

高职高专焊接专业工学结合系列规划教材

典型焊接接头 电弧焊实作

DIANXING HANJIE JIETOU
DIANHUHAN SHIZUO

杨 跃◎主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书根据高职教育对焊接技能的要求,依据行业主导、校企联合制定的《焊接制造岗位职业标准》,参考国际焊工培训标准和中华人民共和国劳动及社会保障部制定的《国家职业标准》中级焊工的等级标准,由全国机械职业教育材料类教学指导委员会组织校企专家共同编写。

本书除电弧焊基本知识外,焊接技能训练均以项目教学形式,按照制造业焊接接头实际生产过程和认知规律,将焊接接头实作项目按照平、立、横、仰四种空间位置,由浅入深、循序渐进地进行编排;在相关训练项目中采集编入了企业专家在多年实践中总结提炼出的焊接技能绝招和精粹,以帮助学生快速提高技能水平。本书还穿插编入了“榜样的故事”,将“中国高技能人才楷模”、“全国技术能手”等焊接高技能人才的业绩和人生感悟以故事的形式编入其中,以激发学生对焊接技术的学习热情,并从中感悟做人、做事的道理,增强趣味性和生动性,以期达到“教书”和“育人”的双重目的。

本书为高职高专院校焊接专业的专业课教材,也可作为企业职工的焊接技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

典型焊接接头电弧焊实作/杨跃主编. —北京:机械工业出版社,
2009.10
(高职高专焊接专业工学结合系列规划教材)
ISBN 978-7-111-28607-3

I. 典… II. 杨… III. 电弧焊-高等学校:技术学校-教材
IV. TC444

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第187946号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:王海峰 责任编辑:于奇慧 版式设计:霍永明
封面设计:马精明 责任校对:吴美英 责任印制:乔 宇
北京京丰印刷厂印刷
2009年11月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·12.75印张·1插页·317千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-28607-3
定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066
销售一部:(010) 68326294
销售二部:(010) 88379649
读者服务部:(010) 68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>
教材网:<http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

全国机械职业教育材料类教学指导委员会

教材编审委员会

主 任 孙长庆

副 主 任 管 平 杨 跃

委 员 戴建树 曹朝霞 陈长江 王小平 王海峰

企业顾问 高凤林 张祥生 许 建

秘 书 长 陈云祥

卧薪尝胆学技术

——给同学们的一封信（代序）

亲爱的同学们：

在本教材的创意和编写过程中，我始终有一种强烈的冲动，想给同学们写点心里话。

传说历史上有这样一个故事：公元前 500 年左右，越王勾践在一次战争中被吴国打败。在吴王的威逼之下，勾践还到吴国宫廷中服了三年的苦役，过着牛马不如的生活。勾践被释放回国以后，为了奋发图强，他睡觉躺在硬柴上，坐卧饮食都要尝一下苦胆，以激励自己和民众的勇气和斗志。最后越国打败了吴国，实现了强国之梦……。后人蒲松龄为了自勉，将此写成对联并张贴于书房——聊斋中：有志者事竟成破釜沉舟百二秦关终属楚；苦心人天不负卧薪尝胆三千越甲可吞吴。

2006 年 9 月，我有幸在人民大会堂结识了一批全国技术能手，其中就有本教材的主审——“中国十大高技能人才楷模”之一的高凤林。他是在“神五”、“神六”焊接工作中做出突出贡献的特级熔焊技师，曾攻克了近百项焊接技术难题！

两年多来，我一直在思考和研究高凤林等人成长的历程和内因，是什么原因使他们从一个普通工人成长为令人佩服、受人尊敬的国家栋梁？我的结论是：他们不仅练就了过硬的操作技能，还积淀了厚实的文化理论基础与专业知识，更可宝贵的是，他们在成长过程中培养起了强烈的社会责任感和爱岗敬业、刻苦钻研、锐意创新的精神！尤其重要的是，他们将自己人生价值的实现和奋斗目标与企业、国家和民族的利益紧密地结合了起来，所以才能淡泊名利、不畏艰辛而取得了骄人的成绩，谱写出了灿烂的人生华章！在实现强国之梦的征程中，他们不愧为“新时代卧薪尝胆的勾践”！

我们的理想，就是要通过高职教育，为国家培养一大批像高凤林等人一样的高素质、高技能人才！

本教材虽然是一本关于焊接技能实训的书，却得到了“中国十大高技能人才楷模”中九位健在者的大力支持。他们都用心为你们撰写了殷切的“寄语”（见彩插），其字里行间所透露出的拳拳爱国之心和对高素质、高技能栋梁之才的强烈渴盼之情，令人感动！

本教材是众多院校教师和企业焊接技师经验的总结。书中既遵循了焊接技能训练的认知规律，又编入了“能工巧匠”们在多年工程实践和焊工培训中的“绝招、绝活”，此外，还插入了许多在焊接工程中卓有贡献的高技能人才成长的小故事，值得大家品味、博采、慎思与笃行……

需要提醒大家的是，掌握焊接操作技法只是做好焊接工作的必要前提。在工程实践中，我们还必须综合、灵活运用系统的基础理论和工艺技术知识，才能真正解决实际问题。这正是各种“技术精粹”和“绝招、绝活”产生的真谛，这也正是高凤林在技校毕业后，不仅自学了大学课程，还要攻读研究生的原因。由此可见，技能人才必须具备良好的理论和文化修养，才能做到高端，实现自己的可持续发展。

同学们，今天的中国，虽已是世界制造大国，但还远不是制造强国！我国的许多关键技术还受制于人。随着技术的进步、产品的升级换代，装备制造业正飞速发展，新产品、新材料、新技术、新工艺不断涌现，客观上对焊接技能人才的要求也越来越高。但是，只要我们卧薪尝胆、刻苦钻研，就一定能够在本领域建立功勋，就一定能够将“中国制造”改写为“中国创造”！

我坚信，终有一天，你们会登上焊接技术的高峰！

杨跃

前 言

本书为高职高专院校焊接技术与自动化专业工学结合系列规划教材,是根据高职教育对焊接技能的要求,依据行业主导、校企联合制定的《焊接制造岗位职业标准》,参考国际焊工培训标准和中华人民共和国劳动及社会保障部制定的《焊工国家职业标准》,由全国机械职业教育材料类教学指导委员会组织国家示范性高职院校教师和企业专家共同编写的。

本书除电弧焊基本知识外,焊接技能训练部分均以项目教学形式,对焊条电弧焊、TIG焊、CO₂焊、埋弧焊的操作技能按照制造业焊接接头实际生产过程和认知规律,将焊接接头按照平、立、横、仰四种空间位置,由浅入深、循序渐进地编排教学内容;气焊、气割作为焊接基础技能,本书附带简单介绍。在相关训练项目中,以“关键技术点拨”和“工程实践及应用案例”等形式,采集编入了企业专家在多年实践中总结提炼出的焊接技能绝招和精粹,以帮助学生快速提高技能水平,拓展工程应用能力。本书在强调良好职业素养、安全教育、团队合作精神的同时,还穿插编入了“榜样的故事”,将“中国高技能人才楷模”、“全国技术能手”等焊接高技能人才的业绩和人生感悟以故事的形式插入其中,通过榜样的力量激发学生对技能和技术的学习热情,并从中感悟做人、做事的道理,增强趣味性和生动性,以期达到“教书”和“育人”的双重目的。

本书按照校企合作原则,由四川工程职业技术学院杨跃任主编,负责整体策划、设计和校企编审人员整合与组织协调,并负责编写序、前言、后记和榜样的故事等。四川工程职业技术学院孙学杰、冉传海任副主编。第一章和第七章由四川工程职业技术学院孙学杰编写,雷世明、谢旦甲审查;第二章由冉传海编写,中国第二重型机械集团公司高级技师廖连春审查;第三章由浙江机电职业技术学院陈云祥编写,浙江火电建设公司高级技师陈立虎审查;第四章由包头职业技术学院白天喆编写,第五章由武汉船舶职业技术学院周飞霓和四川工程职业技术学院窦红强联合编写,武汉石化建安公司高级技师高魁玉审查;第六章由广西机电职业技术学院龙昌茂编写,四川蓝星机械集团有限公司焊培中心主任胡刚审查。全书由杨跃统稿,由中国高技能人才楷模、中国航天科技集团公司特级熔焊技师高凤林任主审,包头职业技术学院王新民任副主审。书中各“关键技术点拨”和“工程实践及应用案例”由高凤林负责修改、把关。

在编写过程中,本书参阅了有关同类教材、书籍和网络资料,并得到了参编学校和企业的大力支持,特别是得到了健在的九位“中国十大高技能人才楷模”的大力支持,他们特意为本书的青年读者写了饱含深情的寄语,在此一并致以深深的谢意!

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

卧薪尝胆学技术——给同学们的一封信 (代序)

前言

第一章 电弧焊基本知识	1
第一节 概述	1
第二节 焊接电弧基本知识	3
第三节 焊丝及母材熔化	8
第四节 焊机及焊接辅助工具	13
第五节 焊接接头与焊缝	19
第六节 常见焊接缺陷及检验	25
第七节 焊接安全和文明生产	31

榜样的故事

第二章 典型焊接接头焊条

电弧焊实作

第一节 焊条电弧焊概述	37
第二节 焊条电弧焊基础训练项目	47
项目一 板对接平焊实作	47
项目二 板对接立焊实作	51
项目三 板对接横焊实作	54
项目四 板对接仰焊实作	57
第三节 焊条电弧焊拓展训练项目	59
项目五 T形接头平角焊实作	59
项目六 T形接头立角焊实作	62
项目七 骑坐式管板垂直俯位焊实作	64
项目八 管对接垂直固定焊实作	67
项目九 管对接水平固定焊实作	69
项目十 管对接45°倾斜固定焊实作 (向上焊)	73
第四节 工程实践及应用案例	76

榜样的故事

第三章 典型焊接接头手工钨极氩

弧焊实作

第一节 手工钨极氩弧焊概述	80
第二节 手工钨极氩弧焊基础训练项目	89
项目一 板对接平焊实作	89
项目二 板对接立焊实作	92

项目三 板对接横焊实作	95
-------------------	----

项目四 板对接仰焊实作	98
-------------------	----

第三节 手工钨极氩弧焊拓展训练项目

项目五 骑坐式管板垂直俯位焊实作	101
------------------------	-----

项目六 管对接垂直固定焊实作	103
----------------------	-----

项目七 管对接水平固定焊实作 (向上焊)	106
-------------------------------	-----

第四节 工程实践及应用案例

榜样的故事

第四章 典型焊接接头半自动 CO₂

焊实作

第一节 CO ₂ 焊概述	113
-------------------------------	-----

第二节 半自动 CO ₂ 焊基础训练项目	119
---------------------------------------	-----

项目一 板对接平焊实作	119
-------------------	-----

项目二 板对接立焊实作	121
-------------------	-----

项目三 板对接横焊实作	125
-------------------	-----

项目四 板对接仰焊实作	128
-------------------	-----

第三节 半自动 CO₂ 焊拓展训练项目

项目五 骑坐式管板垂直俯位焊实作	130
------------------------	-----

项目六 管对接水平固定焊实作	132
----------------------	-----

第四节 工程实践及应用案例

榜样的故事

第五章 典型焊接接头自动焊实作

第一节 自动焊概述	137
-----------------	-----

第二节 埋弧焊训练项目	143
-------------------	-----

项目一 板对接水平双面焊实作	143
----------------------	-----

项目二 T形接头角焊实作	146
--------------------	-----

项目三 对接接头环缝埋弧焊实作	151
-----------------------	-----

第三节 弧焊机器人基本操作训练

第四节 工程实践及应用案例	164
---------------------	-----

榜样的故事

第六章 组合接头与返修焊接实作

第一节 组合接头电弧焊实作	168
---------------------	-----

第二节 焊缝返修实作	170
------------------	-----

第三节 工程实践及应用案例	176
---------------------	-----

榜样的故事

第七章 气焊与气割实作	179	附录 B 装—焊工艺卡	190
第一节 气焊实作	179	附录 C 质量检查内容和评分标准	191
第二节 气割实作	183	附录 D 工件质量检查记录卡	194
榜样的故事	188	胸怀大志、脚踏实地(代后记)	195
附录	190	参考文献	197
附录 A 焊缝分析表	190		

第一章 电弧焊基本知识

第一节 概 述

在金属加工工艺领域中，焊接是一种发展非常迅速的加工方法。目前焊接已在能源、交通、建筑，特别是在机械制造行业中得到了广泛的应用。早在远古的铜、铁器时代，当人类刚开始掌握金属冶炼技术并用来制作简单的生产和生活器具时，火焰铁钎焊、锻接等简单的金属连接方法就已为古人所发现并得到应用。电弧焊、电阻焊、高能高速焊等为代表的现代焊接工程技术则是在 19 世纪末到 20 世纪初的世界第一次工业革命时期孕育，并在 20 世纪 30 年代后逐渐发展起来的。它既是现代工业和科学技术发展的产物，又是现代工业制造技术的一个重要的基本组成部分。据统计，目前，各种门类的工业制品中，半数以上都采用了一种或多种焊接与连接技术。汽车和铁路车辆、舰船、航空和航天飞行器、原子能反应堆及水力或火力发电站、石油化工设备、机床和工程施工机械、电机电器、微电子产品、家电等众多现代工业产品，以及桥梁、高层建筑、城市高架桥或地铁、石油或天然气的远距离输送管道、高能粒子加速器等许多重大工程建设中，焊接技术占据着十分重要的地位。

一、焊接的概念、特点及分类

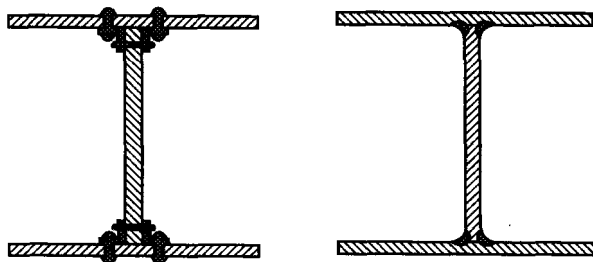
焊接是一种工业上常用的形成永久性连接的工艺方法，是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种方法。所用能源可以是电能、机械能、化学能、声能或光能等。

焊接制造具有下列优点：

(1) 节省材料与工时 在金属结构制造业中，用焊接代替铆接一般可以节省金属材料 15% ~ 20%，图 1-1 所示是铆接结构与焊接结构截面的比较。用焊接代替铆接制造运输设备，可减轻自重，这就相对地提高了运输效率。由于铆接工序较多，需几个人同时操作，若用焊接代替铆接，便可节省大量的工时与劳动力。



(2) 能化大为小，拼小成大 在制造大型结构或复杂的机器零部件时，可以用化大为小、化复杂为简单的办法来准备坯料，然后用逐次装配焊接的方法拼小成大。此外，还可以采用焊接和铸造、锻造组成的复合工艺，用小型铸、锻设备生产大的零部件，以减轻铸、锻工作量并降低成本。



(3) 可实现不同材料间的连接成形 铜-铝连接，高速钢-碳钢连接，碳

图 1-1 铆接结构与焊接结构截面的比较

钢-合金钢连接都可以通过焊接实现。因此，焊接可优化设计，节省贵重材料。

(4) 可制造密封性构件 可焊接锅炉、高压容器、储油罐、船体等密封性好、工作时不渗漏的空心构件。

按照焊接过程的特点，把焊接技术分为熔焊、压焊和钎焊三大类。每类依据工艺特点又分成若干不同方法，如图 1-2 所示。

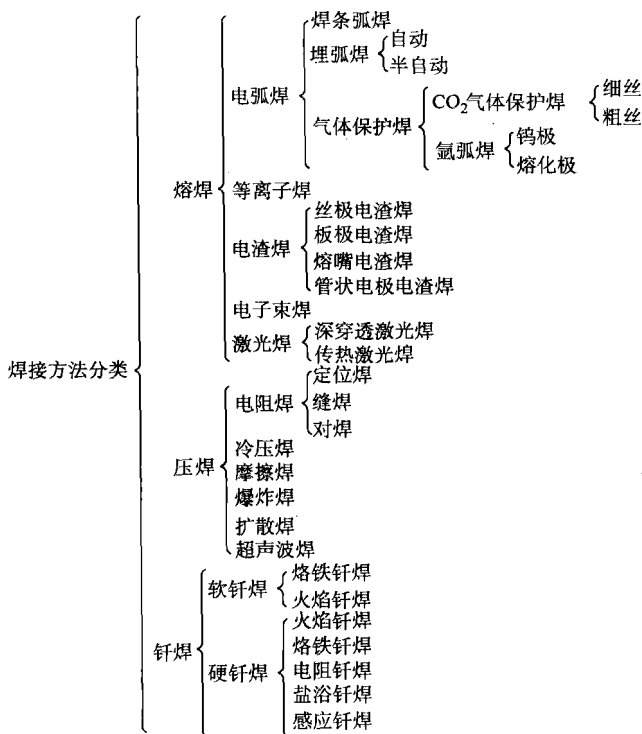


图 1-2 焊接的分类

二、焊接技术的应用

科学技术发展到今天，焊接技术已广泛应用于工农业生产、航空、航天交通运输、日常生活等领域。例如，我国自行生产的锻造水压机上、下横梁和活动横梁及四根立柱，大型汽轮机转子及大型轧钢机机架都是数十吨、百吨重的大件，若采用铸造或锻造方法生产，则受设备能力限制，生产困难，甚至无法制作。而采用铸、焊或锻、焊结构，先分段制造再焊接成整体，则不需过大的设备，简化了工艺，也降低了成本。我们日常使用的自行车、收录机、电视机都离不开焊接工艺。至于现代化的交通工具，更是以焊接为主要生产手段。例如，一艘油轮的焊缝总长达 1000km；一辆小汽车上的焊点有 5000 ~ 12000 个；一架美国制造的 F4U 型飞机上的焊点多达 100 多万个。

三、焊接结构的制造过程

焊接结构的制造过程是指采用焊接的工艺方法把毛坯、零件和部件连接起来制成焊接结构的生产过程。焊接结构的加工工艺过程如图 1-3 所示。

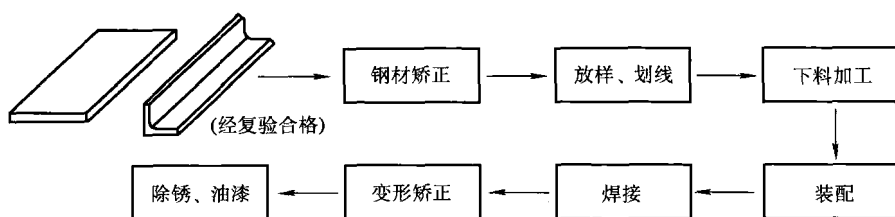


图 1-3 焊接结构的加工工艺流程

由图 1-3 可见，在焊接结构的整个制造过程中，焊接只是其中的一个工序，但它是最主要、最关键的一个工序，前面的各工序都是为它作铺垫和服务的，后续工序又是对它的补充和完善。焊接的目的是为了获得各种优质的焊接接头，而焊接结构的整个制造过程是为了获得具有一定功能的产品或部件。

第二节 焊接电弧基本知识

一、电弧的物理基础

电弧是一种气体放电现象，它是带电粒子通过两电极之间气体电离后的一种导电过程。要使两电极之间的气体导电，必须具备两个条件：一是两电极之间有带电粒子；二是两电极之间有电场。带电粒子在电场作用下运动，形成电流，从而使两极之间形成电弧。

1. 带电粒子的产生

一般情况下，气体分子和原子都处于电中性状态，因此不能导电，是良好的绝缘体。采用一定的物理方法可使两个电极间的气体产生带电粒子，带电粒子可以形成电弧放电。两电极之间的气体产生带电粒子的途径有气体电离和阴极电子发射。

(1) 气体电离 在外加能量的作用下，中性的气体分子或原子分离成电子和正离子的过程称为气体的电离。其实质是中性气体粒子（分子或原子）吸收足够的外部能量，使得分子或原子的外层电子脱离原子核的束缚而成为自由电子和正离子的过程。

根据外加能量来源的不同，气体电离有以下几种方式：

1) 热电离。气体粒子受热的作用而产生的电离称为热电离。其实质是由于气体粒子的热运动形成频繁而激烈的碰撞而产生的一种电离过程。温度越高，热电离的作用越大。

2) 场致电离。在两电极间的电场作用下，气体中的带电粒子被加速。当带电粒子的动能达到一定数值时，有可能与中性粒子发生碰撞而使之产生电离，这种电离称为场致电离。在电弧的两个极区，电场强度达 $10^5 \sim 10^7 \text{ V/cm}$ 时，场致电离现象明显。

3) 光电离。中性气体粒子受到光辐射的作用而产生的电离称为光电离。光电离只是电弧中产生带电粒子的一种次要途径。

(2) 阴极电子发射 电子发射是电弧获得带电粒子的另一个主要途径。阴极表面受到一定的外加能量作用时，电子从阴极表面逸出的过程称为电子发射。电子逸出金属表面需要吸收一定的能量，根据吸收能量的种类不同，电子发射可分为以下几种形式：

1) 热电子发射。阴极表面因受热的作用而产生的电子发射过程称为热电子发射。阴极表面温度越高，电子发射能力越强。当采用高沸点的钨或碳作阴极时，电极可被加热到很高

的温度（一般可达 3500K 以上），此时，热电子发射是为电弧提供电子的主要途径。

2) 场致电子发射。当阴极表面空间存在一定强度的正电场时，金属内部的电子将受到电场力的作用，当此力达到一定程度时，电子便会逸出金属表面，这种电子发射现象称为场致电子发射。电场强度越大，场致电子发射的能力越强。当采用钢、铜、铝等低沸点材料作阴极时，阴极加热温度受材料沸点限制不可能很高，热电子发射能力较弱，此时向电弧提供电子的主要方式是场致电子发射。

3) 粒子撞击电子发射。当运动速度较高、能量较大的粒子（主要是正离子）碰撞阴极表面时，将能量传递给阴极表面的电子而产生的电子发射现象称为粒子撞击电子发射。电场强度越大，阳离子的运动速度就越快，撞击电子发射的作用也越激烈。在一定条件下，这种电子发射形式也是焊接电弧阴极区提供导电粒子的主要途径。

4) 光发射。当阴极表面受到光辐射作用时，阴极内的自由电子能量达到一定程度而逸出阴极表面的现象称为光发射。光发射在阴极电子发射中居次要地位。

在电弧焊中，电弧气氛中的带电粒子一方面由电离产生，另一方面则由阴极电子发射获得。两者都是保证电弧产生与维持所不可缺少的。

2. 焊接电弧的构造

电弧中气体放电现象的主要特点是电流大（从几安到几千安），而两极间的电压低（只有十几伏至几十伏）。通过这种气体放电，电弧能有效而简便地把弧焊电源输送的电能转换成焊接过程所需要的热能和机械能，同时产生强烈的弧光。

电弧沿长度方向的电场强度（电压降）分布如图 1-4 所示。由图 1-4 可见，沿电弧长度方向的电场强度分布并不均匀。按电场强度分布的特点可将电弧分为三个区域：阴极附近的区域为阴极区，其电压 U_k 称为阴极电压降；中间部分为弧柱区，其电压 U_c 称为弧柱电压降；阳极附近的区域为阳极区，其电压 U_a 称为阳极电压降。阳极区和阴极区占整个电弧长度的尺寸皆很小，约为 $10^{-2} \sim 10^{-6} \text{cm}$ ，故可近似认为弧柱长度即为电弧长度。电弧的这种不均匀的电场强度分布，说明电弧各区域的电阻是不同的，即电弧电阻是非线性的。

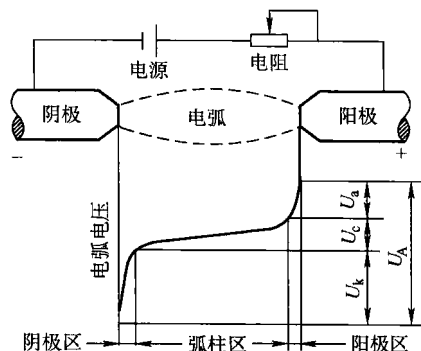


图 1-4 电弧组成

(1) 阴极区 电弧紧靠负电极的区域为阴极区。阴极区有两方面的作用：一方面向弧柱区提供电弧导电所需的电子流；另一方面接收由弧柱送来的正离子流。由于电极材料的种类及工作条件（电流大小、气体介质等因素）不同，阴极压降有较大差别。一般采用钨、碳等高沸点材料作阴极（热阴极）且焊接电流较大时，阴极压降较小；采用钢、铜、铝等低沸点材料作阴极（冷阴极）或焊接电流较小时，阴极压降较大。阴极表面通常可以观察到发出烁亮的区域，这个区域称为阴极斑点。由于金属氧化物的逸出功比纯金属低，容易发射电子，因而阴极斑点自动移向有氧化物的地方，所以阴极斑点有清除氧化物的作用。

(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。阳极区的主要作用是接收弧柱送来的电子流，同时向弧柱提供所需要的正离子流。在阳极的表面也有一个明

亮的斑点,称为阳极斑点。它是由电子撞击阳极表面而形成的,是集中接收电子的微小区域;它总是自动移向有纯金属的地方。

(3) 弧柱区 在阴极区和阳极区之间的区域称为弧柱区。由于阴极区和阳极区都很窄,故弧柱的长度就可以近似认为是电弧的长度。在弧柱区充满了电子、正离子、负离子、中性的气体分子和原子,并伴随着激烈的电离反应。其热量大部分通过对流、辐射散失到周围的空气中。

3. 电弧电压和弧长的关系

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。在电极材料和气体介质一定的情况下,阴极和阳极电压降基本上是固定的数值,而弧柱电压降在一定的介质条件下和弧柱的长度(实际上是电弧长度)成正比。所以,当电弧拉长时,电弧电压升高;反之,电弧电压降低。

4. 焊接电弧的引弧方式

造成两电极间气体发生电离和阴极电子发射而引起电弧燃烧的过程称为焊接电弧的引弧(或引燃)。焊接电弧的引弧一般有两种方式:接触引弧和非接触引弧。

弧焊电源接通后,电极(焊条或焊丝)与工件直接短路接触,随后拉起电极,使电弧引燃,这种引弧方式称为接触引弧,它是一种最常用的引弧方式。

接触引弧如图 1-5 所示。当电极与工件短路接触时,由于电极和工件表面都不是绝对平整的,所以只是在少数凸点上接触,并在接触点处形成很大的短路电流,产生大量的电阻热,使电极金属表面发热、熔化,甚至汽化,引起热发射和气体的热电离。随后,在拉开电极的瞬间,电源电压作用在此小间隙上形成很强的电场,引起场致电子发射;同时,又使已产生的带电粒子加速、互相碰撞,引起撞击电子发射。最后在上述因素的作用下引燃电弧。焊条电弧焊和熔化极气体保护焊都采用这种引弧方式。

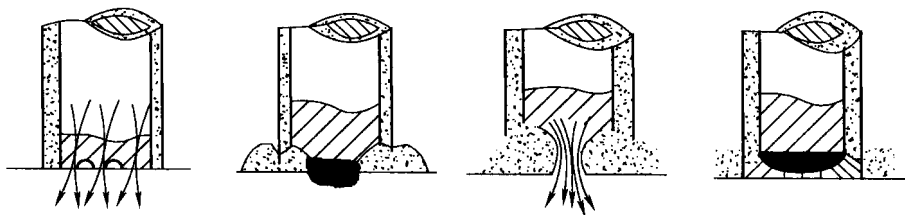


图 1-5 接触引弧过程

非接触引弧时,电极与工件之间保持一定间隙,然后在电极与工件之间施以高频电压或高压脉冲而击穿间隙,使电弧引燃。这种引弧方式主要应用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。引弧时,电极不必与工件接触,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,有利于电弧的稳定燃烧。

二、电弧的特性

1. 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,焊接电流和电弧电压变化的关系称为电弧的静特性。

电弧的静特性用曲线表示,便是电弧静特性曲线,如图 1-6 所示。电弧静特性曲线呈 U 形,可分为三个不同的区域。当电流较小时 (ab 区),电弧的静特性属于下降特性区,即随着电流的增加,电压减小;当电流稍大时 (bc 区),电弧的静特性属于水平特性区,也就是当电流变化时,电压几乎不变;当电流较大时 (cd 区),电弧的静特性属于上升特性区,即电压随电流的增加而升高。

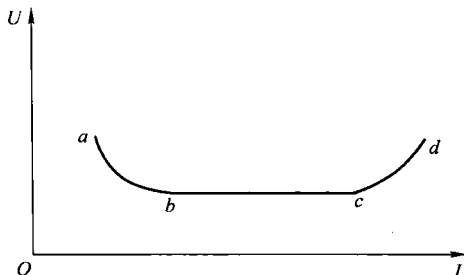


图 1-6 电弧静特性曲线

电弧静特性曲线虽然有三个不同区域,但对不同的焊接方法,在一定的条件下,其静特性曲线只处于曲线的某一区域。例如,小电流钨极氩弧焊、微束等离子弧焊以及脉冲氩弧焊中的“维弧”状态,通常使用电弧静特性的下降段;对于焊条电弧焊、埋弧焊、非熔化极气体保护焊,多半工作在电弧静特性的水平段;对于细丝大电流自动 CO_2 焊、等离子弧焊,则通常工作在电弧静特性的上升段。这对焊机的电流提出了特殊的要求。

2. 电弧的热能特性

电弧可以看作是一个把电能转换成热能的柔性导体,电弧热是电弧焊的主要热源。由于电弧三个区域的导电特性不同,因而其产热特性也不同。

(1) 电弧的产热

1) 弧柱的产热。弧柱是带电粒子的通道。在这个通道中,带电粒子在外加电场的作用下运动,并频繁而激烈地碰撞,在碰撞过程中带电粒子达到高温状态,把电能转换成热能。一般电弧焊时,弧柱产生的热能通过对流、传导与辐射方式的损失约占 90% 以上,仅剩很少一部分能量通过辐射传给焊丝和工件。当电流较大而有等离子流产生时,等离子流可把弧柱的一部分热量带给工件,从而增加工件的热量。

2) 阴极区的产热。与弧柱区相比,阴极区的长度很短,且靠近电极或工件(由接线方法决定)。阴极区产生的热能可被用来加热填充材料或工件,所以直接影响焊丝的熔化或工件的加热。

3) 阳极区的产热。阳极区的电流由电子流和正离子流两部分组成,因正离子流所占比例很小,阳极区的产热主要是电子流的能量转换效应。所产热量主要用于对阳极的加热。在焊接过程中,这部分能量也可用于加热填充材料或工件。

(2) 焊接电弧的温度分布 焊接电弧中,轴向三个区域的温度分布是不均匀的。阴极区和阳极区的温度较低,弧柱区温度较高。阴极区、阳极区的温度因焊接方法的不同而有所差别,见表 1-1。

表 1-1 常用焊接方法的阴极区与阳极区的温度比较

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		阴极区温度 > 阳极区温度		

由于直流电弧焊时,焊接电弧正、负极上的热量不同,所以采用直流电源时有正接和反接之分。例如,对于焊条电弧焊,直流正接时焊件接电源正极,此时焊件获得热量多,温度

高，熔池深，易焊透，适于焊厚件；直流反接时焊件接电源负极，此时焊件获得热量少，温度低，熔池浅，不易烧穿，适于焊薄件。

如果焊接时使用交流电焊设备，因电流每秒钟正负变换达 100 次，两极加热一样，不存在正接和反接的问题。

电弧径向温度分布的特点是：弧柱区轴线温度最高，沿径向由中心至周围温度逐渐降低，如图 1-7 所示。因此，在电弧加热作用下，焊接熔池的中心温度高，四周温度快速降低。这在焊接操作中对熔池的控制将产生重要影响。

3. 电弧的力学特性

在焊接过程中，电弧的机械能是以电弧力的形式表现出来的。电弧力不仅直接影响工件的熔深及熔滴过渡，而且也影响到熔池的搅拌、焊缝成形及金属飞溅等，因此，对电弧力的利用和控制将直接影响焊缝质量。电弧力主要包括电磁收缩力、等离子流力、斑点力等。

1) 电磁收缩力。由电工学可知，当电流流过相距不远的两根平行导线时，如果电流方向相同，则产生相互吸引力。当电流流过电弧时，可看成是由许多相距很近的平行同向的电流线组成，这些电流线之间将产生相互吸引力，即电磁收缩力。

电磁收缩力在电弧中首先表现为电弧内的径向压力，引起电弧直径收缩，可束缚弧柱的扩展，使弧柱能量更集中，并使电弧更具挺直性。另外，由于焊接电弧可看成是一圆锥形的气态导体，电极端直径小，工件端直径大，从而形成由小直径端（电极端）指向大直径端（工件端）的电弧轴向推力，称为电磁静压力；焊接时，表现为对熔池的压力，促使形成碗状熔深焊缝，同时也对熔池产生搅拌作用，有利于细化晶粒，排出气体及夹渣，使焊缝的质量得到改善。

2) 等离子流力。因焊接电弧呈圆锥状，使电磁收缩力形成了轴向推力，在此推力作用下，将把靠近电极处的高温气体推向工件方向而产生流动，并从电极上方补充新的气体，形成有一定速度的连续气流而进入电弧区。新加入的气体被加热和部分电离后，受轴向推力作用继续冲向工件，对熔池形成附加的压力。这种由高温气流（等离子气流）的高速运动而引起的力称为等离子流力，也称为电弧的电磁动压力。

等离子流力可进一步增大电弧的挺直性，且在熔化极电弧焊时促进熔滴的轴向过渡，增大熔深，并对熔池形成搅拌作用。

3) 斑点力。电极上形成斑点时，由于斑点处受到带电粒子的撞击或金属蒸发的反作用而对斑点产生的压力，称为斑点压力或斑点力。

4. 焊接电弧的偏吹

在正常情况下，电弧的轴线总是沿着电极中心线的方向，然而，电弧是由气体电离构成的柔性导体，因此，受外力作用时，容易发生偏摆。使电弧中心偏离电极轴线的现象称为电弧的偏吹。电弧偏吹使电弧燃烧不稳定，影响焊缝成形和焊接质量。造成电弧偏吹的主要原因有以下几种：

(1) 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的程度。若焊条

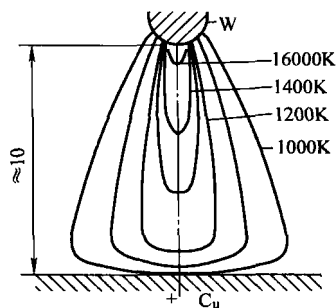


图 1-7 电弧径向温度分布

因制造工艺不当产生偏心，在焊接时，电弧燃烧后药皮熔化不均，电弧将偏向药皮薄的一侧形成偏吹。所以，为防止由此引起电弧偏吹，焊条的偏心度应符合国家标准的规定。

(2) 气流的干扰 在室外进行焊接作业时，电弧周围气体的流动会把电弧吹向一侧而造成偏吹。因此，在气流中进行焊接作业时，电弧周围应有挡风装置；进行管道焊接作业时，应防止管内有较大的气流出现。

(3) 磁偏吹 进行直流电弧焊时，电弧因受到焊接回路所产生的电磁力作用而产生的电弧偏吹称为磁偏吹。引起磁偏吹的主要原因如下：

1) 接地线位置不正确。焊接时，由于接地线位置不正确，使电弧周围的磁场强度分布不均，从而造成电弧的偏吹，如图 1-8a 所示。在进行直流电焊接时，除了在电弧周围产生自身磁场外，通过焊件的电流也会在空间产生磁场。导线接在焊件左侧，则在焊件左侧是两个磁场叠加，而在焊件右侧为单一磁场，电弧两侧的磁场分布失去平衡，因此，磁力线密度大的左侧对电弧产生推力，使电弧偏离轴线向右侧倾斜，即向右偏吹；反之，将向左偏吹。焊接中可采用改变焊件上接地线的部位，尽可能使弧柱周围的磁力线均匀分布；也可调低焊接电流，或在操作中适当调节焊条角度，使焊条向偏吹一侧倾斜等方法减小磁偏吹的影响。

2) 铁磁物质。由于铁磁物质的导磁能力远远大于空气，因此，当焊接电弧周围有铁磁物质存在时（如焊接 T 形接头角焊缝），如图 1-8b 所示，在靠近铁磁体一侧的磁力线大部分都通过铁磁体形成封闭的曲线，使电弧同铁磁体之间的磁力线变得稀疏，而电弧另一侧显得密集，因此，电弧就向铁磁体一侧偏吹。

3) 焊条与焊件的位置不对称。当在焊件边缘处进行焊接时（如始焊或终焊处），由于焊条与焊件的位置不对称，造成电弧周围的磁场分布不平衡，再加上热对流作用，便产生了电弧偏吹，如图 1-8c 所示。可采用在焊缝两端各加一小块附加钢板（引弧板、引出板）的方法减小磁偏吹的影响。

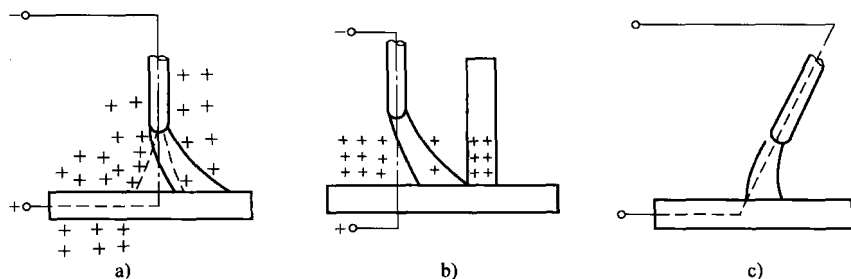


图 1-8 电弧磁偏吹

a) 接地线位置不正确 b) 磁场引起 c) 焊条与焊件的位置不对称

第三节 焊丝及母材熔化

一、焊丝金属的熔化及熔滴过渡

熔化极电弧焊时，焊丝一方面作为电极传导电流，另一方面受热熔化后作为填充金属与熔化的母材共同形成焊缝。因此，焊丝的加热熔化及熔滴过渡将对焊接的过程和焊缝的质量

产生直接影响。

1. 焊丝加热、熔化的热源和焊丝的熔化

(1) 焊丝加热、熔化的热源 熔化极电弧焊时, 加热并熔化焊丝的热量主要有电阻热和电弧热。

1) 电阻热。当电流在焊条中通过时, 将产生电阻热。电阻热的大小取决于焊条长度或焊丝的伸出长度、电流密度和金属的电阻率。焊条或焊丝伸出长度越长、电流密度越大、电阻率越高, 则电阻热越大。

2) 电弧热。电弧产生的热量仅有一部分用来熔化焊丝, 而大部分热量用来熔化母材、药皮或焊剂, 另外还有相当一部分的热量消耗在辐射、飞溅和母材传热上。

(2) 焊丝的熔化 焊丝金属受到电阻热和电弧热加热后, 便开始熔化。衡量焊丝熔化的主要指标是熔化速度, 即单位时间内焊丝的熔化长度或质量。焊丝或焊芯的熔化速度主要取决于焊接电流的大小。就焊条电弧焊而言, 由于电阻热对焊芯强烈的预热作用, 使焊条后半部的熔化速度比前半部要快 20% ~ 30%。

2. 焊丝金属的熔滴过渡

熔滴即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。

(1) 熔滴上的作用力 影响熔滴过渡的主要因素是熔滴上的作用力。根据熔滴上作用力的来源不同, 可将其分为重力、表面张力、电磁收缩力、斑点压力和电弧气体的吹力。

1) 重力。焊接时, 熔滴由于本身所受重力而具有下垂的倾向。平焊时, 重力起促进熔滴过渡的作用。

2) 表面张力。金属熔化后, 在表面张力的作用下形成球滴状, 使液态金属不会马上脱离焊条。表面张力的大小与熔滴的成分、温度、环境有关, 另外, 与焊丝直径成正比。平焊时, 表面张力阻碍熔滴过渡, 而其他位置有利于熔滴过渡。

3) 电磁收缩力。在任何焊接位置, 电磁收缩力的作用都是促使熔滴向熔池过渡的。

4) 斑点力。在焊接电弧中, 斑点力是阻碍熔滴过渡的。直流正接时, 阳离子的压力阻碍熔滴过渡; 反之, 电子的压力阻碍熔滴过渡。由于阳离子的质量大, 阳离子流的压力也就比电子流的压力大, 所以采用直流反接可以减小熔滴过渡的阻碍作用, 减少飞溅, 更容易产生细颗粒熔滴过渡。

5) 电弧气体的吹力。在焊条电弧焊时, 焊条药皮的熔化稍微落后于焊芯的熔化, 在焊条的末端便形成一小段未熔化的喇叭形套管。此套管内含有大量的气体, 并顺着套管方向形成挺直而稳定的气流, 进而把熔滴送到熔池中去。不论焊接的空间位置如何, 电弧气体的吹力都将有利于熔滴金属的过渡。

(2) 熔滴过渡的形式 金属熔滴向熔池过渡大致可分为以下几种形式:

1) 喷射过渡。细小的熔滴颗粒以喷射状态快速通过电弧空间向熔池过渡的形式称为喷射过渡, 如图 1-9a 所示。一般在熔化极惰性气体保护焊中, 当焊接电流很大 (超过临界电流), 且电压较高时, 形成喷射过渡; 此时熔滴过渡频率高, 电弧稳定, 飞溅小, 熔深大, 焊缝成形美观, 可全位置焊接, 生产效率高, 但易形成指状熔深。

2) 滴状过渡。当电弧长度超过一定值时, 熔滴依靠表面张力的作用自由过渡到熔池, 而不发生短路, 即为滴状过渡。滴状过渡又可分为粗滴过渡和细滴过渡。粗滴过渡时飞溅