

# 焊接材料研制 理论与技术

张清辉 吴宪平 洪波 编著

北京  
冶金工业出版社  
2002

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了焊接材料研制过程中的理论和技术问题,对焊接材料从被加热到端部熔化,通过电弧区到达熔池,最终凝成焊缝的整个焊接过程中的物理现象和化学反应都有所涉及,特别阐述了药粉在焊接过程中和在焊缝中所起的反应、作用及其影响,对于从事焊接工作的专业人员有实际指导意义。

本书可作为高等学校材料成形与控制工程专业的参考书,也可供从事焊接材料研制与生产以及从事焊接技术工作的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

焊接材料研制理论与技术 / 张清辉等编著:

—北京:冶金工业出版社,2002.1

ISBN 7-5024-2955-7

I. 焊… II. ①张… ②吴… ③洪…

III. 焊接材料 IV. TG42

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004852 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 宋 良 美术编辑 王耀忠 责任校对 侯 璐 责任印制 刘 静

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2002 年 1 月第 1 版,2002 年 1 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32;7.25 印张;193 千字;222 页;1—2000 册

20.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)



# 前 言

本书比较全面地介绍了焊接材料研制过程中的理论问题,内容包括焊接材料的加热及端部熔化,通过电弧区到熔池最终凝成焊缝整个过程中的物理现象和化学反应,但尽量避免繁多的公式罗列和抽象概念的介绍,读者通过自学均可掌握,达到研制各种焊接材料和控制焊接材料质量的目的。

作者通过几十年来研制焊接材料的实践,积累了一些经验或技术性的东西,有的也上升为理论,并在阅读大量有关焊接材料研制理论书籍的基础上,零星收集,经过筛选,取其精华,最终将有关新旧理论和技术加以整理,分5章写成此书。有关药粉在焊接过程中与焊缝所起的反应、作用及其影响等内容,绝大部分是我们工作经验的积累,在以往的书籍中是难以找到的,我们把它整理在书中,以供参考。本书的内容较为完整,取材广泛,既有较全面的理论阐述,又有实际经验介绍,对原来从事焊接工作的技术人员,有助于知识更新;对新从事焊接工作的技术人员,有助于加强理论基础和快速汲取实践经验;对改行从事焊接工作的人员,有助于系统学习关于焊接材料研制的理论与技术。

本书由张清辉教授(湘潭大学)、吴宪平教授(长沙大学)、洪波副教授(湘潭大学)编著,由湘潭大学彭炎荣教授主审。在编写过程中,得到华中科技大学许多老师的支持,特别是周兴中老师,若干年前就提供过有价值的资料;北京市精新焊接材料研究所所长贾世文同志也提供了许多焊接材料研制方面的资料;本书的插图、打字得到张剑锋、李学超、胡宁静等同志的帮助;长沙大学也为本书出版工作提供了经费。在此一并表示衷心感谢。

由于我们工作的局限性,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者  
2000.11

EAA14/05



张清辉，湖南益阳人，1945年生，1970年毕业于华中工学院，现任湘潭大学焊接应用研究所所长、教授。湖南省优秀中青年专家，享受政府特殊津贴。

研究方向为特种焊接材料，如耐磨焊条和药芯焊丝等，获省部级科技进步奖3项，鉴定成果7项，国家发明专利5项，发表论文30余篇。



吴宪平，湖南长沙人，1950年生，1987年毕业于华南理工大学，获硕士学位，现任长沙大学工程系主任、教授，湖南省机械工程学会副理事长。

研究方向为焊接技术和焊接机械，获部级科技进步奖1项，鉴定成果3项，国家发明专利1项，发表论文30余篇。

# 目 录

绪论	( 1 )
0.1 焊接材料发展沿革	( 1 )
0.2 我国焊接材料研究与生产现状	( 3 )
0.3 我国焊接材料与发达国家的差距	( 5 )
0.4 焊接材料发展趋势	( 6 )
<b>1 焊接冶金过程概论</b>	( 9 )
1.1 焊接过程特点	( 9 )
1.2 焊条金属的熔滴	( 10 )
1.3 焊接熔池	( 12 )
1.4 焊接熔渣	( 16 )
1.4.1 熔渣及熔渣的作用	( 16 )
1.4.2 对熔渣的基本要求	( 17 )
1.4.3 熔渣的组成与酸碱度	( 18 )
1.5 焊接过程反应区	( 21 )
1.5.1 药皮反应区	( 21 )
1.5.2 焊条端熔滴形成区	( 23 )
1.5.3 熔滴反应区	( 23 )
1.5.4 熔池反应区	( 24 )
1.6 焊缝金属的一次结晶	( 25 )
1.6.1 焊缝金属一次结晶的特点	( 25 )
1.6.2 焊缝中的偏析	( 27 )
1.6.3 焊缝中的夹杂物	( 29 )
1.6.4 熔合区的性质	( 30 )

<b>2</b>	<b>焊缝金属气体及硫磷的控制</b>	( 31 )
2.1	焊缝金属的氧化及其控制	( 31 )
2.1.1	焊接时金属氧化的影响	( 31 )
2.1.2	焊接时金属的氧化	( 33 )
2.1.3	金属氧化的控制	( 40 )
2.1.4	焊缝金属的渗合金	( 49 )
2.2	氢对焊接接头质量的影响及其控制	( 56 )
2.2.1	氢在钢中的溶解与扩散	( 56 )
2.2.2	氢的危害	( 58 )
2.2.3	氢的来源及其控制	( 60 )
2.3	氮对焊接接头质量的影响及其控制	( 63 )
2.3.1	焊缝金属被氮化的方式	( 63 )
2.3.2	氮对焊缝金属性能的影响	( 66 )
2.3.3	氮的控制	( 67 )
2.4	硫磷杂质及其控制	( 68 )
2.4.1	硫磷的危害	( 68 )
2.4.2	硫磷的来源及其控制	( 70 )
<b>3</b>	<b>焊条</b>	( 74 )
3.1	对焊条的基本要求	( 74 )
3.2	焊条的组成	( 74 )
3.2.1	焊芯	( 75 )
3.2.2	焊条药皮	( 77 )
3.3	焊条工艺性能及其影响因素	( 78 )
3.3.1	焊条的稳弧性	( 78 )
3.3.2	焊缝成型	( 79 )
3.3.3	焊条的脱渣性	( 85 )
3.3.4	焊条焊接时的飞溅	( 86 )
3.3.5	焊条熔化速度	( 87 )

3.3.6	焊条发尘量及烟气的毒性 .....	( 88 )
3.3.7	焊条全位置焊接的适应性 .....	( 89 )
3.3.8	焊条药皮发红 .....	( 89 )
3.4	焊条分类及型号编制方法 .....	( 89 )
3.4.1	焊条分类 .....	( 89 )
3.4.2	焊条的型号和牌号 .....	( 90 )
3.5	焊条配方设计 .....	( 93 )
3.5.1	设计原则 .....	( 93 )
3.5.2	设计方法 .....	( 93 )
3.5.3	设计步骤 .....	( 93 )
3.5.4	设计举例 .....	( 95 )
3.6	典型焊条的配方与冶金特点 .....	( 98 )
3.6.1	钛钙型焊条 E4303(结 422)特点 .....	( 98 )
3.6.2	低氢型焊条 E5015(结 507)特点 .....	( 106 )
3.6.3	一种中等硬度堆焊焊条的特点 .....	( 114 )
3.7	焊条制造简述 .....	( 125 )
3.7.1	焊丝制备 .....	( 125 )
3.7.2	铁合金的制备 .....	( 127 )
3.7.3	水玻璃的制备 .....	( 127 )
3.7.4	涂药的制备与涂敷 .....	( 129 )
3.7.5	焊条的烘干 .....	( 130 )
<b>4</b>	<b>焊剂 .....</b>	<b>( 132 )</b>
4.1	焊剂的分类 .....	( 132 )
4.1.1	按焊剂用途分类 .....	( 132 )
4.1.2	按焊剂制造方法分类 .....	( 132 )
4.1.3	按焊剂化学成分分类 .....	( 133 )
4.1.4	按焊剂化学性质分类 .....	( 133 )
4.1.5	按焊接颗粒结构分类 .....	( 134 )
4.2	焊剂的型号和牌号 .....	( 134 )



4.2.1	焊剂的型号 .....	(134)
4.2.2	焊剂的牌号 .....	(135)
4.3	焊剂的质量要求 .....	(137)
4.4	焊剂的组成及用途 .....	(138)
4.4.1	熔炼焊剂 .....	(138)
4.4.2	陶质焊剂(黏结焊剂) .....	(141)
4.4.3	烧结焊剂 .....	(141)
<b>5</b>	<b>焊丝 .....</b>	<b>(144)</b>
5.1	焊丝的分类 .....	(144)
5.2	焊丝的型号和牌号 .....	(144)
5.2.1	焊丝的型号 .....	(144)
5.2.2	焊丝的牌号 .....	(146)
5.3	焊丝的生产 .....	(148)
5.3.1	实心焊丝的生产 .....	(148)
5.3.2	药芯焊丝的生产 .....	(148)
5.4	焊丝表面质量与处理 .....	(149)
5.4.1	焊丝的表面质量 .....	(149)
5.4.2	焊丝的表面处理 .....	(150)
5.5	实心焊丝 .....	(150)
5.5.1	埋弧焊用实心焊丝 .....	(150)
5.5.2	气体保护焊用实心焊丝 .....	(152)
5.5.3	电渣焊用实心焊丝 .....	(156)
5.5.4	硬质合金堆焊用实心焊丝 .....	(156)
5.6	药芯焊丝 .....	(164)
5.6.1	埋弧焊 .....	(164)
5.6.2	CO <sub>2</sub> 气体保护焊 .....	(165)
5.7	自保护焊丝 .....	(168)
<b>6</b>	<b>附录 .....</b>	<b>(170)</b>

6.1	各种药粉在焊接过程中和焊缝中 所起的作用与影响 .....	(170)
6.2	各种药粉在焊接过程中的反应 .....	(182)
6.3	某厂焊接材料生产用原材料标准 .....	(191)
6.4	焊条配方示例 .....	(219)
	<b>参考文献</b> .....	(222)

# 绪 论

焊接材料是决定焊接接头质量的关键因素之一,有人说焊接是七分材料三分工艺,不管此说正确与否,它确实表明焊接材料的重要性。在电弧焊接发展初期,用光焊条进行焊接,不易引燃电弧,电弧不稳定燃烧,焊接飞溅大,焊缝不连续,成形极差;因缺乏保护作用,空气直接参与了焊接时的冶金过程,焊缝金属吸收了大量气体(氮和氢),金属的性能极脆,焊接接头没有实用价值。而如今焊接材料的发展进入药芯焊丝时代,用药芯焊丝进行焊接,自动化程度高,生产率高,焊缝能获得广泛的合金元素,可获得各种优质的焊接接头,使焊接材料的发展进入崭新时代,推动了整个焊接事业的发展。

焊接材料从光焊条到薄药皮焊条、厚药皮焊条、埋弧焊丝、气体保护焊丝直到今天的药芯焊丝,经过了长时期的发展,每种新材料的出现都使得焊接的发展产生了一个新的飞跃。

## 0.1 焊接材料发展沿革

焊接的发展基本上是焊接材料和焊接方法的发展,相辅相成,互相促进,又互相制约。

1802年,俄国科学家彼得洛夫发现了电弧现象,并证明了利用电弧熔化金属的可能性。1881年,俄国发明家贝纳尔多斯发明了利用炭精电极进行电弧焊接的方法。利用电弧焊焊接零件时,不需要对整个零件进行加热。任何尺寸和任何外形的金属结构都可以用牢固而密实的焊缝接合起来,这样就出现了电弧焊,这是19世纪的一项杰出的发明。但是当时焊接材料的研制没有跟上去,未达到实用的程度。贝纳尔多斯的同代人,俄国工程师斯拉维亚诺夫用金属熔化电极代替炭精电极,从而完善了贝纳尔多斯的

发明,这位发明家建议用熔渣保护焊缝,不让空气进入焊缝之中,从而使焊缝更加坚实可靠。1888年,俄国的N.G.斯拉文诺夫发明了光焊条。但光焊条有电弧不稳定等一系列缺点,不能达到实用目的。

20世纪科学技术的杰出成就,奠定了现代焊接方法的基础。20世纪20年代,出现了薄药皮焊条,即在光焊条表面涂上1%~2%的稳弧剂(黏土和石灰),虽然焊接能顺利进行,但未能克服其他缺点,焊接接头质量极为低劣,终被淘汰。20世纪30年代后期,出现了优质电焊条,也就是目前仍在使用的所谓厚药皮焊条。这种厚药皮焊条是在光焊丝上涂有40%~50%由10种左右的矿石粉、化学药品和铁合金等组成的药粉,起着造渣、造气、稳弧、稀释、合金、脱氧、黏结、增塑等作用,保证了焊接过程的稳定以及优质焊接接头的获得。由光焊条到薄药皮焊条再发展到优质厚药皮焊条,焊接技术发生了几次飞跃。20世纪40年代后期出现的埋弧焊技术,促进了焊接过程的机械化和自动化,随着这种技术的出现,促使人们研究出各种各样的自动焊焊丝和焊剂,以及适用不同钢材的焊接方法。20世纪50年代,各种气体保护焊的出现使得焊丝的品种进一步增加,但是这些焊丝都是实心焊丝,其共同点是焊丝中的合金元素都较少,因为合金元素含量过多,焊丝就变得硬脆而无法拉制成盘圆的长丝。针对实心焊丝这一弱点,20世纪50年代发展起来了高效优质的焊接材料——药芯焊丝。这种焊丝的外皮是由钢带逐步轧制成圆筒形,合金粉末在轧制过程中被注入其内,在进一步轧制过程中封口并被拉细拉紧。这样在焊丝的芯部合金成分得到较宽范围的调整,使焊出的焊缝有不同的合金元素,焊缝性能也就很不相同。它既保留了手工电焊条成分可调的优点,又克服了手工焊不能实现连续自动焊接的缺点,其熔敷效率可达手工电焊条的4倍左右。与近10多年来推广的CO<sub>2</sub>气体保护焊相比,可调整药芯的合金元素,焊接各种类型钢材,克服了CO<sub>2</sub>焊飞溅大,工艺性能差的缺点。成为目前最完美的焊接材料。

焊接材料大致可分为手工焊接材料(以电焊条为主)和自动焊

接材料(以各种焊丝为主)。从目前的应用情况来看,这两方面都还不能忽视。手工焊在相当长一段时间内还不会淘汰,因为它比自动焊灵活,特别是对于短焊缝、形状不规则的焊缝、质量要求高的焊缝等,往往只能采取手工焊。自动焊接材料当然不容忽视,采用自动焊丝可大大提高生产率。目前国内外都在努力提高焊接自动化程度,自动焊接材料在焊接材料中所占比例不断增加,手工焊接材料比例不断下降,但是手工焊接材料在我国的绝对生产量目前还不会减少。不管是手工焊接还是自动焊接,在焊接时都形成焊接熔池,在熔池里进行着复杂的物理化学反应。如果说炼钢炉内进行的是大冶金的话,那么焊接熔池里进行的算是小冶金,所以早期的焊接理论源于钢铁的冶炼理论。但炼钢炉内大量炼的是普通钢,而焊接熔池里更大比重是炼特殊钢。即使是普通钢材的焊接,小熔池里的冶金反应也较普通炼钢炉中复杂,这是由焊接小熔池的特殊性决定的。比如说焊接熔池中冶金反应时间很短暂,化学反应极难达到平衡;另外,小熔池的冷却速度比炼钢浇铸冷却速度快得多等等,使得焊接冶金比钢铁冶炼有更大的特殊性。因此,随着焊接技术的提高,焊接冶金的理论也得到了发展,有了自己的一套理论,并将进一步发展,以提高焊接材料的质量,增加品种,以满足越来越多的新材料结构焊接的需求。

## 0.2 我国焊接材料研究与生产现状

我国是一个钢铁大国,但不是钢铁强国。我国的钢年产量1998年就达1.14亿吨,这些钢材约有50%作为结构材料需要焊接。根据焊接自动化水平的不同,焊接材料的消耗量占结构钢材消耗量的0.6%~1.6%,所以我国自然成了焊接材料生产的大国,但同样不是焊接材料生产强国。目前世界各国焊接材料年产量约为400多万吨,我国大约为130多万吨,居世界第1位。焊接材料应包括各种电焊条、埋弧焊丝,气体保护焊丝、药芯焊丝、焊剂,以及各种保护气体、钎料、焊粉等。现就主要的焊条和焊丝谈谈国内的研制与生产情况。

新中国成立以前,全国只有几家小作坊,采用手工方法蘸制电焊条,焊条质量差,多用于修补工作。我国的焊条制造业于1950年兴起,1952年上海电焊条厂研制了第一台螺旋式焊条涂料机,使焊条生产进入机械化生产阶段,焊条品种也由早期的仿制转变为独立研究开发,焊条制造业已成为机械制造业中不可缺少的独立行业。到1972年,全国有130多种焊条进入市场;到1997年,列入新编《焊接材料产品样本》中的焊条品种达386个。目前国内焊条年产量达90万吨,除满足国内市场外,每年大约出口10万吨,销往40多个国家和地区。从20世纪50年代到80年代,我国焊接自动化生产工艺转为以埋弧焊为主,这期间研制了多种埋弧自动焊丝,均为实心焊丝,目前埋弧焊丝的年产量在10万吨以上。继埋弧焊工艺的迅速应用,又出现了各种气体保护焊,随之又研制了多种气体保护焊焊丝,在各种气体保护焊中,近20年来 $\text{CO}_2$ 气体保护焊得到长足发展。我国研究 $\text{CO}_2$ 气体保护焊实心焊丝与研究埋弧实心焊丝几乎是同步进行的,也是从20世纪50年代开始研制,但由于各种原因,直到80年代初,熔化极 $\text{CO}_2$ 气体保护焊的应用仍然不多。1984年, $\text{CO}_2$ 气体保护焊接量只占总焊接工作量的5%,其相关焊丝生产企业少,焊丝品种单一。但由于 $\text{CO}_2$ 气体保护焊成本低,焊接质量好,和埋弧焊相比也适合于焊接薄板,越来越多的人看到了它的应用前景。我国科技人员攻克技术难关,持久地宣传与推广,不少焊丝、焊条厂从国外引进设备,像大连机车车辆厂等企业突破保守思想的束缚,强行使用 $\text{CO}_2$ 气体保护焊接技术。通过近20年的努力,使 $\text{CO}_2$ 气体保护实心焊丝焊接迅速发展,由细丝 $\text{CO}_2$ 焊接到粗丝 $\text{CO}_2$ 焊接,使得 $\text{CO}_2$ 气体保护焊达到和超过了埋弧焊的工作量。但是,目前列入《焊接材料产品样本》中的 $\text{CO}_2$ 实心焊丝牌号还只有8个,焊丝品种仍然嫌少,不能满足市场需求,严重影响了 $\text{CO}_2$ 实心焊丝的进一步推广应用。我国目前 $\text{CO}_2$ 实心焊丝的年产量在12万吨左右,但是生产设备还在引进,焊丝镀铜技术在攻关, $\text{CO}_2$ 气体保护焊工艺还在推广, $\text{CO}_2$ 气体保护焊技术可望在各种自动焊接技术中成为排头兵。

药芯焊丝可以用于埋弧焊、CO<sub>2</sub> 气体保护焊和自保护焊,是焊接材料的最新一代产品。我国药芯焊丝的研制始于 1958 年,较系统地研究药芯焊丝则始于 1968 年,1969 年发表了国内第一篇关于药芯焊丝的论文,1968~1986 年约有 10 个单位研究药芯焊丝。但是由于技术原因以及缺乏制造药芯焊丝的设备和钢带等,使得在这段时间内的研制停滞不前。我国药芯焊丝生产到 20 世纪 90 年代奠定基础,也就是近 10 年来才逐步兴起。从 1993 年开始,先后有近 30 个企业分别从日本、美国、乌克兰、英国等引进 20 条生产线,国产生产线也有 20 多条,现有设备年生产能力可达 2 万吨,但实际生产只有 4000 吨左右,也就是设备正常运转的少。由于技术水平等原因,进口设备闲置的几乎达一半。近年来我国药芯焊丝市场消费量每年以 30% 左右的速度递增,目前年消费量达 1.2 万吨左右,国产药芯焊丝市场占有率只有 35%,大部分药芯焊丝仍依靠进口。

我国目前有 500 多家焊条厂,150 多家焊丝厂,30 多家焊剂厂,焊接材料的生产量居世界第一位,但是跟发达国家相比差距还很大。首先,从宏观上看焊接材料生产结构比例不合理。日本生产的焊接材料中,手工焊条只占 19% 左右,各种自动焊丝占 80% 左右;美国手工焊条只占 29% 左右,各种自动焊丝占 71% 左右;而我国手工焊条占了 79% 左右,各种自动焊丝只占 20%,手工焊接和自动焊接之比正好是倒过来的。这说明我国焊接自动化水平太低,而且焊接材料生产水平低,比如上面提到的,药芯焊丝设备闲置而大部分药芯焊丝需要进口。

### 0.3 我国焊接材料与发达国家的差距

具体来讲,我国的电焊条只是年产量大,但是品位较低,例如纤维素焊条、重要工程的焊条,主要依靠进口。国产纤维素焊条跟进口焊条比较,差距主要体现在焊接工艺性能方面,如电弧吹力不够,容易产生气孔和夹渣,焊条偏心度不稳定,生产中成品率较低。又如不锈钢焊条,和国外不锈钢焊条相比,焊条易于发红,曾成为

国内赶超国外焊条热门课题,为此做了大量工作。有些单位生产的不锈钢焊条质量确实上去了,这中间有的是进口配方,从大范围来讲,焊条仍然在发红,对大量使用的 A102、A132 等焊条来说,抗气孔能力差的问题一直未能解决。这些都应从药皮配方、钢心和药粉原材料中找出原因,进行研究。

与国外相比,我国的焊丝生产水平还要低些,品种不齐全,产量低,质量差。拿比较成熟的埋弧自动焊来说,我国的埋弧焊材产量只占焊接材料总量的 10%,而工业化国家已达 15%。与之配套的焊剂分两种,对环境保护好、焊接质量好的烧结焊剂,我国只占 15%,日本、美国和西欧分别达 70% 和 90%。我国 85% 的焊剂还是熔炼焊剂。 $\text{CO}_2$  实心焊丝最大的问题是焊丝品种少,我国列入《焊接材料产品样本》中的品种只有 8 个,日本神钢一个公司的品种就多达 38 个,致使我国一些焊接结构生产大户在制定焊接工艺时,不得不采用手工焊。我国的药芯焊丝在国外和国内看,仍属幼小产业。美国、日本生产的药芯焊丝占焊接材料总量的 30% 左右,而我国只占 0.33% (约 4000 吨)。我国目前正常运行的药芯焊丝生产线只有 3 条左右(总数近 40 条),公开的药芯焊丝专利只有 1 个,各种杂志上发表的论文只有 120 篇左右,而且集中在少数单位。这与工业化国家是无法相比的。

#### 0.4 焊接材料发展趋势

在新的世纪里,科技进步将对生产率产生更大的影响,焊接材料的研制,一方面是在传统产品框架内求得发展,另一方面是新一代超强钢材的出现,对焊接材料将产生重大变革。

为了适应焊接生产向高效率、高质量、低成本方向发展,各国都在努力调整焊接材料产品结构,从日本、美国、西欧等发达国家和地区焊接材料发展来看,手工电弧焊条不断减少,自动焊接材料将不断增加。特别是日本,1980 年焊条占焊接材料的 58% 左右,到 1999 年焊条仅占 19% 左右,在未来 5 年中可能还要降到 15%。我国更要付出努力,5 年之内由目前的 79% 左右,力争降到 65%



左右。

对现有焊条品种质量要优化,要尽快结束我国纤维素焊条基本依靠进口的局面,以适应我国管道运输业发展的需要,北煤南运(煤变煤浆,管道输送)、南水北调、俄罗斯的天然气、石油输送到中国,新疆的天然气输送到上海,云南的天然气输送到广东;亚洲国家还有联手建设亚洲石油大陆桥计划等,都需要大量的纤维素焊条和低氢型立向下全位置焊条。我国管道运输业只占了整个运输业的2%,发达国家已达15%左右。另外我国的不锈钢焊条须继续攻克发红的缺点,消除气孔,增加小规格焊条品种,如 $\phi 1.0\text{mm}$ , $\phi 1.4\text{mm}$ 焊条等,用于缺乏或不能使用氩弧焊的场合;要发展交直流两用焊条,日本的碱性焊条均可采用交流焊机施焊,大大地方便了用户,也提高了生产率,我国也应启动这项工作。

埋弧焊工艺相对来说是较传统的工艺,所以焊接材料在一段时间内不会有大的突破。根据结构钢材的发展,会增加一些新品种如低锰、中锰、高锰系列焊丝,并增加其他合金元素焊丝特别是微合金和纯净化的焊丝。我国与埋弧焊配合的焊剂过去以熔炼焊剂为主,为减少空气污染,一些小型熔炼焊剂厂必将逐渐关闭,应发展烧结焊剂,对烧结焊剂的颗粒强度和抗吸潮性做更深入的研究。

气体保护实心焊丝目前主要的问题是品种太少,特别是 $\text{CO}_2$ 气体保护焊丝品种少。应不断增加品种,进一步提高表面镀铜水平,以满足新开发的高强度结构钢、低温钢、耐热钢、耐候钢、耐海水腐蚀钢的焊接及机器人自动焊接。

药芯焊丝更是有发展前途的焊接材料,日本的实心焊丝产量有先增后降趋势,由1979年占焊接材料的23%上升到1991年的顶峰48.6%,1999年又下滑到38.42%;而药芯焊丝始终保持强劲的增长势头,由1982年的2%,快速上升到1997年的26.7%,近年继续快速增长。我国药芯焊丝目前产量与日本1981年相当,处于高速发展的起点阶段。今后几年将以年增近万吨的速度增长。我国的药芯焊丝应用是从造船工业开始的,目前70%用于造