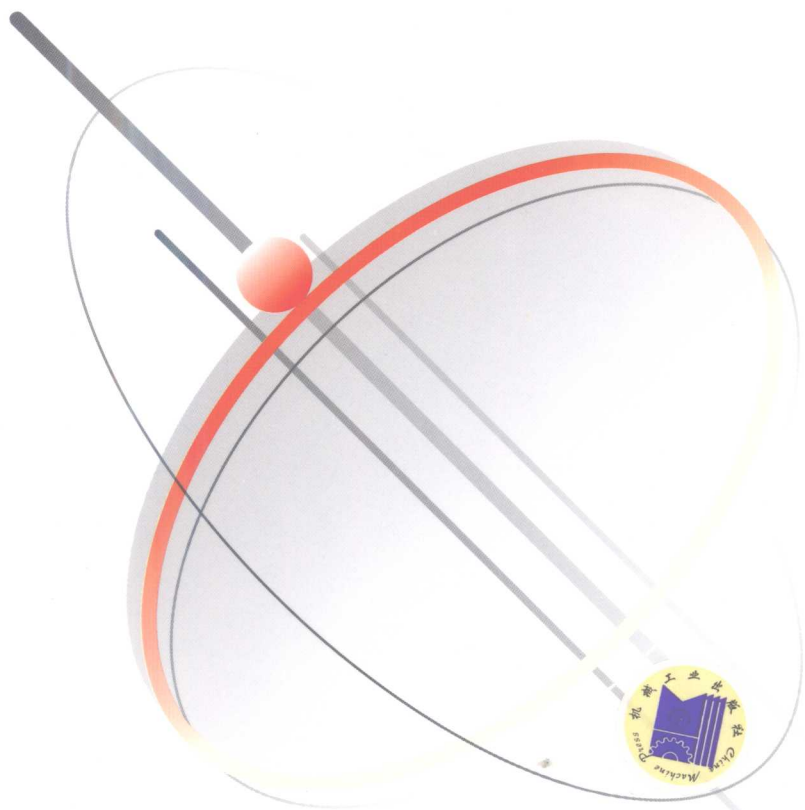




职业教育“十一五”规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

金属熔焊原理

邓洪军 主编



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

 赠 电子教案
www.cmpedu.com

本书主要讲授金属在熔焊过程中温度、化学成分、组织及性能的变化规律；常见焊接冶金缺陷产生的原因、影响因素及防止措施；焊接材料的性能与应用。全书共分六个单元，包括：焊接热过程、焊缝金属的构成、焊接冶金、焊接接头的组织与性能、焊接冶金缺陷及焊接材料。本书在编写过程中，从现代高职人才培养目标出发，注重教学内容的实用性，特别是结合焊接专业技术岗位特点，尽量结合生产实际组织内容，使学生掌握金属熔焊原理基本知识。本书编写模式新颖，将需要掌握的知识点进行分解，按单元、综合知识模块、能力知识点作为层次安排编写，每单元开始安排有“学习目标”，单元末安排有“综合训练”，“综合训练”兼顾了焊工考证的考点，以满足“双证制”教学需要。为便于教学，本书另外配备了电子教案和部分习题答案，选用本书作为教材的教师可来电（010-88379201）索取，或登录 www.cmpedu.com 注册免费下载。

本书可作为职业院校及各类成人教育焊接专业教材或培训用书，也可供有关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

金属熔焊原理/邓洪军主编. —北京：机械工业出版社，2008.3
职业教育“十一五”规划教材. 焊接专业“双证制”教学改革用书
ISBN 978-7-111-23707-5

I. 金… II. 邓… III. 熔焊—职业教育—教材 IV. TG442

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 032420 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：崔占军 齐志刚 责任编辑：张祖凤
责任校对：李秋荣 封面设计：姚毅 责任印制：杨曦
北京机工印刷厂印刷（兴文装订厂装订）
2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 10.75 印张 · 261 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-23707-5
定价：19.00 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

为了进一步贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的文件精神,加强职业教育教材建设,满足职业院校深化教学改革对教材建设的要求,机械工业出版社于2006年11月在北京召开了“职业教育焊接专业教材建设研讨会”。在会上,来自全国十多所院校的焊接专业专家、一线骨干教师研讨了新的职业教育形势下焊接专业的课程体系,确定了面向中职、高职层次两个系列教材的编写计划。本书是根据会议所确定的教学大纲和高等职业教育培养目标组织编写的。

本书主要讲授金属在熔焊过程中温度、化学成分、组织及性能的变化规律;常见焊接冶金缺陷产生的原因、影响因素及防止措施;焊接材料的性能与应用。本书重点强调培养学生分析焊接热过程和焊接冶金过程的基本规律,以及合理选用焊接材料的能力。编写过程中力求体现“宽、精、新”的特色。基础理论以应用为目的、以够用为度,教学内容选择宽而精,加强针对性与应用性。本书编写模式新颖,将需要掌握的知识点进行分解,按单元、综合知识模块、能力知识点作为层次安排编写,每单元开始安排有“学习目标”,单元末安排有“综合训练”,“综合训练”兼顾了焊工考证的有关内容,以满足学校“双证制”教学需要。

本书在内容处理上有以下几点说明:①全书始终贯彻执行正确分析焊接热过程和焊接冶金过程、合理选用焊接材料的指导思想,侧重理论联系实际,提高应用能力;②考虑到此书为职业教育焊接专业用教材,故对某些基础理论进行了必要的精简;③注意增加了与焊接结构生产实际有关的焊接材料发展的最新情况;④在教材内容选择与组织上,力争使其更具先进性和应用性;⑤充分考虑了金属熔焊原理与其他课程之间的关系,加强了焊接冶金缺陷分析及防止措施等方面的内容。

全书共六个单元,由邓洪军任主编,李丽茹任副主编。邓洪军编写绪论,第一、二单元;冯菁菁编写第三单元;李丽茹编写第四、五单元;乌日根编写第六单元。全书由邓洪军统稿,沈阳工业大学印有胜教授主审。为便于教学,本书另配备了电子教案和部分习题答案,选用本书作为教材的教师可来电(010-88379201)索取,或登录 www.cmpedu.com 注册免费下载。

在编写过程中,作者参阅了国内外出版的有关教材和资料,得到了李德元教授的有益指导,在此一并表示衷心感谢!

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一单元 焊接热过程

综合知识模块一 焊接热过程及其特点	5
-------------------------	---

能力知识点 1 焊接的一般过程	5
-----------------------	---

能力知识点 2 焊接热过程的特点	6
------------------------	---

能力知识点 3 焊接热过程对焊接质量的影响	6
-----------------------------	---

【综合训练】	6
--------------	---

综合知识模块二 焊接热源	7
--------------------	---

能力知识点 1 常用的焊接热源	7
-----------------------	---

能力知识点 2 焊接热源的主要特征	8
-------------------------	---

能力知识点 3 焊接过程的热效率	8
------------------------	---

【综合训练】	10
--------------	----

综合知识模块三 焊接温度场	11
---------------------	----

能力知识点 1 焊接过程中热能传递方式	11
---------------------------	----

能力知识点 2 焊接温度场	11
---------------------	----

【综合训练】	16
--------------	----

综合知识模块四 焊接热循环	16
---------------------	----

能力知识点 1 焊接热循环及其特征	16
-------------------------	----

能力知识点 2 焊接热循环的主要参数	17
--------------------------	----

能力知识点 3 影响焊接热循环的主要因素	19
----------------------------	----

能力知识点 4 焊接热循环的调节方法	19
--------------------------	----

【综合训练】	20
--------------	----

第二单元 焊缝金属的构成

综合知识模块一 焊条(焊丝)的加热与熔化	21
----------------------------	----

能力知识点 1 焊条(焊丝)的加热	21
-------------------------	----

能力知识点 2 焊条的熔化速度	23
-----------------------	----

能力知识点 3 焊条药皮的熔化及过渡	23
--------------------------	----

【综合训练】	24
--------------	----

综合知识模块二 熔滴过渡	25
--------------------	----

能力知识点 1 熔滴的过渡特性	25
-----------------------	----

能力知识点 2 熔滴的过渡特性对焊接过程的影响	26
-------------------------------	----

能力知识点 3 熔滴过渡的作用力	26
------------------------	----

能力知识点 4 熔滴过渡的形式	28
-----------------------	----

【综合训练】	28
--------------	----

综合知识模块三 母材的熔化与焊缝的形成	29
---------------------------	----

能力知识点 1 母材的熔化与熔池的形成	29
---------------------------	----

能力知识点 2 熔池的形状和尺寸	29
------------------------	----

能力知识点 3 熔池的特性	30
---------------------	----

能力知识点 4 焊缝金属的熔合比	31
------------------------	----

【综合训练】	33
--------------	----

第三单元 焊接冶金

综合知识模块一 焊接冶金的特点	35
-----------------------	----

能力知识点 1 焊接时焊缝金属的保护	35
--------------------------	----

能力知识点 2 焊接冶金反应区的特点	37
--------------------------	----

能力知识点 3 焊接参数对焊接冶金的影响	39
----------------------------	----

【综合训练】	40
--------------	----

综合知识模块二 气相对焊缝金属的作用	41
--------------------------	----

能力知识点 1 焊接区内的气体	41
-----------------------	----

能力知识点 2 氢对金属的作用及其控制	42
---------------------------	----

能力知识点 3 氮对金属的作用及其控制	47
---------------------------	----

能力知识点 4 氧对金属的作用及其控制	51
---------------------------	----

【综合训练】	55
--------------	----

综合知识模块三 熔渣及其对焊缝金属的作用	57
----------------------------	----

能力知识点 1 熔渣的作用及分类	57
------------------------	----

能力知识点 2 熔渣的结构理论	58
-----------------------	----

能力知识点 3 熔渣的性质	60
---------------------	----

能力知识点 4 熔渣对焊缝金属的氧化	63
--------------------------	----

能力知识点 5 焊缝金属的脱氧	64
-----------------------	----

【综合训练】	66
--------------	----

综合知识模块四 焊缝金属中硫、磷的控制	67
---------------------------	----

能力知识点 1 焊缝金属中硫、磷的危害性	67	防止措施	102
能力知识点 2 硫的控制	68	【综合训练】	106
能力知识点 3 磷的控制	69	综合知识模块二 焊缝中的夹杂	107
【综合训练】	70	能力知识点 1 夹杂的种类及危害	107
综合知识模块五 焊缝金属的合金化	70	能力知识点 2 防止焊缝中形成夹杂物的措施	108
能力知识点 1 焊缝金属合金化的目的	70	【综合训练】	109
能力知识点 2 焊缝金属合金化的方式	71	综合知识模块三 焊接裂纹	109
能力知识点 3 影响合金过渡系数的因素	71	能力知识点 1 裂纹的危害	109
【综合训练】	75	能力知识点 2 裂纹的分类及其特征	110
第四单元 焊接接头的组织与性能	76	能力知识点 3 焊接热裂纹	112
综合知识模块一 熔池的凝固与焊缝金属的固态相变	76	能力知识点 4 消除应力裂纹	117
能力知识点 1 熔池凝固的特点	76	能力知识点 5 焊接冷裂纹	119
能力知识点 2 熔池金属的凝固过程	77	【综合训练】	123
能力知识点 3 焊缝金属的化学不均匀性	78	第六单元 焊接材料	124
能力知识点 4 焊缝金属的固态相变	80	综合知识模块一 焊条	124
能力知识点 5 焊缝组织与性能的改善	85	能力知识点 1 概述	124
【综合训练】	86	能力知识点 2 焊条的配方设计与焊条制造	131
综合知识模块二 焊接熔合区的特征	87	能力知识点 3 焊条的性能、用途及其选用	134
能力知识点 1 熔合区的形成	87	【综合训练】	140
能力知识点 2 熔合区的不均匀性	88	综合知识模块二 焊丝与焊剂	140
【综合训练】	89	能力知识点 1 焊丝	140
综合知识模块三 焊接热影响区	89	能力知识点 2 焊剂	144
能力知识点 1 焊接热影响区的形成及影响因素	89	【综合训练】	152
能力知识点 2 焊接热影响区固态相变的特点	90	综合知识模块三 焊接用保护气体	152
能力知识点 3 焊接热影响区的组织	93	能力知识点 1 概述	152
能力知识点 4 焊接热影响区的性能	95	能力知识点 2 保护气体的特性	153
【综合训练】	97	能力知识点 3 焊接用保护气体的技术要求	155
第五单元 焊接冶金缺陷	99	能力知识点 4 保护气体选用要点	156
综合知识模块一 焊缝中的气孔	99	【综合训练】	156
能力知识点 1 气孔的类型及分布特征	99	综合知识模块四 电极	157
能力知识点 2 焊缝中气孔的形成	100	能力知识点 1 概述	157
能力知识点 3 影响气孔生成的因素及		能力知识点 2 弧焊用钨电极	157
		能力知识点 3 电阻焊用铜电极	159
		【综合训练】	162
		参考文献	163

绪论

【学习目标】 通过本单元的学习，了解焊接过程的物理本质、焊接与其他连接方法的区别、焊接方法的分类以及本教材的主要内容和学习本教材要达到的能力目标。

焊接是一种重要的材料加工工艺，被广泛应用于现代工业的各个部门。焊接技术虽然发展历史不长，但近年来发展十分迅速。

现代焊接技术的发展始于19世纪80年代末。科学技术的发展为焊接技术的发展提供了理论基础和物质条件。随着焊接能源的开发与应用，新的焊接方法不断涌现，推动了焊接技术的发展，使其应用范围不断扩大。而一些高、精、大型产品制造的高要求，又有力推动了焊接技术的发展。现在，焊接已发展成为一门独立的学科，在能源、交通、建筑，特别是在机器制造部门中，已成为不可缺少的工艺方法，并将发挥越来越大的作用。

一、焊接过程的实质和焊接方法的分类

1. 焊接过程的实质

这里所说的焊接过程的物理本质，是指焊接与其他连接方法在宏观和微观两方面的根本区别。了解焊接过程的物理本质，是掌握焊接基本理论和基本规律的前提，对于保证焊接质量，提高焊接技术水平以及开发新的焊接能源都有重要的意义。

在机器制造中，连接的方法很多，除焊接外，还有螺栓联接、键联接、铆接与粘接等。焊接不仅与上述连接方法有实质的区别，而且与钎焊的物理本质也不尽相同。

什么是焊接？GB/T3375—1994《焊接术语》中指出：焊接是通过加热或加压，或者两者并用，并且用或不用填充材料，使焊件间达到原子间结合的一种加工方法。作为一种加工工艺，对焊接可以从不同的角度、用不同的文字加以描述，但上述定义是从微观上说明了焊接过程的实质——使两个分开的物体（焊件）达到原子结合。也就是说，焊接与其他金属连接方法最根本的区别在于，通过焊接，两个焊件不仅在宏观上建立了永久的连接，而且在微观上形成了原子间的距离而结合成一体。对金属来说，就是在两焊件间建立了金属键。

为了简化问题，我们以双原子模型进行分析。两个原子结合情况取决于二者之间的引力和斥力的综合作用，只有当引力和斥力达到平衡（合力为零）时，两个原子的相对位置才能固定。原子间的引力是由一个原子的外部电子与另一原子核相互作用引起的；而斥力则是



由两个原子的核外电子之间和两原子核之间的相互作用引起的。引力和斥力的大小取决于原子间的距离。只有当这个距离与金属的晶格常数相接近时，引力和斥力才有可能达到平衡而形成金属键。图 0-1 为两个原子之间相互作用力与距离之间的关系。可以看出，当原子间的距离远大于晶格常数时，它们之间的引力和斥力都接近于零，可以认为此时原子间没有力的作用。当两原子逐渐接近时，将同时有引力与斥力的作用，直至原子间的距离达到 r_A ，其合力作用（表现为引力）达到最大值，这时原子即可自动靠近而达到平衡位置。对于大多数金属， $r_A = (3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{cm}$ ($3 \sim 5 \text{\AA}$)。

从图 0-1 可知，焊接时被焊金属表面间的距离达到 r_A ，两侧原子就会产生最大引力，从而发生扩散、再结晶等物理化学过程，并进一步靠近，最后原子间的距离达到合力为零的平衡位置，建立了金属键，完成焊接过程。但实际上，在没有外加能量的条件下，要使两个分开的固体表面距离达到 r_A 是不可能的。因为，即使是经过精密加工的金属表面，其表面粗糙度也远大于 r_A 值。因此，在宏观上密合的两个表面，原子之间仍然没有力的作用。此外，金属表面的氧化膜和其他吸附物，也阻碍了表面的紧密结合。因此，焊接时必须输入一定的能量，才能克服上述的障碍。在实际生产中，能量主要以加热或加压两种形式提供。

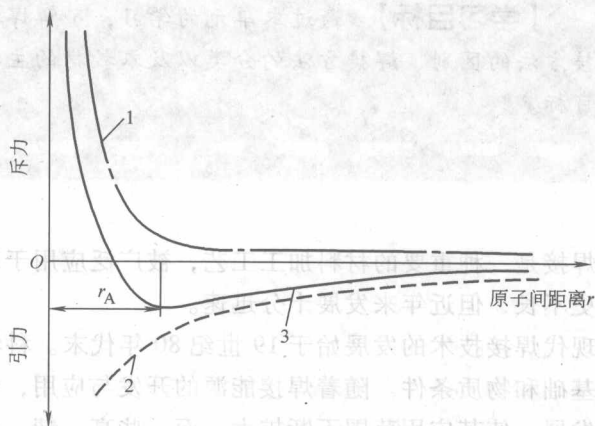


图 0-1 双原子相互作用力与距离的关系

1—斥力 2—引力 3—合力

加压可以破坏表面膜，使连接处发生局部塑性变形，增加有效接触面积，当压力达到一定时，两物体表面原子间的距离可以接近 r_A ，从而产生最大引力，最终达于平衡位置，建立起金属键，形成焊接接头。

对被焊材料进行局部或整体加热，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，同时增加了原子的振动能，有利于再结晶、扩散、化学反应和结晶过程的进行，从而实现焊接。

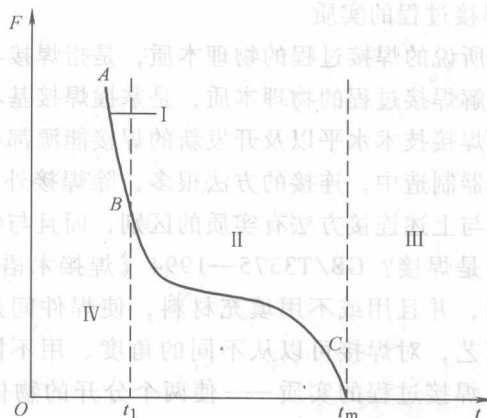


图 0-2 纯铁焊接时所需加热温度 t 与压力 F 的关系

I—高压焊接区 II—压焊区 III—熔焊区

IV—不能实现焊接区

对某一金属而言，实现焊接所需的最低能量是一定的。因此，所需加热温度与压力之间存在互补关系。纯铁焊接时所需温度和压力的关系如图 0-2 所示。



图中曲线 ABC 为实现焊接所需的温度 t 与压力 F 的匹配关系,即曲线上部是可以实现焊接的区域。其他金属材料焊接时温度与压力的关系与纯铁类似。

可以看出,焊接时加热温度越高,所需的压力越小。据此可将温度与压力的匹配划分为几种类型:当加热温度低于 t_1 时(Ⅰ区),称为高压焊接区,实际生产中只有少数高塑性低强度金属才能在此条件下进行焊接;加热温度在 $t_1 \sim t_2$ 之间(Ⅱ区)称为实际应用的压焊区或电阻焊区;当加热温度超过被焊金属的熔点 t_m 时,不需加压即可实现焊接,称为熔焊区(Ⅲ区);而曲线 ABC 以下的区域(Ⅳ区),由于外加能量之不足,是不能实现焊接的区域。

2. 焊接方法的分类

为达到金属连接的目的,必须从外部给连接的金属以很大的能量,使金属接触表面达到原子间结合。通常,外界提供能量的方式是对焊件加热、加压或两者并用。

按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。

(1) 熔焊 熔焊是指在焊接过程中,将待焊处的母材金属熔化,但不加压力以形成焊缝的焊接方法。在加热的条件下,增强了金属的原子动能,促进原子间的相互扩散,当被焊金属加热至熔化状态形成液态熔池时,原子之间可以充分扩散和紧密接触,因此,当冷却凝固后就可以形成牢固的焊接接头。熔焊是金属焊接中最主要的一种方法,常用的有焊条电弧焊、埋弧焊、气焊、电渣焊、气体保护焊等。

(2) 压焊 压焊就是在焊接过程中,无论加热与否,必须对焊件施加一定压力以完成焊接的焊接方法。这类连接有两种方式:一是对被焊材料局部或整体加热,使连接处达到塑性或熔化状态,从而破坏了金属表面的氧化膜,减小变形阻力,然后施加一定的压力,形成牢固的焊接接头。常见的压焊方法主要有电阻焊、摩擦焊、锻焊等。二是不进行加热,仅在被焊金属的接触面上施加足够的压力,借助于压力所形成的塑性变形,使原子间相互靠近而形成牢固接头。这种压焊方法有冷压焊、爆炸焊等。

(3) 钎焊 钎焊是采用比母材熔点低的金属材料做钎料,将焊件和钎料加热到高于钎料熔点,但低于母材熔点的温度,利用液态钎料润湿母材,填充接头间隙,并与母材相互扩散而实现连接焊件的方法。根据使用钎料的不同,可将钎焊分为硬钎焊和软钎焊两类。

二、本教材的主要内容及要求

1. 本教材的主要内容

“金属熔焊原理”是高等职业学校焊接专业的一门主干课程之一。本教材主要介绍金属在熔焊过程中温度、化学成分、组织和性能的变化规律,常见焊接冶金缺陷产生的原因、影响因素及防止措施,焊接材料的性能与应用。

2. 学习本教材应达到的能力目标

本教材是根据高等职业学校焊接专业《金属熔焊原理》课程的教学大纲编写的,通过学习本教材,学习者应达到以下能力目标:

1) 了解焊接过程的物理本质,能从理论上说明焊接与其他连接方法的根本区别。



2) 了解金属熔焊时焊件上温度变化规律, 熟悉焊接条件下金属所经历的化学、物理变化过程, 掌握焊接接头在其形成过程中成分、组织与性能变化的基本规律。

3) 掌握焊接冶金过程中常见缺陷的特征、产生条件和影响因素, 并能根据生产实际条件分析缺陷产生的原因, 提出防止措施。

4) 掌握常用焊接材料的性能特点及应用范围, 了解焊条配方的设计原则及制造过程。



资料卡

焊接结构的特点:

- 1) 焊接结构重量轻, 节约材料。
- 2) 焊接结构劳动量少, 生产率高。
- 3) 焊接结构强度高, 密封性好。
- 4) 焊接结构加工方便, 有利于实现机械化和自动化。

【综合训练】



一、理论部分

(一) 填空

1. 焊接是通过熔焊或压焊, 或者两者并用, 并且用或不用填充金属, 使焊件间达到原子间结合的一种加工方法。
2. 焊接与其他金属连接方法最根本的区别在于, 通过焊接, 两个焊件不仅在宏观上建立了冶金结合, 而且在微观上形成了原子间结合。
3. 按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。
4. 熔焊是指将焊件加热至熔化状态, 不加压力完成焊接的焊接方法。
5. 压焊就是在焊接过程中, 无论加热与否, 必须施加压力。

(二) 简答

焊接过程的实质是什么?

(三) 分析讨论

本教材的学习目标及重点是什么?

二、实践部分

1. 训练目标: 了解焊接在现代工业生产中的应用及常用的焊接方法中有哪些方法属于熔焊的方法。

2. 训练准备:

(1) 人员的准备: 每组 5~7 人, 组成一个考查小组。

(2) 资料的准备: 准备有关焊接生产方法的资料。

3. 训练地点: 图书馆和实习工厂。

4. 训练方法:

(1) 考查小组首先准备有关焊接生产方面的资料, 查阅有关焊接方法分类的资料。

(2) 通过查阅资料了解目前生产中常用的焊接方法有哪些, 并对常用的焊接方法进行分类, 了解哪些是熔焊的方法。

(3) 带着查阅的资料, 到实习工厂去了解一下, 这些常用的熔焊的方法在生产的应用情况。

第一单元 焊接热过程

【学习目标】 通过本单元的学习，了解焊接热过程的特点及其对焊接接头组织和性能的影响，熟悉常用的焊接热源的种类，掌握焊接温度场的分布及影响因素，焊接热循环的特点、影响因素及调节方法。

综合知识模块一 焊接热过程及其特点

能力知识点 1 焊接的一般过程

熔焊是应用最广泛的一类金属焊接方法，一般焊接部位须经历加热—熔化—冶金反应—凝固结晶—固态相变—形成接头等过程，亦可归纳成如下三个互相交错进行而又彼此联系的过程，如图 1-1 所示。

1. 焊接热过程

在焊接热源作用下金属局部被加热与熔化，同时出现热量的传播和分布的现象，而且这种现象贯穿整个焊接过程的始终，这就是焊接热过程。一切焊接物理化学过程都在这种过程中发生和发展，它直接影响着焊接质量和生产率。

2. 焊接冶金过程

高温下熔化金属、熔渣、气相之间进行着一系列化学冶金反应，如金属的氧化、还原、脱硫、脱磷、渗合金以及和氢的作用等，这些反应直接影响焊缝金属的成分、组织和性能。控制冶金过程是提高焊缝质量的重要措施之一。

3. 焊接时金属的结晶和相变过程

在焊接条件下，热源离开后被熔化的金属便快速连续冷却，并发生结晶和相变过程，最后形成焊缝。在这一过程中有可能在焊缝金属中产生偏析、夹杂、气孔、热裂纹、淬硬、脆化、冷裂纹等缺陷。控制和调整焊缝金属的结晶和相变过程是保证焊接质量的又一关键。

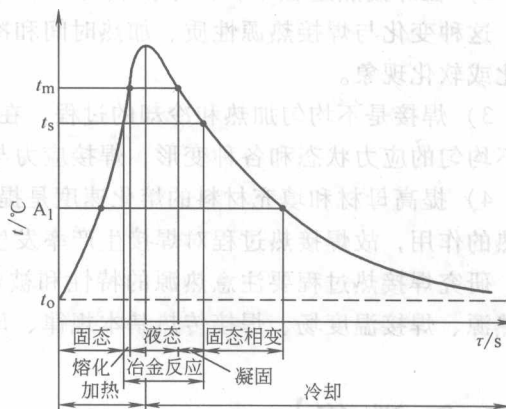


图 1-1 熔焊时焊缝区金属经历的过程

t_m —金属的熔化温度（液相线）

t_s —金属的凝固温度（固相线）

A_1 —钢的 A_1 相变点 t_0 —初始温度



焊缝两侧的母材因热传导而受到热的作用,于是发生组织的变化,形成了焊接热影响区(HAZ, Heat Affected Zone),在该区可能导致缺陷或性能变坏。

能力知识点 2

焊接热过程的特点

焊接热过程有两个基本特点:

- 1) 焊接热量集中作用在焊件连接部位,而不是均匀加热整个焊件。与金属热处理不同,不均匀加热是焊接过程的基本特征。
- 2) 热作用的瞬时性。焊接时,热源以一定速度移动,焊件上任一点受热的作用都具瞬时性,即随时间而变。在集中热源作用下,加热速度很快(电弧焊加热速度为 $1500^{\circ}\text{C}/\text{s}$),在很短时间内热量从热源传递到焊件上。随着热源向前移动,曾被加热达高温部位的金属迅速传导出热量而冷却降温。焊件上各点受热温度不断变化,说明了这种传热过程不是稳定的。

能力知识点 3

焊接热过程对焊接质量的影响

焊缝金属的内在质量、热影响区的组织与性能的变化、焊接接头上的应力状态以及焊接生产率等,直接受到热过程的影响。焊接热过程对焊接质量的影响主要有以下几点:

- 1) 焊接热过程决定了焊接熔池的温度和存在时间。温度高低和时间长短,直接影响着熔池金属的理化反应。若反应不完全,在焊缝金属中将会产生如偏析、气孔、夹杂等缺陷。
- 2) 在焊接热过程中,由于热传导的作用,近缝区的母材金属将发生组织与性能的变化,这种变化与焊接热源性质、加热时间和冷却速度有关,受其影响在该区可能产生淬硬、脆化或软化现象。
- 3) 焊接是不均匀加热和冷却的过程,在接头区发生不同程度热弹塑性变化,焊后将产生不均匀的应力状态和各种变形,焊接应力与冶金因素共同起作用可以产生裂纹。
- 4) 提高母材和填充材料的熔化速度是提高焊接生产率的重要途径,而熔化速度则决定于热的作用,故焊接热过程对焊接生产率发生影响。

研究焊接热过程要注意热源的特性和被焊金属(母材)的传热特点,其中包括各种焊接热源、焊接温度场、焊接传热基本规律、母材与焊材的加热与熔化、焊接热循环等。

【综合训练】

一、理论部分

(一) 填空

1. 在焊接热源作用下_____,同时出现_____现象,而且这种现象贯穿整个焊接过程的始终,这就是焊接热过程。
2. 在焊接条件下,热源离开后被熔化的金属便快速连续冷却,并发生_____和_____过程,最后形成_____。

(二) 简答





1. 焊接热过程的两个基本特点是什么?
2. 焊接热过程对焊接质量主要有哪几个方面的影响?

二、实践部分

1. 训练目标: 了解熔焊的焊接热过程中被焊金属的变化。
2. 训练准备
 - (1) 人员准备: 每组 5~7 人, 组成一个研究小组。
 - (2) 材料的准备: 焊条电弧焊的焊机一台、焊条若干、试板一块。
3. 训练地点: 实验室。
4. 训练方法: 观察焊条电弧焊的焊接过程。

综合知识模块二 焊接热源

焊接需要外加能量, 对于熔焊主要是热能。现代焊接发展趋势是逐步向高质量、高效率、低劳动强度和低能耗的方向发展。用于焊接的热量总是希望高度集中, 能快速完成焊接过程, 并能保证得到热影响区最窄及焊缝致密的接头。

能力知识点 1

常用的焊接热源

焊接热源的性质与功率, 决定了焊接加热的速度、加热的温度和加热的范围, 将直接影响焊接质量和生产率。因此, 不断研制和开辟新的热源, 对焊接技术的发展有重要作用。

生产中常用的焊接热源有以下几种:

(1) 电弧热 电弧热利用熔化或不熔化的电极与焊件之间的电弧所产生的热量进行焊接。电弧是目前应用最广的焊接热源。

(2) 化学热 化学热利用可燃性气体 (如乙炔、液化石油气等) 燃烧时放出的热量, 或热剂 (由一定成分的铝粉或镁粉、氧化铁粉、铁屑或铁合金等按一定比例配制而成) 在一定温度下进行反应所产生的热量进行焊接。

(3) 电阻热 电阻热利用电流通过接头的接触面及邻近区域所产生的电阻热, 或电流通过熔渣时所产生的电阻热进行焊接。

(4) 摩擦热 摩擦热利用机械摩擦所产生的热量进行焊接。

(5) 等离子弧 等离子弧借助水冷喷嘴对电弧的拘束作用, 获得高电离度和高能量密度的等离子弧所产生的热量进行焊接。

(6) 电子束 利用加速和聚焦的电子束轰击置于真空或非真空中的焊件表面, 使动能转变为热能而进行焊接。

(7) 激光束 以经过聚焦的激光束轰击焊件时所产生的热量进行焊接。

(8) 高频感应热 对于有磁性的金属, 利用高频感应产生的二次电流作为热源, 在局部集中加热进行焊接。



小知识

随着科技的发展进步, 现有的热源不断地完善, 同时还将开发出更新的热源, 如微波热、太阳能等热源也将被用于焊接中。



能力知识点 2

焊接热源的主要特征

熔焊热源的功率和密度须足以使焊件局部熔化,当加入填充金属时,还具有断续或连续地熔化填充金属的作用。各种热源产生热量的方式和方法不同,其功率密度或温度存在差别。热源输送的功率,即单位时间由热源向工件输送的能量,一般用瓦(W)表示。功率密度是指热源和工件之间有效接触的每单位面积上传送的功率,一般以每平方米或每平方厘米的瓦数(即 W/m^2 或 W/cm^2)表示。功率密度是衡量“热度”的尺度,可作为各种焊接热源比较的指标。

热源的性能不仅影响焊接质量,而且对焊接生产率有着决定性的作用。先进的焊接技术要求热源能够进行高速焊接,并能获得致密的焊缝和最小的加热范围。通常从以下三个方面对焊接热源进行对比。

- (1) 最小加热面积 即在保证热源稳定的条件下加热的最小面积,单位为 cm^2 。
- (2) 最大功率密度 热源在单位面积上的最大功率,单位为 W/cm^2 。在功率相同时,热源加热面积越小,则功率密度越高,表明热源的集中性越好。
- (3) 在正常的焊接参数条件下能达到的温度 在正常的焊接参数条件下能达到的温度越高,则加热速度越快,因而可用来焊接高熔点金属,具有更宽的应用范围。

常用焊接热源的上述三个特性数据见表 1-1。

表 1-1 常用焊接热源的特性数据

焊 接 热 源	最小加热面积/ cm^2	最大功率密度/ $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$	达到温度
乙炔火焰	10^{-2}	2×10^3	3200°C
金属极电弧	10^{-3}	10^4	6000K
钨极氩弧 (TIG)	10^{-3}	1.5×10^4	8000K
埋弧焊	10^{-3}	2×10^4	6400K
电渣焊	10^{-2}	10^4	2000°C
熔化极氩弧 (MIG)	10^{-4}	$10^4 \sim 10^5$	$18000 \sim 24000\text{K}$
CO_2 气体保护电弧			
等离子弧	10^{-5}	1.5×10^5	—
电子束	10^{-7}	$10^7 \sim 10^9$	—
激光束	10^{-8}	$10^7 \sim 10^9$	—

从表 1-1 中可以看出,不同焊接热源的特性数据差别是相当大的。理想的热源应该是具有加热面积小、功率密度大、加热温度高等特点,等离子弧、电子束、激光束等属于此类焊接热源。

能力知识点 3

焊接过程的热效率

在焊接过程中,热源所产生的热量并不是全部被利用,而是有一部分热量损失于周围介



质和飞溅等，即焊件吸收到的热量要少于热源所提供的热量。我们把焊件（包括母材与填充金属）所吸收的热量叫做热源的有效热功率。有效热功率是热源输出总功率的一部分。

1. 电弧焊时的热效率

现以电弧为例，电弧输出的功率 P_0 可以表示为

$$P_0 = UI$$

式中 P_0 ——电弧功率，即电弧在单位时间内所析出的能量；

U ——电弧电压；

I ——焊接电流。

电弧的有效热功率 P 是 P_0 的一部分，二者的比值为 η' ，即

$$P = \eta' P_0$$

式中 P ——有效热功率；

η' ——焊接加热过程的热效率，或称功率有效系数。

η' 值一般根据实验测定，不同焊接方法的 η' 值见表 1-2。可以看出，埋弧焊的热效率高，这是由于埋弧焊过程中飞溅与散失到周围介质中的热量均小于焊条电弧焊所致，因而热量利用更为充分。此外，电弧热效率还与焊接参数、被焊材料等因素有关。

表 1-2 不同焊接方法的 η' 值

焊接方法	碳弧焊	焊条电弧焊	埋弧焊	钨极氩弧焊		熔化极氩弧焊	
				交流	直流	钢	铝
η'	0.5 ~ 0.65	0.74 ~ 0.87	0.77 ~ 0.90	0.68 ~ 0.85	0.78 ~ 0.85	0.66 ~ 0.69	0.70 ~ 0.85

2. 电渣焊时的热效率

电渣焊时，渣池处于厚大工件的中间，热能主要损失于强制成形的冷却滑块。实践证明，焊件的厚度越大，滑块带走热量的比例（即损失于滑块的热量）越小。这说明电渣焊时，板厚越大，则热效率越高。

应指出，电渣焊时，在熔化金属的同时，有大量的热能向母材金属传导，因而导致焊接热影响区过宽、晶粒粗大，成为电渣焊的最大缺点。

3. 电子束与激光焊接的热效率

由于电子束是在真空中焊接，因此它的能量损失很少，热效率可达 90% 以上，电子动能的绝大部分都能转化为热能。

激光对焊件加热的机理与电子束不同，它照射焊件时，一部分被吸收，另一部分被焊件表面反射，吸收与反射的比例与被焊材料的种类及其表面状态有关。一般来讲，只要被焊件吸收的能量，就能被充分利用，能量的损失极少。

这两种热源的共同特点是能量极为集中，可以在最小的加热面积上提供最大的功率。利用这种热源进行焊接时，可在瞬时之间实现焊接，使绝大部分能量都用于熔化金属（90% 以上），所以在焊接同样的工件时所需的功率比其他焊接方法要小得多。

应该指出，这里所说的热效率 η' ，只是考虑焊件所能吸收到的热能。实际上这部分热能又分为两部分：一部分用于熔化金属而形成焊缝；另一部分由于热传导而流失于母材形成热影响区。热效率 η' 并没有反映这两部分的比例。严格来讲，用于熔化金属形成焊缝的热



能才是真正的热效率。

热源的热效率，系指焊接时用于熔化金属的热量占热源功率的百分比。它不仅能确切说明能量的利用率，并可作为描述焊接热源先进性的判据之一。熔化效率高的热源（如电子束和激光束的熔化效率可达90%以上）焊接生产率高、热影响区窄、焊接质量好，而且节约能源，对于焊接一些难熔或化学性质活泼的金属材料，有更广的应用范围。

【综合训练】

一、理论部分

(一) 填空

1. 焊接热源主要的三个特征是_____、_____和_____。
2. 在焊接过程中由热源所产生的热量并不是全部被利用，而是有一部分热量损失于_____，即焊件吸收到的热量_____热源所提供的热量。我们把焊件（包括母材与填充金属）所吸收的热量叫做_____。
3. 理想的热源应该是具有_____、_____、_____等特点。

(二) 简答

1. 生产中常用的焊接热源有哪些？
2. 比较电弧焊与电渣焊的焊接热源的特点及热效率。

(三) 分析讨论

分析各种焊接方法所用的焊接热源的特点，讨论一下不同的焊接热源的热效率。

二、实践部分

1. 训练目标：了解现在焊接时常用的焊接热源的种类及特点，掌握这些焊接热源在焊接生产中的应用。

2. 训练准备

- (1) 人员准备：每5~8人一组。
- (2) 材料准备：焊接热源及应用方面的材料。
3. 训练地点：图书馆和实习工厂。

4. 训练方法

(1) 首先查阅有关焊接方面的书籍，了解现在焊接中常用的焊接热源有哪些，以及焊接热源的发展历史及应用。

(2) 到实习工厂去了解现在生产中焊接热源的应用情况，并了解不同的焊接热源在应用方面的特点。

(3) 对各种焊接热源的应用进行对比分析，得出焊接热源对焊接质量的影响。



综合知识模块三 焊接温度场

能力知识点1

焊接过程中热能传递方式

热力学第二定律指出,热总是不断地从高温流向低温,只要有温度差存在,就会有热的流动。焊接时,由于工件是局部受热的,工件上存在着很大的温度差,并且工件与周围介质之间也存在着很大的温度差,所以在焊件内部和焊件与周围介质之间都要发生热能的流动。

1. 热传导

热传导发生于物体内部或相互接触的物体之间。在金属内部,传导是热交换的唯一形式。热传导是由于温度(受热)不同,在物体内部引起自由电子移动和原子、离子发生振动的结果。温度差越大,则自由电子的移动就越激烈,因此,良好的导体也是好的导热体。

2. 对流

对流是由运动的质点来传递热能的,它是利用不同温度区域质点的密度不同来传热的,例如,把盛液体或气体的容器加热之后,容器内受热的液体或气体就要向上浮起,而较冷的液体或气体就要下沉,这种现象就称为对流。

3. 辐射

辐射是因为物体受热之后,内部原子发生振动而出现一种电磁波,此电磁波从物体的表面向外发射,它到达另一物体的表面时又转变为热能。应指出,在传热体和吸热体之间的辐射交换是彼此往复的,只是两者以不同的速度进行辐射。



小知识

根据热力学第二定律,热的传递有三种基本方式,即传导、对流和辐射。



想一想

在焊接过程中,热的传递以哪一种传热方式为主呢?

- 1) 热能由热源传给焊件及焊条。
- 2) 热能在母材和焊条内部的传播。

能力知识点2

焊接温度场

一、焊接温度场的定义及特点

1. 焊接温度场的定义

焊接时,焊件上各点的温度每一瞬时都在变化,但这种变化是有规律的。焊接温度场是指焊接过程中某一瞬时焊件上各点的温度分布。在掌握温度场的定义时,应注意以下两点:

- 1) 与磁场、电场一样,温度场考察的对象是空间一定范围内的温度分布状态。
- 2) 因为焊件上各点的温度是随时间变化的,因此温度场是某个瞬时的温度场。



温度场的数学表达式可写作

$$t = f(x, y, z, \tau)$$

式中 t ——工件上某一点在某一瞬时的温度；

x, y, z ——某一点的空间坐标；

τ ——时间。

2. 焊接温度场的特点

1) 可用图形表示, 图 1-2 所示为薄板在电弧焊时的一个典型温度场。图 1-2a 所示是用垂直于板平面的坐标表示其面上各点的温度分布; 图 1-2b 所示为距焊缝中心线在 y 向不同距离的温度分布; 图 1-2c 所示为在 x 方向距热输入点不同距离的温度分布; 图 1-2d 所示为利用焊件上温度相同的点连成等温线来表示的温度分布, 若在体积内则能连成等温面。

以上各种表示温度场的图形中以图 1-2c, 即用等温线 (或面) 表示, 最为常用。

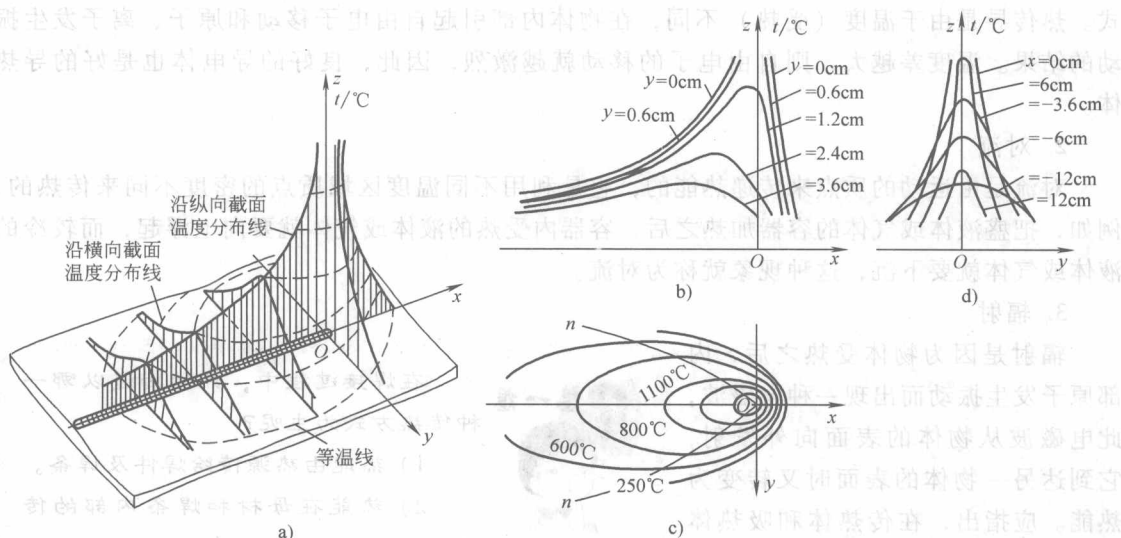


图 1-2 焊接温度场

a) 三维 (立体) 温度分布 b) 纵向截面温度分布 c) 等温线 d) 沿横向截面温度分布

2) 等温线或等温面之间互不相交, 有温度梯度。从图 1-2c 可以看出, 各等温线或等温面之间存在温度差, 故互不相交。在相邻等温线或等温面之间, 在某一方向上单位距离的温度变化率称温度梯度, 它表示单位体积内温度变化的激烈程度。温度梯度是矢量, 在等温线或等温面法线方向上的温度梯度最大。

在图 1-2c 中的 $n-n$ 曲线是各等温线在 y 方向最外侧的点的连线, 它实际上是焊件中温度上升及下降的分界的轨迹, 在该曲线左侧的所有点都处在冷却过程中, 而右侧的各点则都处在加热过程中。

图 1-3 所示为在相同热功率 P 和热源移动速度 v 条件下, 不同材料板上的温度场。图中