为本书初稿提出了宝贵的意见。在此一并致谢。

由于编写经验不足，编写时间仓促，本书难免存在缺点和错误，恳请各校师生和读者提出批评指正。

编 者

1994年7月

ABE04/04

# 目 录

前言	
绪论	1
第一章 焊接电弧及熔滴过渡	4
第一节 焊接电弧及其引燃	4
第二节 焊接电弧的构造及燃烧稳定性	5
第三节 焊接时的极性和偏吹	6
第四节 电弧焊的熔滴过渡	9
复习题	12
第二章 手工电弧焊	14
第一节 焊接接头形式及标注方法	14
第二节 焊接工艺参数的选择	27
第三节 手弧焊常见缺陷及防止措施	30
复习题	32
第三章 电焊条	35
第一节 焊条的基本知识	35
第二节 焊条药皮	37
第三节 焊条的分类和型号的编制	40
第四节 焊条的规格、检验、选用和存放	47
复习题	49
第四章 金属熔焊原理	52
第一节 焊接热过程	52
第二节 焊接冶金特点	55
第三节 气体与焊缝金属的作用	55
第四节 熔渣与金属的作用	57
第五节 焊缝金属的结晶	61
第六节 焊缝中的气孔	63
第七节 焊接裂纹	65
第八节 焊接热影响区的组织和性能	70
复习题	72
第五章 气焊与气割	75
第一节 气焊与气割用材料	75
第二节 氧—乙炔焊	77
第三节 气割	82
复习题	85
第六章 气体保护电弧焊	87
第一节 气体保护电弧焊概述	87
第二节 氩弧焊的特点及其焊接材料	88

第三节	钨极氩弧焊	95
第四节	熔化极氩弧焊	103
第五节	二氧化碳气体保护焊	105
复习题		112
第七章	其他焊接与切割方法	114
第一节	埋弧焊	114
第二节	等离子弧切割与焊接	125
第三节	火焰钎焊	132
第四节	碳弧气刨	138
复习题		141
第八章	焊接应力与变形	143
第一节	焊接应力与变形的概念	143
第二节	焊接残余变形	145
第三节	焊接应力	158
复习题		164
第九章	焊接检验	167
第一节	破坏检验	167
第二节	无损检验	171
第三节	质量标准	178
复习题		181
第十章	电厂常用金属材料的焊接	183
第一节	电厂常用金属材料	183
第二节	金属材料的焊接性及焊接工艺评定	185
第三节	碳素钢的焊接	189
第四节	普通低合金钢的焊接	191
第五节	珠光体耐热钢的焊接	196
第六节	马氏体耐热钢的焊接	203
第七节	奥氏体不锈钢的焊接	206
第八节	铸铁的焊补	210
第九节	有色金属的焊接	214
复习题		218

# 绪 论

焊接在现代工业中已成为一种重要的金属加工工艺。随着科学技术的发展，它已成为一门独立的科学，广泛地应用于金属结构、桥梁、造船、航空、原子能、化工、建筑、交通运输、电力以及冶金、海洋工程等各行各业。在日常生活和工作中，到处可以看到焊接的足迹，特别是在电力建设和检修部门，焊接占有极为重要的地位。

## 一、焊接的发展概况

焊接技术的发展有着悠久的历史。我国劳动人民在长期的生产实践中，很早就掌握了金属的连接技术。早在春秋战国时期，我们的祖先已经懂得以黄泥作助熔剂，用加热锻打的方法把两块金属连接在一起。到唐代（公元7世纪）时，已应用锡焊和银焊来进行连接。现代焊接技术的发展是自1885年俄国人别那尔道斯发明碳极电弧作为工业热源的应用而开始的。到1886年美国人发明了电阻焊、1892年出现了第一台交流焊机后，焊接技术在工业上有所应用，但仍是微不足道。焊接技术真正迅速的发展是在1930年以后，焊接质量的提高，使电弧焊、电阻焊逐渐取代铆接，成为工业中一种基本加工工艺。到目前为止，已经发展为20多种基本焊接方法。应用最多、最广泛的是手工电弧焊、氧—乙炔焊、气体保护焊等。焊接技术在如此短的时期，被广泛用于各行各业，并取得了别的加工方法所不能代替的地位，显见其具有极大的优越性。

工业和科学技术不断地发展，许多设备日益向着高参数、大容量、高寿命、大型化的方向发展，因而不断提出许多具有特殊性质的材料、特殊结构形式的连接问题。如高强度钢、超高强度钢、不锈钢、耐腐蚀钢、铝合金、钛合金、耐热合金、各种活性金属、难熔金属、异种金属以及金属与非金属的连接等，都对焊接技术的经济性、质量和可靠性提出了越来越高的要求；同时为焊接基础理论的研究开拓了新的思路、新的方向。

## 二、焊接的含义及分类

焊接是一种极为广泛的永久性连接的方法。概括来讲，可以给焊接下如下定义：

通过加热或加压（或二者兼用），并且用（或不用）填充材料，使焊件达到原子间结合的一种加工方法，称为焊接。

由此可知，焊接与其他连接方式不同，不仅在宏观上建立了永久性的接头，而且在微观上也建立了组织之间的内在联系。

要使两部分金属材料达到永久性连接的目的，就必须使分离的金属相互非常接近（ $3 \sim 5 \text{ \AA}$ ,  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ ），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，使金属接触表面达到原子间的距离。为此，金属焊接必须采用加热或加压（或两者兼用）的方法。焊接能量可来自电能、化学能、机械能、光能等。

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。

熔焊，是在焊接过程中将焊件加热至熔化状态，不加压力完成的焊接方法。当被焊金属加热至熔化状态，金属原子在热能的作用下得以充分扩散和紧密接触，冷却后，便形成了牢固的焊接接头。常见的有气焊、电弧焊、电渣焊等。

压焊，是在焊接过程中对焊件施加压力（加热或不加热）以完成焊接的方法。这类焊接主要是通过加压增加表面的接触面积，促使金属表面的氧化膜破坏或挤出，以及使金属表面晶格发生变形并产生再结晶而形成牢固的接头。压焊可分两种：一种是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态，然后加压而形成焊接接头，如锻焊、电阻焊、摩擦焊和气压焊等；另一种是不进行加热，仅在被焊金属接触部分加很大的压力而形成焊接接头。如冷压焊、爆炸焊等。

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熔点、低于母材熔点的温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材互扩散实现连接的焊接方法。一般来讲，钎焊与熔焊、压焊在微观上有着原则上的区别，它虽也能形成不可卸的接头，但在连接处不能形成共同晶粒，如图0-1所示。

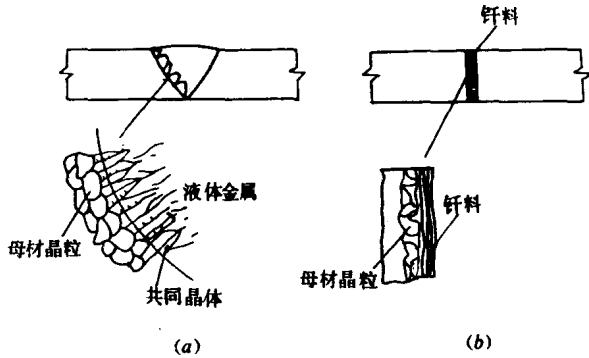


图 0-1 熔焊与钎焊的本质区别  
(a) 熔焊；(b) 钎焊

近百年来，随着科学技术的发展，各种焊接方法不断出现。图0-2列出焊接方法及其分

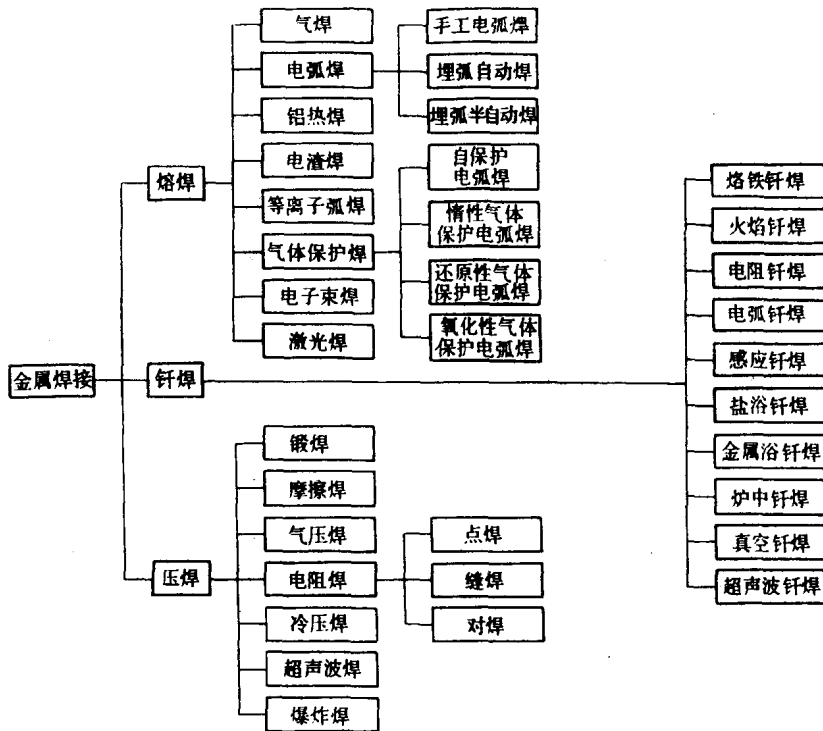


图 0-2 焊接方法及分类

类。至于金属热切割、表面堆焊、喷镀、镀膜、有机粘结等均是跟焊接方法相近的金属加工方法，通常也属于焊接专业的技术范围。

### 三、本课程的内容、学习目的和要求

《焊接工艺学》，是焊接专业的主要专业课程之一。课程的内容分四个大部分。

第一部分：绪论及第一章～第四章。主要介绍电弧焊基本理论及电焊条，使学生对焊接加工特点有一定认识。

第二部分：第五章～第七章。主要介绍常见的焊接方法及其它焊接方法，使学生对常用焊接方法、操作特点有一个全面的了解。

第三部分：第八章～第九章。主要介绍焊接应力与变形及焊接质量检验，对于提高焊接质量、防止缺陷产生提供理论依据。

第四部分：第十章。着重介绍电厂常用材料的焊接，使学生熟悉电厂常见金属材料的焊接方法、焊接工艺、焊接材料等。

学习本课程的目的通过基本理论的学习，使学生达到4～5级焊工的理论水平，具有分析金属材料焊接性的初步能力，为能正确选用焊接材料、工艺方法和制定合理的焊接工艺，分析和处理焊接过程中可能出现的问题打下一定的基础。

学习本课程应重视与物理、化学、制图、工程力学和金属材料及热处理等基础课程的结合，并注重与实验、实习环节的配合。只有这样，才能圆满完成本课程的学习任务。



# 第一章 焊接电弧及熔滴过渡

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里仍占着重要地位的一个重要原因，就是电弧能有效而简便地把电能转换成焊接过程所需要的热能和机械能。为了认识电弧焊，首先必须了解电弧是怎样实现这种能量转换和焊接中怎样利用这种能量的。本章从焊接电弧基本知识入手，分析电弧的热特性、力特性及其影响因素。

## 第一节 焊接电弧及其引燃

### 一、焊接电弧的概念

在日常生活中，经常可以看到气体放电的现象，如大自然中的闪电、某些接触不良的电器零部件会出现电火花等。但是焊接电弧与其有所不同，它不仅能量大，而且持续稳定。

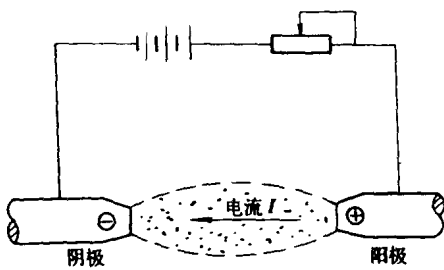


图 1-1 电弧示意图

因此我们把两极间气体产生持久而强烈的放电现象称为焊接电弧，如图1-1所示。

### 二、焊接电弧的引燃过程

电弧的引燃可以用如下两种方法：

第一种方法是将两极互相靠近到1~2mm的间距，这时，如果在两极间加有很高的电压（约1000V以上），那么在强电场的作用下，阴极上的电子即可克服内部正电荷对它的静电引力而逸出阴极表面，造成空气中放电而形成电弧。但是，这种方法因为电压极高，危险性很大，因此实际上采用较少。

第二种方法是先将两电极互相接触，然后迅速拉开至3~4mm的距离来引燃。手工电弧焊和埋弧焊就是利用这种方法引燃电弧的，如图1-2所示。

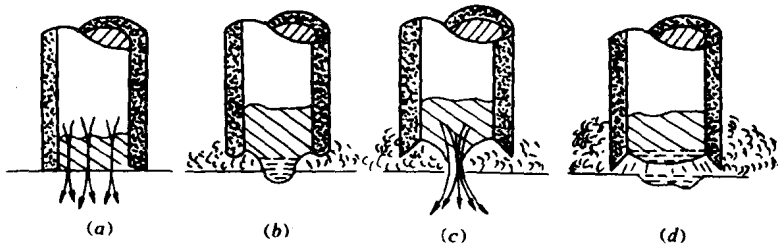


图 1-2 焊接时电弧的引燃过程

(a)焊条与焊件接触；(b)焊条与焊件熔化、蒸发、汽化；(c)进一步蒸发、汽化、形成细颈；(d)引燃电弧

## 第二节 焊接电弧的构造及燃烧的稳定性

### 一、焊接电弧的构造及产热

当两极之间产生电弧放电时，在电弧长度方向的电场强度并不是均匀的，实际测量得到的沿弧长方向电压分布见图1-3。

由图可知电弧由三个电场强度不同的区域构成。阳极附近的区域称为阳极区，其电压称为阳极电压降；阴极附近的区域称为阴极区，其电压称为阴极电压降；中间部分为弧柱区，其电压称为弧柱电压降。阳极区和阴极区在电弧长度方向尺寸皆很小，约为 $10^{-2} \sim 10^{-6} \text{ cm}$ 。

(1) 弧柱区：弧柱的温度一般较高，因气体种类、电弧压缩程度和电流的大小不同，约在 $5000 \sim 30000 \text{ K}$ 范围。弧柱气体将产生以电离为主的电离现象，使部分中性气体粒子电离为电子和正离子，在外加电场的作用下，产生定向运动，即电子向正极运动，正离子向负极运动，故可把弧柱看成是导通电流的导体。弧柱区除了发生电离外，还存在负离子的产生，带电粒子扩散和复合过程。

另外，弧柱区的径向温度分布是不均匀的，弧柱中心的电离程度高，带电粒子密度大，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。

弧柱获得的能量有：电子散乱运动发生碰撞的动能；正离子与电子复合过程中释放出的能量；产生负离子释放出的能量。而弧柱消耗的能量有：中性粒子的电离能；带电粒子的扩散带走的热能；通过辐射传给焊条、工件和外围空间等的热能。

(2) 阴极区：为了维护电弧的稳定燃烧，阴极区的任务是向弧柱区提供电子和接受弧柱区送来的正离子，以满足电弧导电的需要。阴极区提供的电子的数量和初速度与阴极材料种类、电流大小、气体工质等因素有关。

阴极区获得的能量主要有：阴极区电子在阴极区强电场的加速作用产生的动能；阳离子到达阴极表面与电子复合释放出的能量。阴极消耗的能量：阴极电子发射所消耗的能量；阴极区向弧柱提供具有一定动能的电子带走的热能；同时阴极加热也需消耗一部分能量。

(3) 阳极区：为了维持电弧导电，阳极区的任务是接受弧柱送来的电子，同时向弧柱区提供阳离子。

阳极区获得的能量主要是：电子经阳极区被加速而获得的动能；阳极吸收电子所得到的逸出功；电子从弧柱带来的热能。阳极区消耗的能量主要是：阳极区的碰撞电离能；热电离能；阳极加热所需的能量。

阴极区和阳极区的热量是焊接过程直接利用的，用来加热焊条（焊丝）和工件的。

在生产实践中，不同的焊接方法，其阴阳极温度高低是不同的，见表1-1。

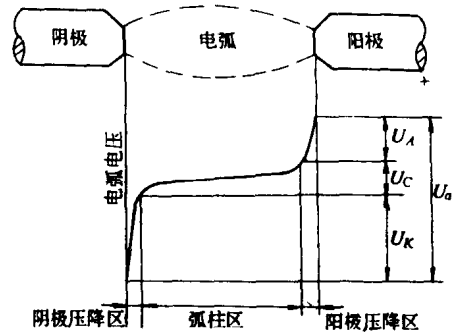


图 1-3 电弧各区域电压分布

表 1-1

各种焊接工艺方法的阴极与阳极温度比较

工艺方法	一般手工电弧焊 (酸性焊条, 焊钢)	钨极 氩弧焊	熔化极 氩弧焊	CO <sub>2</sub> 气体 保护焊	埋弧 自动焊
温度比较	阳极温度 > 阴极温度		阴极温度 > 阳极温度		

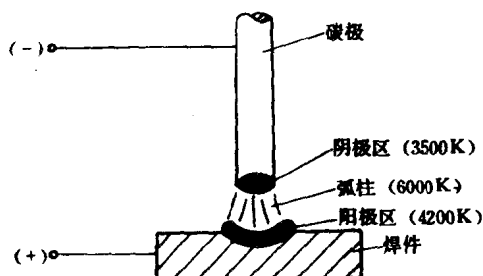


图 1-4 焊接电弧的构造及各区温度

电弧中气体的电离程度越高, 电弧燃烧就越稳定。通过实验测定电弧稳定性的结果表明: 随着电流的增大, 电弧的引燃电压变低; 随着电流的增大, 自然断弧的最大弧长也增加。所以焊接电流越大, 电弧燃烧越稳定。

#### 2. 电源种类的影响

焊接电源的种类不同, 电弧的稳定性也不同, 如用交流电源焊接时, 电弧燃烧不如直流电源稳定。这是因为用交流电源焊接时, 电弧的极性是呈周期性改变的。

#### 3. 焊条药皮和焊剂成分的影响

焊条药皮或焊剂中若加入电离电位较低的物质 (如 K、Na、Ca 的氧化物), 焊接时容易电离, 增加了电极间的带电质点, 提高了气体的导电性, 从而提高了燃烧的稳定性。但是也有某些物质会降低电弧燃烧的稳定性, 如: 氯化物 (KCl、NaCl) 及氟化物 (CaF<sub>2</sub>) 等。因为这些物质在高温时分解出来的气体 (Cl<sub>2</sub>、F<sub>2</sub>) 的电离电位很高, 容易获取电子变成阴离子。如果电弧中这些气体成分增加时, 特别是氟增多使得弧柱中有大量的氟阴离子存在, 势必吸附大量的电子, 使电弧燃烧不稳定。

#### 4. 电弧长度的影响

电弧长度越长, 其燃烧稳定性越低。

直流碳极电弧构造及各区温度见图 1-4。

## 二、焊接电弧燃烧的稳定性

电弧燃烧稳定与否, 对焊接质量的影响极大。电弧燃烧的稳定性与许多因素有关, 除了焊接电源特性、电弧特性外, 其它主要因素有焊接电流的大小、电流的种类与焊条药皮成分、电弧长度等。

### 1. 焊接电流的影响

焊接电流越大, 电弧的温度就越高, 则

## 第三节 焊接时的极性和偏吹

### 一、焊接时的极性及其选用

#### 1. 焊接时的极性

极性是指直流电弧焊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, 焊钳 (焊枪) 接电源负极, 称为正接, 也叫正极性接法; 焊件接电源的负极, 焊钳 (焊枪) 接电源正极, 称为反接, 也叫反极性接法, 如图 1-5 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和焊条的性能而定。如用直流酸性焊条焊接时，因电弧的阳极区温度较高，为获得较大熔深，可采用正接；焊接薄板时，为防止烧穿，则可采用反接。

采用低氢型焊条时，必须用直流反接。

这是因为在碱性焊条药皮中含有较多的萤石（ $\text{CaF}_2$ ）在电弧气氛中分解出电离电位较高的氟，若采用正接，产生F的负离子会使电弧的稳定性大大降低，故需采用直流电源。同时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。阻碍熔滴的过渡，以致出现飞溅和电弧不稳定的现象；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复合形成氢原子，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，二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。当使用碱性焊条时，如果电弧燃烧不稳定，出现爆裂声和飞溅大等现象，则表明极性是正接，与焊条要求用反接不符；如果电弧燃烧稳定，声音较平静均匀，飞溅也小，即表明为反接。

## 二、焊接电弧的偏吹

在一般正常情况下焊接时，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，见图1-6。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，以防焊件烧穿。

在焊接过程中，因气流的干扰、磁场作用、焊条偏心等因素的影响，会出现使电弧中心偏离焊条（焊丝）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1-7所示。遇到这种情况时，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。

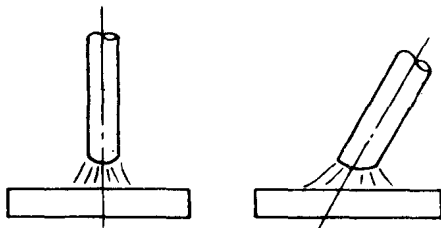


图 1-6 电弧与焊条同一轴线

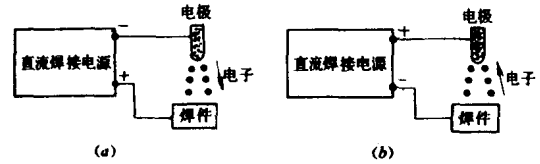


图 1-5 焊接电弧的极性  
(a)正接；(b)反接

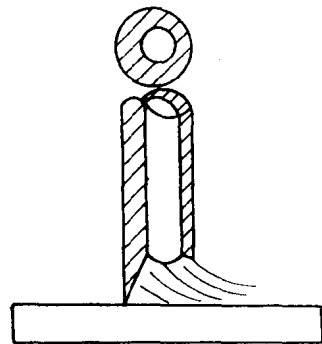


图 1-7 偏心度过大的焊条

## 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焊接时，如果接头间隙较大，往往由于热对流的影响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

焊接时，只有在电弧周围磁场强度是对称的（即磁力线的分布密度沿电弧轴线对称）的时候，电弧才能保持轴对称位置，如果某种原因使磁力线分布的均匀性受到破坏，使电弧周围受力不均匀，就会使电弧产生偏吹，即磁偏吹。磁力线密集的地方对电弧产生推力，将其推向磁力线稀薄的地方。下面结合实例来分析磁偏吹的现象。

（1）接地线位置不当引起的偏吹：焊接时由于接地线的位置不当，使电弧周围的磁场分布不均匀，从而造成电弧的偏吹，如图1-8所示。当焊接电流从接点“+”经焊件，通过电弧到焊条再进入接点“-”时，沿途产生的磁力线分布在电流通路四周，但电流流经焊件拐弯到电弧时，在电弧两侧的磁力线分布就极不均匀。电弧左侧（在接点方向的一边）的磁力线较右侧的磁力线更密集，结果造成了左侧磁场强度大于右侧的磁场强度，使电弧向磁场强度较小的右侧偏吹，从而产生磁偏吹现象。

（2）铁磁物质引起的磁偏吹：由于铁磁物质（钢板、铁块等）的导磁能力远远大于空气，因此，当焊接电弧周围有铁磁体存在时，在靠近铁磁体一侧的磁力线大部分都通过铁磁体形成封闭曲线，使电弧同铁磁体之间的磁力线变稀，而电弧另一侧磁力线就变得相对密集，因此，电弧就向铁磁体一侧偏吹，就象铁磁体吸引电弧一样，如图1-9所示。如果钢板受热后温度升得较高，导磁能力就降低，对电弧磁偏吹的影响就减少。

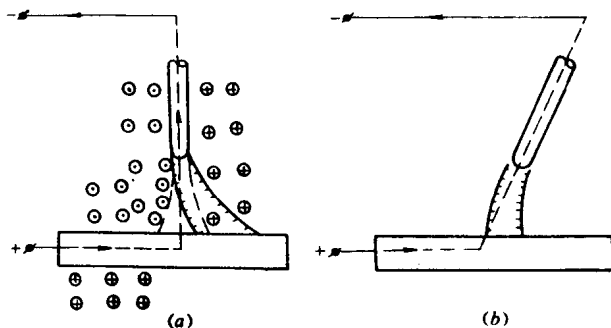


图 1-8 接地线位置产生的磁偏吹

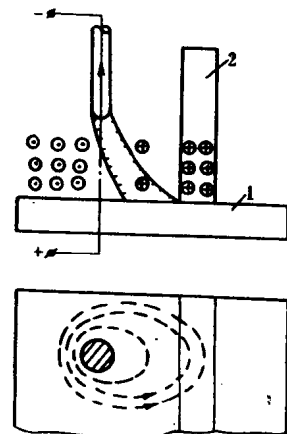


图 1-9 电弧一侧有铁磁物质引起的磁偏吹

1—焊件；2—铁磁体

(3) 焊条和焊件位置不对称引起的磁偏吹：当在靠近焊件边缘处开始进行焊接的时候，经常会发生电弧偏吹，而逐渐靠近焊件中心时，则电弧的偏吹现象就逐渐减少或消除。这是由于在焊接焊缝的起头时，焊条与焊件所处的位置不对称造成电弧周围的磁场分布不平衡，再加上热对流的作用，就产生了偏吹，如图1-10所示。在焊缝收尾时，往往也发生电弧偏吹，产生的原因与焊缝起头时产生的原因相同。

当存在磁偏吹时，焊接电流越大，磁偏吹现象就越严重，尤其是当采用300~400A的直流电源焊接时，电弧偏吹的现象更为严重，当电流达到800~1000A时，电弧的偏吹将使焊接工作无法进行。

### 三、减少和防止焊接电弧偏吹的方法

焊接电弧的偏吹会给焊接工作带来不少困难，但是根据电弧偏吹的规律，采取相应的措施是可以减少或避免的。下面介绍焊接工作常用的几种克服电弧偏吹的措施。

(1) 焊接时，在条件许可的情况下尽量使用交流电源焊接。

(2) 在露天操作时，如果有大风，则必须用挡板遮挡，对电弧进行保护。在管子焊接时必须将管口堵住，防止气流对电弧的干扰。

(3) 在焊接间隙较大的对接焊缝时，在焊缝下面加垫板，防止热对流引起的电弧偏吹。

(4) 在焊缝的两端各加一小块附加钢板（引弧板或引出板），使电弧两侧的磁力线分布均匀并减少热对流的影响，以克服电弧的偏吹。

(5) 采用短弧焊接。因为短弧时气流影响较小，而且在产生磁偏吹时，如果采用短弧焊接，也能减少磁偏吹程度。

(6) 在操作时适当调整焊条角度，使电弧偏吹的方向转向熔池，这种方法在实际中应用较广。

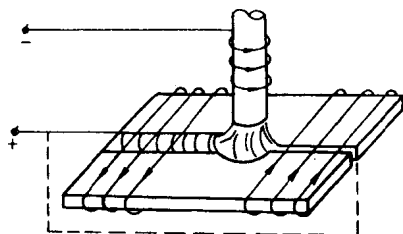


图 1-11 改变焊件接地线位置克服磁偏吹示意图

(7) 适当改变焊件上的接线部位，尽可能使电弧周围的磁力线分布均匀，如图1-11所示。图中虚线表示克服偏吹的接线方法。

(8) 尽量采用小电流焊接，对克服磁偏吹也能起到一定的作用。

以上这些方法，有的受到具体工作条件的限制，不能采用，有些只能减轻电弧的偏吹，所以在实际使用中应灵活运用一种或几种方法，以求得更好的效果。

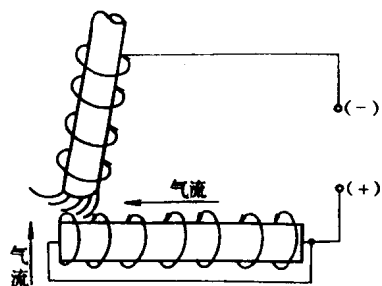


图 1-10 焊条和焊件位置不对称引起的磁偏吹

## 第四节 电弧焊的熔滴过渡

电弧焊时，在焊条（或焊丝）端部形成的熔滴通过电弧空间向熔池转移的过程，称为

熔滴过渡。

金属熔滴向熔池的过渡形式，大致可分为四种：粗滴过渡、短路过渡、喷射过渡和渣壁过渡。

熔滴过渡形式不同，是由于作用于熔滴上的外力不同的缘故。在焊接时，采用一定的工艺措施，就可以改变熔滴上的作用力，也就使得熔滴按人们所需要的过渡形式自焊条（或焊丝）向熔池过渡。

### 一、熔滴过渡的作用力

#### 1. 熔滴的重力

任何物体都会因为本身的重力而具有下垂的倾向。平焊时，金属熔滴的重力起促进熔滴过渡的作用；立焊及仰焊时，熔滴的重力对熔滴向熔池过渡起阻碍作用。

#### 2. 表面张力

根据热力学第二定律：一切物体都趋向能量最低状态。液体金属象其它液体一样，其表面积趋向减少，缩成圆形。因面积越小，物体内能量越小。对金属熔滴来说，表面张力使熔化金属成为球形。

焊条金属熔化后，在表面张力的作用下，形成球滴状悬挂在焊条（或焊丝）末端，是保持熔滴的主要作用力。增加熔滴温度或使熔滴上具有少量的表面活化物质时，可降低金属表面张力系数，从而减小熔滴尺寸。

#### 3. 电磁收缩力

载流导体（液态或气态）因受电磁力的作用，而收缩其导电截面的现象，称电磁收缩效应；由此产生的力，称电磁收缩力或电磁力。

电流通过熔滴时，导体的截面（在熔化极焊接的情况下，指焊丝—熔滴—电极斑点—弧柱之间）是变化的，将产生电磁力的轴向分力，其方向总是从小截面指向大截面，如图1-12所示。如果斑点尺寸小于焊丝直径（或小桥），则轴向力阻碍熔滴过渡；反之，则促使熔滴过渡。

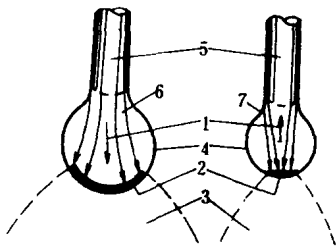


图 1-12 电磁轴向分力与熔滴上电极斑点面积和小桥面积的关系  
1—电磁轴向分力；2—斑点面积；3—弧柱；4—熔滴；5—焊丝；6—电流线开散；7—电流线集中

#### 4. 斑点压力

电极上形成斑点时，由于斑点是导电的主要通道，所以此处也是产热集中的地方。同时该处将承受电子（反接）或正离子（正接）的撞击力。又因该处电流密度很高，将使金属强烈蒸发，金属蒸发时对金属表面产生很大的反作用力，对电极造成压力。如同时考虑电磁力的作用，使斑点力对熔滴过渡的影响十分复杂，当斑点面积较小时，斑点力常常是阻碍熔滴过渡；而当斑点面积较大并笼罩整个熔滴时，斑点压力常常促进熔滴过渡。

#### 5. 电弧气体的吹力

在手工电弧焊时，焊条药皮的熔化稍微落后于焊芯的熔化，在药皮的末端形成一小段尚未熔化的“喇叭”形套管，如图1-13所示。套管内有大量的药皮造气剂分

解产生的气体以及焊芯中碳元素氧化生成CO气体,这些气体因加热到高温,体积急剧膨胀,并顺着未熔化套管的方向,以挺直而稳定的气流冲出并把熔滴吹到熔池中去。不论焊缝的空间位置怎样,这种力都将有利于熔滴金属的过渡。

### 6. 等离子流力

由于上述电磁收缩力引起的轴向推力的作用,将使靠近焊条端头处的高温气体向工件方向流动,如图1-14所示。高温气体流动时,要求从焊条上方补充新的气体而形成一定速度的连续气流进入电弧区,在这里新进入的气体被加热电离后(形成等离子流),受电磁收缩力的作用连续冲向工件,对熔池形成附加压力。在电弧中由于这种高温气体的运动所形成的力,

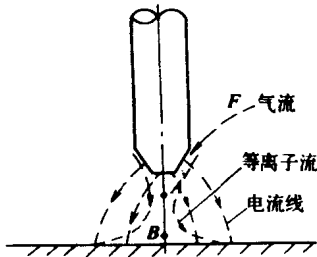


图 1-14 等离子流力的产生示意图

称为等离子流力,也称气体动压力。这种力不论焊缝的空间位置如何,都有利于熔滴的过渡。最新研究表明,在电弧的各种机械作用力中,等离子流力起决定作用,约占80%的比重。

## 二、熔滴过渡的形式

### 1. 粗滴过渡

熔滴呈大颗粒状向熔池过渡的一种形式。此种过渡形式在电流较小、电弧电压较高和弧长较长时产生。因电流较小,弧根面积和直径小于熔滴直径,熔滴与焊丝之间的电磁力不易使熔滴形成缩颈,极点压力又阻碍熔滴过渡,故随着焊条(或焊丝)的熔化和熔滴的长大,最后重力克服表面张力的作用,而造成粗滴状熔滴过渡。这种过渡主要用于小电流气体保护焊。

### 2. 喷射过渡

熔滴呈细小颗粒并以喷射状态快速进入电弧空间向熔池过渡的形式。当焊接电流增大到一定数值后,即出现喷射过渡状态。

需要强调指出的是,产生喷射过渡,除了要有一定的电流密度外,还必须有一定的电弧长度。如果电弧电压太低,弧长太短,不论电流数值有多大,也不可能产生喷射过渡。

喷射过渡主要用于大电流气体保护电弧焊。它具有电弧稳定、没有飞溅、熔深大、焊缝成形好、生产效率高等优点。

### 3. 短路过渡

焊条(或焊丝)端部的熔滴与熔池短路接触,由于强烈的过热和磁收缩作用,使熔滴爆断,直接向熔池过渡的形式,如图1-15所示。熔化金属首先集中在焊条(或焊丝)的下端,并开始形成熔滴[图1-15(a)],然后熔滴的颈部变细加长[图1-15(b)],这时颈部的电流密度增大,促使熔滴的颈部继续向下伸延,当熔滴与熔池接触时发生短路[图1-15(c)],

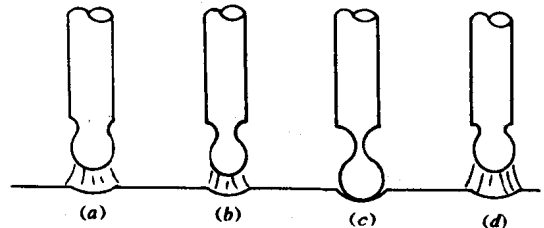
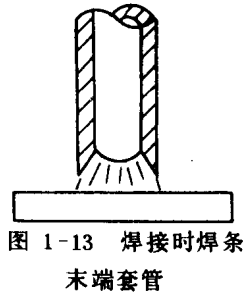


图 1-15 熔滴短路过渡的情况

(a)开始形成熔滴;(b)熔滴颈部变细;(c)熔滴与熔池短路;(d)重新形成熔滴

电弧熄灭,





这时短路电流迅速上升，随着短路电流的继续增加，作用在熔滴上的电磁收缩力也急剧增大。在电磁收缩力和熔池表面张力的作用下，熔滴与熔池的接触面积不断扩大，使熔滴的颈部变得更细。当短路电流增加到一定数值后，部分缩颈金属迅速汽化，缩颈发生爆断，熔滴全部进入熔池。在缩颈断开的瞬时，电源电压很快恢复到引燃电压，于是电弧又重新复燃，焊条或焊丝末端又重新形成熔滴 [图1-15(d)]，重复上述过程。这种过渡形式主要用于手工电弧焊。

#### 4. 渣壁过渡

焊条（或焊丝）端部的熔化金属沿药皮套筒壁面或熔渣面溜向熔池的一种形式。这种过渡形式主要在埋弧焊时使用。

## 复 习 题

### 一、填空题

1. 两极间气体产生\_\_\_\_而强烈的\_\_\_\_现象称为焊接电弧。
2. 电弧由\_\_\_\_、\_\_\_\_和\_\_\_\_三个电场强度不同的区域构成。
3. 产生电弧磁偏吹的根本原因是电弧两侧的\_\_\_\_不相等，\_\_\_\_把电弧推向一边。
4. 引起电弧偏吹的因素有\_\_\_\_、\_\_\_\_和\_\_\_\_。
5. 电弧焊时，在焊条（或焊丝）端部形成的熔滴通过\_\_\_\_向\_\_\_\_转移的过程称\_\_\_\_。
6. 熔滴过渡可分\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_和\_\_\_\_四种。
7. 熔滴过渡的作用力有\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_、\_\_\_\_和\_\_\_\_。
8. 手弧焊的熔滴过渡形式为\_\_\_\_。

### 二、判断题（正确画√；不正确画×）

1. 为了使电弧维持燃烧，就必须要求电弧的阴极不断发射电子，以补充电弧能量的消耗。（ ）
2. 交流电弧焊时，阳极和阴极不断变化，因此焊条和工件得到的热量是不相等的。（ ）
3. 直流焊机使用碱性焊条焊接时，极性的判别法是：如果电弧燃烧不稳定，出现爆裂声和飞溅大等现象，则表明是正接，反之则为反接。（ ）
4. 平焊时熔滴的重力阻碍了熔滴的过渡。（ ）
5. 电磁收缩力在任何情况下都有利于熔滴的过渡。（ ）
6. 等离子流力在任何焊接位置都不利于熔滴的过渡。（ ）
7. 熔滴的喷射过渡由于焊缝成形不好，所以平时很少用。（ ）

### 三、选择题（将选定的序号填入空格内）

1. 手工电弧焊（酸性焊条焊钢）阳极温度\_\_\_\_阴极温度。  
①大于；②小于；③等于。
2. 在焊接电弧三个区域中，\_\_\_\_区温度最高。  
①阴极；②阳极；③弧柱。