



“十二五”职业教育规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

金属熔焊原理

第2版

邓洪军◎主编

JINSHU RONGHAN YUANLI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件



“十二五”职业教育规划教材
焊接专业“双证制”教学改革用书

金属熔焊原理

第2版

主 编 邓洪军

副主编 徐双钱

参 编 王 博 冯菁菁

主 审 刘殿宝



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是在第1版的基础上修订而成的,主要介绍金属在熔焊过程中温度、化学成分、组织与性能的变化规律,以及常见焊接冶金缺陷产生的原因、影响因素与防止措施;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、焊接接头的组织与性能、焊接冶金过程、焊接材料、焊接冶金缺陷。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、模块作为层次安排编写,每单元开始安排有“学习目标”,单元最后安排有“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(010-88379197)索取,或登录 www.cmpedu.com 注册免费下载。

本书可作为高等职业院校、技工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. —2版. —北京:机械工业出版社, 2015. 12

“十二五”职业教育规划教材 焊接专业“双证制”教学改革用书

ISBN 978-7-111-52760-2

I. ①金… II. ①邓… III. ①熔焊-高等职业教育-教材
IV. ①TG442

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第017824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:张丹丹

责任校对:张玉琴 封面设计:张静

责任印制:乔宇

北京中兴印刷有限公司印刷

2016年2月第2版第1次印刷

184mm×260mm·11.75印张·284千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-52760-2

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

本书是根据全国机械行指委（全称为全国机械职业教育教学指导委员会）材料工程类专业教学指导委员会制定的高等职业教育焊接技术及自动化专业教学标准和“金属熔焊原理”课程标准，并结合当前高等职业教育的发展需求，在《金属熔焊原理》第1版的基础上修订而成的。

本书在修订过程中，始终坚持以学生就业为导向，以国家焊接职业标准为依据，在专业知识的安排上，坚持实用、够用的原则，摒弃“繁难偏旧”的理论知识，增加与职业能力有关的教学内容。在第1版的基础上，对全书结构进行了适当调整，调整后的结构为：焊接热过程—焊缝金属的构成—焊接接头的组织与性能—焊接冶金过程—焊接材料—焊接冶金缺陷；重新编写焊接接头的组织与性能、焊接材料两单元部分内容；全书采用最新的国家标准。

本书在修订过程中力求更好地将理论知识融入到职业能力培养的过程中，注重学生实际能力的培养。为更好地实现“校企合作、工学结合”的职业教育理念，本书修订过程中还邀请了企业一线的工程技术人员参与编写和审稿工作，使教材反映职业岗位能力要求，与焊工国家职业标准及焊工职业资格认证有机衔接，实现理论与实践相结合。

本书的主要内容、建议学时与建议教学形式见下表：

单 元	内 容	建议学时	建议教学形式
第一单元	焊接热过程	6	理论教学
第二单元	焊缝金属的构成	6	教学做一体化教学
第三单元	焊接接头的组织与性能	12	教学做一体化教学
第四单元	焊接冶金过程	12	理论教学
第五单元	焊接材料	12	教学做一体化教学
第六单元	焊接冶金缺陷	12	理论教学
合计		60	

全书共分六个单元，由邓洪军任主编，徐双钱任副主编。编写人员及具体分工如下：邓洪军负责整体策划、设计和校企编审人员整合与组织协调，编写前言、目录和绪论；王博编写第一单元、第四单元；徐双钱编写第二单元、第五单元，冯菁菁编写第三单元、第六单元。全书由渤海造船厂集团有限公司教授级高级工程师刘殿宝任

主审。

在修订过程中,本书参阅了有关同类教材、工具书、相关标准和网络资料,并得到编者所在学校和企业的大力支持,在此一并致以深深的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

第1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(010-88379197)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

第2版前言

第1版前言

绪 论 1

一、焊接过程的实质和焊接方法的分类 1

二、本教材的主要内容及要求 3

【综合训练】 4

第一单元 焊接热过程 6

模块一 焊接热过程及其特点 6

一、焊接的一般过程 6

二、焊接热过程的特点 7

三、焊接热过程对焊接质量的影响 7

【综合训练】 8

模块二 焊接热源 8

一、常用的焊接热源 8

二、焊接热源的主要特征 9

三、焊接过程的热效率 10

【综合训练】 11

模块三 焊接温度场 12

一、焊接过程中热能传递方式 12

二、焊接温度场 13

【综合训练】 17

模块四 焊接热循环 18

一、焊接热循环及其特征 18

二、焊接热循环的主要参数 19

三、影响焊接热循环的主要因素 20

四、焊接热循环的调节方法 21

【综合训练】 21

第二单元 焊缝金属的构成 23

模块一 焊条（焊丝）的加热与熔化 23



一、焊条（焊丝）的加热	23
二、焊条的熔化速度	25
三、焊条药皮的熔化及过渡	25
【综合训练】	26
模块二 熔滴过渡	27
一、熔滴的过渡特性	27
二、熔滴的过渡特性对焊接过程的影响	28
三、熔滴过渡的作用力	28
四、熔滴过渡的形式	30
【综合训练】	30
模块三 母材的熔化与焊缝的形成	31
一、熔池的形状和尺寸	31
二、熔池的特性	32
三、焊缝金属的熔合比	34
【综合训练】	35

第三单元 焊接接头的组织与性能

37

模块一 熔池的凝固与焊缝金属的固态相变	37
一、熔池凝固的特点	37
二、熔池金属的凝固过程	38
三、焊缝金属的化学不均匀性	39
四、焊缝金属的固态相变	41
五、焊缝组织与性能的改善	45
【综合训练】	47
模块二 焊接熔合区的特征	48
一、熔合区的形成	48
二、熔合区的不均匀性	48
【综合训练】	50
模块三 焊接热影响区	51
一、焊接热影响区的形成及影响因素	51
二、焊接热影响区固相转变的特点	52
三、焊接热影响区的组织	54
四、焊接热影响区的性能	57
【综合训练】	60

第四单元 焊接冶金过程

62

模块一 焊接冶金的特点	62
一、焊接时焊缝金属的保护	62
二、焊接冶金反应区的特点	64
三、焊接参数对焊接冶金的影响	66

【综合训练】	67
模块二 气相对焊缝金属的作用	68
一、焊接区内的气体	68
二、氢对金属的作用及其控制	69
三、氮对金属的作用及其控制	73
四、氧对金属的作用及其控制	76
【综合训练】	78
模块三 熔渣及其对焊缝金属的作用	80
一、熔渣的作用及分类	80
二、熔渣的结构理论	81
三、熔渣的性质	83
四、熔渣对焊缝金属的氧化	86
五、焊缝金属的脱氧	87
【综合训练】	90
模块四 焊缝金属中硫、磷的控制	90
一、焊缝金属中硫、磷的危害性	90
二、硫的控制	91
三、磷的控制	92
【综合训练】	93
模块五 焊缝金属的合金化	93
一、焊缝金属合金化的目的	93
二、焊缝金属合金化的方式	94
三、影响合金过渡系数的因素	95
【综合训练】	98

第五单元 焊接材料 100

模块一 焊条	100
一、概述	100
二、焊条的配方设计与焊条制造	110
三、焊条的性能、用途及其选用	113
【综合训练】	120
模块二 焊丝与焊剂	121
一、焊丝	121
二、焊剂	124
【综合训练】	132
模块三 焊接用保护气体	133
一、概述	133
二、保护气体的特性	133
三、焊接用保护气体的技术要求	135
四、保护气体选用要点	136
【综合训练】	136
模块四 电极	137



一、概述	137
二、电弧焊用钨电极	137
三、电阻焊用铜电极	139
【综合训练】	142

第六单元 焊接冶金缺陷 143

模块一 焊缝中的气孔	143
一、气孔的类型及分布特征	143
二、焊缝中气孔的形成	144
三、影响气孔生成的因素及防止措施	146
【综合训练】	150
模块二 焊缝中的夹杂	151
一、夹杂的种类及危害	152
二、防止焊缝中形成夹杂物的措施	153
【综合训练】	153
模块三 焊接裂纹	154
一、裂纹的危害、分类及特征	155
二、焊接热裂纹	157
三、消除应力裂纹	162
四、焊接冷裂纹	164
五、层状撕裂	169
六、应力腐蚀开裂	171
【综合训练】	172

参考文献	175
------------	-----

绪 论

学习目标

通过本单元的学习，了解焊接过程的实质、焊接方法的分类以及本教材的主要内容和要求。

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/T 3375—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，以双原子模型进行分析。两个原子结合情况取决于两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 所示为两个原子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， $r_A = (3 \sim 5) \times 10^{-8} \text{cm}$ ($3 \sim 5 \text{\AA}$)。

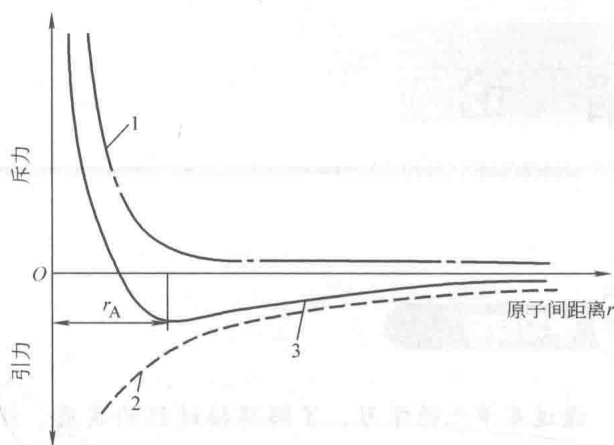


图 0-1 两个原子相互作用力与距离之间的关系
1—斥力 2—引力 3—合力

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，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，能量主要以加热和加压两种形式提供。

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，最终达到平衡位置，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。

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与压力的关系如图 0-2 所示。

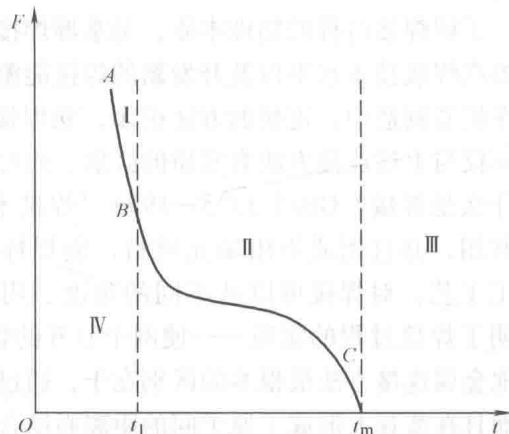


图 0-2 纯铁焊接时所需加热温度 t 与压力 F 的关系
I—高压焊接区 II—压焊区 III—熔焊区
IV—不能实现焊接区



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 $t_1 \sim t_m$ 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,促进了原子间的相互扩散,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。这种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) 填空题

1. 焊接是通过_____或_____,或者两者并用,并且用或不用_____,使焊件间达到_____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_____,而且在微观上形成了_____。
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_____、_____和_____三大类。
4. 熔焊是指_____的焊接方法。
5. 压焊就是在焊接过程中,无论加热与否,必须_____。

(二) 判断题(正确的画“√”,错误的画“×”)

1. 焊接是一种可以拆卸的连接方式。()
2. 熔焊是一种既加热又加压的焊接方法。()
3. 钎焊虽然在宏观上也能够形成不可拆卸的接头,但在微观上与压焊和熔焊是有本质区别的。()

(三) 简答题

1. 焊接过程的实质是什么?
2. 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属于熔焊。
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，这些常用的熔焊方法在生产中的应用情况。

焊接生产是机械制造中不可缺少的重要工序。

1. 焊接生产的意义

焊接生产是机械制造中不可缺少的重要工序。在工业生产中，焊接生产占有相当大的比重。随着科学技术的进步，焊接生产在国民经济中的地位日益重要。焊接生产不仅用于制造各种机械、船舶、桥梁、飞机、火箭等，而且广泛应用于建筑、化工、冶金、电力、国防等领域。焊接生产具有生产效率高、成本低、适应性强等优点，是现代工业中不可或缺的重要工艺。

2. 焊接生产的特点

焊接生产具有以下几个特点：(1) 生产效率高：焊接生产可以实现连续作业，生产效率高。(2) 成本低：焊接生产不需要大量的原材料，且工艺简单，成本低。(3) 适应性强：焊接生产可以适应各种不同形状、尺寸和材质的工件。

3. 焊接生产的分类

焊接生产可以根据不同的标准进行分类。按照焊接过程中是否加热，可以分为熔焊和压焊两大类。熔焊是指焊接过程中将工件加热至熔化状态，然后冷却凝固形成焊缝的焊接方法。压焊是指焊接过程中通过施加压力使工件产生塑性变形，从而实现连接的焊接方法。

熔焊方法包括氧乙炔焊、电弧焊、激光焊等。压焊方法包括电阻焊、摩擦焊、冷压焊等。不同的焊接方法适用于不同的材料和场合。例如，氧乙炔焊适用于薄板焊接，电弧焊适用于各种厚度的板材和管材，激光焊适用于高精度、高效率的焊接。

4. 焊接生产的应用

焊接生产广泛应用于各个领域。在机械制造中，焊接生产用于制造各种机械零件、结构件等。在船舶制造中，焊接生产用于制造船体结构。在桥梁建设中，焊接生产用于制造桥梁主体结构。在航空航天领域，焊接生产用于制造飞机、火箭等的关键部件。

随着科学技术的进步，焊接生产也在不断发展。新型焊接材料、焊接工艺和焊接设备的不断涌现，使得焊接生产的质量和效率得到了进一步提高。未来，焊接生产将在国民经济中发挥更加重要的作用。

总之，焊接生产是现代工业中不可或缺的重要工艺。通过学习和掌握焊接生产的知识和技能，可以为我国的工业发展做出更大的贡献。

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。

模块一 焊接热过程及其特点

一、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，也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

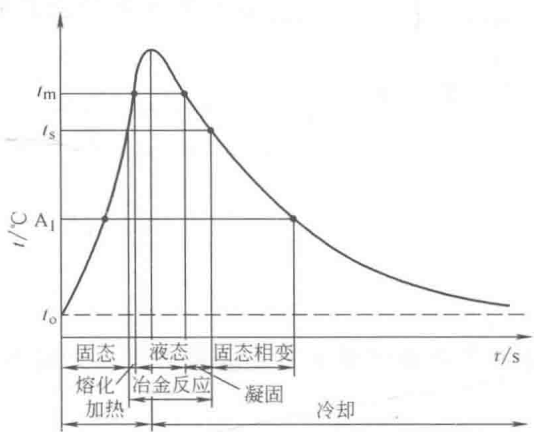


图 1-1 熔焊时焊缝区金属经历的过程

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



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。

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。

二、焊接热过程的特点

一切焊接物理化学过程、结晶相变过程都是在焊接热过程的基础上发生和发展的。焊接热过程比热处理条件下的热过程复杂得多。

1. 焊接热过程的不均匀性

焊件在焊接时不是整体被加热,而是热源只直接加热作用点附近的区域,加热和冷却极不均匀。

2. 焊接热过程的运动性

焊接过程中热源相对于焊件是运动的,焊件受热区域不断变化。当焊接热源接近焊件某一点时,该点温度迅速升高;当热源逐渐远离时,该点又迅速冷却。

3. 焊接热过程的瞬时性

在高度集中热源作用下,加热速度很快(电弧焊加热速度为 $1500^{\circ}\text{C}/\text{s}$),在很短的时间内热量从热源传递到焊件上。由于热源向前移动,曾被加热达到高温部位的热量被迅速导出而冷却降温。

4. 焊接热过程的复合性

焊接熔池中的液态金属处于强烈的运动状态。在熔池内部,传热过程以流体对流为主,而在熔池外部,以固体导热为主,还存在着对流传热以及辐射传热。

三、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,而熔化速度则取决于热的作用,故焊接热过程对焊接生产率产生影响。

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。