

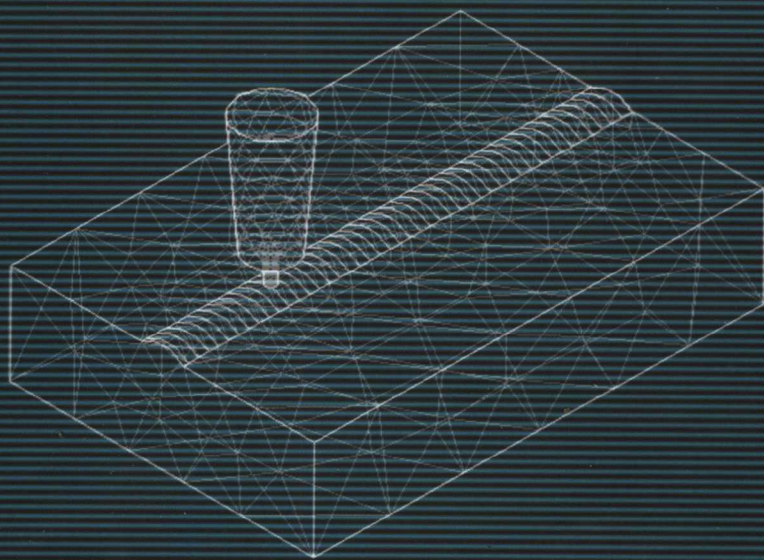
材料科学与工程



国防科工委『十五』
教材规划

材料连接原理与工艺

● 邹家生 主编



哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社



国防科工委“十五”规划教材·材料科学与工程

材料连接原理与工艺

邹家生 主编

哈尔滨工业大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社
西北工业大学出版社 哈尔滨工程大学出版社

内容简介

《材料连接原理与工艺》的主要内容覆盖了现代材料连接加工中各种典型的连接方法,着重讨论了熔化焊、压力焊、钎焊、扩散焊及胶接、机械连接的原理,在此基础上分析了连接工艺与材料的合理选择、连接接头质量控制与影响因素,为探索提高金属材料以及陶瓷、复合材料连接质量的新途径提供理论依据。

本书以连接方法为主线,以连接方法的基本原理、连接工艺和连接质量控制为重点,并以培养学生的科研能力为出发点,突出基本概念,注重分析和解决问题的思路,增大信息量。因此,本书作为教材既可用于多学时教学,也可用于学时较少时有选择地加以讲授,同时也可作为材料类专业本科生和研究生的教学参考书;对焊接领域的工程技术人员亦有很大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

材料连接原理与工艺/邹家生主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2005.2

ISBN 7-5603-2012-0

I. 材… II. 邹… III. 工程材料-连接技术-高等学校-教材 IV. TB30

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 134489 号

材料连接原理与工艺

主 编 邹家生

责任编辑 杨 桦

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 肇东粮食印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 25.25 字数 533 千字

版 次 2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2012-0/TB·43

印 数 1~3 000

定 价 35.00 元

国防科工委“十五”规划教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任:张华祝

副主任:王泽山 陈懋章 屠森林

编 委:王 祁	王文生	王泽山	田 蔚	史仪凯
乔少杰	仲顺安	张华祝	张近乐	张耀春
杨志宏	肖锦清	苏秀华	辛玖林	陈光禡
陈国平	陈懋章	庞思勤	武博祎	金鸿章
贺安之	夏人伟	徐德民	聂 宏	贾宝山
郭黎利	屠森林	崔锐捷	黄文良	葛小春



总 序

国防科技工业是国家战略性产业,是国防现代化的重要工业和技术基础,也是国民经济发展和科学技术现代化的重要推动力量。半个多世纪以来,在党中央、国务院的正确领导和亲切关怀下,国防科技工业广大干部职工在知识的传承、科技的攀登与时代的洗礼中,取得了举世瞩目的辉煌成就。研制、生产了大量武器装备,满足了我军由单一陆军,发展成为包括空军、海军、第二炮兵和其它技术兵种在内的合成军队的需要,特别是在尖端技术方面,成功地掌握了原子弹、氢弹、洲际导弹、人造卫星和核潜艇技术,使我军拥有了一批克敌制胜的高技术武器装备,使我国成为世界上少数几个独立掌握核技术和外层空间技术的国家之一。国防科技工业沿着独立自主、自力更生的发展道路,建立了专业门类基本齐全,科研、试验、生产手段基本配套的国防科技工业体系,奠定了进行国防现代化建设最重要的物质基础;掌握了大量新技术、新工艺,研制了许多新设备、新材料,以“两弹一星”、“神舟”号载人航天为代表的国防尖端技术,大大提高了国家的科技水平和竞争力,使中国在世界高科技领域占有了一席之地。十一届三中全会以来,伴随着改革开放的伟大实践,国防科技工业适时地实行战略转移,大量军工技术转向民用,为发展国民经济作出了重要贡献。

国防科技工业是知识密集型产业,国防科技工业发展中的一切问题归根到底都是人才问题。50多年来,国防科技工业培养和造就了一支以“两弹一星”元勋为代表的优秀的科技人才队伍,他们具有强烈的爱国主义思想和艰苦奋斗、无私奉献的精神,勇挑重担,敢于攻关,为攀登国防科技高峰进行了创造性劳动,成为推动我国科技进步的重要力量。面向新世纪的机遇与挑战,高等院校在培养国防科技人才,生产和传播国防科技新知识、新思想,攻克国防基础科研和高技术研究难题当中,具有不可替



代的作用。国防科工委高度重视,积极探索,锐意改革,大力推进国防科技教育特别是高等教育事业的发展。

高等院校国防特色专业教材及专著是国防科技人才培养当中重要的知识载体和教学工具,但受种种客观因素的影响,现有的教材与专著整体上已落后于当今国防科技的发展水平,不适应国防现代化的形势要求,对国防科技高层次人才的培养造成了相当不利的影响。为尽快改变这种状况,建立起质量上乘、品种齐全、特点突出、适应当代国防科技发展的国防特色专业教材体系,国防科工委全额资助编写、出版 200 种国防特色专业重点教材和专著。为保证教材及专著的质量,在广泛动员全国相关专业领域的专家学者竞投编著工作的基础上,以陈懋章、王泽山、陈一坚院士为代表的 100 多位专家、学者,对经各单位精选的近 550 种教材和专著进行了严格的评审,评选出近 200 种教材和学术专著,覆盖航空宇航科学与技术、控制科学与工程、仪器科学与工程、信息与通信技术、电子科学与技术、力学、材料科学与工程、机械工程、电气工程、兵器科学与技术、船舶与海洋工程、动力机械及工程热物理、光学工程、化学工程与技术、核科学与技术等学科领域。一批长期从事国防特色学科教学和科研工作的两院院士、资深专家和一线教师成为编著者,他们分别来自清华大学、北京航空航天大学、北京理工大学、华北工学院、沈阳航空工业学院、哈尔滨工业大学、哈尔滨工程大学、上海交通大学、南京航空航天大学、南京理工大学、苏州大学、华东船舶工业学院、东华理工学院、电子科技大学、西南交通大学、西北工业大学、西安交通大学等,具有较为广泛的代表性。在全面振兴国防科技工业的伟大事业中,国防特色专业重点教材和专著的出版,将为国防科技创新人才的培养起到积极的促进作用。

党的十六大提出,进入二十一世纪,我国进入了全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。全面建设小康社会的宏伟目标,对国防科技工业发展提出了新的更高的要求。推动经济与社会发展,提升国防实力,需要造就宏大的人才队伍,而教育是奠基的柱石。全面振



兴国防科技工业必须始终把发展作为第一要务,落实科教兴国和人才强国战略,推动国防科技工业走新型工业化道路,加快国防科技工业科技创新步伐。国防科技工业为有志青年展示才华,实现志向,提供了缤纷的舞台,希望广大青年学子刻苦学习科学文化知识,树立正确的世界观、人生观、价值观,努力担当起振兴国防科技工业、振兴中华的历史重任,创造出无愧于祖国和人民的业绩。祖国的未来无限美好,国防科技工业的明天将再创辉煌。

张华祝



前 言

焊接俗称工业的“裁缝”。在众多工业领域尤其是制造业中,焊接是极其重要的关键技术之一,广泛地应用于石油化工、工程机械、电力、航空航天和海洋工程等的结构件制造以及微电子、传感器等工业领域。随着科学技术,特别是新材料的不断发展,主要针对金属材料加工的焊接技术也已发展成为面向所有材料(特别是各种新材料)进行连接加工的科学和技术;材料的连接技术应用日益广泛,发展迅猛,其学科体系日趋完善。为使材料科学与工程领域的学生系统了解材料连接加工中各种典型连接方法的原理、工艺及应用,编者在原焊接设备与工艺专业的焊接冶金学、电弧焊、压力焊、高能密度焊、钎焊和胶接等知识的基础上,进行了适当的调整和补充,编写了适合于材料加工类本科生使用的《材料连接原理与工艺》。本书内容取材广泛,并有一定的深度,减少了传统连接工艺中过时的内容,加强了材料连接领域的新方法、新工艺、新材料的介绍。

熔化焊连接是材料连接技术中应用最广泛的一种方法,故作为本书介绍的重点。原理部分主要讲述熔化焊热源的种类、焊接热循环和焊接温度场、焊接接头形成的主要过程;焊接时各种材料之间的相互作用、焊接化学冶金对焊缝金属成分和性能的影响。联生结晶和各种不同形态的柱状晶是焊缝凝固组织的显著特点;焊缝的固态相变组织主要取决于化学成分和焊接工艺条件,而焊接热影响区的组织则主要由焊接热循环所决定,焊接热影响区的组织控制和焊缝相比要困难得多;控制焊缝金属性能的重点是焊缝韧性的控制,一般可以通过选择合适的焊接材料再配合适当的焊接工艺来保证焊缝性能,而焊接热影响区的性能控制则困难得多;焊接裂纹是各种焊接缺陷中危害最大的,故对常见焊接裂纹的特征、形成机理、影响因素及防治方法亦作了详细讨论。熔化焊方法及工艺讲述了常用焊接方法的特点、工艺及典型应用。对一些目前正在发展的新方法如高能密度焊等亦作了一定介绍。

压力焊部分着重介绍了电阻焊连接原理;常用电阻焊连接方法的特

点和应用;电阻焊工艺参数如焊接电流、焊接时间、电极压力等的控制;电阻焊连接质量的控制和影响因素。另外,对摩擦焊、爆炸焊、超声波焊的连接原理和工艺亦进行了详细的分析,介绍了在这个领域出现的新方法(如搅拌摩擦焊)和新的应用(如爆炸复合板)。

钎焊连接在现代国防工业尤其是航空航天工业中的应用极为广泛,它能解决许多其他连接方法无法实现的连接难题。如异种金属、金属和非金属、非金属和非金属、复合材料等之间的连接。对钎焊时液态钎料对固态母材的润湿;液态钎料与固态母材的相互作用;液态钎料的凝固和钎缝组织及金属表面氧化膜去除机制等进行了详尽的讨论。同时介绍了各种常用的钎料、钎剂及其最新发展。对常用钎焊方法(如炉中钎焊、感应钎焊等)的特点、设备、工艺及应用、钎焊接头常见缺陷和质量控制亦进行了阐述。

扩散连接是一种精密连接方法,特别适合于异种金属材料、耐热合金和新材料如陶瓷、复合材料、金属间化合物材料的连接。随着新材料的迅速发展,近年来扩散连接更加引起了人们的兴趣和关注,并在航空航天、电子和原子能等高技术领域得到了广泛应用。以前常把扩散焊归于压力焊范畴,但目前出现的许多扩散连接新技术介于钎焊和压力焊之间,故本书把它单独列为一章进行讨论。扩散连接时控制和保证接头质量的主要因素是连接界面区原子扩散的情况,这正是扩散连接与其他连接方法的不同之处,并因此而得名。编者综合了许多近年来在扩散连接原理、连接方法及工艺参数,连接界面的组织和性能控制方面的研究成果,介绍了扩散连接在新材料领域的应用进展。

本书最后一章简单介绍了机械连接、胶接和电场辅助阳极连接的原理、工艺及典型应用。

本书由江苏科技大学材料科学与工程学院邹家生主编并定稿。其中绪论、第一章、第四章、第五章、第六章由邹家生编写,第二章由严铿编写,第三章由李敬勇编写。本书由北京航空航天大学李树杰、北京理工大学吕广庶审稿。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

编者
2003年7月

目 录

绪论	1
参考文献	4
第一章 熔化焊连接原理	5
1.1 熔化焊热过程及接头形成	5
1.2 熔化焊接化学冶金	21
1.3 熔化焊接头的组织与性能	60
1.4 焊接冶金缺欠	91
习题	120
参考文献	122
第二章 熔化焊连接方法及工艺	124
2.1 焊条电弧焊方法及工艺	124
2.2 埋弧焊方法及工艺	137
2.3 气体保护焊方法及工艺	149
2.4 电渣焊方法及工艺	181
2.5 等离子弧焊方法及工艺	185
2.6 电子束焊方法及工艺	196
2.7 激光焊方法及工艺	203
习题	210
参考文献	211
第三章 压焊连接原理及工艺	212
3.1 概述	212
3.2 电阻焊连接原理及工艺	213
3.3 摩擦焊连接原理及工艺	242
3.4 超声波焊连接原理及工艺	251
3.5 爆炸焊连接原理及工艺	263
习题	271
参考文献	272
第四章 钎焊连接原理与工艺	273
4.1 钎焊连接原理	273



4.2 钎料、钎剂及其选用	292
4.3 钎焊方法	314
4.4 钎焊工艺	327
4.5 钎焊接头的缺陷及质量控制	335
习题	341
参考文献	342
第五章 扩散连接原理与工艺	343
5.1 概述	343
5.2 扩散连接的基本理论及原理	345
5.3 扩散连接方法及工艺	353
5.4 瞬间液相扩散连接	362
5.5 超塑性成形扩散连接	367
习题	369
参考文献	370
第六章 其他连接技术	371
6.1 机械连接技术	371
6.2 胶接原理与工艺	375
6.3 电场辅助阳极连接概述	390
习题	391
参考文献	392

绪 论

在知识经济时代,材料加工和制造技术依然是信息技术、材料科学、生命科学和能源技术四大关键技术的基础,但加工的对象、所用的方法、加工的精度和质量都有很大的不同。材料的连接和焊接是一种重要的材料加工和制造技术,它广泛地应用于石油化工、工程机械、电力、航空航天和海洋工程等的结构件制造以及微电子、传感器等工业领域。随着科学技术,特别是新材料的不断发展,主要针对金属材料加工的焊接技术也已发展成为面向所有材料(特别是各种新材料)进行连接加工的科学与技术,即意味着“连接”比“焊接”的内容更加广泛,在国际上,也开始用“Joining and Welding”代替单一的“Welding”,或直接使用连接(Joining)。连接技术的学科体系在日趋完善的同时,连接技术也得到了迅猛发展,特别是新型材料的连接正面临着严峻的挑战。计算机的发展极大地改变了材料加工和制造技术的面貌,使材料加工和制造技术向着智能化、网络化和数字化方向发展。

1. 材料连接的定义及分类

材料通过机械、物理、化学和冶金方式,由简单型材或零件连接成复杂零件和机器部件的工艺过程称为连接技术。

机械连接技术是指用螺钉、螺栓和铆钉等紧固件将两分离型材或零件连接成一个复杂零件或部件的过程。相互间的连接是靠机械力来实现的,随机械力的消除接头可以松动或拆除。主要用于机架与机器的装配,易损件的连接。

物理和化学连接成型是通过毛细作用、分子间力作用或者相互扩散及化学反应作用,将两个分离表面连接成不可拆接头的过程。它主要有胶接和封接两种工艺,主要用于异种材料和非金属材料之间,以及复杂零件之间的组装连接。

冶金连接成型是通过加热或加压(或两者并用)使两个分离表面的原子达到晶格距离,并形成金属键而获得不可拆接头的工艺过程。主要用于金属材料及金属结构的连接,通常称为焊接。

2. 冶金连接的物理本质

冶金连接即焊接是材料连接技术中应用最为广泛的技术,它与其他连接技术不同,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。

众所周知,固体材质是由各类键结合在一起的。就金属而言,是依靠金属键结合在一起的。由图 0.1 可以看到,两个原子间的结合力的大小是引力与斥力共同作用的结果。

当原子间的距离为 r_A 时,结合力最大。对于大多数金属, $r_A \approx 0.3 \sim 0.5 \text{ nm}$,当原子间的距离大于或小于 r_A 时,结合力显著降低。



因此,为了实现材料原子之间的连接,从理论来讲,就是当两个被连接的固体材料表面接近到相距 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,从而形成键合,达到冶金连接的目的。然而,这只是理论上的条件,事实上即使是经过精细加工的表面,在微观上也是凹凸不平的,更何况在材料表面上还常常带有氧化膜、油污和水分等吸附层。这样,就会阻碍材料表面的紧密接触。

为了克服阻碍材料表面紧密接触的各种因素,在连接工艺上主要采取以下两种措施。

1) 对被连接的材质施加压力,目的是破坏接触表面的氧化膜,使结合处增加有效的接触面积,从而达到紧密接触。

2) 对被连接材料加热(局部或整体)。对金属来讲,使结合处达到塑性或熔化状态,此时接触面的氧化膜迅速破坏,降低金属变形的阻力。加热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。

每种金属实现焊接所必须的温度与压力之间存在一定的关系。对于纯铁来讲,金属加热的温度越低,实现焊接所需的压力就越大,如图 0.2 所示。当金属的加热温度 $T < T_1$ 时,压力必须在 AB 线的右上方(I区)才能实现焊接;当金属的加热温度 T 在 $T_1 \sim T_2$ 之间时,压力应在 BC 线以上(II区);当 $T > T_2 = T_M$ (T_M 是金属的熔化温度)时,则实现焊接所需的压力为零,此即熔焊的情况(III区)。

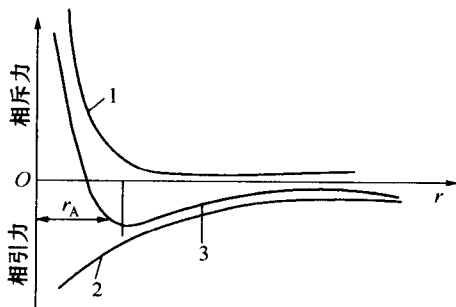


图 0.1 原子间作用力与距离的关系

1—斥力;2—引力;3—合力

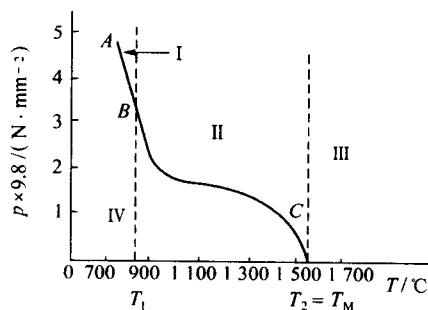


图 0.2 纯铁焊接时所需的温度及压力

I—高压焊接区; II—电阻焊区;
III—熔焊区

3. 焊接技术的分类

由于冶金连接时热和压力可有多种来源,因而也就出现了多种连接方法,如图 0.3 所示。与图 0.2 相比,图 0.3 中还示出了常用连接方法所需要的时间范围。

关于焊接方法的分类,传统意义上通常分为熔化焊、压力焊和钎焊三类。但随着焊接技术的飞速发展,新的焊接技术不断涌现,原先的分类变得越来越模糊,从冶金角度看,可将连接方法分为液相连接、固相连接和液-固相连接。



熔化焊属于最典型的液相连接。将材料加热至熔化,利用液相的相容而实现原子间结合,即为液相连接。液相物质是由被连接母材和填充的同质或异质材料(也可不加入)共同构成的,填充材料就是焊条或焊丝。熔化焊时形成接头主要靠加热手段。因此根据不同的加热手段,可把熔化焊分为气焊、电弧焊、电渣焊、激光焊和电子束焊接等方法。

钎焊属于典型的液-固相连接。材料钎焊连接时,选用比母材熔点低的填充材料(钎料),在低于母材熔点、高于钎料熔点的温度下,借助熔化钎料填满母材间的间隙,并通过钎料与母材的相互作用,然后冷却凝固形成牢固的接头。因此,钎焊时只有钎料熔化而母材保持固态,故为液-固相连接。钎焊和熔化焊一样,加热是主要手段,但钎焊有时可采用加压手段来进一步提高接头质量。

钎焊一般也是根据加热手段来区分不同钎焊方法,如火焰钎焊、炉中钎焊、感应钎焊、电阻钎焊、盐浴钎焊等。

压力焊方法属于典型的固相连接。因为固相连接时,通常连接温度均低于母材金属(或金属中间层)的熔点,因而必须利用压力才能使待连接表面在固态下达到紧密接触,通过塑性变形、再结晶和扩散等作用而实现原子间结合。这里强调了压力对形成接头的主导作用。但在有些压力焊过程中,焊接区金属出现熔化并同时被施加压力,其过程为加热→熔化→冶金反应→凝固→固态相变→形成接头,因此严格地说这种情况属于液-固相连接。压力焊时加压是主要的手段,但为了提高金属塑性、加速扩散、显著减小压力和时间,往往辅助加热手段。电阻焊、摩擦焊、爆炸焊和超声波焊等均属压力焊。

扩散连接是以连接机理命名的,过去一般归属于压力焊范畴。广义的扩散连接可分为两类。一类是温度低、压力大、时间短,通过塑性变形促进表面的紧密接触和氧化膜破裂,塑性变形是形成接头的主要因素,扩散则不是主要因素。属于这类的工艺方法有摩擦焊、爆炸焊、锻焊等,把这类方法归之为压力焊是适宜的。另一类则是通常意义上的扩散连接,温度高、压力小、时间长,且一般要在保护气氛下进行。连接过程中仅产生微量的塑性变形,扩散是形成接头的主要因素。属于这类的工艺方法有热等静压扩散焊、真空扩散焊、共晶液相扩散焊等。以前的教材也常把这类方法归到压力焊范畴,但以扩散为主导因素的扩散连接和以塑性变形为主导的压力焊在连接机理、方法及工艺上是有区别的,特别是近年来随着各种新型结构材料(如陶瓷、复合材料、金属间化合物、非晶态金属材料等)的迅猛发展,扩散连接技术的研究与应

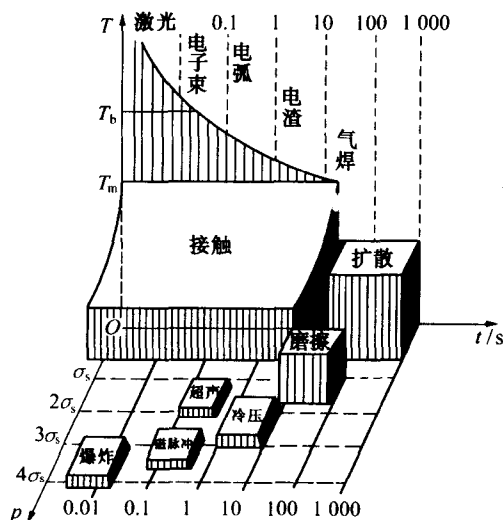


图 0.3 不同焊接方法作用温度、压力及过程持续时间的对比



用又进入了一个新的阶段,新的扩散连接方法不断涌现,如瞬间液相扩散连接(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding, TLP 连接)、超塑性成形-扩散连接(Super Plastic Forming/Diffusion Bonding, SPF/DB 连接)。再把这类方法通称为压力焊已不适宜,现在把以扩散为主导因素的扩散连接列为一种独立的连接方法已逐渐成为大家的共识,故本书把扩散连接列为单独一章进行讨论。

4. 材料连接原理与工艺的任务与内容

材料连接原理与工艺是材料成型与控制工程专业和金属材料工程专业的主要专业课程之一,以物理化学、材料科学基础、材料力学性能等课程为基础,概括了原焊接专业的焊接冶金学、焊接方法与设备和钎焊、压力焊、高能密度焊等课程的主要内容。因此,本课程在专业教学中占有重要的地位。

学习该课程的目的就是为将来研究和解决具体实际的材料连接问题打下坚实的基础。学习的主要任务:金属材料在熔化焊时的热过程、有关化学冶金和物理冶金方面普遍性规律;熔化焊连接主要方法及工艺;压力焊连接原理和工艺;钎焊和扩散连接的基本原理与工艺;机械连接、胶接等其他连接技术的原理和应用。在这个基础上来分析各种条件下材料的连接行为,为制定合理的连接工艺、探索提高连接质量的新途径、开发新的连接技术提供理论依据,为实际工程应用打下扎实的理论和实践基础。

参 考 文 献

- 1 任家烈等.近代材料加工原理.北京:清华大学出版社,1999
- 2 陈伯鑫.焊接冶金原理.北京:清华大学出版社,1991
- 3 张文钺.焊接冶金学.北京:机械工业出版社,1995
- 4 J F Lancaster. Metallurgy of Welding. London: George Allen & Unwin, 1980
- 5 K 依斯特林格.焊接物理冶金导论.唐慕尧等译.北京:机械工业出版社,1989
- 6 张文钺主编.焊接物理冶金.天津:天津大学出版社,1991
- 7 J F Lancaster. The Physics of Welding. New York: Pergamon Press, 1984
- 8 赵喜华.压力焊.北京:机械工业出版社,1997
- 9 李志远,张九海等.先进连接方法.北京:机械工业出版社,2000

第一章 熔化焊连接原理

焊件在焊接过程中,未施加压力,仅通过焊件加热而熔化来完成连接的方法,称为熔化焊。熔化焊是焊接技术中应用最为广泛的一种连接方法。熔化焊时焊接接头的形成,一般都要经历加热、熔化、冶金反应、凝固结晶、固态相变,直至形成接头。熔化焊的本质是小熔池熔炼和铸造。图 1.1 为熔化焊加热熔化和冷却结晶的示意图。当温度达到材料熔点时,母材和焊丝熔化形成熔池,熔池周围母材受到焊接热循环的影响产生组织和性能变化的区域为焊接热影响区,热源离开后熔池结晶形成焊缝。焊接熔池和一般铸锭结晶相比有如下特点,即熔池温度高,存在时间短,冶金过程进行不充分,氧化严重,热影响区大,冷却速度快,结晶易生成粗大的柱状晶。因此,要获得良好的熔化焊接头必须具备以下条件,合适的热源、良好的熔池保护和焊缝填充金属。下面分焊接热过程、焊接化学冶金、焊接物理冶金三方面来讨论熔化焊连接原理。

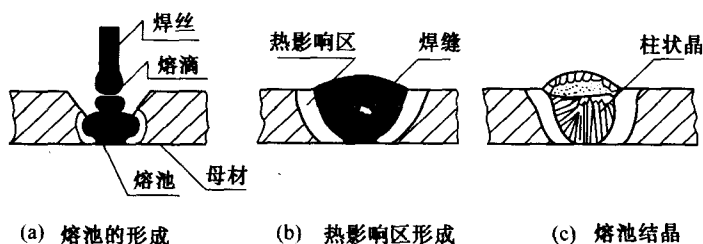


图 1.1 熔化焊过程示意图

1.1 熔化焊热过程及接头形成

熔焊条件下,母材受到焊接热源的作用,发生局部受热、局部熔化及传热,因此,在母材中必然进行热量的传递和分布,这就是焊接热过程。它贯穿焊接过程的始终,而且焊接冶金是在热过程中发生和发展的。它与冶金反应、凝固结晶和固态相变、焊接温度场和应力变形等均有密切的关系,是影响焊接质量和焊接生产率的重要因素之一。

一、熔化焊热源的种类及特征

目前,焊接过程所采用的能源主要是热能和机械能。对于熔化焊来说,主要采用热能。根据热源的种类,熔化焊方法被分为电弧焊、电渣焊、等离子弧焊、电子束焊和激光焊等。熔化焊



工艺的发展过程反映了焊接热源的发展过程。从 19 世纪末的碳弧焊发展到 20 世纪末的微波焊,新热源的出现,促进了新的焊接技术的产生。从目前的发展趋势来看,焊接逐步向高质量、高效率、降低劳动强度和能量消耗的方向发展。若从这种趋势出发,焊接热源应具有能量密度高度集中、快速实现焊接过程、保证得到高质量的焊缝和最小的焊接热影响区等特点。

根据对焊接热源的基本要求,满足焊接条件的热源有以下几种。

1) 电弧热。利用气体介质在两电极之间产生的强烈而持久的放电过程所产生的热能来作为焊接热源,这种焊接称为电弧焊。如手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊等多种焊接方法。

2) 电阻热。利用电流通过导体时产生的电阻热作为焊接热源,如电阻焊和电渣焊。

3) 高频热源。利用高频感应产生的二次电流作为热源,对具有磁性的金属材料进行局部集中加热,其实质也是电阻加热的一种形式。

4) 摩擦热。利用机械摩擦所产生的热量进行焊接,如摩擦焊。

5) 等离子弧。利用等离子焊炬,将阴极和阳极之间的自由电弧压缩成高温、高电离度及高能量密度的电弧。利用等离子弧作为焊接热源的熔焊方法称为等离子弧焊接。

6) 电子束。利用真空中被电场加速的集束电子轰击被焊工件表面所产生的热能作为焊接热源。由于热能高度集中和在真空中焊接,故焊接质量很高,如电子束焊。

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

8) 化学热。利用可燃性气体的燃烧热和铝、镁热剂的反应热来作为焊接热源,如气焊、热剂焊。

每种焊接热源都具有不同的特性,如最小加热面积、最大功率密度和正常焊接规范条件下的温度等。这些特性不同,所得到的焊缝质量也不相同。理想的焊接热源应具有加热面积小、功率密度高和加热温度高等特点。表 1.1 列出了各种焊接热源的主要特性,从表中可见,等离子弧、电子束和激光束都是让人比较满意的焊接热源。

表 1.1 各种焊接热源的主要特性

热 源	最小加热面积/ m^2	最大功率密度/ $(\text{kW}\cdot\text{cm}^{-2})$	温度/ K
乙炔火焰	10^{-6}	2×10^4	3 473
金属极电弧	10^{-7}	10^5	6 000
钨极氩弧(TIG)	10^{-7}	1.5×10^5	8 000
埋弧焊	10^{-7}	2×10^5	6 400
电渣焊	10^{-6}	10^5	2 300
熔化极氩弧和 CO_2 气体保护焊	10^{-8}	$10^5 \sim 10^6$	—
等离子弧	10^{-9}	1.5×10^6	18 000 ~ 24 000
电子束	10^{-11}	$10^8 \sim 10^{10}$	—
激光束	10^{-12}	$10^8 \sim 10^{10}$	—