



高等职业教育规划教材

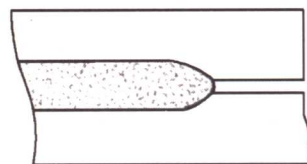
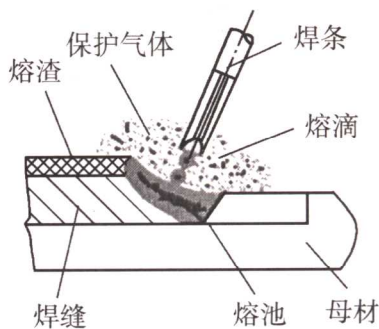
交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高等职业院校船舶技术类专业教学用书

船舶焊接工艺

船舶工程技术专业

● 王鸿斌 主编 ● 黄广茂 主审

Chuanbo
Hanjie
Gongyi



人民交通出版社
China Communications Press



等职业教育规划教材

交通职业教育教学指导委员会推荐教材
高等职业院校船舶技术类专业教学用书

船舶焊接工艺

船舶工程技术专业

● 王鸿斌 主编 ● 黄广茂 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是高等职业教育船舶技术类船舶工程专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一,按照《船舶焊接工艺》教学大纲的要求而编写的。

本书共分十章,主要包括:船舶焊接技术概述、焊接电弧的基本知识、焊条电弧焊、埋弧焊、气体保护焊、切割与碳弧气刨、常用金属材料的焊接、典型船体结构的焊接工艺、焊接应力和变形、焊缝质量检验及缺陷修补方面的知识。

本书是针对三年制高等职业教育编写的,二年制的也可参考使用。同时,本书还适用于船员的考证培训和船厂职工的自学以及其他形式的职业教育。

图书在版编目(CIP)数据

船舶焊接工艺/王鸿斌主编. —北京:人民交通出版社,2006.8

ISBN 7-114-06052-1

I. 船... II. 王... III. 造船-焊接工艺
IV. U671.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 068403 号

书 名: 船舶焊接工艺

著 者: 王鸿斌

责任编辑: 曹延鹏

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.25

字 数: 332千

版 次: 2006年7月第1版

印 次: 2006年7月第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-06052-1

印 数: 0001—2000册

定 价: 24.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



为深入贯彻《国务院关于大力发展职业教育的决定》，积极推进课程改革和教材建设，为职业教育教学和培训提供更加丰富、多样和实用的教材，更好地满足我国造船工业快速发展的需要，交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会委托交通职业教育研究会船舶技术专业委员会，联合组织全国开办有船舶技术类专业的职业院校及其骨干教师，编写了高等职业教育船舶工程专业、轮机工程技术（船舶动力机械与装置方向）专业和电气自动化技术（船舶电气方向）专业交通职业教育教学指导委员会规划教材。

本系列教材注重以就业为导向，以能力为本位，面向市场，面向社会，体现了职业教育的特色，满足了高素质的实用型、技能型船舶技术类专业高等职业人才培养的需要。本系列教材在组织编写过程中，形成了如下特色：

1. 认真总结了全国开办有船舶技术类专业的职业院校多年来的专业教学经验，并吸收了部分企业专家的意见，代表性强，适用性广；

2. 以职业岗位的需求为出发点，适当精简了教学内容，减少了理论描述，具有较强的针对性；

3. 教材编写时，在每章前列出了知识目标和能力目标等学习目标要求，每章结尾处编制了大量思考与练习题，便于组织教学和学生自主学习。

本系列教材是针对三年制高等职业教育编写的，二年制的也可参考使用。同时，本系列教材还适用于船员的考证培训和船厂职工的自学以及其他形式的职业教育。

《船舶焊接工艺》是高等职业教育船舶技术类船舶工程专业交通职业教育教学指导委员会规划教材之一，按照《船舶焊接工艺》教学大纲的要求，以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据，以职业岗位的需求为出发点而编写。本书共分十章，主要内容包括：船舶焊接技术概述；焊接电弧的基本知识；焊条电弧焊；埋弧焊；气体保护焊；切割与碳弧气刨；常用金属材料的焊接；典型船体结构的焊接工艺；焊接应力和变形；焊缝质量检验及缺陷修补方面的知识。内容描述上与传统教材有明显的区别。

参加本书编写工作的有：主编武汉交通职业学院王鸿斌（编写第八章第一至三节和第五节、九、十章），参编武汉交通职业学院刘聪（编写第一至七章）、上海海华职业技术学院高新春（编写第八章第四节）。

本书由南通航运职业技术学院黄广茂担任主审。在此表示衷心感谢！

限于编者经历和水平，教材内容难以覆盖全国各地的实际情况，希望各教学单位在积极选用和推广本系列教材的同时，注重总结经验，及时提出修改意见和建议，以便再版修订时改正。

交通职业教育教学指导委员会航海类专业指导委员会

二〇〇六年三月



第一章 船舶焊接技术概述	1
第一节 焊接及其在造船中的地位.....	1
第二节 船舶焊接方法分类.....	1
第三节 造船焊接技术发展方向.....	3
思考与练习.....	4
第二章 焊接电弧的基本知识	5
第一节 焊接电弧的产生和组成.....	5
第二节 焊接电弧的分类和特性.....	7
第三节 焊缝的形成过程和焊接热影响区.....	10
思考与练习.....	14
第三章 焊条电弧焊	15
第一节 焊条电弧焊的原理及特点.....	15
第二节 焊条电弧焊的设备及工具.....	16
第三节 电焊条.....	20
第四节 焊条电弧焊工艺.....	30
思考与练习.....	39
第四章 埋弧焊	40
第一节 埋弧焊的原理及特点.....	40
第二节 埋弧焊设备.....	43
第三节 埋弧焊的焊接材料与冶金过程.....	46
第四节 埋弧焊工艺.....	51
思考与练习.....	62
第五章 气体保护焊	63
第一节 二氧化碳气体保护电弧焊.....	63
第二节 钨极惰性气体保护焊.....	85
思考与练习.....	96
第六章 切割与碳弧气刨	98
第一节 气割.....	98
第二节 等离子弧切割.....	110
第三节 碳弧气刨.....	113
思考与练习.....	115

第七章 常用金属材料的焊接	116
第一节 钢的焊接性.....	116
第二节 碳素钢的焊接.....	118
第三节 普通低合金高强度结构钢的焊接.....	121
第四节 铬钼耐热钢的焊接.....	124
第五节 不锈钢的焊接.....	126
第六节 铝及铝合金的焊接.....	130
思考与练习.....	133
第八章 典型船体结构的焊接工艺	135
第一节 船体钢材的焊接性.....	135
第二节 船体结构焊接工艺基本原则.....	137
第三节 船体焊接工艺.....	138
第四节 船体结构的高效与高能束焊接.....	149
第五节 分段焊接工艺规程的编制.....	156
思考与练习.....	160
第九章 焊接应力和变形	161
第一节 焊接应力与变形的类型和特征.....	161
第二节 焊接应力和变形产生的原因和影响因素.....	165
第三节 减小焊接应力和变形的办法.....	174
第四节 结构焊接变形的矫正.....	182
思考与练习.....	185
第十章 焊缝质量检验及缺陷修补	186
第一节 焊接质量及其检验的重要性.....	186
第二节 常见的焊缝缺陷分析.....	187
第三节 焊缝缺陷的检验.....	191
思考与练习.....	193
附录 焊缝的符号表示法	194
参考文献	205



第一章 船舶焊接技术概述

● 学习目标

知识目标

1. 能掌握焊接的概念及其分类;
2. 能简述焊接技术在造船中的地位与意义。

第一节 焊接及其在造船中的地位

焊接是指通过加热或加压,或两者并用,并且视情况采用填充材料,使焊件达到原子间结合的一种方法。被结合的两个物体可以是各种同类或不同类的金属、非金属(石墨、陶瓷、塑料等),也可以是一种金属与一种非金属。但是,目前工业中应用最普遍的还是金属之间的结合,因此本书主要讨论的也是金属的焊接方法。

焊接在造船中的应用,引起了造船工业的革命,促进了造船事业的发展。焊接代替铆接后,不仅出现了全焊接船(1920年在世界上出现了第一艘全焊接船),并使船体从散装建造方式发展到分段建造,大大缩短了造船周期。

在现代造船中,焊接是一项很关键的工艺,它不仅对船体的建造质量有很大的影响,而且对提高生产率、缩短造船周期起着很大的作用。目前,焊接工时在整个船体建造周期中占40%左右,焊接成本占船体建造总成本的40%左右。因此,研究、改进焊接技术,对提高造船生产率有着重大的意义。20世纪70年代以来,随着船体建造量的增加,世界各造船国家的主要船厂都陆续地进行了现代化改造,分别建立了平面分段流水生产线,实现了平面分段装配焊接的机械化、自动化,形成了由数十种焊接工艺方法组成的,以节能、高效为特征的造船焊接技术体系,大大加快了船舶的建造速度。

近年来,我国的造船工业有了很大发展。造船焊接新技术、新工艺不断涌现,如适合船用的远控防触电交流弧焊机、硅整流焊机、CO₂气体保护焊机、逆变式焊机、气电垂直自动焊机、不同材质为衬垫的单面焊双面成型焊等,在我国很多船厂得到了应用。

第二节 船舶焊接方法分类

目前,在工业生产中应用的焊接方法已达百余种。根据它们的焊接过程特点可将其分为熔焊、压焊、钎焊三大类,每大类又可按不同的方法细分为若干小类,如图1-1所示。

1. 熔焊

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。实现熔焊的关键是要有一个能量集中、温度足够高的局部热源。若温度不够高,则无法使材料熔化;而能量集中程度不够,则会加大热作用区的范围,徒然增加能量损耗。按所使用热源的不同,熔焊可分为以下一些基





本方法:电弧焊(以气体导电时产生的电弧热为热源,以电极是否熔化为特征分为熔化极电弧焊和非熔化极电弧焊两类)、气焊(以乙炔或其他可燃气体在氧中燃烧的火焰为热源)、铝热焊(以铝热剂的放热反应产生的热为热源)、电渣焊(以熔渣导电时产生的电阻热为热源)、电子束焊(以高速运动的电子流撞击焊件表面所产生的热为热源)、激光焊(以激光束照射到焊件表面而产生的热为热源)等若干种。

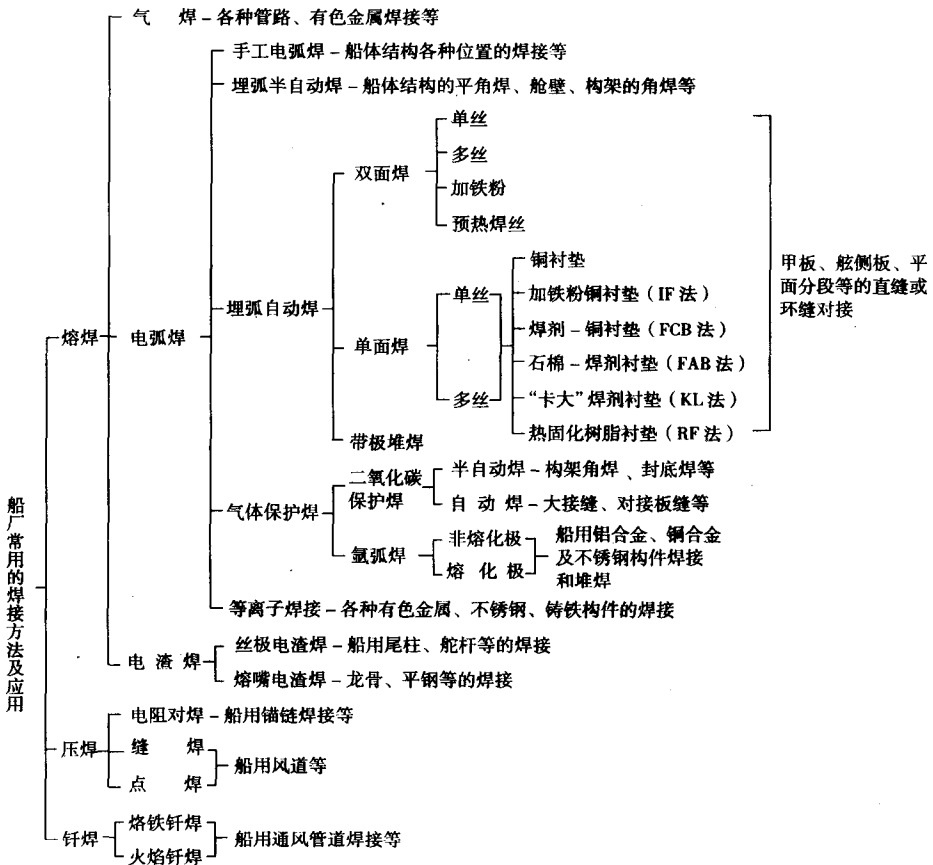


图 1-1 船厂常用的焊接方法及应用

在熔焊时,为了避免焊接区的高温金属与空气相互作用而使性能恶化,在焊接区要实施保护。保护的方法通常有造渣、通以保护气和抽真空三种。保护形式常常是区分熔焊方法的另一个特征。

2. 压焊

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。为了降低加压时材料的变形抗力,增加材料的塑性,压焊时在加压的同时常常伴随加热措施。

按所施加焊接能量的不同,压焊的基本方法可分为:电阻焊(包括点焊、缝焊、凸焊、对焊)、摩擦焊、超声波焊、扩散焊、冷压焊、爆炸焊和锻焊等。

3. 钎焊



钎焊是采用比母材熔点低的钎料,在低于母材熔点、高于钎料熔点的温度下,借助于钎料润湿母材的作用以填满母材的间隙并与母材相互扩散,最后冷却凝固形成牢固接头的方法。常见的钎焊方法有烙铁钎焊、火焰钎焊等。

第三节 造船焊接技术发展方向

到目前为止,焊接技术应用于造船的历史已有 80 多年的时间,在这段时间内,焊接技术的发展有可分为 4 个时期。头 30 年为全手工焊接时期;20 世纪 50 年代初至 60 年代中期为第二时期,主要发展了埋弧自动焊、半自动焊、电渣焊、气体保护焊及大直径平角焊条等新技术、新材料;1965 年到 20 世纪 70 年代末为第三时期,主要发展和应用了单面焊双面成型、重力焊、自动角焊、垂直自动焊和横向自动焊等新技术;20 世纪 70 年代末到现在为第 4 个时期,主要发展高效焊接技术,这一时期造船焊接技术发展最快,在造船生产中应用的高效焊接技术方法达 40 多种,造船焊接高效化的比率,从 1990 年的 50.25% 提高到现在的 81%。“十一五”开始,船舶焊接应发展高效、节能、绿色技术,走可持续发展的道路。

1. 造船焊接技术向机械化、自动化发展

随着船舶建造量的增加及船舶吨位的加大,对焊接机械化、自动化的要求也就愈加迫切。

单面焊双面成型自动焊是 20 世纪 70 年代发展起来的一项造船焊接新技术,目前已被广泛应用。实践证明,单面焊双面成型自动焊是适应现代造船需要的,因为它取消了翻身仰焊等工序,有利于组织生产流水线,提高平台的周转率和焊接生产率。

为了提高船台总段大合拢的焊接生产率,20 世纪 70 年代开始,电渣焊、气电焊和熔嘴电渣焊等垂直自动焊新技术得到较大的发展,并在生产实践中得到了应用。

电渣焊和气电焊主要用于大型船舶的舷侧结构隔舱壁的垂直对接焊缝。这两种方法的共同特点是:焊接生产率较高,焊接接头的准备比较简单。气电焊的焊接速度较快,成本较低,适用于中板和薄板,但易受风的影响,一旦失去保护作用就容易产生焊接缺陷。电渣焊的焊接质量稳定,适用于厚板,生产率较气电焊低。如果能够很好地保证气保护效果,则气电焊较之电渣焊更有发展前途。

熔嘴电渣焊主要用于船底纵桁、甲板纵桁等短材的垂直焊接。这种方法的生产率较高,焊接材边缘处理简单,焊缝成型良好。实践证明,这种方法对于厚 14mm 以上、长 1m 左右的垂直接头的焊接最为适宜,其生产率为手工焊的 5~10 倍。

船体壳板的横向接缝自动焊、大合拢垂直接缝自动焊技术已经得到应用。

船体中的角焊缝占船体焊缝总长度的 80%,因此,提高角焊缝焊接的机械化、自动化程度对提高造船焊接的生产率有着重大的作用。目前,角焊的新技术有双面多极水平自动角焊、垂直自动角焊、重力焊、CO₂ 气体保护焊和管状焊丝电弧焊等。

双面多极水平自动角焊也是埋弧自动焊的一种方式,专门用于肋骨的装配焊接。通常采用双面双丝,即一台焊机有四根电极,可同时焊接两条角焊缝;有的在一台装置上设有两台焊机,只需一个人操作即可,同时焊接两根肋骨,即四条角焊缝,焊接速度可达 80~90m/h,其生产率相当于重力焊的 9 倍。

在船体结构的角焊缝中,垂直角焊缝占有相当大的比例。为了提高这类角焊缝的焊接生



产率,垂直自动角焊新技术获得了发展。

半自动角焊(如重力焊)能适用于结构上比较狭窄的场所,从而改变了狭窄场所焊缝完全依靠手工焊接的状况。由于这种焊接设备非常简单,结构轻巧,因此在造船中的应用越来越普遍。

如今在造船工业中,焊接的自动化、机械化焊接方法已占主导地位。在国外,其应用率已达90%以上。

2. 焊接技术发展趋势

以提高焊接整体技术水平,保证焊接质量,降低生产成本为目标,焊接技术的发展趋势主要表现在以下几方面:

(1)进一步提高造船焊接机械化、自动化程度。在保持和扩大埋弧自动焊、CO₂气保护半自动焊、CO₂气保护自动角焊、垂直气电焊等高效焊接技术应用的基础上,研究应用CO₂气保护自动立角焊、气保护横向自动焊、埋弧自动角焊、等离子焊、激光焊等高效率和高能束焊接技术,进一步提高造船焊接效率。

(2)加大造船焊接设备的更新力度,实现焊接设备节能化、高效化。船舶工业从1983年提出“自然淘汰旋转式焊机”到现在已有20多年的时间,不少船厂仍有旋转式焊机在继续使用,在已进入21世纪的今天,已到了“全面淘汰旋转式焊机”的时候。同时,还应逐步淘汰一般整流式焊机和交流焊机,大力推广应用逆变式焊机,争取用3~5年的时间,使逆变式焊机成为造船焊接的主力设备。

(3)研究开发焊接新技术,适应新船型开发的需要。“十一五”期间和此后一个时期,船舶行业将重点开发海洋工程装备、疏浚工程船舶、液化气运输船舶和高速客货船等高技术、高附加值产品,应结合这些产品的特点研究开发相应的焊接技术,为新产品开发和产品结构调整提供技术支持和技术储备。

(4)研究探索焊接机械手和焊接机器人的应用问题,为将来实现更高层次的集成制造模式和智能制造模式做技术储备。但必须指出,船厂现代化改造的经验证明,只依靠发展单项技术,而不在全部生产过程中组成完整系统的生产流水线,要进一步提高生产率和缩短造船周期也是不可能的。此外,在目前情况下,船体建造时,有许多地方仍然离不开手工焊。所以,注意提高手工焊的效率,仍然有相当重要的意义。



SIKAOYULIANXI

1. 名词解释:焊接、熔化焊、压焊。
2. 简述造船焊接技术的发展趋势。



第二章 焊接电弧的基本知识

● 学习目标

知识目标

1. 能简单讲述焊接电弧的形成原理及过程；
2. 能基本叙述焊接电弧的特性；
3. 能简单讲述焊缝的形成过程与热影响区的组成。

能力目标

1. 掌握焊接电弧的引弧过程；
2. 能基本掌握影响焊接电弧稳定性的因素。

第一节 焊接电弧的产生和组成

在夏天,我们常看到天空中的闪电,这是一种气体放电现象。在两电极之间的气体介质中,强烈而持久的放电现象称为电弧。电弧放电时产生高温(温度可达 6000°C)和强光。人类认识了这种现象,并将其应用于工业生产中。电弧高热可用以进行电弧切割、碳弧气刨以及电弧炼钢等;电弧的强光能照明(如探照灯)或用弧光灯放映电影等。

焊接电弧也是一种气体放电现象,不过它发生在电极与焊件之间而已。电弧焊就是利用焊接中电弧放电时产生的热量来加热,熔化焊条(焊丝)和母材,使之形成焊接接头。电弧是电弧焊接的热源。

一、焊接电弧的产生

(一) 气体原子的激出、电离和电子发射

中性气体原来是不能导电的,为了在气体中产生电弧而通过电流,就必须使气体分子(或原子)电离成为正离子和电子。而且,为了使电弧维持燃烧,要求电弧的阴极不断发射电子,这就必须不断地输送电能给电弧,以补充能量的消耗。气体电离和电子发射是电弧中最基本的物理现象。

1. 气体原子的激发与电离

如果气体原子得到了外加的能量,电子就可能从一个较低的能级跳跃到另一个较高能级,这时原子处于“激发”状态。使原子跃为“激发”状态所需的能量称为激发能。气体原子的电离就是使电子完全脱离原子核的束缚,形成离子和自由电子的过程。由原子形成正离子所需的能量称为电离能。

在焊接电弧中,根据引起电离的能量来源,有以下3种形式:

(1) 撞击电离。是指在电场中,被加速的带电粒子(电子、离子)与中性点(原子)碰撞后发生的电离。



(2) 热电离。是指在高温下,具有高动能的气体原子(或分子)互相碰撞而引起的电离。

(3) 光电离。是指气体原子(或分子)吸收了光射线的光子能而产生的电离。

气体原子在产生电离的同时,带异性电荷的质点也会发生碰撞,使正离子和电子复合成中性质点,即产生中和现象。当电离速度和复合速度相等时,电离就趋于相对稳定的动平衡状态。一般地,电弧空间的带电粒子数量越多,电弧越稳定,而带电粒子的中和现象则会减少带电粒子的数量,从而降低电弧的稳定性。

2. 电子发射

在阴极表面的原子或分子,接受外界的能量而释放出自由电子的现象称为电子发射。电子发射是引弧和维持电弧稳定燃烧的一个很重要的因素。按其能量来源不同,可分为热发射、光电发射、重粒子碰撞发射和强电场作用下的自发射等。

(1) 热发射。物体的固体或液体表面受热后,其中某些电子具有大于逸出功的动能而逸出到表面外的空间中去的现象称为热发射。热发射在焊接电弧中起着重要作用,它随着温度上升而增强。

(2) 光电发射。物质的固体或液体表面接受光射线的能量而释放出自由电子的现象称为光电发射。对于各种金属和氧化物,只有当光射线波长小于能使它们发射电子的极限波长时,才能产生光电发射。

(3) 重粒子撞击发射。能量大的重粒子(如正离子)撞到阴极上,引起电子的逸出,称为重粒子撞击发射。重粒子能量越大,电子发射越强烈。

(4) 强电场作用下的自发射。物质的固体或液体表面,虽然温度不高,但当存在强电场并在表面附近形成较大的电位差时,使阴极有较多的电子发射出来,这就称为强电场作用下的自发射,简称自发射。电场越强,发射出的电子形成的电流密度就越大。自发射在焊接电弧中也起着重要作用,特别是在非接触式引弧时,其作用更加明显。

综上所述,焊接电弧是气体放电的一种形式,焊接电弧的形成和维持是在电场、热、光和质点动能的作用下,气体原子不断地被激发、电离以及电子发射的结果。同时,也存在负离子的产生、正离子和电子的复合。显而易见,引燃焊接电弧的能量来源主要靠电场及由其产生的热、光和动能,而这个电场就是由弧焊电源提供的空载电压所产生的。

(二) 焊接电弧的引燃

焊接电弧的引燃(引弧),一般有两种方式:接触引弧和非接触引弧。

1. 接触引弧

接触引弧即是在弧焊电源接通后,电极(焊条或焊丝)与工件直接短路接触,随后拉开 3~4mm,把电弧引燃起来。这是一种最常用的引弧方式。

由于电极和工件表面都不是绝对平整的,在短路接触时,只是在少数突出点上接触,见图 2-1。通过这些接触点的短路电流,比正常的焊接电流要大得多,而接触点的面积又小,因此电流密度极大,这就可能产生大量的电阻热,使电极金属表面发热、熔化,甚至气化,引起热发射和热电离。随后在拉开电极的瞬间,电弧间隙极小,只有 10^{-6} cm 左右,使其电场强度达到很大的数值

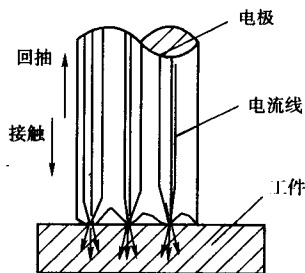


图 2-1 接触引弧示意图



(可达 10^6V/cm)。这样,即使在室温下都可能产生明显的自发射。在强电场作用下,又使已产生的带电质点被加速、互相碰撞,引起撞击电离。随着温度的增加,光电离和热电离也进一步加强,使带电质点的数量猛增,从而能维持电弧的稳定燃烧。在电弧引燃之后,电离和中和(消耗电离)处于动平衡状态。由于弧焊电源不断供以电能,新的带电质点不断得到补充,弥补了消耗的带电质点和能量。

焊条电弧焊和熔化极气体保护焊都采用这种引弧方式。

2. 非接触引弧

非接触引弧是指在电极与工件之间存在一定间隙,施以高电压击穿间隙,使电弧引燃。非接触引弧需采用引弧器才能实现,它可分为高频高压引弧和高压脉冲引弧。高压脉冲引弧的频率一般为 50Hz 或 100Hz ,电压峰值为 $3000\sim 5000\text{V}$;高频高压引弧则需用高频振荡器,它每秒振荡 100 次,每次振荡频率为 $150\sim 260\text{kHz}$,电压峰值为 $2000\sim 3000\text{V}$ 。

由此可见,这是一种依靠高电压使电极表面产生电子的自发射,从而把电弧引燃的方法。这种引弧方法主要应用于钨极氩弧焊和等离子弧焊。引弧时,电极不必与工件短路,这样不仅不会污染工件和电极的引弧点,而且也不会损坏电极端部的几何形状,还有利于电弧的稳定燃烧。

二、焊接电弧的组成

焊接电弧由阴极区、弧柱区和阳极区三部分组成,如图2-2所示。

阴极区是电弧的重要部分。它是靠近阴极表面的一段很短的区域,其长度约为 10^{-6}cm ,温度达 3200°C ,放出的热量为电弧总热量的 38% 。在阴极区中,除了存在向弧柱发射电子外,还有从弧柱进入阴极区的阳离子。阳离子触及阴极表面(阴极斑点)发生中和,停止运动。

弧柱区主要是阳离子和自由电子的混合物,也有一些阴离子和中性微粒,其中心温度达 6000°C ,放出的热量为电弧总热量的 20% 。由于阴极和阳极的部件很薄,所以弧柱长度几乎等于电弧长度。

阳极区是靠近阳极很薄的一层,但它的长度比阴极区要大一些(约为 10^{-4}cm)。由于阴极表面受到高速电子的撞击,传给阳极较大的能量,因此阳极获得的能量较阴极高。在和阴极的材料相同情况下,阳极表面的温度略高于阴极表面,可达 3900°C ,放出的热量为电弧总热量的 42% 。

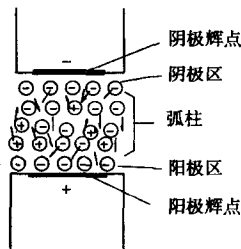


图2-2 焊接电弧的组成

第二节 焊接电弧的分类和特性

一、焊接电弧的分类

焊接电弧的性质与供电电源的种类、电弧的状态、电弧周围的介质以及电极材料有关。按照不同的方法,可作出如下的分类:

- (1) 按电流种类可分为:交流电弧、直流电弧和脉冲电弧(包括高频脉冲电弧);
- (2) 按电弧状态可分为:自由电弧和压缩电弧;



(3)按电极材料可分为:熔化极电弧和非熔化极电弧。

二、焊接电弧的静特性

一定长度的电弧在稳定状态下,电弧电压 U_f 与电弧电流 I_f 之间的关系,称为焊接电弧的静态伏安特性,简称伏安特性或静特性,可用下列函数表示:

$$U_f = f(I_f)$$

焊接电弧是非线性负载,即电弧两端的电压与通过电弧的电流之间不是成正比例关系。当电弧电流从小到在很大范围内变化时,焊接电弧的静特性近似呈 U 形曲线,故也称为 U 形特性,如图 2-3 所示。

U 形静特性曲线可看成由三段(I、II、III)组成。在 I 段,电弧电压随电流的增加而下降,是下降特性段;在 II 段,呈等压特性,即电弧电压不随电流而变化,而取决于电弧的长度,电弧的长度越长则电弧电压越高,是平特性段;在 III 段,电弧电压随电流增加而上升,是上升特性段。

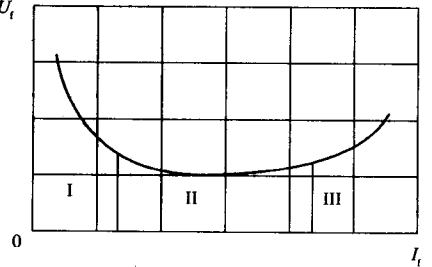


图 2-3 焊接电弧的静特性曲线

对于各种不同的焊接方法,它们的电弧静特性曲线也是有所不同的,而且在其正常使用范围内,并不包括电弧静特性曲线的所有部分。静特性的下降段由于电弧燃烧不稳定而很少被采用。手工电弧焊、埋弧焊多半工作在静特性的水平段,即电弧电压只随弧长而变化,与焊接电流关系很小;不熔化极气体保护焊、微束等离子弧焊、等离子弧焊也多半工作在水平段;当焊接电流较大时才工作在上升段;熔化极气体保护焊(氩弧焊和 CO_2 焊)和 underwater welding 基本上工作在上升段。

三、焊接电弧的稳定性

焊接电弧的稳定性是指电弧电压和焊接电流能否保持相对稳定,同时也要保持一定的弧长,不偏吹、不摇摆、不熄灭。电弧燃烧稳定与否,对焊接的质量影响很大,从而也影响产品质量。影响电弧稳定性的因素有以下几方面:

1. 焊接电源

焊接电源种类和极性都会影响电弧的稳定性。直流电焊接的电弧要比交流电的电弧稳定;空载电压较高的焊接电源其电弧燃烧较空载电压低的稳定;有良好动特性的焊机容易保证电弧稳定燃烧。

采用直流电焊接时,由于焊机有正、负两极,因而有两种不同的接法:将焊件接到电焊机的正极,焊条(或焊丝)接至负极,这种方法叫正接,又称正极性(图 2-4a);反之将焊件接至负极,焊条接至正极,称为反接,或称反极性(图 2-4b)。通常应根据焊条性质和焊件厚度来选用不同的接法。如用碱性焊条时,必须采用直流反接法,才能使电弧燃烧稳定。实际上一般都采用反接,这样可以减少焊缝出现气孔和飞溅,而且噪声小,电弧燃烧稳定。

2. 焊条药皮的影响

当焊条药皮中含有过多氟化物时,会降低电弧的稳定性,这是由于氟在气体电离过程中容易获得电子而形成阴离子,这不但会使电子大量减少,并且它与阳离子结合后成为中性微粒,



从而导致了电弧的稳定性下降。一般说来,厚药皮的优质焊条要比薄药皮焊条更容易获得电弧的稳定燃烧。当药皮局部剥落或采用裸焊条焊接时,电弧是很难获得稳定燃烧的。

3. 焊接处不清洁的影响

焊接处如有油漆、油脂、水分和锈层等存在,也会严重影响电弧的稳定燃烧。因此,焊前做好焊件表面清洁工作十分重要。

4. 气流的影响

在露天进行焊接时,气流能影响电弧的稳定性,特别是在大风中或狭小长缝处进行焊接时,由于空气的流速快,可能会造成严重电弧偏吹而无法进行焊接。

5. 电弧偏吹的影响

正常焊接时,焊接电弧的轴线基本上是与焊条的轴线在同一中心线上,如图 2-5 所示。但在焊接过程中,有时发现电弧左右或前后摆动,即弧柱的轴线与焊条不在同一中心线上,这样焊接电弧就产生了偏吹,如图 2-6 所示。

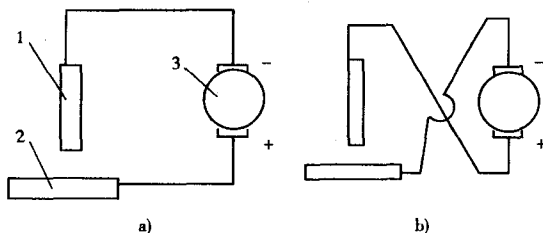


图 2-4 焊接电源的极性

a) 正极性; b) 反极性

1-焊条; 2-焊件; 3-直流弧焊机

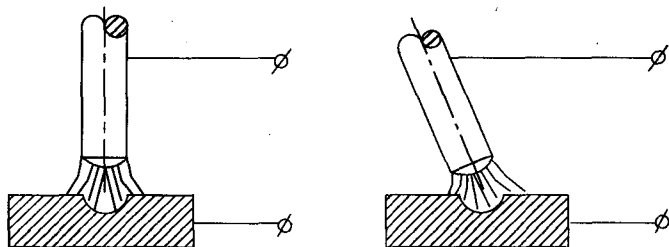


图 2-5 正常的焊接电弧

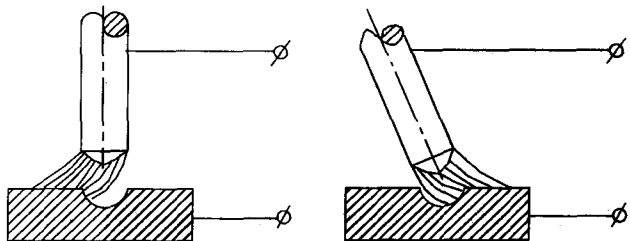


图 2-6 焊接电弧的偏吹

电弧偏吹使焊工难于控制电弧对熔池的集中加热,并会影响对熔池金属的保护作用,也会使焊缝焊偏,导致焊接质量降低。严重的电弧偏吹还会使电弧熄灭无法进行焊接。因此,在焊接过程中,必须注意防止产生电弧偏吹。

产生电弧偏吹的原因很多,如气流的影响和焊条药皮不均匀(焊条偏心)等,但是最常见的原因是采用直流电焊接时,由于弧柱周围的磁力线分布不均匀而迫使焊接电弧向着一定方





向偏吹,这种现象称为磁偏吹,如图 2-7 所示。

从图 2-7 可以看出,在焊件连接焊接电缆的一面,由于通过焊接电流产生了分布不均匀的磁力线,弧柱受到磁力线分布较密一侧的作用力,产生磁偏吹。当焊接电流越大时,电弧的磁偏吹就越严重。磁偏吹会使焊缝产生气孔、未焊透和焊偏等缺陷,所以必须采取措施加以消除,生产中常用的克服磁偏吹的措施有:

(1) 适当改变焊件的接地线部位,尽可能使电弧周围磁力线均匀,如图 2-8 所示。图 2-8 中虚线表示减弱磁偏吹的接线方法。

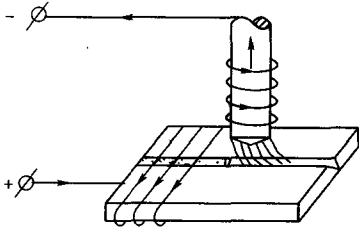


图 2-7 磁偏吹的方向

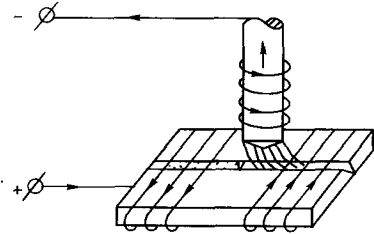


图 2-8 改变焊件接地线位置克服磁偏吹

(2) 在施焊操作时适当调整焊条角度,使焊条向偏吹一侧倾斜,如图 2-9 所示。

(3) 采用分段退焊法也能有效地克服磁偏吹,如图 2-10 所示。

此外,采用短弧、小电流对克服磁偏吹也能起到一定作用。

采用交流焊接时,由于变化的磁场在导体内引起感应电流,而感应电流所产生的磁力线削弱了焊接电流所引起的磁场,因此也就大大减弱了磁偏吹现象。

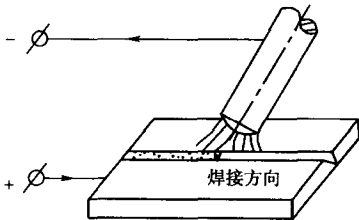


图 2-9 倾斜焊条角度克服磁偏吹

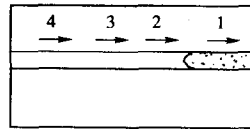


图 2-10 采用分段退焊法克服磁偏吹

第三节 焊缝的形成过程和焊接热影响区

在焊接电弧的高温作用下,焊条端部金属熔化形成熔滴,母材(或焊件)也局部熔化,形成溶池,溶池经熔滴填满,冷却后形成焊缝。

在溶池上部充满大量气体和熔渣,使溶池金属得到保护,也使焊缝金属的性能得到改善。图 2-11 为电弧焊过程示意图。

一、焊条金属的熔化和过渡

焊接时,电流通过焊芯产生电阻热,使焊芯预热(通常可达 600 ~ 700℃),同时焊条端部受到电弧的直接加热而迅速熔化。在这两部分热量中,电弧热是使焊条熔化的主要热源。



焊条端部金属在电弧热作用下发生熔化,熔化的液体以颗粒状不断地向熔池转移,这个过程称之为熔滴过渡。

熔滴过渡对焊接过程的稳定性、焊缝成形、飞溅及焊接接头的质量有很大的影响,因此了解熔滴过渡的规律对于掌握熔化焊工艺是很重要的。

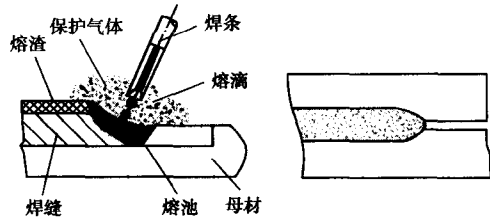


图 2-11 电弧焊过程示意图

(一) 熔滴过渡的作用力

焊条金属熔化后,受几种力的作用,这些力对熔滴过渡或起促进作用,或起阻碍作用,下面分别加以分析。

1. 表面张力

液体金属像其他液体一样,也具有表面张力,即液体在没有外力作用时,其表面积会尽量减小,聚集成球形。

焊条金属熔化后,在表面张力作用下,形成球滴状悬挂在焊条末端,只有当其他力超过表面张力时,才能使熔滴过渡到熔池中去。

表面张力的大小与许多因素有关,如熔滴尺寸变大,熔滴表面张力也增加;液体金属温度越高,其表面张力越小;在保护气体中加以氧化性气体,可以显著降低液体金属的表面张力,使熔滴变细。

2. 熔滴的重力

熔滴在重力作用下有自然下垂倾向。平焊时,重力有利于熔滴的过渡,仰焊及立焊时,重力起阻碍熔滴过渡的作用。

3. 电磁力

电流流过导体时,在导体周围便产生磁场,该磁场又对导体产生压缩力 P (图 2-12),这种力称电磁力。

电磁力的方向垂直于导体表面(更确切地说是垂直于电流线),力图使导体截面积减小。电磁力对焊条未熔化部分无甚影响,而对熔化的金属则有显著的压缩作用,特别是在焊条末端与熔滴之间的细颈部分,电流密度最大,电磁力也最大。此种沿焊条轴线分布不均匀的电磁力,又构成一种轴向推力,促使熔滴脱离焊条,面向熔池过渡。

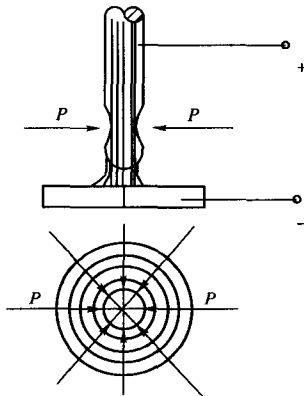


图 2-12 电磁力在熔滴上的压缩作用
 P -电磁压缩力

在空间任何位置进行焊接时,电磁力都有促进作用。在用大电流施焊时,电磁力是熔滴过渡中的主要作用力。

在气体保护焊中,调节焊接电流密度以控制熔滴的尺寸和过渡方式,这是电磁力的具体应用。

4. 气体的吹力

焊条电弧焊时,焊条药皮的熔化速度稍微慢于焊芯的熔化,因此在焊条末端形成一小段喇叭形套管(图 2-13)。套管内因药皮造气剂而生成大量 CO 、 CO_2 和其他蒸气。这些气体因受热而急剧膨胀,顺着套管方向喷向焊件,将熔滴吹送到熔池,此即所谓气体吹力。不论焊缝的空间位置怎样,这种气流都有利于熔滴金