

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

HANGONG
GONGYIXUE

焊工工艺学

中国机械工业教育协会

组编

全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

王滨涛 主编



“工学结合”新理念
“校企合作”新模式
赠送电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本教材是为适应“工学结合、校企合作”培养模式的要求,根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织制订的中等职业教育教学计划大纲编写的。本教材主要内容包括:焊条电弧焊,焊条,焊接头及质量检验,焊条电弧焊电源,焊接应力及变形,埋弧焊,气体保护电弧焊,气焊与气割,其他焊接方法及切割方法,常用金属材料的焊接,梁、柱框架金属结构件的焊接,压力容器的焊接和数控技术在焊接中应用的。本书采用了最新国家标准,各章附有复习思考题,还配有电子教案,供教学参考。

本教材可供中等职业技术学校、技工学校、职业高中师生使用,也可供焊接技术人员及有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺学/王滨涛主编. —北京:机械工业出版社,2009.7

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-111-27405-6

I. 焊… II. 王… III. 焊接工艺-专业学校-教材 IV. TG44

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第091643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:荆宏智 侯宪国 责任编辑:俞逢英

版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

北京四季青印刷厂印刷(三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2009年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·17.5印张·429千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27405-6

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379080

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育机电类专业“十一五”规划教材 编审委员会

主任 郝广发 季连海
副主任 刘亚琴 周学奎 何阳春 林爱平 李长江 李晓庆
徐彤 刘大力 张跃英 董桂桥
委员 (按姓氏笔画排序)
于平 王军 王兆山 王泸均 王德意 方院生
付志达 许炳鑫 杜德胜 李涛 杨柳青 (常务)
杨耀双 何秉戌 谷希成 张莉 张正明 周庆礼
孟广斌 赵杰士 郝晶卉 荆宏智 (常务) 姜方辉
贾恒旦 奚蒙 徐卫东 章振周 梁文侠 喻勋良
曾燕燕 蒙俊健 戴成增
策划组 荆宏智 徐彤 何月秋 王英杰

《焊工工艺学》编审人员

主编 王滨涛
副主编 代景宇
参编 关波、张政兴、张晓峰
审者 王宏正

序

为贯彻“国务院关于大力发展职业教育的决定”精神，落实文件中提出的中等职业学校实行“工学结合、校企合作”的新教学模式，满足中等职业学校、技工学校和职业高中技能型人才培养的要求，更好地适应企业的需要，为振兴装备制造业提供服务，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会共同聘请有关行业专家制定了中等职业学校6个专业10个工种新的教学计划大纲，并据此组织编写了这6个专业的“十一五”规划教材。

这套新模式的教材共近70个品种。为体现行业领先的策略，编出特色，扩大本套教材的影响，方便教师和学生使用，并逐步形成品牌效应，我们在进行了充分调研后，才会同行业专家制定了这6个专业的教学计划，提出了教材的编写思路和要求。共有22个省（市、自治区）的近40所学校的专家参加了教学计划大纲的制定和教材的编写工作。

本套教材的编写贯彻了“以学生为根本，以就业为导向，以标准为尺度，以技能为核心”的理念，以及“实用、够用、好用”的原则。本套教材具有以下特色：

1. 教学计划大纲、教材、电子教案（或课件）齐全，大部分教材还有配套的习题集和习题解答。

2. 从公共基础课、专业基础课，到专业课、技能课全面规划，配套进行编写。

3. 按“工学结合、校企合作”的新教学模式重新制定了教学计划大纲，在专业技能课教材的编写时也进行了充分考虑，还编写了第三学年使用的《企业生产实习指导》。

4. 为满足不同地区、不同模式的教学需求，本套教材的部分科目采用了“任务驱动”形式和传统编写方式分别进行编写，以方便大家选择使用；考虑到不同学校对软件的不同要求，对于“模具CAD/CAM”课程，我们选用三种常用软件各编写了一本教材，以供大家选择使用。

5. 贯彻了“实用、够用、好用”的原则，突出“实用”，满足“够用”，一切为了“好用”。教材每单元中均有教学目标、本章小结、复习思考题或技能练习题，对内容不做过高的难度要求，关键是使学生学到干活的真本领。

本套教材的编写工作得到了许多学校领导的重视和大力支持以及各位老师的热烈响应，许多学校对教学计划大纲提出了很多建设性的意见和建议，并主动推荐教学骨干承担教材的编写任务，为编好教材提供了良好的技术保证，在此对各个学校的支持表示感谢。

由于时间仓促，编者水平有限，书中难免存在某些缺点或不足，敬请读者批评指正。

**中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会**

前 言

本教材是根据中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合颁发的焊工工艺学教学大纲、《国家职业标准 焊工》编写的。供技工学校、中等职业技术学校、中级技术工人培训使用。

随着改革开放的不断深入和社会主义市场经济的迅速发展，社会及企业对技能型人才的知识与技能结构提出了更新、更高的要求，职业教育的理念、模式也在不断地改革与创新。为适应培养技能型人才的需要，更好地为机械工业振兴和发展服务。满足技工学校、中等职业技术学校机械类专业的教学要求。

我们在本教材的编写过程中，始终坚持了以下原则：

一是以学生就业为导向，以企业用人标准为依据。在专业知识的安排上，紧密联系培养目标，坚持、易懂、够用、实用的原则，摒弃“繁难偏旧”的理论知识，使学生通过相应知识的学习，了解、掌握本工种的基本理论和基本操作技术。在考虑各地办学条件的前提下，力求反映机械行业发展的现状和趋势，尽可能多地引入新技术、新工艺、新方法、新材料，并针对数控技术在焊接中的应用进行讲解，使教材富有时代感。同时，尽量采用最新的国家技术标准，使教材更加科学和规范。

二是遵从中等职业技术学校学生认知规律，力求教学内容为学生“乐学”和“能学”。在结构安排和表达方式上，强调由浅入深，循序渐进，并通过图文并茂的表达形式，使学生能够比较轻松地学习。书中每章首有教学目标和教学重点、难点，各章末均附有复习思考题，还配有电子教案，习题集，供教学参考。

本书由关波、张政兴、张晓峰、代景宇、王滨涛编写。由王滨涛任主编，代景宇任副主编，王宏正审稿。

由于时间较仓促，作者水平有限，书中难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

| | |
|---------------------------|------------|
| 序 | 77 |
| 前言 | 77 |
| 绪论 | 1 |
| 第一章 焊条电弧焊 | 3 |
| 第一节 焊条电弧焊概述 | 3 |
| 第二节 焊接电弧 | 4 |
| 第三节 焊接接头形式和焊缝符号 | 10 |
| 第四节 焊接参数的选择 | 23 |
| 第五节 焊接接头常见缺陷的分析 | 25 |
| 第六节 焊接定额 | 28 |
| 本章小结 | 30 |
| 复习思考题 | 30 |
| 第二章 焊条 | 31 |
| 第一节 焊条的组成 | 31 |
| 第二节 焊条的分类及型号编制 | 35 |
| 第三节 焊条的特点 | 41 |
| 第四节 焊条的选用和保管方法 | 42 |
| 本章小结 | 43 |
| 复习思考题 | 43 |
| 第三章 焊接接头及质量检验 | 44 |
| 第一节 焊接热过程及冶金过程 | 44 |
| 第二节 焊接接头的组织和性能 | 49 |
| 第三节 焊接接头的裂纹 | 53 |
| 第四节 焊缝气孔 | 56 |
| 第五节 焊接接头的质量检验和金属焊接性的评定 | 57 |
| 本章小结 | 62 |
| 复习思考题 | 62 |
| 第四章 焊条电弧焊电源 | 63 |
| 第一节 焊条电弧焊电源概述 | 63 |
| 第二节 弧焊变压器 | 67 |
| 第三节 弧焊整流器 | 72 |
| 第四节 焊条电弧焊电源的选择及常见故障处理 | 75 |
| 本章小结 | 77 |
| 复习思考题 | 77 |
| 第五章 焊接应力及变形 | 78 |
| 第一节 焊接应力及变形的基本概念 | 78 |
| 第二节 焊接残余变形 | 82 |
| 第三节 焊接残余应力 | 94 |
| 本章小结 | 99 |
| 复习思考题 | 99 |
| 第六章 埋弧焊 | 100 |
| 第一节 埋弧焊概述 | 100 |
| 第二节 埋弧焊焊机 | 101 |
| 第三节 埋弧焊的焊接材料 | 105 |
| 第四节 埋弧焊的焊接工艺 | 107 |
| 第五节 其他埋弧焊 | 111 |
| 本章小结 | 112 |
| 复习思考题 | 112 |
| 第七章 气体保护电弧焊 | 113 |
| 第一节 气体保护电弧焊的原理及特点 | 113 |
| 第二节 氩弧焊 | 115 |
| 第三节 CO ₂ 气体保护焊 | 124 |
| 本章小结 | 133 |
| 复习思考题 | 133 |
| 第八章 气焊与气割 | 134 |
| 第一节 气焊、气割用材料 | 134 |
| 第二节 气焊、气割设备与工具 | 138 |
| 第三节 气焊 | 147 |
| 第四节 气割 | 151 |
| 本章小结 | 155 |
| 复习思考题 | 155 |
| 第九章 其他焊接方法与切割方法 | 157 |
| 第一节 等离子弧焊与切割 | 157 |
| 第二节 电渣焊 | 162 |
| 第三节 电阻焊 | 166 |
| 第四节 钎焊 | 168 |

| | | | |
|---------------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 第五节 摩擦焊 | 170 | 本章小结 | 208 |
| 本章小结 | 172 | 复习思考题 | 208 |
| 复习思考题 | 172 | 第十二章 压力容器的焊接 | 209 |
| 第十章 常用金属材料的焊接 | 173 | 第一节 压力容器的制造简介 | 209 |
| 第一节 碳素钢的焊接 | 173 | 第二节 典型压力容器的焊接 | 215 |
| 第二节 低合金钢的焊接 | 176 | 本章小结 | 223 |
| 第三节 珠光体型耐热钢的焊接 | 179 | 复习思考题 | 223 |
| 第四节 不锈钢的焊接 | 182 | 第十三章 数控技术在焊接中的应用 | 224 |
| 本章小结 | 189 | 第一节 焊接自动化控制概述 | 224 |
| 复习思考题 | 189 | 第二节 电弧焊的自动控制技术 | 229 |
| 第十一章 梁、柱、框架金属结构件的 焊接 | 190 | 第三节 焊接机器人技术 | 243 |
| 第一节 梁、柱、框架金属结构件制造 简介 | 190 | 第四节 焊接生产线 | 255 |
| 第二节 梁、柱的焊接 | 200 | 本章小结 | 267 |
| | | 复习思考题 | 267 |
| | | 参考文献 | 269 |

绪 论

在金属结构和机械制造中，总是需要将两个或两个以上的零件，按一定形状和位置连接起来，并保证有足够的连接强度。连接的方法主要有两大类：一类是可以拆卸的，如螺栓联接、销钉联接、键联接等；另一类是永久性的，如铆焊、焊接。

随着现代科学技术的发展，焊接在金属构件的连接中已取代了铆接，它不仅已成为金属构件的主要加工方法之一，而且成为一门独立的学科。广泛应用于机械、电力、建筑、桥梁、锅炉、船舶、化工、核能、宇航与海洋工程等国民经济的各个领域。据统计，我国年产焊接件用钢量占钢材总产量的28%以上，而世界工业发达的国家焊接耗钢量已占钢材总产量的45%左右，可见焊接技术应用的前景是很广阔的。

我国采用焊接技术已成功地制造了各种现代化的大型高质量设备，如120万kW原子能发电设备、60万kW火电设备、48万t巨型油轮、大型高压化工容器、大型复杂的桁架结构等。此外，还成功地解决了难熔或活性金属（钛、锆、铌等）的焊接问题。

焊接不仅可以连接金属材料，而且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，焊接主要用于连接金属。

一、焊接的优点

焊接技术之所以能得到如此迅速的发展，是由于焊接与铆接、铸造、锻压相比具有下列优点：

- 1) 节省金属材料、减轻结构重量，经济效益好。
- 2) 制造设备简单，简化加工与装配工序，生产周期短、生产效率高。
- 3) 结构强度高、接头密封性好。

结构设计的灵活性大，按结构的受力情况可优化配制材料；按工作情况需要，可在不同部位选用不同强度、不同耐磨、耐腐蚀及高温等性能的材料。

- 4) 焊接结构件外形平整，加工余量少。
- 5) 焊接工艺过程容易实现机械化和自动化。

二、焊接加工方法的特点

1) 用焊接方法加工的结构易产生较大的焊接残余应力和焊接残余变形，从而影响结构的承载能力、加工精度和尺寸稳定性，同时在焊缝与焊件交界处还会产生应力集中，对结构的脆性断裂有较大影响。

2) 焊接接头中存在一定数量的缺陷，如裂纹、气孔、夹渣、未焊透、未熔合等。这些缺陷的存在会降低焊接结构的强度，引起应力集中，损坏焊缝的致密性，这是造成焊接结构破坏的主要原因之一。

3) 焊接接头具有较大的性能不均匀性。由于焊缝的成分及金相组织与母材不同，接头各部位经历的热循环不同，使接头不同区域的性能不同。

4) 焊接生产过程中产生高温、强光及一些有害气体，对人的身体有一定损害，因此要加强焊接操作人员的劳动保护。

三、焊接的实质

在工业生产中，焊接主要用于连接金属材料。要使两部分金属材料达到永久地连接的目的，就必须使分离的金属相互非常接近，只有这样才能使原子间产生足够大的结合力，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，以使金属接触表面达到原子间结合的距离。因此必须采用加热、加压或两者并用的方法。

焊接就是通过加热或加压，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。

四、焊接的分类

按照焊接过程中的工艺特点和母材金属所处的状态不同，可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类。

1. 熔焊

在焊接过程中，将待焊处的母材金属局部加热熔化以形成焊缝的焊接方法称为熔焊。

熔焊是目前应用最广泛的一种焊接方法。常用的有焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护电弧焊等。

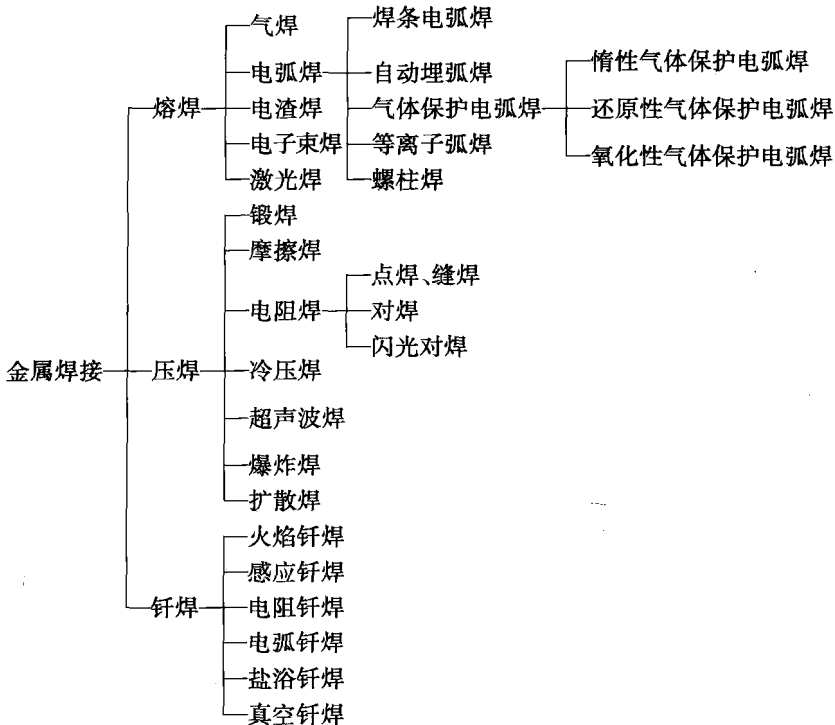
2. 压焊

焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法称为压焊。压焊包括电阻焊、固态焊、热压焊、冷压焊及扩散焊等。

3. 钎焊

钎焊是硬钎焊和软钎焊的总称，是一种采用比母材金属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、低于母材熔化的温度，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。

常用的金属焊接方法分类如下：



第一章 焊条电弧焊

教学目标

1. 掌握焊条电弧焊的基本知识。
2. 了解焊条电弧焊的种类。
3. 能识别焊缝符号。
4. 掌握焊接的定额计算。

教学重点

1. 焊接电弧的产生。
2. 焊接电源的极性及应用。
3. 焊缝符号的组成。
4. 焊条电弧焊焊接参数的选择。
5. 焊接接头常见缺陷的分析。

教学难点

焊接电弧的组成及温度分布。

第一节 焊条电弧焊概述

焊条电弧焊是指用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法之一。

一、焊条电弧焊的焊接过程

焊条电弧焊的焊接过程如图 1-1 所示。

开始焊接时，在焊条与焊件之间，先接触短路，然后立即提起焊条到一定距离，将电弧引燃，在电弧的高温作用下使药皮、焊芯及焊件熔化，形成熔池。

焊条的焊芯熔化时，是以熔滴形式向熔池过渡的，药皮熔化过程中产生的气体充满在电弧和熔池周围，产生的熔渣覆盖在液体金属上面，起着保护液态金属的作用，同时和熔化焊芯、母材发生一系列的冶金反应，这种反应能精炼焊缝金属，提高焊缝质量。

随着电弧沿焊接方向的移动，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焊渣。

二、焊条电弧焊的特点

焊条电弧焊具有以下特点：

1. 操作灵活，适应性强

在空间任意位置的焊缝，凡焊条能够达到的地方都能用焊条电弧焊进行焊接，对一些不规则的焊缝，如短焊缝，狭窄位置的焊缝，焊条电弧焊更显得机动灵活，操作方便。

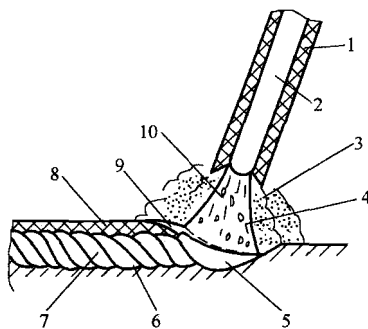


图 1-1 焊条电弧焊焊接过程示意图

- 1—焊条药皮 2—焊芯 3—保护气体
4—电弧 5—熔池 6—母材金属
7—焊缝 8—焊渣 9—液态熔渣
10—熔滴

2. 设备简单、维护方便

焊条电弧焊使用的交流电源和直流电源，结构都比较简单，焊工很容易掌握，而且使用简便、可靠，购置设备的投资少，维护保养也较方便。

3. 容易控制焊接应力与变形

焊件在焊接过程中，因受焊接热循环的作用，必然会产生应力和变形，如大焊件，长焊缝和结构复杂的焊缝更为突出，采用焊条电弧焊可以通过调整焊接工艺来控制焊接应力与变形量。

4. 劳动条件差，生产效率低

焊条电弧焊主要靠焊工的手工操作控制焊接的全过程，在整个焊接过程中，焊工都处在手脑并用，精神高度集中的状态，而且还要受到高温烘烤，在有毒的烟尘环境中工作，焊工的劳动条件是比较差的。另外，焊接时，要调换新焊条，要进行清渣，焊接过程不能连续地进行，生产效率低。并且焊接质量与焊工的操作水平密切相关。

三、焊条电弧焊的应用范围

焊条电弧焊不但可以焊接低碳钢、低合金钢，而且可以焊接高合金钢及有色金属。由于焊条电弧焊具有上述的特点，它在国民经济各行业都得到广泛应用，如造船、锅炉及压力容器、机械制造、建筑结构、化工设备等制造、维修行业中都广泛采用焊条电弧焊。

第二节 焊接电弧

电弧具有两个特性：一是产生高热；二是产生强光。

电弧焊就是利用电弧热能来熔化填充金属和母材金属的。因此，焊接时电弧的稳定性及热特性等各种性质，对焊接的质量都有直接的影响。

一、焊接电弧的产生

1. 焊接电弧的基本知识

焊接电弧是由焊接电源供给的，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。

(1) 气体电离 一般情况下，由于气体的分子和原子都是呈中性的，气体中没有带电质点，因此气体不能导电。气体不导电，电流通不过，电弧也就不能自发地产生。要使电弧引燃和连续燃烧，就必须使两电极间气体变成导体，这是电弧产生和维持的重要条件。使气体导电的方法是把气体电离，即使中性的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。

焊接时能引起气体电离的方式有碰撞电离、热电离、光电离三种。

(2) 阴极电子发射 阴极电子发射是指阴极端金属表面连续地向外发射出电子的现象。

焊接时，虽然气体电离是产生电弧的重要条件，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子流，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，两者都是电弧产生和维持的重要条件。

一般情况下，电子是不能自由离开金属表面向外发射的。要使电子逸出金属表面而产生电子发射，就必须给电子施加一定的能量。

焊接时，根据阴极所吸收的能量不同，所产生的电子发射有热电子发射、强电场电子发

射和撞击电子发射三种。

2. 焊接电弧的产生过程

不同的焊接方法其引燃电弧的方法并不相同，但总的有以下两种：

(1) 高频高压引弧法 这种方法是将两电极互相靠近 2~5mm，然后加上 2000~3000V 的空载电压，利用高电压将空气击穿，引燃电弧。由于高压电危险性很大，通常将其频率提高到 150~260kHz，利用高频电强烈的肌肤效应，以减少对人身危害性。这种引弧方法主要用于钨极惰性气体保护焊中。

(2) 接触短路引弧法 焊条电弧焊采用这种方法引弧。这种引弧方法包括两个过程：一是先将两电极互相接触短路；二是在短路后迅速将电极拉开，电弧瞬间引燃，如图 1-2 所示。

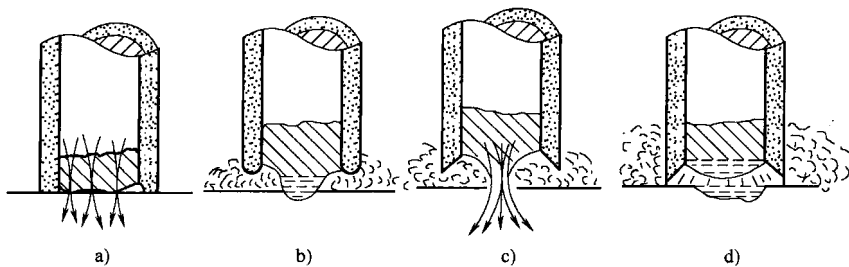


图 1-2 接触引弧时电弧的引燃过程

- a) 焊条与焊件接触 b) 焊条与焊件熔化、蒸发、汽化
c) 进一步熔化、蒸发、汽化形成细颈 d) 引燃时

焊条电弧焊焊接过程中，当焊条末端与焊件表面互相接触时，焊接回路短路，短路电流增大到最大值，另外由于焊条与焊件两个接触面的不平整，实质上只是个别点的接触（见图 1-2a），因而在接触部分通过的短路电流密度非常大，在电阻热的作用下，接触部分的金属温度剧烈地升高而熔化，甚至部分发生蒸发而变成金属蒸气（见图 1-2b）。当快速提起焊条时，大量的电流只能从熔化金属的细颈通过（见图 1-2c），产生的热作用也突然增大，使细颈部分液态金属的温度猛烈升高，产生爆断，从而使焊条与焊件之间的液态金属迅速分开（见图 1-2d）。这时在热与电场的作用下，焊条与焊件间的高温气体就会引起热电离、碰撞电离等复杂的电离过程；另外，由于焊条与焊件断开会产生一个强电场，于是强电场发射立即产生，而热电子发射、撞击电子发射也随之产生。这样，阴极不断发射电子和两极间气体不断发生电离，并在电场的作用下，带电质点各自作定向运动，电弧便引燃了。

(3) 接触短路引弧的因素 影响引弧的因素有焊接电流、气体中的电离物质、弧焊电源的空载电压及其特性等。如果焊接电流大、气体中存在容易电离的元素，弧焊电源的空载电压又高，则电弧的引燃就容易。

二、焊接电弧的组成及温度分布

1. 焊接电弧的组成

焊接电弧是由阴极区、阳极区和弧柱区三部分组成的，如图 1-3 所示。

(1) 阴极区 阴极区靠近阴极处（电源负极），区域很窄，大约只有 10^{-4} mm 左

右，在阴极表面上有一个明显光亮的斑点，称为阴极斑点，阴极斑点是电子发射的发源地，也是阴极区温度最高的部分。

(2) 阳极区 阳极区在靠近阳极处（电源正极），区域比阴极区宽些，大约有 $10^{-2} \sim 10^{-3} \text{mm}$ 。在阳极表面上也有一个明亮的斑点，称为阳极斑点。

(3) 弧柱区 弧柱区是处于阴极区与阳极区之间的区域，由于阴极区和阳极区都很窄，电弧的主要部分是弧柱区，故认为弧柱长度基本上等于电弧长度。

2. 焊接电弧的温度分布

焊接电弧三个区域的温度分布是不均匀的。

(1) 阴极区温度 阴极斑点的温度一般可达 $2400 \sim 3500 \text{K}$ ，阴极区放出的有效热量占电弧总热量的 36% 左右。

阴极区温度的高低主要取决于阴极的电极材料，而且阴极区温度一般低于阴极材料的沸点，见表 1-1。

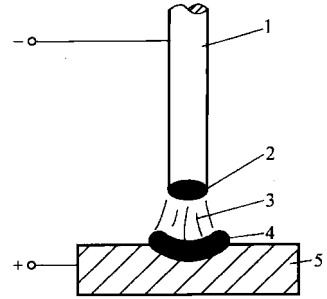


图 1-3 焊接电弧的组成
1—焊条 2—阴极区 3—弧柱区
4—阳极区 5—焊件

表 1-1 不同电极材料的电弧两极温度

(单位: K)

| 电极材料 | 气体介质 | 材料沸点 | 阴极斑点温度 | 阳极斑点温度 |
|------|------|------|--------|--------|
| 碳 | 空气 | 4640 | 3500 | 4100 |
| 铁 | | 3271 | 2400 | 2600 |
| 铜 | | 2868 | 2370 | 2450 |
| 钨 | | 6200 | 3000 | 4250 |

(2) 阳极区温度 阳极斑点的温度达到了 $2600 \sim 4200 \text{K}$ 。阳极区放出的有效热量约占电弧总热量的 43% 左右。

焊条电弧焊时阳极温度高于阴极温度。

(3) 弧柱区温度 弧柱区的温度及温度与气体介质的电离程度及焊接电流大小等因素有关，几种气体介质中的弧柱区温度见表 1-2。

表 1-2 几种气体介质中的弧柱区温度

| 电极材料 | 气体介质 | 焊接电流/A | 弧柱温度/K |
|------|------------------------------|--------|--------|
| 钢 | 空气 | 280 | 6100 |
| | Na_2CO_3 (气) | | 4800 |
| | K_2CO_3 (气) | | 4300 |

焊条电弧焊时，弧柱区中心温度大约为 $5000 \sim 8000 \text{K}$ 。放出的有效热量仅为电弧总热量的 21%。

焊接电弧作为焊接热源，其主要特点是温度高，热量集中。因此，金属熔化非常快，使金属熔化的热量主要集中产生于两极，弧柱温度虽高，但大部分热量散失于周围空气中，对

金属熔化并不起主要作用。

三、电弧电压

电弧两端（两电极）之间的电压降称为电弧电压，电弧电压由阴极压降、阳极压降以及弧柱压降三部分组成。当弧长一定时，电弧电压的分布如图1-4所示。

电弧电压可用下式来表示：

$$U = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}} + U_{\text{柱}} = a + bl_{\text{弧}}$$

式中 U ——电弧电压 (V)；

$U_{\text{阴}}$ ——阴极电压降 (V)；

$U_{\text{阳}}$ ——阳极电压降 (V)；

$U_{\text{柱}}$ ——弧柱电压降 (V)；

a —— $a = U_{\text{阴}} + U_{\text{阳}}$ ；

b ——单位长度的弧柱电压降，一般为 20 ~ 40V/cm；

$l_{\text{弧}}$ ——电弧长度 (cm)。

在电极材料、气体介质一定时，电弧的阴极压降和阳极压降为一常数，因此，电弧电压只与电弧长度有关，即随着电弧长度的增加，电弧电压增高，反之电弧电压下降。

四、焊接电弧的静特性

1. 电弧的静特性

焊接电弧的静特性是指在电极材料、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，一般也称为伏-安特性。

焊接电流与电弧电压之间的关系常用一条曲线表示，这条曲线称为焊接电弧静特性曲线，如图 1-5 所示。

电弧静特性曲线呈 U 形，分为三部分：

下降特性 ab 段——随着焊接电流增加，电弧电压迅速减小。

水平特性 bc 段——随着焊接电流增加，电弧电压基本保持不变。

上升特性 cd 段——随着焊接电流增加，电弧电压也随之增加。

2. 不同焊接方法的电弧静特性

不同的焊接方法，在一定条件下，其静特性只呈现曲线的某一区段。

(1) 焊条电弧焊 焊接时，由于使用的焊接电流受到限制，（焊条电弧焊使用的焊接电流不大于 500A）其静特性曲线无上升特性 cd 段。

(2) 钨极惰性气体保护焊（钨极氩弧焊） 一般在小电流焊接时，其电弧静特性为下降特性 ab 段；在大电流区间焊接时，其静特性为水平特性 bc 段。

(3) 埋弧焊 在正常电流密度下焊接时，其电弧静特性为水平特性 bc 段；采用大电流密度焊接时，其电弧静特性为上升特性曲线。

(4) 熔化极气体保护焊 由于焊接电流密度大，其静特性为上升特性 cd 段。

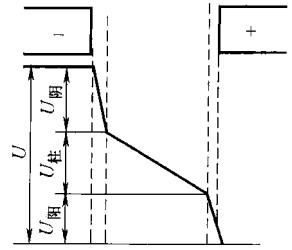


图 1-4 焊接电弧电压分布示意图

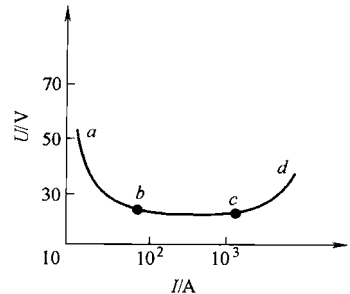


图 1-5 焊接电弧静特性曲线

3. 影响焊接电弧静特性的因素

焊接电弧的静特性曲线与电弧长度及气体介质等因素有关。

(1) 电弧长度的影响 当电弧长度发生变化时，静特性曲线上、下平行移动，即电弧长度增加，电弧电压升高。曲线平行上移，如图 1-6 所示。

(2) 气体介质种类的影响 电弧周围气体介质的物理性能不同，会对电弧电压产生显著的影响，从而改变电弧静特性曲线的位置。例如氩弧焊时，在纯氩气中加入体积分数为 50% 的氢气，则电弧电压会升高，电弧静特性曲线上移。

(3) 气体介质压力的影响 气体介质压力增大，会使电弧电压升高，电弧静特性曲线上移。

五、焊接电源的极性及应用

1. 焊接电源的极性

焊条电弧焊在焊接过程中，焊接电源的两个输出电极分别接到焊钳（焊条）和焊件上，形成一个完整的焊接回路，对直流弧焊电源来说，一个极为正极，也称正极性；一个极为负极。焊件接电源正极，电极〔焊钳、（焊条）〕接电源负极的接线法，称正接，也称正极性；反之称反接也称反极性，如图 1-7 所示。

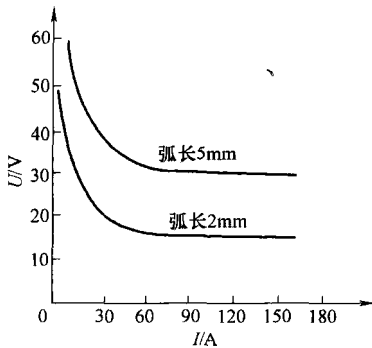


图 1-6 不同弧长的电弧静特性曲线图

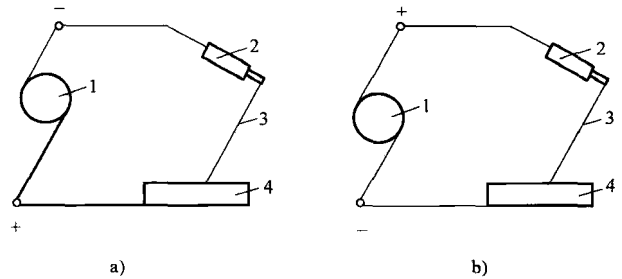


图 1-7 正接与反接

a) 正接 b) 反接

1—直流弧焊电源 2—焊钳 3—焊条 4—焊件

对于交流弧焊电源来说，由于电流是交变的，所以不存在正接与反接。

2. 极性的应用

焊条电弧焊采用酸性焊条直流弧焊电源焊接时，采用正接法，焊件（接正极）温度较高，熔深大，用来焊厚板；而在焊接薄板时，为了防止烧穿，可采用反接法。

若用低氢型碱性焊条，必须使用直流反接法。

3. 直流电源极性鉴别方法

在实际生产中，因某种原因使直流电源的极性分不清时，可用下述方法之一鉴别：

(1) 试焊法 试焊法有两种：

1) 采用低氢型碱性焊条（如 E5015）试焊，若电弧稳定、飞溅小、声音正常，则表明极性是反接，否则表明是正接。

2) 用碳棒试焊，若碳弧燃烧稳定，电弧拉起很长仍不熄弧，断弧后碳棒端面光滑，则

极性是正接，反之为反接。

(2) 直流电压表鉴别法 将直流电压表的正负极分别接在直流电源的两个电极上，若电压表的指针向正方向偏转时，则与电压表正极相接的是直流电源的正极，反之是负极。

六、焊接电弧的稳定性

电弧保持稳定燃烧（不产生断弧，飘移和磁偏吹等）的程度称为电弧稳定性。

焊接电弧燃烧是否稳定，直接影响到焊接质量的好坏和焊接过程的正常进行。

电弧燃烧稳定性与许多因素有关，除焊工的操作技术水平外，大致可归纳以下几个方面：

1. 弧焊电源的影响

弧焊电源的种类和特性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，弧焊电源的空载电压高，电弧稳定性好。

2. 焊条药皮的影响

当焊条药皮含有较多易电离元素（钾、钠、钙等）及其化合物时，电弧稳定性好；当焊条药皮含有较多氟化物（如萤石）时，会降低电弧稳定性；焊条药皮厚薄不均（焊条偏心）或药皮局部脱落，焊接时易引起偏吹，降低电弧稳定性。

3. 焊件接头处的清洁程度和气流的影响

焊件接头处若有氧化皮、油污、水分等杂质，会降低电弧稳定性。

电弧区周围有较大的流动气流（如在风较大的露天中或在气流速度大的管道中焊接），电弧稳定性差，严重时甚至无法施焊。

4. 电弧的磁偏吹

电弧受磁力作用而产生的飘移现象称为电弧磁偏吹，它是直流电所产生的磁场在电弧周围分布不均匀所造成的。

在焊接过程中电弧磁偏吹会引起电弧强烈摆动和飘移，使电弧的稳定性变得很差，直接影响焊接质量，甚至使焊接过程难以进行。

(1) 造成电弧磁偏吹的因素

- 1) 接地线不正确引起的电弧磁偏吹，如图 1-8 所示。
- 2) 铁磁物质引起的电弧磁偏吹，如图 1-9 所示。

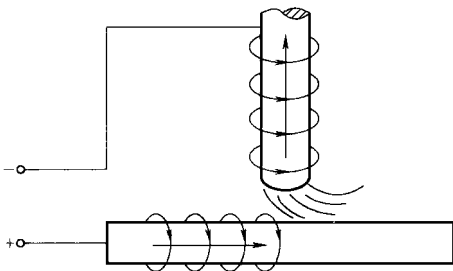


图 1-8 接地线位置不正确引起的电弧磁偏吹

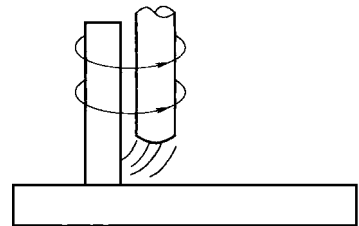


图 1-9 铁磁物质引起的电弧磁偏吹

(2) 减少或防止电弧磁偏吹的方法

- 1) 可适当改变焊件上的接地线位置，尽可能使弧柱周围磁场分布均匀。

2) 在操作时适当调整焊条角度,使焊条偏吹的方向指向熔池,这种方法在实际工作中应用得较为广泛。

3) 采用短弧焊接,增加电弧的挺度,来减少电弧磁偏吹程度。

第三节 焊接接头形式和焊缝符号

焊接接头即用焊接方法连接的接头。焊接接头由焊缝、熔合区和热影响区及邻近热影响区的母材金属四部分组成。

一、焊接接头形式

在焊条电弧焊中,由于焊件厚度、结构形状以及对质量要求不同,其接头形式也不相同,焊接接头的基本形式有对接接头、角接接头、搭接接头和 T 形接头四种,如图 1-10 所示。

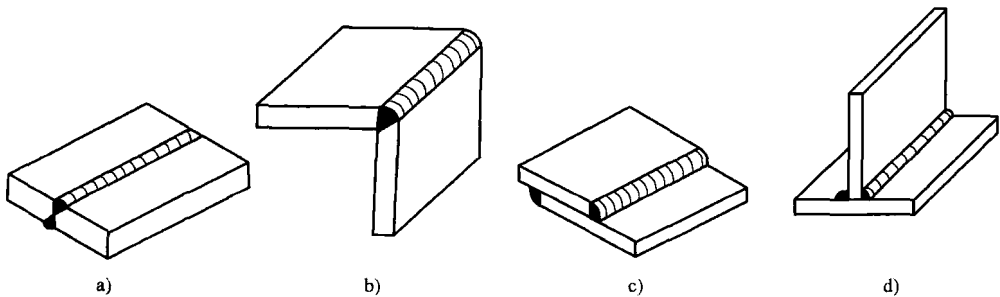


图 1-10 焊接接头的基本形式

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

两焊件表面构成大于或等于 135° 、小于或等于 180° 夹角的接头称为对接接头,如图 1-10a 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

两焊件端部构成大于 30° 、小于 135° 夹角的接头称为角接接头,如图 1-10b 所示。角接接头的焊缝承载能力很差,因此多用于一般不重要结构或箱形构件上。

3. 搭接接头

两焊件部分重叠放置构成的接头称为搭接接头,如图 1-10c 所示,搭接接头的应力分布不均匀,承载能力较低,但是由于搭接接头焊前准备和装配工作比对接接头简单,其横向收缩量也比对接接头小,所以在结构中仍得到应用。

4. T 形接头

一焊件的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 1-10d 所示。T 形接头能承受各种方向的力和力矩,在焊接生产中应用很普遍。

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并装配成的一定几何形状的沟槽,称为坡口。

1. 坡口的基本形式