

全国中等职业技术学校机械类专业通用教材

# 焊工工艺与技能训练



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类专业通用教材

# 焊工工艺与技能训练

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺与技能训练/王长忠编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2001  
全国中等职业技术学校机械类专业通用教材

ISBN 7-5045-2964-8

I. 焊…

II. 王…

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(2001)第13340号

## 中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 唐云岐

\*

新华书店经销

北京京安印刷厂印刷 北京京顺装订厂装订

787毫米×1092毫米 16开本 19.75印张 493千字

2001年6月第1版 2005年1月第8次印刷

印数: 20100册

定价: 24.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

# 说 明

全国技工学校机械类专业通用教材及配套用书出版以来，在技工学校的教学中发挥了重要作用，受到了广大师生的欢迎。1999—2000年，劳动和社会保障部培训就业司组织全国有关方面的教学专家，对技工学校机械类专业教学计划及所属课程的教学大纲进行了修订。根据新的教学大纲，我们组织了相应教材的修订和编写工作。

这次教材修订和编写工作的重点是：进一步协调各教材之间的关系，使教材的内容安排和衔接更为合理；体现理论与技能训练一体化的教学改革成果；充分考虑各地区中等职业技术学校对教材的不同要求，增强教材的适用性，使教材的使用更加方便、灵活；将素质教育和技能培养有机地结合，既使学生掌握专业知识和技能，还给学生以发展后劲；充实新知识、新技术、新工艺和新方法等方面的内容，力求反映科学技术的最新成果；采用最新的国家标准，使教材的内容更加规范化。

本着突出技能训练、培养学生具有较强动手能力的要求，我们组织编写了《车工工艺与技能训练》《钳工工艺与技能训练》《焊工工艺与技能训练》《冷作工工艺与技能训练》四种机械类工艺与技能训练一体化的教材。新编教材采取由浅入深，将专业理论知识融入相关训练课题的做法，使学生在技能训练过程中反复学习、理解、熟悉基本理论，变枯燥学习为实际运用，变被动接受知识为主动求知，最终达到掌握本专业（工种）知识和技能要求的目的。

一体化教材的编写工作得到北京、上海、辽宁、河南、湖北、广东、内蒙古等省、自治区和直辖市劳动和社会保障厅及有关学校的大力支持，对此，我们表示衷心感谢。

劳动和社会保障部教材办公室

2001年1月

## 简 介

本书根据劳动和社会保障部培训就业司颁发的《焊工工艺与技能训练教学大纲》(2000)编写,供中等职业技术学校机械类专业使用。本书主要内容包括:手工电弧焊、自动和半自动焊接方法、常用金属材料的焊接、气焊与气割、钳工基本操作、冷作工基本操作等工艺知识和技能训练内容。

本书也可作为职业培训教材。

本书由王长忠、高艳华、卢大勇、曹洪利编写,王长忠主编;李再华审稿。

# 目 录

绪 论	( 1 )
习 题	( 3 )
<b>第一单元 手工电弧焊</b>	<b>( 4 )</b>
课题一 平敷焊	( 4 )
习 题	( 18 )
课题二 横角焊	( 19 )
习 题	( 39 )
课题三 平对接焊	( 39 )
习 题	( 51 )
课题四 立角焊	( 52 )
习 题	( 65 )
课题五 立对接焊	( 65 )
习 题	( 77 )
课题六 横对接焊	( 77 )
习 题	( 87 )
课题七 仰焊	( 87 )
习 题	( 99 )
课题八 固定管焊	( 99 )
习 题	( 110 )
课题九 固定管板焊	( 110 )
习 题	( 119 )
课题十 复合训练	( 119 )
习 题	( 130 )
<b>第二单元 自动、半自动焊接方法</b>	<b>( 132 )</b>
课题一 埋弧自动焊	( 132 )
习 题	( 150 )
课题二 二氧化碳气体保护焊	( 150 )
习 题	( 166 )
课题三 氩弧焊	( 166 )
习 题	( 180 )
课题四 等离子弧焊接与切割	( 181 )
习 题	( 192 )

课题五 电渣焊及先进焊接方法简介	(193)
习 题	(201)
<b>第三单元 常用金属材料的焊接</b>	(202)
课题一 中碳钢的焊接	(202)
习 题	(213)
课题二 16Mn 钢的焊接	(214)
习 题	(217)
课题三 15CrMo 钢的焊接	(217)
习 题	(221)
课题四 1Cr18Ni9Ti 钢的焊接	(221)
习 题	(227)
课题五 铸铁的焊接	(227)
习 题	(232)
课题六 铝及铝合金的焊接	(233)
习 题	(238)
课题七 铜及铜合金的焊接	(238)
习 题	(244)
<b>第四单元 气焊与气割</b>	(245)
课题一 平敷气焊	(245)
习 题	(257)
课题二 薄板气焊	(258)
习 题	(264)
课题三 钢管气焊	(264)
习 题	(268)
课题四 厚板气割	(268)
习 题	(280)
<b>第五单元 钳工基本操作</b>	(281)
课题一 錾削	(281)
习 题	(284)
课题二 锯削	(284)
习 题	(286)
课题三 锉削	(286)
习 题	(289)
课题四 敲渣锤制作	(289)
习 题	(290)
<b>第六单元 冷作工基本操作</b>	(291)
课题一 矫正	(291)
习 题	(298)
课题二 展开放样	(298)

## 绪 论

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连接在一起。连接方式有两种：一种是机械连接，可以拆卸，如螺栓连接、键连接等；另一种是永久性连接，不能拆卸，如铆接、焊接等，见图 0—1。

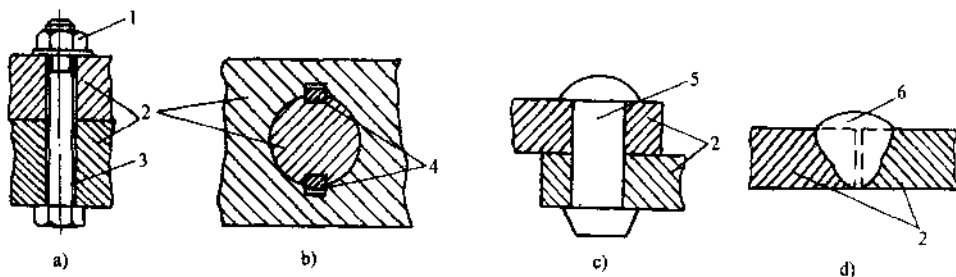


图 0—1 零件连接方式

a) 螺栓连接 b) 键连接 c) 铆接 d) 焊接

1—螺母 2—零件 3—螺栓 4—键 5—铆钉 6—焊缝

过去金属构件的连接主要采用铆接工艺。今天，随着焊接技术的迅速发展及应用，焊接已成为金属构件的主要加工方法之一，取代了铆接。其根本原因是焊接比铆接具有显著的优越性，它有节省材料、减轻结构质量、简化加工与装配工序、接头的致密性好、能承受高压、容易实现机械化和自动化生产、提高生产率和质量、改善劳动条件等一系列特点。

焊接不仅可以连接金属材料，也可以实现某些非金属材料的永久性连接，如玻璃焊接、陶瓷焊接、塑料焊接等。工业生产中焊接主要是用于金属。

焊接就是通过加热或加压，或两者并用，用或不用填充材料，使焊件达到原子结合的一种加工工艺方法。

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，将焊件接头加热至熔化状态，不加压力完成焊接的方法。当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池，并同时向熔池中加入（或不加入）填充金属时，金属原子之间便相互扩散和紧密接触，直至冷却凝固，即形成牢固的焊接接头。常见的手工电弧焊、气焊、埋弧焊、氩弧焊等都属于熔焊。

压焊是在焊接的同时对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。在施加压力的同时，被焊金属接触处可以加热到熔化状态，如点焊和缝焊；也可以加热到塑性状态，如电阻对焊、锻焊和摩擦焊；也可以不加热，如冷压焊和爆炸焊等。

钎焊是采用比母材熔点低的钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料且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相互扩散实现连接焊件的方法。常见的有烙铁钎焊、火焰钎焊等。



目前焊接方法的分类如图 0—2 所示。

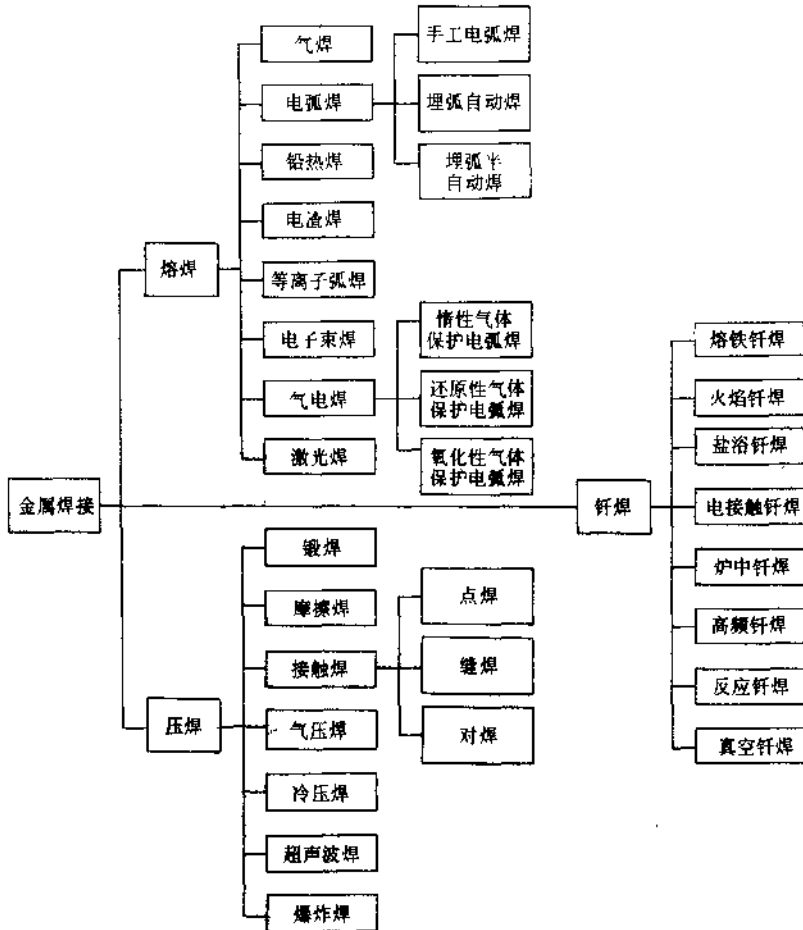


图 0—2 焊接方法的分类

我国是世界上最早应用焊接技术的国家之一。远在战国时期，铜器的主体、耳、足就是利用钎焊来连接的。其后明代《天工开物》一书中有“凡铁性逐节粘合，涂黄泥于接口之上，入火挥锤，泥渣成栲而去，取其神气为谋合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断”的记载。这说明当时人们已懂钎焊使用焊剂，可获栲质量较高的焊接接头。我们的祖先为古老的焊接技术发展史留下了光辉的一页，显示出我国是一个具有悠久焊接历史的国家。

近代焊接技术是在电能成功地应用于工业生产之后出现的，从 1882 年发明电弧焊到现在已有一百余年的历史。在电弧焊的初期，不成熟的焊接工艺使焊接在生产中的应用受到限制，直到 20 世纪 40 年代才形成较为完整的焊接工艺体系，埋弧焊和电阻焊得到成功的应用。20 世纪 50 年代的电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊，60 年代的等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进焊接方法的不断涌现，使焊接技术达到一个新水平。近年来对能量束焊接、太阳能焊接、冷压焊等新的焊接方法也开始研究，尤其是在焊接工艺自动控制方面有了很大的发展，采用电子计算机控制和工业电视监视焊接过程，使焊接过程便于遥控，有助于实现焊接自动化。工业机器人的问世，使焊接工艺自动化达到一个崭新的阶段。

我国大致在 20 世纪 20 年代,开始了电弧焊的应用。那时,只有极为少量的手弧焊和气焊,且多用于修补工作。今天,随着国民经济的迅速发展,焊接技术的应用已遍及我国的国防、造船、化工、石油、冶金、电力、建筑、桥梁、机车车辆、机械制造等各行各业。我们成功地焊接了 12 000 t 水压机、22.5 万 kW 水轮机、150 大气压的加氢反应器、直径 15.7 m 的球型容器、25 000 t 远洋货轮,以及原子反应堆、火箭、人造卫星等。各种新工艺如多丝埋弧焊、窄间隙气体保护全位置焊、水下 CO<sub>2</sub> 半自动焊、全位置脉冲等离子弧焊、异种金属的摩擦焊和数字程序控制气割等已在许多工厂中应用。大量的焊接生产自动线,如锅炉省煤器、过热器蛇形管摩擦焊、汽车车体电阻点焊和车轮气体保护焊等投入生产。此外,还设计制造了各种焊接设备,如 2 万 W/s 储能点焊机、汽车制造用的各种专用点焊机、窄间隙全位置等离子弧焊机、微束等离子弧焊机、15 kV 200 mA 真空电子束焊机、120 W/s 激光机等;生产了 160 多种焊条和多种焊丝、焊剂等焊接材料。在焊接理论研究方面,建立了焊接研究所和焊接设备研究所,在许多高、中等职业院校设置了焊接专业,为发展焊接科学技术和培养焊接技术人才创造了良好的氛围。

目前,随着科学技术的进步和工业的发展,一方面高强度钢等新材料不断开发和应用;另一方面焊接结构日趋复杂,焊接工作量越来越大,对焊接技术的要求越来越严格,对提高焊接生产率的要求日益迫切。我们必须加倍努力,刻苦钻研,不断攀登焊接技术高峰,为发展我国的焊接技术贡献力量。

## 习 题

1. 焊接与铆接相比具有哪些优点?
2. 名词解释:焊接、熔焊、压焊、钎焊。

## 第一单元 手工电弧焊

手工电弧焊（简称手弧焊）是利用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法。操作时，焊条和焊件分别作为两个电极，利用焊条与焊件之间产生的电弧热量来熔化焊件金属，冷却后形成焊缝。

为了认识和掌握电弧焊方法，首先要弄清电弧的实质，掌握电弧的基础知识。

### 课题一 平敷焊

#### 一、焊接电弧的概念

焊接时，将焊条与焊件接触后很快拉开，在焊条端部和焊件之间立即会产生明亮的电弧（图 1—1a）。电弧是一种气体放电现象。

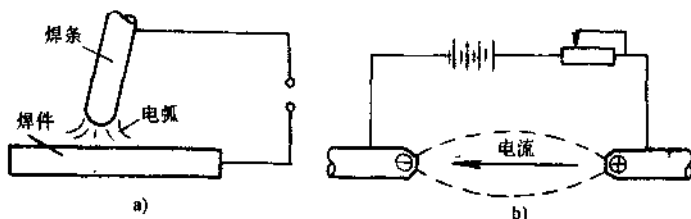


图 1—1 电弧示意图

当我们切断电源开关脱离接触处的瞬间，往往会看到明亮的电火花，这也是一种气体放电的现象。但它与焊接电弧相比较，焊接电弧不但能量大，而且连续持久。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，产生强烈而持久的放电现象，称为焊接电弧。

一般情况下，由于气体的分子和原子都是呈中性的，气体中几乎没有带电质点，因此气体不能导电，电流通不过，电弧不能自发地产生。要使气体呈现导电性必须使气体电离。气体电离后，原来气体中的一些中性分子或原子转变为电子、正离子等带电质点，这样电流才能通过气体间隙形成电弧（图 1—1b）。

#### 1. 气体电离

气体原子和自然界的一切物质一样，其中电子是按一定的轨道环绕原子核运动。在常态下原子是呈中性的。但在一定的条件下，气体原子中的电子从外面获得足够的能量，就能脱离原子核的引力成为自由电子，同时原子由于失去电子而成为正离子。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称为气体电离。

使气体电离所需要的能量称为电离电位（或电离功）。不同的气体或元素，由于原子结构不同，其电离电位也不同，常见元素的电离电位见表 1—1。

表 1—1

常见元素的电离电位

元素	钾	钠	钡	钙	钛	锰	铁	氢	氧	氮	氫	氟	氖	氩
电离电位 (eV)	4.33	5.11	5.19	6.10	6.80	7.40	7.83	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	21.5	24.5

注：在原子物理学中，常用电子伏特作为能量单位，1 eV 的能量就是一个电子在通过电势差等于 1 V 的一段路程上所需要或得到的能量。

在焊接时，使气体介质电离的方式主要有热电离、电场作用下的电离、光电离。

(1) 热电离 气体粒子受热的作用而产生的电离称为热电离。温度越高，热电离作用越大。

(2) 电场作用下的电离 带电粒子在电场的作用下，各作定向高速运动，产生粒大的动能，并不断与中性粒子相碰撞时，不断地产生电离。两电极间的电压越高，电场作用越大，则电离作用越强烈。

(3) 光电离 中性粒子在光辐射的作用下产生的电离，称为光电离。

## 2. 阴极电子发射

阴极的金属表面连续地向外发射出电子的现象，称为阴极电子发射。阴极电子发射也和气体电离一样，是电弧产生和维持的重要条件。

一般情况下，电子不能自由离开金属表面产生电子发射，要使电子发射，必须施加一定的能量，使电子克服金属内部正电荷对它的静电引力。所加的能量越大，阴极产生电子发射作用就越强烈。电子从阴极表面逸出所需要的最低外加能量称为逸出功，单位是电子伏特 (eV)。电子逸出功的大小与阴极的成分有关。表 1—2 列出了常见元素的电子逸出功。

表 1—2

常见元素的电子逸出功

eV

元素名称	电子逸出功	元素名称	电子逸出功
钾	2.26	锰	3.76
钠	2.33	铁	4.18
钙	2.90	碳	4.34
钛	3.92	镁	3.74
铝	4.25	钨	5.36

焊接时，根据阴极吸收能量的方式不同，所产生的电子发射有以下几类：热发射、电场发射和撞击发射等。

(1) 热发射 焊接时，阴极表面的温度很高，使阴极内部的电子热运动速度增加，当电子的动能大于其逸出功时，电子即冲出阴极表面而产生热电子发射。如用钢焊条作电极进行焊接时，阴极温度可达 2 100℃ 左右，热发射作用是相当强烈的。

(2) 电场发射 当阴极表面外部空间存在强电场时，电子可获得足够的动能克服正电荷对它的静电引力，从阴极表面发射出来。两极间电压越高，则电场发射作用越大。

(3) 撞击发射 高速运动的正离子撞击阴极表面时，将能量传递给阴极而产生电子发射的现象，称为撞击发射。电场强度越大，在电场中正离子运动速度越快，产生撞击发射的作用也越强烈。

## 二、焊接电弧的构造及静特性

### 1. 焊接电弧的构造

焊接电弧的构造可分为三个区域：阴极区、阳极区、弧柱区（图 1—2）。

(1) 阴极区 为保证电弧稳定燃烧，阴极区的任务是向弧柱区提供电子流和接受弧柱区送来的正离子流。在焊接时，阴极表面存在一个烁亮的辉点，称为阴极斑点。阴极斑点是电子发射源，也是阴极区温度最高的部分，一般达 2 130~3 230℃，放出的热量占焊接总热量的 36% 左右。阴极温度的高低主要取决于阴极的电极材料，一般都低于材料的沸点，见表 1—3。此外，电极的电流密度增加，阴极区的温度也相应提高。

表 1—3 阴极区和阳极区的温度 ℃

电极材料	材料沸点	阴极区温度	阳极区温度
碳	4 367	3 227	3 827
铁	2 998	2 130	2 330
铜	2 307	1 927	2 177
镍	2 900	2 097	2 177
钨	5 927	2 727	3 977

注：①电弧中气体介质为空气。

②阴极和阳极为同种材料。

(2) 阳极区 阳极区的任务是接受弧柱区流过来的电子流和向弧柱区提供正离子流。在阳极表面上的光亮亮点称为阳极斑点。阳极斑点是由于电子对阳极表面撞击面形成的。一般情况下，与阴极比较，由于阳极能量只用于阳极材料的熔化和蒸发，无发射电子的能量消耗，因此在和阴极材料相同时，阳极区温度略高于阴极区（表 1—3）。阳极区的温度一般达 2 330~3 980℃，放出的热量占焊接总热量的 43% 左右。

(3) 弧柱区 弧柱是处于阴极区与阳极区之间的区域。弧柱区起着电子流和正离子流的导电通路的作用，弧柱的温度不受材料沸点限制，而取决于弧柱中气体介质和焊接电流。焊接电流越大，弧柱中电离程度就越大，弧柱温度也就越高。弧柱区的中心温度可达 5 730~7 730℃，放出的热量占焊接总热量的 21% 左右。

(4) 电弧电压 通常测出的电弧电压就是阴极区、阳极区和弧柱区电压降之和。当弧长一定时，电弧电压的分布如图 1—3 所示。

电弧电压可用下式表示：

$$U_{\text{弧}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}} = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + bl_{\text{弧}}$$

式中  $U_{\text{弧}}$ ——电弧电压，V；

$U_{\text{阴}}$ ——阴极电压降，V；

$U_{\text{阳}}$ ——阳极电压降，V；

$U_{\text{柱}}$ ——弧柱电压降，V；

$b$ ——单位长度的弧柱电压降，一般为 20~40 V/cm；

$l_{\text{弧}}$ ——电弧长度，cm。

## 2. 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称为电弧静特性。表示它们关系的曲线叫做电弧的静特性曲线，如图 1—4 所示。

(1) 电弧静特性曲线 从图 1—4 中可以看到，电弧静特性曲线呈 U 形。当电流较小时

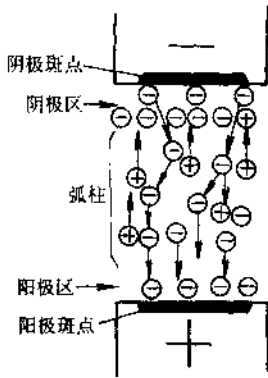


图 1—2 焊接电弧的构造

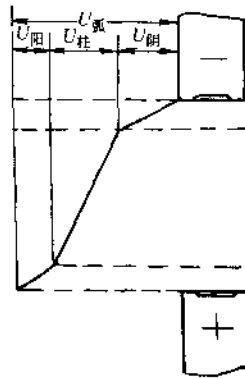


图 1—3 电弧各区域的电压分布示意图

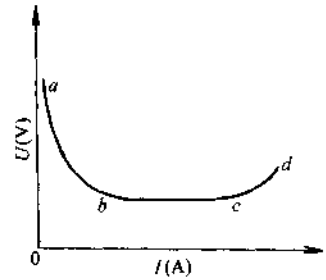


图 1—4 电弧的静特性

(曲线左边的 *ab* 段), 电弧静特性为下降特性区, 即随着电流的增加而电压降低; 在正常工艺参数焊接时, 电流通常从几十安培到几百安培, 这时的电弧静特性曲线如曲线中的 *bc* 段, 称为平特性区, 即电流大小变化时电压几乎不变; 当电流更大时 (曲线右边的 *cd* 段), 电弧静特性为上升特性区, 电压随电流的增加而升高。

(2) 焊接方法不同的电弧静特性曲线 不同的焊接方法, 在一定的条件下, 其电弧静特性只是曲线中的某一区域。

1) 手工电弧焊 由于手弧焊设备的额定电流值不大于 500 A, 所以其静特性曲线无上升特性区。

2) 埋弧自动焊 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。

3) 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。

4) 细丝熔化极气体保护焊 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。

在一般情况下, 电弧电压总是和电弧长度成正比地变化, 当电弧长度增加时, 电弧电压升高, 其静特性曲线的位置也随之上升, 如图 1—5 所示。

### 三、电弧焊的熔滴过渡

电弧焊时, 焊条 (或焊丝) 端部在电弧高温作用下熔化成的液态金属滴, 通过电弧空间不断地向熔池中过渡的过程称之为熔滴过渡。熔滴过渡对焊接过程的稳定性、焊缝成形、飞溅及焊接接头的质量有很大的影响。

熔滴过渡的形式大致可分为三种: 滴状过渡、短路过渡、喷射过渡。由于滴状过渡不稳定、飞溅严重, 因此正常焊接中一般不采用。常用的过渡形式主要是短路过渡和喷射过渡。

熔滴过渡会出现不同的形式, 这是由于作用于液态金属熔滴上的作用力不同的缘故。下面具体讨论熔滴过渡的作用力及熔滴的各种过渡形式。

#### 1. 熔滴过渡的作用力

(1) 熔滴的重力 任何物体都会因自身的重力而下垂。平焊时, 金属熔滴的重力促进熔滴过渡。但是立焊和仰焊时, 熔滴的重力阻碍了熔滴向熔池过渡。

(2) 表面张力 液态金属像其他液体一样具有表面张力，表面张力会使熔化金属聚成球状。

焊条金属熔化后，在表面张力的作用下，形成球滴状，悬挂在焊条端部，只有在其他力超过表面张力时，才能促使熔滴过渡到熔池中去。表面张力对平焊时的熔滴过渡起阻碍作用，但在仰焊等其他位置焊接时，表面张力却有利于熔滴过渡。其一是熔滴倒悬在焊缝上不易滴落；其二是焊条末端熔滴与熔池接触时，熔滴容易被拉入熔池中。表面张力越大，焊条末端的熔滴越大。表面张力的与多种因素有关，如焊条直径越大，焊条端部熔滴的表面张力也越大，所以气体保护焊时，采用细丝要比粗丝焊接时，熔滴过渡稳定而顺利。液态金属温度越高，其表面张力越小。表面张力还与保护气体的性质有关，若在氩气中加入少量氧气作为焊接钢的保护气体，比用纯氩气时的熔滴过渡有利于形成细颗粒，因为氧气的加入能降低熔滴的表面张力。

(3) 电磁力 从电工学里可知，两根平行的载流导体通以同向电流时，彼此产生相互吸引的电磁力，方向是从外向内，如图 1—6 所示。电磁力的大小与两根导体上的电流的乘积成正比，即通以导体的电流越大，电磁力越大。

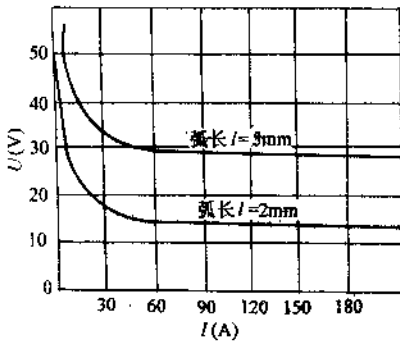


图 1—5 不同电弧长度的电弧静特性曲线

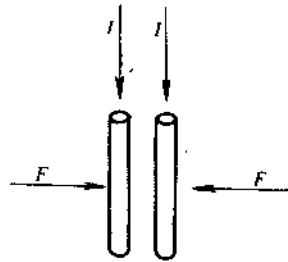


图 1—6 通有同方向电流的两根导线的相互作用力

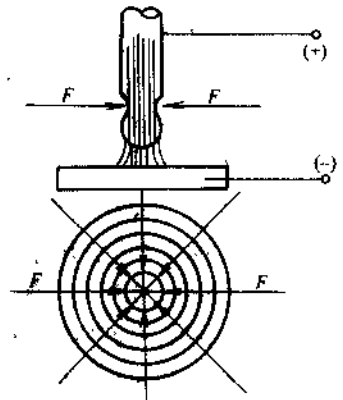


图 1—7 磁力线在熔滴上的压缩作用  
F——电磁压缩力

焊接时，可以把带电的焊丝及熔滴看成是由许多平行载流导体所组成的，如图 1—7 所示。

根据上述电磁效应原理，焊丝及熔滴上受有四周向中心的电磁压缩力。电磁压缩力对焊条端部液态金属径向的压缩作用，会促使熔滴很快形成。尤其是熔滴的细颈部分电流密度最大，电磁压缩力作用也最大，这使熔滴很容易脱离焊条端部落向熔池。

焊接电流较小时，焊条端部的液态金属主要受到的是表面张力和重力，电磁力影响很小。因此，当熔滴的重力克服表面张力的时候，熔滴脱离焊条端部落向熔池。这种情况下熔滴的尺寸较大，常出现电弧短路，产生较大的飞溅，电弧不稳。

焊接电流较大时，电磁力也比较大，相比之下重力所起的作用很小，液态熔滴主要是在电磁压缩力的作用下，以较小的熔滴向熔池过渡，而且方向性较强，不论是平焊或仰焊位

置，总是沿着电弧轴线自焊丝向熔池过渡。

焊接时，一般焊条或焊丝的电流密度都比较大，因此电磁力是熔滴过渡的主要作用力。在气体保护焊时，常常通过调整焊接电流的大小来控制熔滴尺寸。

焊接时，电磁力还会产生另外一种作用力，这是由于焊条端的电弧导电截面小，而焊件端的电弧导电截面大，因此焊条的电流密度大于焊件的电流密度，在焊条上所产生的磁场强度要大于焊件上所产生的磁场强度。这样就产生一个沿焊条纵向指向焊件的电场力。该电场力无论焊缝的空间位置如何，总是有利于熔滴向熔池过渡。

(4) 斑点压力 焊接电弧中的电子和正离子，在电场的作用下向两极运动，撞击两极的斑点而产生机械压力，这个力称为斑点压力。它是阻碍熔滴过渡的力。在直流正接时，阻碍熔滴过渡的是正离子的压力。反接时，是电子的压力。由于正离子比电子的质量大，所以正离子流的压力要比电子流的压力大，即阴极的斑点压力比阳极的斑点压力大。因此反接时熔滴过渡较正接时容易。

(5) 气体的吹力 在手弧焊时，焊条药皮的熔化稍落后于焊芯的熔化，在焊条末端形成一个套管，在套管内有大量的药皮造气剂，分解产生的气体及焊芯中碳元素氧化生成的 CO 气体，这些气体被电弧加热到高温时体积急剧膨胀，并顺着套管方向，以稳定的气流冲出，把熔滴“吹”到熔池中去。不论焊缝空间位置如何，气体的吹力均有利于熔滴的过渡。

## 2. 熔滴过渡的形式

(1) 滴状过渡 滴状过渡分为粗滴过渡和细滴过渡。粗滴过渡是熔滴呈粗大颗粒状向熔池自由过渡的形式，如图 1—8a 所示。当电流较小时，熔滴主要依靠重力的作用克服表面张力的束缚而下落，此时熔滴尺寸较大，呈粗滴过渡。由于粗滴过渡飞溅较大，电弧不稳定，通常不采用。当电流较大时，电磁力随之增大，使熔滴细化，过渡频率提高，飞溅减小，电弧较稳定，这种过渡形式称为细滴过渡。焊丝直径为  $\phi 1.6$  mm 的 CO<sub>2</sub> 气体保护焊，焊接电流达 400 A 以上时，即为细滴过渡，在生产中广泛应用。使用酸性焊条时也多为细滴过渡。

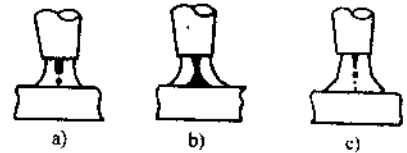


图 1—8 熔滴过渡的形式

a) 粗滴过渡 b) 短路过渡 c) 喷射过渡

(2) 短路过渡 由于强烈过热和磁收缩的作用使焊条或焊丝端部的熔滴爆断，直接向熔池过渡的形式，见图 1—8b。采用小电流焊接的同时降低电弧电压，可实现电弧稳定，飞溅较小，成形良好的短路过渡。细丝 ( $\phi 0.8 \sim \phi 1.2$  mm) CO<sub>2</sub> 气体保护焊时，常采用短路过渡形式。碱性焊条手弧焊时，在大电流范围内，可呈滴状过渡和短路过渡。

(3) 喷射过渡 熔滴呈细小颗粒，并以喷射状态快速通过电弧空间向熔池过渡的形式，见图 1—8c。采用氩气或富氩气气体保护焊反极性焊接时，随着焊接电流的逐渐增大，熔滴尺寸略有减小，当焊接电流达到某一临界电流值时，即出现喷射过渡状态。需要强调指出的是，产生喷射过渡除要求一定的电流密度外，还必须有一定的电弧长度（电弧电压）。如果弧长太短（电弧电压太低），无论电流数值有多大，也不可能产生喷射过渡。

喷射过渡的特点是：过渡频率高，熔滴以极细的颗粒沿电弧轴线高速射向熔池，发出“滋滋”声。喷射过渡具有电弧稳定，飞溅小，焊缝成形美观等优点。



#### 四、手弧焊操作预备知识

手弧焊具有焊接设备简单、操作简便、适应环境强的特点，可以用于自动、半自动焊不能承担的复杂构件焊接及检修作业等，是工矿企业应用最为广泛的焊接方法。

手弧焊在操作中要适应构件形状、尺寸和焊接位置等方面的变化，而且焊接质量的优劣直接受焊工本身的技术水平的影响。因此，对焊工的技能要求较高。

手弧焊在操作前应该对焊接设备、焊条、防护用品、辅助用具和量规等方面的知识有一个初步的了解，便于在以后技能训练中对其正确地选择和运用，为操作技能的提高打下基础。

##### 1. 电弧焊机

常用的手弧焊机有：弧焊变压器、弧焊整流器、弧焊发电机三种类型。

按照供应的电流性质，可分为交流弧焊机和直流弧焊机两大类。交流弧焊机是一种供电弧燃烧使用的降压变压器，亦称弧焊变压器。直流弧焊机根据所产生直流电的原理不同，又分为弧焊整流器和弧焊发电机。在生产中，如果采用酸性焊条（如 E4303 型），则选用弧焊变压器；如果采用碱性焊条（如 E5015 型），则选用弧焊整流器或弧焊发电机。由于弧焊发电机耗电量高、噪声大，所以逐渐被弧焊整流器所代替。

下面介绍几种常见的电弧焊机：

(1) BX1—330 型弧焊变压器 该焊机属于动铁心式。焊机的外形和外部接线如图 1—9 所示。焊接电流的调节分粗调和细调两种。粗调是通过改变二次侧线圈的不同接法及匝数来实现。具体方法是改变焊机二次侧接线板上的连接铜片位置（图 1—10）。当连接铜片在位置 I 时，焊接电流调节范围在 50~180 A；当连接铜片在位置 II 时，焊接电流调节范围为 160~450 A。焊接电流细调节是通过改变动铁心的位置来实现。具体方法是转动焊机侧面调节手柄，动铁心向外移动，则焊接电流增大；动铁心向内移动，则焊接电流就减小。但应注意焊机上刻度的电流数值精确度较差，使用时只能作为参考。可借助电流表调试所需的焊接电流值。

(2) BX3—300 型弧焊变压器 该焊机属于动圈式。外部接线与 BX1—330 型弧焊变压器相同。焊接电流也分粗调和细调两种，粗调是通过改变一、二次侧线圈的接线方式来实现，见图 1—11。当接为位置 I 时，同时转动粗调转换开关与位置 I 相对应，此时的接线为串联方式，焊接电流调节范围为 40~150 A。当接线为位置 II 时，也应同时转动粗调转换开关使之与位置 II 对应。焊接电流的调节范围为 120~380 A。细调节是摇动焊机顶部的手柄，通过改变活动线圈与固定线圈之间的距离来实现。手柄摇动时活动线圈会上、下移动，当活动线圈与固定线圈距离增大时，则焊接电流会减小；当距离减小时，则焊接电流会增大。使用时，先根据所需要的焊接电流值进行粗调，然后再细调，达到所需的电流值。

(3) ZXG—300 型弧焊整流器 该焊机属于磁放大式。焊机外形及外部接线如图 1—12 所示。焊接电流的调节方式只有一种，即转动焊机面板上的电流调节器，就可调节所需要的电流值。

##### 2. 电焊条

(1) 焊条的组成 焊条是由铜焊芯和药皮组成。焊条端部有一段没有药皮的夹持端，被焊钳夹住后可以导电。焊条末端的药皮磨成倒角，便于焊接时引弧。

1) 焊芯 焊芯作为填充金属约占整个焊缝的 2/3 左右。焊芯的成分直接影响着焊缝质