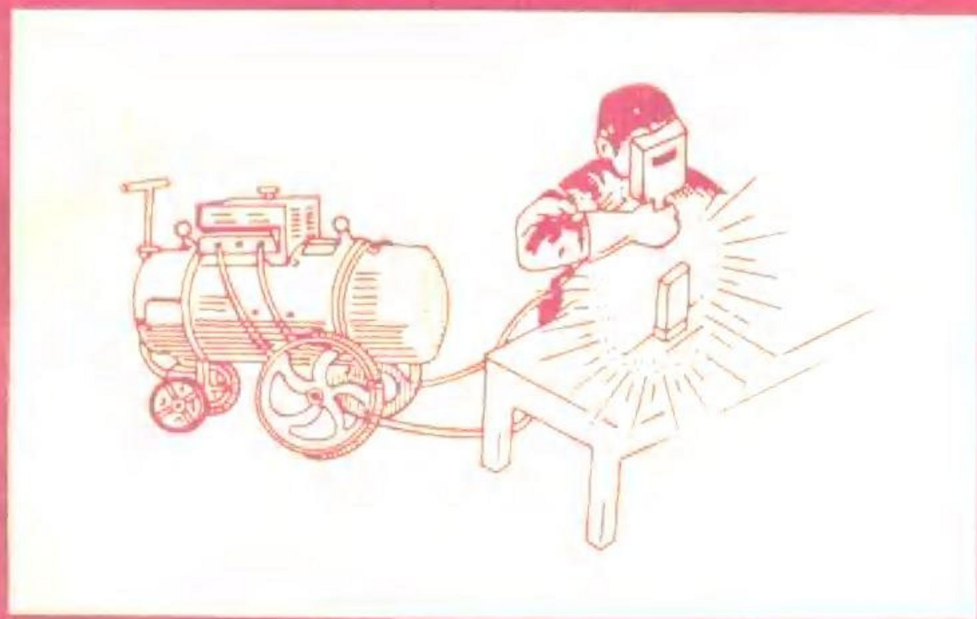

机械类技工学校教改试用教材

焊工工艺学

机械电子工业部统编



机械工业出版社

法、考试内容等方面进行配套改革。

这套教材肯定尚有不足和错误之处，诚恳欢迎大家提出批评、建议，以便再版时修正。

本书由梅启钟、石云芳、张跃英、王允新、寇国勇编写，梅启钟主编。由梁昌荣、锥庆桐、杨正洪、谢振康审稿，梁昌荣主审。

机械电子工业部技工学校教材编审领导小组

1989年6月

机械电子工业部技工学校教材编审 领导小组名单

组长：王文光 **副组长：**刘起义 周志祥

组员：(以姓氏笔划为序)王淑杰 刘巨民 李天夫 李启生
迟俊鹏 张子中 张云福 张章福 梁昌荣 黄德怀

冷加工工种教材编审委员会名单

主任：黄德怀 **副主任：**迟俊鹏

委员：刘冠华 张云福 孟宪水 陈继琨 周裕成

热加工工种教材编审委员会名单

主任：张子中

委员：孙维志 徐景锐

电工工种教材编审委员会名单

主任：刘巨民

委员：王文堂 辛永平

焊接、冷作工工种教材编审委员会名单

主任：梁昌荣

委员：沈德成 谢振康

前 言

机械工业技工学校教育是为机械行业培养中级以上技术工人的一个十分重要的教育层次。它对机械工业的发展有着直接的影响。近10年来，机械工业技工学校在各级领导的关怀和支持下，通过广大教职员工的努力，得到了迅速恢复和发展，为振兴机械工业发挥了重要作用。但是，技工教育的现状和生产发展的需要相比，还远远不能适应；其中最突出的一个方面是教学质量低，离培养目标还存在着明显的差距。

为了大力提高教学质量，实现培养目标要求，更好地为机械工业的振兴和发展服务，“六五”期间，机械工业部在大力恢复、整顿、发展技工学校的同时，就开始对技校教学改革进行了积极的研究和探索：系统地总结了建国以来机械工业发展的基本经验；组织考察了瑞士、捷克斯洛伐克、日本和联邦德国职业技术教育；在大量调查研究的基础上，根据《中共中央关于教育体制改革的决定》精神和劳动部对技工学校教学改革的要求，提出了教学改革的设想，组织一部分骨干技工学校开展了以加强生产实习教学、提高学生的动手能力和适应能力为中心的教学改革试点。几年来，教改试点取得了明显的成果，积累了一些经验，得到了国家教育委员会职业教育司、劳动部培训司等部门领导的肯定和支持。

目前，技工学校教学改革正在深化、发展，为了适应改革形势的需要，在认真、全面地总结教改试点经验的基础上，并从我国国情出发，借鉴国外技工培训的有益经验，我们以部颁《工人技术等级标准》为基本依据，制订了试行的《机械类技工学校教改教学计划教学大纲》、《机械类技工学校生产实习教学大纲》，组织编写了与此相适应的机械类技工学校教改试用教材。

这套新教材紧紧把握住技工教育的方向和培养目标，贯彻了以生产实习教学为主、着重操作技能训练和适当扩大训练范围的原则；其理论课程的设置及内容，按照适应操作技能培养和今后继续进修提高本职工作能力的需要来安排，体现了以应用知识为主，突出针对性、实践性和适应性的原则。

这次编写的教材包括车工、钳工、铣工、铸工、焊工、冷作工和电工七个工种的生产实习教材（含技能培训图册和技能培训理论），工种工艺学，基础理论课和文化课（含工厂管理）教材。其中生产实习教材是我国机械行业首次编写的。其他工种的改革试用教材今后将继续在试点的基础上组织编写。

新教材适用于招收初中毕业生、学制三年的技工学校和其他中等职业技术培训学校机械专业。其生产实习教材也可做为企业初、中级技术工人操作技能培训教材。

新教材是在机械电子工业部技工学校教材编审领导小组的领导下，分别由冷加工、热加工、电工和焊工、冷作工等工种教材编审委员会直接组织编写、审定的。在编写过程中，得到了各改革试点学校、机械工业出版社以及有关方面的热情支持和帮助，谨向他们致以衷心的感谢！

改革试用教材是机械行业范围内机械类技工学校的正规教材。各学校在使用新教材时，可以根据实际情况，对教材内容做局部、适当的调整；同时，还要注意在教学方法和考试方

目 录

前言		第六章 埋弧焊	119
绪论	1	第一节 埋弧焊概述	119
第一章 手工电弧焊	5	第二节 自动埋弧焊机	120
第一节 手工电弧焊概述	5	第三节 埋弧焊焊接材料	122
第二节 焊接电弧	6	第四节 自动埋弧焊工艺	124
第三节 焊接接头型式和焊缝符号	11	第五节 其它埋弧焊方法	126
第四节 焊接工艺参数	23	复习题	127
第五节 手工电弧焊的焊接缺陷	25	第七章 气体保护电弧焊	129
第六节 焊接定额	27	第一节 气体保护电弧焊原理及特点	129
复习题	32	第二节 氩弧焊	130
第二章 焊条	33	第三节 二氧化碳气体保护焊	138
第一节 焊条的组成及其特性	33	复习题	146
第二节 焊条的分类及型号编制	38	第八章 气焊与气割	147
第三节 酸、碱性焊条的特点	44	第一节 气焊、气割用的材料	147
第四节 焊条的选用与保管	46	第二节 气焊、气割设备及工具	148
复习题	49	第三节 气焊	157
第三章 焊接接头及质量检验	50	第四节 气割	159
第一节 焊接热过程及冶金过程	50	复习题	164
第二节 焊接接头的组织与性能	58	第九章 其它焊接方法	166
第三节 焊接接头的裂纹	64	第一节 等离子弧焊接与切割	166
第四节 焊缝中的气孔	69	第二节 电渣焊	170
第五节 焊接接头的质量检验	72	第三节 电阻焊	174
复习题	81	第四节 钎焊	176
第四章 手工电弧焊焊接电源	83	第五节 摩擦焊	178
第一节 手工电弧焊焊接电源概述	83	复习题	180
第二节 弧焊发电机	89	第十章 常用金属材料的焊接	181
第三节 弧焊变压器	94	第一节 碳素钢的焊接	181
第四节 弧焊整流器	98	第二节 普通低合金钢的焊接	184
第五节 手工电弧焊电源的选择及故障处理	99	第三节 铬钼耐热钢的焊接	186
复习题	102	第四节 不锈钢的焊接	191
第五章 焊接应力及变形	103	第五节 铝及铝合金的焊接	202
第一节 概述	103	第六节 铜及铜合金的焊接	205
第二节 焊接应力及变形的产生原因	105	第七节 铸铁的焊补	208
第三节 影响焊接结构变形和应力的因素	108	复习题	211
第四节 防止和减小焊接应力及变形的的方法	110	第十一章 压力容器的焊接	213
第五节 焊接残余应力和变形的消除和矫正	115	第一节 压力容器制造简介	213
复习题	117	第二节 典型压力容器的焊接	218
		复习题	226
		附录 锅炉压力容器焊工考试规则摘要	227

绪 论

焊接是现代工业生产中广泛应用的一种金属连接的加工方法。它是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件达到原子结合的一种加工方法。

焊接作为金属的一种永久性连接，它具有一系列技术和经济上的优越性，所以近几十年来，焊接技术获得了飞速的发展。

焊接技术的发展是与现代科学的发展密切相关的。19世纪初，人们就发现了气体导电的物理现象——电弧。但直到19世纪末，电力生产得到发展以后，人们才有条件来研究它的实际应用。1885年出现了碳极电弧焊，随后又出现了金属极电弧焊。本世纪初，人们用氢氧焰来加热金属进行焊接，出现了气焊。后来，由于电石的研究成功，人们又认识了乙炔气的燃烧规律，出现了氧-乙炔气焊。1930年前后出现了薄药皮和厚药皮焊条的电弧焊和埋弧焊，从此电弧焊在工业生产中得到了广泛应用。之后，又相继出现了电渣焊、二氧化碳气体保护焊、超声波焊、电子束焊、摩擦焊、等离子弧焊、爆炸焊和激光焊等焊接方法。

现代的焊接技术，是国民经济中发展最快的热加工技术，其应用遍及机械、电力、建筑、桥梁、锅炉、船舶、化工、核能、宇航与海洋工程等领域。焊件尺寸，从大到几十万级的海轮，直至小到几毫米的电子元件；操作方式，从人工到机械，直至无人参与的机器人焊接。

随着现代工业和科学技术发展的需要，在航天、原子能、电子、石油化工、海洋开发等部门中，对金属的焊接也提出了越来越高的要求。例如石油化学工业的发展，要求解决各种耐高温、低温及耐腐蚀介质的压力容器的焊接；造船和海洋开发工业的发展，要求解决各种低合金高强度钢的焊接；重型机械工业的发展，要求解决大厚度构件的拼接；电子及精密仪表制造工业的发展，要求解决大量微型精密焊件的焊接；航空及宇航工业的发展，要求解决大口径铝、钛等轻合金结构的焊接。焊接技术和各种焊接方法，就是在现代工业和科学技术的发展和推动下，不断出现和发展的。

焊接技术之所以能得到如此迅速的发展，这是由于用焊接方法制造的产品与其它方法（如铸造或锻造方法）相比，具有如下的特点：

- ① 结构具有较高的强度和刚度、较低的重量；
- ② 制造设备简单，加工方便，生产周期短，成本低；
- ③ 坏料允许以小拼大，如搭积木一样，可以拼焊成各种复杂的结构；
- ④ 材料的利用率高，废品率低；
- ⑤ 结构设计的灵活性大，壁厚可以相差很大，与铸、锻件相比，具有很大的优越性
- ⑥ 结构可按受力和工作情况，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；
- ⑦ 焊接结构件的外形平整，加工余量少，可简化结构，从而可以减轻结构重量。

例如1250 t单臂油压机的机架，采用焊接结构重135.2 t，而用铸钢件则重达195.2 t。又如压力为12000 t水压机的下横梁，采用焊接结构重量为260 t，而用铸钢件则重470 t，

可见焊接结构件与铸、锻件相比，大大地减轻了重量。

焊接加工方法也有它的不足之处，即焊件易产生应力和变形。焊接应力会削弱结构的承载能力；焊接变形会影响焊件的形状和尺寸精度。因此，防止和减少焊接应力和变形，也是焊接加工中需要解决的重要课题之一。

焊接结构的制造过程，是从原材料开始，经过多道工序的加工，最后才变为产品的。

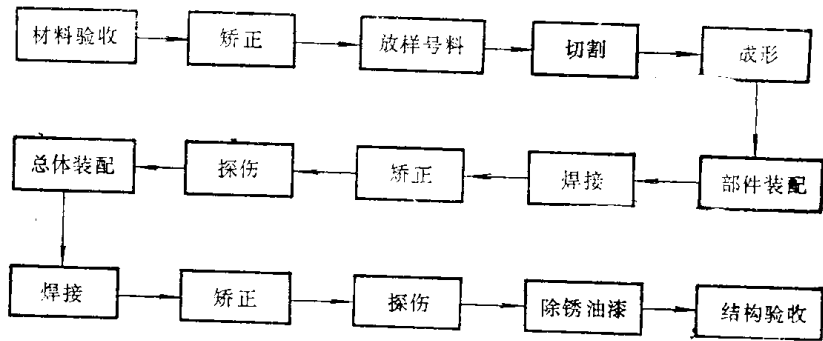


图1 焊接结构生产中的一般工艺流程

图1为焊接结构生产的一般工艺流程。由工艺流程图可知，各工序间有着紧密的联系，焊接是结构制造中的重要环节，焊接质量直接关系到产品的质量，而切割与装配的质量对焊接质量也有很大的影响。

图2所示为一典型的圆柱形容器，它由封头、筒体、接管和支座等组成。该容器的制造工艺如图3所示。

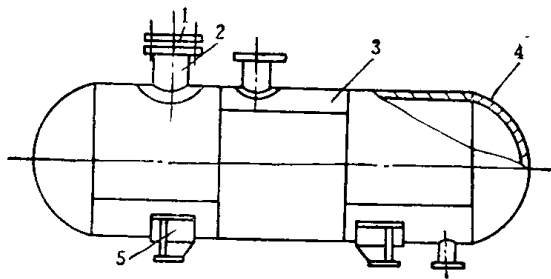


图2 圆柱形容器

1—孔盖 2—接管 3—筒体 4—封头 5—支座

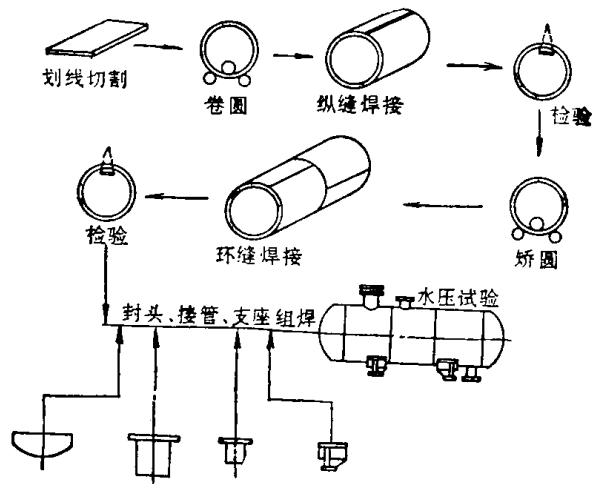


图3 容器的制造工艺流程图

根据焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接分为熔焊、压焊和钎焊三类。

熔焊是利用局部加热使连接处的金属熔化再加（或不加入）填充金属而结合的方法。在加热的条件下，增强了金属的原子动能，促进原子间的相互扩散，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，即可形成牢固的焊接接头。

电弧焊是利用电弧作为热源的熔焊方法，简称弧焊。在电弧焊中，又分手工电弧焊，埋弧自动焊和气体保护电弧焊等。

气焊是利用气体燃烧火焰作为热源的熔焊方法。

电渣焊是利用电流通过熔渣产生的电阻热来熔化金属进行焊接的。

等离子弧焊是利用高温等离子弧进行焊接的。

在熔焊方法中，应用最为普通的是电弧焊和气焊。

压焊的特点是，在焊接时不论对焊件加热与否，都施加一定压力，使焊件两个接合面紧密接触，产生原子间的结合作用而焊接起来的。压焊分电阻焊、摩擦焊、冷压焊和锻焊等。

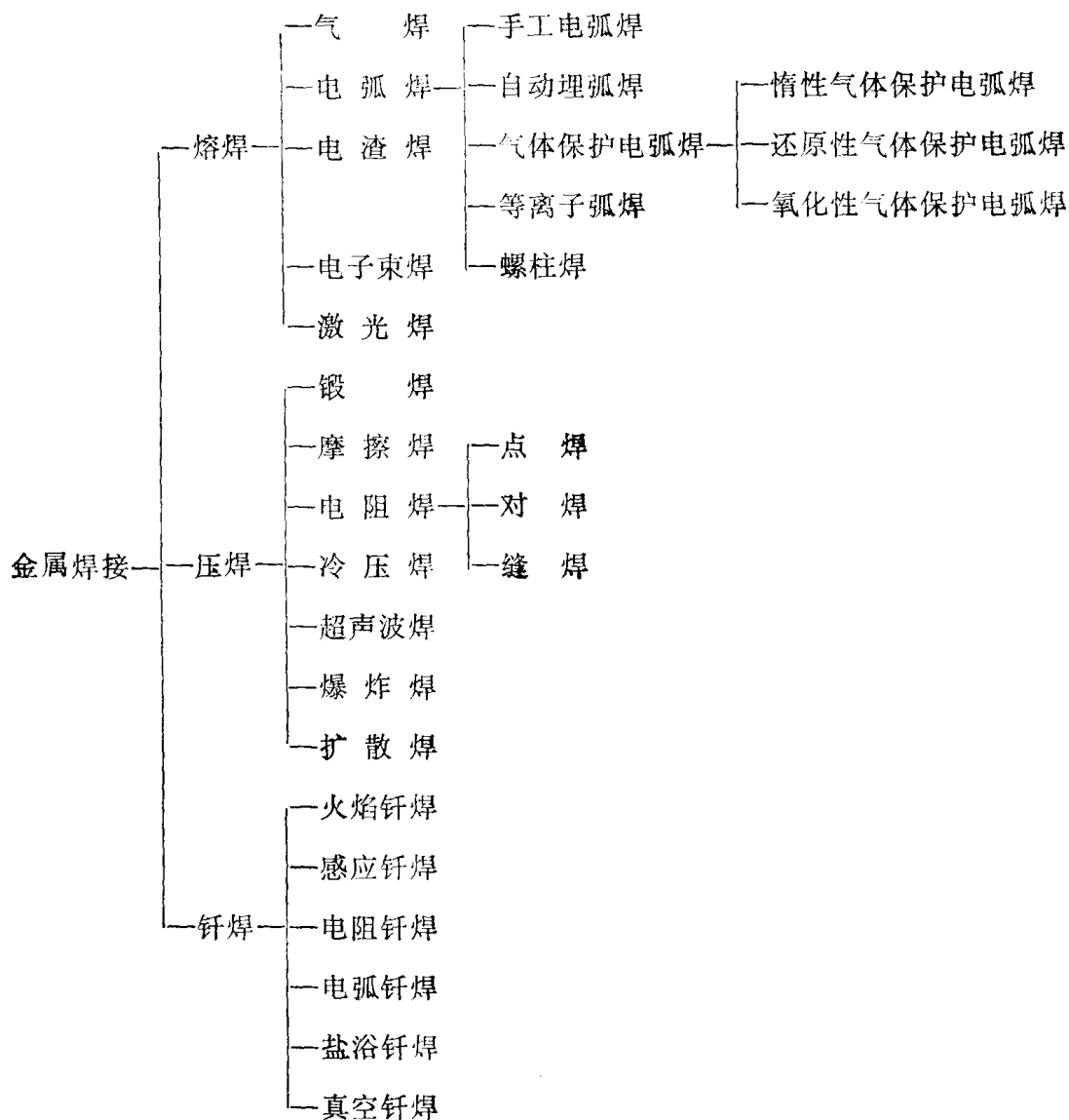
电阻焊是利用电流通过焊件产生的电阻热来加热焊件并加压进行焊接的。在电阻焊中又分点焊、缝焊和对焊三种。

摩擦焊是靠摩擦产生的热量，将焊件的接合面加热到塑性状态，然后加压的一种热压焊方法。

冷压焊的特点是不加热，只靠强大的压力，使焊件接合面的金属原子间产生结合作用而焊接起来。

钎焊的特点是利用比焊件材料熔点低的钎料和焊件一同加热到高于钎料的熔点、低于焊件熔点的温度，使熔化的钎料流入焊件连接表面的间隙内，与被焊金属产生结合作用，钎料凝固后，两焊件便焊接在一起。钎焊按加热的方式不同，分火焰钎焊、烙铁钎焊、电阻钎焊等。

常用的焊接方法分类如下：



随着科学技术的高速发展，焊接结构与焊接材料越来越复杂和繁多，焊接工作量也越来越大，对焊接技术的现代化和提高焊接生产率的要求也愈益迫切。因此，新的焊接方法将会不断出现，焊接的机械化和自动化程度将不断提高。例如，用太阳能焊接，借助电子计算机、工业电视来监视和控制焊接过程，以及用机器人来代替人进行焊接等等。

我们要努力学习，尽快掌握焊接技术的基础知识和基本理论，打好扎实的基础，练好基本功，勇于攀登焊接技术的高峰，以加快实现我国四个现代化的进程。

第一章 手工电弧焊

手工电弧焊又称手弧焊，是用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法。它是目前焊接生产中使用最广泛的焊接方法。

第一节 手工电弧焊概述

手工电弧焊是熔焊中最基本的一种焊接方法。手工电弧焊主要设备是焊接电源。选用合适的电焊软线将焊接电源的一端接到焊钳上，而另一端与焊件相连。焊接时，由焊接电源、电弧和电焊软线构成焊接回路，如图1-1所示，此时焊接电弧作为负载，焊接电源的作用就是对焊接电弧稳定燃烧提供所需要的、合适的电流和电压。

一、手工电弧焊的焊接过程

开始焊接时，在焊条与焊件之间，先接触短路，然后立即提起焊条一定距离，将电弧引燃，在电弧的高温作用下，焊条与焊件局部熔化，形成熔池，如图1-2所示。

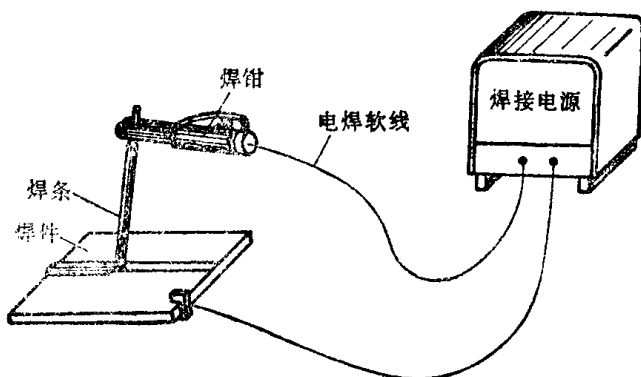


图1-1 手工电弧焊焊接回路简图

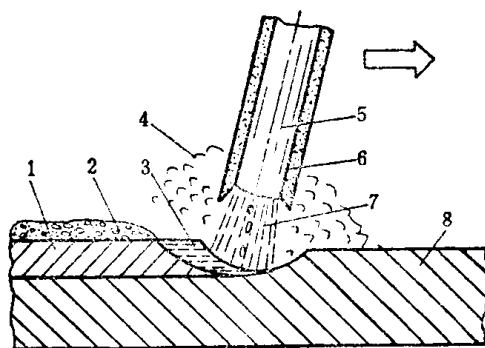


图1-2 手工电弧焊的焊接过程

1—焊缝 2—熔渣 3—熔池 4—保护气体 5—焊芯
6—药皮 7—熔滴 8—焊件

焊条的焊芯熔化时，是以熔滴的形式向熔池过渡的。焊条药皮在熔化过程中产生一定量的气体和液态熔渣，产生的气体充满在电弧和熔池周围，起隔绝大气保护液体金属的作用。液态熔渣密度小，在熔池中不断上浮，覆盖在液体金属上面，也起着保护液体金属的作用。由于药皮熔化落后于焊芯的熔化，所以在药皮的末端形成一小段喇叭形套管，使套管内的药皮熔化时产生的气体顺着套管的方向吹向熔池，把熔滴吹送到熔池。随着电弧沿焊接方向移动，焊接熔池迅速冷却而凝固，形成焊缝，液态熔渣也随之冷却凝固成为渣壳。

高温熔池中，液态金属、液态熔渣和气体之间，进行着复杂的冶金反应，这种反应能精炼焊缝金属，提高焊缝的质量。

二、手工电弧焊的特点及应用

手工电弧焊之所以成为应用最广泛的焊接方法，是由于具有如下一些特点：

1. 工艺灵活、适应性强 对于不同的焊接位置、接头形式、焊件厚度及焊缝，只要焊条所能达到的任何位置，均能进行方便的焊接。如果使用带弯的焊条，甚至对复杂结构的难焊部位的接头也可以进行焊接。对一些不规则的焊缝，短焊缝或仰焊位置、狭窄位置的焊缝，更显得机动灵活，操作方便。

2. 接头的质量易于控制 手工电弧焊的焊条能够与大多数焊件金属性能相匹配，因而，接头的性能可以达到被焊金属的性能。手工电弧焊不但能焊接碳钢和低合金钢、不锈钢及耐热钢，对于铸铁、高强度的钢、铜合金、镍合金等也可以用手工电弧焊焊接。

3. 易于分散焊接应力和控制焊接变形 由于焊接是局部的不均匀加热，所以焊件在焊接过程中都存在着焊接应力和变形。对结构复杂而焊缝又比较集中的焊件、长焊缝和大厚度焊件其应力和变形问题更为突出。采用手工电弧焊，可以通过改变焊接工艺，如采用跳焊、分段退焊、对称焊等方法，来减少变形和改善焊接应力的分布。

4. 设备简单、成本较低 手工电弧焊使用的交流焊机和直流焊机，其结构都比较简单，维护保养也较方便，设备轻便而且易于移动，利用电焊软线可以延伸至较远的距离，对现场施工焊接和设备的维修均较方便，且费用比其他电弧焊低。

手工电弧焊的不足之处是，由于焊条的长度是一定的，因此当每根焊条焊完之后必须停止焊接，调换新的焊条；而且每焊完一焊道后要求除渣，焊接过程不能连续地进行，所以生产率低。由于采用手工操作，劳动强度大。并且焊缝质量与操作技术水平密切相关。

第二节 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焊件间，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。电弧具有很高的温度，足以熔化金属，因此，用来作为各种电弧焊方法的热源。

一、焊接电弧的产生

电弧是一种局部气体导电现象，或者说是一种气体放电现象。利用这种特殊的现象将电能转换成热能。焊接就是利用这种热能来熔化金属，达到连接金属的目的。

一般情况下，气体的分子和原子都是呈中性的，气体中没有带电粒子。因此，气体是不导电的。要使电弧产生并且稳定燃烧，必须使两极间的气体导电。使气体导电的方法是将气体电离。气体电离后，原来气体中的一些中性微粒转变为电子、正离子等带电粒子。这时，电流就能通过气体间隙而形成电弧。

1. 气体电离 气体受到电场或热能的作用，就会使中性的气体分子中的电子获得足够的能量，以克服原子核对它的引力，而成为自由电子，同时中性的原子由于失去了带负电的电子而变成带正电荷的正离子，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。不同元素的电离难易程度是不同的，一般排列顺序如下：

K、Na、Al、Ca、Cr、Ti、Mo、Mn、Mg、Cu、Fe、Si、H、O、N、Ar、F、He。
依次由左向右，其电离程度由易到难。

在含有易电离的钾、钠等元素的气氛中、比较容易引弧。而在含有难电离的氩、氮等元素的气氛中，则电弧引燃就比较困难。

气体电离按其能量来源不同，可分为以下三种形式：

(1) 热电离：在高温下，气体分子和原子吸收大量能量，由此产生强烈的热运动，处于强烈热运动状态的中性质点相互碰撞而产生电离，这种气体粒子受热的作用而产生的电离称为热电离。当气体粒子温度在 2000 K 以上时就会产生热电离。

(2) 碰撞电离：带电质点与中性原子相互碰撞而发生的电离称为碰撞电离。在电弧中，带电质点（主要是自由电子）在电场作用下高速运动，产生较大的能量，当与中性原子碰撞时便产生电离。³当电弧两极间的电压越高，则由于电场力的吸引，带电质点的运动速度越大，碰撞电离的作用也越强烈。

2. 阴极电子发射 阴极表面的原子或分子，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。气体的电离是产生电弧的重要条件，但如果只有气体电离，而阴极不发射电子，没有电流通过，那么电弧还是不能形成。因此阴极电子发射也和气体电离一样，是产生和维持电弧的重要条件。根据吸收能量的不同，阴极电子发射可分为以下三种形式：

(1) 热电子发射：阴极表面温度升高，其中的自由电子动能增加，当动能增加到一定值时，电子就会逸出金属表面而产生热电子发射。温度越高，电子发射能力越强。

(2) 场致电子发射：当电极间有一定强度的电场时，电场促使阴极表面电子逸出，从而产生电子发射。电场强度与电极间电压成正比、与电极间的距离成反比。电场强度越大，场致电子发射的能力越强。因此，增大两极间电压或减小两极间距离，都能增加电子的发射能力。

(3) 撞击电子发射：当运动速度较高、能量较大的阳离子撞击阴极表面时，将能量传递给阴极表面的电子而产生电子发射称为撞击电子发射。电场强度越大，阳离子的运动速度也越快，则撞击电子发射的作用也越强烈。

3. 焊接电弧的引燃过程 引弧时，将焊条与焊件接触，接着迅速将焊条提起 2 ~ 4 mm，在焊条提起的瞬间，电弧即被引燃。

当焊条与焊件接触时，焊接回路发生了短路，短路电流较大。由于电极（焊条和焊件）表面不是理想的平面接触，而是少数几个点接触，如图1-3 a 所示。强大的短路电流从这些接触点通过，产生大量的电阻热，使接触点金属发热、熔化，甚至部分蒸发，如图1-3 b 所示。当提起焊条离开工件时，强大的电流只能从熔化金属的细颈通过，如图1-3 c 所示，使细颈部分液体金属的温度猛烈增高，象“保险丝”气化爆裂那样，使两极液体金属迅速分开，如图1-3 d 所示。焊机提供的空载电压立即加在焊条端部与焊件之间，产生了极大的电场。阴极表面的电子由于急剧地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

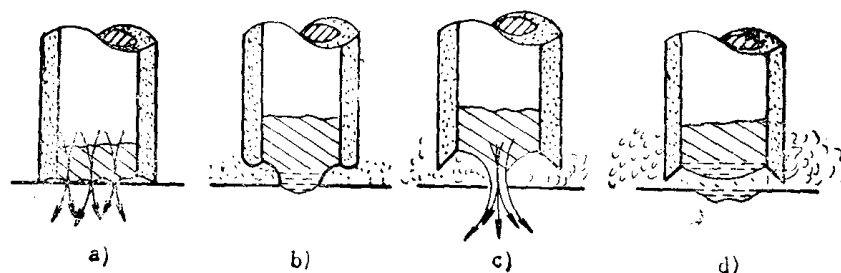


图1-3 焊接电弧的引燃过程

作用下，加速移向阳极。此时焊条与焊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，当受到较大动能的电子撞击和气体分子或原子间的互相碰撞时，两极间的气体迅速电离。在电弧电压的作用下，电子和负离子向阳极运动，正离子向阴极运动。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。

焊接电弧的燃烧过程，实质上就是把电能转换成热能和光能的过程。

二、焊接电弧的构造及温度分布

1. 焊接电弧的构造 焊接电弧由阴极区、阳极区、弧柱区三部分组成，如图1-4所示。

（1）阴极区：电弧紧靠负电极的区域为阴极区，阴极区很窄，大约只有 10^{-6}cm ，电压降 U_1 较大，所以该区内的电场强度很大，可以达到 10^6V/cm ，这就是阴极区产生电子强电场发射的原因。在阴极表面上，有一个明亮的斑点，称为阴极斑点。阴极斑点是电子发射的发源地，电流密度很大，也是阴极区温度最高的地方。

（2）阳极区：电弧紧靠正电极的区域为阳极区，阳极区较阴极区宽，约为 10^{-3}cm 。在阳极表面也有一个光亮的斑点，称为阳极斑点。阳极斑点是集中接收电子的微小区域。阳极电压降比阴极电压降小，而且阳极区域又比阴极区宽，所以其电场强度比阴极小得多。

（3）弧柱区：在阴极区和阳极区之间为弧柱区，其长度占弧长的绝大部分。在弧柱区充满了电子、正离子、负离子和中性的气体分子或原子。并且发生着激烈的电离反应，即有中性质点的碰撞电离和热电离，又有带电质点的中和放电过程。

2. 焊接电弧的温度分布 焊接电弧中三个区域的温度分布是不均匀的，在一般情况下，由于阳极不发射电子，不消耗发射电子所需的能量，所以阳极区的温度比阴极区要高。阴极区和阳极区的温度升高后，使电极材料熔化，以致沸腾蒸发，从而限制了这两个区域温度的继续升高，它们的温度约为电极材料的沸点，见表1-1。

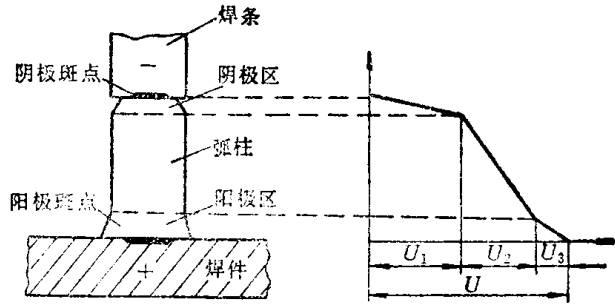


图1-4 电弧的构造和电压降分布
 U —电弧电压 U_1 —阴极电压降 U_2 —弧柱电压降
 U_3 —阳极电压降

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	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

注：绝对温度 (K) = 摄氏温度 (°C) + 273°C。

当焊条药皮中含有氟化物时，由于氟能吸收电子生成负离子，阴极区发射出来的电子被氟吸收，并放出热量，在这种情况下，阴极区温度比阳极区高。

以上是直流电弧的温度分布特点。在交流电弧中，由于电源的正负极每秒钟变换100次，阴极和阳极不断交替变化，所以两极区的温度趋于一致，近似为它们的平均值。

弧柱区的温度由于不受材料沸点的限制，因此高于阴极和阳极温度，弧柱中心温度可达5000~8000 K。弧柱区温度取决于弧柱中的气体介质和电流大小。焊接电流越大，弧柱中电离程度也越大，弧柱温度也越高。

三、焊接电弧的极性及应用

1. 焊接电弧的极性 采用直流电源焊接时，焊件接电源的正极，焊条接电源的负极，这种接线法称正接，这时的电弧极性称正极性，如图1-5 a所示。焊件接电源负极，焊条接电源正极的接线法称反接，其电弧极性称反极性，如图1-5 b所示。

2. 焊接电弧极性的应用 在选用极性接法时，主要根据焊条的性质和焊件所需的热量来决定。当使用碱性低氢钠型焊条（如E 4315）时，规定要用直流反接才能使电弧稳定燃烧。当使用酸性焊条时，则可采用直流或交流电焊接。如果采用直流电焊接，则通常在厚板焊接时采用直流正接，因为阳极区的温度高于阴极区，直流正接可使焊件得到较大的熔深，而在焊接薄板时，为防止烧穿，常采用直流反接。

四、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。

1. 焊接电弧的静特性曲线 焊接电弧具有把电能转变成热能的作用，这点与普通电阻相似。但又有其明显的特点，当普通电阻通过电流时，电阻两端的电压降与通过的电流值总是成正比，其比值是不变的（遵循欧姆定理），如图1-6所示，电阻静特性是一条直线。电弧也相当于是一个电阻性负载，但与普通电阻不同，其电阻值不是常数。电弧电阻值的大小与电弧温度有关，而电弧温度又与电流有关，所以，电弧电阻值的大小随电流的变化而变化，即电流与电压不是线性关系，而是如图1-7所示的曲线关系，该曲线称为电弧静特性曲线。

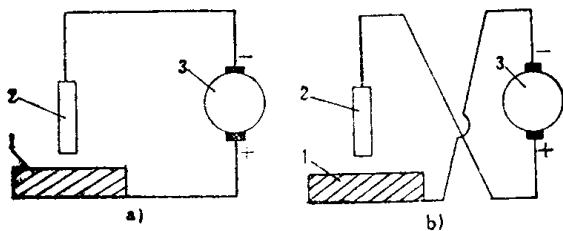


图1-5 焊接电弧的极性

a) 正接 b) 反接

1—焊件 2—焊条 3—直流弧焊机

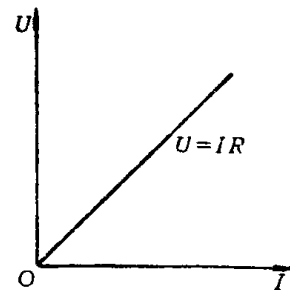


图1-6 普通电阻静特性

电弧静特性曲线分三个不同的区段：当焊接电流较小时（曲线的ab段），由于气体的电离程度不够高，电弧的电阻较大，所以电弧电压较高。随着焊接电流的增加，气体的电离程度、电弧的导电能力均有所增大，而电弧的电阻减小，所以电弧电压也减小。此段的电弧静特性属下降特性。

当焊接电流增大到一定数值后（曲线的bc段），随着焊接电流的继续增大，而电弧的导电能力不再增加，所以电弧电压几乎不发生变化。此段的电弧静特性属平特性。

当焊接电流更大时（曲线的cd段），随着焊接电流的增大，电弧的电流密度增大，导电能力下降，电弧电压有所升高，此段的电弧静特性属上升特性。这种情况，只有在采用细焊丝、大电流的气体保护焊时才会出现。

由电弧静特性曲线可知：电弧是一个特殊的非线性电阻负载。为了使电弧稳定燃烧，从而获得优质的焊接接头，手工电弧焊需要有一个专用的弧焊电源供电，常用的电流范围是静特性曲线的 bc 段。在这段区间内，当改变电流时，电弧电压几乎不发生变化，以保持电弧稳定燃烧。

2. 影响焊接电弧静特性的因素 焊接电弧的静特性与电弧长度及气体介质等因素有关。

(1) 电弧长度的影响：当弧长发生变化时，静特性曲线平行移动，即电弧长度增加，电弧电压升高，如图 1-8 所示。

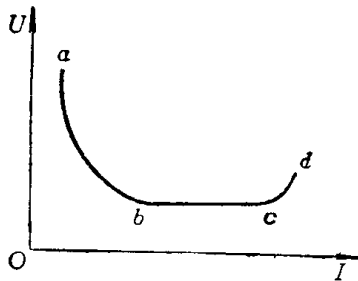


图1-7 焊接电弧静特性曲线

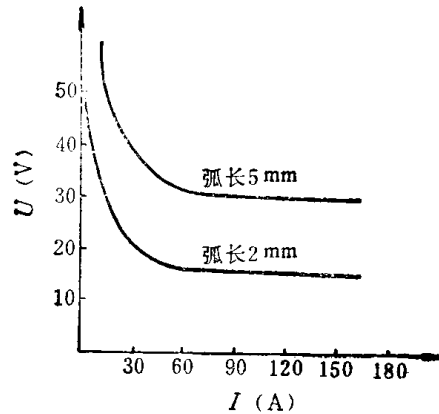


图1-8 不同弧长的静特性曲线

(2) 气体种类的影响：电弧周围气体的热物理性能不同，会对电弧电压产生显著的影响，从而改变静特性曲线的位置。例如，氩弧焊中，在纯氩中加入50%的氢气，电弧电压比用纯氩提高很多。这是因为氢气分解要吸收较大的能量，同时氢气的导热系数比氩大，对电弧的冷却作用强，使电弧的热损失增加，电弧电压相应升高，静特性曲线上移。

(3) 气体压力的影响：气体压力越大，对电弧的冷却作用越强，使电弧电压升高，静特性曲线随之上移。

五、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、飘移和磁偏吹等）的程度。电弧燃烧是否稳定，直接影响到焊接质量的好坏和焊接过程的正常进行。

实际生产中，焊接电弧可能会由于种种原因而发生燃烧不稳定的现象，如电弧间断，不能连续燃烧，电弧偏离焊条轴线方向或电弧摇摆不稳等。

电弧燃烧的稳定性与许多因素有关，除操作技术水平外，大致可归纳为以下几个方面：

1. 焊接电源的影响 焊接电源的种类和特性会影响电弧的稳定性。

采用直流电源比交流电源的稳弧性好，因为采用交流电源焊接时，电弧的极性是周期性改变的，就是每秒钟电弧的燃烧和熄灭要重复100次。使电子发射和气体电离减弱，引起电弧不稳。所以对于稳弧性较差的碱性焊条必须采用直流电源才能进行焊接。

如果焊接电源的空载电压过低，也会减弱气体介质的电离和阴极电子发射，使电弧稳定性下降，甚至造成电弧不稳定。

2. 焊条药皮 当焊条药皮含有较多易电离元素（K、Na、Ca等）或它们的化合物时，电弧燃烧较稳定。当药皮中含有较多氟化物时，会降低电弧燃烧的稳定性，因为在气体电离的过程中氟容易获得电子而形成负离子，使自由电子大量减少，而且负离子还能与正离子结

合成中性质点，使电弧导电性变差。因此使电弧燃烧不稳定。

焊条偏心（即药皮厚薄不均）或药皮局部剥落，焊接时，容易引起电弧偏吹，降低了电弧的燃烧稳定性。

3. 焊件接缝处清洁度和气流的影响 焊件接头处若有铁锈、油污及水分等杂质，它们在焊接时要吸热分解，因此减少了电弧的热量，影响了电弧的稳定性。

在风较大的露天焊接，或在气流速度大的管道中焊接时，电弧的稳定性也差，严重时甚至无法施焊。

4. 电弧的磁偏吹 采用直流电源焊接时，还会发生因焊接电流所产生的磁场在电弧周围分布不均而引起的磁偏吹。磁偏吹使焊工难以掌握电弧对接缝处的集中加热，使焊缝产生焊偏或未焊透等缺陷，严重时会使电弧熄灭。如图 1-9 所示，焊接导线接在焊件的一侧，焊接电流只能从焊件的一边流过，这样，经过焊件的电流所产生的磁场与经过电弧的电流所产生的磁场相迭加，使得电弧两侧磁力线分布不均，靠近导线一侧，磁力线密集，磁场增加；而另一侧磁力线稀疏，磁场减弱。根据磁场对导体的作用，磁力线密的一侧对电弧的作用力大于磁力线稀的一侧，电弧必然偏向磁力线稀的一边，而且电流越大，磁偏吹就越严重。

另外，在直流电弧旁，有较大的铁磁物质存在时，也会引起磁场分布不均，造成磁偏吹，如图 1-10 所示。在铁磁物质的一侧，因为铁磁物质导磁能力大，磁力线大部分通过铁磁物质中形成封闭曲线。

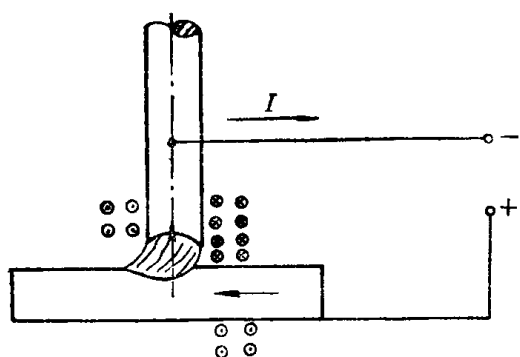


图1-9 接地线位置不正确引起的磁偏吹

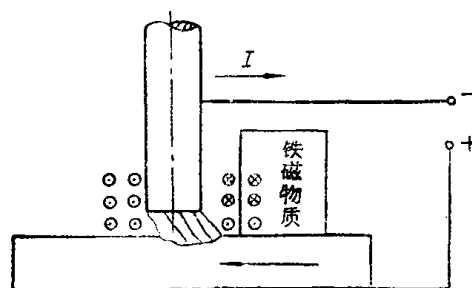


图1-10 铁磁物质引起的磁偏吹

使得电弧周围靠近铁磁物质一侧的磁力线减少，出现不平衡的磁场，使电弧偏向铁磁物质一侧。

在焊接过程中，为了防止和减少电弧的磁偏吹，可适当改变焊件上的接地线部位，尽可能使弧柱周围的磁力线分布均匀。另外，调整焊条角度，采用短弧焊接，也可避免和减少电弧磁偏吹。

第三节 焊接接头型式和焊缝符号

焊接接头即用焊接方法联结的接头。它由焊缝、熔合区和热影响区组成。

一、焊接接头型式

在手工电弧焊中，由于焊件厚度，结构形状以及对质量要求的不同，其接头型式也不相

同。

根据国家标准GB985—80规定，焊接接头的型式主要可分为四种，即对接接头、角接接头、搭接接头、T形接头，如图1-11所示。

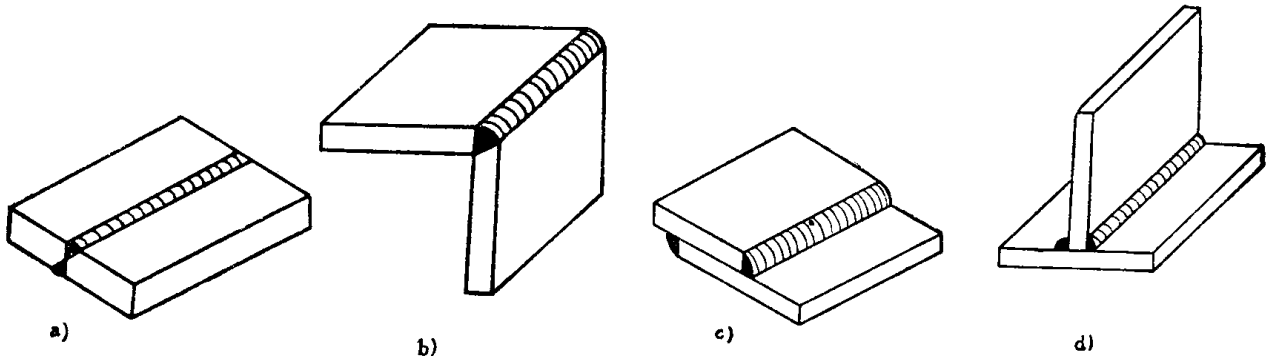


图1-11 焊接接头的基本类型

a) 对接接头 b) 角接接头 c) 搭接接头 d) T形接头

1. 对接接头 两焊件端面相对平行的接头称为对接接头，如图1-11 a所示，这种接头能承受较大的载荷，是焊接结构中最常用的接头。

2. 角接接头 两焊件端面间构成大于 30° ，小于 135° 夹角的接头称为角接接头，如图1-11 b所示。角接接头多用于箱形构件，其焊缝的承载能力不高，所以一般用于不重要的焊接结构中。

3. 搭接接头 两焊件重叠放置或两焊件表面之间的夹角不大于 30° 构成的端部接头称为搭接接头，如图1-11 c所示。搭接接头的应力分布不均匀，接头的承载能力低，在结构设计中应尽量避免采用搭接接头。

4. T形接头 一焊件端面与另一焊件表面构成直角或近似直角的接头称为T形接头，如图1-11 d所示。这种接头在焊接结构中是较常用的，整个接头承受载荷、特别是承受动载荷的能力较强。

二、坡口形式

根据设计或工艺的需要，在焊件的待焊部位加工成一定几何形状的沟槽称坡口。

1. 坡口的作用 其主要作用是为了保证焊缝根部焊透，使焊接热源能深入接头根部，以保证接头质量。坡口还能起到调节基本金属与填充金属比例的作用。

2. 坡口的尺寸名称及标注 坡口的主要尺寸名称及标注方法如图1-12所示。钝边是为了防止烧穿，钝边尺寸要保证第一层焊缝焊透。根部间隙在打底焊时，能保证根部焊透。坡口角度是用来使电弧能深入焊缝的根部，使得钝边焊透，且便于清渣，以获得美观的焊缝。

3. 常见的坡口形式 手工电弧焊常见的坡口形式见表1-2。

4. 焊接坡口的选择 焊接坡口的选择一般遵循以下原则：

① 能够保证工件焊透，（手弧焊熔深一般为 $2\sim 4\text{mm}$ ），且便于焊接操作。如在容器内部不便焊接的情况下，要采用单面坡口即在容器的外面焊接。

② 坡口形状应容易加工。

③ 尽可能提高焊接生产率和节省焊条。

④ 尽可能减小焊后工件的变形。