



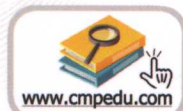
中等职业教育“十一五”规划教材（焊接专业）

金属熔焊基础 与材料焊接

李凤银 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



赠 电子教案

本书是根据中等职业教育课程改革和教材建设规划而编写的供焊接专业使用的新教材。全书内容包括焊接冶金基础、焊接材料、焊接缺陷的产生及防止、金属的焊接性及其评定、常用金属材料的焊接五个单元。各单元内容均采用综合知识模块、能力知识点的方式进行编写,并在每一模块的综合训练里都编有一定数量的焊工技能鉴定理论试题,以便于进行焊工技能鉴定理论知识的复习和考试。为便于教学,本书配备了电子教案和习题答案,选择本书作为教材的教师可来电索取(010-88379201),或登录 www.cmpedu.com 网站注册、免费下载。

本书主要作为中等职业教育焊接专业学生的专业课教材,同时可作为机械类专业的选用教材和企业职工培训教材,也可以作为焊接技术人员、机械工程技术人員、焊工及相关人員的参考用書。

图书在版编目(CIP)数据

金属熔焊基础与材料焊接/李凤银主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 8

中等职业教育“十一五”规划教材(焊接专业)

ISBN 978-7-111-27865-8

I. 金… II. 李… III. ①熔焊—专业学校—教材②金属材料—焊接—专业学校—教材 IV. TG442 TG457. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 128464 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚 版式设计:张世琴

责任校对:申春香 封面设计:鞠 杨 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.25 印张·378 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-27865-8

定价:27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是中等职业教育焊接专业“十一五”规划教材。根据全国机械职业教育专业教学指导委员会关于“深化职业技术教育人才的改革,加强职业技术教育教材建设”的精神,结合市场需要,2006年底,机械工业出版社邀请了全国十几所开办焊接专业的学校召开了这套教材的启动会,在会上大家就焊接专业的课程体系、课程改革、教材编写目的和要求、教材书目,以及编写人员的分工进行了研讨,最终达成共识并编写了本教材。

本书具有以下特点:第一,突出应用性、实用性。本教材的编写本着突出应用性、实用性的原则重组课程结构,打破原有课程体系,将原来涉及二三门课程的内容有机结合在一起,并结合初级、中级电焊工职业技能的要求及目前焊接生产的实际情况,在内容编写上做到实用、够用。教材内容紧紧扣住培养学生熔焊基础知识和焊接工艺的职业能力来阐述,将必需的理论知识融于各能力知识点的教学过程中。第二,突出职业教育特色,做到图文直观形象,尽量联系生产和生活实际,注重在理论知识、素质、能力、技能等方面对学生进行综合的培养。第三,本教材深度适宜,文字叙述简练、通俗易懂,深入浅出,非常适合中等职业学校学生学习。第四,每个单元都附有各类综合训练题、课外观察与讨论等活动,引导学生积极思考,形成师生相互交流与研讨的气氛,培养学生应用理论知识的能力。第五,为与国际接轨,体现教材的先进性,本套教材采用了最新国家标准和国家施行的国际单位制进行编写。

本教材由李凤银(绪论、第一单元)、郑益仙(第二单元)、晏丕霞(第三、四单元)、沈辉(第五单元)编写。李凤银担任主编,沈辉担任副主编,赵玉奇担任主审。

本教材在编写和审稿过程中,得到了各参编学校和有关兄弟院校领导及同仁的大力支持与热情帮助,并引用了一些专家编著的教材和著作中的资料,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免有缺点和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论 1

能力知识点 1 焊接的定义、分类及应用 1

能力知识点 2 金属熔焊原理及熔化过程 2

能力知识点 3 本课程的基本内容、学习目标及学习方法 3

【综合训练】 4

第一单元 焊接冶金基础 5

综合知识模块一 焊接冶金及特点 5

能力知识点 1 焊接冶金过程及其作用 5

能力知识点 2 焊接冶金的特点 6

能力知识点 3 焊接冶金反应区 6

能力知识点 4 焊接参数对焊接冶金的影响 9

【综合训练】 10

综合知识模块二 焊接热过程 11

能力知识点 1 常用焊接热源及热能传递的基本方式 11

能力知识点 2 焊接温度场 12

能力知识点 3 焊接热循环 16

【综合训练】 18

综合知识模块三 焊缝金属的组成 19

能力知识点 1 焊条的熔化及过渡 20

能力知识点 2 母材的熔化及熔池 22

能力知识点 3 焊缝金属的熔合比与母材金属的稀释 23

能力知识点 4 焊接熔渣 25

【综合训练】 26

【实验】 焊条熔化系数与熔敷系数的测定 28

综合知识模块四 有害元素及合金元素对焊缝金属的作用 29

能力知识点 1 氢对焊缝金属的作用 29

能力知识点 2 氮对焊缝金属的作用 31

能力知识点 3 氧对焊缝金属的作用 33

能力知识点 4 对焊缝金属中硫、磷的控制 38

能力知识点 5 焊缝金属的合金化 39

【综合训练】 41

综合知识模块五 焊缝金属的组织
和性能 43

能力知识点 1 焊缝金属的一次结晶 43

能力知识点 2 焊缝金属的固态相变 44

能力知识点 3 焊缝金属的偏析 45

能力知识点 4 改善焊缝金属性能的途径 46

【综合训练】 48

综合知识模块六 熔合区和焊接热
影响区 49

能力知识点 1 熔合区的组织和性能 49

能力知识点 2 焊接热影响区加热时的组织转变 49

能力知识点 3 焊接热影响区冷却时的组织转变 50

能力知识点 4 焊接热影响区的组织与性能 51

【综合训练】 52

综合知识模块七 焊接接头组织和性能的
调整与改善 54

能力知识点 1 焊接接头的特点 54

能力知识点 2 影响焊接接头组织和性能的因素 54

能力知识点 3 焊接接头组织和性能的调整与改善 55

【综合训练】 56

【实验】 焊接接头金相组织观察 56

第二单元 焊接材料 58

综合知识模块一 焊条 58



能力知识点 1 焊条的组成及作用	58	【综合训练】	129
能力知识点 2 焊条的分类	63	综合知识模块二 焊缝中的气孔与 夹杂物	129
能力知识点 3 焊条的型号与牌号	64	能力知识点 1 气孔的分类与特征	129
能力知识点 4 焊条的工艺性能	73	能力知识点 2 气孔产生的原因及影响 因素	131
能力知识点 5 焊条的冶金性能	76	能力知识点 3 防止气孔产生的措施	133
能力知识点 6 焊条的选用、储存保管 及使用	81	能力知识点 4 焊缝中的夹杂物	134
能力知识点 7 焊条的发展现状	83	【综合训练】	135
【综合训练】	84	综合知识模块三 焊接结晶裂纹	135
综合知识模块二 焊丝	88	能力知识点 1 结晶裂纹的特征	135
能力知识点 1 焊丝的分类	89	能力知识点 2 结晶裂纹产生的原因	136
能力知识点 2 焊丝的牌号与型号	89	能力知识点 3 影响结晶裂纹产生的 因素	137
能力知识点 3 实芯焊丝	93	能力知识点 4 防止结晶裂纹的措施	138
能力知识点 4 药芯焊丝	94	【综合训练】	139
【综合训练】	96	综合知识模块四 焊接冷裂纹	140
综合知识模块三 焊剂	97	能力知识点 1 焊接冷裂纹的类型	140
能力知识点 1 焊剂的分类	97	能力知识点 2 焊接冷裂纹产生的 原因	141
能力知识点 2 焊剂的型号和牌号	99	能力知识点 3 防止焊接冷裂纹的 措施	141
能力知识点 3 焊剂的性能及用途	104	【综合训练】	142
能力知识点 4 焊剂的选配	107	综合知识模块五 其他焊接缺陷	143
能力知识点 5 焊剂发展的现状	110	能力知识点 1 咬边	143
【综合训练】	111	能力知识点 2 焊瘤	144
综合知识模块四 焊接用气体	112	能力知识点 3 凹坑与弧坑	144
能力知识点 1 焊接用气体的物理和化学 性质	112	能力知识点 4 未焊透与未熔合	145
能力知识点 2 焊接用气体的类型及 选用	117	能力知识点 5 下塌与烧穿	145
【综合训练】	121	能力知识点 6 夹渣	146
综合知识模块五 其他焊接材料	122	能力知识点 7 焊缝尺寸与形状不符合 要求	146
能力知识点 1 钨极的种类与性能	122	【综合训练】	147
能力知识点 2 气焊熔剂	123	第四单元 金属的焊接性及其评定	148
能力知识点 3 其他焊接材料	125	综合知识模块一 金属的焊接性	148
【综合训练】	125	能力知识点 1 金属焊接性的概念	148
第三单元 焊接缺陷的产生及防止	127	能力知识点 2 影响焊接性的因素	149
综合知识模块一 焊接缺陷的种类及 特征	127	能力知识点 3 评定焊接性的程序	149
能力知识点 1 焊接缺陷的类型	127	【综合训练】	150
能力知识点 2 常见焊接缺陷的特征及 危害	128		





综合知识模块二 分析金属焊接性的方法	150	【综合训练】	174
能力知识点1 利用化学成分分析	150	综合知识模块二 低合金钢的焊接	176
能力知识点2 利用连续冷却转变图分析	151	能力知识点1 热轧及正火钢的焊接 ...	176
能力知识点3 利用材料的物理性能分析	151	能力知识点2 低碳低合金调质钢的焊接	183
能力知识点4 利用材料的化学性能分析	152	能力知识点3 中碳调质钢的焊接	185
【综合训练】	152	能力知识点4 常用合金结构钢的典型焊接实例	187
综合知识模块三 金属焊接性试验	153	【综合训练】	192
能力知识点1 焊接性试验的内容	153	综合知识模块三 不锈钢和耐热钢的焊接	194
能力知识点2 焊接性试验方法分类 ...	154	能力知识点1 不锈钢的焊接	194
能力知识点3 焊接性试验方法的选择原则	155	能力知识点2 常用不锈钢的典型焊接实例	200
【综合训练】	155	能力知识点3 耐热钢的焊接	203
综合知识模块四 常用的焊接性试验方法	156	能力知识点4 常用耐热钢的典型焊接实例	208
能力知识点1 斜Y形坡口焊接裂纹试验方法	156	【综合训练】	209
能力知识点2 焊接热影响区最高硬度试验方法	158	综合知识模块四 铸铁的焊接	211
能力知识点3 插销试验	159	能力知识点1 灰铸铁的焊接	212
能力知识点4 其他试验方法	161	能力知识点2 灰铸铁的典型补焊实例	217
【综合训练】	161	能力知识点3 球墨铸铁的焊接	218
【实验】 不同材料的焊接性分析	163	【综合训练】	219
第五单元 常用金属材料的焊接	165	综合知识模块五 非铁金属的焊接	221
综合知识模块一 碳素钢的焊接	165	能力知识点1 铝及铝合金的焊接	221
能力知识点1 低碳钢的焊接	166	能力知识点2 常用铝及铝合金的典型焊接实例	228
能力知识点2 中碳钢的焊接	168	能力知识点3 铜及铜合金的焊接	230
能力知识点3 高碳钢的焊接	170	能力知识点4 常用铜及铜合金的典型焊接实例	234
能力知识点4 常用碳钢的典型焊接实例	171	【综合训练】	235
		参考文献	237

绪 论

【学习目标】 通过绪论的学习,使学生掌握焊接方法的定义、分类及应用;理解金属熔焊的原理及熔焊过程;了解本课程的基本学习内容、学习目标及学习方法,为更好地学习本门课程奠定一个感性认识的基础。

能力知识点 1 焊接的定义、分类及应用

焊接的目的是将两个或两个以上的物体(焊件)连接为永久结合的整体。在 GB/T 3375—1994《焊接术语》中,对焊接所下的定义是:“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,使工件达到原子结合的一种方法。”

在机械制造业中,使两个或两个以上金属零件连接在一起的方法有螺栓联接、铆钉连接、粘接和焊接等,如图 0-1 所示,其中螺栓联接是可以拆卸的,而其他几种连接则只有将接头破坏才能拆开,属于不可拆的永久性连接。

与其他连接方法相比,焊接具有以下优点。

(1) 节约材料 焊接接头在连接部位没有重叠部分,也不需要附加的连接件(如螺栓、铆钉等),从而减少了材料的消耗,降低了结构重量,节约大量的金属材料。焊接与铆接相比可节省材料 10%~20%。

(2) 工艺过程比较简单 焊件不需要开孔加工,也不需要制造连接附件,同时焊接本身生产率高,生产周期短,劳动强度低。

(3) 焊接产品质量高 焊接结合部位(焊接接头)不仅可以获得与母材相同的力学性能,而且其他使用性能(耐热性、耐蚀性等)也都能够与母材相匹配。特别是不需要采取特殊措施即可获得优良的密封性,使其成为在压力容器与船舶制造中主要的连接方法。

(4) 可焊材料范围广 焊接可在同类或不同类的金属、非金属材料(石墨、陶瓷、玻璃、塑料等)之间进行,



想一想 你以前都见过哪些焊接方法? 它们分别用于焊接什么物体?

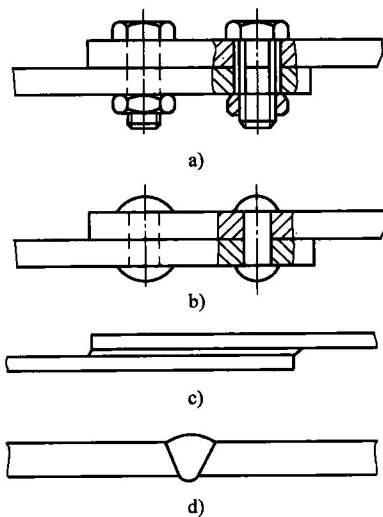


图 0-1 几种常用的连接形式

a) 螺栓联接 b) 铆钉连接
c) 粘接 d) 焊接



焊接方法也多种多样。

但焊接也有缺点，如焊接接头的组织和性能具有较大的不均匀性，其不均匀程度远超过铸件和锻件；焊接结构有较大的焊接应力和变形，影响焊接结构的形状和尺寸，降低结构的承载能力；焊接接头容易产生缺陷，并且应力集中现象比铆接接头、粘接接头严重，也使其应用受到一定限制。

由此可知，金属焊接与其他连接方法不同，金属焊接的本质就是通过焊接使两个分离的金属工件达到原子结合而形成一个整体。为了达到原子结合，焊接时必须对焊接区采用加热、加压或两者并用的方法。

根据焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接方法分为熔焊、压焊和钎焊三大类。熔焊是将待焊处的母材熔化以形成焊缝的焊接方法。压焊是在焊接过程中，必须对焊件施加压力（加热或不加热），才能完成焊接的方法。钎焊是采用比母材熔点低的金属材料作钎料，将焊件和钎料加热到高于钎料熔点，低于母材熔化温度，利用液态钎料润湿母材，填充接头间隙并与母材相互扩散实现连接的方法。

常用焊接方法的分类如图 0-2 所示。

焊接的主要对象是金属材料，据工业化国家统计数字表明，钢产量的 45% 以上要经过焊接加工。随着科学技术的不断发展和焊接质量的不断提高，目前焊接技术已广泛应用于机械制造、石油化工、航空航天、建筑、能源、交通、冶金等领域，主要用于制造和修理各种金属结构和机械零部件，例如锅炉、压力容器、管道、汽车、飞机、船舶、桥梁、起重设备等结构及机座、床身、箱体等零件。

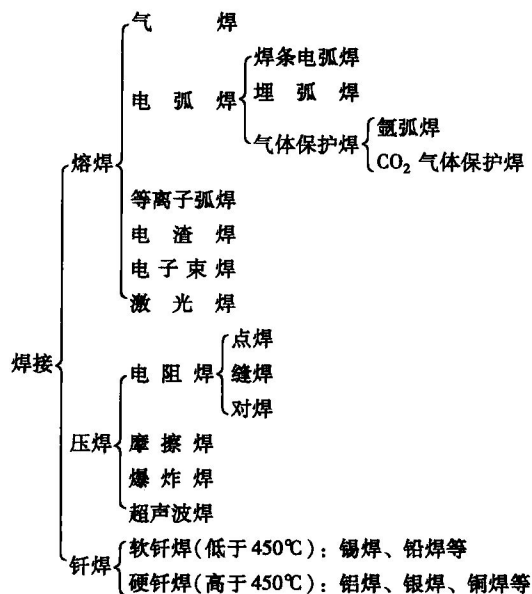


图 0-2 常用焊接方法的分类

能力知识点 2

金属熔焊原理及熔化过程

在所有的焊接方法中，熔焊是目前焊接生产中应用最多的一类焊接方法。对大型、高参数（高温、高压下运行）设备，如大吨位船舶、舰艇、发电设备、核能装置、锅炉、化工容器等的制造中，几乎全部采用熔焊。

金属熔焊是利用热源将分离的两个金属焊件加热到熔化状态，形成熔池，随着热源的移动，熔池也随之移动，熔池中的液态金属逐步冷却结晶后形成焊缝，从而将两个焊件连接成一个整体的焊接方法。

在熔焊的过程中，焊接热源首先将焊接处的母材及填充金属加热熔化形成熔池（图 0-3a 中的细实线部分），熔池金属与周围的高温固体母材金属紧密接触，且充分浸润，待焊接热源离开，温度降低，液态的熔池金属冷却凝固，形成同母材金属长合在一起的联生结晶，成



为原子结合的接头(图 0-3b)。

金属熔焊的方法很多,主要有气焊、焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、等离子弧焊、电渣焊、电子束焊和激光焊等。



图 0-3 熔焊接头示意图

a) 形成熔池 b) 形成焊缝和接头

能力知识点 3

本课程的基本内容、学习目标及学习方法

1. 基本内容

本课程是根据中等职业焊接专业《金属熔焊基础与材料焊接》教学大纲编写的,基本内容如下:

(1) 焊接冶金基础 主要介绍焊接冶金的基本知识、焊缝及焊接热影响区的组织与性能等内容。

(2) 焊接材料 主要介绍焊条、焊丝、焊剂等的分类、牌号和型号、成分、性能和用途等内容。

(3) 焊接缺陷的产生及防止 主要介绍气孔、夹杂、裂纹等焊接缺陷的产生原因与防止措施。

(4) 金属的焊接性及其评定 主要介绍金属焊接性的评定及常用的焊接性试验方法。

(5) 常用金属材料的焊接 主要介绍碳钢、合金结构钢等常用金属材料的焊接特点及其焊接工艺。

2. 学习目标

本课程是焊接专业的一门主干课程,通过学习,要求达到如下学习目标:

(1) 知识目标

- 1) 了解金属熔焊过程的基本规律及焊接冶金的特点。
- 2) 理解焊缝在形成过程中成分、组织变化的规律。
- 3) 理解焊接热影响区金属组织与性能变化的规律。
- 4) 掌握焊接材料的特点、型号和牌号及其选用原则。
- 5) 理解金属熔焊过程中常见缺陷的产生原因及控制方法。
- 6) 了解金属材料的焊接性分析及试验方法。
- 7) 理解常用金属材料的焊接特点及焊接工艺。

(2) 能力目标

- 1) 初步具备使用金相显微镜去观察和分析焊接接头的金相组织的能力。
- 2) 能正确选用和使用焊条,能借助《焊接手册》正确选用和使用焊丝、焊剂等焊接材料。
- 3) 初步具备根据生产实际条件分析常见焊接缺陷产生的原因并提出防止措施的能力。
- 4) 了解焊接工艺评定的具体内容及常规的焊接性试验方法。
- 5) 能借助《焊接手册》等工具书及产品的技术条件,正确执行典型构件的焊接工艺规程。



3. 学习方法

本课程内容与生产实际紧密相连，学习中应掌握以下方法：

- 1) 注意理论联系实际，培养分析问题和解决问题的能力。
- 2) 注意前后知识的融会贯通和相关知识的综合运用。
- 3) 学会分析、归纳、总结的方法，提高自学能力。
- 4) 积极参加各种实习和生产实践活动，仔细观察，积极思考。
- 5) 重在知识的应用，防止过多过深的理论探讨和追求理论完整性。

【综合训练】



(一) 名词解释

焊接

(二) 填空题

1. 与其他连接方法相比，焊接具有 _____、_____、_____ 和 _____ 等优点。
2. 根据焊接过程中金属所处的状态不同，可以把焊接方法分为 _____、_____ 和 _____ 三大类。

(三) 选择题

- () 1. 下列属于熔焊的焊接方法是_____。
- A. 点焊 B. 电阻焊 C. 电弧焊 D. 钎焊
- () 2. 下列属于压焊的焊接方法是_____。
- A. 电弧焊 B. 电渣焊 C. 埋弧焊 D. 对焊

(四) 简答题

与其他连接方法相比，焊接方法具有哪些优、缺点？

第一单元 焊接冶金基础

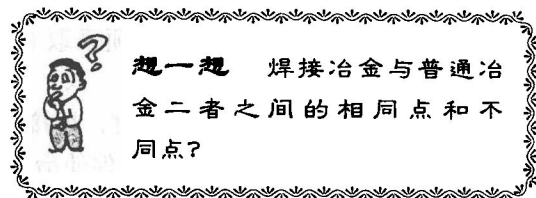
【学习目标】 通过本单元的学习,了解焊接冶金的作用、特点,理解焊接冶金过程的基本规律及其对焊缝金属的作用;了解焊接热过程、热能传递的基本方式、焊接温度场、焊接热循环的特点,理解焊接温度场、焊接热循环的影响因素及调节方法;了解焊缝金属的形成过程,理解各种合金元素对焊缝金属性能的作用;了解N、H、O、S、P等有害元素对焊缝金属的作用及防止措施;理解焊缝金属的组织与性能的变化规律及焊缝金属组织与性能的调节方法;了解焊接热影响区的组织与性能,理解焊接热影响区的组织与性能的调节方法。

综合知识模块一 焊接冶金及特点

能力知识点1 焊接冶金过程及其作用

焊接时,焊缝金属在熔化过程中,熔化金属、熔渣、气体之间在高温下相互作用,会产生一系列剧烈而复杂的物理变化和化学反应,如金属的蒸发、有益合金元素的烧损、气体的溶解和析出等,这种熔焊过程中,焊接区内各物质之间在高温下相互作用的过程,称为焊接冶金过程。焊接冶金过程的实质是金属在焊接条件下的再熔炼过程。

焊接冶金与普通冶金有相同点,但也有不同之处。普通冶金过程是将铁矿石、焦炭、废钢铁等材料放在特定的炉中进行熔炼加工的过程;而焊接冶金过程是金属在焊接条件下的再熔炼过程,焊接时焊缝相当于高炉。



焊接冶金过程中,由于熔化金属和周围介质的相互作用,使焊缝金属的成分和性能与母材和焊材有较大的不同;因此,为了提高焊缝的质量,在焊接制造重要焊接结构时,焊接冶金的首要作用就是对熔化金属进行保护,以免受空气的有害作用。

不同的焊接方法有不同的保护方式。熔焊时采用的各种保护方式与其适用的焊接方法见表1-1。



表 1-1 熔焊时各种保护方式与其适用的焊接方法

保 护 方 式	焊 接 方 法	保 护 方 式	焊 接 方 法
熔渣保护	埋弧焊、电渣焊、不含造气物质的焊条或药芯焊丝焊接	气-渣联合保护	具有造气物质的焊条或药芯焊丝焊接
		真空	真空电子束焊接
气体保护	在惰性气体或其他气体(如 CO_2 、混合气体)保护中焊接	自保护	用含有脱氧、脱硫剂的“自保护”焊丝进行焊接

焊接冶金第二个作用，就是对熔化金属进行冶金处理，通过调整焊接材料的成分和性能，控制冶金反应的发展，来获得预期的焊缝成分。

能力知识点 2 焊接冶金的特点

焊接冶金与普通冶金相比较，主要有以下特点：

(1) 冶金反应温度高 普通冶金反应温度在 $1500 \sim 1700^\circ\text{C}$ ，而焊接弧柱区的温度可达 $5000 \sim 8000^\circ\text{C}$ 。焊条熔滴的平均温度达 $2100 \sim 2200^\circ\text{C}$ ，熔池温度高达 $1600 \sim 2000^\circ\text{C}$ ，与熔融金属接触的熔渣温度也高达 1600°C 。因此，焊接冶金反应在超高温下进行，反应过程快速而剧烈，容易造成合金元素的烧损与蒸发。

(2) 冶金反应时间短 熔焊时，熔滴和熔池存在的时间很短，熔滴在焊条端部停留的时间只有 $0.01 \sim 0.1\text{s}$ ；由于焊接熔池体积小(一般 $2 \sim 3\text{cm}^3$)，冷却速度快，熔池存在的时间最多也不超过几十秒(通常，熔池从形成到凝固约 10s)。因此，冶金反应时间短导致冶金反应不能充分进行，各种冶金化学反应无法达到平衡状态，在焊缝中很容易出现化学成分不均匀的偏析现象。

(3) 冶金反应条件差 熔焊时，焊接熔池一般暴露在空气中，熔池周围的气体、铁锈、油污等在电弧的高温下，将分解成原子态的氧、氮等，极易同金属元素产生化学反应；反应生成的氧化物、氮化物混入焊缝中，使焊缝的力学性能下降；空气中的水蒸气分解出氢原子，在焊缝中产生气孔、裂缝等缺陷和“氢脆”现象。由于焊接冶金反应条件差，将严重影响焊接质量，因此，焊接时必须采取有效措施来保护焊接区，防止周围有害气体侵入熔池。

(4) 冶金反应界面大 熔焊时，焊接冶金反应是多相反应，熔滴和熔池金属的比表面积大，能与熔渣、气相充分接触，促使冶金反应快速完成。

(5) 熔融金属处于不断运动状态 熔焊时，熔滴和熔池金属均处于不断运动状态，有利于提高冶金反应的速度，促使气体和杂质快速的排除，使焊缝成分均匀化。

能力知识点 3 焊接冶金反应区

焊接冶金过程是分区域连续进行的，且各区的反应条件也有较大的差异。不同的焊接方法有不同的反应区。焊条电弧焊时，焊接冶金反应区分为药皮反应区、熔滴反应区和熔池反应区，如图 1-1 所示。熔化极气体保护焊时，只有熔滴反应区和熔池反应区；无填充金属的



气焊、钨极氩弧焊和电子束焊则只有一个熔池反应区。下面以焊条电弧焊为例,说明各反应区的特点。

1. 药皮反应区

药皮反应区主要在焊条端部的套筒附近(图 1-1 中的 I 区),反应温度范围从 100°C 至药皮的熔点(钢焊条约为 1100°C)。参加反应的物质是药皮的组成物,反应的结果是产生气体和熔渣。主要物化反应是水分蒸发、某些物质分解和铁合金的氧化。

当加热温度超过 100°C ,药皮中的水分就开始蒸发。当升高到一定温度,药皮中的有机物(木粉、纤维素、淀粉等)、碳酸盐(如大理石 CaCO_3 、菱苦土等)和高价氧化物(如赤铁矿、锰矿等)逐步发生分解,析出 CO_2 和 O_2 等气体,这些气体既对焊接区金属有保护作用,又对被熔化的金属和药皮中的铁合金(如锰铁、硅铁、钼铁等)产生很大氧化作用,使气相的氧化性大大下降,此即先期脱氧过程。

药皮反应阶段可视为准备性的阶段,因为这一阶段反应的产物为熔滴和熔池提供了反应物,所以它对整个焊接冶金过程和焊接质量有一定影响。

2. 熔滴反应区

从熔滴形成、长大到过渡至熔池中都属于熔滴反应区。熔滴反应区(图 1-1 中 II 区)是冶金反应最剧烈的区域,对焊缝的成分影响最大。从反应条件看这个区域有如下特点。

1) 熔滴温度高。电弧焊焊接钢材时熔滴最高温度约 2800°C ,平均温度在 $1800 \sim 2400^{\circ}\text{C}$ 范围内。其过热度很大,可达 $300 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

2) 熔滴金属与气体和熔渣接触面积大。因熔滴尺寸小,在正常情况下其比表面积可达 $1 \sim 104 \text{cm}^2/\text{kg}$,比炼钢时约大 1000 倍。

3) 各相之间的反应时间短。熔滴在焊条末端停留时间约 $0.01 \sim 0.1 \text{s}$,向熔池过渡速度快,经弧柱区时间只有 $0.0001 \sim 0.001 \text{s}$ 。在这个区内各相接触的平均时间约为 $0.01 \sim 0.1 \text{s}$,反应时间很短,主要在焊条末端进行。

4) 熔滴金属与熔渣发生强烈混合。熔滴在形成、长大和过渡过程中受到电磁力、气吹力等外界因素作用,便与熔渣发生强烈的混合,既增加彼此接触面积,也加速反应进行。

由上述特点可知,在该区的反应时间虽短,但因温度高,相接触面积很大,并有强烈的混合作用,所以冶金反应最激烈。许多反应可以进行到接近终了的程度,因而此阶段对焊缝成分影响最大。因此熔滴反应区是冶金反应最激烈的部位,在此区进行的主要物理化学反应有:气体的分解、气体的溶解、熔融金属的氧化、金属的蒸发,熔滴金属的合金化等。

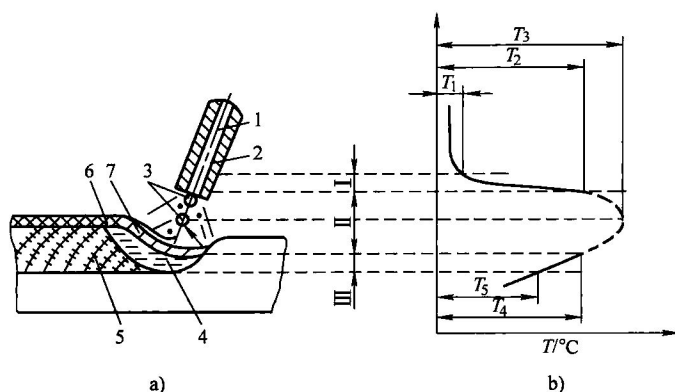


图 1-1 焊接冶金反应区(以药皮焊条为例)

a) 焊接区纵剖面 b) 焊接反应区温度变化特性示意图

I—药皮反应区 II—熔滴反应区 III—熔池反应区

1—焊芯 2—药皮 3—包有渣壳的熔滴 4—熔池

5—已凝固的焊缝 6—渣壳 7—熔渣

T_1 —药皮反应开始温度 T_2 —焊条熔滴表面温度 T_3 —弧柱间

熔滴表面温度 T_4 —熔池表面温度 T_5 —熔池底部温度



资料卡 熔滴反应区进行的主要物理化学反应:

- 1) 气体的高度分解。进入和生成的气体在电弧区被加热分解。这些气体有空气、水蒸气、二氧化碳、氢气、氮气、一氧化碳等,最后两种气体发生部分分解。
- 2) 氢气和氮气的溶解。分解的氢气和氮气将溶解到熔融金属中。
- 3) 熔融金属的氧化。电弧气氛中的氧化性气体和熔滴金属产生氧化反应,熔渣中的 MnO 、 SiO_2 与熔滴产生置换氧化,熔渣中的 FeO 向熔滴扩散氧化。
- 4) 金属的蒸发。由于熔滴的温度接近钢的沸点,一些低沸点的元素,如锰、锌等将蒸发,产生金属蒸气。
- 5) 熔滴金属的合金化。药皮、药芯中的合金剂使熔滴金属产生强烈的合金化。

3. 熔池反应区

熔滴和熔渣落入熔池后,同熔化的母材混合或接触,继续各相之间的物理化学反应,从而形成熔池区的冶金反应,直至金属凝固形成焊缝为止。从反应条件看该区有如下特点。

1) 熔池的温度分布极不均匀。它的前部温度高,处于升温阶段,进行着金属熔化、气体吸收,属于吸热反应;它的后部温度低,处于降温阶段,发生气体逸出、金属凝固,属于放热反应。因此,同一个反应在熔池的前后部可以向相反的方向进行。

2) 熔池反应区的反应物质是不断更新的。新熔化的母材、焊芯和药皮不断进入熔池的头部,而凝固的焊缝金属和熔渣不断从后部退出。在焊接参数恒定的情况下,这种物质的更替过程可达稳定状态,从而获得成分均匀的焊缝金属。

3) 熔池的平均温度比熔滴低(约为 $1600 \sim 1900^\circ\text{C}$),反应时间稍长。焊条电弧焊熔池存在时间为 $3 \sim 8\text{s}$,埋弧焊熔池存在时间为 $6 \sim 25\text{s}$ 。

4) 由于受电弧力、气流和等离子流等因素作用,熔池发生搅动。熔池温度分布不均,也造成熔池的对流运动。这有助于熔池成分的均匀化和加大冶金反应速度,有利于气体或非金属夹杂物从熔池中逸出。

5) 熔池反应阶段中反应物的含量与平衡含量之差比熔滴阶段小,故在相同条件下,熔池中的反应速度比熔滴阶段中的要小。

6) 当药皮重量系数 K_b (单位长度焊条药皮质量与焊芯质量之比)较大时,由于部分熔渣不与熔滴作用而直接流入熔池中,因而与熔池金属作用的熔渣数量大于与熔滴金属作用的熔渣数量,所以增加焊条药皮厚度能够加强熔池阶段的冶金反应。

从上述特点看出,熔池阶段的反应速度、合金元素被氧化的程度均比熔滴阶段小,且在整个反应过程中的贡献也较小。在采用大厚度药皮的焊条焊接时,熔池中的反应可获得加强。

总之,焊接化学冶金过程是分区连续进行的。在熔滴阶段进行的反应多数在熔池阶段继续进行,但也有的反应停止甚至改变反应方向,各阶段冶金反应的综合结果决定了焊缝金属的最终化学成分。



能力知识点 4

焊接参数对焊接冶金的影响

焊接冶金过程与焊接参数有着密切的联系,改变焊接参数必然会引起冶金反应条件的变化,进而影响到冶金反应的过程。在焊接时,对焊接冶金产生影响的参数主要有以下三种:

(1) 熔合比 熔合比取决于焊接方法、焊接接头形式和尺寸、坡口形式和角度、焊接参数、母材的性质、焊接材料种类以及焊条(焊丝)的倾角等因素。焊条中的合金元素在焊接过程中是有损失的,而母材中的合金元素几乎全部过渡到焊缝金属中,所以改变焊缝金属的熔合比就可以改变焊缝金属的化学成分。因此,焊接时必须严格控制焊接工艺条件以使熔合比稳定合理。



小知识 熔合比是指被熔化的母材金属在焊缝金属中所占的百分比。熔合比是用面积之比来计算的。

焊接参数是指在焊接时,为保证焊接质量,而选定的焊接电源、焊接电流、电弧电压、焊接速度、热输入等参数的总称。

(2) 焊接参数 在母材一定的情况下,焊接参数的改变在一定程度上将影响冶金过程的发展,但它不能决定焊缝金属的合金系统。所以调节焊接参数是控制焊缝金属成分的辅助手段,焊接参数一旦选定应保持不变,以保证焊缝金属成分和性能的稳定性。

(3) 焊接材料 在母材一定的情况下,焊接材料(焊丝、焊剂、焊条、药芯焊丝等)的改变,不仅影响冶金过程的发展,而且决定了焊缝金属的合金系统,所以调整焊接材料是控制焊缝金属成分的主要手段。

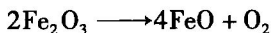
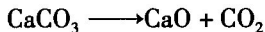


资料卡 药皮反应区进行的主要物理化学反应:

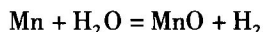
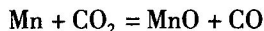
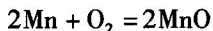
1) 脱水反应。当药皮温度超过 100℃ 时,药皮中的水分开始蒸发,当药皮温度超过 350~400℃ 时,药皮中的结晶水和化合水开始逐步分解。蒸发和分解的水分一部分进入电弧区。

2) 有机物分解反应。药皮温度超过 200~250℃ 时,有机物就开始分解,产生气体。有机物一般是碳氢化合物,分解成 CO 和 H₂。

3) 矿物质的分解反应。药皮温度超过 400℃,药皮中的矿物质(碳酸盐、高价氧化物等)发生分解,反应式如下:

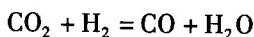


4) 铁合金的氧化。药皮分解产生的自由氧、二氧化碳和水蒸气等,将使药皮中的铁合金发生一定的氧化,如





5) 气体间的反应。药皮分解阶段产生的气体之间也会产生反应, 如



【综合训练】



一、理论部分

(一) 名词解释

1. 焊接冶金过程
2. 药皮重量系数 K_p
3. 熔合比
4. 焊接参数

(二) 填空题

1. 焊接过程中的化学冶金反应, 主要是熔融金属与_____和_____的反应。
2. 焊接冶金过程是分区域连续进行的, 焊条电弧焊时, 焊接冶金反应区可分为_____, _____和_____三个区域。
3. 熔化极气体保护焊时, 则只有_____和_____二个区域。
4. 在药皮反应区, 焊条药皮(固态下)各组成物之间将发生物理、化学反应, 主要是水分的_____, 有机物(如木粉、纤维素、淀粉等)或碳酸盐(如菱苦土、大理石、白云石)及高价氧化物的_____和铁合金的_____。
5. 焊条药皮分解析出的大量氧化性气体将使金属和药皮中的铁合金被氧化, 从而气相的氧化性大大降低, 这一过程也称为_____。
6. 熔滴反应区进行的主要反应是: 气体的_____, 气体的_____, 熔融金属的_____, 金属的_____与熔滴金属的_____。
7. 焊接过程中熔滴反应区的特点是熔滴_____高; 熔滴与气体和熔渣_____大; 各相之间反应_____短以及熔滴与深渣发生强烈_____等。
8. 熔滴阶段的化学冶金反应, 主要在_____进行的。
9. 焊接过程中, 熔池阶段的化学冶金反应速度比熔滴阶段_____。

(三) 简答题

1. 什么是焊接冶金过程? 其特点有哪些?
2. 焊条药皮反应区的温度范围及主要作用是什么?
3. 焊条熔滴反应区的特点是什么?
4. 焊条熔池反应区的特点是什么?
5. 熔合比数值与什么有关? 对焊缝金属的成分有何影响?

二、实践部分

1. 训练目标

- 1) 熟悉焊条电弧焊时, 焊接冶金反应区域的组成及各区的特点。
- 2) 了解焊接参数对焊接冶金的影响。

2. 训练准备

- 1) 人员准备: 分组进行, 每组由 8~10 人组成。



2) 资料准备: 实训指导书。

3. 训练地点

实验室或实训场地。

4. 训练办法

1) 让学生进行焊条电弧焊的焊接练习, 以使学生观察并熟悉焊接冶金反应区的组成及各区的特点。

2) 在焊条电弧焊操作练习中, 依次改变熔合比、焊接电流、电弧电压、焊接速度、焊条种类(J422、J507 两种)等焊接参数, 使学生了解焊接参数对焊接冶金过程的影响。

综合知识模块二 焊接热过程

熔焊时, 必须有一定能量的热源对焊件局部加热、熔化、冷却后才能形成接头。其热过程对焊接区金属的成分、组织、性能影响很大, 为保证焊接质量, 必须了解焊接区热量传递和温度变化等焊接热过程的基本规律。

能力知识点 1

常用焊接热源及热能传递的基本方式

1. 常用的焊接热源

(1) 电弧热 利用气体介质在两电极之间强烈而持续放电过程产生的热能作为焊接热源, 是目前应用最广的一种焊接热源, 如焊条电弧焊、气体保护焊、埋弧焊等。

(2) 化学热 主要是利用助燃和可燃气体或铝、镁热剂燃烧时产生的热量作为焊接热源, 如气焊、热剂焊等。

(3) 电阻热 利用电流通过导体时产生的电阻热作为焊接热源, 如电阻焊、电渣焊等。

(4) 摩擦热 利用机械摩擦产生的热能作为焊接热源, 如摩擦焊。

(5) 电子束 利用高压高速的电子束轰击金属局部表面所产生的热能作为焊接热源, 即电子束焊。

(6) 等离子弧 将自由电弧压缩成高温、高电离度及高能量的电弧热作为焊接热源, 即等离子弧焊。

(7) 激光束 利用高能量的激光束轰击焊件产生的热能进行焊接, 即激光束焊。

焊接热源不仅影响焊接质量, 而且对焊接生产率有决定性的作用。为了使焊接区能够迅速达到熔点并防止加热范围过大, 我们希望焊接热源的加热面积小, 单位面积的功率(功率密度)大, 同时在正常的焊接条件下能达到较高的温度。近年来发展的电子束、等离子弧、激光束等新的焊接热源, 其最小加热面积仅为 $10^{-5} \sim 10^{-8} \text{ cm}^2$, 而功率密度可达 $10^7 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$, 温度高达 $10000 \sim 20000^\circ\text{C}$, 从而可以获得很高的焊接质量与生产率。

2. 焊接过程的热效率

焊接热源所输出的功率在实际应用中并不能全部得到有效利用, 而是有一部分热量损失于周围介质和飞溅中。一般来说, 热源越集中, 热量损失越少, 热效率就越高, 如气焊就比各种电弧焊的热效率要低得多。下面以电弧焊为例, 来分析焊接过程中热效率的计算方法。

通常, 电弧焊焊接时, 电弧输出总功率为 q_0 , 则