

特种作业安全技术培训教材 ●●●
TEZHONG ZUOYE ANQUAN JISHU PEIXUN JIAOCAI

焊工

北京市工伤及职业危害预防中心 组织



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



特种作业安全技术培训教材

焊工

北京市工伤及职业危害预防中心 组编

机械工业出版社

本书结合我国焊工类特种作业人员实际情况,反映了我国特种作业焊工类的安全技术和专业技术水平。全书从焊接基础知识、基本理论讲起,结合实际操作技能,依次讲述了电弧焊及碳弧气刨、焊接安全技术、气焊气割及其安全技术、焊接劳动卫生与防护、熔化极气体保护焊、压焊等。全书理论结合实际,内容全面,通俗易懂,适合作为特种作业人员——焊工理论学习的教科书。

图书在版编目(CIP)数据

焊工/北京市工伤及职业危害预防中心组编. —北京:
机械工业出版社, 2005.1

特种作业安全技术培训教材

ISBN 7-111-15747-8

I. 焊... II. 北... III. 焊接—安全技术—技术培训—教材 IV. TG4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 126564 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: 吉 玲 责任编辑: 张俊红

版式设计: 冉晓华 责任校对: 张 媛

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm $1/32$ ·14.875 印张·397 千字

定价: 32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

根据《中华人民共和国安全生产法》及国家经贸委《特种作业人员安全技术培训考核管理办法》(1999年第13号令)的规定,为进一步规范特种作业人员安全技术培训工作,帮助广大焊工类特种作业人员更好地理解 and 掌握焊工类安全技术理论和实际操作安全技能,全面提高焊工类特种作业人员的知识水平和实际操作能力,北京市工伤及职业危害预防中心组织有关专家编写了特种作业安全技术培训教材《焊工》,供焊工类特种作业人员安全技术培训使用。

为了不断适应新工艺、新技术、新材料和新设备对焊工类特种作业人员的新要求,我们结合北京市焊工类特种作业人员的实际情况,针对培训对象的特点,注重强化基础,在教材中对焊工类安全技术基础理论和实际操作安全技能知识进行了系统的阐述,做到理论知识与实践经验相结合,基础理论与先进技术相呼应,内容全面,通俗易懂。同时,为了满足广大焊工类特种作业人员的实际工作需要,我们以提高教材质量、丰富教材内容为主导,依据国家技能鉴定规范的要求,在本教材中编入了相应工种的初级技能知识,因此也可用作初级技能培训教材。

本书由王敏廷主编,贺德军、张克江、龚国尚、闫玉芹参加编写。由于编写时间及编写者水平所限,本书如有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2004年10月

目 录

前言

第一章 焊接基础知识	1
第一节 焊接概述	1
一、焊接的实质	1
二、金属焊接方法的分类	1
三、焊接技术的发展概况	3
四、焊接在国民经济发展中的作用	4
五、焊接安全卫生与防护技术的重要意义	5
第二节 金属学及热处理基本知识	6
一、铁碳合金的基本知识	6
二、钢的热处理	13
第三节 常用金属材料的一般知识	15
一、金属材料的性能	15
二、常用钢材的分类、牌号及性能	21
第四节 焊接工艺基础知识	29
一、焊接接头的概念	29
二、焊接接头的种类及主要接头形式	29
三、焊缝坡口的形式、尺寸及清理	36
四、焊接位置	38
五、焊缝形式及形状尺寸	40
六、焊缝符号表示方法	43
七、焊接工艺参数	52
复习题	53
第二章 电弧焊及碳弧气刨	55
第一节 电工知识与弧焊电源	55
一、电工基本知识	55
二、焊接电弧	71

三、对弧焊电源的基本要求	74
四、焊条电弧焊电源	77
第二节 焊条电弧焊	92
一、焊条电弧焊的工艺特点	92
二、焊条电弧焊的焊接材料	94
三、焊条电弧焊焊接工艺	107
四、焊条电弧焊安全操作规程	137
第三节 埋弧焊	140
一、埋弧焊的特点和应用	140
二、埋弧焊的设备	141
三、埋弧焊的焊接材料	144
四、埋弧焊焊接工艺	151
五、埋弧焊安全操作规程	168
第四节 钨极氩弧焊	168
一、钨极氩弧焊的特点和应用	168
二、钨极氩弧焊设备	169
三、钨极氩弧焊的焊接材料	173
四、钨极氩弧焊焊接工艺	175
五、钨极氩弧焊安全操作规程	184
第五节 焊接缺陷	185
一、焊接缺陷的种类	186
二、常见的焊接缺陷的产生原因及防止措施	186
三、焊接缺陷的危害	193
四、焊接缺陷的返修	193
第六节 碳弧气刨	194
一、碳弧气刨的原理	194
二、碳弧气刨的设备和材料	195
三、碳弧气刨工艺	198
四、常用金属材料的碳弧气刨	201
复习题	205
第三章 焊接安全技术	208
第一节 燃烧与防火技术	209
一、燃烧与火灾	209

二、燃烧的种类	210
第二节 爆炸与防爆技术	211
一、爆炸及其分类	211
二、爆炸极限	212
三、化学性爆炸的必要条件	213
四、爆炸性混合物的特性	213
五、防火防爆的基本原则	214
第三节 安全用电概念	216
一、电流对人体的伤害形式	216
二、影响电击严重程度的因素	216
第四节 触电事故	218
一、电焊用电特点	218
二、电焊操作中的不安全因素	218
三、触电及触电事故	219
四、触电事故的类型	219
五、触电事故的原因	220
六、防止触电事故的基本措施	221
七、触电事故的急救措施	223
八、电焊引起火灾与爆炸事故的原因	224
第五节 弧焊电源安全技术措施及维护保养	225
一、弧焊电源安全装置	225
二、焊接电源安全使用规则	226
三、焊接电源的维护保养	227
第六节 焊接电缆及焊钳安全技术	229
一、焊接电缆安全技术	229
二、焊钳(焊枪)安全技术	230
第七节 特殊焊接作业安全技术	231
一、燃料容器、管道的检修焊补	231
二、水下焊接与切割	239
三、登高焊割作业安全措施	242
复习题	243
第四章 气焊、气割及其安全技术	246
第一节 概述	246

一、气焊的过程、特点和应用	246
二、气割的过程、特点和应用	246
第三节 气焊、气割用的气体	248
一、乙炔	248
二、液化石油气	250
三、氧气	251
第三节 气焊、气割的设备与工具	252
一、气瓶	252
二、减压器	260
三、回火现象与回火防止器	265
四、焊割工具	266
第四节 焊接材料	272
一、焊丝	272
二、气焊熔剂	272
第五节 气焊、气割工艺	273
一、气焊工艺	273
二、气割工艺	278
第六节 气焊、气割安全事故及其防止措施	282
一、气焊、气割中的爆炸事故及其防止措施	282
二、气焊、气割中的火灾事故及其防止措施	285
三、气焊、气割中的烧伤烫伤事故及其防止措施	287
四、气焊、气割中的中毒事故及其防止措施	287
复习题	288
第五章 焊接与切割的劳动卫生与防护	290
第一节 焊接、切割过程中的有害因素及其危害	290
一、弧光	290
二、焊接烟尘	292
三、有毒气体	295
四、射线	297
五、高频电磁场	297
六、噪声	298
七、热辐射	299
第二节 焊接与切割的劳动卫生防护措施	301

一、通风技术措施	303
二、个人防护措施	307
复习题	313
第六章 熔化极气体保护焊	314
第一节 CO ₂ 气体保护焊	314
一、CO ₂ 气体保护焊的过程、特点和应用	314
二、CO ₂ 气体保护焊的设备及安全使用	317
三、CO ₂ 气体保护焊的焊接材料和焊接工艺	321
第二节 熔化极氩弧焊	324
一、熔化极氩弧焊的特点和应用	324
二、熔化极氩弧焊的设备及安全使用	325
三、熔化极氩弧焊工艺	329
复习题	331
第七章 压焊	333
第一节 电阻焊	333
一、电阻焊的基本原理、特点及分类	333
二、电阻焊的电源及控制系统	335
三、点焊工艺及设备	336
四、缝焊工艺及设备	342
五、对焊工艺及设备	344
六、电阻焊的安全措施	349
第二节 钢筋电渣压焊	350
一、钢筋的分类	350
二、钢筋电渣压焊的基本工作原理、特点及分类	353
三、钢筋电渣压焊工艺	353
四、钢筋电渣压焊设备	359
五、电渣压焊安全注意事项	361
复习题	362
附录	364
附录 A 编写说明	364
附录 B 特种作业(电、气焊)作业人员安全技术培训大纲	365
附录 C 特种作业(电、气焊)作业人员安全技术基础理论知识	

教学大纲	371
附录 D 特种作业（电、气焊）作业人员安全技术考核大纲	377
附录 E 特种作业（电、气焊）作业人员安全技术基础理论知识 重点复习题问答	379
附录 F 特种作业（电、气焊）作业人员理论知识考核题库	411
附录 G 特种作业（电、气焊）作业人员理论知识考核题库 答案	452
附录 H 特种作业（电、气焊）作业人员安全技术实际操作考核 试题	457
附录 I 特种作业（电、气焊）作业人员安全技术实际操作考核 口试题	460
附录 J 计量单位对照表	463
参考文献	464

第一章 焊接基础知识

第一节 焊接概述

一、焊接的实质

在金属结构和产品的制造中,经常需要将两个或两个以上零件按一定的形式和位置连接在一起,通常把这些连接按其特点分为两大类:一类是临时性的连接,即不必毁坏零件就可以拆卸,如螺栓连接、键连接等。另一类是永久性的连接,即必须在毁坏零件后才能拆卸,如铆接、焊接等。过去这种永久性的连接主要是采用铆接工艺,自 19 世纪以来,由于焊接技术的迅速发展,已逐步取代了铆接。

焊接不仅可以使金属材料形成永久性的连接,也可以使某些非金属材料、金属和非金属异种材料达到永久性连接的目的,如塑料焊接、陶瓷焊接、金属和玻璃焊接、陶瓷和金属焊接等,但生产中主要是用于金属的焊接。

国家标准 GB/T3375—1994 中焊接的定义规定为: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,使工件达到结合的一种方法。

为了实现焊接,必须使分离的被焊工件彼此接近到原子间的力能够相互作用的程度,为此,需要外部给予很大的能量。因此在焊接过程中,必须对需要结合的部位通过加热到熔化状态,或者通过加压,或者通过加热到塑性状态后再进行加压,使之达到原子间的结合,从而获得不可拆卸的连接。

二、金属焊接方法的分类

按照金属在焊接时所处的状态及工艺特点,可以把金属的焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类,常用焊接方法的分类,如图 1-1 所示。

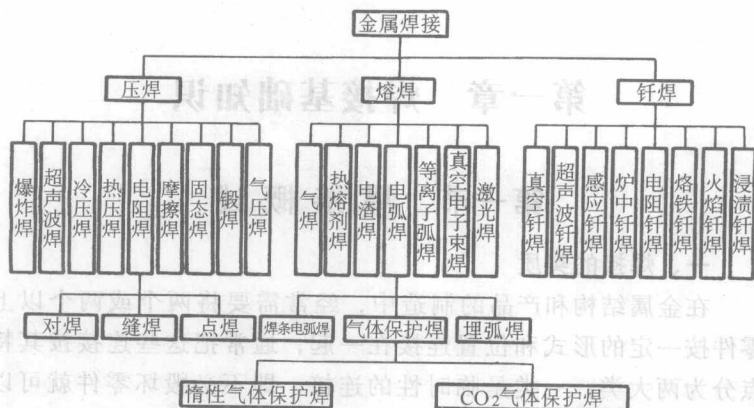


图 1-1 金属焊接方法的分类

1. 熔焊

熔焊又称熔化焊，它是将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法。在加热的条件下，增强了金属原子的动能，促进原子间的相互扩散，当加热至熔化状态形成液态熔池时，原子间可以充分扩散和紧密接触，因此冷凝后，便可形成牢固的焊接接头。常见的熔焊方法有气焊、电弧焊、电渣焊、激光焊、真空电子束焊等。

2. 压焊

压焊是焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），以完成焊接的方法。压焊有两种形式：一是将被焊金属接触部分加热至塑性状态或局部熔化状态，然后施加一定的压力，以使金属原子间相互结合形成牢固的焊接接头，如锻焊、电阻焊、摩擦焊和气压焊等；二是不进行加热，仅在被焊金属的接触面上施加足够大的压力，借助于压力所引起的塑性变形，使金属原子间相互接近而获得牢固的压挤接头，这种压焊的方法有冷压焊、爆炸焊等。

3. 钎焊

钎焊是硬钎焊和软钎焊的总称。它是采用比母材熔点低的

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。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊、电阻钎焊、炉中钎焊等。

三、焊接技术的发展概况

焊接是机械制造中重要的工艺方法之一，它和其它科学技术一样，是人类在生产实践中创造和发展起来的。

我国是世界上较早应用焊接技术的国家之一。据考古发现，远在战国时期的一些金属制品中，就已经采用了焊接技术。从河南辉县琉璃阁战国墓中出土的文物证实，其殉葬铜器的本体、耳、足就是利用钎焊来连接的。另据历史文献记载，早在 800 多年前，宋代科学家沈括所著《梦溪笔谈》一书中，就提到了焊接方法。明代科学家宋应星所著《天工开物》一书中，对锻焊和钎焊技术作了详细的叙述，如“凡铁性逐节粘合，涂黄泥于接口之上，入火挥锤，泥渣成枵而去，取其神气为媒合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断”，证明当时已懂得在锻焊时使用熔剂，以此获得质量较高的焊接接头。“用响铜末者为大焊，用锡末者为小焊”的记载，证实当时已应用了铜、银、锡及合金的钎焊方法。这些事实充分说明，我国是一个具有悠久的焊接历史的国家。

从 1882 年出现碳弧焊到现在，已有百余年的历史，由于各国焊接工作者的努力，焊接已经形成了比较完整的技术体系。

我国约在 20 世纪 20 年代开始有了电弧焊。但在解放前，焊接技术和其它技术一样根本得不到发展，我国根本没有自己的焊接工业，极少量的焊条电弧焊和气焊，只用于焊件的修补，焊接材料和设备依赖进口，全国没有一所专门培养焊接技术人员的学校。

解放后，我国的焊接技术发展很快，焊接新工艺、新材料和新设备的研制与推广取得不少成果，与此同时，培养出了大批焊接技术人员和焊接技术工人，为我国焊接技术的发展打下

了坚实的基础。

目前世界上已有 50 余种焊接工艺方法应用于工业生产之中。由于许多产品日益向着高参数（如高温、高压、高寿命）、大型化及高效率生产的方向发展，焊接结构也越来越复杂，焊接工作量也越来越大，因而对焊接质量、焊接技术现代化和提高焊接生产效率的要求日益迫切。如制造一辆小轿车，就要焊接 5000~12000 个焊点；一架飞机的焊点往往多达 20 万~30 万个，一艘 30 万吨油轮要焊接 1000km 的焊缝。由此可见，如果没有现代化和高效率的焊接工艺，这些将是难以实现的。为了进一步提高焊接质量和生产率，各国除了改进传统的焊接工艺、采用高效率的焊接方法外，正努力提高焊接自动化的水平，并探索及应用新能源的焊接方法。随着科学技术的不断发展，电子计算机技术的应用，为焊接技术开辟了一条崭新的发展途径，各国正在发展电子计算机技术和机器人在焊接生产中的应用。

随着工业的发展，被焊接的材料也越来越多，除一般的碳钢、低合金高强度钢、不锈钢及铝、铜等有色金属外，还需要焊接一些具有特殊性能的材料，如超高强钢、耐热钢、耐蚀钢、耐热合金，各种活性金属、难熔金属、异种金属以及金属与非金属的焊接，这就对焊接提出了更高的要求，促使人们去研究新的焊接方法、焊接工艺、焊接设备和焊接材料，使焊接技术得到更飞速的发展。

目前我国的焊接技术与先进国家相比还有一定的差距，我们还需在不断总结国内外先进经验的基础上，在焊接材料、工艺、设备及机械化、自动化等方面有所发明、有所创造、有所前进，以适应我国四个现代化的需要。

四、焊接在国民经济发展中的作用

焊接是一种先进而高生产率的金属加工工艺，与铆接相比，具有节约金属材料、减轻结构重量、简化加工与装配工序、接头密封性好、容易实现机械化和自动化生产、提高生产率和质

量等优点，因此，焊接的重要性和优越性愈来愈显得突出。世界上主要工业国家每年生产的焊接结构约占钢产量的45%左右，证明焊接在整个制造工业中占据了重要地位。可以说，一个国家焊接技术的水平，往往也是一个国家工业和科学技术现代化水平的一个标志。

随着国民经济的发展，焊接技术已广泛而大量地应用在机械、车辆、化工、造船、电站、石油、冶金、桥梁、电子及国防等行业中。近年来，焊接技术在宇宙航行、海洋开发、核动力装置等尖端科学技术中也发挥着重要的作用。

以上叙述了焊接的优点及其在国民经济中的重要地位和作用。焊接也有不足之处：首先是焊接结构有较大的焊接应力和变形及较大的性能不均匀性，焊缝中有时存在着一定的焊接缺陷，因此焊后有时要作相应的处理；其次是某些焊接方法会产生一些有毒气体、烟尘、弧光辐射等有害因素，因此必须采取相应的劳保措施，以保护焊接作业人员的身体健康。

五、焊接安全卫生与防护技术的重要意义

特种作业是指容易发生人员伤亡事故，对操作者本人、他人及周围设施的安全有重大危害的作业。

在金属焊接、氧气切割操作过程中，焊工需要接触各种易燃易爆气体、氧气瓶和其它高压气瓶，需要用电和明火，而且有时需要焊补燃料容器、管道，需要登高或水下作业，或者需要在密闭金属容器、锅炉、船舱、地沟、管道内作业。因此，焊接作业有一定的危险性，容易发生火灾、爆炸、触电、高空坠落等灾难性事故。此外，焊接作业还有弧光、有毒气体与烟尘等有害因素，会伤害焊工身体。所以，焊接作业容易发生焊工及他人的人员伤亡事故，对周围设施有重大危害，造成财产与生产的巨大损失。因此，我国把焊接、切割作业定为特种作业。

党和国家对焊接工人的安全与健康一直是非常重视的。1979年，国务院在“国发100号文件”中明确提出应消除焊接

烟尘、锰、臭氧、氮氧化合物和弧光对工人的危害。1980年,中国焊接学会成立了《焊接安全与卫生委员会(Ⅷ委)》,专门研究焊接安全与卫生技术。国家标准 GB5306—1985《特种作业人员安全技术考核管理规则》及 1999 年公布的“中华人民共和国国家经济贸易委员会 13 号令”,规定特种作业是指容易发生人员伤亡事故,对操作者本人、他人和周围设施的安全有重大危害的作业,规定电工、金属焊接切割、登高架设、锅炉压力容器操作等作业为特种作业,对从事特种作业的人员,必须进行安全教育和安全技术培训,经考核合格取得操作证者,方准独立作业。国家还陆续制定一大批有关安全与卫生的标准,在焊接方面如国家标准 GB9448—1999《焊接与切割安全》等。

随着焊接技术的发展和应用范围的日益扩大,不仅会出现不少新的不安全与不卫生因素,而且焊工人数也将不断增加。因此,使广大焊工和有关生产人员深刻了解焊接安全卫生技术,熟知在焊接生产过程中可能发生的安全事故和危及健康的原因、消除和预防的措施,是十分必要的。焊接安全就是研究在焊接生产过程中,可能产生的事故和危害的原因及消除和预防措施的一门学科。

第二节 金属学及热处理基本知识

一、铁碳合金的基本知识

(一) 金属晶体结构一般知识

我们大家都知道,世界上的物质都是由化学元素组成的,如氧、氢、氮、碳、铁、硫、磷、铜、铅等,在化学元素周期表中,目前已发现的化学元素共有 109 种,这些化学元素按性质可分成两大类:

第一大类是金属,约占化学元素的 4/5。固态金属具有许多特性,如不透明、有光泽、有延展性、有良好的导电性和导热性等,并且随着温度的升高,导电性降低,电阻率增大,这是金属独具的一个特点。这些特点成为人们鉴定金属的依据。我

们常用到的金属元素有铁、铝、铜、铬、镍、钨等。

第二大类是非金属，约占化学元素中的 $1/5$ ，非金属元素不具备金属元素的特征，而且与金属相反，随着温度的升高，非金属的电阻率减小，导电性提高。我们常用到的非金属元素有碳、氧、氢、氮、硫、磷等。

我们所焊接的材料主要是金属，尤其是钢材。我们知道，钢材的性能不仅取决于钢材的化学成分，而且取决于钢材的组织，为了了解钢材的组织及对性能的影响，我们必须先从晶体结构讲起。

1. 晶体和非晶体

对于晶体，大家并不生疏。人们吃的食盐、冬天河里冻的冰，都是晶体，一般的固态金属及合金也都是晶体。是否任何固态物质都是晶体呢？不是，如玻璃、松香之类就不是晶体，而属于非晶体。

晶体与非晶体的区别不在外形，而在内部的原子排列。在晶体中，原子按一定规律排列得很整齐。而在非晶体中，原子则是散乱分布着，至多有些局部的短程规则排列。由于晶体与非晶体中原子排列不同，因此性能也不相同。

2. 典型的金属晶体结构

金属的原子按一定方式有规则地排列成一定空间几何形状的结晶格子，称为晶格。常见的金属晶格有体心立方晶格和面心立方晶格，如图 1-2 所示。

(1) 体心立方晶格 体心立方晶格的立方体 8 个顶点和中心各有一个原子。

(2) 面心立方晶格 面心立方晶格的立方体的 8 个顶点和 6 个面的中心各有一个原子。

3. 同素异构转变

有些金属在固态只有一种晶体结构，如铝、铜、银、金等；而有些金属则不同，在固态具有两种或多种晶体结构，如铁、锰、钛、钴等。金属可以由一种晶格转变为另一种晶格，这种