

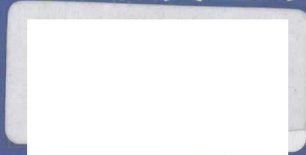


技工学校机械类通用教材

(第4版)

焊工工艺学

技工学校机械类通用教材编审委员会 编



TG44'

123=4

技工学校机械类通用教材

焊 工 工 艺 学

(第4版)

技工学校机械类通用教材编审委员会 编



机械工业出版社

本书是根据 1991 年版修订的, 在仍保持原各章基本结构的前提下, 结合教学实践、职业技能鉴定的需求和焊接技术的不断发展, 对部分章节作了适当的调整和内容上的更新, 并增加了部分实例; 本书全面采用了最新国标、最新名词术语以及法定计量单位。书中将理论知识和实践融于一体, 较详细地介绍了各种常用焊接工艺方法 (如气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等); 对焊接电弧、金属熔焊原理、焊接材料、焊接设备、常用金属材料的焊接等都作了较详细的分析; 书中还对其他焊接方法和切割, 常见焊接缺陷及检验方法, 焊接应力与变形的形成机理及其防止措施等也作了一定的叙述。修订版特别增加了焊接结构质量控制的内容, 同时对焊工考核及焊接工艺规程的制定也作了阐述。

本书供技工学校机械类焊接专业、热加工工种的师生使用, 也可供职校本专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

焊工工艺学/技工学校机械类通用教材编审委员会编. —4 版. —北京: 机械工业出版社, 2005. 1

技工学校机械类通用教材

ISBN 7-111-03551-8

I. 焊... II. 技... III. 焊接工艺—技工学校—教材 IV. TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 103629 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 俞逢英 版式设计: 冉晓华 责任校对: 张 媛

封面设计: 姚 毅 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 7 月第 4 版第 2 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 25 印张 · 615 千字

定价: 33.00 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

第4版前言

技工学校机械类通用教材自1980年出版以来,经过1986年第2版、1991年第3版的修订,内容不断充实和完善,在技工学校、职业技术学校的教学、工矿企业工人的技术培训等方面发挥了很大的作用,取得了较好的社会效益,受到了广大读者的欢迎和好评。

但随着时间的推移,现代科学技术不断发展,教学内容不断完善,新的国家和行业技术标准也相继颁布和实施,本套教材的部分内容已不能适应教学的需要。为保证教学质量,决定组织第3版各门课程的大部分原作者,并适当吸收教学一线的教师,对第3版部分教材进行修订,以更好地满足目前技工学校、职业技术学校教学的实际需要。

为保持本套教材的延续性和原有的读者层次,本次修订在原有教材风格和特点的基础上,根据教学实践,针对原教材的不足进行了改进,以充分反映教学的需要。如对原教材中结构安排不合理之处进行了一些调整,对过时的技术内容与错误进行了订正,并删繁就简,使教材内容更具有科学性和实用性;同时根据教学需要补充增加了部分新知识、新技术、新工艺和新方法方面的内容,使教材内容更具有先进性。全套教材还全面采用了新的技术标准、名词术语和法定计量单位。

本次共修订五门基础课和四门专业课的教材,具体包括:机械制图、机械基础、工程力学、金属工艺学、电工与电子基础、车工工艺学、钳工工艺学、焊工工艺学、电工工艺学及相应的习题集。

本套教材的修订工作得到了各位编者的支持,参加教材修订的人员基本上都是参加前3版教材编写的老作者,保证了本套教材能够按计划有序地进行,在此对参加修订的各位作者和前3版的各位编审者的支持和配合表示感谢。

参加本书第1版编写的有:林圣武、张德禄、郑应国、魏育樟、黄世麟,参加审稿的有隋立华、梅启钟、张学津和崔德华。

参加本书第2版修订的有:林圣武、张德禄、洪松涛,参加审稿的有顾溥锦、陈融如。

参加本书第3版修订的有:张德禄、洪松涛;参加审稿的有顾溥锦、陈融如。

参加本书第4版修订的有洪松涛、张德禄、彭晔华,洪松涛主编,林圣武

主审。

技工学校机械类通用教材编审委员会

目 录

第4版前言

绪论	1	三、焊缝的连接	34
一、焊接的概念和焊接方法的分类	1	第四节 焊接参数	35
二、焊接技术的发展	2	一、焊条直径	35
三、焊接结构的优缺点	3	二、焊接电流	36
复习题	4	三、电弧电压	36
第一章 焊接电弧	5	四、焊接速度	36
第一节 焊接电弧的引燃	5	第五节 各种位置的焊接技术	38
一、焊接电弧及其形成的基本知识	5	一、平焊	44
二、焊接电弧的引燃过程	7	二、平角焊	46
第二节 焊接电弧的构造及其静特性	8	三、立焊	49
一、焊接电弧的构造及温度	8	四、横焊	51
二、焊接电弧的静特性	10	五、仰焊	53
三、各种焊接方法的电弧静特性曲线	11	第六节 管子的焊接和堆焊	55
四、焊接电弧燃烧的稳定性	11	一、管子水平固定的焊接	55
第三节 焊接时的极性和偏吹	12	二、管子水平转动的焊接	57
一、焊接时的极性及其应用	12	三、焊条电弧焊堆焊技术	58
二、焊接电弧的偏吹	13	第七节 焊条电弧焊安全技术	59
三、减少或防止焊接电弧偏吹的方法	14	一、触电事故产生的原因和防止措施	59
第四节 电弧焊的熔滴过渡和焊接电弧		二、焊接时引起火灾爆炸事故的原因	
分类	15	和防止措施	61
一、电弧焊的熔滴过渡	15	三、电弧焊的卫生防护措施	62
二、焊接电弧分类	18	四、焊接的安全措施	62
复习题	19	复习题	63
第二章 焊条电弧焊技术	20	第三章 焊条	64
第一节 焊缝符号表示法、焊缝坡口的		第一节 对焊条及其焊芯的要求	64
基本形式与尺寸	20	一、对焊条的要求	64
一、焊缝符号表示法	20	二、焊芯	64
二、焊接接头形式、焊缝坡口的基本		第二节 焊条药皮	68
形式与尺寸	25	一、焊条药皮的作用	68
三、焊缝形式	31	二、焊条药皮的组成物及其作用	69
第二节 引弧和运条方法	31	三、焊条药皮的类型	71
一、电弧的引燃方法	31	第三节 焊条的分类、型号和牌号的编	
二、运条方法	32	制	72
第三节 焊缝的起头、收尾及接头	34	一、焊条的分类	72
一、焊缝的起头	34	二、焊条型号的编制方法	73
二、焊缝的收尾	34	三、常用焊条牌号的编制	75
		第四节 焊条的规格、检验、选用和存	

放	80	求	115
一、焊条的规格	80	二、焊机的型号	117
二、焊条的检验	80	第二节 弧焊变压器	118
三、焊条的选用	81	一、对弧焊变压器的特殊要求	118
四、焊条的存放和使用前的烘干	82	二、同体式弧焊变压器	119
复习题	82	三、增强漏磁式弧焊变压器	120
第四章 金属熔焊原理	83	第三节 弧焊整流器	123
第一节 焊接热过程及冶金过程的特点	83	一、ZXG 系列硅弧焊整流器	123
一、焊接热源和传热	83	二、晶闸管式弧焊整流器简介	125
二、焊接温度场和焊接热循环	84	三、逆变式弧焊电源简介	126
三、焊条的加热和焊接熔池	85	第四节 焊条电弧焊电源的选择和使用	128
四、焊接冶金过程的特点	87	一、焊条电弧焊电源的选择	128
第二节 气体对焊缝金属的影响	88	二、焊条电弧焊电源的安装接线	129
一、焊接区的气体来源	88	三、焊条电弧焊电源的维护及故障处理	129
二、氧对焊缝金属的影响	88	复习题	132
三、氢对焊缝金属的影响	89	第六章 埋弧焊	133
四、氮对焊缝金属的影响	90	第一节 埋弧焊概述	133
第三节 熔渣与金属的作用	90	一、埋弧焊过程原理及特点	133
一、焊接熔渣	90	二、埋弧焊工艺方法分类及部分方法简介	134
二、焊缝金属的脱氧	91	第二节 焊接过程自动化的概念	138
三、焊缝金属的脱硫	94	一、电弧焊过程调节的必要性	138
四、焊缝金属的脱磷	95	二、电弧电压调节式焊机的工作原理	139
五、焊缝金属的合金化	96	第三节 埋弧焊机	141
第四节 焊缝金属的结晶	97	一、MZ-1000 型埋弧焊机	141
一、焊接熔池的一次结晶	97	二、埋弧焊机的维护及故障排除	146
二、焊缝中的偏析现象	98	第四节 焊接材料	148
三、焊缝金属的二次结晶	99	一、焊丝	148
第五节 焊接热影响区	100	二、焊剂	148
一、熔合区的特征	101	三、埋弧焊焊剂的选择原则	153
二、低碳钢接头的热影响区	101	四、焊剂及焊丝的选配	153
三、合金钢接头的热影响区	103	第五节 埋弧焊工艺	153
四、热输入对焊接接头性能的影响	104	一、埋弧焊的焊缝形状和尺寸	153
第六节 焊缝中的气孔	104	二、焊接参数的选择原则及选择方法	157
一、气孔产生的原因	105	第六节 埋弧焊操作技术	157
二、影响生成气孔的因素	106	一、埋弧焊的焊前准备	157
三、防止产生气孔的方法	107	二、埋弧焊的操作技术	157
第七节 焊接裂纹	108	三、埋弧焊常见缺陷的产生原因及其防止方法	164
一、热裂纹	108	复习题	166
二、冷裂纹	111	第七章 电渣焊	167
复习题	113	第一节 电渣焊概述	167
第五章 焊条电弧焊电源	115		
第一节 对焊条电弧焊焊接电源的要求	115		
一、对焊条电弧焊焊接电源的基本要			

一、电渣焊的原理	167	四、液化石油气	213
二、电渣焊的特点	167	五、气焊丝和气焊熔剂	214
三、电渣焊的类型及其应用	168	第二节 气焊气割用设备	215
第二节 电渣焊热过程与冶金过程的特点	170	一、氧气瓶	215
一、电渣焊热过程的特点	170	二、乙炔瓶和液化石油气瓶	216
二、电渣焊冶金过程的特点	170	三、回火防止器	218
第三节 焊接材料	171	第三节 气焊、气割用工具	220
一、电渣焊焊剂	171	一、减压器	220
二、电渣焊的电极材料	172	二、焊炬	223
第四节 电渣焊设备	172	三、割炬	226
一、电渣焊电源	172	四、气焊、气割辅助工具	228
二、电渣焊焊机	173	第四节 低碳钢的气焊工艺	228
第五节 丝极电渣焊工艺	174	一、氧乙炔焰概述	228
一、焊前准备	174	二、接头形式和焊前准备	229
二、丝极电渣焊的焊接参数	176	三、气焊焊接参数	229
三、丝极电渣焊操作	177	四、气焊操作技术	230
复习题	179	第五节 气割工艺	236
第八章 气体保护电弧焊	180	一、气割的基本原理	236
第一节 气体保护电弧焊概述	180	二、气割参数的选择	237
一、气体保护电弧焊的原理和分类	180	三、气割质量的评定	238
二、气体保护电弧焊的特点	180	四、手工气割操作技术	239
三、保护气体的种类及用途	181	五、机械气割	240
第二节 二氧化碳气体保护焊	182	复习题	244
一、CO ₂ 气体保护焊概述	182	第十章 其他焊接及切割方法	245
二、CO ₂ 气体保护焊的冶金特点	182	第一节 等离子弧切割与焊接	245
三、CO ₂ 气体保护焊的熔滴过渡	184	一、等离子弧的特点及产生原理	245
四、CO ₂ 气体保护焊的飞溅问题	185	二、等离子弧的电源、电极及工作气体	247
五、CO ₂ 气体保护焊的焊接材料	186	三、等离子弧切割	248
六、CO ₂ 气体保护焊设备	186	四、等离子弧焊接	253
七、CO ₂ 气体保护焊的焊接参数	195	第二节 碳弧气刨	255
八、粗丝自动 CO ₂ 气体保护焊	196	一、碳弧气刨概述	255
九、药芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	198	二、碳弧气刨工具、炭棒及电源设备	256
第三节 氩弧焊	200	三、碳弧气刨工艺	257
一、氩弧焊概述	200	第三节 电阻焊	259
二、钨极氩弧焊	201	一、电阻焊的分类、原理及特点	259
三、熔化极氩弧焊	206	二、部分材料电阻焊的焊接参数	260
复习题	210	第四节 钎焊	261
第九章 气焊与气割	212	一、钎焊的原理	261
第一节 气焊、气割用材料	212	二、钎焊的特点及分类	261
一、氧气	212	三、钎焊的焊接材料	261
二、电石	212	四、钎焊工艺	263
三、乙炔	213	第五节 高能密度焊	265

一、高能密度焊特点及其应用	265	二、低碳低合金调质钢的焊接	307
二、真空电子束焊	266	三、中碳低合金调质钢的焊接	309
三、激光焊	267	第四节 专业用合金结构钢的焊接	311
复习题	269	一、铬钼珠光体耐热钢的焊接	311
第十一章 焊接应力及变形	270	二、低温用钢的焊接	314
第一节 焊接应力及变形的种类	270	第五节 不锈钢的焊接	315
一、焊接应力及变形的的基本形式	270	一、铬镍奥氏体型不锈钢的焊接	316
二、焊接应力对焊接结构的影响	272	二、铁素体型不锈钢的焊接	320
三、焊接变形对焊接结构的影响	273	三、马氏体型不锈钢的焊接	321
第二节 焊接应力及变形产生的原因	273	四、不锈钢复合钢板的焊接	322
一、纵向焊接应力及变形	273	第六节 铸铁补焊	325
二、横向焊接应力及变形	274	一、铸铁简介	325
三、弯曲变形	276	二、灰铸铁的焊接	325
四、角变形、波浪变形及扭曲变形	277	三、球墨铸铁的焊接	329
第三节 影响焊接结构残余变形的因素	278	第七节 铝、铜、钛及其合金的焊接	331
一、焊缝在结构中的位置对焊接变形的影响	278	一、铝及铝合金的焊接	331
二、结构的刚度对焊接变形的影响	279	二、铜及铜合金的焊接	333
三、装配及焊接顺序对结构变形的影响	280	三、钛及钛合金的焊接	336
四、其他影响变形的因素	281	复习题	338
第四节 控制和矫正变形的的方法	282	第十三章 焊接结构生产工艺简述	340
一、设计措施	282	第一节 构件的备料工序	340
二、工艺措施	284	一、钢材矫正	340
三、焊接残余变形的矫正	289	二、放样号料	341
第五节 减小和消除焊接应力的方法	292	三、切割下料	341
一、设计措施	292	四、焊接接头的坡口加工	342
二、工艺措施	293	五、成形加工	342
三、焊接结构残余应力的消除	295	第二节 结构的装配焊接	343
复习题	296	一、装配原理	343
第十二章 常用金属材料的焊接	298	二、焊条电弧焊用装配夹具	344
第一节 钢的焊接性	298	三、装配方法	344
一、焊接性的含义	298	四、结构的装焊过程	346
二、影响焊接性的因素	298	第三节 典型焊接结构的制造工艺	349
三、焊接性试验的内容	299	一、压力容器的焊接	349
四、焊接性间接判断法	299	二、钢结构件的焊接	352
五、焊接性直接试验法	300	复习题	355
第二节 碳素钢的焊接	301	第十四章 焊接质量的检验与控制	356
一、低碳钢的焊接	301	第一节 焊接接头常见缺陷的分析	356
二、中碳钢的焊接	302	一、焊缝尺寸及形状不符合要求	356
第三节 低合金结构钢的焊接	304	二、咬边	357
一、热轧、正火钢（低合金高强度结构钢）的焊接	304	三、焊瘤	357
		四、夹渣	357
		五、凹坑与弧坑	358
		六、未焊透与未熔合	358

七、下塌与烧穿	359	一、质量管理	373
第二节 焊接质量检验	359	二、焊接工艺评定	374
一、破坏性检验	360	三、焊工考试	376
二、非破坏性检验	366	复习题	385
第三节 焊接质量控制	373	参考文献	386

绪 论

一、焊接的概念和焊接方法的分类

在金属结构和机器的制造中,经常需要将两个或两个以上的零件按一定形式和位置连接起来,通常可以根据这些连接的特点,将其分为两大类: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,见图 0-1;另一类是永久性的连接,其拆卸只有在毁坏零件后才能实现,如铆接、焊接等,见图 0-2。

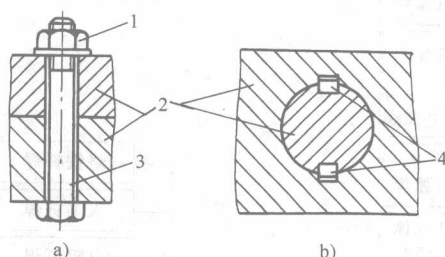


图 0-1 可拆连接

a) 螺栓连接 b) 键连接

1—螺母 2—零件 3—螺钉 4—键

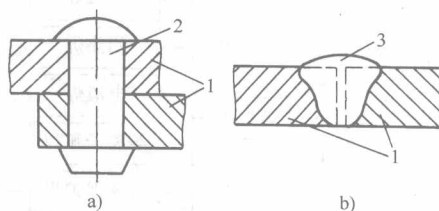


图 0-2 不可拆连接

a) 铆接 b) 焊接

1—零件 2—铆钉 3—焊缝

焊接不仅可以使金属材料永久地连接起来,而且也可以使某些非金属材料达到永久连接的目的,如玻璃焊接、塑料焊接等,但最广泛的是用于金属的焊接。

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,使焊件达到结合的一种加工方法。金属的焊接则是对金属材料而言。

要使两部分金属材料达到永久连接的目的,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的距离。为此,金属焊接时必须采用加热、加压或两者并用的方法。焊接能量可来自电能、化学能、机械能、光能、超声波能等。

按照焊接过程中金属所处的状态不同,可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三类。

熔焊是在焊接过程中,将焊件接头加热至熔化状态,不加压力完成焊接的方法。由于在加热的条件下,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。常见的气焊、电弧焊、电渣焊、气体保护电弧焊等都属于熔焊的方法。

压焊是在焊接过程中,必须对焊件施加压力(加热或不加热),以完成焊接的方法。这类焊接有两种形式: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,然后加一定的压力,以使金属原子间相互结合而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,而使原子间相互接近直至获得牢固的压挤接头,如冷压焊、爆炸焊等均属此方

法。

钎焊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的熔点，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联接焊件的方法。钎焊是一种古老的金属连接工艺，但其金属结合的机理与熔焊和压焊是不同的，并且具有一些特殊的性能，所以在现代焊接技术中仍占有很重要的地位，目前已形成了一个独立的体系。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊等。

近百年来，随着社会生产和科学技术的发展，对金属的焊接也提出了越来越高的要求，为了满足工业生产和尖端技术的焊接需要，今后各种新的焊接方法仍将不断出现。目前金属焊接的简单分类如图 0-3 所示。

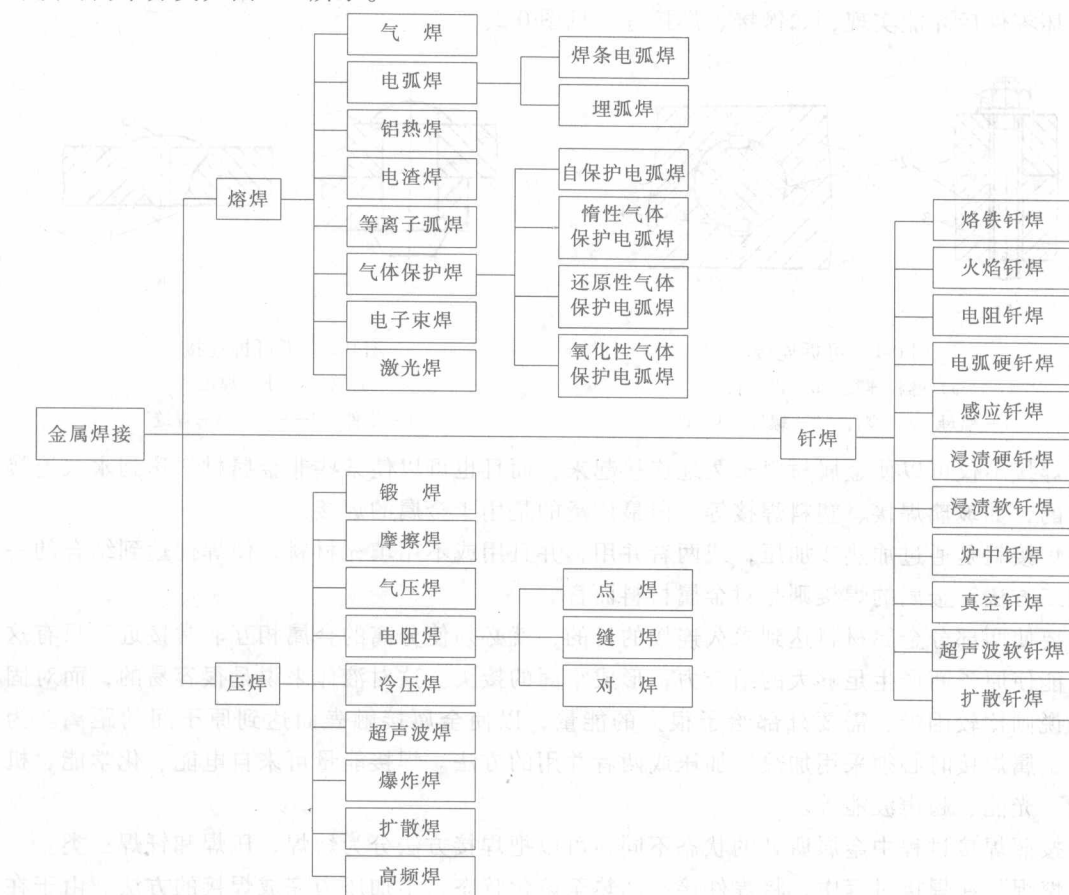


图 0-3 金属焊接的分类

二、焊接技术的发展

焊接是一门古老而又年轻的科学，远在 2000 多年前，我国古代的战国时期就有焊接工艺的存在，如在河南辉县出土的文物，以及世界著称的秦始皇陵出土的文物（铜车马）中都证实有钎焊的焊缝。明朝宋应星所著的《天工开物》中就有关于锻焊的记载：“凡铁性逐节粘合，涂上黄泥于接口之上，入火挥槌，泥滓成枵而去。取其神为媒合，胶结之后，非灼红斧斩，永不可断也。……”。另记有：“凡钎铁之法，……小钎用白铜末，大钎则竭力挥槌而强合之，……”等，这些记载充分说明，我国早在数千年前就已在生产中应用焊接技

术。

现代焊接技术是从 19 世纪 80 年代末才开始发展起来的,其历史虽然不长,但发展速度却非常迅速。焊接技术的发展主要表现在以下几方面:

1. 新焊接能源的应用 焊接方法的发展依赖于能源的开发与应用。从 20 世纪开始,几乎每隔 10 年就出现一种新的焊接能源或焊接工艺方法,目前已发展到几十种。当前,除了以电弧为能源的各种常规焊接方法外,还有以电阻热为能源的电阻焊和电渣焊等在生产中亦得到广泛的应用。另外,以高速运动电子束为能源的电子束焊接;以激光为能源的激光焊;以等离子为能源的等离子弧焊等高能密度的焊接方法,也越来越多地应用于各个生产领域。

2. 焊接技术应用范围的扩大 随着新能源的开发与焊接质量的提高,焊接技术的应用范围有了明显的扩展。目前一些现代化的大型设备,如大型高参数的压力容器与贮罐、大吨位油轮、超音速飞机、大功率的核发电设备、超临界火力发电机组等,都大量采用了焊接结构。焊接技术还用于电子元器件、火箭、宇宙飞船等尖端技术产品的制造。

随着产品向高参数、大容量、长寿命、大型或微型化的方向发展,要求采用一些具有特殊性能的结构材料,如高强度钢、耐蚀钢、耐热钢、超高强度钢、各种有色金属及其合金、难熔金属和活性金属、异种金属、复合材料等。为此,用于焊接结构的材料品种也随之有了极大的发展。

焊接技术应用范围的扩大,对焊接质量也提出了更高的要求;反过来,它又促进了焊接工艺方法、焊接设备、焊接材料、焊接结构设计和焊接质量检测方法等方面的发展。

3. 焊接生产的机械化与自动化 焊接技术的广泛应用,对焊接质量和生产率的要求日益提高,促进了焊接生产的机械化和自动化。目前,除了一些机械化程度较高的专用机械和专业生产线外,很多发达国家均建成了带程序控制的自动焊接生产线,计算机技术也已用于焊接生产中的数据处理和程序控制。计算机辅助焊接、焊接机器人、计算机集成制造系统等蓬勃发展,正从信息化、集成化、系统化、柔性化等几个方面改变着焊接技术的生产面貌。数字化焊接更进一步促进了焊接生产自动化、智能化的发展,并使焊接生产利用 Internet 实现远程控制成为现实。

三、焊接结构的优缺点

焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方法,用焊接方法制造的金属结构叫焊接结构。焊接结构已在许多工业部门的金属结构中,如船体、锅炉、压力容器、起重运输机械等几乎全部取代了铆接结构;在机械制造业中,不少过去一直用整铸、整锻方法生产的大型毛坯改成了焊接结构,大大简化了生产工艺,降低了成本;目前在许多尖端技术,如宇航、核动力等高科技领域中如不采用焊接结构是不可能的。现在世界的主要工业国家每年生产的焊接结构占钢产量的 45%,焊接结构之所以能迅速地发展,是因为它本身具有一系列优点:

1) 焊接结构与铆接结构相比,首先可以节省大量金属材料,减轻结构的重量。例如起重机械采用焊接结构,其重量可以减轻 15%~20%,建筑钢结构可以减轻 10%~20%。其原因在于焊接结构不必钻铆钉孔,材料截面能得到充分利用,也不需要像角钢那样的辅助材料(图 0-4),因此,焊缝金属重量也比铆钉轻。其次,简化了加工与装配工序,焊接结构生产不需钻孔,划线的工作量较少,因此比较省工,劳动生产率高。另外焊接设备一般也比铆接生产所需的大型设备(如多头钻床等)的投资低。焊接结构还具有比铆接结构更好的密封性,这是压力容器特别是高温、高压容器不可缺少的性能。焊接生产与铆接生产相比还具有

劳动强度低, 劳动条件好等优点。

2) 焊接结构与铸造结构相比, 首先它不需要制作木模和砂型, 也不需要熔炼和浇注, 工序简单, 生产周期短, 对于单件和小批量生产特别明显。其次, 焊接结构比铸件节省材料。通常, 其重量比铸钢件轻 20% ~ 30%, 比铸铁件轻 50% ~ 60%, 这是因为焊接结构的截面可以按需要来选取, 不必像铸件那样因受工艺条件的限制而加大尺寸, 且不需要采用过多的肋板和过大的圆角。另外, 采用轧制材料的焊接结构材质一般比铸件好, 即使不用轧制材料, 用小铸件拼焊成大件, 小铸件的质量也比大铸件容易保证。

3) 焊接结构具有一些用别的工艺方法难以获得的优点。例如, 焊接结构可以在同一零件上, 根据不同要求采用不同的材料或分段制造来简化工艺。像大型齿轮的轮缘可用高强度的耐磨优质合金钢, 而其他部分则可用一般钢材来制造。这样既提高了齿轮的使用性能, 又节省了优质钢材。

4) 有些型材如采用焊接结构比用轧制经济。例如, 当工字钢的高度大于 70cm 时, 采用钢材拼焊要比轧制的成本低。又如大型锅炉的水冷壁结构 (图 0-5), 采用无缝钢管加焊扁钢的方法制造 (图 0-5b), 比用轧制的鳍片管 (图 0-5a), 来制造要经济, 因鳍片管的价格比无缝钢管贵得多。

生产中有时也会发生焊接结构失效和破坏的事例, 这往往是焊接结构本身存在的一些缺点所致。这些缺点主要是: 焊接结构的应力集中比较大, 在焊缝与焊件交界的焊趾处, 易引起较大的应力集中, 而应力集中对结构的脆性断裂和疲劳极限有很大影响, 破坏往往从这里开始; 焊接结构还存在较大的焊接应力和变形, 这不仅可能引起工艺缺陷, 还会影响结构的承载能力、加工精度和尺寸的稳定性; 焊缝中也存在着一定数量的焊接缺陷, 这些缺陷不但会降低强度、引起应力集中, 且是结构破坏的主要原因; 焊接结构具有较大的性能不均匀性, 焊接接头的不同区域具有不同的性能, 其中就可能存在一个薄弱环节, 则结构的破坏经常就从这里开始; 另外, 焊接结构的止裂性没有铆接结构好, 裂纹一旦扩展就不易制止, 而铆接接头往往可以起到限制裂纹扩展的作用。

上述焊接结构存在的缺点, 在生产实践中可采取一些有效的工艺措施加以克服。

复 习 题

1. 什么是金属的焊接? 为什么在焊接时要加热、加压?
2. 什么是熔焊? 常用的熔焊方面有几种?
3. 焊接方法分为哪三大类? 熔焊与钎焊主要区别有哪些?
4. 焊接技术的发展主要表现在哪几方面?
5. 焊接结构与铆接结构、铸造结构相比, 有什么优缺点?

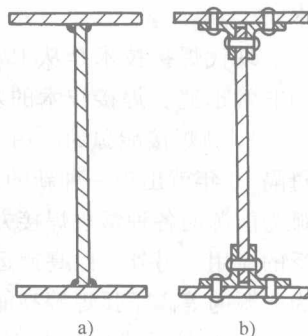


图 0-4 焊接工字钢与铆接工字钢对比

a) 焊接工字钢 b) 铆接工字钢

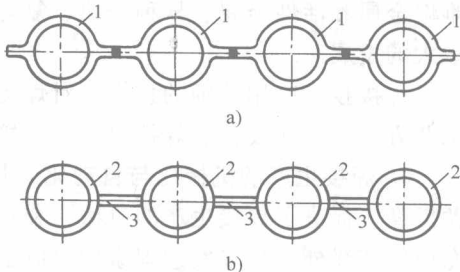


图 0-5 大型锅炉水冷壁结构方案比较

a) 由轧制鳍片管焊成 b) 由无缝

钢管加扁钢焊成

1—鳍片管 2—无缝钢管 3—扁钢

第一章 焊接电弧

电弧能放出强烈的光和大量的热。电弧焊接就是利用它的热能来熔化填充金属和母材的。因此，焊接时电弧的稳定性及热特性等性质，对焊接质量有着直接的影响。

本章就是从理论上对焊接电弧的性质及作用进行分析。通过学习，使我们能把焊接电弧的理论知识应用到实际的焊接工作中去，从而达到提高焊接质量的目的。

第一节 焊接电弧的引燃

一、焊接电弧及其形成的基本知识

(一) 焊接电弧的概念

电弧是通过气体放电的现象之一，在日常生活中经常可以看到气体放电的现象。如电车行驶时，电刷与电线间有时会出现闪光，以及大自然中出现的闪电等。

焊接电弧则是焊接时存在于焊条端部与焊件的间隙中（图 1-1），它与日常所见的气体放电现象有所不同。焊接电弧不仅能量大，而且持续稳定。因此我们说由焊接电源供给的，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。

气体的分子和原子在正常的情况下都是呈中性的，所以气体中没有游离的带电质点，不可能导电，因此，电流也就通不过。要使电弧引燃和连续燃烧，就必须使两极间的气体变成电的导体，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、阳离子等带电质点，这时电流才能通过气体间隙而形成电弧。

(二) 气体电离

自然界的一切物质，都是由原子组成的。原子本身又由带正电荷的原子核及带负电荷的电子组成，电子则是按照一定的轨道环绕原子核运动。在常态下，原子核所带的正电荷与核外电子所带的负电荷相等，这时原子是呈中性的。如果此时气体受到电场或热能的作用，就会使气体原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荷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叫做气体电离。

要使电子克服原子核对它的引力，需要供给一定的能量。供给气体电离的能量有：

电离电位——消耗于使电子与原子核分离的能，称为电离的功；以电子伏特来表示的功叫做电离电位或电离势。

激励电位——为了使电子转移到距原子核更远的轨道，应使电子具有一定的速度。消耗在使电子具有这种速度的能，叫做激励电位，以电子伏特来表示。

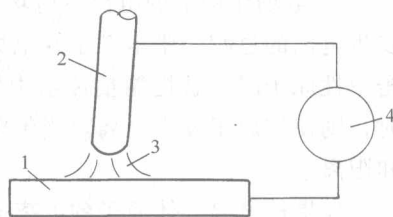


图 1-1 焊接电弧示意图

1—焊件 2—焊条 3—电弧
4—焊接电源

电离电位与激励电位的大小取决于各种元素原子的性质。电离现象不但发生于气体元素中，而且更容易发生在金属元素中。表 1-1 是表示各种元素所具有的电离电位和激励电位的大小。

表 1-1 某些元素的电离电位、激励电位和电子逸出功

电位/eV	元 素													
	K	Na	Ca	Ti	Mn	Mg	Fe	W	H	O	N	Ar	F	He
电 离	4.33	5.11	6.10	6.80	7.40	7.61	7.83	8.0	13.5	13.6	14.5	15.7	16.9	24.5
激 励	1.60	2.10	1.90	3.30	3.10		4.79		10.2	7.90	6.30	11.6	14.5	19.7
电子逸出功	2.26	2.33	2.90	3.92	3.76	3.78	4.18	4.54						

常态下，碱土金属的原子具有较小的电离电位，因而较容易失去电子，电离成阳离子。而卤族元素的原子电离电位较大，较难电离成阳离子，相反却容易形成阴离子。电弧中的带电质点主要是电子和阳离子，如电弧中阴离子较多，就容易与阳离子结合成中性粒子而降低电弧的稳定性。因此，常在焊条中加入一些低电离电位的物质，如水玻璃、碳酸钠等，以提高焊接电弧的稳定性。

电弧焊时，造成气体电离的方式主要有：电场作用下的电离、热电离、光电离等。

1. 电场作用下的电离 电场作用下的电离实质上就是带电质点与中性原子相互碰撞而发生电离的过程。带电粒子在电场作用下，各作定向高速运动，产生较大的动能，当它们撞击中性原子时，就把能量传给中性原子，这时如果撞击的能量大于原子核与电子间的引力时，则使该原子发生电离。当带电粒子不断与中性原子碰撞时，则中性原子不断电离成电子和阳离子。

如果被电离气体原子的电离电位越低，阴极电子发射越强烈，则电离的作用越剧烈。当电弧长度不变，两电极间的电压越高，电场力作用越大，则电离作用越大，电弧燃烧越稳定。

2. 热电离 在高温下，由于气体原子受热的作用而产生的电离称为热电离。其实质是由于原子间的热碰撞而产生的一种电离。气体原子的运动速度与温度有关，当气体温度越高时，原子运动速度也越高，动能也越大，则热电离作用也越强烈。在某一温度下，气体原子的质量越小，其运动速度越高。由于气体原子的热运动是无规则的运动，原子间会发生频繁碰撞，当原子的运动速度足够大时，原子间的碰撞会引起气体原子的电离或激励。焊接电弧中心的温度约在 6000K 以上，热电离在该部分极易发生。

3. 光电离 中性原子受光辐射的作用而产生的电离，称为光电离。

(三) 阴极电子发射

阴极表面的原子或分子，吸收了外界的某种能量而发射出自由电子的现象，称为阴极电子发射。焊接时，气体的电离是产生电弧的必要条件，但是，如果只有气体电离而阴极不能发射电子，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，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。要使电子逸出电极金属表面而产生电子发射，就必须加给电子一定的能量，使它克服电极金属内部正电荷对它的静电引力。所加的能量越大，促使阴极产生电子发射的作用就越强烈。电子从阴极金属表面逸出所

需要的能量称为逸出功，电子逸出功的大小与阴极的成分有关。不同金属其逸出功是不一样的（表 1-1）。若所加的能量相同，则逸出功小的金属其阴极电子发射程度就越大。如电极中或电极表面含有稀土金属、碱金属或碱土金属元素的物质时，就能增强阴极的电子发射作用。例如，在焊条中由于涂药含有较多的钾、钠、钙等化合物，有利于阴极电子发射，从而促使电弧燃烧稳定。

焊接时，根据阴极所吸收能量的不同，所产生的电子发射有热发射、电场发射、撞击发射等。阴极发射电子后，又从焊接电源获得新的电子。

1. 热发射 焊接时，电极金属表面因受热能作用而产生的电子发射现象，称为热发射。电弧焊时，阴极表面的温度很高，阴极中的电子运动速度也很快，当电子的动能大于电极内部正电荷对它的静电引力时，电子就会冲出阴极表面而产生热发射。电极加热温度越高，则从其表面逸出电子的数目也就越多，电子发射的能量就越强，从而促使电弧空间气体的碰撞电离也越剧烈，因此就越有利于电弧的稳定燃烧。

2. 电场发射 当电极金属表面空间存在一定强度的正电场时，金属内的电子受此电场的作用，电子从金属表面发射出来，这种现象称为电场发射。增大两电极的电压或减小两电极间距离都能增加电子发射。电场强度越大，电场发射作用就越大。

3. 撞击发射 高速运动的阳离子撞击金属表面时，将能量传给金属表面的电子，使其能量增加而逸出金属表面。这种现象称为撞击发射。如果电场强度越大，在电场的作用下正离子的运动速度也越高，则产生的撞击发射作用也越强烈。

在电弧焊时，以上几种电子发射作用常常是同时存在，相互促进的，但在不同的条件下，它们所起的作用可能稍有差异。例如，在引弧过程中，热发射和电场发射起着主要作用，电弧正常燃烧时，如采用熔点较高的材料（钨或碳等）作阴极，则热发射作用较显著；若用铜或铝等作阴极时，撞击发射和电场发射就成为主要因素；而钢作阴极时，则和热发射、撞击发射、电场发射都有关系。

二、焊接电弧的引燃过程

我们把开始造成两电极间气体发生电离及阴极电子发射而引起电弧燃烧的过程叫做电弧的引燃过程。

电弧的引燃可以用如下两种方法：

第一种方法是将两电极互相靠近到只有 1~2mm 的间距，这时如果在两电极间加有很高的电压（约在 1000V 以上），那么在强电场作用下，阴极上的电子即可以克服内部正电荷对它的静电引力而逸出阴极表面，产生电场发射，造成空气中放电而形成电弧，但是，这种方法因为电压极高，危险性很大，因此实际上并不采用。

第二种方法是先将两电极互相接触，然后迅速拉开至 3~4mm 的距离来引燃电弧。焊条电弧焊和埋弧焊就是利用这种方法来引燃电弧的。将通上焊接电源的焊条或焊丝末端与焊件表面相接触，然后很快地将焊条或焊丝拉开至与焊件表面 3~4mm 的距离，则电弧就在焊条或焊丝与焊件的间隙中燃烧了。

焊条电弧焊时，当焊条末端与焊件接触时，它们的表面都不是绝对平整的，只是在少数突出点上接触，接触部分通过的短路电流密度非常大，而接触面积又很小，这时产生大量电阻热，使电极金属表面发热、熔化，甚至蒸发、汽化，引起相当强烈的热发射和热电离。随后在拉开电极的瞬间由于电场作用的迅速增强，又促使产生电场发射。同时，已经形成的带