

于增瑞 编著

焊条

HANTIAO
DIANHUIHAN



电弧焊



化学工业出版社

于增瑞 编著

焊条

HANTIAO
DIANHUAN

电弧焊



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从设备和工具、焊条、工艺过程、工艺和技术、金属材料焊接、应用与变型、焊接检验、安全技术与劳动保护、焊接成本计算等方面,对焊条电弧焊的知识进行了阐述,内容实用,可操作性强,尤其工艺操作等部分是作者多年实践经验的总结。书中内容采用最新标准。

本书可作为焊工和相关技术人员用书,并可作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

焊条电弧焊/于增瑞编著. —北京:化学工业出版社,
2013.1

ISBN 978-7-122-15607-5

I. ①焊… II. ①于… III. ①焊条-电弧焊 IV. ①TG444

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 244185 号

责任编辑:韩庆利

文字编辑:张燕文

责任校对:陈 静

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 435 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.80 元

版权所有 违者必究

前言

焊条电弧焊是目前生产中应用最多、最普遍的一种金属焊接方法，广泛应用于机械、冶金、建筑、桥梁、船舶、汽车、电力、电子、锅炉和压力容器、航空航天、军工和军事装备等产业部门。为了提高焊接从业人员的技术水平，增强人们在实际生产中解决问题的能力，编写了本书。

本书可作为焊工和相关技术人员用书，并可作为培训教材使用。书中从设备、工艺、材料到生产安全、质量检验等方面，将焊接人员在实际生产中所需的知识进行了详细阐述，并列举了大量典型实例，详细介绍了板、管、管板、三通的平焊、横焊、立焊、仰焊、下向焊等全位置焊接的操作要领。作者来自生产一线，有着多年的实践经验，书中有不少内容是作者的实践总结。

本书由于增瑞编著，在编写过程中得到了中国化学工程第十三建设有限公司焊接试验室主任高立华、张涛，工程师张利军、马琨，指导教师王宣利、师恩平的鼎力支持和帮助，在此表示衷心感谢。另外还得到了崔振兰、于新海、于新波、于新华等的支持。

由于时间仓促，书中难免存在不足之处，请批评指正。

编著者

目录

► 第一章 概述	1
第一节 焊接方法	1
第二节 焊条电弧焊	8
► 第二章 焊接电弧	12
第一节 焊接电弧的物理基础	12
第二节 焊接电弧的电特性	13
第三节 焊接电弧的极性	15
第四节 焊接电弧的稳定性和偏吹	17
第五节 电弧焊的熔滴过渡	20
► 第三章 熔化焊原理	24
第一节 焊接热循环和焊缝成形	24
第二节 焊接冶金	28
第三节 焊缝金属的结晶过程	31
第四节 热影响区和焊接接头	35
► 第四章 设备和工具	41
第一节 焊条弧焊机	41
第二节 焊条电弧焊常用工具和辅具	53
► 第五章 焊条	57
第一节 焊条的组成和作用	57
第二节 焊条的分类、型号和牌号	64
第三节 焊条的选用、保管和使用	77
第四节 焊条制造和发展现状	81
► 第六章 焊接工艺过程	87
第一节 一般规定	87
第二节 焊前准备	88
第三节 焊接工艺要求	93

第四节	焊前预热和焊后热处理	95
► 第七章	工艺和技术	102
第一节	焊接工艺参数选择	102
第二节	基本操作技术	105
第三节	全位置焊接的操作技巧	114
第四节	焊接缺陷及其预防措施	138
第五节	防止和减少焊接应力与变形的工艺措施	144
► 第八章	金属材料焊接	153
第一节	碳素钢	153
第二节	低合金钢	158
第三节	低温钢	165
第四节	耐热钢	168
第五节	不锈钢	175
第六节	镍和镍合金	192
第七节	铸铁	198
第八节	异种金属焊接	205
► 第九章	应用与变型	215
第一节	应用	215
第二节	变型应用	234
第三节	碳弧气刨	237
► 第十章	焊接检验	245
第一节	焊接检验过程	245
第二节	非破坏性检验	247
第三节	破坏性检验	252
► 第十一章	安全技术与劳动保护	255
第一节	一般规定	255
第二节	焊接安全用电	257
第三节	安全技术与防护	260
► 第十二章	焊接成本计算	263
第一节	影响成本的因素及成本构成	263
第二节	焊接材料用量	264
第三节	焊接时间和能源	267
► 附录	焊条熔化系数和熔敷效率的实验测定法	270
► 参考文献		272

第一章

概述

第一节 焊接方法

焊接是一门操作技能的艺术。它就像书画、绣花、雕刻一样令人赏心悦目。可以毫不夸张地说,技术熟练的优秀焊工就是金属加工的艺术师。随着科学技术的发展,焊接工艺逐步完善,焊接质量和生产效率不断提高,它已成为金属构件永久性连接的主要形式,广泛地应用于各类工矿企业、施工现场和修理部门中,像机械制造、汽车、造船、机车车辆,石油化工、海洋开发、航空航天、原子能、电力、建筑、电子技术、家用电器、休闲娱乐器械等,在国民经济中占有举足轻重的地位。

焊接的实质,是将两个分离的金属或非金属焊件,通过加热或加压或既加热又加压,使其达到熔化或某一特定温度(含热塑性状态),添加或不添加填充材料,使其达到原子或分子间的结合和扩散以达到永久性连接的工艺过程。这里应着重理解两点:其一,焊接接头是一个连续的整体,它的内在联系是原子或分子间的结合,被连接件应该是互相熔化或靠得非常近,近到原子力能互相作用的距离,约 $0.3\sim 0.5\text{nm}$,相当于一根头发丝的十万分之一;其二,为了使被连接件达到原子间的结合,就必须采用加热或加压的工艺方法。

一、焊接的发展

追溯焊接的历史,几乎可以与金属的历史相提并论,历史最悠久的要算钎焊和锻焊了。

熔化焊的兴起是近一百多年的事。1881年俄国人首先发现了碳极电弧并用于焊接金属。1910年瑞典人获焊条制造专利权,从此产生了药皮焊条电弧焊,简称焊条电弧焊。火焰气焊也应运而生,并很快得到发展,使焊接技术成为工业生产中的主要工艺手段。在20世纪30年代,电阻焊及埋弧自动焊试验成功,使焊接向机械化发展迈进了一大步。

在第二次世界大战中,随着航空、原子能、无线电技术的迅速发展,铝、镁、钛及其合金大量采用,这些化学性质活泼、氧化性强的金属给焊接带来了新的课题,于是产生并逐步完善了气体保护焊新工艺,钨极惰性气体保护焊和熔化极气体保护焊相继产生。到了20世纪50年代,世界上工业发展突飞猛进,焊接新能源、新工艺层出不穷,焊接技术出现了一个新的飞跃,药芯焊丝电弧焊为新材料开辟了新途径。电渣焊解决了特大厚度工件的焊接难点,爆炸焊为异种金属大面积焊接提供了高效率的可能,摩擦焊、等离子弧焊、电子束焊及激光焊在新的焊接领域中得到了惊人的成果。随着电子技术的发展,焊接过程的自动化取得了可喜的进展,焊接机器人和机械手相继问世。焊接检验技术也有长足的发展,射线和超声

波探伤已是常用的检验手段，声发射和涡流探伤发展也很快，近来焊接检验又出现了很多准确、简便、迅速而有效的新方法。总而言之，世界焊接技术正向着高效率、高质量、自动化发展。每一种焊接方法都有其各自的特点，不断地进行着新的变革，又出现了新的生命力，从而互相推动着焊接技术的发展。

二、焊接的特点

金属构件的永久性连接方法主要有焊接和铆接两种形式，与铆接相比，焊接具有以下特点。

① 重量轻，材料消耗可降低 20% 左右。

② 焊接接头强度高，致密性好，不易泄漏，能承受高温高压的苛刻工作条件，电导率高，能承受大电流的冲击。

③ 焊接操作噪声小，工具轻，劳动强度小。

④ 焊接工序少，便于生产过程机械化和自动化，生产效率高，材料消耗少，所以成本低。

⑤ 焊接可以胜任铆接无能为力的特厚大工件的连接，还可以进行铆接无法解决的修补和堆焊。

⑥ 由于焊接热过程的影响，不可避免地引起焊接应力和变形，同时也使金属的组织发生了变化，不利于承受冲击的动载荷。为了减少焊接应力和防止焊接变形，就必须采取必要的措施，例如反变形、刚性固定、预热和焊后热处理等，这就增加了工序的复杂性。

⑦ 要求焊工具有较高的操作技能，并有可靠的检验技术来保证焊接结构的安全。随着航海、航天、原子能、电站和工业锅炉及压力容器工业的发展，高强度低合金钢和有色金属等材料得到广泛应用，焊接结构的脆性破坏事故日益增多，因而对焊接的要求越来越严。由于高强钢的应力集中敏感性较大，焊缝中的微小缺陷（尤其是裂纹）就有可能导致脆性破裂的危险。然而焊缝中的微小缺陷往往是不可避免的，所以在高强钢焊缝中容易存在隐患。

⑧ 金属熔化时往往同时产生金属粉尘、有毒气体及有害射线，污染环境，影响焊工健康。

据统计，世界钢产量的 45% 用作焊接用钢，石油化工装置中的焊接结构量约占全部金属构件的 80%，焊接不仅是金属结构制作和现场安装的主要工艺方法，而且又是关键，所以焊接工程具有以下特点。

① 焊接工作量大。例如，制造一辆小轿车要 $(5 \sim 12) \times 10^3$ 个焊点，一艘 30×10^4 t 油轮有 14 km 焊缝，一架大型客机有 $(20 \sim 30) \times 10^4$ 个焊点，一座年产 30×10^4 t 氨厂有管道焊缝 4 万多条，焊条用量 200 多吨，一台 8250 m^3 的液氨球罐，焊缝总长 1257 m，焊条用量 5.8 t，一台 30×10^4 kW 的电站锅炉焊条用量为 94 t。

② 焊接材料种类多。主要有焊条、焊丝、焊剂、气体、衬垫和电极六大类。宇宙飞船、核电站、石油化工大型装置等，都要在极其苛刻的条件下工作。宇宙飞船以每秒十几千米的速度穿越大气层必然会产生高温。大型化肥厂，其工作压力从几乎是真空到 100 MPa，温度从 -196°C 至 800°C ，介质多为有腐蚀性、有毒性、易燃易爆等，因而必须选用不同的金属材料来满足苛刻工艺条件的要求。这就决定了焊接材料和焊接方法的多样性。

③ 焊接质量要求高。焊接装置在苛刻的条件下工作，没有高质量的焊缝就不能保证装置的安全运行。所以材料焊接前必须进行焊接工艺评定，焊工必须按评定合格的焊接工艺进行技能考核，焊缝必须按相关标准进行严格检验，不允许残留有害缺陷。

④ 难焊位置多。建设工地没有焊接车间，不在固定的地方施焊，多在露天或高空进行全位置焊接。特别是散装锅炉，常有腰直不起、身躺不下、头伸不进、眼看不见的焊缝。焊工不得不采用镜子作反光镜、软面罩、短焊炬、弯焊条以及两个人面对着面同时焊一个焊口的艰难操作。

⑤ 焊接工期要求紧迫。任何一个建设项目都为了尽快形成生产能力，以收到良好的社会效益和经济效益，在时间上都争分夺秒，有紧迫感，时间就是效益，就是金钱。巨大的焊接工作量，无一例外地都要限期完成，加班加点，经常是夜以继日地苦战。尤其是焊接球罐，不但要求焊工有精湛的操作技艺，还要有健壮的身体和毅力。

三、焊接方法分类

当我们走进焊接车间或建设工地时，会被繁多的焊接方法弄得眼花缭乱。有弧光闪闪的电弧焊、火焰熊熊的气焊、火星四溅的电阻对焊、青烟一缕的钎焊、惊天动地的爆炸焊、无声无息的扩散焊……

焊接方法种类繁多，而且随着科学技术的发展，新的方法不断涌现，已列入国家标准《焊接及相关工艺方法代号》GB/T 5185—2005（等同于ISO 4063—1998）中的方法就有90多种，因此如何对焊接方法分类是一个十分重要的问题。正确的分类不仅可以帮助读者了解学习各种焊接方法的特点和本质，而且可以为科技工作者开发新的焊接技术提供有力的根据。目前国内外著作中主要有以下几种分类法。

1. 族系法

根据焊接工艺中某几个特征将焊接方法分为熔化焊、固相焊和钎焊三大类，然后再根据其他特征细分为许多小类，形成族系。例如熔化焊按能源细分为电弧焊、气焊、电渣焊、铸焊等小类，电弧焊再分为明弧焊、埋弧焊等更小的类，直至分到某种焊接方法。

该方法的优点是按工艺特征分类，层次可多可少，比较灵活，主次关系比较明确。其缺点是没有一致的分类原则，例如熔化焊是以焊接过程中是否熔化为准则，固相焊是以是否固相结合、是否加压为准则，钎焊则以钎料为准则。因此对于某种焊接方法可能因强调的特征不同而有不同的分类，例如闪光对焊、熔化气压焊。此外，由于上下各层次分类的界限过于机械，不可能跨界交叉分类，以致有些焊接方法无法归类，如热喷涂。

熔化焊是通过加热使被焊金属熔化而结合的焊接方法，金属连接处必须加热到熔化形成一个共同的熔池，使被焊金属充分地混合在一起，完成扩散反应及共同结晶过程，当熔池冷凝后即可得到一个整体的接头。熔化焊是最重要的焊接方法，在焊接生产中占着主导地位。

固相焊又称压焊，是借助于压力使被焊金属结合的焊接方法，它又分加热和不加热两种。加热固相焊需将金属连接处适当加热，使其局部熔化或达到塑性状态，促进原子之间的扩散，在压力作用下形成一个整体的接头。不加热固相焊要求金属连接处表面十分清洁和平整光滑，靠压力破坏金属表面的氧化膜，使其发生局部塑性变形，实现原子间的互相扩散，形成一个整体的接头。固相焊特别适用于大面积焊接及异种金属焊接，在焊接技术中有其独特的地位。

钎焊是通过熔化的钎料而使被连接的金属结合的方法。钎焊过程中被焊金属本身不熔化，而是将熔点比被焊金属低的钎料熔化，并使其浸润到被焊金属的接缝间，利用液体金属与固态金属之间的互相溶解和扩散，形成一个整体的接头。钎焊是最古老的焊接方法，由于它不必熔化母材即可进行焊接，所以仍是重要的焊接方法，并已形成一个独立的体系。

表 1-1 焊接方法分类 (二元坐标法)

两材料结合时状态	焊接过程中的手段	焊接方法类型	电弧热		电阻热			高能束		混合热源		化学反应热		机械能			间接热能			
			药皮(焊剂)保护	气体保护	熔渣电阻	工频		高频		电子束	激光束	激光电弧	激光等离子	火焰	热剂	炸药				传热介质
						接触式	感应式	接触式	感应式											
液相	熔化不加压力	基本型	焊条电弧焊	熔化极气体保护焊	电渣焊						电子束焊	激光电弧复合焊	气焊及气割	热剂焊						
			埋弧堆焊	钨极氩弧焊																
			水下电弧焊	等离子弧焊																
			电弧点焊	药芯焊丝电弧堆焊																
			碳弧气刨	钨极氩弧堆焊																
	熔化加压力	基本型																		

表 1-2 常用材料适用的焊接方法

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	气电 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 焊
				射流 过渡	潜弧	脉冲 弧	短路 电弧													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			
碳钢	至 3	△	△		△	△	△		△				△	△	△				△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	6~19	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	19 以上	△	△	△	△	△		△	△		△		△	△	△			△	△	△						△	
低合金钢	至 3	△	△		△	△		△	△				△	△	△				△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	6~19	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	19 以上	△	△	△	△	△		△	△		△		△	△	△			△	△	△						△	
不锈钢	至 3	△	△		△	△		△	△				△	△	△				△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	6~19	△	△	△	△	△		△	△			△	△	△	△			△	△	△						△	
	19 以上	△	△	△	△	△		△	△		△		△	△	△			△	△	△						△	
铸铁	3~6	△	△												△											△	
	6~19	△	△	△	△	△									△										△		
	19 以上	△	△	△	△	△									△										△		
镍和合金	至 3	△	△		△	△		△	△				△	△	△				△	△	△	△	△	△	△	△	
	3~6	△	△	△	△	△		△	△				△	△	△				△	△	△					△	
	6~19	△	△	△	△	△		△	△				△	△	△				△	△	△					△	
	19 以上	△	△	△	△	△		△	△		△		△	△	△				△	△	△					△	

续表

材 料	厚度 /mm	焊 接 方 法																				软 钎 焊						
		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	气电 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								
				射流 过渡	潜弧	脉冲 弧	短路 电弧													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			
铝和合金	至 3			△				△					△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	3~6			△				△					△	△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	6~19			△				△						△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	19 以上			△				△			△			△	△	△		△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
钛和合金	至 3							△					△	△	△	△		△	△	△	△			△	△	△	△	△
	3~6							△					△	△	△	△		△	△	△	△			△	△	△	△	△
	6~19			△				△						△	△	△		△	△	△	△			△	△	△	△	△
	19 以上			△				△						△	△	△		△	△	△	△			△	△	△	△	△
铜和合金	至 3							△						△	△			△	△	△	△			△	△	△	△	△
	3~6			△				△						△	△			△	△	△	△			△	△	△	△	△
	6~19			△				△						△	△			△	△	△	△			△	△	△	△	△
	19 以上			△				△						△	△			△	△	△	△			△	△	△	△	△
镍和合金	至 3																	△	△	△	△							
	3~6			△											△	△			△	△	△							
	6~19			△											△	△			△	△	△							
	19 以上			△											△	△			△	△	△							
难熔合金	至 3																	△	△	△	△			△	△	△	△	△
	3~6																	△	△	△	△			△	△	△	△	△
	6~19			△														△	△	△	△			△	△	△	△	△
	19 以上			△														△	△	△	△			△	△	△	△	△

注：有△表示被推荐。

2. 一元坐标法

该法是以焊接工艺中的某两个特征作为归类准则。这种单纯以工艺的外部特征作为分类准则的分类方法称一元坐标法。以一个特征作为横坐标，另一个特征作为纵坐标列出表格。例如，以保护方法（真空、惰性气体、活性气体、焊剂、机械排除）作横坐标，以能源（化学热、电弧热、电阻热、放射能、机械能）作纵坐标，然后将各种焊接方法按其所具有的两个特征列入表内的某一坐标位置。其优点是可以根据分类图表直接了解某一焊接方法的某些特征，这是一种开放型分类法，适应性较强，无论今后出现什么新的焊接方法，均可在表中直接纳入一定位置。其缺点是以统一固定的两个特征作为所有焊接方法的归类准则，这就未必都能确切地反映某个特定的焊接方法的主要特征。另外，没有反映两种材料在什么状态下形成结合的最本质的特征。

3. 二元坐标法

该法是以焊接工艺特征为一元，在横坐标上分层列出其主次特征，类似于族系法。同时又以焊接时物理冶金过程特征作为另一元，在纵坐标上分层列出其主要特征，首先从两种材料发生结合时的物理状态为焊接过程最主要的特征，其次以焊接过程中材料是否熔化、是否加压作为第二特征。

在横坐标中，对于能源类型宜按其强度大小，依次分为高能束、电弧热、电阻热、化学热、机械能、间接热能六大类，每一大类又按各自的特征分为若干细类，如电阻热大类先分为熔渣电阻热及固体电阻热，固体电阻热又分为工频和高频、接触式和感应式分支。

这种分类法不仅具备上述两种分类法的优点，而且还抓住了焊接工艺和焊接冶金过程两个关键的特征作为坐标参数，比较科学。可以使读者从分类中看出某种焊接方法的工艺主要特征，还可以看出该方法的焊接过程和产生结合的本质特征。焊接方法二元坐标分类法见表 1-1。

四、焊接方法的选择

选择焊接方法时，首先必须保证焊接产品的质量优良可靠，其次应考虑生产效率、焊接成本、能获得较好的经济效益和社会效益。这应根据产品特点、工件厚度、接头形式及焊接位置、母材性能、技术水平、焊接设备、焊接材料等多种条件，综合权衡、反复推敲，以选择最适宜的焊接方法。推荐选择方法见表 1-2。

第二节 焊条电弧焊

用手工完成全部焊接操作的焊接方法称为手工焊，利用电弧热作为热源的熔化焊方法称为电弧焊，用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊方法称为手工焊条电弧焊，简称焊条电弧焊。国际通用代号 SMAW，是 Shielded Metal Arc Welding 的缩写，在图样上的代号是 111。

一、焊条电弧焊的操作过程

图 1-1 所示为焊条电弧焊的工作原理。它利用电弧热熔化母材和焊条端部。焊条和工件是电路的一部分，通常称为焊接电路，也称基本电路。此电路以电源为起点，包括焊接电缆、焊钳、接地线夹钳、工件和焊条。由电源引出的两条电缆，一条接工件，另一条接焊钳。焊工握住焊钳，夹住焊条，启动焊机，用焊条的端部碰撞母材引燃电弧。电弧燃烧所产生的高温使焊条药皮与焊芯及工件表面熔化，熔化的焊芯端部迅速地形成细小的金属熔滴，通过弧柱过渡到局部熔化的工件表面融合在一起形成熔池。当焊条熔化时，焊条药皮跟着熔

化和蒸发,形成熔渣和保护气体。碱性渣系主要生成二氧化碳,酸性渣系主要生成二氧化碳、一氧化碳、水蒸气和氢气,保护熔池和焊缝免遭空气侵入而氧化,直至结晶固化。熔渣还和熔化了了的焊芯、母材发生一系列的冶金反应,保证焊缝的性能。随着电弧以一定的弧长和焊速在工件上不断地沿着焊缝方向前移,熔池液态金属逐步冷却结晶形成焊缝。

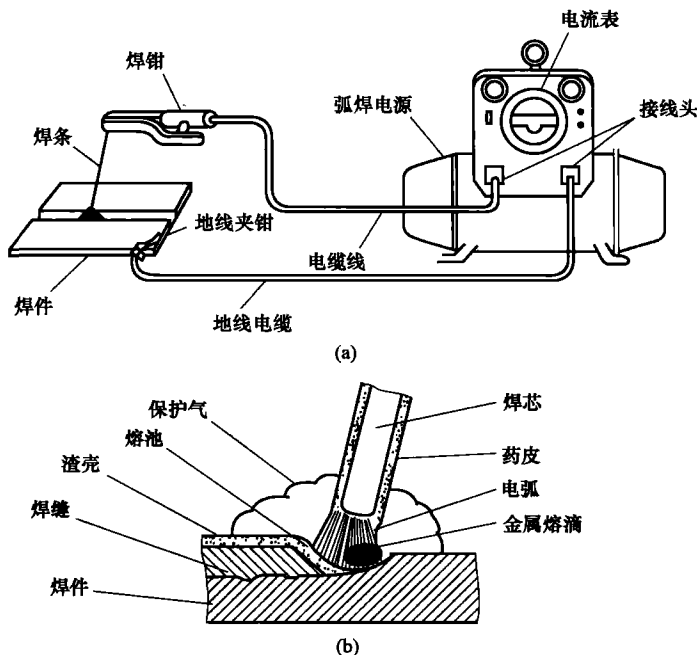


图 1-1 焊条电弧焊工作原理

二、设备

焊条电弧焊的设备是简单的,仅需要一台 20~500A 电流的弧焊机、一把焊钳和地线夹钳、一个焊条筒和在焊接电路中使用的电缆线和接头。弧焊机可以是直接接入供电网络的弧焊变压器、弧焊整流器或逆变焊机。在没有电源的地方,焊工可以使用由柴油或汽油驱动的弧焊发电机。

弧焊机应该具有陡降的外特性曲线,以便在操作过程中获得恒定的电流,如图 1-2 所示。具有陡降外特性曲线的弧焊机,当弧长发生变化时(即弧焊电压变化),输出电流也发生变化,但是波动范围较小,这一点对于手工焊条电弧焊特别重要,因为手工操作保持弧长不变是很困难的。焊接根层或在困难位置施焊时,选用较小的电流,如图 1-2 中曲线 a 所示;填充时可选用较大的电流,如图 1-2 中曲线 b 所示,该曲线比较扁平。

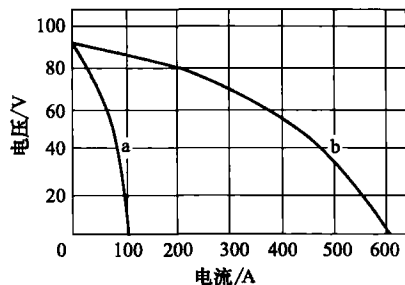


图 1-2 焊机陡降的外特性曲线

弧焊机的空载电压一般为 60~90V,工作电压一般为 16~40V,电流为 20~500A。

弧焊机有交流和直流之分,如果距离较远,应选用交流焊机,因为沿电缆的电压降较小,交流焊机又具有价格便宜的优点。如果使用小电流焊接薄工件或者在困难位置的焊接,则应选用直流焊机,以获得可靠的引弧和使用较小的电流。不过直流焊机有磁偏吹现象,会

给焊接带来小小的麻烦，且价格较贵。

三、电焊条

供焊条弧焊使用的熔化电极称电焊条，简称焊条。焊条由焊芯和药皮组成。焊条前端的药皮有小于 45° 的倒角，便于引弧；尾部有一段裸焊芯，约占焊条总长的 6%，便于焊钳夹持和导电。焊条的直径实际上是指焊芯的直径，最细的焊条只有 1.6mm，最粗的可达 8mm。焊条的长度一般在 250~450mm 之间，最长的可达 700mm。

焊芯是由用于焊接的专用金属丝制作的，可分为碳钢、低合金钢、不锈钢等若干类。

焊条药皮含有能产生保护气体、使熔渣富有流动性、稳定电弧和其他所需特性的成分，如脱氧剂、合金元素以及为了提高效率而加的铁粉等。详情请参阅第五章焊条。

四、焊条电弧焊的特点

1. 优点

① 设备简单轻巧，移动方便，维修容易。无论是交流还是直流焊机，都很容易掌握，使用方便、简单、可靠。使用柴油或汽油驱动的弧焊发电机，可以在无电源的农场、矿山完成其他工艺无法完成的焊接工作。在严密的帐篷中生上火炉，可以完成穿越北极圈或俄罗斯大草原的长输管道焊接。

② 操作灵活，适应性强。可以在室内或露天作业，广泛地应用于管道、锅炉、容器、船舶、桥梁、建筑、安装、机械制造，以至于水下焊割作业中。可以成功地焊接碳钢、低合金钢、不锈钢、镍及其合金、铸铁、铝和铜等有色金属及异种金属，还可以用于各种金属材料，特别是耐磨合金的堆焊。

焊条电弧焊是应用最广泛的焊接工艺，即使在工业极为发达的欧美国家，焊条电弧焊所占的比例也大于 50%，特别是对不规则的焊缝、短焊缝、仰焊缝、高空和狭窄位置的焊接，更显得机动灵活、操作自如。凡是焊条可以达到的地方，都能够进行焊接。

③ 适于全位置焊接。适于平焊、横焊、立焊、仰焊、斜焊等全位置焊接。使用弯曲的焊条、利用镜子反光、戴软面罩等可以焊接看不见的位置，这在散装锅炉安装和修理中是经常会遇到的。

④ 不需要辅助气体保护，焊条不但提供填充金属，而且在焊接过程中能够产生使熔池和焊缝避免氧化的保护气体，并且具有较强的抗风能力。

⑤ 焊接质量好。由于电弧温度高，焊接速度快，热影响区小，焊接接头的性能比氧-乙炔焊优越得多。由于焊条和焊机的不断改进，接头的性能均能得到有效的控制，完全达到甚至超过母材的各项指标。焊条电弧焊易于分散焊接应力和控制焊接变形，这主要是通过调整工艺来实现的，例如跳焊、对称焊、逆向分段退焊等方法。

2. 缺点

① 生产效率低。由于焊条的长度有限，必须经常换焊条。由于焊条药皮决定了不能选用很大的电流密度，否则药皮会成片脱落及过早熔化而失去保护作用，特别是焊条的后半截容易变红黄，甚至呈筒状脱落。层间及更换焊条时需仔细清渣，这对气体保护焊是不需要的。这些都限制了焊条电弧焊单位时间内所能熔敷的金属量。提高生产效率的主要途径是推广高效率焊条和采用高效率焊接法，例如推广高效率铁粉焊条，推广躺焊和重力焊方法。

② 要求焊工具有较高的操作技能，培训费用高。在焊条电弧焊中，焊工是保证焊接质量的关键。这主要靠焊工技能培训考核和严格执行各项工艺规程来提高焊工的操作技能。另外也可以采用钨极氩弧焊打底、焊条电弧焊填充盖面的组合焊法来保证焊接质量。

③ 不能焊接低熔点金属及其合金。例如铅、锡、锌、镉及其合金。焊条电弧焊的温度可达 6000℃，这样的温度对于这些金属实在是太高了。

④ 不能焊接易氧化的活性金属。像钛、铌、锆、钽、镁及其合金。焊条电弧的保护作用不足以防止这些金属的氧化。虽然也能焊铜、铝及其合金，但焊接质量不如钨极氩弧焊好。

⑤ 不能焊接内部要求洁净管道的根层焊道及特薄工件。因为熔渣会流到根层焊道的背面，解决的办法是加衬垫或用氩弧焊打底。用焊条电弧焊焊接薄件比较困难，因为温度高，容易烧穿。我国焊条的最小直径是 1.6mm，用它焊接 1.5mm 及以上的工件是可以的，可焊接小于 1.5mm 的工件就困难了，特别是小于或等于 1mm 的工件。

⑥ 劳动条件差。焊条电弧焊主要靠焊工的手工操作和眼睛观察来完成焊接全过程，劳动强度大，并且始终处于高温烘烤和有毒的烟尘环境中，尤其是容器内焊接。因此要加强劳动保护。

焊条电弧焊由于它的简单性、通用性、方便性和适用于任何场所，并能焊出优质的焊接接头，即使在相当长的一段时间内，在焊接领域里仍将占有相当的优势。