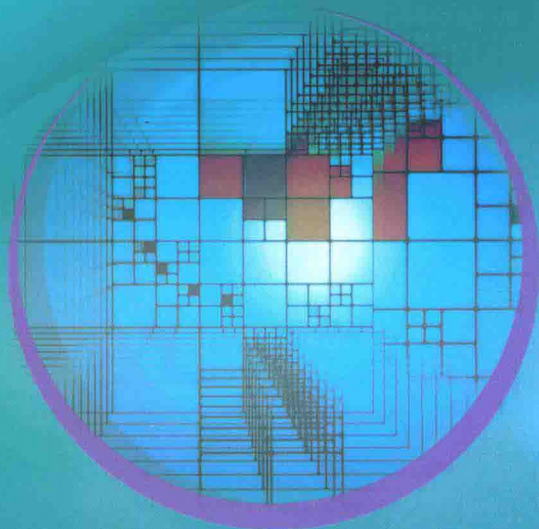




埋弧焊工艺

郝建军◎主编

埋弧焊工艺

主 编 郝建军

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容提要

本书根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,并结合教学实践和焊接技术的发展状况编写而成。本书的内容编排结合岗位技术特点,贴近生产实际,力求突出先进性和实用性等特色。在尊重教学规律的前提下,注重对焊接工艺相关知识的重新整合和对学生实践能力的培养。本书主要阐述了埋弧焊基础、工艺特点、实际操作及常用金属材料的埋弧焊等内容。

本书可供焊接技术、机械制造等专业的师生使用,也可供从事与焊接技术相关的工程技术人员、管理人员和操作人员使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

埋弧焊工艺 / 郝建军主编. —北京:北京理工大学出版社, 2016.3

ISBN 978-7-5682-1950-1

I. ①埋… II. ①郝… III. ①埋弧焊-焊接工艺 IV. ①TG445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 043704 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京通县华龙印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 379 千字

版 次 / 2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

PREFACE // 前言

本套教材根据劳动和社会保障部培训就业司最新颁发的教学大纲,结合职业技能鉴定需求和焊接专业特点编写而成。全套教材包括《熔焊方法与工艺》《焊接电工电子技术》《焊接工程制图与CAD》《焊接结构生产》《焊接检测技术》《熔焊基础与金属材料焊接》《工程材料与热加工基础》《焊接方法与设备》《机械工程基础(焊接专业)》《焊接安全与卫生》《金工实习(焊接专业)》《材料连接与切割技术》《焊条电弧焊工艺》《CO₂气体保护焊工艺》《氩弧焊工艺》《气焊气割工艺》《埋弧焊工艺》《钎焊工艺》《钣金连接与工艺》《焊接识图》等。

在教材的编写过程中,我们始终坚持了以下几个原则:

(1) 坚持中高级技能人才的培养方向,从职业(岗位)需求分析入手,强调实用性,使学生掌握一定理论知识,培养学生分析问题、解决问题的能力。并引导学生理论联系实际,提高学生操作技能水平。

(2) 紧密结合教育教学实际情况,化繁为简,化难为易,全书以国家职业资格标准为依据,力求使教材内容在覆盖职业技能鉴定的各项要求的基础上拓展外延,以满足不同层次的各级各类学校和工矿企业的需求。

(3) 突出教材的时代感,力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法、新材料等方面的内容,较全面地反映焊接技术发展趋势。

(4) 打破传统教材编写模式,树立以学生为主体的教学理念,强调培养学生自主学习能力。

本套教材是基于编者多年的教学实践积淀而成。编写时,取材力求少而精,突出实用性,内容紧密结合工程实践。本套教程可供焊接技术、机械制造、材料加工等专业师生使用,也可作为岗位培训教材和相关工程技术人员的参考资料。

编 者

目 录

第一部分 理论部分

课题一 埋弧焊基础知识.....	1
课目一 埋弧焊概述.....	1
课目二 埋弧焊用焊接材料.....	4
课目三 埋弧焊设备与工艺装备.....	22
课目四 埋弧焊的常见缺陷及防止.....	50
课目五 埋弧焊安全技术.....	51
课题二 埋弧焊工艺与操作.....	53
课目一 焊接工艺的选择.....	53
课目二 埋弧焊工艺过程.....	67
课目三 埋弧焊操作技术.....	76
课目四 典型焊缝的埋弧焊工艺.....	81
课题三 特种埋弧焊工艺.....	99
课目一 埋弧立焊.....	99
课目二 多丝埋弧焊.....	104
课目三 窄间隙埋弧焊.....	106
课目四 附加填充金属的埋弧焊.....	109
课目五 埋弧堆焊.....	110
课题四 常用金属材料的埋弧焊.....	127
课目一 碳钢的埋弧焊.....	127
课目二 低合金结构钢的埋弧焊.....	134
课目三 不锈钢的埋弧焊.....	158
课目四 低、中合金耐热钢的埋弧焊.....	170
课目五 不锈复合钢的埋弧焊.....	172
课目六 铜及铜合金的埋弧焊.....	174

第二部分 技能实训部分

任务一 埋弧焊基本操作训练.....	179
任务二 I形坡口对接双面焊.....	182
任务三 V形坡口对接双面焊.....	185

任务四 T形接头角焊.....	187
任务五 对接接头环缝埋弧焊.....	192
附录一 埋弧焊用碳钢焊丝和焊剂 (GB/T 5293-1999)	196
附录二 埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂 (GB/T 12470-2003)	212
参考文献.....	229

第一部分

理论部分

课题一 埋弧焊基础知识

学习目标

- ①了解埋弧焊的工作原理、生产特点、分类及应用。
- ②理解埋弧焊的冶金特点，掌握埋弧焊的冶金反应。
- ③了解埋弧焊用焊剂的作用及对其性能的要求，理解焊剂的分类，掌握焊剂牌号和型号的编制原则，熟知焊剂的选择、使用及管理。
- ④理解埋弧焊焊丝规格、牌号、分类及其应用，了解常用焊丝与焊剂的选配及其用途、掌握常用钢材埋弧焊的焊丝——焊剂组合。
- ⑤掌握埋弧焊机的分类及型号，理解埋弧焊机的自动调节原理，掌握埋弧焊设备的基本组成及其功用，了解埋弧焊机的选择，掌握典型埋弧焊机的基本操作，了解埋弧焊机的保养常识，掌握埋弧焊设备常见故障与排除方法。
- ⑥了解埋弧焊的常见缺陷及防止措施，掌握埋弧焊的安全技术。

课目一 埋弧焊概述

一、埋弧焊的工作原理

埋弧焊（简称SAW）是一种利用位于焊剂层下电极与焊件之间燃烧的电弧产生的热量熔化电极、焊剂和母材金属的焊接方法。焊丝作为填充金属，而焊剂则对焊接区起保护和合金化作用。由于焊接时电弧掩埋在焊剂层下燃烧，电弧光不外露，因此被称为埋弧焊。

埋弧焊的焊接过程如图1-1所示，它由以下4部分组成：

(1) 颗粒状焊剂由焊剂漏斗经软管均匀地堆敷到焊缝接口区(堆覆高度一般为40~60 mm)。

(2) 焊丝由焊丝盘经送丝机构和导电嘴送入焊接区。

(3) 焊接电源接在导电嘴和工件之间用来产生电弧。

(4) 焊丝及送丝机构、焊剂漏斗和焊接控制盘等通常装在一台小车上,以实现焊接电弧的移动。

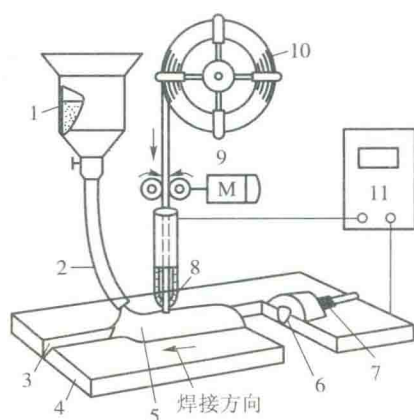


图1-1埋弧焊的焊接过程示意图

- 1—焊剂漏斗; 2—软管; 3—坡口; 4—母材;
5—焊剂; 6—熔敷金属; 7—渣壳; 8—导电嘴;
9—送丝机构; 10—焊丝; 11—电源

埋弧焊时,当焊丝和焊件之间引燃电弧后,电弧的热量使周围的焊剂熔化形成熔渣,部分焊剂分解、蒸发成气体,气体排开熔渣形成一个气泡,电弧就在这个气泡中燃烧。连续送入电弧的焊丝在电弧高温作用下加热熔化,与熔化的母材混合形成金属熔池。熔池上覆盖着一层熔渣,熔渣外层是未熔化的焊剂,它们一起保护着熔池,使其与周围空气隔离,并使有碍操作的电弧光辐射不能散射出来。电弧向前移动时,电弧力将熔池中的液态金属排向后方,则熔池前方的金属就暴露在电弧的强烈辐射下而熔化,形成新的熔池,而电弧后方的熔池金属则冷却凝固成焊缝,熔渣也凝固成焊渣覆盖在焊缝表面。埋弧焊焊缝形成过程如图1-2所示。熔渣除了对熔池和焊缝金属起机械保护作用外,焊接过程中还与熔化金属发生冶金反应,从而影响焊缝金属的化学成分。由于熔渣的凝固温度低于液态金属的结晶温度,熔渣总是比液态金属凝固迟一些。这就使混入熔池的熔渣、溶解在液态金属中的气体和冶金反应中产生的气体能够不断地逸出,使焊缝不易产生夹渣和气孔等缺陷。未熔化的焊剂不仅具有隔离空气、屏蔽电弧光的作用,也提高了电弧的热效率。

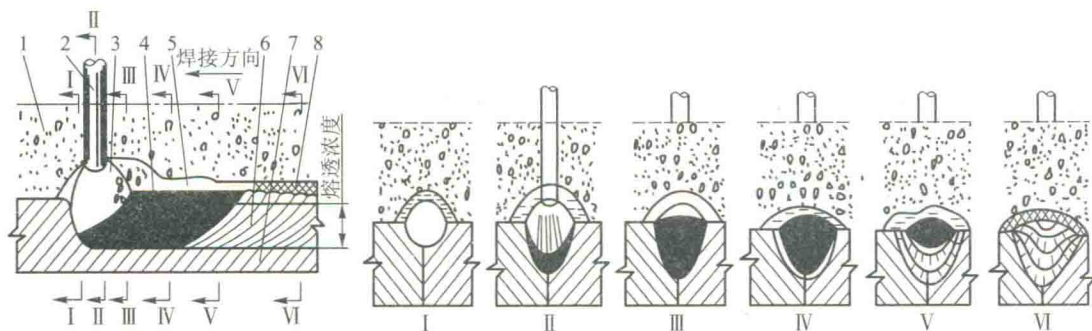


图1-2埋弧焊焊缝的形成过程

- 1—焊剂; 2—焊丝; 3—电弧; 4—熔池; 5—熔渣; 6—焊缝; 7—焊件; 8—渣壳

埋弧焊是目前广泛使用的一种生产效率较高的机械化焊接方法。它与焊条电弧焊相比,虽然灵活性差一些,但焊接质量好、效率高、成本低,劳动条件好。

二、埋弧焊的生产特点

1.埋弧焊的优点

(1) 焊接生产率高,焊接成本较低。埋弧焊时,因焊丝从导电嘴伸出的长度较短,故可使用较大的焊接电流,即使焊接电流达到2 000 A,电弧仍能维持稳定的燃烧;较厚的焊件不开坡口也能焊透,节省了加工坡口的费用和时间,并减少了填充焊丝的消耗量,使焊接时间大大缩短;另外,电弧因受到焊剂的保护,热量集中,热能利用率高,所以焊接速度就可以增加。埋弧焊时,金属飞溅极少,又没有焊条头的损失,也节约了填充金属。此外,埋弧焊的热量集中,热效率高,故在单长度焊缝上所消耗的电能也大大减少。正是由于上述原因,在使用埋弧焊焊接厚大焊件时,可获得较好的经济效益。相比手工电弧焊,生产率可提高5~30倍,被焊金属越厚,生产率越高。

(2) 焊缝质量高。埋弧焊时,焊剂及熔渣不仅能有效地防止有害气体侵入熔池,使焊缝中含氮量和含氧量都大大降低,而且可以降低焊缝的冷却速度,从而可提高焊接接头机械性能。由于埋弧焊熔深较深,故不易产生未焊透等缺陷。由于埋弧焊焊接速度快,线能量集中,故热影响区宽度窄,焊接变形小,焊缝外观光滑平整。另外,埋弧焊焊接规范比较稳定,焊缝表面光洁平,化学成分和机械性能也比较均匀。

(3) 劳动条件好。由于埋弧焊实现了焊接过程的机械化,操作较简便,因而大大减轻了焊工的劳动强度。另外,埋弧焊时电弧是在焊剂层下燃烧,没有弧光的有害影响,放出的烟尘和有害气体也较少,所以焊工的劳动条件大为改善。

2.埋弧焊的缺点

(1) 难以在空间位置施焊。这主要是因为采用颗粒状焊剂,而且埋弧焊的熔池也比焊条电弧焊的大得多,为保证焊剂、熔池金属和熔渣不流失,埋弧焊通常只适用于平焊或平角焊,其他位置(如横焊和立焊)的埋弧焊须采用特殊措施保证焊剂能覆盖焊接区时才能进行焊接,但应用均不普遍。

(2) 对焊件装配质量要求高。由于电弧埋在焊剂层下,操作人员不能直接观察电弧与坡口的相对位置,当焊件装配质量不好时易焊偏而影响焊接质量。因此,埋弧焊时焊件装配必须保证接口中间隙均匀、焊件平整无错边现象。

(3) 不适合焊接薄板和短焊缝。这是由于埋弧焊电弧的电场强度较高,焊接电流小于100A时电弧稳定性不好,故不适合焊接太薄的焊件。另外,埋弧焊由于受焊接小车的限制,机动灵活性差,一般只适合焊接长直焊缝或大圆弧焊缝;对于焊接弯曲、不规则的焊缝或短焊缝则比较困难。

(4) 难以焊接氧化性强的金属材料。由于焊剂的氧化性强,埋弧焊不适合焊接铝、镁等氧化性强的金属及其合金。

三、埋弧焊的分类及应用

近年来，埋弧焊作为一种高效、优质的焊接方法有了很大的发展，已演变出多种埋弧焊工艺方法并在工业生产中得到实际应用。其分类和应用见表1-1。

埋弧焊是焊接生产中应用较普遍的工艺方法。由于焊接熔深大、生产效率高、机械化程度高，因而适用于中厚板长焊缝的焊接。在造船、锅炉与压力容器、化工、桥梁、起重机械、铁路车辆、工程机械、冶金机械以及海洋结构、核电子设备等制造中有广泛的应用。埋弧焊除了主要用于金属结构件的连接外，还可以用来进行金属表面耐磨或耐腐蚀合金层的堆焊。

表1-1 埋弧焊工艺方法分类及应用

分类依据	分类名称	应用范围
按送丝方式	等速送丝埋弧焊	细焊丝高电流密度
	变速送丝埋弧焊	粗焊丝低电流密度
按焊丝数目或形状	单丝埋弧焊	常规对接、角接、筒体纵缝、环焊缝
	双丝埋弧焊	高生产率对接、角接焊
	多丝埋弧焊	螺旋焊管等超高生产率对接焊
	带极埋弧焊	耐磨、耐蚀合金堆焊
按焊缝成形条件	单面埋弧焊	常规对接焊
	单面焊双面成形埋弧焊	高生产率对接焊、难以双面焊的对接焊

随着焊接冶金技术和焊接材料生产技术的发展，埋弧焊所能焊接的材料已从碳素结构钢发展到低合金结构钢、不锈钢、耐热钢以及一些有色金属材料，如镍基合金、铜合金的焊接等。但是，铝、镁及其合金，都因为没有适当的焊剂，目前不能使用埋弧焊焊接，熔点金属（铅、锌等）也不能用埋弧焊焊接。此外，铸铁一般不用埋弧焊焊接，因为埋弧焊的规范较强，产生的热收缩应力很大，很容易将铸铁拉裂。奥氏体锰钢埋弧焊接头的强度和韧性很小，不宜用埋弧焊焊接，工具钢也不能用埋弧焊焊接。

课目二 埋弧焊用焊接材料

埋弧焊所使用的焊接材料是焊丝（或板极、带极）和焊剂，焊丝的作用相当于焊条中的焊芯，而焊剂的作用则相当于焊条中的药皮。

一、埋弧焊的冶金特点

埋弧焊的冶金过程是指液态熔渣与液态金属及电弧气分之间的相互作用，其中主要包括氧化、还原反应，脱硫、脱磷反应以及去气等过程。埋弧焊的冶金过程与焊条电弧焊过程基本相似，但也有其独特的方面。

（1）保护充分，焊缝质量高。埋弧焊接时，电弧在一层较厚的焊剂层下燃烧，部分焊剂在电弧热作用下立即熔化形成液态熔渣，包围了整个焊接区和液态

熔池，隔绝了周围的空气，产生了良好的保护作用，焊缝金属的 $w_{(N)}$ 仅为0.002%（用优质药皮焊条焊接的焊缝金属 $w_{(N)}$ 为0.022%~0.03%），故埋弧焊焊缝具有较高的致密性和纯度。虽然埋弧焊焊缝金属有明显的铸造组织，但通常仍具有较高的韧性。

（2）冶金反应较充分。埋弧焊接时，由于焊接熔池尺寸较大，同时熔池与凝固的焊缝金属被较厚的熔渣层覆盖，因此焊接区的冷却速度较慢，熔池金属处于液态时间比焊条电弧焊高几倍，熔池液态金属与熔渣的反应时间较长，冶金反应较充分，去气较完全，熔渣也易于从液态金属中浮出。

（3）焊缝金属的合金成分易于控制。埋弧焊接过程中可以通过焊剂或焊丝对焊缝金属进行渗合金，焊接低碳钢时，可利用焊剂中的 SiO_2 和 MnO 的还原反应，对焊缝金属渗硅和渗锰以保证焊缝金属应有的合金成分和力学性能。焊接合金钢时，通常利用相应的合金焊丝来保证焊缝金属的合金成分。

（4）焊缝金属纯度较高。埋弧焊过程中，高温熔渣具有较强的脱硫、脱磷作用，焊缝金属中的硫、磷含量可控制在很低的范围内。同时，熔渣亦具有去气作用而大大降低了焊缝金属中氢和氧的含量。

（5）焊缝金属化学成分稳定。埋弧焊的焊接工艺参数比焊条弧焊稳定，单位时间内所熔化的金属与焊剂之比较为稳定，因而焊缝金属的化学成分相对比较稳定。

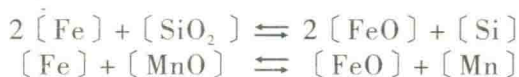
二、埋弧焊的冶金反应

埋弧焊时所形成的熔渣除了对电弧和熔池有机械隔离保护作用外，还产生冶金反应。冶金反应主要为置换反应，形成锰、硅还原入熔池，碳被烧损，以及硫、磷、氢气等有害杂质在熔池的过渡。利用冶金反应向焊缝金属渗锰、渗硅，并控制碳的烧损及考虑脱硫、脱氢、脱磷，这既是焊剂配方要考虑的，也是选择焊剂、焊丝时的原则。

埋弧焊时的冶金反应主要有硅锰还原反应，脱硫、脱磷、碳的氧化反应和去气反应。

1. 硅锰还原反应

硅和锰是低碳钢焊缝金属中的主要合金元素，锰可提高焊缝的抗热裂性和力学强度，改善常温和低温韧性，硅使焊量金属镇静，加快熔池金属的脱氧过程，保证焊缝金属的致密性。低碳钢埋弧焊用焊剂通常含有较高的（ MnO ）和氧化硅（ SiO_2 ），焊缝金属的渗硅和渗锰主要通过 MnO 和 SiO_2 的还原反应实现。即



上述Si、Mn还原反应在熔滴过渡过程中最为剧烈，其次是焊丝端部和熔池的前部。这3个区域的温度都很高，有利于反应向右进行。在温度较低的熔池后

部, Si、Mn还原反应可能向左进行, 即熔池金属中的Si和Mn与FeO反应使熔池脱氧而形成SiO₂和MnO进入熔渣, 但左向反应因温度较低, 反应较缓慢, 因此, Si和Mn还原反应的最终结果是使焊缝金属渗硅和渗锰。

从焊剂中向焊缝金属过渡硅、锰的数量取决于下列4点:

(1) 焊剂成分的影响。Si和Mn的过渡量与焊剂中SiO₂和MnO含量成正比。焊剂中 w_{SiO_2} 大于40%, 向焊缝金属过渡的硅量可达0.1%以上。焊剂中 w_{MnO} 的含量大于25%, Mn的过渡量明显增加, 而 w_{MnO} 含量超过35%, 渗锰量不再按比例增大。此外, Mn的过渡量还与焊剂中的SiO₂含量有关。 w_{SiO_2} 含量大于40%的焊剂, 锰的过渡量明显减少。

(2) 焊丝和母材金属中Si和Mn原始含量的影响。熔池金属中Si和Mn原始含量越低, 则Si和Mn的过渡量越大, 反之则减少, 另外, 金属中的Si和Mn与熔渣中的MnO和SiO₂存在下列反应:



故熔池金属中, Mn的原始含量高, 可使Si的过渡量增加。Si的原始含量高, 则可使Mn的过渡量增加。

(3) 焊剂碱度的影响。Mn的过渡量随焊剂碱度的提高而增加, 因为碱度增加, 意味着强碱性氧化物CaO和MgO增加, 这样可替换出一部分MnO参加还原反应。同时, CaO和MgO含量增加使自由的SiO₂含量减少, 结果使Si的过渡量降低。

(4) 焊接参数的影响。焊接参数对Si、Mn合金元素的过渡有一定的影响。采用小电流焊接时, 焊丝熔化后呈大熔滴过渡, 熔滴形成的时间较长, Si和Mn的过渡量增多。而采用大电流焊接时, 焊丝熔化加快, 并以细熔滴过渡, 熔滴形成时间缩短, Si和Mn的过渡量相应减少。电弧电压提高时, 焊剂熔化量增加, 焊剂与金属熔化量之比加大, 从而使Si和Mn的过渡量增加。

2. 碳的烧损

焊缝金属中的碳来自焊丝和母材, 焊剂中碳的含量很少, 焊丝中的碳, 当熔滴过渡时发生剧烈的氧化:



熔池金属中的碳氧化程度要低得多。

焊丝中碳的原始含量增加, 则烧损量增加。碳氧化过程中, 对熔池金属产生搅拌作用, 加快熔池中气体的逸出, 有利于遏制焊缝中氢气孔的形成。

焊缝金属的合金含量对碳的氧化有一定的影响。硅含量的提高能抑制碳的氧化; 而锰含量的增加, 对碳的氧化无明显的影响。

3. 去氢反应

埋弧焊时, 焊缝中的气孔主要是氢气孔。为去除焊缝中的氢, 应将氢结合成不溶于熔池金属的化合物而排出熔池。采用高硅高锰焊剂埋弧焊时, 可通过下列反应把氢结合成稳定而不溶于熔池的化合物。

1) HF的形成



SiF_4 在电弧高温作用分解为:



CaF_2 在高温下也发生分解:



F是活泼元素,它将优先与氢结合成不溶于熔池金属的HF而排入大气中,防止了氢气孔的形成。

2) OH的形成

在电弧高温作用下,OH可通过下列反应形成:



OH不溶于熔池金属而防止了氢气孔的形成。

4.脱硫和脱磷反应

硫是促使焊缝金属产生热裂纹的主要因素之一,通常要求焊缝金属的 $w_{(\text{S})}$ 低于0.025%,因为硫是一种偏析倾向较大的元素,故微量的硫也会产生有害的影响。

埋弧焊时,降低焊缝金属的硫含量可以通过提高焊剂中MnO的含量或焊丝中的锰含量来实现。硫的危害主要是它与Fe结合成低熔点共晶体,当焊缝金属从熔化状态凝固时,低熔共晶液膜偏聚于晶界而导致红脆性或热裂纹。硫化铁FeS可通过下列反应被Mn置换,而形成熔点较高的MnS,并大部分从金属熔池中上浮到熔渣中。



焊剂中的CaO亦能通过下列反应将FeS中的S结合成硫化钙而达到脱硫的目的。



三、埋弧焊用焊剂

1.焊剂的作用

焊剂是焊接时能够熔化形成熔渣,对熔化金属起保护和冶金作用的颗粒状物质。埋弧焊时焊剂起到以下3方面的作用:

(1) 保护作用。埋弧焊时在电弧热的作用下,使部分焊剂熔化形成熔渣并产生某种气体,从而有效地隔绝空气,保护熔滴、熔池和焊接区,防止焊缝金属化和合金元素的烧损,并使焊接过程稳定。

(2) 冶金作用。在焊接过程中起脱氧和渗合金的作用,与焊丝恰当配合,

使焊缝金属获得所要求的化学成分和力学性能。

(3) 改善焊接工艺性能。使电弧稳定地连续燃烧, 焊缝成形美观。

2. 对焊剂性能的要求

在埋弧焊中, 由于电弧高温的作用, 有的元素被烧损或蒸发, 为了减少或补偿元素的损失, 保证焊接过程的稳定以及焊缝的良好成形和高质量, 焊剂必须满足下列要求。

(1) 能保证电弧稳定地燃烧。

(2) 保证焊缝金属能获得所需的化学成分和力学性能。

(3) 能有效地脱硫、脱磷, 对油、锈的敏感性小, 不致使焊缝中产生裂纹和气孔。

(4) 焊接时无有害气体析出。

(5) 有合适的熔化温度及高温时有适当的黏度, 以利于焊缝有良好的成形, 凝固冷却后有良好的脱渣性。

(6) 不易吸潮和颗粒有足够的强度, 以保证焊剂的多次使用。

除此之外, 对焊剂性能指标的具体要求如下。

(1) 焊剂中水分的质量分数不得大于0.10%。

(2) 焊剂机械夹杂物(碳粒、铁屑、原材料颗粒、铁合金凝珠及其他杂物)的质量分数不大于0.30%。

(3) 焊剂中硫的质量分数不得大于0.060%; 磷的质量分数不得大于0.080%。根据供需双方协议, 也可以制造硫、磷含量更低的焊剂。

(4) 焊剂的粒度分为两种: 一种是普通粒度, 粒度为40~8目(0.45~2.5 mm); 另一是细颗粒度, 粒度为60~10目(0.28~2 mm)。进行粒度检查时, 对于普通颗粒度的焊剂, 粒度小于40目(0.45 mm)的质量分数不得大于5%; 颗粒度大于8目(2.50 mm)的质量分数不得大于2%。对于细颗粒度的焊剂, 颗粒度小于60目(0.28 mm)的质量分数不得大于5%; 颗粒度大于10目(2.00 mm)的质量分数不得大于2%。

3. 焊剂的分类

1) 按制造方法分类

按制造方法的不同, 可以把焊剂分成熔炼焊剂和非熔炼焊剂两大类。熔炼焊剂是将一定比例的各种配料放在炉内熔炼, 然后经过水冷粒化、烘干、筛选而制成的焊剂。而非熔炼焊剂根据焊剂烘焙温度不同又分成黏结焊剂和烧结焊剂。黏结焊剂也称为陶瓷焊剂, 其制造方法是将各种粉料按配方规定的比例混拌在一起, 然后加水玻璃制成湿料, 再把湿料制成一定尺寸的颗粒, 经烘干(烘干温度在400℃~500℃)以后即可使用。烧结焊剂与黏结焊剂的制造方法相似, 主要差别是前者的烘干温度较高(称之为烧结), 通常在700℃~900℃, 烧结之后再粉碎成一定尺寸的颗粒即可使用。在日本, 把黏结焊剂称为低温烧结焊剂, 而把

700 ℃~900 ℃烧结的焊剂称为高温烧结焊剂。

在熔炼焊剂中，根据颗粒结构的不同，又分成玻璃状焊剂、玉石状焊剂和浮石状焊剂。玻璃状焊剂和玉石状焊剂的结构都比较致密，其松装比为1.1~1.8 g/cm³。浮石状焊剂的结构比较疏松，松装比为0.7~1.0 g/cm³。

与熔炼焊剂相比较，烧结焊剂熔点较高，松装比较小，故这类焊剂适合于大线能量焊接；另外，还可以通过烧结焊剂向焊缝过渡合金元素，所以焊接特殊钢时，宜选用烧结焊剂。

根据不同的使用要求，还可以把熔炼焊剂和烧结焊剂混合起来使用，称之为混合焊剂。

熔炼焊剂与烧结焊剂的性能比较见表1-2。

表1-2 熔炼焊剂与烧结焊剂性能比较

项目		熔炼焊剂	烧结焊剂
焊接工艺性能	高速焊接性能	焊道均匀、不易产生气孔和夹渣	焊道无光泽，易产生气孔、夹渣
	大电流焊接性能	焊道凹凸显著，易黏渣	焊道均匀，易脱渣
	吸潮性能	比较小，可不必再烘干	比较大，必须再烘干
	抗锈性能	比较敏感	不敏感
焊缝性能	韧性	受焊丝成分和焊剂碱度影响大	比较容易得到较好的韧性
	成分波动	焊接规范变化时成分波动小，均匀	成分波动大，不容易均匀
	多层焊性能	焊缝金属的成分变动小	焊缝金属成分波动比较大
	合金剂的添加	几乎不可能	容易

按照焊剂的化学成分进行分类是一种常用的分类方法。按SiO₂含量可分为高硅焊剂、低硅焊剂和无硅焊剂；按MnO含量可分为高锰焊剂、中锰焊剂、低锰焊剂和无锰焊剂；也有的按SiO₂和MnO含量或SiO₂、MnO和CaF₂含量进行组合分类。国际焊接学会以及西欧国家都按照焊剂的主要成分特性进行分类，我国的烧结焊剂也采用这种分类方法。

(1) 按照焊剂的主要成分特性分。

表1-3列出了国际焊接学会推荐的焊剂分类方法，各类型的特征说明如下。

表1-3 按主要成分特性对焊剂分类

焊剂代号	焊剂类型	主要成分
MS	锰—硅型	MnO+SiO ₂ >50%
CS	钙—硅型	CaO+MgO+SiO ₂ >60%
AR	铝—钛型	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ >45%
AB	铝—碱型	Al ₂ O ₃ +CaO+MgO>45%，(Al ₂ O ₃ ≈20%)
FB	氟—碱型	CaO+MgO+MnO+CaF ₂ >50%，SiO ₂ ≤20%，CaF ₂ ≥15%
ST	特殊型	不规定

锰—硅型焊剂主要由MnO和SiO₂组成，此焊剂与含锰量少的焊丝配合，可以向焊缝过渡适量的锰与硅；钙—硅型焊剂由于焊剂中含有较多的SiO₂，即使采用

含硅量低的焊丝，仍可得到含硅量较高的焊缝金属，该焊剂适于大电流焊接；铝—钛型焊剂适于多丝焊接和高速焊接；铝—碱型焊剂的性能介于铝—钛型和氟—碱型焊剂之间；氟—碱型焊剂的特点是 SiO_2 含量低，减少了硅的过渡，可得到冲击韧性高的焊缝金属。

(2) 按焊剂中 SiO_2 含量多少，可分为高硅焊剂、低硅焊剂和无硅焊剂3类。

高硅焊剂中 SiO_2 含量大于35%， MnO 含量为15%~50%，其代表性的牌号是HJ430、HJ431等。这类焊剂在焊接碳钢方面占有重要地位；在焊接合金钢方面仅用于对冷脆性无特殊要求的结构。原因是焊缝中S、P及夹杂物的含量较高，焊缝金属的脆性转变温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这类焊剂具有两种颗粒结构，一种是玻璃状的，它具有良好的抗结晶裂纹能力；另一种是浮石状的，它具有高的抗气孔能力，并适于高速焊接。高硅焊剂具有良好的焊接工艺性能，适于用交流电源，电弧稳定，脱渣容易，焊缝成形美观，对铁锈的敏感性小，焊缝的扩散氢含量低。

低硅焊剂中 SiO_2 含量6%~35%，主要用于焊接低合金钢和高强度钢。与高硅焊剂相比较，焊缝金属的低温韧性有一定提高。焊接过程中合金元素烧损较少，与适当的焊丝相配合可以达到所要求的焊缝强度。这类焊剂 also 具有良好的脱渣性。但是，焊缝成形及抗气孔、抗结晶裂纹能力不如高硅焊剂好。为了消除由氢引起的焊接裂纹，通常在高温下焙烘焊剂，在某些情况下甚至采用干法粒化焊剂。为了保证良好的焊接工艺性能，施焊时宜采用直流反接。低硅氧化性焊剂是焊接低合金高强度钢的新型焊剂，其特点是焊剂成分中含有较多的氧化亚铁。与普通的低硅焊剂相比较，液态熔渣对焊接熔池有较强的氧化性，焊缝中的扩散氢含量低，提高了焊缝金属抗气孔及抗冷裂纹的能力。另外，焊缝中非金属夹杂物及有害杂质的含量低，因此焊缝金属的塑性和冲击韧性较高。但是采用这类焊剂施焊时，合金元素烧损较多，焊缝强度会有所下降，故应选用合金元素含量较高的焊丝。焊剂的焊接工艺性能与低硅焊剂相接近，焊接时亦应采用直流反接。

无硅焊剂中 SiO_2 含量很少（ $\leq 5\%$ ），焊接时合金元素几乎不被氧化，焊缝中氧的含量低，配合不同成分的焊丝焊接高强度钢时，可以得到强度高、塑性好、低温下具有良好冲击韧性的焊缝金属。这种焊剂的缺点是焊接工艺性能不太好，焊缝中扩散氢含量高，抗冷裂纹能力较差。为了降低焊缝中氢含量，必须在高温下长时间焙烘焊剂。为了改善焊接工艺性能，可在焊剂中加入钛、锰或硅的氧化物。但是，随着这些氧化物的加入，焊剂的氧化性也提高了。采用这类焊剂必须使用直流电源，主要用于焊接不锈钢等高合金钢。

(3) 按照焊剂中 MnO 含量的多少，可以把焊剂分为无 MnO 型（ $\text{MnO} < 2\%$ ）、低 MnO 型（ $\text{MnO} 2\% \sim 15\%$ ），中 MnO 型（ $\text{MnO} 15\% \sim 30\%$ ）和高 MnO 型（ $\text{MnO} > 30\%$ ）。

低 MnO 型焊剂有的过去用于大电流双面单层焊接，现已被烧结型焊剂所取代。也有的焊剂属于高碱性焊剂，焊缝金属的韧性好，是专门用于焊接低温钢和

原子反应堆用钢的焊剂。中MnO型焊剂，有的含有10%~20%的SiO₂，焊接工艺性能好，主要用于薄板高速焊接和角焊缝的焊接等；也有的焊剂具有良好的焊接工艺性能及焊缝力学性能，可焊接低碳钢及590MPa级的高强度钢，适于对接、角接及横向焊接等。高MnO型玻璃状焊剂和浮石状焊剂的工艺性能都很好，适于高速焊接及角缝焊接等。

根据我国的资源情况，高MnO型焊剂应限制。另外，因锰矿中含磷较高，高MnO型焊剂易引起焊缝增磷，降低焊缝金属抗低温脆性破坏的能力。

(4) 我国的熔炼焊剂是按照焊剂中MnO、SiO₂和CaF₂的含量组合进行分类的。将这3个成分组合之后，可以粗略地比较焊剂的酸碱度，大致分析出焊剂的主要特征。例如高锰高硅低氟焊剂，属于酸性焊剂，焊接工艺性能良好，适于交直流电源，主要用于焊接低碳钢及对韧性要求不高的低合金钢等，焊缝韧性特别是低温韧性较低，不适于焊接重要结构。无锰低硅高氟焊剂，则属碱性焊剂，焊接工艺性能较差，只适于直流电源，焊缝韧性高，焊剂氧化性小，可焊接不锈钢等高合金钢。中锰中硅中氟焊剂多属中性焊剂，焊接工艺性能和焊缝韧性均可，多用于焊接低合金钢结构。

2) 按焊剂中添加脱氧剂、合金剂分类

(1) 中性焊剂。指在焊接后，熔敷金属化学成分与焊丝化学成分不产生明显变化的焊剂。多用于多道焊，特别适合于厚度大于25 mm的母材的焊接

(2) 活性焊剂。指在焊剂中加入少量的锰、硅脱氧剂的焊剂，可以提高抗气孔能力和抗裂性能；主要用于单道焊，特别是对易氧化的母材。

(3) 合金焊剂。指该焊剂与碳钢焊丝合用后，其熔敷金属为合金钢的焊剂，这类焊剂中添加了较多的合金成分，用于过渡合金，多数合金焊剂为黏结焊剂和烧结焊剂。

3) 按焊剂的碱度分类

碱度是焊剂-熔渣最重要的冶金特征，它对焊剂的水解作用和熔渣-金属相界面上的冶金反应都有很大影响。随着焊剂碱度的变化，其焊接工艺性能和焊缝金属的韧性都将发生很大变化。通常酸性焊剂具有良好的焊接工艺性能，焊缝成形美观，但冲击韧性较低；相反，碱性焊剂可以得到高的焊缝冲击韧性，但焊接工艺性能较差。

有关焊剂碱度的表达式是不统一的，还有些分歧，例如CaF₂在碱度公式中如何处理；再如TiO₂和Al₂O₃是两性氧化物，在酸性渣中，它们表现出碱性氧化物的性质，而在碱性渣中，它们又表现出酸性氧化物的性质。

目前，应用较广的是国际焊接学会推荐的公式，即

$$B = \frac{[\text{CaO} + \text{MgO} + \text{BaO} + \text{SiO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaF}_2 + 0.5(\text{MnO} + \text{FeO})]}{[\text{SiO}_2 + 0.5(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2)]}$$