

高职高专规划教材

熔焊原理

侯德政 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高职高专规划教材

熔 焊 原 理

主 编 侯德政
参 编 顾 园 杨兵兵 张玉红 王小平
主 审 杨 跃
副主审 陈益林



机械工业出版社

本书是根据高等职业技术教育的培养目标组织编写的规划教材。全书由绪论和七章组成,主要内容包括绪论、焊接热过程、焊条熔化及熔池形成、焊接化学冶金过程、焊接熔池的结晶和焊缝金属的组织、焊接热影响区、焊接裂纹、焊接材料等。它是多年来生产与科研实践经验的总结,也是教学实践经验的积累。全书注重理论联系实际,突出应用能力的培养,叙述简明扼要、条理清晰,图文并茂。

本书是高职高专焊接技术及自动化专业教材,也可供各类成人高校和中等职业学校选用,以及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

熔焊原理/侯德政主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 1
高职高专规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 26091 - 2

I. 熔… II. 侯… III. 熔焊 - 高等学校 - 教材 IV. TG442

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 010391 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:王海峰 责任编辑:于奇慧 王海峰

版式设计:霍永明 责任校对:姚培新

封面设计:陈 沛 责任印制:邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 10.5 印张 · 254 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 26091 - 2

定价: 18.00 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) 88379756

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是根据高等职业技术教育的培养目标组织编写的规划教材，主要供高等职业技术学院和高等专科学校焊接技术及自动化专业学生使用，也可供各类成人高校和中等职业学校选用和有关工程技术人员参考。

本书在内容安排上力求适应高职高专焊接技术及自动化专业教学改革的要求，少学时、重技能，突出应用能力的培养。在保证教学内容的基础性和实践性的原则下，重点培养学生的创造性思维能力和解决实际问题的能力。

本书主要内容包括绪论、焊接热过程、焊条熔化及熔池形成、焊接化学冶金过程、焊接熔池的结晶和焊缝金属的组织、焊接热影响区、焊接裂纹、焊接材料等。

本书执笔者：侯德政（绪论、第四章），顾园（第一、二章），杨兵兵（第三章），张玉红（第五、六章），王小平（第七章）。

本书由侯德政任主编，杨跃任主审，陈益林任副主审。

全国机械职业教育教学指导委员会，张家界航空工业职业技术学院、四川工程职业技术学院、陕西工业职业技术学院、沈阳职业技术学院、芜湖职业技术学院在本书的出版过程中提供了支持与帮助，在此表示衷心感谢。

在本书的编写过程中，参阅了高等学校有关教材及国内出版的资料，书中还引用了许多同行所编著的教材和著作中的资料，在此一并表示衷心的感谢。

本书编写时力求跟上高等职业教育改革与发展的步伐，但由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
第一章 焊接热过程	4
第一节 焊接热源及应用	4
第二节 焊接温度场	6
第三节 焊接热循环	10
思考题与习题	17
第二章 焊条熔化及熔池形成	18
第一节 焊条的加热及熔化	18
第二节 焊接熔池的形成	22
思考题与习题	24
第三章 焊接化学冶金过程	25
第一节 焊接化学冶金过程的特点	25
第二节 焊接区内的气体及其对金属的作用	31
第三节 焊接熔渣	43
第四节 焊接时的氧化还原反应	50
第五节 焊缝金属的脱硫、脱磷	56
第六节 焊缝金属的合金化	59
思考题与习题	64
第四章 焊接熔池的结晶和焊缝金属的组织	65
第一节 焊接熔池的结晶	65
第二节 焊缝金属的固态相变	74
第三节 焊缝金属的偏析、气孔和夹杂	78
第四节 焊接生产中对焊缝组织和性能的控制	87
思考题与习题	89
第五章 焊接热影响区	90
第一节 焊接热影响区组织转变的特点	90
第二节 焊接热影响区的组织	98
第三节 焊接热影响区的性能	102
思考题与习题	107
第六章 焊接裂纹	108
第一节 焊接裂纹的危害及分类	108
第二节 焊接热裂纹	110
第三节 焊接冷裂纹	120
第四节 其他焊接裂纹	127
思考题与习题	132
第七章 焊接材料	133
第一节 焊条	133
第二节 焊丝	148
第三节 焊剂	151
思考题与习题	160
参考文献	161

绪 论

焊接是一种重要的材料成形方法。现代焊接技术的发展始于 19 世纪 80 年代末,虽然发展历史不长,但近年来发展十分迅速。现代工业和科学技术的大量新成就为焊接方法的发展提供了理论基础和物质条件。焊接方法就是在现代工业和科学技术推动下相辅相成地蓬勃发展起来的。随着人类社会对物质文明的追求、各种新型材料的不断开发及科学技术的不断发展,焊接技术已发展成为一门独立的学科,在石油化工、航空航天、桥梁建筑、船舶、微电子技术,以及各种金属结构制造部门中,焊接已成为不可缺少的工艺方法,并将发挥越来越重要的作用。

一、焊接的本质

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。焊接与其他连接方式不同,不仅在宏观上形成了永久性的接头,而且在微观上建立了组织上的内在联系。

金属等固体内部各部分之所以牢固地连接在一起并保持固定的外形,是因为其内部原子间距(晶格)非常小,约 $0.3 \sim 0.5\text{nm}$,原子之间形成了牢固的结合力。要将一块固体金属变形或分离成数块,需施加足够的外力破坏这些原子间的结合力。因此,从物理本质上看,要把两个分离的金属构件连接成一个整体,就要使这两个金属构件的连接表面上的原子彼此接近到金属晶格距离。

实际上,当我们把两个金属构件放在一起时,两构件的连接表面上的原子很难接近金属晶格距离而形成牢固的结合力。主要由于构件表面的粗糙度,即使是精密磨削加工的金属表面,其粗糙度值仍有几到几十微米,同时,表面存在的氧化膜和其他污物也阻碍两表面原子之间接近晶格距离。因此,焊接的本质就是通过适当的物理化学过程,使两个分离表面的金属原子之间接近到晶格距离并形成结合力。在理论上,可采取以下两种措施:

(1) 加热 对被焊材料加热(局部或整体),使结合处达到塑性或熔化状态,迅速破坏接触面的氧化膜,降低金属变形的阻力,同时也会增加原子的振动能,促进扩散、再结晶、化学反应和结晶过程的进行,从而紧密接触形成原子间的结合力。

(2) 加压 对被连接件施加压力,以破坏接触表面的氧化膜,使连接处发生局部塑性变形,增加有效接触面积,从而紧密接触形成原子间的结合力。

据此,便形成了焊接的基本分类,即熔焊、压焊和钎焊三大类。

将待焊处的母材金属熔化以形成焊缝的焊接方法称为熔焊。

在焊接过程中,必须对焊件施加压力(加热或不加热),以完成焊接的方法称为压焊。

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焊件的方法称为钎焊。

熔焊时,焊件经过焊接形成的结合部分称为焊缝;母材因受热的影响(但未熔化)而发

生金相组织与力学性能变化的区域称为热影响区；焊缝与母材交接的过渡区，称为熔合区。上述三个部分构成焊接接头，如图 0-1 所示。

为了实现熔化焊接，关键是要有一个能量集中、温度足够高的加热热源，以快速实现焊接过程，并能得到致密而强韧的焊缝和最小的热影响区。按照热源形式不同，熔焊的基本方法又分为以下几种：

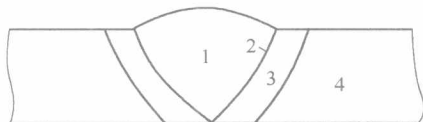


图 0-1 焊接接头示意图

1—焊缝 2—熔合区 3—热影响区 4—母材

(1) 气焊 以氧乙炔或其他可燃气体的燃烧火焰为焊接热源。

(2) 热剂焊 以铝、镁热剂进行化学反应时所产生的热能作为焊接热源。

(3) 电弧焊 利用气体介质在放电过程中所产生的热能作为焊接热源。

(4) 电阻焊 利用焊件本身导电时的电阻热作为焊接热源。

(5) 电渣焊 选用熔渣导电时的电阻热作为焊接热源。

(6) 电子束焊 利用高速运动的电子束流作为焊接热源。

(7) 激光焊 通过受激辐射而使放射增强的光(激光)，经过聚焦产生能量高度集中的激光束作为焊接热源。

(8) 等离子弧焊 利用电弧放电或高频放电产生高度电离的离子流作为焊接热源。

每种焊接方法都有其应用特点，在实际生产中均有不同程度的应用。随着科学技术的进步，原有的焊接方法还在不断完善，如电弧、等离子、电子束和激光焊等；同时，人们还在大力开发新的焊接热源，如微波热、太阳能等，获得新的焊接方法，以满足不同需求。

无论是熔焊或压焊，焊件之间都形成共同的晶粒，如图 0-2a 所示。

钎焊时虽然也能形成不可拆卸的接头，但由于只是钎料熔化，而母材不熔化，故在连接处一般不易形成共同的晶粒，只是在钎料与母材之间形成有相互原子渗透的机械结合，如图 0-2b 所示。但有些材料钎焊时也能形成共同晶粒，如用铝基钎料焊铝和铜基钎料焊铜时。

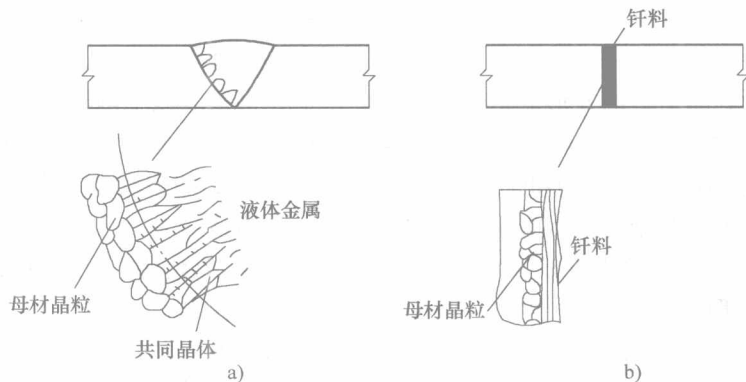


图 0-2 焊接接头示意图

a) 焊接 b) 钎焊

二、教材内容和教学方法

根据高等职业技术教育的特点，本教材主要介绍熔焊过程涉及的基本理论与基本规律，主要包括以下内容：

- 1) 焊接过程的物理本质。
- 2) 焊接区温度变化的规律。
- 3) 焊接化学冶金过程。熔焊过程中焊接区各相之间的物理、化学反应过程, 焊接金属的合金化, 以及焊缝金属中硫、磷等杂质的控制等。
- 4) 焊接接头的组织与性能。焊接熔池的凝固及固态相变, 焊缝中的偏析、夹杂和气孔, 焊接热影响区的组织和性能及控制等。
- 5) 焊接裂纹。焊接热裂纹、冷裂纹、再热裂纹、层状撕裂和应力腐蚀裂纹, 以及各种焊接裂纹的综合分析及判断等。
- 6) 焊接材料。焊丝、焊条与焊剂的组成、性能、型号与牌号, 以及焊条配方和制造的基本知识等。

本课程是以物理学、化学、金属学及热处理等课为基础, 结合焊接的特点来探讨各种金属焊接时的基本规律。本课程所涉及的内容十分广泛。在实际生产中, 有时必须综合运用多方面的知识和工程经验才能解决问题。所以, 对本课程教学方法的建议是:

- 1) 在学习本课程前, 学生应对焊条电弧焊方法及其他焊接方法有一定的感性认识。
- 2) 坚持理论联系实际。由于焊接过程中的可变因素很多, 同一种材料, 用于不同产品或采用不同的焊接方法, 所出现的问题都可能不一样。因此, 在分析问题时不能脱离焊接的特点和具体的生产条件, 要善于在错综复杂的影响因素中抓住主要矛盾。
- 3) 善于综合运用多方面的知识。只有将各方面的知识融汇贯通, 并能不同条件下加以应用, 才能提高分析与解决实际问题的能力。

第一章 焊接热过程

加热是实现熔焊的必要条件，所有的熔焊都是经过热源(如电弧、气体火焰、电子束、激光等)对焊件进行局部加热，使焊接区的金属熔化、冷却后形成牢固的接头。在这个热传递过程中，焊接区金属的成分、组织与性能发生变化，其结果将直接决定焊接质量。

第一节 焊接热源及应用

熔焊时要对焊件进行局部加热，热能的来源有多种形式，主要有电能源、化学能源、光能源、机械能源和固态能源。

一、焊接热源的种类及特征

1. 常用的焊接热源

(1) 电能源 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。如电弧焊(焊条电弧焊、气体保护电弧焊、埋弧焊和等离子弧焊等)、电阻焊和电渣焊。

(2) 化学能源 将各种形式储存的化学能转变为焊接用的热能，如气焊(氧乙炔焊)和热剂焊等。

(3) 光能源 将光能转变为焊接能源，如激光焊(用各种透镜系统聚集的激光束进行焊接)，电子束焊(用静电和磁的方法聚集的电子束进行焊接)。

(4) 机械能源 利用机械能进行焊接，主要有摩擦焊、超声波焊和爆炸焊等。

(5) 固态能源 在低于熔点和熔化温度区间，在时间、温度和压力的作用下，通过原子间相互扩散使母材金属实现聚和。

2. 焊接热源的主要特征

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) 热源热量比较集中。
- (2) 功率密度大。
- (3) 相对加热面积较小。

常用熔焊方法及热源的主要特征见表 1-1。

表 1-1 常用熔焊方法及热源的主要特征

热 源	最小加热面积/cm ²	最大功率密度/W · cm ⁻²	达到温度
气焊	10 ⁻²	2 × 10 ³	3400℃
金属极电弧焊	10 ⁻³	10 ⁴	6000K
钨极氩弧焊(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℃

(续)

热 源	最小加热面积/cm ²	最大功率密度/W · cm ⁻²	达到温度
熔化极氩弧焊(MIG) CO ₂ 气体保护电弧焊	10 ⁻⁴	10 ⁴ ~ 10 ⁵	18000 ~ 24000℃
等离子弧焊	10 ⁻⁵	1.5 × 10 ⁵	
电子束焊	10 ⁻⁷	10 ⁷ ~ 10 ⁹	
激光束焊	10 ⁻⁸	10 ⁷ ~ 10 ⁹	

由表 1-1 可以看出,不同焊接方法热源的主要特性数据差别是相当大的。理想的热源应该是具有热源热量集中、功率密度大、加热温度高等特点。等离子弧焊、电子束焊、激光束焊等即属于此类焊接热源。

二、焊接热效率

焊接热效率就是焊接过程中热源热量的利用率。焊接时,热源所产生的热量并不能全部得到利用,其中有一部分损失于周围介质和区域中。通常把母材和填充金属所吸收的热量(包括熔化及向内部传导的热量)叫做热源的有效热功率。

现以电弧焊为例,电弧对焊件热输入的有效热功率为 q_m , 则

$$q_m = \eta q = \eta UI \tag{1-1}$$

式中 q_m ——电弧对焊件热输入的有效热功率(W);
 η ——电弧加热焊件的热效率,或称功率有效系数(%);
 U ——电弧电压(V);
 I ——焊接电流(A);
 q ——电弧功率(W)。

$$\eta = \frac{q_m}{q} = \frac{q - q_s}{q} \tag{1-2}$$

式中 q_s ——电弧的热功率损失(W);

其中 q_s 包括用于加热电极、焊条药皮、焊剂和焊钳或导电嘴等的热损失,向周围以辐射、对流和传导方式散失的热功率,还有飞溅造成的热损失。

η 值的大小与焊接方法、焊接工艺参数、焊接材料和母材等因素有关,一般根据试验测定,不同焊接方法的 η 值见表 1-2。以焊条电弧焊和埋弧焊为例,从表 1-2 和表 1-3 可以看出,埋弧焊的热效率高于焊条电弧焊。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,因而热量利用更加充分。

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

表 1-3 焊条电弧焊和埋弧焊的热量分配情况和 η 值

焊接方法	有效热功率			飞溅损失	损失于周围介质的热量 ^①
	基本金属吸收热量	随熔滴过渡热量	η		
焊条电弧焊	50%	25%	75%	5%	20%
埋 弧 焊	54%	27%	81%	1%	18%

① 包括焊条药皮或焊剂熔化所消耗的热量。

电弧焊的 η 、 q_m 值是在实测的基础上计算求得，其数值的大小决定着熔池的几何尺寸和温度。

第二节 焊接温度场

在焊接过程中，热的传递是以对流、传导和辐射三种形式进行的。热量由热源传给焊件主要是以对流和辐射两种形式，而当母材和焊条获得热能后，其内部的热量传递则以传导为主。

焊接温度场研究的对象是焊件上一定范围内各点的温度分布情况。

一、焊接温度场的概念

焊接时，焊件上各点的温度不同，并随时间而变化。焊接过程中某一瞬间焊接接头上各点的温度分布状态称为焊接温度场。在理解温度场的定义时，应注意：温度场考察的对象是空间一定范围内的温度分布状态，因为焊件上各点的温度是随时间而变化的，因此，温度场是某一瞬时的温度场。

焊接温度场可用列表法、公式法或图像法表示，其中最常见、最直观的方法是图像法，即用等温线或等温面绘制的图像来表示。所谓等温线或等温面，就是温度场中温度相等的各点的连线或面。图 1-1 是一块焊接钢板某一瞬时温度场的示意图。从焊接钢板的俯视图来看，由于热源以一定速度移动，钢板某一瞬时各部分受热的温度分布是一系列近似椭圆形的等温线，即每条线上的温度是相等的（好似地形图中的等高线）。在热源的中心部分是熔化金属形成的熔池，它的边缘线相当于钢的熔点，离熔池越远，温度越低。因为在给定温度场中，任何一点不可能同时有两个温度，因此，不同温度的等温线（面）绝对不会相交，这是等温线（面）的重要性质。

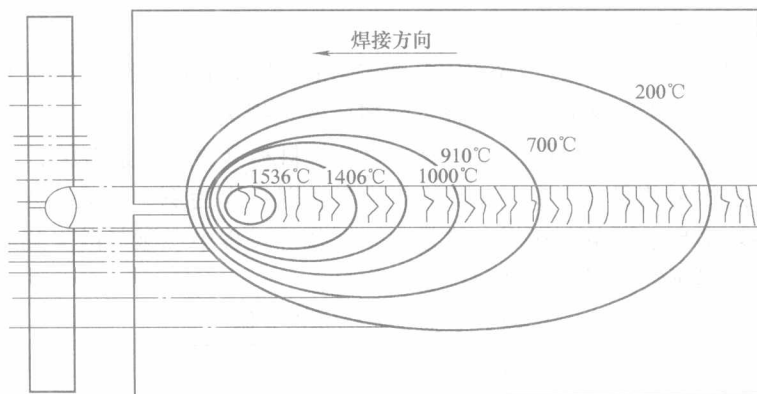


图 1-1 焊接瞬时温度场

为了进一步说明等温线（面）的意义及应用，现以最简单的固定热源加热厚大工件时的情况进行分析，这就排除了热源运动和工件边界散热的影响。如图 1-2 所示，由于金属内部各个方向的散热条件相同，因此某一瞬时工件上某点的温度只与该点至热源的距离有关。显然，等温面就是以热源中心为圆心的若干个同心半球面，球面的半径随温度的降低而加大。

而温度为金属熔点 T_M 的等温面所包围的容积部分就是熔池(图中阴影线部分)。从平面观察,在与 Oxy 面平行的各个截面上的等温线是不同半径的同心圆;而平行于 Oxz 和 Oyz 的各个截面上的等温线,则是不同半径的同心半圆。

焊接时,热源将沿一定的方向移动。热源的运动使焊件上沿运动方向的温度分布不再对称。这时,热源前面是未经加热的冷金属,温度很快降低;热源后面是刚焊完的焊缝,温度下降很少。因此,在热源前面的等温线密集,后面的等温线稀疏。热源运动对焊缝两侧的影响相同,因而温度场对 x 轴的分布仍保持对称,但比之固定热源加热的范围要窄些。这样运动热源加热时的等温线在 Oxy 面上是不规则的椭圆,而在 Oyz 平面上仍是不同半径的同心半圆(见图 1-3)。利用等温线(面)描绘的温度场图像,可以了解焊件任一截面上温度分布的情况。图 1-3 中上部的曲线就是将等温线与 $x(y)$ 轴的交点的温度投到温度坐标上而绘出的。对照等温线与曲线的图形可以看出,等温线越密集,温度曲线就越陡。

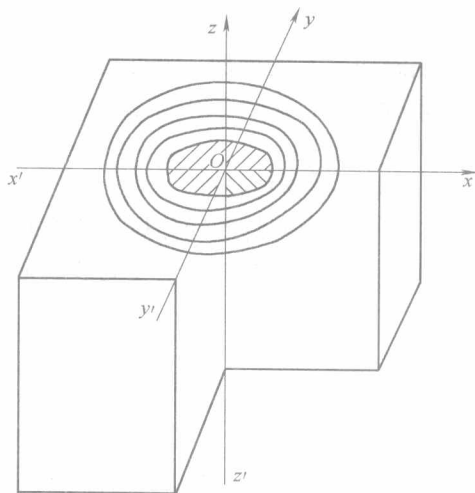


图 1-2 固定热源加热厚大工件时的等温面分布

二、焊接温度场的类型

1. 按温度变化的情况划分的温度场

按温度变化的情况,可将温度场划分为稳定、不(非)稳定和准稳定温度场。

一般把各点温度不随时间变化的温度场称为稳定温度场,而随时间变化的温度场称为不稳定温度场。实际生产中,绝大多数焊接温度场都是随时间而变化的,属于不稳定温度场。

对于不稳定温度场,在实际研究中困难很多,但在正常焊接条件下,当功率恒定的热源在一定尺寸的工件上进行匀速直线运动时,经过一段时间后焊接过程稳定,就形成了一个与热源作同步运动的不变温度场,叫做准稳定温度场。如果采用移动的坐标系,令坐标原点与热源中心重合,各点的温度不再随时间变化。这样,移动坐标系就可把不稳定的温度场转化为稳定的温度场,从而可用瞬时的温度场描述整个焊接区温度变化的规律。在分析焊接区温度分布时,都是采用这种与热源作同步运动的坐标系。

2. 按焊接传热类型划分的温度场

根据焊件的传热方向的不同,可以分为三维、二维和一维(见图 1-5),属于哪种类型的温度场,主要取决于工件的尺寸和热源的性质。

三、影响焊接温度场的因素

1. 热源的特性

采用不同的焊接方法时,如气焊、电弧焊和高能束焊等,由于热源的性质不同,温度场的分布也不同。热源的能量越集中的电子束焊或激光焊,则加热面积越小,温度场中等温线(面)的分布越密集。

2. 焊接参数

同样的焊接热源, 焊接参数不同, 温度场的分布也不同。在焊接参数中, 热源功率和焊接速度的影响最大。当热源功率 P 一定时, 焊接速度 v 增加, 等温线的范围变小, 即温度场的宽度和长度都变小, 但宽度减少得更大多些, 所以温度场的形状变得细长。当焊接速度一定时, 随热源功率 P 的增加, 温度场的范围随之增大。当 P/v 一定时, 等比例改变 P 和 v , 则等温线有所拉长, 温度场的范围也随之拉长。焊接参数对温度场分布的影响如图 1-4 所示。

3. 母材的热物理性能

热物理性能说明物质的传热与散热能力。其他条件相同时, 不同金属材料的焊接温度场不同。其中影响较大的热物理性能参数见表 1-4。

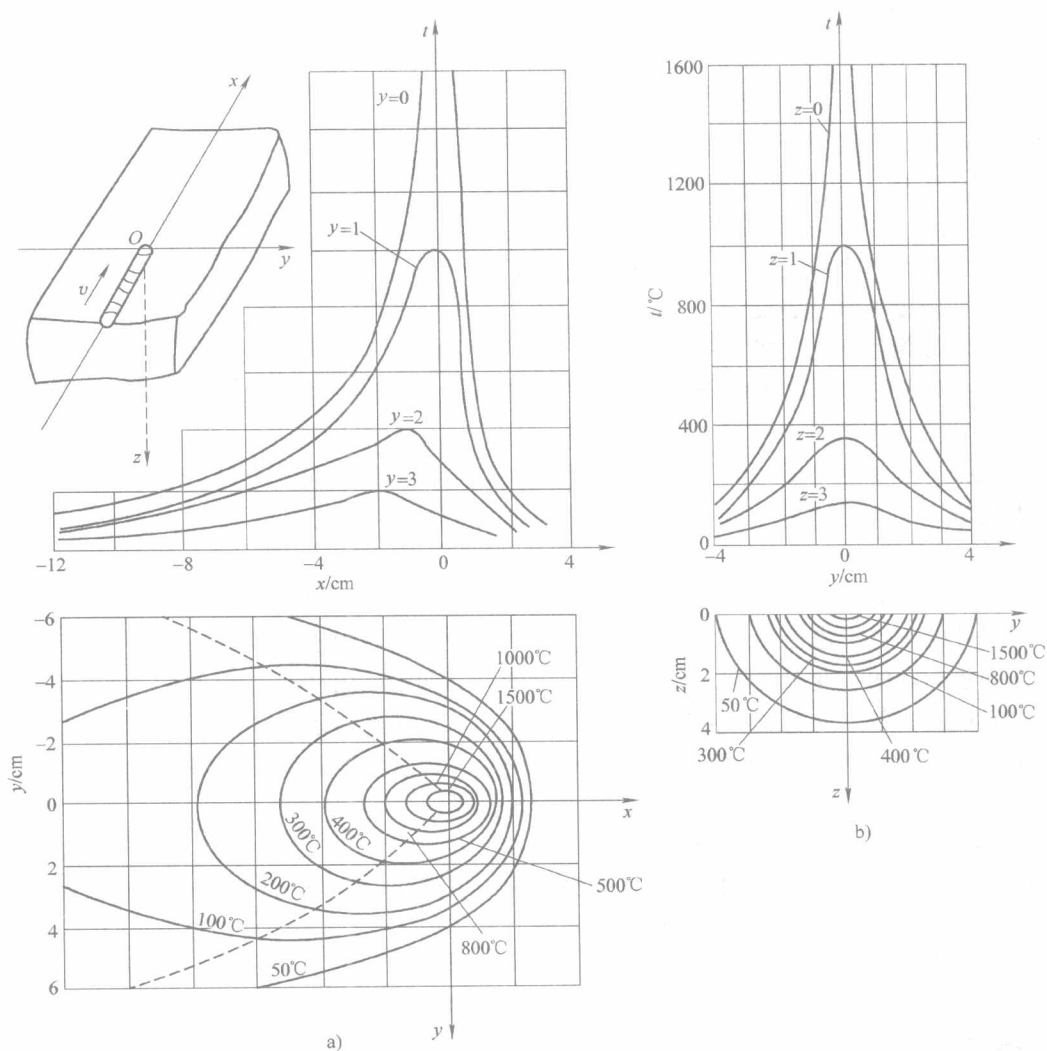


图 1-3 半无限大物体表面上运动热源的温度场
a) Oxy 面上的等温线 b) Oyz 面上的等温线

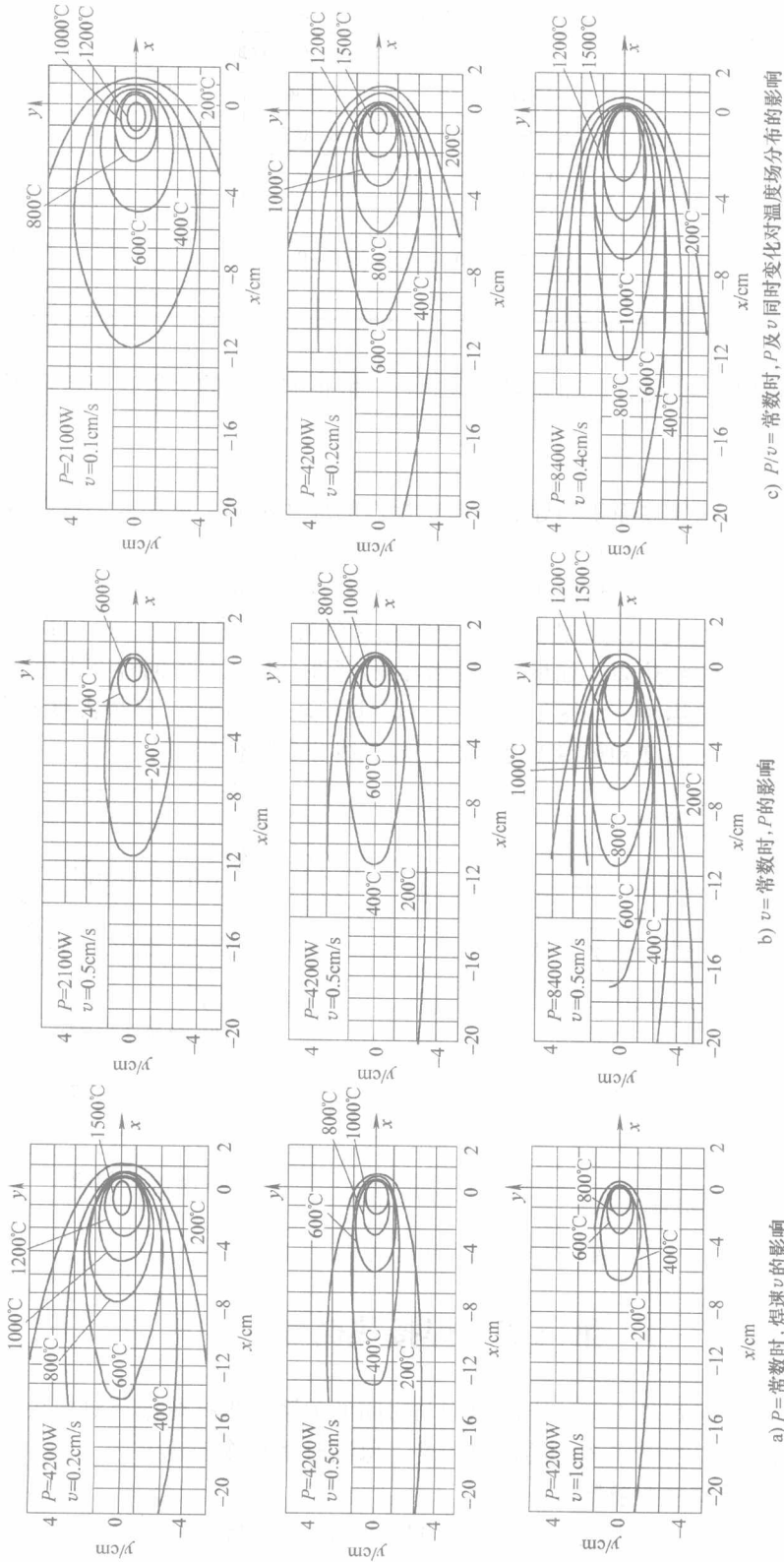


图 1-4 焊接参数对温度场分布的影响

注: 低碳钢, $\lambda = 0.42 \text{ W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$, $c_v = 4.83 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{K})$, $\alpha = 0.08 \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K})$, $\delta = 1 \text{ cm}$

表 1-4 不同材料的热物理常数

名称	符号	单位	焊接条件下选取的平均值			
			低碳钢	不锈钢	铝	铜
热导率	λ	$\text{W}/(\text{cm} \cdot \text{K})$	0.378 ~ 0.504	0.168 ~ 0.336	2.65	3.78
比热容	c	$\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$	0.65 ~ 0.76	0.42 ~ 0.50	1.0	0.45
体积热容	c_v	$\text{J}/(\text{cm}^3 \cdot \text{K})$	4.83 ~ 5.46	3.36 ~ 4.2	2.63	3.99
热扩散率	a	cm^2/s	0.07 ~ 0.10	0.05 ~ 0.07	1.00	0.95
表面传热系数	α	$\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K})$	$(0.63 \sim 37.8) \times 10^{-3}$	—	—	—

热物理常数随温度而变化, 因而受温度限制, 一般根据研究的对象在一定范围内取平均值。

4. 工件的形态

焊件的几何尺寸影响导热面积和导热方向。焊件的尺寸不同, 可形成点状热源、线状热源和面状热源三种, 如图 1-5 所示。当工件尺寸厚大时, 如图 1-5a 所示, 热量可沿 x 、 y 、 z 三个方向传递, 属于三向导热, 热源相对于工件尺寸可看作点状热源。当工件为尺寸较大的薄板时, 如图 1-5b 所示, 可认为工件在厚度方向不存在温差, 热量沿 x 、 y 方向传递, 是两向导热, 可将热源看作线状热源。如果工件是细长的杆件, 只在 x 方向存在温差, 是属于单向导热, 热源可看作面状热源, 如图 1-5c 所示。焊件的状态(如预热、环境温度)不同, 等温线的疏密也不一样。预热温度和环境温度越高, 等温线分布越稀疏。

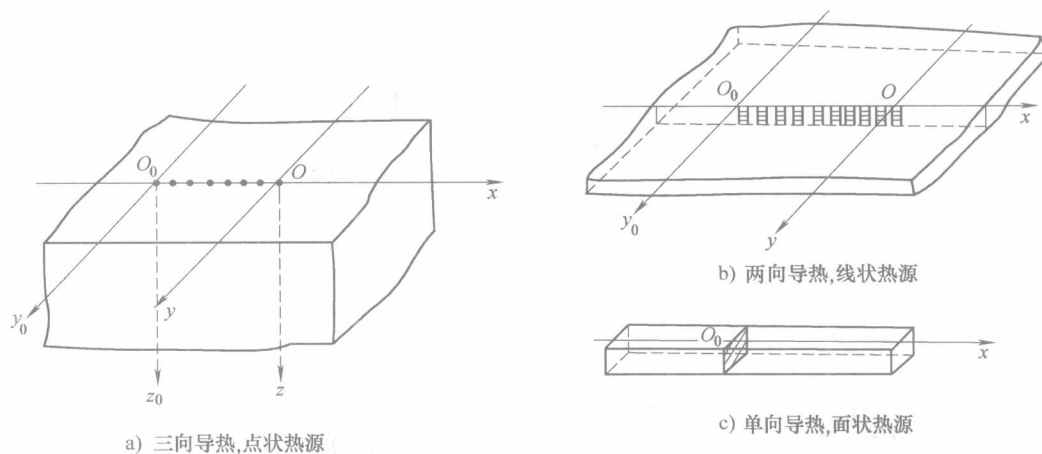


图 1-5 三种典型传热方式示意图

第三节 焊接热循环

焊接热循环讨论的是焊件上某一点的温度与时间的关系。焊接热循环对接头的组织与性能都有明显的影响, 而且决定了该点的加热速度、保温时间和冷却速度。

一、焊接热循环及其主要参数

焊接温度场表明某一瞬间温度在空间分布的情况, 但不能说明焊件上各点的温度随时

间的变化情况。而反映在焊接热源作用下,焊件上某一点的温度随时间变化的情况,就叫做焊接热循环。焊接热循环一般用 T (温度)- t (时间)曲线表示,典型的焊接热循环曲线如图 1-6 所示。

焊接热循环的主要参数有:

(1) 加热速度 v_H 在集中的高温热源作用下,焊接时的加热速度比其他热加工时要高得多。在相变温度附近提高加热速度,对相变温度数值及相变过程进行的程度都有显著的影响。影响加热速度的因素有焊接方法、焊接参数、被焊金属的成分及几何尺寸等。

(2) 加热的最高温度 $T_{\max}$ 金属组织的变化除化学成分之外,主要与加热温度和冷却速度有关。焊接时焊件上不同的点加热的最高温度不同、冷却速度不同,就会有不同的组织和不同的性能。例如,在熔合线附近,由于温度高,母材晶粒发生严重长大,促使塑性降低。一般对于低碳钢和低合金钢来讲,此处的温度可达 $1300 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ 。

此外,研究加热的最高温度可以间接判断焊件上产生内应力的情况和塑性变形区的范围。

(3) 在相变温度以上的停留时间 t_H 在相变温度以上停留的时间越长,就会越有利于奥氏体的均质化过程。然而当温度很高时(如 1160°C 以上),即使停留时间不长,对于某些金属来说,也将会产生严重的晶粒长大(如电渣焊焊低碳钢和某些低合金钢时)。为了便于分析研究,把高温停留时间 t_H 又分为加热过程的停留时间 t' 和冷却过程的停留时间 t'' ,所以 $t_H = t' + t''$ 。

(4) 冷却速度 v_C (或冷却时间) 冷却速度是决定热影响区组织性能最重要的参数之一,是研究热过程的主要内容。应当指出,这里所讨论的是在一定温度范围内的平均冷却速度(或冷却时间),或者是某一瞬时温度的冷却速度。对于低碳钢和低合金钢来讲,由 800°C 冷却到 500°C 所需要的时间($t_{800-500}$),决定了冷却后获得的组织,它直接影响焊接接头的力学性能。

焊接热循环的研究对于了解应力变形、接头组织、提高焊接质量都是十分重要的。

二、多层焊焊接热循环

在实际生产中,多层多道焊应用很普遍。多层焊的热循环实际是由多个单层焊热循环叠加而成,相邻焊缝之间具有预热或后热的热处理作用。

按照实际生产中的不同要求,多层焊又可分为“长段多层焊”与“短段多层焊”。

1. 长段多层焊的焊接热循环

生产中将每道焊缝的长度在 1m 以上的多层焊称为长段多层焊。由于焊道较长,在焊完前一道后再焊下一层时,前层焊道已冷却到较低温度(一般在 200°C 以下),其热循环如图 1-7 所示。可以看出,前层焊道对后层可起到预热作用,而后层焊道对前层则起到了后热作用。为了防止最后一层焊缝金属因冷却速度过大而淬硬,可以多加一层“退火焊道”以提

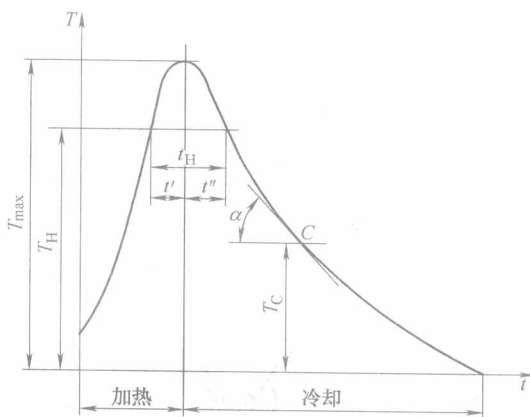


图 1-6 焊接热循环曲线

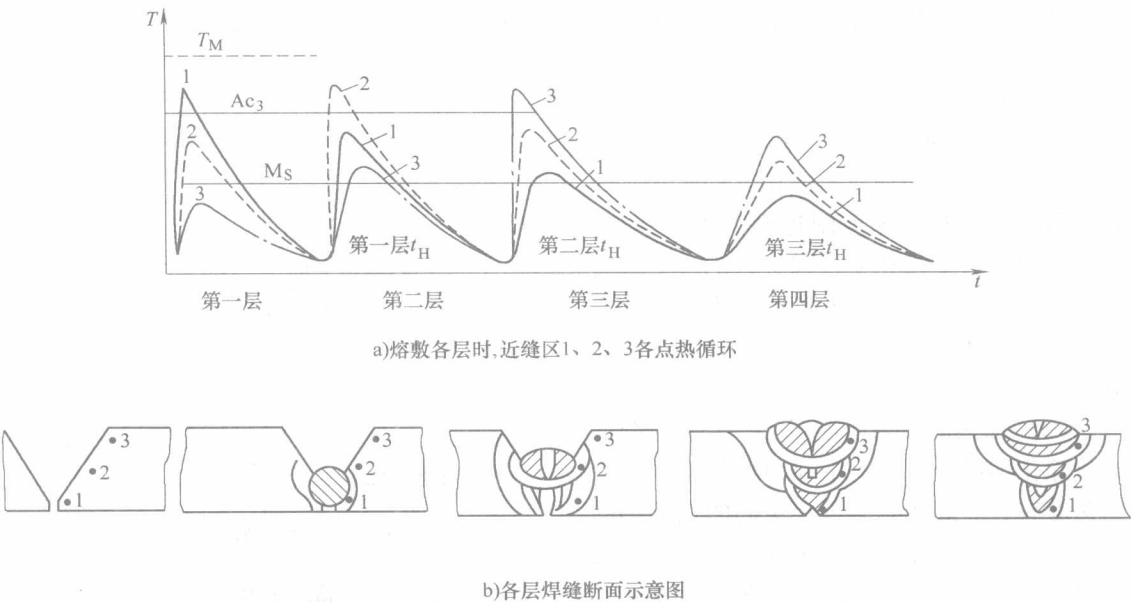


图 1-7 长段多层焊焊接热循环

高焊接质量。

在焊接淬硬倾向较大的材料(如某些调质钢)时,如采用长段多层焊,则有可能在焊下一层焊道前,前层焊道已因形成硬脆组织而开裂。此时,应采取必要的辅助措施(如预热、层间保温)加以配合。

2. 短段多层焊的焊接热循环

一般每层焊道长度在 50 ~ 400mm 时,称为短段多层焊。这样,在焊下层焊道时,前层焊道的温度可保持在 M_s 点以上。短段多层焊的热循环如图 1-8 所示。

