

# 电焊工

辽宁省工人技术培训教材编委会主编



辽宁科学技术出版社

编 著 者：张庆钧、安秀洁

描 图：张丽荣

审 稿：吴玉陞、董阴海、蔡文彬、陈德善

责任编辑 马 骏

封面设计 曹太文

工人技术培训教材

**电 焊 工**

辽宁省工人技术培训教材编委会 主编

---

辽宁科学技术出版社出版、发行

(沈阳市南京街6段1里2号)

沈阳市第二印刷厂印刷

---

开本：787×1092 1/32 印张：9 1/4 字数：207.000

1982年12月第1版 1982年12月第1次印刷

---

封面设计：曹太文 责任编辑：马 骏

---

印数：1—20.000

统一书号：15288·27 定价：0.65元

---

## 出版说明

加强职工教育，是开发智力、培养人才的重要途径，是提高青年工人的文化与科学技术水平、搞好国民经济的调整，加速四个现代化进程的重要环节。为了适应开展职工教育的需要，辽宁省和沈阳市劳动局与辽宁科学技术出版社组成了工人技术培训教材领导小组，下设工人技术培训教材编委会，组织编写了一套工人技术培训教材。首批有《看图》、《尺寸公差与形位公差》、《量具》、《机械工程材料》、《机械基础》、《维修电工》、《电机修理工》、《电焊工》、《气焊与气割》、《无线电调试工》、《油漆工》、《管道工》、《木工》、《木模工》、《划线工》、《铆工》、《铣工》、《齿轮工》、《磨工》、《装配钳工》、《锅炉工》、《车工》、《缝纫工》、《裁剪工》等24种，自一九八二年六月起陆续出版。

这套教材是根据国家劳动总局对培训工人的要求，参照国务院有关部制订的《工人技术等级标准》与工人的现有水平，本着“少而精”的原则编写的。具有学时短、见效快、理论联系实际的特点。书中附有例题和习题，既可作为1~4级工

人的培训教材，也可供各类技工学校、职工业余学校使用。

在编写过程中得到了辽宁省职工教育管理委员会和袁林霄、董旭、刘子清、傅维恕、王年光、史继绵、徐国章、姜庆铎、王启义、张永恒、平献明、谢宗起、赵俨等同志的支持和帮助，在此表示感谢。

# 目 录

<b>第一章 焊接的基本知识</b> .....	1
第一节 概述.....	1
第二节 焊接电弧.....	2
第三节 电弧焊冶金过程特点及热循环 有关方面知识.....	16
第四节 焊接工艺及焊缝代号.....	26
第五节 钢材的可焊性.....	43
<b>第二章 焊接材料</b> .....	53
第一节 焊条的组成及作用.....	53
第二节 焊条的分类.....	59
第三节 焊条质量鉴别及保管.....	71
第四节 焊条的选用.....	72
第五节 焊条消耗量的理论计算.....	77
第六节 其它焊接材料简介.....	79
<b>第三章 焊接设备</b> .....	90
第一节 焊接电源.....	90
第二节 焊接变压器.....	101
第三节 旋转式直流弧焊机.....	108
第四节 焊接整流器.....	113
第五节 手弧焊机的选择及安装.....	118

第六节	电焊机的维护与修理	121
<b>第四章</b>	<b>手工电弧焊的基本操作技术</b>	<b>129</b>
第一节	引弧及运条方法	129
第二节	焊缝的起头、收尾及接头	136
第三节	不同空间位置的焊接方法	139
第四节	铸铁的焊补	156
第五节	常用钢材的焊接	161
<b>第五章</b>	<b>几种常用焊接方法简介</b>	<b>168</b>
第一节	埋弧自动焊	168
第二节	电渣焊	187
第三节	二氧化碳气体保护焊	200
第四节	氩弧焊	215
第五节	等离子弧切割与焊接	218
第六节	碳弧气刨与切割	223
<b>第六章</b>	<b>焊接变形及应力</b>	<b>229</b>
第一节	焊接变形及应力产生的原因	229
第二节	焊接变形的预防措施	232
第三节	焊接结构变形的矫正方法	238
第四节	减少焊接应力的措施	239
第五节	消除焊接应力的基本方法	244
<b>第七章</b>	<b>焊接缺陷及质量检验</b>	<b>248</b>
第一节	常见的焊缝缺陷	248
第二节	焊接质量检验	263
<b>第八章</b>	<b>电焊工劳动保护与安全技术</b>	<b>284</b>
第一节	电焊工工具	284
第二节	电焊工劳动保护	285
第三节	电焊工安全技术	286

# 第一章 焊接的基本知识

## 第一节 概 述

焊接技术，从一八八二年出现碳弧焊开始到现在，已有近百年的历史。焊接大体可分为电弧焊接、电阻焊接及特种焊接。人们平常所说的电焊系指电弧焊接而言。这种焊接方法的特点是，以焊接电弧产生的热量来局部的加热，使焊件和焊条熔化，互相熔合，冷却凝固后形成牢固的焊缝，成为永久性不可拆卸的联接。这种工艺过程利用手工操作就是手工电弧焊；而用机械操作就称自动焊。

焊接技术广泛应用在国防、冶金、石油、化工、造船、电力、铁路、交通、建筑、机械等国民经济各个部门。人们所熟悉的火车、轮船、汽车、飞机等，它们的外壳和骨架就是用一块块钢板和一根根型钢焊接起来的。此外，压力容器、锅炉壳体、高炉炉体、化工储坛、矿山机械、铁路桥梁等都是典型的焊接结构。为什么焊接技术这样被人们重视而且发展又这样迅速呢？这是因为它具有显著的优越性，与铆接、铸造相比，它具有节省金属材料、减轻结构重量、简化加工与装配工序、接头的致密性好、强度高、经济效益好，能改善劳动条件等一系列优点。

手工电弧焊，在焊接生产中是最常见而且也是应用比较

多的一种焊接方法。它的优点是，使用灵活、操作方便、设备简单、适用于焊接短小或曲折焊缝，可焊不同接头形式及空间各种不同位置的焊缝。它的缺点是，生产效率低、劳动强度大。因此，随着国民经济的发展，新的自动化焊接技术不断出现，手工电弧焊将被部分取代。但在目前，它在焊接生产中仍占很重要的地位。

要想当一名好焊工，首先要学习好基本基础理论，练好基本功，具有熟练的操作技能，方能焊接出质量优良的焊缝，才能保证焊出信得过的好产品。要想达到这一目的，重点掌握住焊接设备、焊接材料和焊接工艺这三个环节。掌握这三点的目的就是为了保证焊接质量，尤其对重要的焊接产品更不能马虎大意。由于焊接质量不好出现的事故在国内外还是不少的。

随着科学技术的不断发展，焊接结构越来越复杂，焊接工作量越来越大，因而对焊接技术现代化和提高焊接生产率及焊接产品的高质量的要求日益迫切。虽然我国在焊接工艺上取得了许多成就，但它在我国还是比较年轻的科学，还有不少问题有待进一步研究解决。我们必须继续努力，为进一步提高焊接质量和劳动生产率，逐步改进传统的工艺装备、材料，采用高效率的焊接方法，为实现四个现代化建设贡献力量。

## 第二节 焊接电弧

手工电弧焊是利用电弧放电时产生的热量，使焊条和焊件边缘熔化，将两个分离的物体借助于原子间的联系和质点的扩散作用，而连接成一个整体的牢固接头的焊接过程。



在两个电极之间（手工电弧焊指在焊条与焊件）的气体介质中产生持久而强烈的放电现象，称为焊接电弧。

电弧具有两个特性，一是产生高热（温度高达6000°K左右），二是产生强光。二者在工业上都得到应用。

### 一、焊接电弧的产生

平常的空气是不导电的，只有使焊条与焊件间的空气间隙中产生局部强烈放电，并能产生稳定燃烧的焊接电弧，才能保证焊接工艺顺利进行。

手工电弧焊接工艺过程一开始就是引弧，当电弧燃烧稳定之后，才能开始正式焊接。

电弧的引弧过程，一般是先使焊条与焊件相互接触而形成短路，即焊条与焊件和焊接电源接成通路。由于焊条和焊件两个接触面的不平整，实际上只有个别点在接触，如图1—1。

由于接触部分电阻和通过的电流密度很大，两电极间的接触点便产生大量电阻热，把焊条末端和焊件迅速加热到白热熔化状态，然后将焊条稍微提起，在这瞬间两电极间的空气被加热到高温，空气受热后形成游离化；与此同时，阴极上有高速度的

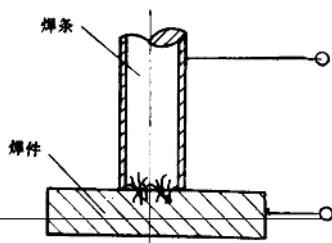


图1—1 焊条与焊件间短路时的接触状态

电子飞出，即热发射电子，撞击空气中的分子和原子，将其中的电子撞击出来，产生了离子和自由电子。这时在电场的作用下，使带电的微粒按一定方向移动。阳离子移向阴极并

与阴极碰撞，阴离子和自由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。这样使两电极间的空气剧烈电离产生了高热，并放出强光，而形成了电弧。

电弧的引燃和燃烧就是在这样情况下形成的，电弧焊就是利用这电弧热量进行焊接的，因此叫做电弧焊接。

## 二、焊接电弧的组成及温度分布

焊接电弧是由阴极区、阳极区、弧柱三个部分组成的，如图1—2所示。

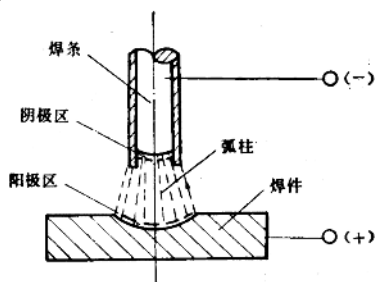


图1—2 电弧的组成

### 1. 阴 极 区

阴极区在靠近阴极处（电源负极），区域很窄，大约只有 $10^{-6}$ 厘米左右。在阴极表面有一个明亮的斑点，称为阴极辉点。阴极辉点是一次电子发射的发源地，正离子碰撞阴极也在这里，故该区温度高，一般达 $2400\sim 3500^{\circ}\text{K}$ 。放出热量占36%左右。

阴极温度的高低主要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，如表1—1所示。

表1—1 不同电极材料的电弧两极温度表

电极材料	气体介质 (1大气压)	材料沸点 (K°)	阴极温度 (K°)	阳极温度 (K°)
碳	空 气	4640	3500	4100
铁	空 气	3271	2400	2600
铜	空 气	2868	2370	2450
钨	空 气	6200	3000	4250

## 2. 阳 极 区

阳极区在靠近阳极处（电源正极），长度约  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  厘米，也有一个明亮的阳极斑点，阳极区不发射电子，电弧中电子受阳极的吸引向阳极移动，电子在此将其动能和逸出功转给阳极，所以阳极区温度比阴极区更高，阳极斑点温度达  $2600 \sim 4200^{\circ}\text{K}$ 。放出热量占 43% 左右。

在生产实践中发现，当选用不同的焊接方法和焊条类型，阳极与阴极的温度高低有所变化。一般手工电弧焊时，选用酸性焊条，阳极温度比阴极温度高一些。

## 3. 弧 柱

弧柱是处于阴极区与阳极区之间的区域，由于阴极区和阳极区都很窄，电弧的主要部分是弧柱，弧柱长度基本上等于电弧长度。弧柱的热量和温度与气体介质电离程度及电流大小等因素有关。几种气体介质中的弧柱温度如表1—2所示。

一般手工电弧焊，弧柱区放出的热量仅为电弧总热量的 21%。但弧柱中心温度约为  $5000 \sim 8000^{\circ}\text{K}$ 。

以上所述的是直流电弧的热量和温度分布情况。如果用交流电施焊，阴阳两极是交替变化的，所以两极区的温度几乎是相同的。

表1-2 几种气体介质中的弧柱温度

电极材料	气体介质	电流(安培)	弧柱温度(K°)
钢	空气	280	6100
钢	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (气)	280	4800
钢	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (气)	280	4300

焊接电弧作为热源，其主要特点是温度高、热量集中，因此，金属熔化非常快。使金属熔化的热量，主要集中产生于两极，弧柱温度虽高，但大部分的热量散失于周围空气中，对金属熔化并不起主要作用。若电弧长度增长，温度就发生下降。电弧长到一定程度时，只能维持电弧燃烧，此时的温度仅能将焊件烤红，熔着一些斑点，根本不能进行焊接，甚至还会断弧。

### 三、焊接电弧的静特性

焊接电弧是焊接回路中的负载，它起着把电能转变为热能的作用，这一点与普通电路中的电阻有相似之处。但又有它自己的特点。所谓电弧的静特性，是指在电弧长度一定时，在稳定燃烧状态下，焊接电流与电弧电压之间的关系。用来表示这一关系的曲线，就叫做焊接电弧静特性曲线，如图1-3所示。从

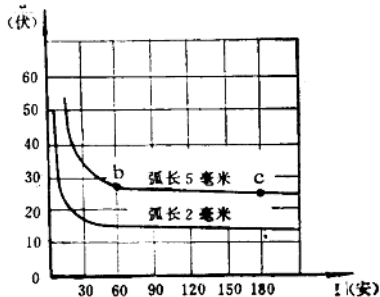


图1-3 手工电弧焊电弧静特性曲线

这一条曲线中可以看出：

(1) 在没有外来因素干扰时，电弧在曲线上任一点(即指在曲线上任一点所对应的电弧电压和电流的条件下)能维持长时间的连续的强烈的电弧放电，即电弧处于稳定燃烧状态。

(2) 在电弧长度一定时，焊接电流越小，则电弧电压越高，当焊接电流大于30~50安培时，电弧电压与焊接电流大小几乎无关，而曲线主要与电弧长度有关。一般手工电弧焊，电弧电压稳定燃烧值为16~35伏特，工作范围就在这段平坦的部分内，如图1—3曲线的bc段内。

#### 四、影响焊接电弧稳定性的因素

在焊接过程中，保持电弧稳定燃烧、不断弧，才能焊出优等焊缝。如果焊接时经常出现断弧现象，对焊接质量是不利的。因此维护电弧稳定燃烧是非常重要的。理想的电弧是：即使外界条件发生变化，如弧长增大或网路电压波动等，都不致影响电弧稳定燃烧。

##### 1. 焊接电源的影响

焊接电源的特性和种类等都会影响电弧燃烧的稳定性。这就需要一个特殊的电源向它供电，并要求网路电压稳定，才能保证电弧稳定燃烧。一般直流电源比交流电源要稳定得多。

电焊机的空载电压愈高，电焊机愈易引弧，焊接电弧也就容易稳定。特别是交流电源，这个作用更为显著。但由于电焊机构造上的限制和生产上的安全要求，空载电压又不允许太高，一般国产直流焊机空载电压为55~90伏特；交流焊机空载电压为60~80伏特，这就基本上能满足生产过程的需要。

焊接电流过小时，也会使电弧不稳。

## 2. 焊条药皮的影响

药皮中含有较多易电离物质，如钾、钠、钙和它的化合物时，电弧燃烧稳定性较好。如含有难于电离的氟化物愈多，则电弧稳定性愈差。一般说来，厚药皮焊条比薄药皮焊条电弧稳定性好。

此外，焊条药皮偏心，局部脱落等也会造成电弧不稳。

## 3. 其他影响因素

用直流焊机进行焊接时，电弧虽然较稳定，但有时会出现电弧往一边偏斜，造成操作的困难，这种有一定方向性的电弧偏斜，称磁偏吹，磁偏吹会使电弧不稳定，因此必须随时纠正磁偏吹现象发生。

焊接坡口不清洁，如油、水、锈污物过多时，也会影响电弧不稳。

焊接电弧过长，就会发生剧烈的摆动。在大风季节和有单向气流时进行焊接，电弧也会不稳定，可能使空气中氧、氮等有害气体侵入电弧区，使焊缝金属产生气孔的倾向性加大，而且飞溅也增加。因此，保持一定电弧长度是焊接技术的基本功之一，一般弧长为焊条直径的0.5~1.1倍。

# 五、电弧焊熔滴过渡及所受的力

## 1. 溶滴过渡的基本形式

电弧焊接时，焊条末端在电弧的高温作用下发生熔化，而被熔化的液态金属颗粒则不断地离开焊条末端过渡到熔池中，这个过渡叫做熔滴过渡。

熔滴过渡过程是相当复杂的，并非用目力所能观察到的。根据科学家的试验，手工电弧焊，焊条金属每秒钟过渡

到熔池的滴数约为5~40滴左右。

熔滴过渡的基本形式有三种：即大熔滴过渡、短路过渡、喷射过渡。

由于大熔滴过渡飞溅大，电弧燃烧不稳定，一般不采用。所以常用的过渡形式主要是短路过渡和喷射过渡这两种。

短路过渡：焊条在高温电弧作用下而熔化，熔化金属集中在焊条下端，逐步形成熔滴，然后熔滴的颈部变细加长，接着熔滴与熔池相接触而形成短路，在焊条与焊件间就搭成了液态金属小桥，这时电路中的电压陡然下降，而电流密度急剧增大，使液态金属受到强烈的加热。同时由于熔池表面积比焊条表面积大得多，所以向熔池作用的表面张力要比向焊条作用的表面张力也大得多，这就使形成小桥的熔化金属，被拉到熔池中去。在熔滴断开的瞬间，电弧电压又回复到原值，于是焊接电弧又重新燃烧，焊条末端又开始形成熔滴，重复上述过程。细丝二氧化碳气体保护焊熔滴过渡基本上是属于短路过渡的。

喷射过渡：焊接电流增大而熔滴尺寸变小，当焊接电流增大到一定数值时，液态金属熔滴呈雾状的细滴沿着电弧轴线以高速射向熔池，这就是喷射过渡。喷射过渡不发生短路现象，电弧燃烧特别稳定，几乎没有飞溅，焊缝成型好，熔深增加，焊接质量大大提高。这里要说明一点，产生喷射过渡除了要有一定的电流密度外，还必须要有一定的电弧长度。若电弧电压太低，弧长很短，不论电流数值增加到多大，也不可能产生喷射过渡。

## 2. 金属熔滴过渡所受的力

在焊接时，焊条末端所形成的金属熔滴处于很强的磁场

所包围的电场中，同时它又受到电弧的高温所造成的热气流的作用，这对于金属熔滴的过渡都起着重要的影响。必须指出，不论用哪种焊接方法，不论焊缝在空间的位置怎样，金属熔滴总是从焊条过渡到焊件的熔池中的。实际的情况是比较复杂的，作用在熔滴上的力不是单纯的某一种力，而是各种力的总和。

(1) 熔滴的重力。熔滴的重力是由于熔滴本身的重量受地心吸引力而引起的。当熔滴形成之后，由于重力作用，促使熔滴沿着垂直方向下落。在平焊时，熔滴重力促使熔滴脱离焊条末端过渡到焊缝的熔池中去。但在立焊、横焊、仰焊时，重力却阻碍着熔滴向熔池过渡，成为反方向的作用力，这说明重力不是促成熔滴过渡的主要因素。

(2) 电磁力。从电工学里得知，两根平行的载流导体若通过同方向电流，则这两根导体彼此相吸。这两根导体相吸的力叫做电磁力，力的方向有利于熔滴向熔池过渡。

在焊接时，电流流过焊条，则在焊条周围形成不均匀的强磁场。靠近焊条周围的磁场强度比远离焊条的磁场强度大，而磁力线本身又具有相互靠近的收缩作用，这就形成了电磁的横向压缩力或称横向收缩力，如图 1—4 所示。

电磁轴向压缩力的方向总是指向焊条的轴线，

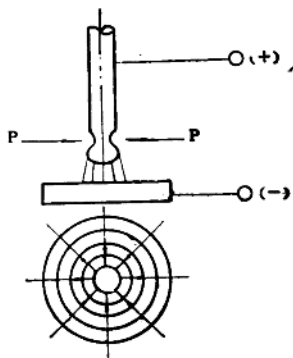


图1—4 作用在导体上的电磁力的压缩作用



因而电磁压缩力就给焊条一个轴向的压缩作用。在固体焊条金属上，电磁力的压缩作用并不起什么影响，但对于焊条末端将要熔化或已经熔化的液体金属来说，却具有很大的影响。这种作用力，尤以细颈部分为最大，因而促使焊条金属熔滴的形成，并能使之脱离焊条末端。

实验研究证明：对于直径5毫米的焊条，当电流为200安培时，压缩作用力的大小远远超过金属熔滴的平均重量。因此电磁场的压缩力对任何位置焊缝，都有助于焊条金属向熔池中过渡的。

由于焊条和焊件的截面积相差悬殊，焊接时，焊条上的电流密度远比焊件上的电流密度大，因而沿着焊条周围所形成的磁场强度比焊件上的磁场强度大得很多。在这种不均匀的磁场强度情况下，就形成了磁场纵向作用力。其方向总是由焊条向焊件上作用，因此就将液体金属熔滴推向熔池。

通过上述两种电磁力的作用，说明电磁力是经常作用在熔滴上的，它促使熔滴从焊条末端脱离过渡到焊件熔池中去，从而保证了焊接可以在任何空间位置上进行。

(3) 气体吹送力。焊条药皮在电弧的高温作用下，其中某些成分熔化、分解或燃烧，并放出大量的气体，如一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、氢气(H<sub>2</sub>)、氧气(O<sub>2</sub>)及水蒸汽等。在用优质焊条焊接时，药皮的熔化总是落后于焊芯的熔化。这样在焊条末端就形成了一个尚未熔化的套管，如图1—5。上述气体受电弧热作用时，就急剧的膨胀，由此给焊条套管以很大的压力，形成稳定的强烈气流喷向焊件熔池。由于气体的吹力方向总是指向熔池，所以不论在任何空间位置的焊缝，都有助于熔滴往熔池过渡。

(4) 表面张力。我们知道，液体在没有外力作用时，