

高等学校教材

焊接概论

(修订本)

山东工业大学 薛迪甘 主编

机械工业出版社

高等学校教材

焊 接 概 论

(修订本)

山东工业大学 薛迪甘 主编



机械工业出版社

本书主要内容是：以低碳钢材料为主，叙述了手工电弧焊的材料、焊机与操作技术；气焊、气割工艺、所用气体及设备、工具等，对于其它常用焊接方法也作了简要介绍。

该书主要是供高等学校焊接专业学生参加专业生产劳动期间使用，也可作为从事焊接工作的工人和技术人员的自学读物。

焊 接 概 论

(修订本)

山东工业大学 薛迪甘 主编

责任编辑：董连仁

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张 5 $\frac{7}{8}$ ·字数 128 千字

1979年12月北京第一版

1987年6月北京第二版·1987年6月北京第八次印刷

印数 61,951—67,650·定价：1.05 元

统一书号：15033·4861

前 言

本书原是根据1978年第一机械工业部“对口专业座谈会”和“焊接专业教材编写会议”的精神与要求编写的。这次是根据1984年1月在上海召开的高等工业学校焊接专业教材分编审委员会制订的教学大纲重新修订的。供高等学校焊接专业学生参加专业生产劳动期间使用，也可作为从事焊接工作的工人和技术人员的自学读物。

本书的主要内容是：以低碳钢材料为主，叙述了手工电弧焊的材料、焊机与操作技术；气焊、气割工艺、所用气体及设备、工具等，对于其它常用焊接方法也作了简要介绍。

本书由山东工业大学焊接教研室薛迪甘同志主编，其中第一章由杨幼利同志编写，§2-3和第三章由李培祖同志编写，其余由薛迪甘同志编写。太原工业大学焊接教研室赵彭生、杨世杰同志审稿。在编写过程中，许多兄弟院校和单位为编写提供了素材，山东工业大学焊接教研室部分同志参加了有关章节的讨论，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中一定会存在不足和错误之处，恳切希望读者给予批评指正。并趁再版之际，向初版以来对本书提出宝贵意见的同志表示谢意。

一九八六年元月

编 者

目 录

前言	1
第一章 手工电弧焊	6
§ 1-1 焊接电弧及其特性	6
一、焊接电弧的产生	6
二、焊接电弧的静特性	8
三、焊接电弧的热量和温度分布	9
四、影响电弧稳定性的因素	12
§ 1-2 电焊条	15
一、焊缝的形成过程	15
二、电焊条的组成及作用	16
三、焊条的分类	19
四、常用结构钢焊条介绍	21
五、焊条的保管	26
§ 1-3 手工电弧焊机	26
一、手弧焊对电源的要求	26
二、交流弧焊机	30
三、直流弧焊发电机	36
四、整流弧焊机	38
五、手弧焊机的选择	38
六、手弧焊机的使用和维护	40
§ 1-4 手工电弧焊接头和坡口的型式及其准备	43
一、焊接接头及坡口的型式	43
二、焊缝代号表示法	48
三、坡口的制备	48

四、焊件装配常用夹具	52
§ 1-5 碳钢手工电弧焊焊接技术	55
一、基本操作	55
二、各种位置焊缝的焊接技术	61
三、几种焊缝的焊接技术	69
四、焊接规范的选择	73
§ 1-6 提高手弧焊生产率的途径	76
一、采用高效率焊条和专用焊条	76
二、高效率重力焊接法	77
三、单面焊双面成形	79
§ 1-7 常见的焊接缺陷及质量检验	80
一、常见的焊接缺陷	80
二、焊接质量检验	86
§ 1-8 焊接变形及防止方法	87
一、焊接变形产生的原因	87
二、防止或减少焊接变形的的方法	89
三、焊接结构变形的矫正	90
§ 1-9 手工电弧焊安全技术	92
一、预防弧光照射	92
二、预防触电	93
三、预防烫伤	93
四、防火、防爆	93
五、预防有害气体、烟尘的中毒	94
第二章 气焊与气割	95
§ 2-1 气焊、气割用气体	95
一、氧气	96
二、氧气瓶及瓶阀	97
三、减压器	99
四、乙炔	102

五、乙炔发生器	104
六、溶解乙炔气瓶及瓶阀	114
七、液化石油气和供气设备	118
§ 2-2 气焊	120
一、氧-乙炔焰的种类、构造和性质	121
二、焊炬	124
三、焊丝和气焊粉	127
四、气焊工艺	127
§ 2-3 氧气切割	133
一、氧气切割过程的原理	134
二、手工割炬与机械气割设备	136
三、手工气割工艺	143
四、几种特殊气割工艺	151
五、其它切割方法简介	159
第三章 几种常用焊接方法简介	163
§ 3-1 埋弧自动焊	163
§ 3-2 氩弧焊	166
一、非熔化极氩弧焊 (TIG焊)	166
二、熔化极氩弧焊 (MIG焊)	167
§ 3-3 二氧化碳气体保护焊	169
§ 3-4 等离子弧焊	171
§ 3-5 电渣焊	173
§ 3-6 电阻焊	176
一、对焊	176
二、点焊	179
三、缝焊	179
§ 3-7 钎接	180

绪 言

在机械制造工业中，使两个或两个以上零件联接在一起的方法有螺钉连接、铆钉连接和焊接等。前两种连接都是机械连接，是可拆卸的。而焊接则是利用两个物体原子间产生的结合作用来实现连接的，连接后不能再拆卸。

为了实现焊接过程，必须使两个被焊物体(通常是金属)相互接近到原子间的力能够发生作用的程度，也就是说，要接近到象在金属内部原子间的距离一样。因此，焊接就需要采用加热、加压或加压同时也加热的方法来促使两个被焊金属的原子间达到能够结合的程度，以获得永久牢固的连接。

近代工业中应用的焊接方法很多，按焊接过程的特点可归纳为两大类。

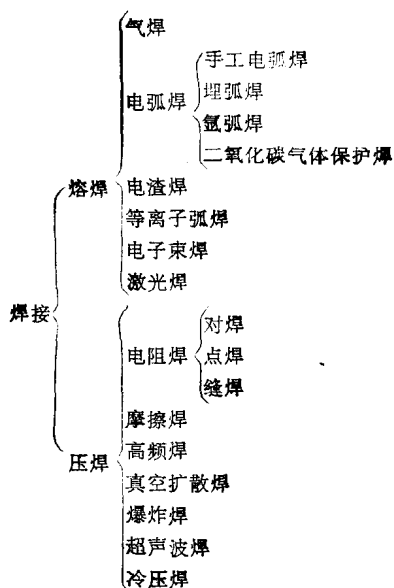
1. 熔焊 这一类焊接方法的共同特点是，利用局部加热的方法，将焊件的接合处加热到熔化状态，互相融合，冷凝后彼此结合在一起。常见的电弧焊、气焊就属于这一类。

2. 压焊 这一类焊接方法的共同特点是，在焊接时不论对焊件加热与否，都施加一定的压力，使两个接合面紧密接触，促进原子间产生结合作用，以获得两个焊件间的牢固连接。电阻焊、摩擦焊就属于这一类。

还有一种连接方法叫做钎接，它与熔化焊接有相似之处，也可获得牢固的连接。但两者之间有本质的区别，这种方法是利用比焊件熔点低的钎料和焊件一同加热，使钎料熔化，而焊件本身不熔化，熔化的钎料流入焊件连接表面的空隙，

与固态被焊金属产生结合作用，冷凝后彼此连接起来的。如锡焊、铜焊等。

常用的焊接方法分类见下表所示：



近代焊接技术，是从1882年出现碳弧焊开始。直到本世纪的三十年代，在生产上还只是采用气焊和手工电弧焊等简单的焊接方法。由于焊接具有节省金属，生产率高，产品质量好和大大改善劳动条件等优点，所以在近半个多世纪内得到了极为迅速的发展。四十年代初期出现了优质电焊条，使长期以来人们所怀疑的焊接技术得到了一次飞跃。四十年代后期，由于埋弧焊和电阻焊的应用，使焊接过程的机械化和自动化成为现实。五十年代的电渣焊、各种气体保护焊、超声波焊，六十年代的等离子弧焊、电子束焊、激光焊等先进

焊接方法的不断涌现，使焊接技术达到了一个新的水平。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可以获得较好的焊接质量和较高的生产率。采用工业电视监视焊接过程，便于遥控，有助于实现焊接自动化，在焊接生产中采用了工业机器人，使焊接工艺自动化达到了一个更新的阶段，使人不能到达的那些地方能够用机械人进行焊接，既安全又可靠，特别是在原子能工业中更有其发展的前景。

早在一千多年前，我国劳动人民就已采用焊接技术。古书上有这样的记载：“凡钎铁之法……小钎用铜末，大钎则竭力挥锤而融合”。这说明当时我国已掌握了用铜钎接和锻焊来连接铁类金属的技术。只是由于封建统治，帝国主义的侵略和国民党反动派的腐败，使我国工业长期处于停滞状态，劳动人民的伟大创造未能得到发展。解放前，我国焊接技术水平很低，只有少量的手弧焊和气焊，用于修理工作。焊接材料和焊接设备全部依靠国外进口。焊工人数不多，更没有培养焊接技术人才的高等学校。

新中国建立后，全国人民在中国共产党领导下，取得了社会主义革命和社会主义建设的伟大胜利，焊接技术也得到了迅速发展，目前已作为一种基本工艺方法，应用于船舶、车辆、航空、锅炉、电机、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，并成功地焊接了不少重大产品，如一万二千吨水压机、二十二万五千千瓦水轮机、直径16m的大型球罐（图0-1），三万五千吨远洋货轮、十一万五千吨油轮、1700mm大型轧钢机、海洋石油钻井平台、原子反应堆、人造卫星等。各种新工艺，如多丝埋

4

弧焊、窄间隙气体保护全位置焊、水下二氧化碳气体保护半自动焊、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。并且已建立了锅炉省煤器、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数十条焊接生产自动线。设计制造了成百种焊接设备，如多功能晶体管电源、二万焦尔储能点焊机、汽车制造用的各种专用多点焊机、窄间距全位置等离子弧焊机、微束等离子弧焊机、150 kV 200mA 真空电子束焊机、120W激光焊机、示教式弧焊机器人等。生产了一百六十多种焊条和多种焊丝、焊剂等焊接材料。为了培养焊接技术人才和发展焊接科学技术，先后在许多高等和中等技术学校设置了焊接专业，并建立了焊接研究所和电焊机研究所，为建立一支宏大

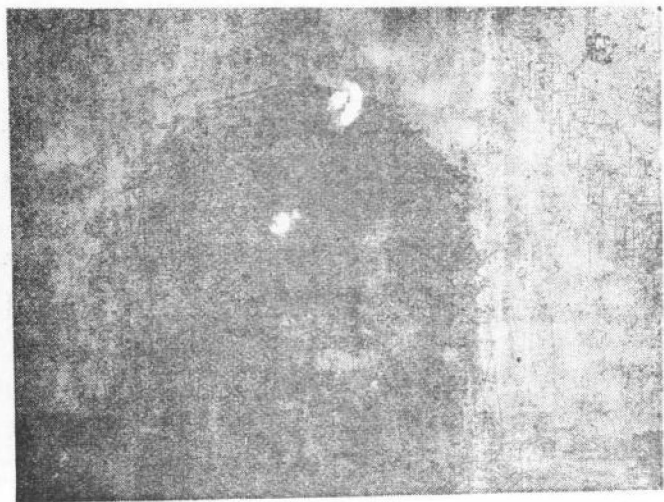


图0-1 直径16m的大型球罐

的又红又专的焊接技术队伍创造了有利条件。

虽然我国的焊接科学技术已经取得了很大的发展，但是和世界先进水平相比，仍然存在着一定差距。我们必须树雄心、立壮志，更加刻苦地学习，更加努力地工作，不断攀登焊接科学技术的新高峰，为在本世纪内实现“四个现代化”的宏伟目标艰苦奋斗。

第一章 手工电弧焊

手工电弧焊，简称手弧焊。它是利用电弧产生的热量来熔化被焊金属的一种手工操作的焊接方法。由于它所需的设备简单，操作灵活，对空间不同位置、不同接头形式、短的或曲折的焊缝均能方便地进行焊接。因此，目前它是焊接生产中使用最广泛的一种焊接方法。但它的缺点是，由于采用手工操作，故生产率低，劳动强度大。所以，随着新的自动化焊接方法的不断出现，手弧焊将被部分取代。但在目前，它在焊接生产中仍占很重要的地位。

手弧焊有熔化极和不熔化极两种。不熔化极手弧焊，是用碳棒作电极，所以叫碳弧焊。它是一种古老的焊接方法，生产率低，焊接质量较差，但碳极电弧在较小电流下仍能稳定燃烧，故现今除用于焊接厚度小于3mm的薄钢板和低熔点的有色金属外，生产中已很少应用。熔化极手弧焊，就是用常见的金属焊条作电极，它比碳弧焊生产率高，质量好。一般所讲的手弧焊，主要是指熔化极手弧焊。

§ 1-1 焊接电弧及其特性

一、焊接电弧的产生

在两个电极之间的气体介质中，强烈而持久的气体放电现象叫做电弧。也可以说电弧是一种局部气体的导电现象。

在一般情况下，气体是不导电的，要使两电极间气体连续的放电，就必须使两极间的气体介质中，能连续不断地产

生足够多的带电粒子（电子，正、负离子），同时，在两极间加上足够高的电压，使带电粒子在电场作用下向两极作定向运动。这样，两极间的气体中就能连续不断通过很大的电流，也就形成了连续燃烧的电弧。如图1-1所示。

电极间的带电粒子，可以通过阴极发射电子和极间气体本身的激烈电离两个过程来得到。

当阴极表面吸收了足够的外界能量（如加热阴极和强电场的吸引）后，就能向外发射电子。

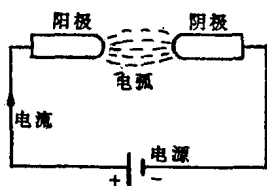


图1-1 气体放电示意图

发射电子所需要的能量称为“逸出功”，不同材料，它的逸出功是不相同的。

同样，气体分子或原子吸收了足够的外来能量后，也能离解成电子和离子。使气体电离所需的能量叫“电离势”，不同气体的电离势也是不一样的。

由上述可知，若要使两极间产生电弧并能稳定燃烧，就必须给阴极和气体一定能量，使阴极产生强烈的电子发射和气体发生剧烈的电离，这样两极间就充满了带电粒子。当两极间加上一定电压时，气体介质中就能通过很大的电流，也就产生了强烈的电弧放电。

电弧放电时，能产生大量而集中的热量，同时发出强烈的弧光。电弧焊就是利用此热量熔化被焊金属和焊条进行焊接的。

为产生电弧所必须供给的一定能量是由电焊机供给的。引弧时，首先将焊条与工件接触，使焊接回路短路，接着迅速将焊条提起2~4mm，在焊条提起的瞬间，电弧即被引燃。

当焊条与工件短接时，由于接触表面不平整（如图1-2a），

实际上只有少数几个点真正接触，强大的短路电流从这些点通过，产生了大量的电阻热，使焊条和工件的接触部分温度急剧升高而熔化，甚至部分蒸发（图1-2 b）。当提起焊条离开工件时，焊机的空载电压立即加在焊条端部与工件之间。这时，阴极表面由于急剧的加热和强电场的吸引，产生了强烈的电子发射，这些电子在电场作用下，加速移向阳极。此时，焊条与工件间已充满了高热的、易电离的金属蒸气和焊条药皮产生的气体，当受到具有较大动能的电子撞击和气体分子或原子间的互相热碰撞时，两极间气体迅速电离。在电弧电压作用下，电子和负离子移向阳极，正离子移向阴极。同时，在电极间还不断发生带电粒子的复合，放出大量热能。这种过程不断反复进行，就形成了具有强烈热和光的焊接电弧（图1-2 c）。

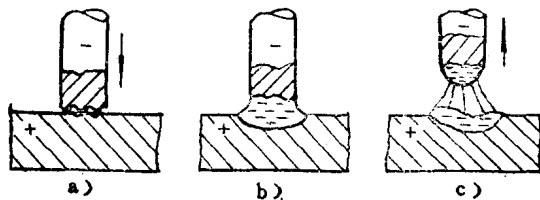


图1-2 电弧的引燃过程

a) 焊条与工件接触短路 b) 接触处受电阻热作用而熔化 c) 电弧产生

从以上可看出，焊接电弧燃烧过程的实质，就是把电能转换成热能和光能的过程。

二、焊接电弧的静特性

手弧焊时，由实验可以测得，以一定弧长稳定燃烧的电弧，其电弧电压与电弧电流之间的关系如图1-3中曲线所示。由图可看出，电流较小时，由于气体电离程度不够高，

电弧电阻较大，所以电弧电压较高。随着焊接电流增加，气体电离度上升，导电情况改善，电弧电阻减小，所以，电弧电压很快下降。当焊接电流增大到某一值后，电弧电压不再随电流的增大而变化，保持某一数值不变。电弧电压与电流之间的这种关系被叫做电弧的静特性，其曲线就叫做电弧的静特性曲线。

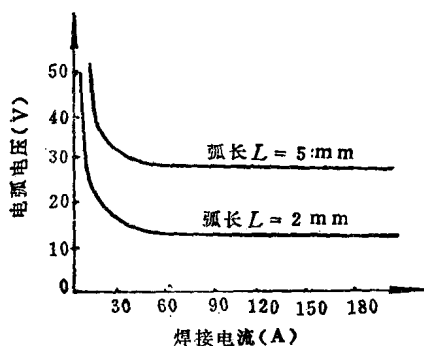


图1-3 电弧的静特性曲线

当弧长变化时，静特性曲线平行移动。即当电弧长度增

加时，电弧电压也增加。在手弧焊应用的电流范围内，可以近似认为电弧电压仅与电弧长度有关，而与电流大小无关。手弧焊时，一般电弧电压在16~25 V范围内变化，其值与电极材料、大小、气体介质及电弧长度等有关。

从电弧静特性曲线可知，不同电流时，电弧的电阻（即电弧电压与电流的比值）不是常数，所以，它不符合欧姆定律，故对电源而言，电弧是一个较特殊的非线性电阻负载。为了能使电弧稳定燃烧，需要有一个专用的焊接电源供电。

三、焊接电弧的热量分布

焊接电弧可划分为三个区域：阴极区、阳极区和弧柱区（图1-4）。靠近阴极很薄一层为阴极区。靠近阳极很薄一层是阳极区。阴极区与阳极区之间为弧柱区，它占电弧长度的绝大部分。整个电弧呈圆锥形。三个区域中所产生的热量和温度的分布是不均匀的。

阴极区热量主要来自正离子碰撞阴极时，由正离子的动能和它与电子复合时释放的位能（电离势）转化而来。阳极区的热量主要来自电子撞入阳极时，由电子动能和位能（逸出功）转化而来。由于阳极区不发射电子，不消耗发射电子所需的能量，因此，一般情况下，阳极的发热量和温度均较阴极为高。阳极区产生的热量约占总电弧热量的43%，阴极区约占总电弧热量的36%。而两极的温度因受电极材料沸点的限制，故其温度大致在电极材料沸点左右。表1-1为不同电极材料时，电弧两极的温度。

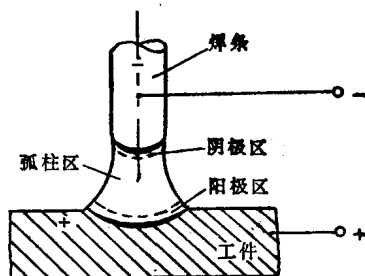


图1-4 焊接电弧的组成

表1-1 不同电极材料的电弧两极温度

电极材料	弧柱气体介质 (101.3kPa)	阴极温度 (K)	阳极温度 (K)	电极材料沸点 (K)
碳	空气	3500	4200	4640
铁	空气	2400	2600	3008
铜	空气	2200	2450	2868
钨	空气	3000	4250	5950

然而，当焊条药皮中含有氟化钙较多时（如低氢型焊条），由于氟对电子亲和力很大，当氟在阴极区夺取电子形成负离子时会放出大量的热，在这种情况下，阴极区的热量和温度将比阳极区要高。

弧柱区的热量主要由正离子与电子或负离子复合时，释放出相当于电离势的能量转化而来，所以弧柱区的热量和温