

新编

焊工速成

邱宏星 陈太贵



福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

新编 焊工速成

邱宏星 陈太贵

江苏工业学院图书馆
藏书章



福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

新编焊工速成/邱宏星, 陈太贵编. —福州: 福建科学技术出版社, 2008. 11
ISBN 978-7-5335-3241-3

I. 新… II. ①邱…②陈… III. 焊接—基本知识 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 130730 号

书 名	新编焊工速成
编 者	邱宏星 陈太贵
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州德安彩色印刷有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	10.5
字 数	274 千字
版 次	2008 年 11 月第 1 版
印 次	2008 年 11 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 978-7-5335-3241-3
定 价	16.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

焊接是现代工业生产中的一重要加工技术，在机械、电力、建筑、交通、石油、化工等工业部门中得到广泛的应用。焊工是重要的特殊工种，焊工的焊接技术水平直接影响到焊件的质量，从而影响到产品的质量、使用寿命和安全。因此，对焊工进行技能培训是一项十分重要的工作。为了适应焊工岗位培训和提高技能水平的需要，我们根据《中华人民共和国工人技术等级标准》对初级焊工、中级焊工的要求，并结合相关企业的生产实践和焊工培训教学经验，编写了这本书。

本书坚持理论与实践相结合的原则，在内容上注重实用性和技术性；以大量图表，用简练文字，结合生产实例，较全面地介绍了常用的焊接技术；采用最新焊接技术国家标准和有关规范，计量单位全部采用国际单位制；内容除解决初级焊工在实际生产中经常遇到的技术问题外，也考虑到中级焊工知识面的需要。尽量做到使读者易学、易会，能在较短时间内掌握并提高焊接技能。

本书编写过程中，参阅了大量的资料，并得到有关企业焊接技术人员的支持和帮助，在此特向有关人员表示衷心感谢。由于水平有限，经验不足，书中难免存在缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 焊工基础知识	(1)
第一节 常用金属材料及性能	(1)
一、金属材料分类	(1)
二、金属材料性能	(1)
第二节 焊接方法分类与选用	(3)
一、焊接方法分类及特点	(3)
二、常用焊接方法的比较和选用	(4)
第三节 焊接电弧和金属的熔焊原理	(6)
一、焊接电弧	(6)
二、电弧焊熔滴过渡	(9)
三、焊接冶金原理	(9)
第四节 焊接接头及焊缝形式	(11)
一、焊接接头基本类型	(11)
二、坡口	(14)
三、焊缝形式	(15)
四、焊缝符号	(17)
第五节 焊件热处理	(21)
一、焊前预热	(21)
二、消氢处理	(22)
三、焊件常用的热处理方法	(22)
第二章 焊条电弧焊	(23)
第一节 焊条电弧焊电源	(23)
一、弧焊电源的分类及要求	(23)
二、弧焊电源选择、安装和使用	(27)
第二节 常用焊接辅助设备与工具	(29)
一、电焊钳	(29)
二、面罩及护目镜	(30)
三、焊接电缆	(31)
四、橡胶气管	(31)
五、焊缝检验尺	(32)
六、焊条保温筒及烘干箱	(32)
七、坡口加工机及角向磨光机	(33)
第三节 焊 条	(34)
一、焊条组成与分类	(34)
二、焊条型号和牌号	(35)

三、焊条选用	(40)
四、焊条保管和使用	(41)
第四节 焊条电弧焊基本操作	(42)
一、引弧、运条及收弧	(42)
二、焊缝连接	(44)
三、焊件对接装配和定位焊、打底焊	(45)
四、各种位置的焊条电弧焊操作技术	(46)
第五节 焊条电弧焊焊接技术	(52)
一、单面焊双面成形技术	(52)
二、管板焊件焊接技术	(55)
三、管管焊件焊接技术	(58)
四、薄板焊接技术	(62)
五、焊条电弧焊应用实例	(62)
第六节 焊接缺陷及其防止	(64)
一、焊接表面尺寸不符合要求	(64)
二、气孔	(65)
三、焊接裂纹	(65)
四、咬边	(66)
五、凹坑	(66)
六、焊瘤	(67)
七、夹渣	(67)
八、塌陷	(67)
九、烧穿	(68)
十、未焊透	(68)
十一、未熔合	(68)
第三章 埋弧焊	(69)
第一节 埋弧焊原理、设备及应用	(69)
一、埋弧焊原理及设备	(69)
二、埋弧焊特点及应用	(70)
第二节 埋弧焊工艺	(71)
一、埋弧焊接头形式	(71)
二、埋弧焊焊接工艺	(72)
三、埋弧焊常见缺陷及防止措施	(74)
第三节 埋弧焊操作技术	(76)
一、对接直焊缝埋弧自动焊	(76)
二、角焊缝埋弧自动焊	(79)
三、环焊缝埋弧自动焊	(80)
四、窄间隙埋弧自动焊	(81)
五、埋弧自动焊应用实例	(82)
第四章 熔化极气体保护焊	(84)

第一节 熔化极气体保护焊原理、类型及特点	(84)
一、熔化极气体保护焊原理和特点	(84)
二、熔化极气体保护焊分类	(84)
三、熔化极气体保护焊应用	(85)
四、常用保护气体	(85)
第二节 CO ₂ 气体保护焊	(86)
一、CO ₂ 气体保护焊原理、应用及设备	(86)
二、CO ₂ 气体保护焊熔滴过渡	(87)
三、CO ₂ 气体保护焊的飞溅	(88)
四、CO ₂ 气体保护焊焊接工艺参数	(89)
五、CO ₂ 气体保护焊基本操作	(91)
六、焊接缺陷及防止措施	(93)
七、CO ₂ 气体保护焊应用实例	(95)
第三节 熔化极氩弧焊	(98)
一、熔化极氩弧焊特点	(98)
二、熔化极氩弧焊熔滴过渡形式	(98)
三、熔化极氩弧焊工艺	(99)
四、熔化极氩弧焊操作技术	(99)
第五章 非熔化极气体保护焊	(101)
第一节 钨极氩弧焊	(101)
一、钨极氩弧焊特点及应用	(101)
二、钨极氩弧焊设备	(101)
三、钨极氩弧焊工艺参数及选择	(103)
四、手工钨极氩弧焊操作技术	(105)
五、钨极氩弧焊应用实例	(107)
第二节 等离子弧焊	(109)
一、等离子弧形成和类型	(109)
二、等离子弧焊特点、分类与应用	(110)
三、等离子弧焊设备	(110)
四、等离子弧焊操作技术	(112)
五、等离子弧焊应用实例	(114)
第六章 电阻焊	(116)
第一节 电阻焊概述	(116)
一、电阻焊分类及应用	(116)
二、电阻焊用电极材料	(116)
三、常用材料电阻焊焊接性	(117)
第二节 电阻点焊	(118)
一、电阻点焊原理、设备及方法	(118)
二、电阻点焊操作技术	(119)
三、电阻点焊应用实例	(122)

第三节	电阻对焊及闪光对焊·····	(123)
一、	电阻对焊及闪光对焊特点、应用及设备·····	(123)
二、	电阻对焊及闪光对焊焊接工艺·····	(124)
三、	电阻对焊及闪光对焊应用实例·····	(127)
第四节	电阻缝焊·····	(129)
一、	电阻缝焊特点、应用及设备·····	(129)
二、	电阻缝焊焊接工艺·····	(129)
三、	电阻缝焊应用实例·····	(132)
第五节	电阻凸焊·····	(133)
一、	电阻凸焊特点、应用及设备·····	(133)
二、	电阻凸焊操作技术·····	(133)
第七章	气焊与气割·····	(135)
第一节	气焊·····	(135)
一、	气焊特点·····	(135)
二、	气焊的焊接材料·····	(135)
三、	气焊设备及工具·····	(136)
四、	气焊火焰·····	(141)
五、	气焊操作技术·····	(142)
六、	常用金属材料气焊·····	(144)
七、	气焊应用实例·····	(146)
第二节	气割·····	(146)
一、	气割原理及条件·····	(147)
二、	手工气割·····	(147)
三、	其他气割方法·····	(151)
四、	碳钢气割工艺·····	(151)
五、	气割缺陷及其防止措施·····	(154)
第八章	焊接安全技术·····	(156)
第一节	焊接的危险、有害因素及安全技术·····	(156)
一、	焊接的危险、有害因素·····	(156)
二、	焊接安全技术·····	(157)
第二节	焊接劳动保护·····	(161)
一、	焊工个人劳动防护用具·····	(161)
二、	焊接危害因素防护·····	(162)
三、	改善安全卫生条件的焊接技术措施·····	(163)
主要参考资料	·····	(164)

第一章 焊工基础知识

在现代工业生产中，焊接是一种重要的金属加工工艺，大量应用于机械、汽车、石油、化工、造船、建筑、电力、冶金、电子、航空、航天等工业部门。目前，焊接技术已发展成为一门独立的学科，焊接技术的应用范围越来越广。

第一节 常用金属材料及性能

一、金属材料分类

金属材料可分为黑色金属材料和有色金属材料两大类。黑色金属材料主要指钢和铸铁，黑色金属材料以外的其他金属材料统称为有色金属材料。

1. 钢

(1) 按用途分类

- ①建筑及工程结构用钢。有普通碳素钢、钢筋钢、低合金高强度钢等。
- ②机械制造用钢。有调质钢、易切削钢、渗碳钢、冷塑性成型用钢等。
- ③工具钢。有碳素工具钢、合金工具钢、高速工具钢。
- ④特殊性能钢。有不锈钢耐酸钢、耐热钢、耐磨钢、低温用钢、电工用钢、电热合金等。
- ⑤专业用钢。有船舶用钢、桥梁用钢、压力容器用钢、锅炉用钢等。

(2) 按质量分类。根据钢中有害元素硫、磷的含量，可分为普通钢、优质钢、高级优质钢。

(3) 按化学成分分类

①碳素钢。有工业纯铁（含碳量 $\leq 0.0218\%$ ）、低碳钢（含碳量 $< 0.25\%$ ）、中碳钢（含碳量 $0.25\% \sim 0.60\%$ ）、高碳钢（含碳量 $> 0.60\%$ ）。

②合金钢。有低合金钢（含合金元素总量 $< 5\%$ ）、中合金钢（含合金元素总量 $5\% \sim 10\%$ ）、高合金钢（含合金元素总量 $> 10\%$ ）。

(4) 按冶炼方法分。有沸腾钢、镇静钢、半镇静钢。

2. 铸铁

铸铁是含碳量 $> 2.11\%$ 的铁碳合金，有铸铁、球墨铸铁、可锻铸铁、蠕墨铸铁和合金铸铁。

3. 有色金属材料

常用有色金属材料可分为：

- ①铝及铝合金。有纯铝、变形铝合金、铸造铝合金。
- ②铜及铜合金。有纯铜、黄铜、青铜、白铜。
- ③钛及钛合金。有工业纯钛、钛合金。
- ④镁合金。有变形镁合金、铸造镁合金。
- ⑤镍及镍合金。有纯镍、耐蚀镍合金、热强镍合金、抗氧化镍合金。

二、金属材料性能

金属材料性能分为使用性能和工艺性能。使用性能指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，包括物理性能（如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性等）、化学性能

(如耐腐蚀性、抗氧化性等)、力学性能等；工艺性能指金属材料在制造工艺过程中适应加工的各种性能。

1. 金属材料力学性能

力学性能指金属在各种不同性质的外力作用下，所表现出来的抵抗变形和破坏的能力，包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

(1) 强度。它指金属材料在外力的作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力，主要有：

①屈服强度（屈服点）。它指在拉伸过程中，载荷不增加，试样（指试验用的材料）仍能继续伸长时的最小应力，用代号 σ_s 表示。

②抗拉强度。它指试样在拉断前所承受的最大应力，用代号 σ_b 表示。

(2) 塑性。它指金属材料在拉断前产生塑性变形的能力，主要有：

①伸长率。它指拉伸后试样上标距的伸长与原始标距的百分比，用代号 δ 表示。

②断面收缩率。它指试样拉断后，缩颈处横断面积的最大缩减量与原始横断面积的百分比，用代号 ψ 表示。

(3) 硬度。它指材料抵抗硬物体压入其表面的能力。根据测试压头、载荷和试验方法的不同，硬度可分为布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

①布氏硬度。其测试方法简单，测量值较准确。压头为淬火钢球时用 HBS 表示，压头为硬质合金时用 HBW 表示。它适用于测量灰铸铁、有色金属及其合金，以及各种退火、正火、调质钢等金属材料，但不能用于成品件和薄件的测量。

②洛氏硬度。其测试效率高、压痕小，可测量软的、硬的或厚度较薄的成品，但测量值不够准确。常用的有 3 种硬度标尺，分别用 HRA、HRB、HRC 表示。

③维氏硬度。测试时压痕浅，适宜测量零件表面硬化层、化学处理层（如渗碳、渗氮层）以及很薄零件的硬度，测量值比布氏和洛氏硬度精确。它用 HV 表示。

(4) 冲击韧性。它指金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。目前，常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定。冲击韧性用冲击韧度 a_k 表示。

(5) 疲劳强度。它指金属材料在无限多次交变应力的作用下而不破坏的最大应力。实际上金属材料不可能做无数次交变载荷试验，所以一般规定：对于黑色金属应力循环次数达 10^7 次而不断裂的最大应力称为疲劳强度（疲劳极限），对于有色金属、不锈钢等应力循环次数达 10^8 次而不断裂的最大应力称为疲劳强度。

2. 金属材料工艺性能

工艺性能是指金属材料对不同加工方法的适应能力，包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能。工艺性能是生产过程中制订加工工艺的重要因素，它直接影响到零件的制造工艺和质量。

(1) 铸造性能。它指金属及合金在铸造中获得优良铸件的能力。衡量铸造性能的指标有流动性、收缩性和偏析倾向等。金属和合金的流动性越好、收缩性越小、偏析倾向越小，其铸造性能越好。

(2) 锻造性能。它指金属材料利用锻压加工获得优良锻件的难易程度。锻造性能的好坏主要与金属的塑性和变形抗力有关，塑性越好、变形抗力越小，锻造性能越好。

(3) 焊接性能。它指金属材料对焊接加工的适应性，也就是在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。对于同一种金属材料，如果采用不同的焊接方法或焊接材料，其焊接性能可能会有很大的差别。对于碳钢和低合金钢，焊接性能主要与金属材料的化

学成分有关（其中碳的影响最大）。低碳钢具有良好的焊接性能，而高碳钢和铸铁的焊接性能较差。

（4）切削加工性能。它指金属材料切削加工的难易程度。它由工件切削后的表面粗糙度及刀具的使用寿命等来衡量。一般认为金属材料具有适当的硬度（170～230HBS）和足够的脆性时，较易切削加工。

第二节 焊接方法分类与选用

一、焊接方法分类及特点

1. 焊接方法分类

焊接方法种类很多，按焊接过程的特点可分为熔化焊、加压焊、钎焊三大类。

（1）熔化焊。它指利用局部加热，将两焊件的接合处加热到熔化状态，并形成共同熔池，凝固后形成牢固接头的方法。按照热源的不同，可分为电弧焊、电渣焊、气焊、铝热焊、等离子弧焊、电子束焊、激光焊等。

（2）加压焊。它指利用施加足够的压力，加热或不加热，使两焊件结合面紧密接触并产生一定塑性变形，形成牢固接头的方法。按照加热方法的不同，可分为冷压焊、摩擦焊、电阻焊（对焊、点焊、滚焊）、爆炸焊、扩散焊、超声波焊等。

（3）钎焊。它指利用某些熔点低于被连接焊件材料熔点的熔化金属（钎料）作为连接的填充物，通过其熔液渗透、浸润作用，填充在焊件连接处的间隙中，液态钎料和母材相互熔解和扩散，凝固后形成牢固接头的方法。按照加热形式的不同，可分为烙铁钎焊、火焰钎焊、炉中钎焊、高频感应钎焊、真空钎焊等。

2. 常用焊接方法特点及应用

常用焊接方法特点及应用见表 1-1。

表 1-1 常用焊接方法特点及应用

种 类	焊接方法	主要特点	应 用
熔化焊	焊条电弧焊	采用手工操作，具有设备简单、易于操作、适用性较强的优点。但焊材的利用率较低，劳动强度大，难以实现机械化和自动化生产	焊接各种黑色金属，也可用于某些有色金属的焊接。对不规则的焊缝较适宜
	埋弧焊	在焊剂层下，焊丝端与焊件之间燃烧的电弧熔化母材和焊丝而形成焊缝。具有焊丝熔敷率高、熔深大、劳动条件好等特点	碳钢、低合金钢、不锈钢和铜等材料的中、厚板焊接。较适于平焊位置的焊接，对于其他的位置焊接，必须采取特殊的保护措施
	熔化极气体保护焊	利用外加保护气体作为电弧介质，以隔离空气，防止空气侵入焊接区。常用的保护气体有 Ar、He、N ₂ 、CO ₂ 及混合气体。其生产效率较高，质量较好，成本较低	惰性气体保护焊适于碳钢、合金钢及铝、铜、钛等金属材料的焊接。二氧化碳气体保护焊适于焊接碳钢，堆焊一般用途的低合金钢及耐热耐磨钢
	钨极氩弧焊	以惰性气体（常用氩气）作保护气体，钨极为不熔化电极的电弧焊。具有焊接电弧稳定性好、热量集中、熔池金属不发生氧化反应等优点。但效率较低，成本较高，不宜用于厚壁件焊接	焊接各种钢材和合金，特别适于薄壁焊件和难焊位置的焊接
	电渣焊	利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热来熔化金属，其热影响区宽，晶粒易长大，焊后需热处理	碳钢、低合金钢厚壁结构件，容器的纵缝和环缝，以及厚的大钢件、铸件、锻件的焊接

续表

种 类	焊接方法	主要特点	应 用
熔化焊	等离子弧焊	利用等离子弧加热焊件，能量密度大、热量集中、熔深大、热影响区小，且焊接速度快、生产效率高。但焊接设备较复杂。按特点可分为大电流、脉冲、微束等离子弧焊等	碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热钢，以及铜、镍、钛及其合金等材料的焊接。微束等离子弧焊可焊金属箔及细丝
	气 焊	利用可燃气体与氧混合燃烧的火焰加热焊件。其设备简单，操作方便，但加热区较宽，焊件变形较大，生产效率较低	焊接各种金属材料，特别是薄件焊接、管子的全位置焊接，零件预热，火焰钎焊、堆焊，以及火焰矫正
加压焊	电阻焊	利用电流通过焊件产生的电阻热来加热焊件，使之呈塑性状态或局部熔化状态，然后加压使之连接在一起。按焊接形式不同分点焊、缝焊、凸焊、对焊等。其生产效率高、节省材料、成本低，易于实现自动化生产	焊接各种钢、铝及铝合金、铜及铜合金等材料，主要用于焊接薄板（厚度 3mm 以下）焊件
	摩擦焊	利用焊件接触面的相互旋转摩擦产生的热量，使局部达到热塑性状态，加压后形成焊接接头。可焊金属范围广，特别适于焊接异种金属，且接头质量好，易于自动化生产	铝、铜、钢及异种金属材料焊接
	冷压焊	不需外加热源，利用压力使金属产生塑性变形，将焊件焊接在一起	塑性较好的金属，如铝、铜、铅、钛等材料的焊接
钎 焊	烙铁钎焊	利用电烙铁或火焰加热的烙铁，局部加热焊件。其焊接温度低，要用钎料	钎焊导线、电子元件、电路板及一般薄件，使用的钎料熔点低于 300℃
	电阻钎焊	利用电阻热加热焊件，加热速度快，生产效率高	钎焊铜及铜合金、银及银合金、钢、硬质合金材料，常用于钎焊刀具、电器元件等
	火焰钎焊	利用气体火焰加热焊件，设备简单、通用性好	钎焊钢、不锈钢、硬质合金、铸铁及铜、银、铝等有色金属材料

二、常用焊接方法的比较和选用

在焊接生产中，焊接方法是制定焊接结构制造工艺方案必须首先考虑的。焊接方法的选用取决于焊件材料、焊接接头的质量要求、焊件结构尺寸、焊接设备、焊接工艺、焊接成本等。选用的原则是在保证焊件质量符合相应的质量标准和满足产品的技术要求的前提下，尽可能地提高生产效率、降低成本，获得最大的经济效益。

1. 焊条电弧焊

焊条电弧焊是各种电弧焊方法中使用最早，目前仍广泛应用的焊接方法。它用手工操纵焊条进行焊接。焊条作为电极和填充金属，电弧在焊件和焊条端部之间燃烧，电弧柱温度达 5000℃ 以上，焊条药皮在电弧的作用下产生气体保护电弧，并形成熔渣覆盖熔池表面，防止周围空气与熔化金属发生作用。

焊条电弧焊设备简单、轻便，操作灵活，可用于各种位置及各种装配条件下的焊接，但劳动强度大，焊接环境较差，易发生职业病。在大批量生产的情况下，焊条电弧焊往往被经济性、环保性更好的熔化极气体保护焊和埋弧焊所取代。

2. 埋弧焊

埋弧焊以连续送进的焊丝作为电极和填充金属。在焊接时，焊接区上面覆盖一层焊剂，电弧在焊剂层下燃烧，将焊件和焊丝熔化而形成焊缝。埋弧焊可分为自动埋弧焊和半自动埋

弧焊两种。半自动埋弧焊的焊枪笨重，送丝准确率低，生产中应用不及自动埋弧焊广。

埋弧焊可采用较大的焊接电流，对于 I 形坡口，一次可焊透厚 20mm 的对接接头，而且焊缝质量较好，焊接效率高，无弧光，特别适于大型焊件的长直缝和环缝的焊接。

3. 熔化极气体保护焊

熔化极气体保护焊利用连续送进的焊丝与焊件之间产生的电弧来熔化焊件和焊丝而形成焊缝，而由喷枪喷出的气体保护电弧和熔池金属。通常熔化极气体保护焊用的保护气体有 Ar（氩气）、He（氦气）、CO₂（二氧化碳），或这些气体的混合气体。以 Ar 或 He 为保护气体时，称为熔化极惰性气体保护焊（MIG 焊）；以惰性气体与氧化性气体的混合气体为保护气体时，或以 CO₂ 气体及 CO₂ 与 O₂ 的混合气体为保护气体时，称为熔化极活性气体保护焊（MAG 焊）。

熔化极气体保护焊是一种优质、高效、低成本的焊接方法，可方便地进行各种位置的焊接，而且焊接速度较快，熔敷效率高，易于实现机械化和自动化，但保护气体易受环境影响（风力干扰）。

纯 CO₂ 气体保护焊的优点是焊接变形小，热影响区窄，焊接成本低，焊接质量较好，但焊缝成形欠佳，焊接飞溅较多。采用不同比例的 Ar、CO₂ 混合气体保护焊能克服纯 CO₂ 气体保护焊的缺点，使焊接飞溅减少，焊缝成形得到改善。但电弧的热量增大，焊薄板时热影响区较宽，焊接变形较大，焊接成本高，焊枪寿命缩短。因此，在焊接厚 5mm 以下的薄板时，应选择纯 CO₂ 气体保护焊。

4. 钨极氩弧焊

钨极氩弧焊（TIG 焊）是一种非熔化极气体保护焊，利用钨极和焊件之间的电弧来熔化焊件和焊丝而形成焊缝。在焊接过程中钨极不熔化，只起电极的作用，焊丝可用手工或由独立的送丝机构送入熔池。保护气体由焊炬的喷嘴喷出，可采用 Ar、He、Ar+He 及 Ar+H₂（氢气）气体，最常用的是 Ar。

钨极氩弧焊能有效控制热输入，焊接电弧稳定，广泛用于焊接薄板和各种焊缝的打底焊。这种焊接方法几乎可以焊接所有的金属，并且焊接质量较高，但焊接速度较慢。采用直流电时可焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、耐热耐蚀合金、钛及其合金、镍及其合金、铜及其合金。采用交流电时可焊接铝及其合金、镁及其合金等。

5. 等离子弧焊

等离子弧焊也是一种非熔化极电弧焊，利用焊件与电极之间的压缩电弧实现焊接，通常所用的电极钨极。进行等离子弧焊时，必须向焊枪压缩喷嘴输送离子气，向焊枪保护气罩输送保护气体，以保护焊接熔池和近缝区金属。焊接时可加填充金属，也可不加填充。

等离子弧焊焊接时，电弧能量密度大、温度高、挺直、穿透能力强，厚 12mm 金属板材可不开坡口一次焊透双面成形。因此，等离子弧焊焊接效率高，质量较好，但设备复杂，气体消耗量大，且不适合手工操作，灵活性不如手工氩弧焊。

6. 电渣焊

电渣焊利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热进行焊接。根据焊接时使用的电极形状，电渣焊可分为丝极电渣焊、板极电渣焊和熔嘴电渣焊等。焊接在立焊位置进行，利用熔化的导电熔渣保护熔池，并熔化焊丝及焊件侧边。随着焊丝的送进，熔池温度不断上升，随后冷却凝固而形成焊缝。

电渣焊的线能量较大，生产效率高，可焊接大厚度（30～1000mm）的焊件，主要用于

大截面的对接接头和 T 形接头的焊接。由于电渣焊的加热和冷却速度都很慢，高温停留时间长，热影响区的过热组织较严重，为使接头获得良好的力学性能，焊接后一般须进行正火处理。

7. 电阻焊

电阻焊是压力焊的一种。焊件处在一定的电极压力下，利用电流通过焊件时产生的电阻热，将两焊件间的接触面熔化而进行焊接。它具有劳动条件好，焊件变形小，生产效率高等优点。电阻焊电压低，通常使用较大的电流，焊接时间短，电源功率较大，故整个焊接过程中始终要施加压力。为了保证接头质量，焊接前应对焊件的接触面进行清理。

常见电阻焊有点焊、缝焊、凸焊、对焊等，主要用于薄板件的焊接。

8. 气焊

气焊利用可燃气体与氧混合燃烧形成的火焰作热源进行焊接。气焊所用的可燃性气体有乙炔、丙烷、液化石油气等，乙炔气最常用。

可燃气体火焰的特点是热量不集中、加热区宽、加热速度慢，因而焊接效率低、焊接变形大，且有焊缝及热影响区晶粒粗大、接头性能不够好等缺点。但气焊设备简单，成本较低，使用灵活方便，易于焊接薄板件，能适用各种不同位置的焊接。目前气焊主要应用于单件或小批量生产，焊前预热和后热焊件，对焊接接头质量无严格要求的焊件，以及无电源的现场施工等。

第三节 焊接电弧和金属的熔焊原理

一、焊接电弧

焊接电弧指在具有一定电压的两电极间或电极与焊件间的气体（空气）介质中产生强烈而持久的放电现象。电弧能产生大量的热能并放出强烈的光，其热能用来熔化金属。

1. 电弧形成

电弧形成包括气体介质的电离和电极的电子发射两个过程，两者都是电弧产生和维持的重要条件。为了使电弧引燃和连续燃烧，必须使两电极间的气体变成导电体。使中性气体分子或原子释放电子变成能导电的正离子过程，称为气体电离。阴极金属表面的分子或原子吸收了外界能量而释放出自由电子的现象，称为阴极电子发射。

焊接过程中，当焊接电源输出端的两极（即电极和焊件）短路时，它们表面局部凸出部分先接触并通过电流，在电阻热作用下，接触部分金属温度急剧升高而熔化，形成液态金属小桥，小桥爆断后金属受热汽化，将电极与焊件分离。在热和电场的作用下，周围的高温气体电离。同时在极小的间隙内，在电源电压的作用下形成强大的电场，电子在电场的作用下自阴极逸出形成“电子发射”：阴极电子快速向阳极运动，与中性粒子碰撞并使其电离，这样阴极不断地发射电子，两极间气体不断电离，形成电弧放电过程，使电弧得以维持。

2. 电弧引燃方法

（1）接触短路引弧法。先将两电极互相接触短路，产生短路电流，然后迅速将电极拉开，两电极间立即产生一个电压（焊机的空载电压），使气体电离而引燃电弧。接触短路引弧法主要用于焊条电弧焊和埋弧自动焊。

（2）高频高压引弧法。将两电极靠近至相距 2~5mm，然后加上 2000~3000V 的高压，将两电极间的气体击穿电离，从而引燃电弧。由于工频（50Hz）高压电对人身体的危害很大，为此将其频率提高到 150~260kHz。高频高压引弧法主要用于钨极氩弧焊、等离子弧焊。

3. 电弧组成

焊接电弧由阴极区、阳极区和弧柱区三部分组成，见图 1-1。

(1) 阴极区。阴极区靠近阴极（电源负极），区域很窄（ $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ mm}$ ），电场强度大。在阴极表面上有一个明亮的斑点，称为阴极斑点。它是电子发射的发源地，电流密度很大。它也是阴极区温度最高的地方。

(2) 阳极区。阳极区靠近阳极（电源正极），区域比阴极区宽些（ $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ mm}$ ），但电场强度比阴极小得多。在阳极表面上也有一个明亮的斑点，称为阳极斑点。它是集中接受电子的微小区域。

(3) 弧柱区。弧柱区处于阴极区与阳极区之间，电弧的长度基本上等于弧柱的长度。弧柱区充满电子、正负离子及中性气体分子与原子，并伴随着激烈的电离反应。

4. 电弧温度分布

焊接电弧 3 个区域的温度分布是不均匀的。一般情况下，阳极斑点的温度高于阴极斑点，阳极区和阴极区放出的有效热量分别约占电弧总热量的 43% 和 36%，但都低于该电极材料的沸点。弧柱区的温度最高，焊条电弧焊时，弧柱区中心温度可达 $5000 \sim 7730^\circ\text{C}$ ，但沿其截面分布不均，离开弧柱中心温度逐渐降低。弧柱区放出的有效热量约占电弧总热量的 21%。

焊接电弧作为焊接热源，其主要特点是温度高，热量集中，金属熔化速度非常快。焊接时熔化母材和焊丝的热量主要来自两极区，弧柱区温度虽然很高，但大部分热量散失于周围空气中，对金属的熔化不起主要作用。

5. 电弧电压和电弧静特性

(1) 电弧电压。电弧两端（即两电极）之间的电压称为电弧电压。电弧电压由阴极电压降、阳极电压降和弧柱电压降三部分组成。

当电极材料和气体介质一定时，阴极电压降和阳极电压降基本上是一固定值，因此，电弧电压只与电弧长度有关。一般情况下，电弧电压与电弧长度成正比，即随着电弧长度的增加电弧电压增高，随着电弧长度的缩短时，电弧电压降低。

(2) 电弧静特性。电弧静特性是指在电极材料、气体介质和电弧长度一定的情况下，电弧稳定燃烧时，焊接电流和电弧电压变化的关系，一般也称伏-安特性，表示它们关系的曲线叫做电弧静特性曲线，见图 1-2。电弧静特性曲线呈 U 形，可分为 3 个区域：

① 当焊接电流较小时，电弧静特性属于下降特性区（图中 ab 区），即随焊接电流的增加，电弧电压迅速减小。

② 当焊接电流稍大时，电弧静特性属于平特性区（图中 bc 区），即随焊接电流的增加，电弧电压基本上保持不变。

③ 当焊接电流较大时，电弧静特性属于上升特性区（图中 cd 区），即电弧电压随焊接电流的增加而升高。

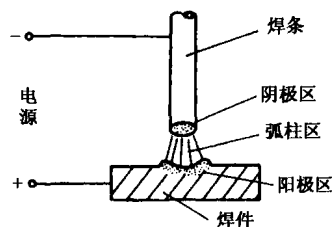


图 1-1 焊接电弧组成

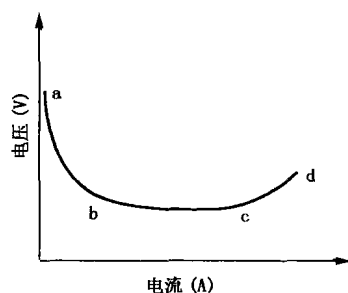


图 1-2 电弧静特性曲线

(3) 不同焊接方法的电弧静特性曲线。在一定条件下, 不同的电弧焊方法, 其电弧静特性曲线只是曲线的某一区域。

① 焊条电弧焊。由于使用电流受到限制 (焊条电弧焊设备的额定电流不大于 500A), 电弧静特性曲线无上升特性区。

② 埋弧焊。在正常电流密度下焊接时, 电弧静特性曲线为平特性区; 采用大电流密度焊接时, 静特性曲线为上升特性区。

③ 钨极氩弧焊。在小电流区间焊接时, 电弧静特性曲线为下降特性区; 大电流区间焊接时, 静特性曲线为平特性区。

④ 熔化极气体保护焊。由于焊接电流密度大, 电弧静特性曲线为上升特性区。

6. 电弧稳定性

焊接电弧保持稳定燃烧 (不产生断弧、飘移和偏吹等现象) 的程度叫电弧的稳定性。电弧燃烧是否稳定, 直接影响到焊缝成形和焊接质量。电弧燃烧不稳定的因素很多, 除焊工操作技术不熟练外, 还与以下有关:

(1) 焊接电源。弧焊电源的种类、特性及空载电压都会影响电弧的稳定性。直流弧焊电源比交流弧焊电源的电弧稳定性好, 焊接电源的特性符合电弧燃烧要求的电弧稳定性好, 弧焊电源空载电压高的电弧稳定性好。

(2) 电弧长度。电弧长度对电弧稳定性有较大的影响, 电弧长度太长时, 电弧会发生剧烈摆动, 从而破坏电弧稳定性, 并造成飞溅增多。

(3) 焊条药皮。当焊条药皮或焊剂中含有较多易电离的元素 (如钾、钠、钙等) 及其化合物时, 能提高气体的导电性, 电弧稳定性好; 当焊条药皮或焊剂中含有较多的氟化物 (如萤石) 时, 由于气体较难电离, 使电弧稳定性降低; 当焊条药皮厚薄不均 (即焊条偏心) 或药皮局部脱落时, 易造成焊接时电弧偏吹, 使电弧燃烧不稳定。

(4) 焊接电流。焊接电流增大, 电弧气氛中的气体电离程度和热发射作用增强, 电弧稳定。

(5) 其他因素。电弧偏吹会引起电弧强烈摆动, 使电弧不稳定。另外, 焊件表面清理不干净, 有油、锈、漆、水分等, 以及大风、流动等环境因素, 也会影响电弧稳定。

7. 接电弧偏吹

在焊接过程中, 因受气流的干扰、磁场的作用及焊条偏心等因素的影响, 电弧中心偏离电极轴线的现象, 称为电弧偏吹。电弧偏吹不仅会使焊接困难, 甚至引起熄弧, 而且会影响焊缝成形和焊接质量, 因此焊接时应尽量减少并采取措施防止电弧偏吹。其原因主要有:

(1) 电弧周围气流干扰。电弧周围气体流动会使电弧吹向一侧而造成偏吹。例如, 在露天大风中焊接或在狭窄焊缝处焊接时, 电弧偏吹情况严重, 甚至焊接困难; 管子焊接时, 由于空气在管内流速较大, 易形成“穿堂风”使电弧偏吹; 在开坡口对接焊的第一层焊缝焊接时, 如果接头间隙较大, 热对流的影响会使电弧偏吹。

解决办法:

① 在露天操作时, 如有大风则应采用挡板遮挡。焊接管子时必须将管口堵住, 以防气流干扰。

② 短弧焊接受气流影响较小, 此是减少电弧偏吹的较好方法。

③ 在焊接间隙较大的对接焊缝时, 可在接缝下面加垫板, 以防热对流引起电弧偏吹。

④ 在焊缝两端各加一小块钢板 (可作引弧板及引出板), 可减少热对流的影响, 同时可

使电弧两侧的磁力线分布均匀，以克服电弧偏吹。

(2) 电弧周围电磁力干扰。直流电弧焊时，因受到焊接回路所产生的电磁力的作用而产生电弧偏吹，此称为磁偏吹。它是由于直流电所产生的磁场在电弧周围分布不均匀引起的，采用大功率（电流达 300~400A）的直流电源焊接时，电弧偏吹现象尤为严重。而对交流电源来说，一般不会产生明显的电弧偏吹现象。

解决方法：

①适当改变焊件上的接地线部位，使电弧周围的磁场分布均匀，可减少电弧偏吹。

②采用交流电或小电流焊接，以克服电弧偏吹现象。

(3) 焊条偏心度过大。焊条偏心度是指焊条药皮沿焊芯直径方向偏心程度。焊条偏心度过大主要是焊条药皮厚薄不均匀，导致焊接时药皮较厚一边焊条熔化慢，较薄一边熔化快，迫使电弧向药皮较薄的方向偏吹。

解决办法：

操作时适当调整焊条角度，将电弧偏吹的方向转向熔池。此法简单易行，生产上应用较广。

二、电弧焊熔滴过渡

熔滴是指电弧焊时，在焊条或焊丝端部形成的向熔池过渡的液态金属滴。熔滴通过电弧空间向熔池转移的过程称为熔滴过渡。熔滴过渡对焊接过程的稳定性、焊缝成形、飞溅及接头质量均有很大的影响。

1. 熔滴过渡作用力

熔滴过渡时熔滴上有多种作用力，如熔滴重力、表面张力、电磁压缩力、极点压力、电弧气体吹力等。这些作用力对不同的焊接位置有不同的影响。如平焊时，熔滴的重力起促使熔滴过渡的作用，表面张力阻碍熔滴过渡；立焊及仰焊时，熔滴的重力阻碍熔滴向熔池过渡，表面张力有利于熔滴过渡。而电弧气体吹力不论焊接位置如何，都有利于熔滴过渡。

2. 熔滴过渡形式

熔滴向熔池过渡大致可分为粗滴过渡、短路过渡和喷射过渡 3 种形式。

(1) 粗滴过渡。它指熔滴离开焊条或焊丝呈粗大颗粒状向熔池自由过渡的形式，见图 1-3a。粗滴过渡飞溅大、电弧不稳定，不是所希望的。在焊接过程中粗滴大小与焊接电流、焊丝成分及焊条成分有关。

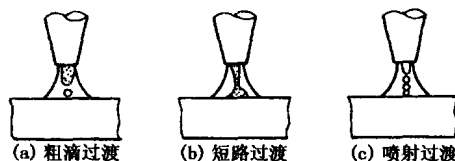


图 1-3 熔滴过渡的形式

(2) 短路过渡。它指焊条或焊丝端部的熔滴与熔池短路接触，由于强烈过热和磁收缩的作用使其爆断，直接向熔池过渡的形式，见图 1-3b。短路过渡电弧稳定、飞溅小、成形好，适合于薄板或需低热输入情况的焊接。

(3) 喷射过渡。它指熔滴呈细小颗粒，并以喷射状态快速通过电弧空间向熔池过渡的形式，见图 1-3c。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（电弧电压）。喷射过渡的特点是熔滴细，过渡频率高，熔滴沿焊丝的轴向高速向熔池运动，电弧稳定，飞溅小，熔深大，焊缝成形美观，生产效率高等。

三、焊接冶金原理

在焊接过程中，由于电弧的高温作用，焊接区金属熔化形成熔池。一般熔池中的液态金属由熔化的母材金属和焊条或焊丝金属组成。随着电弧的移动，熔池金属不断冷却形成焊缝。