

全国中等职业技术学校机械类专业

QUANGUO ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO JIXIELEI ZHUANYE

焊工工艺学课 教学参考书

与《焊工工艺学（第四版）》配套

含光盘



中国劳动社会保障出版社

全国中等职业技术学校机械类专业

焊工工艺学课 教学参考书

与《焊工工艺学(第四版)》配套

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

焊工工艺学课教学参考书/邱葭菲主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2014

全国中等职业技术学校机械类专业

ISBN 978-7-5167-0966-5

I. ①焊… II. ①邱… III. ①焊接工艺-中等专业学校-教学参考资料 IV. ①TG44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 072068 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

850 毫米×1168 毫米 32 开本 9.75 印张 251 千字

2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

定价: 23.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/64921644/84643933

发行部电话: (010) 64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 80497374

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

目 录

第一章 焊接技术概述	(1)
§ 1—1 焊接及发展概况	(2)
§ 1—2 常用焊接热源	(12)
§ 1—3 焊接安全技术与劳动保护	(20)
第二章 焊接接头与焊接识图	(27)
§ 2—1 焊接接头与焊缝	(27)
§ 2—2 焊缝符号及相关工艺方法代号	(36)
§ 2—3 焊接结构装配图的识读	(44)
第三章 气焊与气割	(46)
§ 3—1 气体火焰	(47)
§ 3—2 气焊	(51)
§ 3—3 气割	(59)
第四章 焊条电弧焊	(72)
§ 4—1 焊条电弧焊的原理及特点	(73)
§ 4—2 焊条电弧焊设备及工具	(73)
§ 4—3 焊条电弧焊焊接材料	(81)
§ 4—4 焊条电弧焊工艺	(88)
第五章 金属熔焊过程	(91)
§ 5—1 焊条、焊丝及母材的熔化	(92)
§ 5—2 焊接化学冶金过程	(94)
§ 5—3 焊缝结晶过程	(98)
§ 5—4 熔合区及焊接热影响区	(101)

§ 5—5 控制和改善焊接接头性能的方法·····	(105)
第六章 焊接应力与变形 ·····	(113)
§ 6—1 焊接应力与变形的形成·····	(114)
§ 6—2 焊接残余变形·····	(115)
§ 6—3 焊接残余应力·····	(123)
第七章 埋弧焊 ·····	(132)
§ 7—1 埋弧焊的原理及特点·····	(133)
§ 7—2 埋弧焊机·····	(135)
§ 7—3 埋弧焊的焊接材料·····	(141)
§ 7—4 埋弧焊工艺·····	(147)
第八章 气体保护电弧焊 ·····	(154)
§ 8—1 气体保护电弧焊的原理及特点·····	(155)
§ 8—2 二氧化碳气体保护电弧焊·····	(157)
§ 8—3 氩弧焊·····	(165)
§ 8—4 熔化极活性混合气体保护焊·····	(174)
§ 8—5 药芯焊丝气体保护电弧焊·····	(175)
§ 8—6 气电立焊·····	(178)
第九章 等离子弧焊接与切割 ·····	(183)
§ 9—1 等离子弧产生的原理及特点·····	(183)
§ 9—2 等离子弧切割·····	(185)
§ 9—3 等离子弧焊接·····	(189)
第十章 电阻焊 ·····	(200)
§ 10—1 电阻焊的原理及特点·····	(200)
§ 10—2 电阻焊设备·····	(203)
§ 10—3 电阻焊工艺·····	(208)
第十一章 其他焊接、切割方法与技术 ·····	(214)
§ 11—1 钎焊·····	(215)
§ 11—2 电渣焊·····	(227)
§ 11—3 碳弧气刨·····	(228)

§ 11—4	摩擦焊与螺柱焊	(232)
§ 11—5	高能束焊及焊接机器人	(236)
第十二章 常用金属材料的焊接		(241)
§ 12—1	金属的焊接性	(242)
§ 12—2	常用焊接工艺措施	(247)
§ 12—3	非合金钢的焊接	(249)
§ 12—4	低合金高强度结构钢的焊接	(256)
§ 12—5	珠光体耐热钢的焊接	(260)
§ 12—6	低合金低温钢的焊接	(263)
§ 12—7	不锈钢的焊接	(266)
§ 12—8	铸铁的焊补	(276)
§ 12—9	铝及铝合金的焊接	(281)
§ 12—10	铜及铜合金的焊接	(286)
第十三章 焊接缺欠及检验		(291)
§ 13—1	焊接缺欠分析	(292)
§ 13—2	焊接质量检验	(299)
§ 13—3	焊接缺欠返修	(302)

第一章 焊接技术概述

一、教学目的和要求

1. 掌握焊接的原理、分类及优缺点。
2. 掌握电弧静特性术语，了解焊接电弧的产生条件、构造及温度分布。
3. 掌握防止触电、火灾、爆炸、中毒、辐射及特殊环境焊接的安全技术措施。
4. 理解焊接安全生产的重要性和焊接劳动保护措施。
5. 了解焊接技术的发展与应用概况。

二、教学难点、重点

1. 焊接的本质及优缺点。
2. 焊接电弧的产生条件、构造及温度分布。
3. 防止触电、火灾、爆炸、中毒、辐射及特殊环境焊接的安全技术措施。

三、学时分配

章节名称	学时	合计
§ 1—1 焊接及发展概况	2	12
§ 1—2 常用焊接热源	6	
§ 1—3 焊接安全技术与劳动保护	4	

四、教材分析与参考

§ 1—1 焊接及发展概况

1. 金属连接的方式

在金属结构和机器的制造中，经常需要用一定的连接方式将两个或两个以上的零件按一定形式和位置连接起来。金属连接方式可分为两大类：一类是可拆卸连接，即不必毁坏零件（连接件、被连接件）就可以拆卸，如螺栓连接、键和销连接等。另一类是永久性连接，也称不可拆卸连接，其拆卸只有在毁坏零件后才能实现，如铆接、焊接和粘接等。

需要注意的是，有些教材将拆卸时仅连接件毁坏而被连接件不毁坏的情况也归纳为可拆卸的连接，如铆接。而将连接件和被连接件全部毁坏后才能实现拆卸的连接方式称为永久性连接。一般情况下，可拆卸连接不用于制造金属结构，而用于零件的装配和定位；永久性连接通常用于金属结构或零件的制造中。

2. 焊接的本质

焊接就是通过加热或加压，或两者并用，用或不用填充材料，使焊件达到结合的一种加工工艺方法。

焊接与其他连接方法（如螺栓连接、键连接、铆接等）有本质的区别。在宏观上，焊接的结合是不可拆卸的，即通过焊接方法连接的工件成为了永久性的接头；在微观上，焊接的特点是在焊接件之间达成原子间的结合，对金属而言，就是在两焊接件之间建立了金属键。

金属等固体材料之所以能保持固定形状的整体，是由于其内部原子之间的距离足够小，原子之间形成了牢固的结合力。若想将材料分成两块，必须施加足够大的外力破坏这些原子间的结合。同样，若想将两块固体材料连接在一起，必须使这两块固体

材料连接表面上的原子之间的距离足够小，使其产生足够的结合力才行。

事实上，对于实际的焊接结构，不采取一定措施要做到这一点非常困难，原因有二：

一是待连接表面微观不平，即使经过精密磨削加工，其表面粗糙度也只能达到 μm （微米）级，仍大于原子间结合所要求的数量级（ $10^{-4} \mu\text{m}$ ）；

二是待连接表面存在氧化膜、油污和水分等，阻碍金属表面原子之间接近到晶格距离并形成结合力。

因此，要想实现焊接，就必须采取以下有效措施。

（1）利用热源加热被焊母材的连接处。加热可使材料软化或熔化，从而降低材料的变形抗力，破坏接触表面的氧化膜，还能增加原子的振动能，促进扩散、再结晶、化学反应和结晶过程的进行。

（2）对被焊母材的连接表面施加压力。加压可以清除接触表面的氧化膜，增加有效接触面积，使两个连接表面的原子相互紧密接触，并产生足够大的结合力。如果在加压的同时加热，上述过程更容易进行。

（3）对填充材料加热使之熔化。利用液态填充材料对固态母材润湿，使液—固界面的原子紧密接触，充分扩散，从而产生足够大的结合力实现连接。

以上三项措施正是熔焊、压焊和钎焊能够实现永久性连接的基本原理。

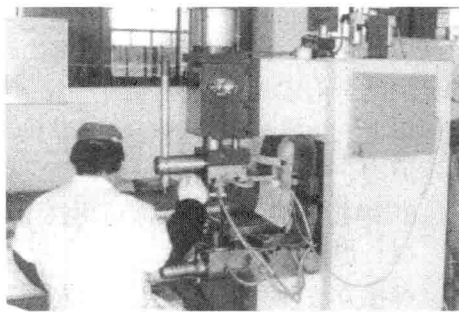
3. 焊接方法的分类及其适用性

（1）焊接方法的分类

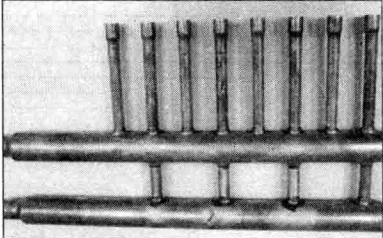
焊接方法种类繁多，且新的方法又不断出现，所以其分类方法甚多。目前最基本、最常用的分类方法是族系法，即根据某些特征将焊接方法分为若干大类，再根据其他特征又细分为若干小类。

按照族系法，首先，根据焊接过程中金属所处的状态不同，把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类。其次，将三大类方法再细分，如熔焊，按热源不同可细分为电弧焊、气焊、电渣焊等。然后，再往下分，如电弧焊，可根据电极熔化状态、保护方式不同细分为焊条电弧焊、钨极氩弧焊、等离子弧焊等。熔焊、压焊和钎焊的特点及图示见表 1—1。

表 1—1 熔焊、压焊和钎焊的特点及图示

焊接方法	特点	图 示
熔焊	焊接过程中，将焊件接头加热至熔化状态，在不外加压力的情况下完成焊接的方法	 焊条电弧焊 气焊
压焊	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	 筛网座多点电阻焊

续表

焊接方法	特点	图 示
钎焊	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、低于母材熔点的温度，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	 紫铜钎焊

(2) 焊接方法的适用性

焊接方法的适用性主要是指母材种类适用性和母材厚度适用性。母材种类不同，其物理性能、化学性能和力学性能不同，相适用的焊接方法也不同。如铝、镁及其合金等活泼的有色金属就不宜采用氧化性强的 CO_2 气体保护电弧焊，而适合选用氩弧焊方法；而对于低碳钢母材，由于其焊接性很好，几乎所有的焊接方法都适用。母材的厚度不同对所适用的焊接方法也有较大影响，即每种焊接方法都有特定适用的材料厚度。如气焊的能量分散、温度低，适用于单件薄板的焊接，而埋弧焊温度较高、热输入较大，适宜进行中厚板的焊接。常用焊接方法母材厚度的适用性如图 1—1 所示。常用焊接方法母材种类的适用性见表 1—2。

4. 焊接的特点

焊接与铆接、铸造相比，可以节省大量金属材料，减轻结构的质量，成本较低；简化加工与装配工序，工序较简单，生产周期较短，劳动生产率高；焊接接头不仅强度高，而且其他性能（如耐热性能、耐腐蚀性能、密封性能）都能与焊件材料相匹配，焊接质量高；劳动强度低，劳动条件好。

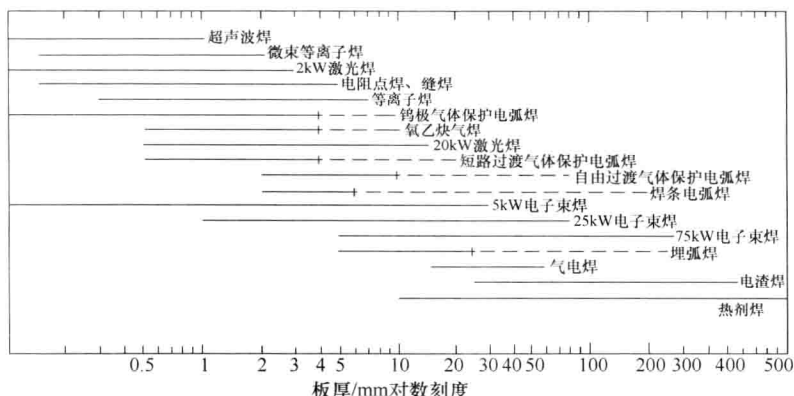


图 1—1 常用焊接方法母材厚度的适用性

注：1. 由于技术的发展，激光焊及等离子焊可焊厚度有增加的趋势。

2. 虚线表示采用多道焊。

焊接的主要缺点是产生焊接应力与变形，焊接中存在一定数量的缺欠，会产生有毒有害的物质等。

目前，世界各国年平均生产的焊接结构用钢已占钢产量的 50% 左右，所以焊接是目前应用极为广泛的一种永久性连接方法。

5. 焊接技术的新发展

焊接技术的新发展主要体现在以下几个方面：

(1) 提高焊接生产率，进行高效化焊接

提高焊接生产率，进行高效化焊接的途径主要有两个方面：

第一，提高焊接熔敷率。焊条电弧焊中的铁粉焊条、重力焊条和躺焊条工艺，埋弧焊中的多丝焊、热丝焊等均属此类，其效果显著。例如，三丝埋弧焊采用小坡口断面，背面设置衬垫，焊接 50~60 mm 厚的钢板可一次焊透成形，焊接速度可达到 0.4 m/min 以上，其熔敷效率超过焊条电弧焊 100 倍以上。

第二，减少坡口断面及熔敷金属量。近十年来最突出的焊接方法方面的成就是窄间隙焊接，其以气体保护焊为基础，利用单丝、双丝或三丝进行焊接。无论接头厚度如何，均可采用对接形式。

常用焊接方法母材种类的适用性

表 1—2

材料	厚度 /mm	焊接方法																
		焊条电弧焊	埋弧焊	气保护金属极电弧焊			药芯焊丝电弧焊	气保护钨极电弧焊	等离子弧焊	电渣焊	气体电焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊
				射流过渡	脉冲弧	短路电弧												
碳钢	~3	△	△	△	△	△		△			△	△	△	△			△	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	△			△	△	△	△			△	△
	6~19	△	△	△	△	△	△					△	△	△	△			△
	19 以上	△	△	△	△	△	△		△				△					
低合金钢	~3	△	△			△		△			△	△	△	△	△		△	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	△			△	△	△	△	△		△	△
	6~19	△	△	△	△	△	△					△	△	△	△		△	△
	19 以上	△	△	△	△	△	△		△				△	△	△		△	△
不锈钢	~3	△	△			△		△	△		△	△	△	△	△		△	△
	3~6	△	△	△	△	△	△	△	△		△	△	△	△	△		△	△
	6~19	△	△	△	△	△	△					△	△	△	△		△	△
	19 以上	△	△	△	△	△	△			△			△	△	△		△	△

续表

		焊接方法																									
材料	厚度 /mm	焊条电弧焊	埋弧焊	气保护金属极电弧焊			药芯焊丝电弧焊	气保护钨极电弧焊	等离子弧焊	电渣焊	电阻焊	闪光焊	气焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	硬钎焊							软钎焊		
				射流过渡	脉冲弧	短路电弧												火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊	红外钎焊	扩散钎焊			
铸铁	3~6	△											△						△			△		△			
	6~19	△	△	△			△						△						△	△		△		△			
	19以上	△	△	△			△						△						△	△		△		△			
镍及其合金	~3	△				△		△	△			△	△				△		△			△		△			
	3~6	△	△	△		△		△	△			△	△				△	△	△			△		△			
	6~19	△	△	△		△		△	△			△	△				△	△	△			△		△			
	19以上	△		△		△			△			△	△				△	△	△			△		△			
铝及其合金	~3					△		△				△	△				△		△			△		△			
	3~6					△		△	△			△	△				△	△	△			△		△			
	6~19					△		△	△			△	△				△	△	△			△		△			
	19以上					△			△			△	△				△	△	△			△		△			

续表

材料		厚度 /mm	焊接方法																								
			焊条电弧焊	埋弧焊	气保护金属极电弧焊			药芯焊丝电弧焊	气保护钨极电弧焊	等离子弧焊	电阻渣焊	电阻焊	闪光焊	气压焊	扩散焊	摩擦焊	电子束焊	激光焊	火焰钎焊	炉中钎焊	感应加热钎焊	电阻加热钎焊	浸渍钎焊	红外线钎焊	扩散钎焊	软钎焊	
钛及其合金	~3				射流过渡	△			△	△		△	△		△		△	△		△	△			△	△	△	
	3~6				△	△			△	△			△	△	△	△	△	△		△					△	△	
	6~19				△	△			△	△			△	△	△	△	△	△		△					△	△	
	19以上				△	△							△		△		△	△		△					△	△	
铜及其合金	~3				△	△			△	△			△				△	△	△	△	△				△	△	
	3~6				△	△				△			△			△	△	△	△	△	△				△	△	
	6~19				△	△							△			△	△	△	△	△					△	△	
	19以上				△	△							△			△	△	△	△	△					△	△	
镁及其合金	~3					△			△				△	△			△	△	△	△					△	△	
	3~6				△	△							△				△	△	△	△					△	△	
	6~19				△	△											△	△	△	△					△	△	
	19以上				△	△											△	△	△	△					△	△	

续表

		焊接方法																																
材料	厚度 /mm	焊	条	埋	气保护金属			药芯	气保	等离	电	气	电	电	阻	光	闪	气	扩	散	摩	电	激	硬钎焊						软钎焊				
		电	弧	弧	射	潜	脉	短	焊	丝	钨	弧	电	渣	电	阻	光	光	焊	焊	焊	束	光	火	中	感	电	阻	浸	红	外	扩	钎	焊
难熔合金	~3						△		△								△					△		△	△	△	△	△			△		△	
	3~6						△										△					△		△	△	△	△	△			△		△	
	6~19								△									△						△	△	△	△	△						
	19 以上																																	

注：带有“△”符号表示被推荐。

例如,厚度为 300 mm 的钢板,间隙可设计为 13 mm 左右,因而所需熔敷金属量成数倍、数十倍地降低,从而大大提高了焊接生产率。

电子束焊、等离子弧焊、激光焊等高能束焊接,可采用对接接头,且不必开坡口,因此是更理想的窄间隙焊接法,这就是近年来它们受到重视的主要原因。最新开发成功的激光电弧复合焊接法可以大大提高焊接速度,如焊接 5 mm 厚的钢板或铝板,焊接速度高达 2~3 m/min,极大地提高了焊接生产率。

(2) 提高焊接过程自动化、智能化水平

由于焊接质量要求严格,而劳动条件往往较差,因而焊接过程自动化、智能化是提高焊接质量,解决恶劣劳动条件的重要发展方向。焊接机器人的应用是提高焊接过程自动化水平的有效途径。目前,全世界工业机器人有 50% 以上应用于焊接技术。机器人虽然是一个高度自动化的装备,但从自动控制的角度来看,它仍是一个程序控制的开环控制系统,因而它不可能根据焊接时的具体情况进行适时调节,为此智能化焊接成为当前焊接界重视的焦点。智能化焊接的重点之一在于视觉系统的开发,目前,已开发出的视觉系统可使机器人根据焊接中的具体情况自动修正焊炬运动轨迹,有的还能根据坡口尺寸适时地调节工艺规范。此外,网络远距离控制技术也在焊接机器人上得到了部分应用。

(3) 研究开发新的焊接热源

焊接工艺几乎运用了世界上一切可以利用的热源,如火焰、电弧、电阻、激光、电子束、摩擦、微波等。而对新的更有效的焊接热源的研发一直都在进行,例如,采用两种热源的叠加可以获得更高的能量密度,如在等离子束中加入激光、在电弧中加入激光等。

(4) 提高焊接中的节能技术

节能技术是焊接工业中普遍关注的问题。众所周知,焊接消耗能源甚大,如焊条电弧焊机每台约 10 kVA,埋弧焊机每台约