



全国中等职业技术学校机械类通用教材

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO JIXIELEI TONGYONG JIAOCAI

焊工 工艺学

(第四版)

配电子课件



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类通用教材

焊工工艺学

(第四版)

人力资源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

简介

本书主要包括焊接技术概述, 焊接接头与焊接识图, 气焊与气割, 焊条电弧焊, 金属熔焊过程, 焊接应力与变形, 埋弧焊, 气体保护电弧焊, 等离子弧焊接与切割, 电阻焊, 其他焊接、切割方法与技术, 常用金属材料的焊接, 焊接缺欠及检验等。

本书由邱葭菲主编, 蔡郴英、扈成林、王瑞权、张伟、李明强、米光明参加编写, 王长忠、王文安审稿。

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺学/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —4版. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2014

全国中等职业技术学校机械类通用教材

ISBN 978-7-5167-0830-9

I. ①焊… II. ①人… III. ①焊接工艺-中等专业学校-教材 IV. ①TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 038762 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)

*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.75 印张 376 千字

2014 年 3 月第 4 版 2014 年 3 月第 1 次印刷

定价: 29.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话: (010) 64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

本书封面轧有我社社标和英文缩写的暗纹, 否则即为盗版。

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

前言

为了更好地适应全国中等职业技术学校机械类专业的教学要求，全面提升教学质量，人力资源和社会保障部教材办公室组织有关学校的骨干教师和行业、企业专家，在充分调研企业生产和学校教学情况、广泛听取教师对现有教材使用情况的反馈意见的基础上，吸收和借鉴各地职业技术学院教学改革的成功经验，对现有全国中等职业技术学校机械类通用教材中所包含的车工、钳工、机修钳工、铣工、焊工、冷作工、机床加工等工艺学、技能训练教材进行了修订。

本次教材修订工作的重点主要体现在以下几个方面：

第一，合理定位工艺学和技能训练两种教材的配合关系。

根据学校实际教学开展情况，进一步梳理了各工种对应工艺学和技能训练教材的配合关系，在教学内容设计上力求同步，充分发挥工艺教学对技能训练的支撑作用，使工艺学和技能训练两种教材既可单独使用，也可配套使用，从而适应不同学校理实相分或理实相合教学模式的需要。

第二，及时更新教材内容。

根据企业岗位的需要和教学实际情况的变化，确定学生应具备的能力与知识结构，对部分教材内容及其深度、难度做了适当调整；根据相关专业领域的最新发展，在教材中充实新知识、新技术、新设备、新材料等方面的内容，体现教材的先进性；采用最新的国家技术标准，使教材更加科学和规范。

第三，做好与职业技能鉴定要求的衔接。

教材编写以 2009 年修订的车工、机修钳工、装配钳工、工具钳工、铣工、焊工、冷作钣金工等国家职业技能标准为依据，涵盖国家职业技能标准（中级）的知识和技能要求，并在与教材配套的习题册中增加了针对相关职业技能鉴定考试的练习题。

第四，精心设计教材形式。

在教材内容的呈现形式上，尽可能使用图片、实物照片和表格等形式将知识点生动地展示出来，力求让学生更直观地理解和掌握所学内容。尤其是在教材插图的制作中采用了立体造型技术，同时部分教材在印刷工艺上采用了四色印刷，增强了教材的表现力。

第五，提供全方位教学服务。

本套教材除配有习题册、教学参考书外，还配有方便教师上课使用的电子课件，电子课件和习题册答案可通过中国人力资源和社会保障出版集团网站 (<http://www.class.com.cn>) 下载。

本次教材的修订工作得到了辽宁、江苏、浙江、山东、河南、陕西等省人力资源和社会保障厅及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

人力资源和社会保障部教材办公室

2014年3月

目 录

第一章 焊接技术概述	(1)
§ 1—1 焊接及发展概况	(2)
§ 1—2 常用焊接热源	(6)
§ 1—3 焊接安全技术与劳动保护	(12)
思考与练习	(16)
第二章 焊接接头与焊接识图	(17)
§ 2—1 焊接接头与焊缝	(17)
§ 2—2 焊缝符号及相关工艺方法代号	(24)
§ 2—3 焊接结构装配图的识读	(34)
思考与练习	(36)
第三章 气焊与气割	(37)
§ 3—1 气体火焰	(37)
§ 3—2 气焊	(39)
§ 3—3 气割	(49)
思考与练习	(57)
第四章 焊条电弧焊	(58)
§ 4—1 焊条电弧焊的原理及特点	(58)
§ 4—2 焊条电弧焊设备及工具	(60)
§ 4—3 焊条电弧焊焊接材料	(69)
§ 4—4 焊条电弧焊工艺	(81)
思考与练习	(86)
第五章 金属熔焊过程	(87)
§ 5—1 焊条、焊丝及母材的熔化	(87)
§ 5—2 焊接化学冶金过程	(91)
§ 5—3 焊缝结晶过程	(96)
§ 5—4 熔合区及焊接热影响区	(98)
§ 5—5 控制和改善焊接接头性能的方法	(101)
思考与练习	(103)

第六章 焊接应力与变形	(104)
§ 6—1 焊接应力与变形的形成	(104)
§ 6—2 焊接残余变形	(106)
§ 6—3 焊接残余应力	(117)
思考与练习	(120)
第七章 埋弧焊	(121)
§ 7—1 埋弧焊的原理及特点	(121)
§ 7—2 埋弧焊机	(123)
§ 7—3 埋弧焊的焊接材料	(128)
§ 7—4 埋弧焊工艺	(131)
思考与练习	(136)
第八章 气体保护电弧焊	(138)
§ 8—1 气体保护电弧焊的原理及特点	(138)
§ 8—2 二氧化碳气体保护电弧焊	(140)
§ 8—3 氩弧焊	(149)
§ 8—4 熔化极活性混合气体保护焊	(157)
§ 8—5 药芯焊丝气体保护电弧焊	(159)
§ 8—6 气电立焊	(162)
思考与练习	(163)
第九章 等离子弧焊接与切割	(165)
§ 9—1 等离子弧产生的原理及特点	(165)
§ 9—2 等离子弧切割	(167)
§ 9—3 等离子弧焊接	(172)
思考与练习	(178)
第十章 电阻焊	(179)
§ 10—1 电阻焊的原理及特点	(179)
§ 10—2 电阻焊设备	(183)
§ 10—3 电阻焊工艺	(186)
思考与练习	(193)
第十一章 其他焊接、切割方法与技术	(194)
§ 11—1 钎焊	(194)
§ 11—2 电渣焊	(197)
§ 11—3 碳弧气刨	(200)

§ 11—4 摩擦焊与螺柱焊	(201)
§ 11—5 高能束焊及焊接机器人	(206)
思考与练习	(211)
第十二章 常用金属材料的焊接	(212)
§ 12—1 金属的焊接性	(212)
§ 12—2 常用焊接工艺措施	(214)
§ 12—3 非合金钢的焊接	(216)
§ 12—4 低合金高强度结构钢的焊接	(218)
§ 12—5 珠光体耐热钢的焊接	(221)
§ 12—6 低合金低温钢的焊接	(224)
§ 12—7 不锈钢的焊接	(226)
§ 12—8 铸铁的焊补	(234)
§ 12—9 铝及铝合金的焊接	(236)
§ 12—10 铜及铜合金的焊接	(239)
思考与练习	(241)
第十三章 焊接缺欠及检验	(242)
§ 13—1 焊接缺欠分析	(242)
§ 13—2 焊接质量检验	(249)
§ 13—3 焊接缺欠返修	(259)
思考与练习	(260)

第一章

焊接技术概述

在工业生产中，经常需要将两个或两个以上的零件按一定的形式和位置连接起来，根据连接的特点，可以将其分为两大类：一类是可拆卸连接，即不必毁坏零件就可以进行拆卸，如螺纹连接、键连接等；另一类是永久性连接，其拆卸只有在毁坏零件后才能实现，如铆接、焊接等，其中应用最广的是焊接。据不完全统计，全世界年钢产量的 50% 要经过焊接加工做出成品。焊接及其他常见连接方法如图 1—1 所示。

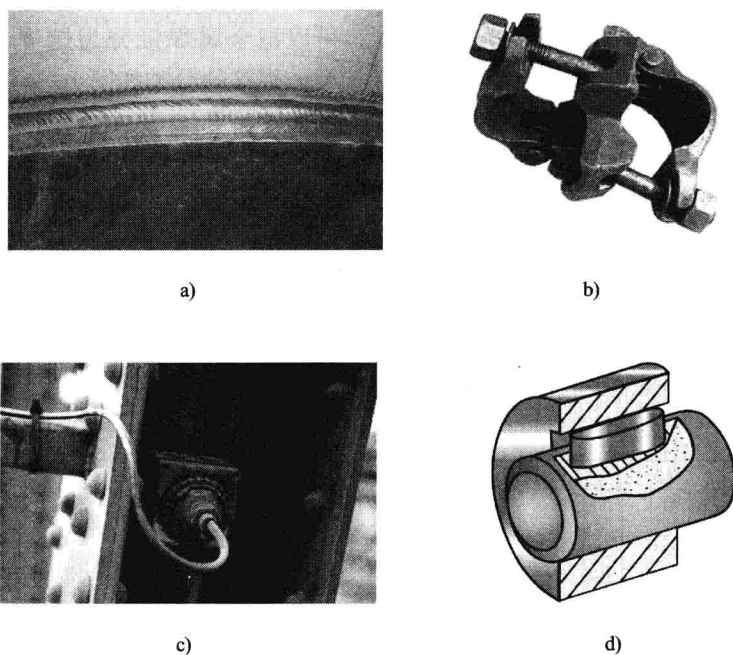


图 1—1 焊接及其他常见连接方法

- a) 容器壳体的焊接 b) 脚手架扣件的螺纹连接
c) 钢桥上钢板的铆接连接 d) 轮毂与轴的键连接

§ 1—1

焊接及发展概况

一、焊接的原理

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

由此可见，焊接最本质的特点就是通过焊接使焊件达到结合，从而将原来分开的物体形成永久性连接的整体。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，使之产生足够大的结

合力，才能形成牢固的接头。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，如电能、化学能、机械能、光能等，这就是金属焊接时必须采用加热、加压或两者并用的原因。

二、焊接的分类

按照焊接过程中金属所处的状态不同，可以把金属焊接分为熔焊、钎焊和压焊三类。焊接的分类如图 1—2 所示。

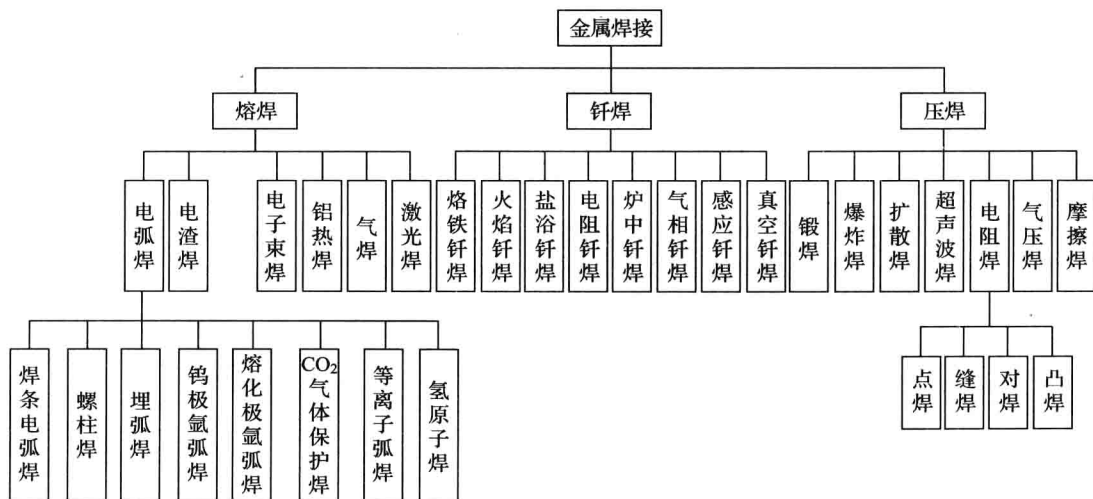
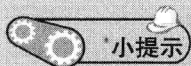


图 1—2 焊接的分类



小提示

焊接不仅可以连接金属材料，而且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。在工业生产中焊接方法主要用于金属材料的连接。

1. 熔焊

熔焊是在焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，在不外加压力的情况下，完成焊接的方法。在加热的条件下，当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时，原子之间可以充分扩散和紧密接触，因此冷却凝固后，可形成牢固的焊接接头。常见的气焊、焊条电弧焊、电渣焊、CO₂气体保护焊等都属于熔焊方法。

2. 钎焊

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，并与母材相互扩散实现连接焊件的方法。常见的钎焊方法有烙铁钎

焊、火焰钎焊等。

3. 压焊

压焊是在焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。锻焊、爆炸焊、电阻焊、气压焊、摩擦焊等均属此类焊接方法。

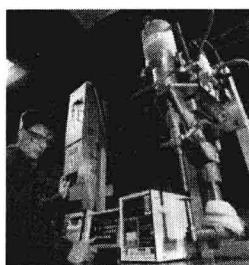
常用的焊接方法如图 1—3 所示。

三、焊接的特点

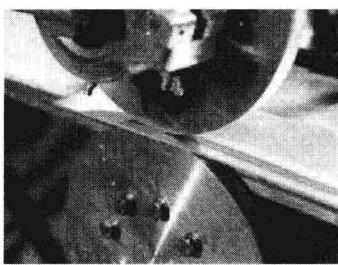
焊接是目前应用极广泛的一种永久性连接方法。焊接之所以发展迅速，是因为其自身的一些特点决定的。

1. 焊接与铆接相比

如图 1—4 所示，焊接与铆接相比，首先，可以节省大量金属材料，减轻结构的质量，因为焊接结构不必钻铆钉孔，材料截面



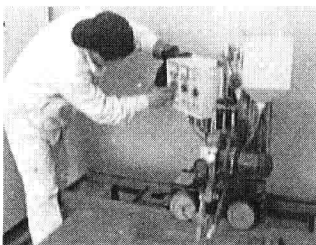
点焊



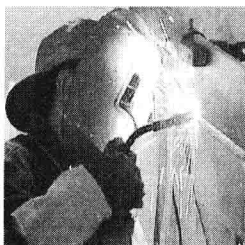
缝焊



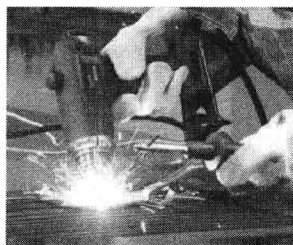
焊条电弧焊



埋弧焊



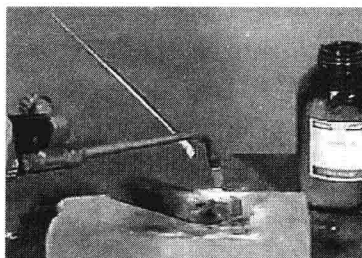
CO₂气体保护焊



等离子弧焊



钨极氩弧焊



火焰钎焊

图 1—3 常用的焊接方法

能得到充分利用,也不需要辅助材料。其次,简化了加工与装配工序,焊接结构生产不需钻孔,划线的工作量较少,因此劳动生产率高。另外,焊接设备一般比铆接生产所需的大型设备的投资低。焊接结构还具有比铆接结构更好的密封性,这是压力容器特别是高温、高压容器不可缺少的性能。焊接生产与铆接生产相比还具有劳动强度低,劳动条件好等优点。

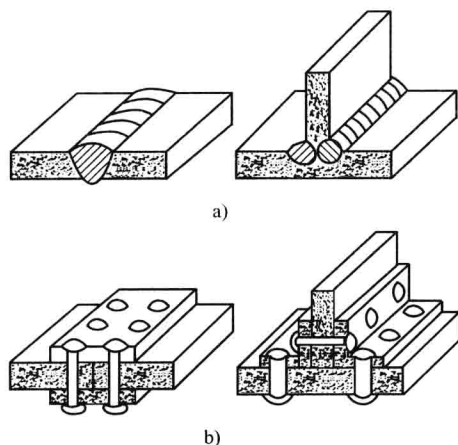


图 1—4 焊接与铆接
a) 焊接 b) 铆接

2. 焊接与铸造相比

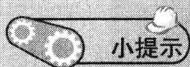
焊接与铸造相比,首先,不需要制作木模和砂型,也不需要专门的熔炼、浇铸,工序简单,生产周期短。其次,焊接结构比铸件节省材料。通常其质量比铸钢件轻 20% ~ 30%,比铸铁件轻 50% ~ 60%。另外,采用轧制材料的焊接结构质量一般比铸件好,即使不用轧制材料,用小铸件拼焊成大件,小铸件的质量也比大铸件质量容易保证。

3. 焊接的优点

焊接具有一些用别的工艺方法难以达到的优点,如可根据受力情况和工作环境,在不同的部位选用不同强度和不同耐磨、耐腐蚀、耐高温等性能的材料,以满足产品使用性能的要求。

4. 焊接的缺点

焊接也有一些缺点,如会产生焊接应力与变形,焊接应力会削弱结构的承载能力,焊接变形会影响结构形状和尺寸精度;焊缝中会存在一定数量的缺陷;焊接过程中会产生有毒有害物质等。这些都是焊接过程中需要注意的问题。



小提示

在金属结构制造中,焊接几乎全部取代了铆接;在机器制造中,很多一直用整铸、整锻方法生产的大型毛坯也改成了焊接结构。

四、焊接技术的应用与发展

我国是世界上较早应用焊接技术的国家之一。近代焊接技术是从 1885 年出现碳弧焊开始,直到 20 世纪 40 年代才形成较完整的焊接工艺方法体系。特别是 20 世纪 40 年代初期出现了优质电焊条后,焊接技术得到了一次飞跃。

现在世界上已有 50 余种焊接工艺方法应用于生产中,随着科学技术的不断发展,

特别是计算机技术的应用与推广,使焊接技术特别是焊接自动化技术的应用进入了一个崭新的阶段。各种新工艺方法,如多丝埋弧焊(见图 1—5a)、窄间隙气体保护全位置焊、水下二氧化碳半自动焊、全位置脉冲等离子弧焊、异种金属的摩擦焊和数控切割设备及焊接机器人(见图 1—5b)等,已广泛应用于船舶、车辆、航空、锅炉、电动机、冶炼设备、石油化工机械、矿山机械、起重

机械、建筑及国防等各个工业部门，并成功地完成了不少重大产品的焊接，如直径 15.7 m 的大型球形容器、万吨级远洋考察船“远望号”、世界最大的三峡水轮机转轮（直径 10.7 m、高 5.4 m、总质量 440 t、耗用焊丝 12 t，见图 1—5c）、2008 年北京奥运会主体育场“鸟巢”（见图 1—5d），以及核反应堆、人造卫星、神舟系列太空飞船

等尖端产品。

如今，焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类学科为一体的工程工艺学科，从单一的加工工艺发展成为综合性的先进工艺技术。

焊接方法的发展简史见表 1—1。

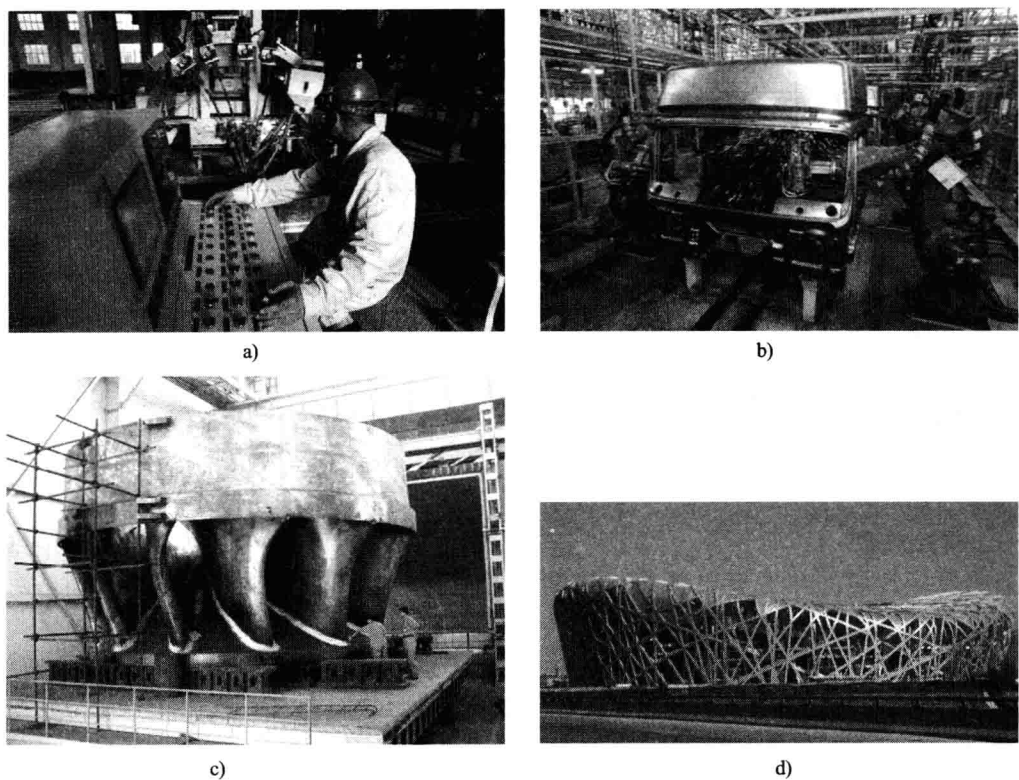


图 1—5 焊接技术的应用
a) 多丝埋弧焊 b) 焊接机器人在汽车制造业中的应用
c) 三峡水轮机转轮 d) 北京奥运会主体育场“鸟巢”

表 1—1 焊接方法的发展简史

焊接方法	英文缩写	发明国家	发明年份
电阻焊	RW	美国	1886—1900
氧炔气焊	OAW	法国	1900
铝热焊	TW	德国	1900
焊条电弧焊	MMA、SMAW	瑞典	1907
电渣焊	ESW	俄国、前苏联	1908—1950

续表

焊接方法	英文缩写	发明国家	发明年份
等离子弧焊	PAW	德国、美国	1909—1953
钨极惰性气体保护焊	TIG、GTAW	美国	1920—1941
药芯焊丝电弧焊	FCAW	美国	1926
螺柱焊	SW	美国	1930
熔化极惰性气体保护焊	MIG、GMAW	美国	1930—1948
埋弧焊	SAW	美国	1930
CO ₂ 气体保护焊	MAG、GMAW	前苏联	1953
电子束焊	EBW	前苏联	1956
激光束焊	LBW	英国	1970
搅拌摩擦焊	FSW	英国	1991

§ 1—2

常用焊接热源

一、焊接热源

金属焊接常用的热源有电弧热、化学热、电阻热、摩擦热、电子束、激光束等，

目前应用最广的是电弧热。常用焊接热源的特点及对应的焊接方法见表 1—2。

表 1—2

常用焊接热源的特点及对应的焊接方法

焊接热源	特点	对应的焊接方法
电弧热	气体介质在两电极间或电极与母材间强烈而持久的放电过程所产生的电弧热为焊接热源，电弧热是目前焊接中应用最广的热源	电弧焊，如焊条电弧焊、埋弧焊、CO ₂ 气体保护焊、等离子弧焊等
化学热	利用可燃气体的火焰放出的热量或铝、镁热剂与氧或氧化物发生强烈反应所产生的热量为焊接、切割热源	气焊、钎焊、气割、热剂焊（铝热剂）
电阻热	利用电流通过导体及其界面时所产生的电阻热为焊接热源	电阻焊、高频焊（固体电阻热）、电渣焊（熔渣电阻热）
摩擦热	利用机械高速摩擦所产生的热量为焊接热源	摩擦焊
电子束	利用高速电子束轰击工件表面所产生的热量为焊接热源	电子束焊
激光束	利用聚焦的高能量激光束为焊接、切割热源	激光焊接、激光切割

二、焊接电弧

由焊接电源供给的,具有一定电压的两电极间或电极与母材间,在气体介质中产生的强烈而持久的放电现象,称为焊接电弧。如图 1—6 所示为焊条电弧焊电弧示意图。

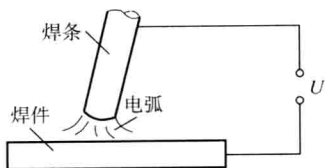


图 1—6 焊条电弧焊电弧示意图

1. 焊接电弧产生的条件

正常状态下,气体是良好的绝缘体,气体的分子和原子处于中性状态,气体中没有带电粒子,因此气体不能导电,电弧也不能自发地产生。要使电弧产生和稳定燃烧,就必须使两极(或电极与母材)之间的气体中有带电粒子,而获得带电粒子的方法就是中性气体的电离(中性气体分子或原子分离成带电粒子)和阴极电子发射(阴极金属表面的原子或分子,接受外界的能量而连续地向外发射出电子)。所以,气体电离和阴极电子发射是焊接电弧产生和维持的两个必要条件。

2. 焊接电弧的引燃方法

通常,把造成两电极间气体发生电离和阴极发射电子而引起电弧燃烧的过程称为焊接电弧的引燃(引弧)。焊接电弧的引燃一般有两种方式,即接触引弧和非接触引弧。

(1) 接触引弧

弧焊电源接通后,将电极(焊条或焊丝)与工件直接短路接触,并随后拉开焊条或焊丝而引燃电弧,称为接触引弧。接触引弧是一种最常用的引弧方式。

这种引弧方式主要应用于焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极气体保护焊等。对于焊条电弧焊,接触引弧又分为划擦法引弧和直击法引弧两种,如图 1—7、图 1—8 所示。

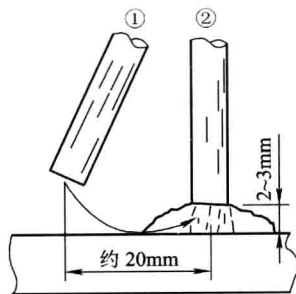


图 1—7 划擦法引弧

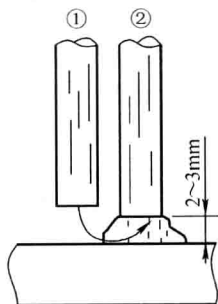


图 1—8 直击法引弧

(2) 非接触引弧

引弧时,电极与工件之间保持一定间隙,然后在电极和工件之间施以高电压击穿间隙使电弧引燃,这种引弧方式称为非接触引弧。

非接触引弧需利用引弧器才能实现,根据工作原理又分为高频高压引弧和高压脉冲引弧两种。高频高压引弧需要高频振荡器,频率为 150~260 kHz,电压峰值为 2~3 kV。高压脉冲引弧需要高压脉冲发生器,频率一般为 50~100 Hz,电压峰值为 3~10 kV。

非接触引弧方式主要应用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。由于引弧时电极无须和工件接触,这样不仅不会污染工件上的引弧点,而且也不会损坏电极端部的几何形状,有利于电弧燃烧的稳定性。

3. 焊接电弧的构造及静特性

(1) 焊接电弧的构造

焊接电弧按其构造可分为阴极区、阳极区和弧柱三部分,如图 1—9 所示。电弧两端(两电极)之间的电压称为电弧电压,电弧电压由阴极压降、阳极压降和弧柱压降组成。

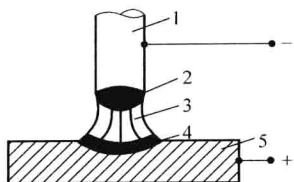


图 1—9 焊接电弧的构造

1—焊条 2—阴极区 3—弧柱 4—阳极区 5—焊件

1) 阴极区。电弧紧靠负电极的区域称为阴极区，阴极区很窄，约为 $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ cm}$ 。在阴极区的阴极表面有一个明亮的斑点，称为阴极斑点。它是阴极表面上电子发射的发源地，也是阴极区温度最高的地方。焊条电弧焊时，阴极区的温度一般可达 $2\,130 \sim 3\,230^\circ\text{C}$ ，放出的热量占焊接电弧总热量的 36% 左右。阴极温度的高低主要取决于阴极的电极材料。

2) 阳极区。电弧紧靠正电极的区域称为阳极区，阳极区较阴极区宽，约为 $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ cm}$ ，在阳极区的阳极表面也有光亮的斑点，称为阳极斑点。它是电弧放电时，正

电极表面上集中接收电子的微小区域。

阳极不发射电子，消耗能量少，当阳极与阴极材料相同时，阳极区的温度高于阴极区。焊条电弧焊时，阳极区的温度一般可达 $2\,330 \sim 3\,930^\circ\text{C}$ ，放出的热量占焊接电弧总热量的 43% 左右。

3) 弧柱。电弧阴极区和阳极区之间的部分称为弧柱。由于阴极区和阳极区都很窄，因此，弧柱的长度基本上等于电弧长度。焊条电弧焊时，弧柱中心温度可达 $5\,370 \sim 7\,730^\circ\text{C}$ ，放出的热量占焊接电弧总热量的 21% 左右。弧柱的温度与弧柱气体介质和焊接电流大小等因素有关。焊接电流越大，弧柱中电离程度越大，弧柱温度也越高。

这里有两个必须注意的问题：一是，不同的焊接方法，其阳极区、阴极区温度的高低并不一致，见表 1—3；二是，以上分析的是直流电弧的热量和温度分布情况，而交流电弧由于电源的极性是周期性变化的，所以两个电极区的温度趋于一致，近似于它们的平均值。

表 1—3 各种焊接方法的阴极区与阳极区温度比较

焊接方法	焊条电弧焊	钨极氩弧焊	熔化极氩弧焊	CO ₂ 气体保护焊	埋弧焊
温度比较	阳极区温度 > 阴极区温度		阳极区温度 < 阴极区温度		

(2) 焊接电弧的静特性

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，一般也称伏—安特性。表示它们关系的曲线叫作电弧的静特性曲线，如图 1—10 中的曲线 2 所示。

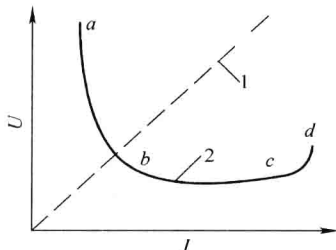


图 1—10 普通电阻静特性与电弧的静特性

1—普通电阻静特性 2—电弧的静特性

1) 电弧静特性曲线。焊接电弧是焊接回路中的负载，它与普通电路中的普通电阻不同，普通电阻的电阻值是常数，电阻两端的电压与通过的电流成正比 ($U = IR$)，遵循欧姆定律，这种特性称为电阻静特性，为一条直线，如图 1—10 中的曲线 1。焊接电弧也相当于一个电阻性负载，但其电阻值不是常数。电弧两端的电压与通过的焊接电流不成正比关系，而呈 U 形曲线关系，如图 1—10 中的曲线 2。

电弧静特性曲线分为三个不同的区域，当电流较小时（见图 1—10 中的 ab 区），电弧静特性属下降特性区，即随着电流的增加和电压减小；当电流稍大时（见图 1—10

中的 bc 区), 电弧静特性属平特性区, 即电流变化时, 电压几乎不变; 当电流较大时 (见图 1—10 中 cd 区), 电弧静特性属上升特性区, 电压随电流的增加而升高。

2) 电弧静特性曲线的应用。不同的电弧焊方法, 在一定的条件下, 其静特性只是曲线的某一区域。静特性的下降特性区由于电弧燃烧不稳定而很少采用。

焊条电弧焊、埋弧焊一般工作在静特性的平特性区, 即电弧电压只随弧长而变化, 与焊接电流关系很小。

钨极氩弧焊、等离子弧焊一般也工作在平特性区, 当焊接电流较大时才工作在上升特性区。

熔化极氩弧焊、 CO_2 气体保护焊和熔化极活性气体保护焊 (MAG 焊) 基本上工作在上升特性区。

电弧静特性曲线与电弧长度密切相关, 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—11 所示。

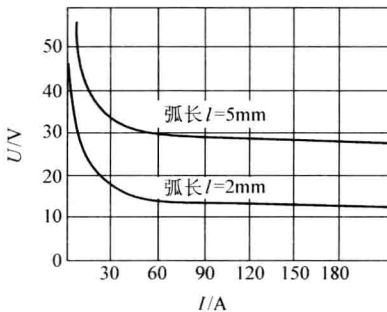


图 1—11 不同电弧长度的电弧静特性曲线

4. 焊接电弧的稳定性

焊接电弧的稳定性是指电弧保持稳定燃烧 (不产生断弧、飘移和偏吹等) 的程度。电弧的稳定燃烧是保证焊接质量的一个重要因素, 因此, 维持电弧稳定性是非常重要的。电弧不稳定的原因除焊工操作技术不熟练外, 还与下列因素有关:

(1) 弧焊电源的影响

采用直流电源焊接时, 电弧燃烧比交流电源稳定。此外, 具有较高空载电压的焊接电源不仅引弧容易, 而且电弧燃烧也稳定。这是因为焊接电源的空载电压较高, 电场作用强, 电离及电子发射强烈, 所以电弧燃烧稳定。

(2) 焊接电流的影响

焊接电流越大, 电弧的温度越高, 则电弧气氛中的电离程度和热发射作用越强, 电弧燃烧也就越稳定。通过实验测定电弧稳定性的结果表明: 随着焊接电流的增大, 电弧的引燃电压降低; 同时随着焊接电流的增大, 自然断弧的最大弧长也增大。所以焊接电流越大, 电弧燃烧越稳定。

(3) 焊条药皮或焊剂的影响

焊条药皮或焊剂中加入易电离的物质 (如 K 、 Na 、 Ca 的氧化物等), 能增加电弧气氛中的带电粒子, 这样就可以提高气体的导电性, 从而提高电弧燃烧的稳定性。

如果焊条药皮或焊剂中含有不易电离的氟化物 (如 CaF_2) 及氯化物 (如 KCl 、 $NaCl$) 时, 会降低电弧气氛的电离程度, 使电弧燃烧不稳定。

(4) 焊接电弧偏吹的影响

在正常情况下焊接时, 电弧的中心轴线总是保持着沿焊条 (丝) 电极的轴线方向。即使当焊条 (丝) 与焊件有一定倾角时, 电弧也会跟着电极轴线的方向而改变, 如图 1—12 所示。但在实际焊接中, 由于电弧周围气流的干扰、磁场的作用或焊条偏心的影响, 会使电弧中心偏离电极轴线的方向, 这种现象称为电弧偏吹, 如图 1—13 所示为磁场作用引起的电弧偏吹。一旦发生电弧偏吹, 电弧轴线就难以对准焊缝中心, 影响焊缝成形和焊接质量。