

焊接材料手册

薛松柏 栗卓新 朱颖 樊丁 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

焊接材料手册

薛松柏 栗卓新 朱颖 樊丁 编著



机械工业出版社

前 言

我国是焊接材料生产和消耗的世界第一大国，但还不是强国。近年来我国在焊接材料的研制、生产和应用等方面取得了长足进展。为了给从事焊接材料研究和生产的研究人员、工程技术人员和技术工人提供一个全新的、全面的并通俗易懂、查阅方便的参考书，促进我国焊接材料行业的尽快发展，我们编写了这本《焊接材料手册》。

与以往的焊接材料手册不同的是，除了介绍焊接材料的设计、生产、使用和存放等的各环节之外，本手册从实用的角度出发，还加入了以下几个方面的内容：

1. 材料的发展综述。本手册对每一种焊接材料均进行了其发展历史和研究现状的综述，一方面使内行的人可以了解焊接材料的最新进展，另一方面，即使对某种焊接材料不了解的人，通过综述也可以对该种焊接材料有一个概括的、初步的认识。

2. 各种材料国内外最新标准。标准是焊接材料工作者在生产实践中不可缺少的，这也是本手册为方便焊接工作者而整理和加入的主要内容之一。本手册收集了国内外关于焊接材料方面最新的标准，融入各个章节，以供读者使用时参考。

3. 每种材料的应用都给出了典型实例。这样可使全书从焊接材料的发展、设计、生产、使用构成一个完整的环节，同时还可以对刚刚开始从事焊接材料工作的人起到示范的作用。

4. 加入了焊接活性材料的内容。活性焊接法近年来引起了世界范围内人们的高度重视，已经形成了一种高效的焊接方法——A-TIG (Activating flux TIG) 焊，它是在传统 TIG 焊施焊板材的表面涂上一层很薄的表面活性剂材料，然后进行 TIG 焊，从而显著增加焊接熔深提高效率，利用这种方法可使焊接熔深达到传统 TIG 焊的 2~3 倍，可单面焊双面成形。本手册着重介绍了国内外活性化焊接材料的研究开发现状、应用方法及其影响因素等。

该书由机械工业出版社邀请长期从事焊接材料研制的人员，从设计的角度来撰写焊接材料的应用，相信这对充分了解和发挥各类焊接材料的性能，全面深入了解各类焊接材料的使用特点具有重要的指导作用。本手册的第 1

IV

章、第3章由南京航空航天大学的薛松柏老师编写，第2章、第5章由北京工业大学的栗卓新老师编写，第4章、第6章由北京航空航天大学的朱颖老师编写，第7章由兰州理工大学樊丁老师编写。作者排名不分先后。由于编者水平有限，难免存在一些缺点和错误，欢迎广大读者批评和指正。

编 者

2005 年 11 月

目 录

前言

第1章 焊条.....1

1.1 焊条的国内外现状及 发展趋势.....1

1.2 焊条的分类与设计.....2

1.2.1 焊条的分类.....2

1.2.2 焊条的设计.....6

1.3 焊条的生产.....12

1.4 焊条的检验和保管.....15

1.4.1 焊条的检验.....15

1.4.2 焊条的保管.....17

1.5 国内外主要的焊条.....17

1.5.1 碳钢焊条.....17

1.5.2 低合金钢焊条.....19

1.5.3 钼和铬钼耐热钢焊条.....21

1.5.4 低温钢焊条.....22

1.5.5 不锈钢焊条.....22

1.5.6 堆焊焊条.....24

1.5.7 铸铁焊条.....27

1.5.8 镍及镍合金焊条.....28

1.5.9 铜及铜合金焊条.....28

1.5.10 铝及铝合金焊条.....29

1.5.11 特殊用途焊条.....30

1.6 焊条的选用和焊接工艺.....30

1.6.1 选择焊条的基本要点.....30

1.6.2 碳钢焊条的选用原则.....32

1.6.3 低合金钢焊条的选用.....37

1.6.4 钼和铬钼耐热钢焊条 选用.....39

1.6.5 低温钢焊条的选用.....39

1.6.6 不锈钢焊条的选用.....43

1.6.7 堆焊焊条的选用.....50

1.6.8 铸铁焊条的选用.....52

1.6.9 镍及镍合金焊条的选用.....53

1.6.10 铜及铜合金焊条的选用.....56

1.6.11 铝及铝合金焊条的选用.....57

1.6.12 特殊用途焊条的选用.....58

1.7 中、美、日国家标准及

ASME 对焊条的要求.....59

1.7.1 中国焊接材料标准摘要.....59

1.7.2 美国焊接材料标准摘要.....78

1.7.3 日本焊接材料标准摘要.....88

1.8 焊条的应用实例.....96

第2章 焊丝.....102

2.1 焊丝国内外发展概况

及分类.....102

2.1.1 焊丝的发展概况.....102

2.1.2 焊丝的分类.....102

2.2 焊丝的型号和牌号.....103

2.2.1 实心焊丝的型号和牌号.....103

2.2.2 药芯焊丝的型号和牌号.....105

2.3 焊丝的设计.....106

2.3.1 实心焊丝的设计.....106

2.3.2 药芯焊丝的设计.....108

2.4 焊丝的制造.....124

2.4.1 药芯焊丝制造工艺 和设备.....124

2.4.2 实心焊丝的制造工艺.....127

2.5 焊丝的检验和保管.....128

2.5.1 焊丝的检验	128	3.7 中、美、日国家标准及 ASME 对焊剂的要求	215
2.5.2 焊丝的保管	134	3.7.1 中国国家标准对焊剂的主要 技术指标及检验方法	215
2.6 焊丝的选用和焊接工艺	135	3.7.2 美国 AWS 标准及 ASME 标准对焊剂要求	221
2.6.1 焊丝的选用原则	135	3.7.3 日本国家标准对焊剂 的要求	222
2.6.2 选用焊丝应考虑 的几个问题	136	3.8 典型焊剂的应用实例	223
2.6.3 焊丝的选用	139	3.8.1 熔炼焊剂的应用举例	223
2.6.4 各类焊丝的焊接工艺	151	3.8.2 烧结焊剂的实例	223
2.7 典型焊丝的应用实例	156	第 4 章 钎料与钎剂	225
2.7.1 低合金结构钢实心焊丝 的应用	156	4.1 钎料与钎剂的国内外现状 与发展趋势	225
2.7.2 低合金耐热钢实心 焊丝的应用	157	4.1.1 钎料的现状和发展趋势	225
2.7.3 不锈钢用气体保护焊药芯 焊丝的应用实例	158	4.1.2 钎剂的国内外现状和 发展趋势	228
2.7.4 金属芯堆焊药芯焊丝 的应用	164	4.2 钎料与钎剂的分类与设计	231
2.7.5 背面不充氩的不锈钢 药芯焊丝的应用	165	4.2.1 钎料的分类与编号	231
2.7.6 铸铁型药芯焊 丝的应用	168	4.2.2 钎料合金成分设计	232
第 3 章 焊剂	170	4.2.3 钎剂的组成与分类	237
3.1 焊剂的国内外现状 及发展趋势	170	4.2.4 钎剂组分设计 注意事项	239
3.2 焊剂的分类与设计	171	4.3 钎料与钎剂的生产	241
3.2.1 焊剂的分类	171	4.3.1 钎料的生产	241
3.2.2 焊剂的设计原则 与一般要求	172	4.3.2 钎剂的生产	245
3.3 焊剂的生产	172	4.3.3 钎料高的生产	246
3.4 焊剂的检验与保管	173	4.4 钎料的检验与保管	247
3.5 国内外主要焊剂	173	4.4.1 铜基钎料	247
3.5.1 国内主要焊剂介绍	173	4.4.2 银基钎料	250
3.5.2 国外主要焊剂介绍	192	4.4.3 锡铅钎料	252
3.6 焊剂的选用和焊接工艺	205	4.4.4 锰基钎料	254
		4.4.5 镍基钎料	255
		4.4.6 铝基钎料	257

4.5 钎剂的检验和保管	259	4.9.3 柴油机用电热塞 的钎焊	354
4.5.1 硬钎焊用钎剂	259	4.9.4 不锈钢锅的复合底 的钎焊	355
4.5.2 软钎焊用钎剂 —— 有机物类钎剂和 无机物类钎剂	261	第5章 热喷涂材料	357
4.5.3 软钎焊用钎剂 —— 树脂类钎剂	262	5.1 热喷涂材料的国内外现状 及发展趋势	357
4.6 国内外主要的 钎料与钎剂	272	5.1.1 热喷涂材料的现状	357
4.6.1 主要钎料	272	5.1.2 热喷涂材料的发展	361
4.6.2 主要钎剂	280	5.2 热喷涂材料的分类	362
4.7 不同钎焊母材钎料与钎剂的 选用和焊接工艺	283	5.2.1 热喷涂用线材	365
4.7.1 碳钢的钎焊	283	5.2.2 复合喷涂丝及粉芯 线材	367
4.7.2 不锈钢的钎焊	285	5.2.3 热喷涂用粉末	368
4.7.3 高温合金的钎焊	293	5.3 热喷涂材料的使用、生产、 检验、保管	370
4.7.4 工具钢和硬质合金 的钎焊	297	5.3.1 热喷涂材料的使用	370
4.7.5 铜及其合金的钎焊	303	5.3.2 热喷涂材料的生产	373
4.7.6 铝及其合金的钎焊	309	5.3.3 热喷涂材料的检验	382
4.7.7 钛及其合金的钎焊	318	5.3.4 热喷涂材料的保管	383
4.7.8 陶瓷与金属的钎焊	322	5.4 国内外主要的热喷涂材料	384
4.7.9 复合材料的钎焊	326	5.4.1 国内的热喷涂材料	384
4.7.10 新型特种材料的钎焊	327	5.4.2 国外的热喷涂材料	412
4.8 各国国家标准对钎料 与钎剂的要求	332	5.5 中、美、日国家标准对热喷涂 材料的要求	415
4.8.1 中国	332	5.5.1 热喷涂涂层材料标准	415
4.8.2 美国	343	5.5.2 喷涂涂层材料试验与 检验标准	416
4.8.3 日本	345	5.5.3 热喷涂涂层材料命名 方法	418
4.8.4 俄罗斯	350	5.6 热喷涂材料的选用和 喷涂工艺	424
4.9 典型钎料与钎剂的 应用实例	351	5.6.1 热喷涂材料的选用	424
4.9.1 硬质合金车刀火焰钎焊	351	5.6.2 热喷涂工艺	426
4.9.2 核工程用液位计电接点 的真空钎焊	352		

VIII

5.7 典型热喷涂材料的 应用实例	431
5.7.1 电弧喷涂粉芯线材 的应用	431
5.7.2 等离子喷涂陶瓷粉末 在液压柱塞上的应用	434
5.7.3 粉末火焰喷涂应用实例	438
第6章 焊接用气体	441
6.1 焊接用气体的国内外现状 及发展趋势	441
6.2 焊接用气体的基本性质	443
6.2.1 二氧化碳气体 (CO_2)	443
6.2.2 氩气 (Ar)	444
6.2.3 氦气 (He)	444
6.2.4 氧气 (O_2)	444
6.2.5 氮气 (N_2)	444
6.2.6 可燃气体 (C_2H_2 、 C_3H_8 、 C_3H_6 、 CH_4 、 H_2)	445
6.3 焊接用的气体的生产、 检验和保管	446
6.3.1 CO_2	446
6.3.2 Ar	448
6.3.3 He	452
6.3.4 O_2	453
6.3.5 N_2	458
6.3.6 可燃性气体	462
6.4 国内外主要的焊接 用气体	479
6.5 焊接用气体的选用	487
6.6 中外各国家标准对焊接 用气体的要求	491
6.7 焊接用气体的应用实例	496
6.7.1 混合气保护焊在焊接叶轮中 的应用	496
6.7.2 用 N_2 代替 Ar 束焊接 不锈钢管道	498
6.7.3 $\text{Ar}+\text{CO}_2$ 混合气体保护焊在 压力容器制造上的应用	501
6.7.4 不锈钢管内充氮保护 的 TIG 焊	503
6.7.5 机械电子设备铝合金箱体 氮气保护钎焊工艺	505
6.7.6 熔化极气体保护焊	508
6.7.7 熔化极三元混合气体保护焊 焊接 Q345 (16Mn) 钢	510
6.7.8 水电解氢氧焊割机 的使用	513
第7章 表面活性焊接材料 及活性焊接法	515
7.1 活性剂材料的国内外 研究现状	515
7.1.1 背景	515
7.1.2 活性剂在国外的 发展与应用	516
7.1.3 活性剂在我国的发展 与应用	517
7.2 碳钢 A-TIG 焊活性剂材料	517
7.2.1 活性剂对熔深的影响	518
7.2.2 碳钢 A-TIG 焊活性剂 的焊接性	520
7.3 不锈钢 A-TIG 焊活性剂 材料	523
7.3.1 活性剂对熔深的影响	523
7.3.2 不锈钢 A-TIG 焊活性剂 的焊接性	525
7.4 铝合金 A-TIG 焊活性剂	527
7.4.1 铝合金 A-TIG 焊 的应用背景	527

7.4.2 铝合金 A-TIG		7.5.2 表面张力梯度的影响.....	533
焊活性剂	528	7.5.3 铝合金 A-TIG 焊活性剂	
7.4.3 影响焊接		增加熔深的机理	534
熔深的因素.....	529	7.6 其他活性焊接法	538
7.5 活性剂增加熔深的		7.6.1 活性电子束焊	538
机理探讨	531	7.6.2 活性激光焊	541
7.5.1 电弧收缩导致		7.6.3 活性等离子弧焊	541
熔深增加	532	参考文献	543

第 1 章 焊 条

1.1 焊条的国内外现状及发展趋势

1892 年俄罗斯人斯拉维扬诺夫研究成功了现行的金属电弧焊接法的实用化方案。特别是 1904 年瑞典人奥斯卡·克杰尔贝格 (Oscar Kjellberg) 建造了世界上第一个焊条厂——ESAB 公司的 OK 焊条厂。同期, 欧美各国对焊条的药皮作用都分别进行了大量的研究, 1910 年瑞典发明矿物型厚药皮焊条, 1919 年美国发明用纸缠在焊芯上, 提出了纤维素型焊条的初型, 1921 年英国人提出用大理石—萤石制造焊条药皮。

开始, 焊条全是手工沾制, 1917 年欧洲依·纳·乔内斯发明用机械压制焊条, 1927 年美国开始用机械大量生产焊条。随着冶金工业和机械工业的不断发展, 尤其是第二次世界大战以来, 焊条生产也得到了很大发展, 出现了许多新的药皮类型及焊条品种, 性能也进一步完善。1964 年, 日本研制成功“无害”焊条, 20 世纪 70 年代又开发了低尘焊条、超低氢焊条和难吸潮焊条等, 把焊条质量提高到一个新的水平。

我国的电焊条制造始于 1949 年, 开始是采用半机械气动焊条压涂机, 后来研制了螺旋式连续压涂机, 并有了切丝机、送丝机等生产附属设备。所生产的焊条主要以氧化矿物型为主的低碳结构钢电焊条。1956 年以后开始大量采用机器制造焊条, 焊条品种也逐步扩大, 钛铁矿型、钛型、钛钙型和低氢型等类型焊条相继出现。目前, 全国除西藏外, 各省、自治区及直辖市都有了不同规模的焊条厂, 有些焊条厂从国外引进了生产设备、制造工艺和配方技术, 有力地推动了焊条行业技术水平的提高。

目前我国焊条生产企业大约有 400 余家, 其中具备完善的生产条件、检测手段和合理的质保体系的约 250 家, 具备一定生产条件, 缺乏检测手段的近 150 家, 全行业的生产能力约 150 万吨, 远远超出市场的需求。焊条生产企业分布于除西藏外的各个地区, 隶属于机械、冶金、能源、造船、农业等各部门, 经济类型有国有、集体、私营、合资、独资、股份制。2001 年中国的焊条产量达到了 100 万吨, 居世界第一。但是, 随着自动化程度的提高, 总的发展趋势是焊条在整个焊材中的比重不断下降, 一些国家和地区焊条所

占焊接材料的比例及总量如表 1-1 所示。

2004 年我国钢产量已超过 2 亿吨, 有 50% 的钢用于焊接结构。为适应这种需要焊条产品开发应向优质高效、低成本、低污染的方向发展。因此, 今后焊条的研发应着重以下几个方面。

表 1-1 一些国家和地区焊条所占焊接材料的比例及总量

国家或地区	焊条占焊材的比例 (%)	焊条总量/万吨
中国大陆	79	63.2
中国台湾	54	2.7
日本	20	7.2
美国	29	10.8
西欧	26	16.2

1) 优质高效焊条。包括立向下全位置焊条、铁粉焊条、重力焊条、高纤维焊条、打底层或过渡层焊条等, 目前所用的大都靠进口。

2) 低氢低合金钢焊条。这类焊条的种类较多, 除 J506、J507 外, 600MPa 以上的高强度系列、低温钢系列、耐热钢系列 (特别是高抗蠕变, 要求交直流两用的 9Cr-1Mo 钢焊条)。

3) 不锈钢焊条。国内曾对发红问题、抗气孔性、抗裂性及工艺性能等进行了大量研究, 成果较好, 但与国外相比仍有较大差距。我国约需各类不锈钢焊条 7000~8000t。

1.2 焊条的分类与设计

焊条的分类方法很多, 可以从不同角度对电焊条进行分类。从焊接冶金角度, 按熔渣的碱度可将焊条分为酸性焊条和碱性焊条; 按焊条药皮的主要成分可将焊条分为钛钙型焊条、钛铁矿型焊条、低氢型焊条、铁粉焊条等; 从标准化角度, 可按照焊条的特点 (如熔敷金属抗拉强度、化学组成类型等), 将焊条分成许多类型及不同等级, 从而确定焊条的各种型号; 从用途角度, 又可将焊条分为结构钢焊条、耐热钢焊条及不锈钢焊条等十大类。现将各种分类方法分别叙述如下。

1.2.1 焊条的分类

1. 按熔渣的碱度分类

在实际生产中通常将焊条分为两大类 —— 酸性焊条和碱性焊条 (又称低氢型焊条)。它们主要是根据熔渣的碱度, 亦即熔渣中酸性氧化物和碱性氧化物的比例来划分, 当熔渣中酸性氧化物占主要比例时为酸性焊条, 反之即为

碱性焊条。

从焊接工艺性能来比较,酸性焊条电弧柔软,飞溅小,熔渣流动性和覆盖性均好,因此,焊缝外表美观,焊波细密,成形平滑;碱性焊条因为飞溅较大,电弧不够稳定,熔渣的覆盖性差,焊缝形状凸起,且焊缝外观波纹粗糙,但在向上立焊时,容易操作。

酸性焊条的药皮中含有较多的氧化铁、氧化钛及氧化硅等,氧化性较强,因此在焊接过程中使合金元素烧损较多,同时由于焊缝金属中氧和氢含量较多。因而塑性、韧性较低,酸性焊条一般均可以交直流两用。典型的酸性焊条是 J422。

碱性焊条的药皮中含有大量的大理石和萤石,并有多量的铁合金作为脱氧剂和渗合金剂,因此药皮具有足够的脱氧能力。再则,碱性焊条主要靠大理石等碳酸盐分解出二氧化碳作保护气体,与酸性焊条相比,弧柱气氛中氢的分压较低,且萤石中的氟化钙在高温时与氢结合成氟化氢(HF),从而降低了焊缝中的含氢量,故碱性焊条又称为低氢型焊条。但由于氟的反电离作用,所以为了使碱性焊条的电弧能稳定燃烧,一般只能采用直流反接(即焊条接正极)进行焊接,只有当药皮中含有多量稳弧剂时,才可以交直流两用。用碱性焊条焊接时,由于焊缝金属中氧和氢含量较少,非金属夹杂物也少,故具有较高的塑性和冲击韧度。一般焊接重要结构(如承受动载荷的结构)或刚性较大的结构,以及可焊性较差的钢材均采用碱性焊条。典型的碱性焊条是 J507。

常温时,每 100g 熔敷金属中的扩散氢含量,碱性焊条为 1~10mL,酸性焊条则为 17~50mL。

各种焊条焊缝金属的含氧量(从焊缝金属中非金属氧化物 FeO、MnO、SiO₂ 折算的总氧量)分别为:

纤维素型、氧化钛型、钛铁矿型为 $w(O) 0.06\% \sim 0.100\%$;

氧化铁型为 $w(O) = 0.100\% \sim 0.130\%$;

低氢型为 $w(O) = 0.028\% \sim 0.040\%$ 。

2. 按焊条药皮的主要成分分类

焊条药皮由多种原料组成,按照药皮的主要成分可以确定焊条的药皮类型。如药皮中以钛铁矿为主的称为钛铁矿型;当药皮中含有质量分数为 30% 以上的二氧化钛及 20% 以下的钙、镁的碳酸盐时,就称为钛钙型。只有低氢型例外,虽然它的药皮中主要组成为钙、镁的碳酸盐和萤石,但却以焊缝中含氢量最低作为其主要特征而予以命名的。对于有些药皮类型,由于使用的粘接剂分别为钾水玻璃(或以钾为主的钾钠水玻璃)或钠水玻璃,因此,同一药皮类型又可进一步划分为钾型和钠型,如低氢钾型和低氢钠型。前者可用于交直流焊接电源,而后者只能使用直流电源。

焊条药皮类型分类示于表 1-2。

表 1-2 焊条药皮类型分类

药皮类型	药皮主要成分（质量分数，%）	焊接电源
钛 型	氧化钛≥35%	直流或交流
钛钙型	氧化钛 30%以上，钙、镁的碳酸盐 20%以下	直流或交流
钛铁矿型	钛铁矿≥30%	直流或交流
氧化铁型	多量氧化铁及较多的锰铁脱氧剂	直流或交流
纤维素型	有机物 15%以上，氧化钛 30%左右	直流或交流
低氢型	钙，镁的碳酸盐和萤石	直 流
石墨型	多量石墨	直流或交流
盐基型	氯化物和氟化物	直 流

注：当低氢型药皮中含有多量稳弧剂时，可用于交流或直流。

以低碳钢焊条为例，表 1-3 列出了典型焊条药皮配方举例，表 1-4 为各种焊条熔渣的化学成分，各种焊条药皮的化学成分示于表 1-5。从上述各表可以看出，由于药皮配方组分不同，致使各种药皮类型焊条的焊接工艺性能、焊接熔渣的特性以及焊缝金属力学性能均有很大差别。各种药皮类型焊条的特点将在后面详细阐述。至于石墨型药皮，主要用于铸铁焊条及部分堆焊焊条；而盐基型药皮，多用于铝及铝合金等有色金属焊条。

表 1-3 典型焊条药皮配方举例 (单位：g)

药 皮 材料名称	药皮类型及焊条牌号						
	钛型	钛钙型	钛铁矿型	氧化铁型	纤维素型	低氢型	铁粉钛型
	J421	J422	J423	J424	J425	J427	J421Fc
钛铁矿	—	—	32	—	26	—	—
赤铁矿	—	—	—	33	—	—	—
金红石	34	28	—	—	6	—	17
二氧化钛	8	8	—	—	10	5	4
石 英	—	—	13	—	—	2	—
长 石	14	9	12	—	—	—	—
花岗石	—	—	—	32	—	—	—
白 泥	12	14	11	—	4	—	5
云 母	8	8	8	—	—	—	4
萤 石	—	—	—	—	—	22	—
大理石	8	14	17	—	8	48	3
白云石	—	6	—	—	—	—	—
中碳锰铁	8.5	13	19	30	5.5	3.5	高碳 5
硅 铁	—	—	—	—	—	3	—
钛 铁	—	—	—	—	—	16	—
木 粉	3	1.5	—	—	24	—	—
淀 粉	2	—	—	5	—	—	3
其 他	—	—	—	—	锰粉 12	—	铁粉 60

注：焊芯均为 H08A，粘接剂为水玻璃。

表 1-4 各种焊条熔渣的化学成分 (质量分数, %)

药皮类型	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	碱度 BL	其他
钛 型	23.4	37.7	10.0	6.9	11.7	3.7	0.5	2.2	2.9	—	-2.0	余量
钛钙型	25.1	30.2	3.5	9.5	13.7	8.8	5.2	1.7	2.3	—	-0.9	—
钛铁矿型	29.2	14.0	1.1	15.6	26.5	8.7	1.3	1.4	1.1	—	-0.1	余量
氧化铁型	40.4	1.3	4.5	22.7	19.3	1.3	4.6	1.8	1.5	—	-0.7	余量
纤维素型	24.7	17.5	5.5	11.9	14.4	2.1	5.8	3.8	4.3	—	-1.3	余量
低氢型	24.1	7.0	1.5	4.0	3.5	35.8	—	0.8	0.8	20.3	0.9	余量

注：碱度计算公式：BL=6.05CaO+4.8MnO+4.0MgO+3.4FeO-6.31SiO₂-4.97TiO₂-0.2Al₂O₃。

表 1-5 各种焊条药皮的化学成分

化学成分 质量分数 (%)		药皮类型及焊条牌号				
		钛型	钛铁矿型	纤维素型	低氢型	铁粉氧化铁型
		J421	J423	J425	J427	J424Fe
焊条药皮	SiO ₂	18.8	27.9	13.1	9.3	22.9
	TiO ₂	40.7	12.7	13.2	—	3.1
	Al ₂ O ₃	4.3	3.8	2.0	3.2	3.0
	CaCO ₃	4.7	6.5	—	43.7	0.2
	CaF ₂	—	—	—	15.9	—
	Fe ₂ O ₃	0.7	9.8	0.9	1.5	1.8
	FeO	0.4	12.1	1.5	—	2.8
	MgO	3.4	2.6	5.2	0.9	2.0
	MnO	8.7	12.9	8.3	1.4	9.2
	FeO	1.6	3.1	1.6	14.3	42.8
	K ₂ O	2.3	2.1	—	0.7	1.0
	有机物	5.9	—	25.0	—	1.2
水玻璃	H ₂ O	1.0	—	6.0	0.4	0.9
	SiO ₂	5.0	4.2	10.8	5.5	5.4
	Na ₂ O	1.6	2.3	4.5	3.6	1.4
	K ₂ O	0.9	—	7.8	—	1.7

此外，对于药皮中含有多量铁粉的焊条，可以称为铁粉焊条。这时，按照相应焊条药皮的主要成分，又可分为铁粉钛型、铁粉钛铁矿型、铁粉钛钙型、铁粉氧化铁型及铁粉低氢型等，构成了铁粉焊条系列。

3. 按焊条的用途分类

按用途进行焊条的分类，具有较大的实用性。我国现行的焊条分类方法，主要是根据焊条国家标准和原机械工业部组织编写的《焊接材料产品样本》按照焊条的用途进行分类。

通常，焊条按用途可分为十大类，表 1-6 列出了焊条大类的划分。各大类按主要性能的不同还可分为若干小类，如结构钢焊条，又可分为低碳钢焊

条、普低钢焊条、低合金高强钢焊条等。有些焊条同时可以有多种用途，有些不锈钢焊条如 A102，既可用于焊接不锈钢构件；又可用作堆焊焊条，堆焊某些在腐蚀环境中工作的零件表面；此外还可作为低温钢焊条，用于焊接某些在低温下工作的结构。

表 1-6 焊条大类的划分

序 号	焊 条 大 类	代 号	
		拼音	汉字
1	结构钢焊条	J	结
2	钼及铬钼耐热钢焊条	R	热
3	铬不锈钢焊条	G	铬
	铬镍不锈钢焊条	A	奥
4	堆焊焊条	D	堆
5	低温钢焊条	W	温
6	铸铁焊条	Z	铸
7	镍及镍合金焊条	Ni	镍
8	铜及铜合金焊条	T	铜
9	铝及铝合金焊条	L	铝
10	特殊用途焊条	TS	特

注：焊条牌号的标注以拼音为主，如 J422。

1.2.2 焊条的设计

简单地说，电焊条就是在金属丝（即焊芯）表面涂上适当厚度药皮的焊条电弧焊用的熔化电极。

焊条的外形如图 1-1 所示。为了便于引弧，焊条的引弧端应倒角，露出焊芯金属；为使焊钳与焊芯保持良好的接触，应把夹持端处的药皮仔细地清理干净。对于低氢型焊条，焊缝的头部容易产生气孔，为了便于引弧及防止气孔，可按图 1-2 所示对焊条的引弧端进行特殊加工处理，图 1-2a、b 为减小引弧端处焊芯截面，提高电流密度，使电弧容易产生，并增加保护作用。图 1-2c 在引弧端处涂一层引弧剂（主要由石墨、有机物等组成），以便于引弧。

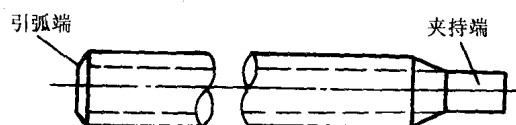


图 1-1 焊条的外形

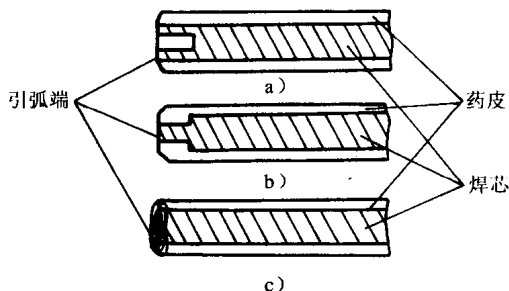


图 1-2 低氢焊条的引弧端加工一例

普通焊条的断面形状,如图 1-3 所示。图 1-3b 和 c 均为特殊的断面形状。图 1-3b 是一种双层药皮焊条,主要是为了改善低氢焊条的工艺性能,两层药皮按不同成分配方。如某厂生产的双层药皮的 J427 焊条,其药皮配方:第一层药皮的配方(质量分数)为大理石 46%,石英砂 9%,钛铁 15%,硅铁 3%,锰铁 2%;第二层药皮的配方(质量分数)为萤石 18%,大理石 7%。图 1-3c 的焊芯为一空心管,外面包复药皮,管子中心填充合金剂或涂料,这种产品已在含有多量合金粉的耐磨堆焊焊条中采用。

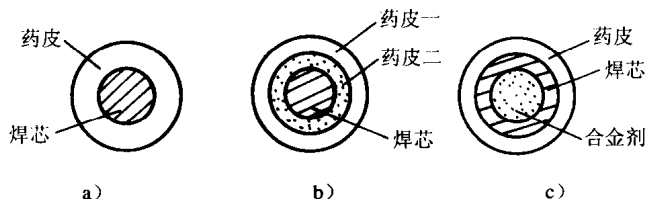


图 1-3 焊条的断面形状

各种焊条的药皮都有一定的厚度,通常用“药皮重量系数”来表示焊条药皮在焊条中所占的重量比例。

$$\text{药皮重量系数 } K(\%) = \frac{\text{药皮重量}}{\text{带药皮的这部分焊芯重量}} \times 100\%$$

一般药皮重量系数为 35%~55%,随焊条药皮类型及使用目的而异,对于为提高焊接效率而在药皮中加入大量铁粉的高效铁粉焊条或通过药皮掺合金的某些堆焊焊条,药皮重量系数可在 100%以上。

下面叙述焊芯和药皮的作用及组成。

1. 焊芯

焊芯的作用主要是导电,在焊条端部形成电弧。同时,焊芯靠电弧热熔化后,冷却形成具有一定成分的熔敷金属。

目前,焊条的品种已有几百种,但用于制造焊条的焊芯种类不过数十种。

为了保证熔敷金属具有所需的合金成分,一般可通过两种掺合金方法来达到:一种是利用低碳钢芯,通过药皮来过渡,这种方法主要用在低碳钢焊条、低合金钢焊条及堆焊焊条等;另一种是利用合金芯,再通过药皮来补充少量合金元素,这种方法主要用在不锈钢焊条、有色金属焊条及高合金钢焊条。当然,这种区分也不是绝对的,利用低碳钢芯,同样可以制成不锈钢焊条。但无论在什么样的情况下,焊芯的成分都直接影响熔敷金属的成分和性能,因此,要求焊芯尽量减少有害元素的含量。随着冶金工业的发展,对焊芯中有害元素含量的控制要求越来越严格,除了通常的 S、P 外,有些焊条已要求焊芯控制 As、Sb、Sn 等元素。

表 1-7 列出的是通常各种焊条所用的焊芯。表 1-8 是常用焊芯的化学成分。

表 1-7 各种焊条所用的焊芯

焊条种类	所用焊芯
低碳钢焊条	低碳钢焊芯 (H08A 等)
低合金高强度焊条	低碳钢或低合金钢焊芯
低合金耐热钢焊条	低碳钢或低合金钢焊芯
不锈钢焊条	不锈钢或低碳钢焊芯
堆焊焊条	低碳钢或合金钢芯
铸铁焊条	低碳钢、铸铁、非铁合金焊芯
有色金属焊条	有色金属焊芯

表 1-8 常用焊芯的化学成分

钢 号	化学成分 (质量分数, %)								S≤	P≤
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	其 他		
H08A	≤0.10	0.35~0.60	≤0.03	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.030	0.030
H08E	≤0.10	0.35~0.60	≤0.03	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.020	0.020
H08C	≤0.10	0.35~0.60	≤0.03	≤0.10	≤0.10	≤0.10	—	—	0.015	0.015
H08MnA	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.030	0.030
H10Mn2	≤0.12	1.50~1.90	≤0.07	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.035	0.035
H08Mn2Si	≤0.11	1.70~2.10	0.65~0.95	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.035	0.035
H08MnSi	≤0.11	1.20~1.50	0.40~0.70	≤0.20	≤0.30	≤0.20	—	—	0.035	0.035
H10MnSiMo	≤0.14	0.90~1.20	0.70~1.10	≤0.20	≤0.30	≤0.20	0.15~0.25	—	0.035	0.035
H08MnMoA	≤0.10	1.20~1.60	≤0.25	≤0.20	≤0.30	≤0.20	0.30~0.50	Ti 0.15 ^①	0.030	0.030
H08Mn2MoA	0.06~0.11	1.60~1.90	≤0.25	≤0.20	≤0.30	≤0.20	0.50~0.70	Ti 0.15 ^①	0.030	0.030
H08CrMoA	≤0.10	0.40~0.70	0.15~0.35	0.80~1.10	≤0.30	≤0.20	0.40~0.60	—	0.030	0.030
H0Cr14	≤0.06	0.30~0.70	0.30~0.70	13.00~15.00	≤0.60	—	—	—	0.030	0.030
H00Cr21Ni10	≤0.03	1.0~2.50	≤0.60	19.50~22.00	9.00~11.00	—	—	—	0.020	0.030