



高职高专“十一五”规划教材

金属熔化焊基础

蔡南武 主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

金属熔化焊基础

蔡南武 主 编

夏传艳 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

金属熔化焊基础是高职高专院校焊接技术及自动化专业必修的一门职业技术课程。根据职业教育培养应用型人才的要求,本教材重点放在必备的基础理论和应用知识上。

本书共分6章,第1章介绍焊接过程的物理本质等内容,第2章重点介绍焊条、焊丝和焊剂等焊接材料,第3章介绍常用焊接热源、焊接温度场和焊接热循环,第4章介绍焊接化学冶金过程,包括焊缝金属的构成、焊接化学冶金过程的特点、焊接熔渣、有害元素对焊缝金属的影响等,第5章介绍焊缝金属、熔合区和焊接热影响区的组织与性能,第6章重点介绍气孔、夹杂、裂纹等焊接缺陷的特征、影响因素与防止措施。本书内容详细、图文并茂,重点讲述实用性知识。书中配有与焊工职业技能鉴定理论考试相适应的复习思考题和练习题。

本书可作为高职高专院校焊接技术及自动化专业的教材,也可供机械类其它专业的师生、在职焊工工人及相关技术人员参考。

金属熔化焊基础

蔡南武主编

化学工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属熔化焊基础/蔡南武主编. —北京:化学工业出版社, 2008.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-03199-0

I. 金… II. 蔡… III. 金属-熔焊-高等学校:技术学院-教材 IV. TG442

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第097932号

责任编辑:韩庆利 高 钰

装帧设计:史利平

责任校对:顾淑云

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11¼ 字数280千字 2008年9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:20.00元

版权所有 违者必究

前 言

金属熔化焊基础是高职高专院校焊接技术及自动化专业必修的一门职业技术课程。它主要讨论焊接材料、焊接热过程、焊接化学冶金过程、焊接接头的组织与性能、焊接缺陷的产生与防止等有关熔化焊的基础理论知识和应用知识。

本书具有以下特点：①较多地介绍了应用知识与经验，减少一些理论性较强的知识；②书中附有可供选择的实验项目，通过进行必要的实验项目教学，可以提高学生动手和动脑的能力；③每章后面附有与焊工职业技能鉴定相适应的复习与练习题，通过练习可以使学生在巩固所学知识的同时为职业技能鉴定的理论考试打下基础。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校焊接技术及自动化专业的教材，也可供机械类其它专业的师生、在职焊接工人及相关技术人员参考。

本书由蔡南武任主编，夏传艳任副主编。参加本书编写工作的有：蔡南武（第1、6章）、夏传艳（第5章）、杨硕（第2、3章）、马小莉（第4章）。

由于水平有限，本书难免存在一些缺点和不妥之处，恳请广大师生、读者批评指正。

编 者

2008年6月

主要名词符号对照表

A ——面积、奥氏体
 A_{kv} ——V形缺口冲击吸收功
 B ——熔宽
 c ——比热容
 CE ——碳当量 (IIW)
 C_{eq} ——碳当量 (WES)
 D ——扩散系数
 E ——线能量、弹性模量
 H ——熔深
 HAZ ——焊接热影响区
 I ——电流
 IIW ——国际焊接学会
 K ——平衡常数
 K_b ——药皮重量系数
 L ——分配常数
 l ——拘束长度
 M ——马氏体
 M_s ——马氏体开始转变温度
 MIG ——熔化极惰性气体保护电弧焊
 P ——有效热功率
 P_c ——冷裂纹敏感系数 (考虑板厚)
 P_w ——冷裂纹敏感系数 (考虑拘束度)
 P_{cm} ——合金元素碳当量

P_{SR} ——消除应力裂纹敏感系数
 R ——拘束度
 T_A ——奥氏体转化温度
 T_B ——脆性温度区间
 T_L ——液相温度
 T_M ——熔化温度
 T_S ——固相温度
 TIG ——钨极惰性气体保护焊
 t_H ——相变以上停留时间
 $t_{8/5}$ ——800~500℃的冷却时间
 U ——电弧电压
 v ——焊接速度
 v_m ——焊条金属平均熔化速度
 α ——线膨胀系数
 α_H ——焊条的熔敷系数
 α_P ——焊条的熔化系数
 δ ——板厚
 η ——合金元素过渡系数
 η' ——热效率
 θ ——熔合比
 λ ——热导率
 ψ ——飞溅率
 ϕ ——焊缝成形系数

目 录

主要名词符号对照表

第 1 章 绪论	1
1.1 焊接过程的物理本质	1
1.2 焊接技术发展简况	3
1.3 本课程讨论的对象与内容	3
1.4 学习本课程的目的、要求及方法	4
复习思考题	4
第 2 章 焊接材料	5
2.1 焊条	5
2.1.1 焊条的组成和作用	5
2.1.2 焊条的分类	8
2.1.3 焊条的型号与牌号	9
2.1.4 焊条的工艺性能	11
2.1.5 焊条的冶金性能	13
2.1.6 焊条的选择、保管和使用	14
2.1.7 焊条的设计和制造	17
2.2 焊丝	18
2.2.1 焊丝的分类	18
2.2.2 实芯焊丝	18
2.2.3 药芯焊丝	19
2.3 焊剂	21
2.3.1 焊剂的分类	21
2.3.2 焊剂的型号与牌号	21
2.3.3 常用焊剂的性能及用途	24
2.4 焊接用气体	25
2.4.1 焊接用气体的物理和化学性质	25
2.4.2 焊接用气体的类型	28
2.5 其它焊接材料	28
2.5.1 焊接用钨极	28
2.5.2 气焊熔剂	29
2.5.3 碳棒	30
复习思考题	30
第 3 章 焊接热过程	32
3.1 常用焊接热源	32
3.1.1 焊接热源种类	32
3.1.2 焊接热效率和线能量	33

3.1.3 焊接传热的基本方式	34
3.1.4 焊接热源的主要特征	34
3.2 焊接温度场	35
3.2.1 焊接温度场的概念	35
3.2.2 影响焊接温度场的因素	38
3.3 焊接热循环	40
3.3.1 焊接热循环的主要参数	40
3.3.2 焊接热循环的特点	41
3.3.3 影响焊接热循环的因素	42
3.3.4 调整焊接热循环的方法	43
复习思考题	44
第4章 焊接化学冶金过程	46
4.1 焊条熔化及熔池形成	46
4.1.1 焊条的加热与熔化	46
4.1.2 母材的熔化与熔池	49
4.1.3 焊缝金属的熔合比	50
4.2 焊接化学冶金过程的特点	52
4.2.1 焊接过程中对金属的保护	52
4.2.2 焊接化学冶金反应区及其反应条件	53
4.2.3 焊接工艺参数与化学冶金反应的关系	56
4.2.4 焊接化学冶金系统及其不平衡性	57
4.3 焊接熔渣	57
4.3.1 熔渣的作用、成分和分类	57
4.3.2 熔渣的结构理论	58
4.3.3 熔渣的性质	60
4.4 气相对焊缝金属的作用	63
4.4.1 焊接区内的气体	63
4.4.2 氮对熔池金属的作用	64
4.4.3 氢对熔池金属的作用	67
4.4.4 氧对熔池金属的作用	72
4.5 焊缝金属的氧化与还原	73
4.5.1 气相对焊缝金属的氧化	73
4.5.2 熔渣对焊缝金属的氧化	75
4.5.3 焊缝金属的脱氧	76
4.6 焊缝中硫和磷的控制	79
4.6.1 焊缝中硫的危害及控制	79
4.6.2 焊缝中磷的危害及控制	81
4.7 焊缝金属的合金化	82
4.7.1 合金化的目的	82
4.7.2 合金过渡的方式	82
4.7.3 合金元素的过渡系数及其影响因素	82

复习思考题	84
第 5 章 焊接接头的组织与性能	86
5.1 焊接熔池的凝固	86
5.1.1 熔池凝固的条件和特点	86
5.1.2 熔池凝固的过程	87
5.1.3 焊缝金属的化学不均匀性	88
5.2 焊缝金属的固态相变	90
5.2.1 低碳钢焊缝的固态相变	90
5.2.2 低合金钢焊缝的固态相变	90
5.2.3 焊缝组织与性能的改善	93
5.3 焊接熔合区的特征	95
5.3.1 熔合区形成的原因	96
5.3.2 熔合区的宽度	96
5.3.3 熔合区的不均匀性	96
5.4 焊接热影响区的组织与性能	97
5.4.1 焊接 CCT 图	98
5.4.2 焊接热影响区组织变化的特点	99
5.4.3 焊接热影响区的组织	102
5.4.4 焊接热影响区的性能	106
复习思考题	110
第 6 章 焊接缺陷的产生与防止	112
6.1 焊接缺陷的分类及其一般特征	112
6.1.1 裂纹	112
6.1.2 孔穴	117
6.1.3 固体夹杂	119
6.1.4 未熔合与未焊透	119
6.1.5 形状缺陷	120
6.1.6 其它缺陷	121
6.2 焊缝中的气孔	121
6.2.1 焊缝中气孔的危害	121
6.2.2 焊缝中常见气孔的类型及特征	121
6.2.3 焊缝中气孔形成的过程	123
6.2.4 影响生成气孔的因素及防止措施	124
6.3 焊缝中的夹杂物	128
6.4 结晶裂纹	129
6.4.1 结晶裂纹的形成原因	129
6.4.2 结晶裂纹的影响因素	131
6.4.3 防止结晶裂纹的措施	135
6.5 延迟裂纹	137
6.5.1 延迟裂纹的特征	137
6.5.2 形成延迟裂纹的基本因素及其作用	138

6.5.3 防止延迟裂纹的主要措施	140
6.6 其它焊接裂纹	142
6.6.1 液化裂纹	142
6.6.2 多边化裂纹	142
6.6.3 再热裂纹	143
6.6.4 层状撕裂	145
6.6.5 应力腐蚀裂纹	146
复习思考题	148
附录 A 实验项目	151
实验 1 焊条配制及工艺性评定	151
实验 2 焊条熔化系数与熔敷系数的测定	152
实验 3 焊缝金属扩散氢的测定	152
实验 4 焊接接头金相组织观察	153
附录 B 焊条型号与牌号的编制方法	155
1 各类焊条型号与牌号的对应关系	155
2 各类焊条的型号表示	155
3 各类焊条的牌号表示	161
附录 C 国内外焊条对照表	167
参考文献	171

第1章 绪 论

教学目标：了解焊接过程的物理本质；明确学习本课程的目的；熟悉本课程的讨论对象及内容。

在金属加工领域中，焊接属于连接方法之一。今天的焊接已经从一种传统的热加工工艺发展到了集材料、冶金、结构、力学、电子等多门类科学为一体的工程工艺学科。而且，随着相关学科技术的发展和进步，不断有新的知识融合在焊接之中。剖析现代的焊接，不难发现具有下列特征。

① 焊接已成为最流行的连接技术。在当今工业社会，没有哪一种连接技术像焊接那样被如此广泛、如此普遍地应用在各个领域。而其中最主要的原因就是其极具竞争力的性价比。

② 焊接显现了极高的技术含量和附加值。在人类社会步入 21 世纪的今天，焊接已经进入了一个崭新的发展阶段。当今世界的许多最新科研成果、前沿技术和高新技术，诸如：计算机、微电子、数字控制、信息处理、工业机器人、激光技术等，已经被广泛地应用于焊接领域，这使得焊接的技术含量得到了空前的提高，并在制造过程中创造了极高的附加值。

③ 焊接已成为关键的制造技术。焊接作为加工工艺之一，通常被安排在制造流程的后期或最终阶段，因而对产品质量具有决定性作用。正因为如此，在许多行业中，焊接被视为一种关键的制造技术。

④ 焊接已成为现代工业不可分离的组成部分。许多工业产品的制造已经无法离开焊接技术的使用。我国的三峡水利工程、西气东输工程以及“神舟”号载人飞船，哪个没有采用焊接结构？焊接已经深深地溶入了现代工业经济中，并在其中显现了十分重要、甚至是不可替代的作用。

1.1 焊接过程的物理本质

所谓焊接过程的物理本质，是指焊接与其它连接方法在宏观和微观两个方面的根本区别。正确认识焊接过程的物理本质，是掌握焊接基本理论与基本规律的前提，对于保证焊接质量，提高焊接技术都具有重要的意义。

什么是焊接？焊接是通过加热或加压，或两者并用，并且用或不用填充材料，使工件达到结合的一种方法。

焊接与其它连接方法（如螺栓连接、键连接、铆接、粘接等）有实质的区别。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。

如图 1-1 所示，两个原子间的结合力的大小是二者之间的引力与斥力共同作用的结果。当原子间的距离为 r_A 时，合力表现为引力且最大，对于大多数金属来说， $r_A \approx 0.3 \sim 0.5\text{nm}$ 。当原子间的距离大于或小于 r_A 时，结合力都显著降低。

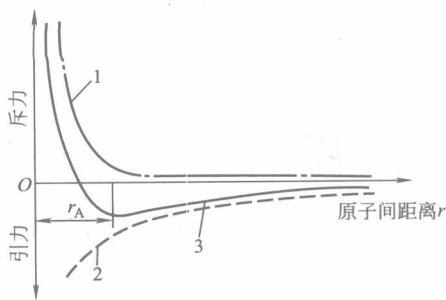


图 1-1 双原子之间的作用力与距离的关系
1—斥力；2—引力；3—合力

怎样才能建立金属键呢？从理论上讲，就是当两个被焊的固体金属表面接近到相距 r_A 时，就可以在接触表面上进行扩散、再结晶等物理化学过程，从而形成金属键，达到焊接的目的。

要使两个分离的固体金属表面相距 r_A ，在没有外加能量的条件下是不可能的。这是因为即使经过精密机加工的金属表面，其表面粗糙度也远大于 r_A 值，加之金属表面一般还有氧化膜、油污和水分等吸附物要阻碍金属表面的紧密接触。

为了克服阻碍金属表面紧密接触的各种因素，

在焊接工艺上采取以下两种措施。

① 对被焊接件施加压力。加压可以破坏接触面的氧化膜，使连接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，当压力达到一定值时，两接触面原子间的距离可以接近 r_A 值，从而产生最大合力，最终建立金属键。

② 对被焊接件进行局部或整体加热。加热使连接处达到塑性或熔化状态，从而破坏金属表面的氧化膜，减小变形阻力，加热还会增加原子的振动能，有利于再结晶、扩散、化学反应和结晶过程的进行，最终实现焊接。

对某一金属而言，实现焊接所需的最低能量是一定的。因此，所需的加热温度与压力之间存在互补关系。

焊接纯铁时所需温度与压力的关系如图 1-2 所示。从图中可以看出，焊接时加热的温度越高，所需的压力就越小。据此，将其分为四个区，即高压焊接区、压焊区、熔焊区和不能实现焊接区。

按照加热的程度以及是否加压，可以将焊接划分为熔化焊（简称熔焊）、压焊和钎焊三大类。利用一定的热源，使工件的被连接部位局部熔化成液体，然后再结晶成一体的方法称为熔焊；利用摩擦、扩散和加压等物理作用，克服两个连接体表面的不平度，除去氧化膜及其表面污染物，使两个连接表面的原子相互接近达到晶格距离，从而在固态条件下实现连接的方法称为压焊；采用熔点比母材低

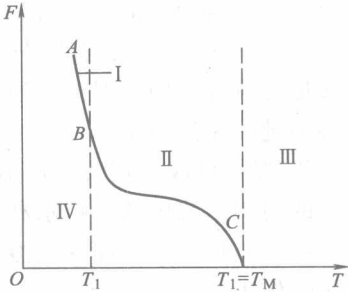


图 1-2 纯铁焊接时所需温度
T 与压力 F 的关系

I—高压焊接区；II—压焊区；
III—熔焊区；IV—不能实现焊接区

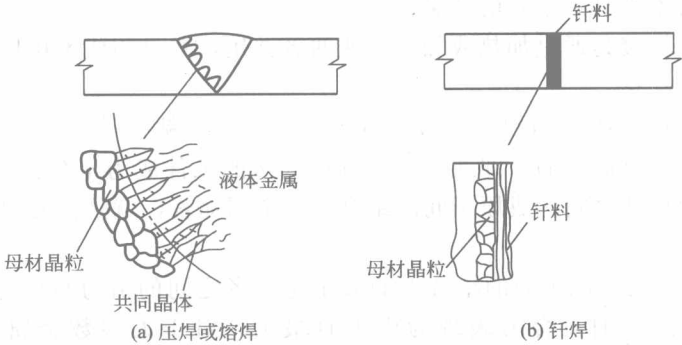


图 1-3 压焊或熔焊与钎焊的区别示意图

液态钎料充满接头间隙,熔化的钎料润湿母材表面,冷却后结晶形成一体的方法称为钎焊。

必须指出,熔焊和压焊,在焊件之间(母材与焊缝)都形成共同的晶粒,如图1-3(a)所示。而钎焊时,由于母材不熔化,一般不易形成共同晶粒,如图1-3(b)所示。因此,钎焊虽然在宏观上也能形成不可拆卸的接头,但在微观上与压焊或熔焊有本质的区别。

1.2 焊接技术发展简况

公元前3000多年,埃及出现了锻焊技术,公元前2000多年,中国的殷朝采用铸焊制造兵器。直到1801年迪威发现了电弧放电现象,这才是近代焊接技术的起点。

19世纪中叶人们提出了利用电弧熔化金属并进行材料连接的思想,许多年后才真正出现了达到实用程度的电弧焊接方法。最初可以称为电弧焊接的是1885年俄国人发明的碳弧焊,该方法以碳电极作为阳极产生电弧,被用在铁管、容器的制造及蒸汽机车的修理中。俄国人在1891年提出以金属电极取代碳电极的金属极焊接法,最初是在空气中产生金属极(铁)电弧进行焊接,焊接接头的品质用现在的标准判断是不合格的。对这一状况加以改进的是瑞典人在1907年发明了焊条,并于1912年开发出保护性能良好的厚涂层焊条,确立了焊条电弧焊技术的基础。从“利用电弧进行金属的熔化焊接”这一新思想产生开始,经历了50多年的岁月,焊接技术的基础才得以确立。与当时使用着的螺钉等机械连接法相比,电弧焊接能够减少使用材料、确保接合强度、缩短作业时间,因此很快被产业界所采用。

焊条焊接法的成功进一步促进了电弧焊接法的发展。由于焊条焊接采用了有限长度的焊条,所进行的焊接是断续的,不适于连续焊接的要求。为了克服这个缺点,1930年人们研究开发了埋弧焊。埋弧焊方法是向颗粒状焊剂中连续送进钢制焊丝,电弧放电所需电流从导电嘴供给,这种电流供给方式成为现在自动焊的原形。

为了对电弧及焊接金属进行保护,使其同空气隔绝开来,从而获得优质的焊接接头,从很早开始人们就考虑了利用保护气体。1930年以后以美国为中心,把钨电极与氦气相组合,进行了气体保护钨电极电弧焊接法的研究,该焊接法的最初适用对象是镁及不锈钢薄板。

在电弧焊接法出现的同时,又相继出现了其它形式的焊接方法,比如电阻焊(1886年)、气焊(1901年)。距今较近时期开发的还有电子束焊接(1957年)、激光焊接(1960年)等。近年来先后出现了双面电弧焊、搅拌摩擦焊、太阳能焊、弧焊机器人等现代焊接技术。

如上所述,焊接技术是人们经过多年反复探索、不断改进而建立起来的。到现在,作为一项可靠性很高的接合技术而为社会所接受,比如从高楼、桥梁、船舶、飞机、汽车等大型构造,到电子机械、电子封装等小型结构,焊接技术都是不可缺少的。

1.3 本课程讨论的对象与内容

本教材主要论述金属熔化焊技术的基本知识以及基本技能。研究对象是焊接接头,如图1-4所示。

熔焊时,焊件经过焊接形成的结合部分叫做焊缝;母材因受热的影响而发生组织与力学性能变化的区域叫做热影响区;焊缝与热影响区的过渡区,叫做熔合区。上述三个部分共同构成焊接接头。

本教材的主要内容有:

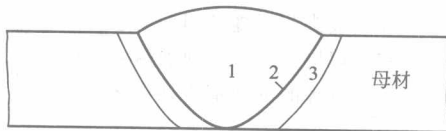


图 1-4 焊接接头示意图

1—焊缝; 2—熔合区; 3—热影响区

- ① 焊接材料, 包括焊条、焊丝、焊剂、焊接用气体等;
- ② 焊接热过程, 主要介绍常用焊接热源、焊接温度场、焊接热循环等内容;
- ③ 焊接化学冶金过程, 主要有焊缝金属的构成、焊接化学冶金过程的特点、焊接熔渣、有害元素对焊缝金属的作用、焊缝金属的合金化等焊接冶金过程的基本知识;
- ④ 焊接接头的组织与性能, 主要介绍焊缝金属、熔合区和焊接热影响区的组织与性能;
- ⑤ 焊接缺陷的产生与防止, 重点介绍气孔、夹杂物、裂纹等焊接缺陷的特征、产生原因以及预防措施。

1.4 学习本课程的目的、要求及方法

金属熔化焊基础课程是焊接专业的一门重要的基础理论课程。通过本课程的学习, 应达到以下目的及要求。

- ① 掌握各种焊接材料的性能特点及应用范围; 能够借助于工具书正确选择和使用常用的焊接材料。
- ② 了解熔焊时焊件上温度变化的规律; 熟悉常用焊接热源; 理解影响焊接温度场及热循环的因素。
- ③ 熟悉焊接条件下, 金属所经历的化学、物理变化过程; 理解焊接时保护的重要性。
- ④ 掌握焊接接头在形成过程中其成分、组织与性能变化的基本规律; 理解改善焊缝性能的主要措施。
- ⑤ 掌握焊接冶金过程中, 常见缺陷的特征、产生条件及其影响因素; 能够根据生产实际条件分析缺陷产生的原因, 并能提出防止措施。

学习本课程的建议方法如下。

- ① 坚持理论联系实际。学习理论不仅要结合本教材有关的实践教学内容, 而且要联系专业技能训练内容, 做到勤于动手, 认真观察, 将实践中发现的问题到理论学习中寻求解决的途径。
- ② 善于综合运用相关知识。解决焊接产生实际问题, 不仅要涉及熔焊基础, 还要用到物理、化学及其它专业课程的知识。只有将各方面的知识加以综合利用, 才能提高分析问题解决问题的能力。
- ③ 善于自学。在学习的过程中, 不能只依赖课堂教学, 要多查阅参考资料, 做到提前预习、课后复习。

复习思考题

问答题

1. 什么是焊接? 什么叫熔焊?
2. 焊接的特点有哪些?
3. 焊接接头由哪几部分组成?
4. 焊接接头和焊缝是同一概念吗?
5. 实现焊接为什么必须加热或加压 (或二者并用)?
6. 焊接过程的物理本质是什么?

第2章 焊接材料

教学目标：熟悉焊条、焊丝等焊接材料的型号与牌号的编制规则；了解常用焊条的工艺性能和冶金性能；能够根据被焊材料、焊件的使用等要求正确选用焊接材料。

焊接材料是指焊接过程中的各种填充金属以及为了提高焊接质量而附加的保护物质的统称，主要包括焊条、焊丝、焊剂、焊接用气体等。

随着焊接技术的迅速发展，焊接材料的应用范围日益扩大，同时对焊接材料在品种和质量上提出了越来越高的要求。焊接材料的质量对保证焊接过程的稳定和获得满足使用要求的焊接接头起着决定性的作用。因此，只有对常用焊接材料的性能特点有较全面的了解，才能在实际工作中做到合理选用，主动控制焊缝金属的成分和性能，从而获得优质的焊接接头。

2.1 焊条

涂有药皮的供焊条电弧焊用的熔化电极称为电焊条，简称焊条。焊条在焊接过程中作为电极用来传导焊接电流、维持电弧的稳定燃烧，并对熔池起到保护作用，同时作为填充金属直接过渡到熔池，与液态母材金属熔合并进行一系列冶金反应，冷却凝固后形成符合要求的焊缝金属。因此，焊条质量在很大程度上决定焊缝质量。

2.1.1 焊条的组成和作用

焊条电弧焊使用的焊条由焊芯和药皮（涂层）两部分组成，如图 2-1 所示。焊条引弧端有 45° 左右的倒角，焊芯露出端头，通常引弧端为便于引弧而涂有引弧剂。在夹持端有一段裸露的焊芯，约占焊条总长的 $1/16$ 。

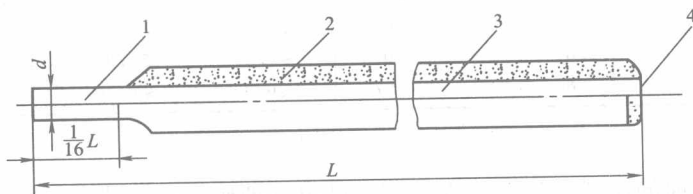


图 2-1 焊条组成示意图

1—夹持端；2—药皮；3—焊芯；4—引弧端

1. 焊芯

焊芯是指焊条中被药皮包覆的金属芯。通常根据被焊金属材料的不同，选用相应的焊丝作为焊芯。焊芯在焊接过程中的作用：一是传导焊接电流，产生电弧；二是焊芯熔化后作为填充金属进入熔池而成为焊缝金属的一部分。

(1) 焊芯中的合金元素

① 碳 (C)。碳是钢中的主要元素，含碳量增加，钢的强度和硬度明显提高，但塑性和韧性会降低。在焊接过程中，碳又是一种脱氧剂，在电弧高温作用下与氧化合生成 CO 或 CO₂ 气体，可以减少或防止空气中的氧、氮侵入熔池。但含碳量过高会使钢的焊接性变差，

焊缝中容易形成气孔和裂纹，同时飞溅也会增大。低碳钢用焊条焊芯中碳的质量分数一般应控制在 0.10% 以下。

② 锰 (Mn)。锰在焊芯中是一种有益元素，它既是良好的合金剂，又是脱氧、脱硫剂。锰与硫化合形成 MnS 浮于熔渣中，可以减小热裂纹的倾向。一般要求碳素结构钢焊芯中锰的质量分数为 0.30%~0.55%。

③ 硅 (Si)。在钢中加入适量的硅能提高钢的强度，但含量过高会降低塑性和韧性。在焊接过程中，硅与氧形成 SiO₂，当含碳量增加时，会增加金属飞溅，并容易造成夹渣。碳素结构钢焊芯中硅的质量分数一般在 0.03% 以下。

④ 硫 (S)。硫是钢中的有害杂质，能使焊缝金属产生偏析，造成焊缝金属力学性能降低，硫还是促使焊缝产生热裂纹的主要元素之一。因此，常用焊芯中硫的质量分数应不大于 0.04%，高级优质钢焊芯中硫的质量分数应不大于 0.03%，特级优质钢焊芯中硫的质量分数应不大于 0.025%。

⑤ 磷 (P)。磷通常也是钢中的一种有害杂质，会使钢的冲击韧性大大降低，而且会使焊缝金属产生冷脆现象，同时也是焊缝产生热裂纹的主要元素之一。因此，常用焊芯中磷的质量分数应不大于 0.04%，高级优质钢焊芯中磷的质量分数应不大于 0.03%，特级优质钢焊芯中磷的质量分数应不大于 0.025%。

(2) 焊芯的牌号及化学成分 焊芯的牌号用“焊”表示，代号为“H”，后面的数字表示平均含碳的质量分数的万分之几，其它合金元素含量的表示方法与优质碳素结构钢大致相同。质量不同的焊芯在最后标以一定符号以示区别：A 表示高级优质钢，E 表示特级优质钢。常用碳素结构钢焊接用的焊芯牌号及化学成分如表 2-1 所示。

表 2-1 常用碳素结构钢的焊芯牌号及化学成分

牌号	化学成分(质量分数)/%						
	C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P
						不大于	
H08	≤0.10	0.03~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	0.04	0.04
H08A	≤0.10	0.03~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	0.03	0.03
H08E	≤0.10	0.03~0.55	≤0.03	≤0.20	≤0.30	0.025	0.025
H08Mn	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	0.04	0.04
H08MnA	≤0.10	0.80~1.10	≤0.07	≤0.20	≤0.30	0.03	0.03

2. 药皮

压涂在焊芯表面的涂料层称为药皮。药皮是由多种矿石粉和铁合金粉等材料按一定配方均匀混合后压涂在焊芯上形成的。

(1) 药皮的作用

① 机械保护。焊接时，焊条药皮熔化后产生大量的气体笼罩着电弧区和熔池，并且形成熔渣覆盖在熔滴和熔池金属表面，防止空气中的氧、氮侵入熔池，起到渣-气联合保护的作用。

② 冶金处理。通过药皮的组成物质进行冶金反应，可以去除有害杂质（例如 O、N、H、S、P 等），并保护或添加有益元素，使焊缝金属满足性能要求。

③ 改善焊接工艺性能。焊条药皮能够改善焊接工艺性能，如可以使电弧容易引燃并能稳定地连续燃烧、焊接飞溅小、焊缝成形美观、易于脱渣以及可以适用于各种位置焊接等。

(2) 药皮的组成 焊条药皮主要为矿物类、铁合金和金属类、化工产品类及有机物四类

物质的混合物，按其在焊条制造和焊接中所起的作用，主要有如下几种。

- ① 稳弧剂。改善焊条的引弧性能和提高电弧的稳定性。主要的稳弧剂有碳酸钾、水玻璃等。
- ② 造气剂。在焊接时产生气体保护熔池和熔滴金属。主要的造气剂有大理石、白云石、菱苦土、淀粉、木粉等。
- ③ 造渣剂。在焊接时形成熔渣对液态金属起保护作用 and 冶金作用。主要的造渣剂有大理石、白云石、菱苦土、萤石（氟石）、硅砂、长石、白泥、云母、钛白粉、金红石等。
- ④ 脱氧剂。焊接时对熔化金属起脱氧作用。脱氧剂与氧的亲合力应比铁大，在焊接时能够保护金属不被氧化。常用的脱氧剂有锰铁、钛铁、硅铁、铝粉等。
- ⑤ 合金剂。焊接时可以补偿焊接过程中的合金烧损和向焊缝过渡合金元素而保证焊缝的化学成分、力学性能和耐蚀性能等。常用的合金剂有硅铁、锰铁、钼铁等。
- ⑥ 稀渣剂。稀渣剂的主要作用是降低熔渣的黏度，增加其流动性。主要的稀渣剂有萤石、钛铁矿等。
- ⑦ 粘结剂。在焊条制造过程中将配粉粘结在一起，通过粘结剂把药皮粘结在焊芯上，使药皮具有一定的强度。主要的粘结剂有钠水玻璃、钾水玻璃等。
- ⑧ 成形剂。使药皮具有一定的塑性、弹性及流动性，以便压制的焊条表面光滑且不开裂。主要的成形剂有钛白粉、白泥、云母等。

各种药皮原材料的作用如表 2-2 所示。

表 2-2 各种药皮原材料的作用

材料	主要成分	造气	造渣	脱氧	合金化	稳弧	粘结	成形	增氢	增硫	增磷	氧化
金红石	TiO ₂		A			B						
钛白粉	TiO ₂		A			B		A				
钛铁矿	TiO ₂ , FeO		A			B						
赤铁矿	Fe ₂ O ₃		A			B				B	B	B
锰矿	MnO ₂		A								B	B
大理石	CaCO ₃	A	A			B						B
菱苦土	MgCO ₃	A	A			B						B
白云石	CaCO ₃ + MnCO ₃	A	A			B						B
硅砂	SiO ₂		A									B
长石	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O + Na ₂ O		A			B						
白泥	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , H ₂ O		A					A	B			
云母	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , H ₂ O, K ₂ O		A			B		A	B			
滑石	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO		A					B				
氟石	CaF ₂		A									
碳酸钠	Na ₂ CO ₃		B			B		A				
碳酸钾	K ₂ CO ₃		B			A						
锰铁	Mn, Fe		B	A	A						B	
硅铁	Si, Fe		B	A	A							
钛铁	Ti, Fe		B	A	B							
铝粉	Al		B	A								
钼铁	Mo, Fe		B	B	A							
木粉		A		B		B		B	B			
淀粉		A		B		B		B	B			
糊精		A		B		B		B	B			
水玻璃	K ₂ O, Na ₂ O, SiO ₂		B			A	A					

注：A—主要作用；B—附带作用。

由表 2-2 可以看出, 焊条药皮中的各种组成物是具有多种作用的, 如大理石既是造气剂又是造渣剂, 而锰铁同时起脱氧和渗合金的作用。

最常用的碳钢焊条 E4303、E5015 药皮配方见表 2-3。需要说明的是, 由于各个焊条制造厂原材料来源不同, 即使是同一类型药皮的焊条, 配方也是有出入的, 但药皮的成分基本相同。

表 2-3 碳钢焊条 E4303、E5015 药皮配方 (质量分数) %

焊条 型号	金红 石	钛白 粉	钛铁 矿	大理 石	氟石	长石	白泥	云母	中碳 锰铁	硅砂	低硅 铁	钛铁	白土 子	纯碱	红钒 钾
E4303	11	7	19	19		8	14	8	14						
E5015		2		48	18				5	5	10	6	5	0.5	0.5

注: 焊芯用 H08A, 粘结剂为水玻璃。

2.1.2 焊条的分类

焊条的分类方法很多, 通常从以下四个方面进行分类。

1. 按焊条药皮的主要成分分类

按焊条药皮成分可分为八种类型, 不同药皮类型的焊条, 具有不同的焊接工艺性能和适用范围。

(1) 钛铁矿型 药皮中钛铁矿的质量分数不小于 30%, 熔渣流动性好, 熔深较大, 渣覆盖良好, 脱渣容易, 飞溅一般, 焊波整齐。这类药皮焊条适用于全位置焊接, 焊接电流为交、直流两用。

(2) 钛钙型 药皮中含有质量分数 30% 以上的氧化钛和质量分数 20% 以下的钙或镁的碳酸盐。熔渣流动性好, 脱渣容易, 电弧稳定, 熔深适中, 飞溅小, 焊波整齐。这类药皮焊条适用于全位置焊接, 焊接电流为交、直流两用。

(3) 低氢钠和低氢钾型 低氢钠型焊条药皮主要以碱性氧化物为主, 并以钠水玻璃为粘结剂。其熔渣流动性好, 焊接工艺性能一般, 焊波较粗, 角焊缝略凸, 熔深适中, 脱渣性较好, 这类药皮焊条适用于全位置焊接, 焊接电流为直流反接; 低氢钾型焊条药皮的组成与低氢钠型相似, 但添加了稳弧剂, 所以电弧稳定。其它工艺性能与低氢钠型焊条相似, 焊接电流为交流或直流反接。这两种类型药皮焊条的熔敷金属都具有良好的抗裂性能和力学性能。

(4) 高纤维素钠和高纤维素钾型 高纤维素钠型焊条药皮中含有质量分数大于 15% 的纤维素有机物, 并以钠水玻璃为粘结剂。焊接时有机物在电弧区分解产生大量的气体, 保护熔敷金属。电弧吹力大, 熔深较大, 熔化速度快, 熔渣少, 易脱渣, 飞溅一般, 通常限制采用大电流焊接, 这类药皮焊条适用于全位置焊接; 焊接电流为直流反接; 高纤维素钾型焊条药皮是在与高纤维素钠型焊条药皮相似的基础上添加了少量的钙与钾的化合物, 电弧稳定, 这类药皮焊条焊接电流为交流电或直流反接, 适用于全位置焊接。

(5) 高钛钠和高钛钾型 高钛钠型焊条药皮以氧化钛为主要成分并以钠水玻璃为粘结剂。其电弧稳定, 再引弧容易, 熔深较浅, 熔渣覆盖良好, 脱渣容易, 焊波整齐, 适用于全位置焊接, 焊接电流为交流或直流正接, 但熔敷金属的塑性及抗裂性较差。

高钛钾型焊条药皮是在与高钛钠型焊条药皮相似的基础上采用钾水玻璃做粘结剂, 电弧比高钛钠型稳定, 工艺性能、焊缝成形也比高钛钠型好, 这类药皮焊条适用于全位置焊接, 焊接电流为交流或直流正、反接。

(6) 氧化铁型 药皮中含有较多的氧化铁及较多的脱氧剂锰铁。这类药皮焊条的电弧吹